

**PROCEDENCIA, AMBIENTE TECTÓNICO Y  
ASPECTOS PALEOGEOGRÁFICOS DEL  
DEVÓNICO (GRUPO GUALILÁN) DE LA  
PRECORDILLERA CENTRAL SANJUANINA.**

*Lic Jonatan Ariel Arnol*

**-Tesis Doctoral-**

**Director: *Dr. Carlos Alberto Cingolani***

**Director: *Dr. Norberto Javier Uriz***



*Universidad Nacional de La Plata*

*Facultad de Ciencias Naturales y Museo*

**2021**

**Universidad Nacional de La Plata**

**Facultad de Ciencias Naturales y Museo**

**Tesis Doctoral**

**PROCEDENCIA, AMBIENTE TECTÓNICO Y  
ASPECTOS PALEOGEOGRÁFICOS DEL  
DEVÓNICO (GRUPO GUALILÁN) DE LA  
PRECORDILLERA CENTRAL SANJUANINA.**

**Lic. Jonatan Ariel Arnol**

**Director: Dr. Carlos Alberto Cingolani**

**Director: Dr. Norberto Javier Uriz**

**2021**

**ÍNDICE****RESUMEN (ABSTRACT)**

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
A. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
B. OBJETIVOS.....	6
C. METODOLOGÍAS.....	6
D. ANTECEDENTES.....	9
<b>D1. Grupo Gualilán</b> .....	10
<u>D1a. Formación Talacasto</u> .....	10
<u>D1b. Formación Punta Negra</u> .....	11
<b>II. AREA DE ESTUDIO DENTRO DEL CONTEXTO GONDWÁNICO</b> .....	13
A. PALEOGEOGRAFÍA.....	13
B. CUENCAS SILURO-DEVÓNICAS SUDAMERICANAS.....	14
<b>B1. Cuencas siluro-devónicas en el contexto del terreno Cuyania</b> .....	17
<u>B1a. Cuenca de Precordillera</u> .....	17
<u>B1a. Bloque de San Rafael</u> .....	18
<b>III. GEOLOGÍA REGIONAL</b> .....	19
A. MARCO GEOLOGICO REGIONAL.....	19
<b>A1. Precordillera Oriental</b> .....	20
<b>A2. Precordillera Central</b> .....	22
<b>A3. Precordillera Occidental</b> .....	25
<b>A4. Evolución tectónica de la Precordillera</b> .....	26
B. GRUPO GUALILÁN (PRECORDILLERA CENTRAL).....	27
<b>B1. Reseña histórica y estratigráfica de la Formación Talacasto</b> .....	28
<u>B1a. Características sedimentarias y estructurales</u> .....	28
<b>B2. Reseña histórica y estratigráfica de la Formación Punta Negra</b> .....	34
<u>B2a. Características sedimentarias y estructurales</u> .....	34
<u>B2b. Aspectos paleobiológicos, antecedentes</u> .....	37
<u>B2c. Aporte a la bioestratigrafía de la Formación Punta Negra</u> .....	38
C. SINTESIS DE LOS MODELOS INTERPRETATIVOS DE LA PRECORDILLERA.....	42
<b>C1. Modelos geotectónicos</b> .....	42
<u>C1a. Modelo de autoctonía</u> .....	42
<u>C1b. Modelo de para-autoctonía</u> .....	42

<u>C1c. Modelo de aloctonía</u> .....	43
<b>IV. RESULTADOS: PETROGRAFÍA, DIFRACCIÓN DE RAYOS X Y ESTUDIO DE LOS MINERALES PESADOS.</b>	
A. PETROGRAFÍA.....	46
<b>A1. Muestreo y caracterización de las unidades analizadas</b> .....	46
<u>A1a. Formación Talacasto</u> .....	47
<u>A1b. Formación Punta Negra</u> .....	47
<b>A2. Estudio petrográfico</b> .....	48
<u>A2a Formación Talacasto</u> .....	50
<u>A2b. Formación Punta Negra</u> .....	55
<u>A2c. Otras unidades</u> .....	57
<i>Formación Los Espejos/Tambolar</i> .....	57
<i>Formación Guandacol</i> .....	59
<b>A3. Síntesis interpretativa de la petrografía</b> .....	60
<u>A3a. Comparación petrográfica</u> .....	65
B. DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	68
<b>B1. Introducción</b> .....	68
<b>B2. Resultados</b> .....	69
C. ESTUDIOS DE MINERALES PESADOS.....	75
<b>C1. Morfología y tipología de circones detríticos</b> .....	75
<u>C1a. Introducción</u> .....	75
<u>C1b. Métodos de separación de minerales pesados</u> .....	77
<u>C1c. Fundamentos del método</u> .....	78
<b>C2. Análisis morfológico y tipología de circones</b> .....	79
<u>C2a. Formación Talacasto</u> .....	79
<u>C2b. Formación Punta Negra</u> .....	81
<u>C2c. Otras unidades</u> .....	82
<i>Formacion Los Espejos/Tambolar</i> .....	82
<i>Formación Guandacol</i> .....	83
<b>C3. Discusión</b> .....	85
<b>V. RESULTADOS: GEOQUÍMICA</b>	
A. INTRODUCCIÓN.....	88
<b>A1. Unidades estudiadas</b> .....	88
<b>A2. Preparación de muestras y método analítico</b> .....	90
B. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS GEOQUÍMICOS...	91

<b>B1. Elementos mayoritarios y minoritarios</b> .....	91
<u>B1a. Formación Talacasto</u> .....	91
<u>B1b. Formación Punta Negra</u> .....	91
<u>B1c. Comparación entre ambas unidades: Formación Talacasto vs. Formación Punta Negra</u> .....	93
<u>B1d. Comparación con otras unidades dentro del contexto de Cuyania</u> .....	94
<u>B1e. Composición de la Corteza Continental Superior (CCS) vs. unidades estudiadas</u> .....	96
<u>B1f. Clasificación Geoquímica de las muestras analizadas</u> .....	98
<u>B1g. Índice de Alteración Química (CIA- Chemical Index of Alteration)</u> .....	99
<u>B1h. Aplicación de los elementos mayoritarios al análisis de procedencia</u> .....	101
<b>B2. Elementos trazas y tierras raras</b> .....	105
<u>B2a. Aplicación de los elementos traza y tierras raras al análisis de procedencia</u> .....	107
<u>B2b Geoquímica de elementos traza para el Grupo Gualilán</u> .....	108
<i>Formación Talacasto</i> .....	108
<i>Formación Punta Negra</i> .....	109
<u>B2c. Formación Talacasto vs. Formación Punta Negra</u> .....	111
<u>B2d. Relaciones Th/Sc vs. Zr/Sc</u> .....	112
<u>B2e. Relaciones Th/U vs. Th</u> .....	114
<u>B2f. Relaciones Cr/V vs. Y/Ni</u> .....	116
<u>B2g. Geoquímica de ETR del Grupo Gualilán</u> .....	118
<i>Formación Talacasto</i> .....	118
<i>Formación Punta Negra</i> .....	119
<u>B2h. Comparación entre ambas unidades</u> .....	119
<b>C. DIAGRAMAS DE DISCRIMINACIÓN DE AMBIENTES TECTÓNICOS Y PROCEDENCIA</b> .....	120
<b>C1. Diagramas La-Th-Sc y Th-Sc-Zr/10</b> .....	120
<b>C2. Diagrama Hf vs. La/Th</b> .....	121
<b>D. DISCUSIÓN</b> .....	122
<b>VI. RESULTADOS: GEOLOGÍA ISOTÓPICA</b>	
<b>A. INTRODUCCIÓN</b> .....	125
<b>A1. Sistema U-Pb: conceptos generales</b> .....	126
<b>A2. Unidades estudiadas: muestras y técnicas analíticas</b> .....	128
<u>A2a. Muestras</u> .....	128
<u>A2b. Materiales y técnicas analíticas</u> .....	127
<b>B. SISTEMA U-Pb CON EQUIPO LA-ICP-MS</b> .....	132
<b>C. DATACIONES RADIMÉTRICAS U-Pb EN CIRCONES DETRÍTICOS</b> .....	132

<b>C1. Antecedentes</b> .....	132
<b>C2. Edades U-Pb</b> .....	133
<u>C2a. Formación Talacasto (Grupo Gualilán)</u> .....	134
<b>Sector Norte</b> .....	134
<b>Sector Central</b> .....	139
<u>C2b. Formación Punta Negra (Grupo Gualilán)</u> .....	136
<b>Sector Norte</b> .....	142
<b>Sector Central</b> .....	145
<b>Sector Sur</b> .....	149
<u>C2c. Formación Los Espejos (Grupo Tucunuco)</u> .....	150
<b>Sector Norte</b> .....	150
<b>Sector Central</b> .....	151
<u>C2d. Formación Los Sombreros</u> .....	152
<b>C3. Análisis comparativo de edades</b> .....	153
<u>C3a. Formación Talacasto vs. Formación Punta Negra</u> .....	158
<u>C3b. Análisis comparativo expresado en forma porcentual</u> .....	161
<u>C3c. Comparación de edades de poblaciones de circones detríticos (<i>K-S test</i>)</u> ..	165
<b>D. PROCEDENCIA</b> .....	172
<b>D1. Comparación con otras unidades</b> .....	177
<u>D1a. Formación Los Espejos (Grupo Tucunuco)</u> .....	177
<u>D1b. Formación Los Sombreros (Sierra de la Invernada)</u> .....	178
<u>D1c. Formación Villavicencio (Precordillera Mendocina)</u> .....	180
<u>D1d. Formación Río Seco de los Castaños (Bloque de San Rafael)</u> .....	183
<u>D1e. Formación La Horqueta (Bloque de San Rafael)</u> .....	185
<u>D1f. Formación Las Lagunitas (Cordillera Frontal)</u> .....	186
<b>E. EDADES MÁXIMAS DE SEDIMENTACIÓN (EMS)</b> .....	187
<b>E1. Formación Talacasto</b> .....	<b>188</b>
<u>E1a. Región Norte</u> .....	188
<u>E1b. Región Central</u> .....	191
<b>E2. Formación Punta Negra</b> .....	<b>191</b>
<u>E2a. Región Norte</u> .....	192
<u>E2b. Región Central</u> .....	192
<u>E2c. Región Sur</u> .....	192
<b>E3. Otras unidades</b> .....	193
<u>E3a. Formación Los Espejos/Tambolar</u> .....	193
<u>E3b. Formación Los Sombreros</u> .....	193
<b>F. ESTUDIO ISOTOPICO Lu-Hf EN CIRCONES DETRÍTICOS</b> .....	194

<b>F1. Introducción</b> .....	194
<b>F2. Sistema Lu-Hf: conceptos generales</b> .....	195
<b>F3. Materiales y técnica analítica</b> .....	196
<b>F4. Unidades estudiadas</b> .....	197
<b>F5. Resultados</b> .....	197
<u>E5a. Formación Talacasto (Grupo Gualilán)</u> .....	197
<u>F5b. Formación Punta Negra (Grupo Gualilán)</u> .....	199
<u>F5c. Formación Los Espejos (Grupo Tucunuco)</u> .....	201
<u>F5d. Formación Los Sombreros (Sierra de la Invernada)</u> .....	202
<b>F6. Discusión</b> .....	203
<u>F6a. Comparación con otras secuencias sedimentarias</u> .....	206
<u>F6b. Comparación con rocas de basamento</u> .....	208
G. SISTEMÁTICA Sm/Nd (ISÓTOPOS de Nd Y EDAD MODELO $T_{DM}$ ).....	209
<b>G1. Introducción</b> .....	209
<b>G2. Sistema Sm/Nd: conceptos generales</b> .....	210
<b>G3. Muestras y técnicas analíticas</b> .....	213
<u>G3a. Técnica analítica</u> .....	214
<b>G4. Resultados Sm-Nd (roca total)</b> .....	214
<u>G4a. Formación Talacasto (Grupo Gualilán)</u> .....	215
<u>G4b. Formación Punta Negra (Grupo Gualilán)</u> .....	216
<u>G4c. Formación Los Espejos (Grupo Tucunuco)</u> .....	216
<b>G5. Discusión</b> .....	217
<u>G5a. Comparación con las posibles rocas fuentes</u> .....	218
<u>G5b. Comparación con otras unidades siluro-devónicas semejantes</u> .....	223
<b>VII. INTERPRETACIÓN DE LA PROCEDENCIA SEDIMENTARIA Y CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS</b>	
A. INTRODUCCIÓN .....	226
B. SINTESIS DE LAS PRINCIPALES FUENTES RECONOCIDAS.....	226
<b>B1. Devónico Inferior</b> .....	227
<u>B1a. Sector Norte: Formación Talacasto</u> .....	227
<u>B1b. Sector Central: Formación Talacasto</u> .....	232
<u>B1c. Sector Sur: Formación Punta Negra</u> .....	235
<b>B2. Devónico Medio</b> .....	239
<u>B2a. Sector Norte: Formación Punta Negra</u> .....	239
<u>B2b. Sector Central: Formación Punta Negra</u> .....	242
C. CONSIDERACIONES Y PROPUESTA PALEOGEOGRÁFICA. ....	247

<b>C1. Áreas fuentes que contribuyeron a la cuenca durante el Devónico Temprano</b>	
.....	249
<u>C1a. Sector Norte</u> .....	249
<u>C1b. Sector Central</u> .....	249
<u>C1c. Sector Sur</u> .....	250
<b>C2. Áreas fuentes que contribuyeron a la cuenca durante el Devónico Medio</b>	
.....	252
<u>C2a. Sector Norte</u> .....	253
<u>C2b. Sector Central</u> .....	255
<b>VIII. CONSIDERACIONES FINALES</b>	
<b>A. ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y MORFOLOGÍA-TIPOLOGÍA DE CIRCONES DETRÍTICOS</b>	
DETRÍTICOS.....	259
<b>B. GEOQUÍMICA</b> .....	259
<b>C. GEOLOGÍA ISOTÓPICA</b> .....	260
<b>C1. Devónico Temprano</b> .....	260
<u>C1a. Formación Talacasto (Sector Norte)</u> .....	260
<u>C1b. Formación Talacasto (Sector Central)</u> .....	261
<u>C1c. Formación Punta Negra (Sector Sur)</u> .....	261
<b>C2. Devónico Medio</b> .....	261
<u>C2a. Formación Punta Negra (Sector Norte)</u> .....	261
<u>C2b. Formación Punta Negra (Sector Central)</u> .....	262
<b>C3. Análisis comparativo de los resultados U-Pb en circones detríticos entre las formaciones del Grupo Gualilán</b> .....	262
<b>C4. Comparación con otras unidades</b> .....	262
<u>C4a. Grupo Gualilán vs. Formación Los Espejos</u> .....	262
<u>C4b. Grupo Gualilán vs. Formación Los Sombreros</u> .....	263
<u>C4c. Grupo Gualilán vs. Formación Villavicencio</u> .....	263
<u>C4d. Grupo Gualilán vs. Formación Río Seco de los Castaños</u> .....	263
<u>C4e. Grupo Gualilán vs. Formación La Horqueta</u> .....	263
<u>C4f. Grupo Gualilán vs. Formación Las Lagunitas</u> .....	264
<b>C5. Isótopos de Lu-Hf en circones detríticos</b> .....	264
<b>C6. Isótopos de Sm-Nd, edades <math>T_{DM}</math> y <math>\epsilon Nd</math></b> .....	264
<b>D. PRINCIPALES FUENTES RECONOCIDAS, ÁREAS DE PROCEDENCIA E IMPLICANCIAS PALEOGEOGRÁFICAS</b> .....	265
<b>IX. AGRADECIMIENTOS</b> .....	267

<b>X. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>269</b>
Anexo: datos U-Pb.....	307
Anexo: datos Lu-Hf.....	343
Anexo: Trabajos publicados en jornadas, congresos y revistas a lo largo del desarrollo de la tesis doctoral.....	358

**RESUMEN.**

Las secuencias sedimentarias silicoclásticas devónicas conocidas como Formaciones Talacasto y Punta Negra integran al denominado Grupo Gualilán, ambas afloran en la región central de la Precordillera Argentina, siendo el objetivo principal de esta Tesis Doctoral aportar información original sobre la procedencia sedimentaria de estas secuencias. Estas unidades se desarrollaron sobre el terreno Cuyania como una cuenca de antepaís periférica posterior a la colisión de dicho terreno con el borde autóctono de Gondwana y previo a la acreción del terreno Chilena la cual tendría lugar hacia finales del Devónico e inicios del Carbonífero. Durante el Devónico Temprano se desarrolló la sedimentación de la Formación Talacasto desde el Rio San Juan hacia el Norte y la sedimentación de la Formación Punta Negra en la región Sur de la cuenca, ambas regiones habrían estado separadas por un alto topográfico denominado como Alto Arenas. Por su parte, durante el Devónico Medio se habría dado la reactivación del margen convergente hacia el este produciéndose el acercamiento entre Chilena y Gondwana, un ascenso en el nivel del mar sobrepasando la barrera topográfica y alcanzando de este modo la Formación Punta Negra la totalidad de la cuenca, acompañado por cambios en las concentraciones de los detritos aportados por las fuentes ubicadas al este de la cuenca. A partir de los estudios mineralógicos, petrográficos, geoquímicos y especialmente isotópicos por la metodología LA-ICP-MS para los análisis U-Pb y Lu-Hf en circones detríticos y Sm-Nd en roca total, se aportaron nuevos datos sobre las características y edades de fuentes de procedencia sedimentaria del Grupo Gualilán. Los análisis geoquímicos arrojaron resultados que indican una meteorización intermedia, siendo los detritos procedentes desde fuentes cuarzosas a ígneas félsica-intermedias. Los diagramas de discriminación tectónica muestran resultados dispares ya que evidenciarían que proceden desde un margen continental activo, pasando por un arco de isla oceánico hasta un margen pasivo dependiendo de los diagramas implementados. Por su parte, los elementos trazas, indican que los sedimentos fueron sometidos a retrabajo y procesos de reciclado muy escasos o directamente nulos. El estudio morfológico de circones, sumado a un análisis de la estructura interna de cada circón a partir de las imágenes de catodoluminiscencia, acompañado de la relación Th/U obtenida a partir del análisis U-Pb para cada cristal, permiten inferir un dominio de las fuentes plutónicas por sobre las fuentes metamórficas, siendo prácticamente nula la presencia de fuentes volcánicas. Estos dos puntos son coherentes con lo observado a partir de la petrografía donde se ha podido reconocer un predominio de cuarzo mono y policristalino acompañado por líticos mayormente plutónicos y en menor medida de origen metamórficos.

Los estudios aplicados a circones detríticos por la metodología LA-ICP-MS, indican que las principales fuentes de circones detríticos para la Formación Talacasto en toda la cuenca comprenden edades del Neoproterozoico, mientras que el Mesoproterozoico y el Ordovícico se presentan como modas secundarias, aunque en algunos puntos particulares llegan a constituir la

principal fuente de sedimentos. Por su parte la Formación Punta Negra presenta un comportamiento heterogéneo en las poblaciones de edades obtenidas de sus circones detríticos; en la región Norte hay una alternancia entre edades ordovícicas y neoproterozoicas como aportes principales, seguidas de las edades mesoproterozoicas, mientras que hacia la región Central y Sur hay claro predominio del Mesoproterozoico como fuente principal de detritos y escasa representación del Neoproterozoico y Ordovícico. Los circones más antiguos derivados de fuentes cratónicas con edades neoarqueanas y paleoproterozoicas fueron escasamente registrados. Los análisis comparativos entre ambas unidades y testeos estadísticos aplicados (*K-S test*), demuestran que la Formación Talacasto comparte similares registros de edades U-Pb de circones detríticos con las muestras de la región Norte de la Formación Punta Negra, mientras que no se encontró correlación posible entre la primera unidad y las muestras de la Formación Punta Negra ubicadas en la región Central y Sur, debido a la abundancia de circones detríticos de edad mesoproterozoica para este sector de la cuenca. En función de los ciclos orogénicos reconocidos para el sudoeste de Gondwana (Famatiniano, Pampeano-Brasiliano, Grenvilliano, Transamazónico y Jequié) se pudo determinar que los principales aportes sedimentarios derivan de fuentes con edades correspondientes a los ciclos Pampeano-Brasiliano, Famatiniano y Grenvilliano distribuidos equitativamente para la Formación Talacasto; y con claro predominio del ciclo Grenvilliano sobre el Pampeano-Brasiliano y el Famatiniano para la Formación Punta Negra. Con una escasa participación desde áreas con componentes de edades antiguas para ambas unidades. La comparación con secuencias consideradas como posibles equivalentes a nivel local, las formaciones: Villavicencio (Precordillera Mendocina); Río Seco de los Castaños y La Horqueta (Bloque de San Rafael) y Las Lagunitas (Cordillera Frontal), muestran en menor o mayor grado elementos comunes de correlación con los diferentes niveles analizados para las secuencias del Grupo Gualilán. A partir de los antecedentes geológicos, sedimentológicos y paleobiológicos para este sector de Gondwana y los nuevos datos aportados en la presente Tesis, se expone un modelo paleogeográfico esquemático que involucra el contexto tectónico del momento y las áreas exhumadas más relevantes, evolucionando desde un margen pasivo en Devónico Inferior hacia un margen activo de convergencia el cual ha condicionado claramente la sedimentación durante el Devónico Medio.

**ABSTRACT.**

The Gualilán Group outcrops in the central region of the Argentine Precordillera and comprises two Devonian siliciclastic sedimentary sequences known as Talacasto and Punta Negra Formations. The main purpose of this Doctoral Thesis is to provide newly acquired and original information regarding the provenance of these sequences. The Gualilán Group was deposited on a peripheral foreland basin developed within the Cuyania terrane after its collision with the autochthonous boundary of Gondwana and before the accretion of the Chilenia terrane, that occurred towards the end of the Devonian and Early Carboniferous. During the Early Devonian, the sedimentation of the Talacasto Formation developed from the Rio San Juan towards the North and the sedimentation of the Punta Negra Formation in the southern region of the basin, both regions would have been separated by a topographic high called Alto Arenas. On the other hand, during the Middle Devonian there would have been the reactivation of the convergent margin towards the east, produced the approach between Chilenia and Gondwana, a rise in sea level, surpassing the topographic barrier and thus reaching the Punta Negra Formation the entirety of the basin, accompanied by changes in the concentrations of the debris contributed by the sources located to the east of the basin. To decipher the origin and source rock ages of the Gualilán Group, mineralogical, petrographical, geochemical and especially isotopic data (U-Pb and Lu-Hf analysis of detrital zircon using a LA-ICP-MS) were acquired. The geochemical analyses that weathering was intermediate and debris derived from quartz-rich to intermediate felsic igneous sources. Tectonic discrimination diagrams show mixed results, indicating a link to either an active continental margin, oceanic island arc or a passive margin, depending on the trace elements used. Trace elements indicate very scarce or null reworking and recycling processes. The combined study of zircon morphology, the cathodoluminescence internal texture and the Th / U ratios for each crystal indicate domination of plutonic over metamorphic sources, being the volcanic sources practically absent. The predominance of mono and polycrystalline quartz along with lithoclasts mostly of plutonic origin and to a lesser extent of metamorphic origin observed in the petrography is consistent with the overall zircon analysis. Detrital zircon ages were determined using a LA-ICP-MS. The main sources for the Talacasto Formation throughout the basin are dominated by Neoproterozoic ages, whereas Mesoproterozoic and Ordovician ages are secondary modes, except for certain samples. Detrital zircon ages of the Punta Negra Formation are dependant on the location within the basin: in the northern region, the Ordovician and Neoproterozoic source ages are the main contributors, followed by Mesoproterozoic ages; in the central and southern sectors of the basin, the Mesoproterozoic zircon population is dominant whereas the Neoproterozoic and Ordovician ages are scarce. The oldest zircon grains derived from cratonic sources with Neoproterozoic and Paleoproterozoic ages were scarcely recorded. The statistically comparative K-S test indicate similarities in the U-Pb detrital zircon ages between the

Talacasto Formation and the samples of the Punta Negra Formation from the northern region; no correlation was found between the first unit and the samples of the Punta Negra Formation taken within the central and southern sector of the basin.

Recognising the orogenic cycles accepted for the southwest of Gondwana (Famatinian, Pampean-Brazilian, Grenvillian, Transamazonian and Jequié), it can be determined that the main sedimentary contributions derived from sources with ages corresponding to the Pampean-Brazilian, Famatinian and Grenvillian cycles. These cycles are equitably distributed for the Talacasto Formation, whereas in the Punta Negra Formation the Grenvillian cycle dominates over the Pampean-Brazilian and the Famatinian ones. Source areas comprising older ages are scarcely recorded for both units. The comparison between the Gualilán Group and possible local correlative formations such as the Villavicencio (Mendocina Precordillera); the Río Seco de los Castaños and La Horqueta (San Rafael Block), and the Las Lagunitas (Frontal Cordillera) indicate different degrees of correlations showing more or less common elements. Based on the geological, sedimentological and paleobiological background for this sector of Gondwana and the new data provided in this Thesis, a schematic paleogeographic model is proposed, which involves the actual tectonic context and the most relevant exhumed areas, evolving from a passive margin in Lower Devonian to an active convergent margin which has clearly conditioned sedimentation during the Middle Devonian.

## I. INTRODUCCIÓN.

En la provincia geológica de Precordillera, ubicada en el centro-oeste de nuestro país (Figura I-1), se halla expuesta una espesa secuencia paleozoica, que se caracteriza fundamentalmente por el desarrollo de depósitos carbonáticos y silicoclásticos vinculados a la evolución de un margen pasivo durante el Paleozoico Inferior. Mientras que, hacia el Paleozoico Medio, se registran sucesiones predominantemente silicoclásticas relacionadas al relleno de una cuenca de antepaís periférica.



**Figura I-1.** Mapa de la República Argentina con las diferentes provincias geológicas. Modificado de Ramos (1999).

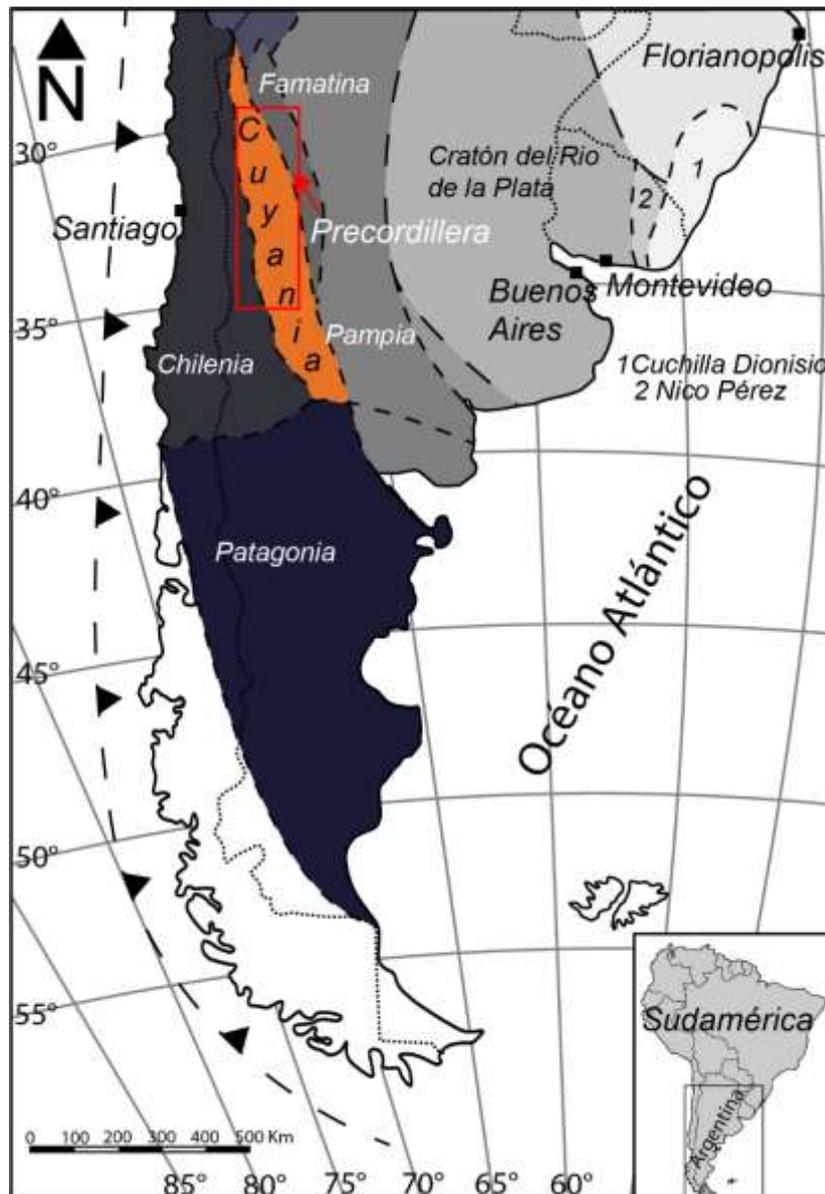
A pesar de ser unidades estudiadas desde diferentes enfoques disciplinarios, su procedencia e historia tectónica siguen presentando grandes interrogantes, siendo el objetivo principal del presente trabajo de Tesis Doctoral, dilucidar algunos aspectos relacionados a la evolución de las unidades silicoclásticas devónicas presentes en la Precordillera Central. De esta manera, se pretende aportar datos que permitan comprender si las unidades devónicas fueron depositadas en un único depocentro y responder a ciertas incógnitas tales como: ¿Cuáles fueron las rocas fuentes de detritos que aportaron a la cuenca?, ¿Cuál fue el papel que tenía el margen occidental de Gondwana en el control de la sedimentación? y ¿Qué relación existe entre las unidades del Paleozoico Medio de la Precordillera con otras unidades de la misma edad ubicadas en las provincias geológicas cercanas?, entre otras.

La Precordillera *sensu stricto* (*s. s.*) fue definida por Furque y Cuerda en 1979 como una provincia geológica alongada en sentido Norte-Sur en el Oeste de Argentina, que alcanza unos 500 km de longitud por unos 80 a 110 km de ancho. Desde que fue considerada como fragmento cortical probablemente exótico a Gondwana durante gran parte del Paleozoico Inferior, Ramos *et al.* (1986) han denominado a esta región como terreno Precordillera, sin embargo, otras regiones conformarían la “*great Precordillera*” (Astini *et al.*, 1995). Ramos *et al.* (1996) lo propusieron como terreno compuesto de Cuyania para diferenciarlo del término Precordillera en sentido estricto, descrito originalmente. Este terreno estaría integrado por los depósitos de plataforma carbonáticos cámbrico-ordovícicos de la Precordillera y del Bloque de San Rafael, más el basamento grenvilliano y Grupo Caucete (Neoproterozoico-Cámbrico Inferior) aflorantes hacia el Este en la sierra de Pie de Palo. Posteriormente, Sato *et al.* (2000) extienden este terreno hasta el Bloque de Las Matras por la presencia de un basamento de igual edad (Figura I-2).

Las principales características del terreno Cuyania es que presenta en relación al resto de Gondwana occidental un registro lito y bioestratigráfico diferente, esencialmente durante el Cámbrico y el Ordovícico Temprano, que permitiría considerar, a este fragmento cortical, junto a otras evidencias, como un sector alóctono. Así, se identifica el registro de una espesa plataforma carbonática cámbrico-ordovícica que se halla ausente para el resto de Sudamérica considerando su paleolatitud para ese lapso temporal, con un particular registro diferente a las asociaciones fósiles registradas para el ámbito gondwánico (Benedetto, 1993; Benedetto *et al.*, 1999).

El basamento del terreno Cuyania, aflora principalmente en la Provincia geológica de las Sierras Pampeanas Occidentales, específicamente en la Sierra de Pie de Palo, los cerros Barbosa y Valdivia, en las Sierras de Umango, Espinal, Maz y Toro Negro, además de aflorar en los bloques de San Rafael y de Las Matras. Mientras que en la Precordillera en basamento puede dividirse de acuerdo a las provincias geográficas que se encuentra. En la Rioja el basamento aflora en la región de Jagüé, el cual es denominado como Complejo Metamórfico Río Bonete (Martina *et al.*, 2009), para Mendoza se reconocen un basamento conformado por rocas ígneas y metamórficas. Las rocas metamórficas se encuentran aflorando en los cordones de las Cortaderas

y Alojamiento, estas fueron diferencias por Cuchi (1972) en dos unidades: Formación Cortaderas y Formación Alojamiento, hacia el sur en la región de Uspallata las rocas metamórficas fueron agrupadas en tres unidades: formaciones Farallones, Bonilla y Buitre (Borrello, 1969; Varela, 1973). El metamorfismo alcanzaría las facies de esquistos verdes (Camino 1993) y dicho evento fue determinado para el Devónico temprano (Davis et al., 1999). El otro componente del basamento corresponde a rocas máficas y ultramáficas, comprende a gabros, microgabros y diques máficos con edades U-Pb entre los 576 y 418 Ma.



**Figura I-2.** Distribución de los diferentes terrenos acrecionados y delimitación del área de estudio dentro del terreno Cuyania, modificado de Ramos (1999).

Por su parte en la provincia de San Juan el basamento no aflorante, se conoce únicamente a través de xenolitos asociados a cuerpos andesíticos a dacíticos de edad miocena como el Cerro de La Sal y Cerro Blanco (Leveratto, 1968; AbruZZi *et al.*, 1993), estos xenolitos de corteza superior

se encuentran altamente deformados, corresponden a rocas máficas a silíceas en facies de granulitas a esquistos verdes con afinidades químicas que sugieren protolitos grenvillianos juveniles (Abruzzi *et al.*, 1993). Es a partir de dataciones isotópicas que se estableció una edad U-Pb ente 1,1 y 1,2 Ga (Abruzzi *et al.*, 1993; Kay *et al.*, 1996, Rapela *et al.*, 2010). Siendo estos xenolitos muy similares, pero no idénticos al basamento de la Sierra de Pie de Palo. El basamento del terreno Cuyania se encuentra caracterizado por contenidos isotópicos deprimidos de Nd, Sr y Pb y edades modelo  $T_{DM}$  mesoproterozoicas, muy similares a rocas de la misma edad expuestas en el sector Este de Laurentia (Sato *et al.*, 2004, Ramos, 2004; Vujovich *et al.*, 2005 y referencias).

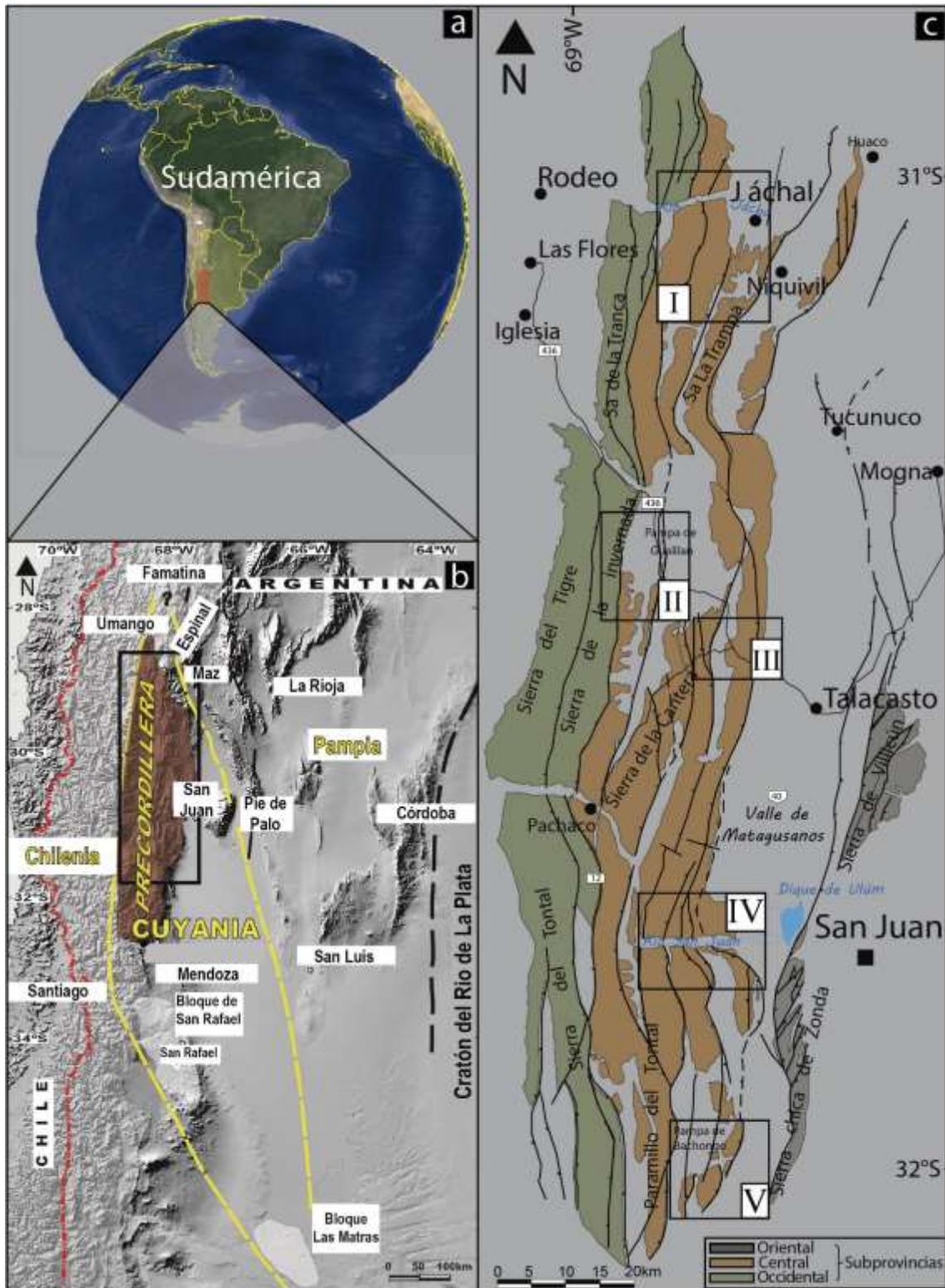
#### A. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La Precordillera (Furque y Cuerda 1979; Baldis y Bordonaro 1984 y referencias) está situada en el Oeste de Argentina entre los 28°30' y 33° de latitud Sur. Hacia el Sur limita por un contacto tectónico o es cubierta mediante discordancia por rocas mesozoicas y cenozoicas de la cuenca Cuyana (Keller, 1999; Sato *et al.*, 2015) hacia el Este, se encuentra separada de las Sierras Pampeanas Occidentales por el valle de Tulúm-Bermejo, mientras que, al Norte, la Cordillera Frontal cubre a la Precordillera formando una cuña contra el cordón de Famatina y hacia el Oeste se separa de la Cordillera Frontal por el valle de Calingasta-Uspallata-Iglesia, (Figura I-1).

La zona de estudio abarca localidades clásicas de la Precordillera, más precisamente de la Precordillera Central Sanjuanina, donde se encuentran representadas las mejores secciones con exposiciones de las Formaciones Talacasto y Punta Negra, secuencias sedimentarias devónicas, objeto de estudio del presente trabajo de tesis. Esta extensa región de nuestro país queda comprendida entre los 29° y 32° de latitud Sur y los 67° y 69° de longitud Oeste, incluida en el sector más austral de los Andes centrales (Figura I-3). De esta región se seleccionaron 5 áreas de estudio que de Norte a Sur son:

- I) Cercanías a la localidad de San José de Jáchal (involucra los afloramientos de Loma de los Piojos, Las Aguaditas, Río de Las Casitas, Río de las Chacritas y Río Jáchal)
- II) Sierra de la Invernada (Quebrada Agua del Puntudo).
- III) Quebrada de Talacasto (Quebradas: Poblete Norte, Poblete Sur, de Las Burras)
- IV) Río San Juan (Quebradas: Áspera, de las Plantitas, del río Sassito, del río Sasso).
- V) Quebrada de la Flecha (Puesto Bachongo).

Dentro de la Precordillera Central las áreas se encuentran ubicadas en los bloques serranos de dirección Norte-Sur comprendidos entre el río Jáchal al Norte y el río San Juan al Sur, destacándose las sierras: de La Trampa, del Durazno, de Talacasto, de La Cortadera, de Paramillos del Tontal, cerro La Chilca y Negro de Zonda, entre otros, donde tiene sus mejores afloramientos el Grupo Gualilán (Baldis y Sarudiansky 1975). Este Grupo está compuesto por la Formación Talacasto (Padula *et al.*, 1967) en la base y la Formación Punta Negra (Braccini, 1949) en el tope. Ambas unidades conforman un conjunto sedimentario concordante de edad devónica en su



**Figura I-3.** a: Representación del terreno Cuyania dentro del contexto sudamericano. b: Detalle del terreno Cuyania donde se observan las Sierras y localidades que lo integran, destacándose la provincia geológica de Precordillera. c: Detalle de las áreas seleccionadas para la toma de muestras durante la investigación de la tesis doctoral.

totalidad, registrando un ciclo continuo de depositación, con variaciones faciales únicamente en sectores particulares de la cuenca (Baldis, 1975a). La localidad tipo para la Formación Talacasto se encuentra ubicada en la quebrada homónima, a unos 60 km al Noroeste de la ciudad de San Juan, en tanto que, la sección original de la Formación Punta Negra se ubica en la zona del Dique Ignacio de la Roza a unos 12 km de la localidad de Zonda, (Figura I-3). La base del Grupo Gualilán se encuentra en continuidad estratigráfica con unidades silúricas correspondientes a las formaciones La Chilca, Los Espejos y Tambolar (Braccacini, 1950; Heim, 1948; Astini, 1996; Astini y Maretto, 1996), en tanto que hacia el techo de la secuencia, el pasaje a unidades carboníferas (Grupo Paganzo y equivalentes) se encuentra en relación discordante (Astini 1996).

## B. OBJETIVOS.

El foco principal de este trabajo de Tesis Doctoral es caracterizar e integrar los aspectos sedimentológicos, composicionales, litogeoquímicos y geocronológicos del Grupo Gualilán, con el objetivo de revelar las edades y procedencia sedimentaria de las fuentes detríticas. Asimismo, se pretende establecer el ambiente tectónico en el cual evolucionó la cuenca devónica en el margen occidental de Gondwana y comparar con otras secuencias siluro-devónicas a lo largo del terreno Cuyania. Para tal fin, se aportan resultados de la aplicación de diversas metodologías de estudio (análisis petrográficos, geoquímicos, isotópicos y determinación de patrones de minerales pesados, entre otras).

La información obtenida permitirá discutir si el área de procedencia de los detritos ha sido la misma para ambas unidades en los distintos sectores de la cuenca; establecer la relevancia que tuvo el aporte del basamento grenvilliano y comparar con otras interpretaciones publicadas (Loske, 1994), para establecer si constituyen el resultado de una única fuente o si se encuentran involucrados aportes detríticos derivados de rocas que caracterizan otros ciclos orogénicos, conformando mezclas de fuentes. Finalmente, a partir de las interpretaciones de los resultados, se podrá proponer o ajustar un modelo paleogeográfico y geotectónico que permita explicar los procesos evolutivos de la cuenca devónica.

## C. METODOLOGÍAS.

En una primera instancia el trabajo consistió en la recopilación bibliográfica más relevante del área de estudio. Se consideraron por un lado los trabajos pioneros en donde se describieron por primera vez las unidades, como la bibliografía más moderna con enfoques específicos que permiten abordar problemáticas puntuales dentro del plan de tesis. El análisis e interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas, mapas geológicos regionales y cartas geológicas del área ha sido una tarea fundamental en las etapas iniciales de la investigación. La interpretación detallada de las imágenes satelitales, permitió seleccionar cuáles áreas serían las elegidas para realizar las diversas tareas de campo y toma de muestras.

De este modo se realizaron diferentes campañas, haciendo foco en las cinco áreas antes mencionadas (cercañas de la localidad de San José de Jáchal, Sierra de la Invernada, Quebrada de Talacasto, Río San Juan y Quebrada de la Flecha). En estos sectores se levantaron perfiles columnares, cortes estructurales esquemáticos, recolección de material fósil, toma de fotografías para ilustrar el manuscrito. Los muestreos se llevaron a cabo según las técnicas y metodologías de análisis que se aplicarían. Para el estudio de minerales pesados se recolectaron aproximadamente 5 kg de material, se seleccionaron sedimentitas de tamaño preferentemente arena mediana, mientras que para los análisis geoquímicos se colectaron aproximadamente 200 g de material pelítico que también sería utilizado para análisis por difracción de rayos X (DRX). En todas las muestras psamíticas se realizaron cortes delgados para el estudio petrográfico en gabinete.

La preparación de muestras estuvo destinada principalmente a la obtención de minerales pesados que permitan a partir de diferentes estudios, indicar la naturaleza de las rocas fuentes y por ende estimar la procedencia sedimentaria de las unidades analizadas. Esto involucró procesos de trituración, molienda, tamizado, lavado, pre-concentrado y finalmente con la técnica de *hand-picking* separación de minerales pesados bajo lupa binocular para posteriores análisis. Entre los estudios, la tipología y morfología de circones se realizó con particular detalle, esto permitió de una manera preliminar estimar el origen de la fuente de detritos. Los análisis isotópicos de U-Pb y Lu-Hf se efectuaron mediante la aplicación de la metodología *Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (LA-ICP-MS) desarrollada en el Centro de Pesquisas Geocronológicas (GPGeo) de la Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Por otro lado, se aplicaron técnicas y procedimientos de laboratorio tendientes a resolver problemáticas vinculadas a la determinación de la procedencia sedimentaria, tales como:

**Petrografía sedimentaria:** se efectuaron análisis petrográficos comparativos de diferentes secciones dentro y entre las unidades de interés. Asimismo, se analizaron de igual modo las unidades infra y suprayacentes al Grupo Gualilán. Se analizaron y describieron la totalidad de las muestras psamíticas, poniendo énfasis en aquellas que involucrarían posteriores investigaciones isotópicas para la obtención de edades geocronológicas y parámetros petrogenéticos. El estudio microscópico consistió principalmente en la determinación mineralógica, reconocimiento de texturas y micro estructura, presencia de minerales pesados y establecer en lo posible condiciones de diagénesis y deformación. Esto permitió caracterizar las similitudes y diferencias en los procesos de sedimentación que se desarrollaron en ambas unidades.

**Difractometría de rayos X (DRX):** La DRX permite, mediante el estudio del ángulo de difracción ( $2\theta$ ), reconocer las distintas especies minerales presentes de una forma detallada y precisa, es una herramienta muy útil en el reconocimiento de los minerales del grupo de las

arcillas. Además, midiendo el ancho del pico de algunos minerales es posible extraer información complementaria como su origen, condiciones diagenéticas, metamorfismo, etc.

**Microscopía electrónica de barrido (MEB):** Esta metodología fue necesaria en el estudio morfológico y tipológico de circones, haciendo hincapié en las características cristalográficas, intercrecimientos y características de las superficies de los cristales, como así también en el reconocimiento de otros minerales pesados. Este procedimiento fue desarrollado con la utilización del microscopio electrónico de barrido (MEB) del Museo de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Por otro lado, resultó de gran utilidad en la determinación de varios minerales pesados, el estudio bajo el microscopio electrónico con acople de análisis geoquímico semicuantitativo (MEB-EDAX), llevado a cabo en el Centro de Investigación y Desarrollo de Ciencias Aplicadas (CINDECA, La Plata), dependiente del CONICET-UNLP.

**Separación y estudio de minerales pesados:** Constituyó unos de los principales aspectos metodológicos de esta tesis doctoral, ya que permitió efectuar una parte relevante de la determinación de la procedencia sedimentaria. La concentración, variabilidad, morfología y determinación de edad junto a otros parámetros isotópicos de alguno de ellos, fueron esenciales para conocer las regiones fuente de sedimentos y llegar a analizar posteriormente la evolución tecto-sedimentaria.

**Análisis geoquímicos:** se realizó la determinación de elementos mayoritarios, minoritarios, trazas y tierras raras. Se confeccionaron diferentes diagramas de la interpretación de la procedencia sedimentaria y del ambiente tectónico. Esto permitió realizar comparaciones con otras unidades equivalentes dentro del contexto gondwánico. Los análisis se efectuaron en los laboratorios de ACME, Canadá.

**Análisis isotópicos y geocronológicos:** se efectuaron análisis isotópicos de roca total mediante el par  $Sm/Nd$  con la determinación de la composición isotópica del Nd. Asimismo, se calculó el valor de  $\epsilon Nd(t)$  y de edades modelos ( $T_{DM}$ ), los cuales aportan valiosa información como indicadores de procedencia y del ambiente tectónico, ya que no se ven modificados por procesos de sedimentación y diagénesis. Por su parte la determinación de las relaciones isotópicas por el método de  $U-Pb$  fue realizada en circones detríticos con un promedio de 60-70 cristales por muestra. La obtención de edades permitió establecer las modas principales de los detritos que rellenaron la cuenca y calcular la edad máxima de sedimentación o edad promedio de las fuentes más jóvenes para cada unidad. A partir de este análisis se estimó preliminarmente el origen de los circones en función de la relación  $Th/U$  y de la estructura interna de cada grano a partir de la obtención de las imágenes de catodoluminiscencia. Por otro lado, se determinó la composición del sistema  $Lu-Hf$  a un promedio de 30 circones por muestra previamente analizados por la metodología  $U-Pb$ . Esta sistemática resulta de gran interés ya que permite descifrar las

características del magma del cual cristalizaron estos circones, pudiendo establecer y diferenciar por lo tanto su tipo de fuente.

**Estudio del material fosilífero:** ambas unidades son portadores de restos fósiles de diferente naturaleza (plantas e invertebrados). Este trabajo consistió principalmente en el muestreo o fotografiado *in situ*, limpieza, identificación del material colectado para lograr un registro fotográfico de los fósiles más representativos de cada unidad. Asimismo, se llevó a cabo un estudio bioestratigráfico de la Formación Punta Negra que permitió comprender la evolución paleogeográfica de la cuenca.

De esta manera, el estudio de la morfología de circones detríticos y otros minerales pesados, sus características isotópicas a partir de los métodos U-Pb y Lu-Hf, la geoquímica de roca total con la determinación de los contenidos de elementos mayoritarios, minoritarios, trazas y de tierras raras, el estudio isotópico de Sm-Nd (roca total) para obtención de edades modelo ( $T_{DM}$ ) de las rocas fuentes, constituyen algunos de los aspectos centrales a partir de los cuales se sustentan las conclusiones arribadas.

#### D: ANTECEDENTES.

La Precordillera (*sensu lato*), fue reconocida como una unidad geológica desde finales de siglo XIX por Burmeister (1876) y Stelzner (1873) pero debe su nombre a Bodenbender (1902).

Los antecedentes sobre la geología regional del área son numerosos, abarcando varios aspectos de una de las regiones emblemáticas de la geología argentina. Desde el reconocimiento inicial de las sedimentitas marinas devónicas en el Centro-Oeste de Argentina con las contribuciones de Kayser (1897), Bodenbender (1902), Thomas (1906), Stappenbeck (1910) y Keidel (1921) pasando por los mapeos regionales existentes de Furque (1979 y 1983), Cuerda *et al.* (1985) entre otros.

Los datos obtenidos a partir de la geoquímica isotópica realizados sobre las rocas del basamento sustentan un modelo de aloctonía del terreno Cuyania derivado de Laurentia (Ramos *et al.*, 1986; Dalla Salda *et al.*, 1992a; Astini *et al.*, 1995). Sin embargo, otros autores proponen una evolución de para-autoctonía basándose en datos bioestratigráficos y estructurales además de dataciones en circones detríticos, en donde el terreno mencionado se habría desplazado durante el Ordovícico-Devónico desde la región Sur de Gondwana (Aceñolaza *et al.*, 2002; Finney *et al.*, 2005). Estas interpretaciones contribuyeron a la discusión acerca del modelo de evolución tectónica para la Precordillera.

El terreno compuesto de Cuyania está integrado por diferentes unidades morfoestructurales: la Precordillera (*sensu stricto*), las Sierras Pampeanas Occidentales y los bloques de San Rafael y Las Matras (Ramos *et al.*, 1996; Ramos, 2004), se considera que todas estas regiones compartieron una historia común hasta el Paleozoico Inferior.

### **D1. Grupo Gualilán.**

Este Grupo debe su nombre a Baldis (1975a), quien considera que habría tres localidades tipo ubicadas a lo largo de la Precordillera Sanjuanina:

- 1) *Tambolar, sobre el río San Juan*: en el que se registra una secuencia completa de la Formación Talacasto en su expresión de “facies marginal” y de la Formación Punta Negra en su “facies características” (Baldis, 1973).
- 2) *Quebrada de Talacasto*: donde aflora el perfil tipo de la Formación homónima y la Formación Punta Negra en sus “facies características”.
- 3) *Cordón de los Blanquitos (SO de Jáchal)*: caracterizado por la presencia de la Formación Talacasto con sus mayores espesores y la Formación Punta Negra con manifiesto cambio de “facies noroeste” (Baldis, 1973).

La descripción original de Baldis (1975a) detalla que *“el Grupo Gualilán incluye las Formaciones Talacasto y Punta Negra en sus secciones tipo y en sus distintas variaciones de facies... [El agrupamiento se considera] suficientemente justificado..., ya que ambas unidades conforman un complejo sedimentario concordante, de edad probablemente devónica en su totalidad y que aparentan un ciclo continuo de deposición variable únicamente en las condiciones particulares de la cuenca sedimentaria. ... Se adopta el nombre de Gualilán pues, a partir de esa comarca, y en forma epicéntrica a la misma, es posible establecer los mayores cambios de facies en cada una de las unidades agrupadas”*.

D1a. Formación Talacasto: Padula *et al.* (1967) propusieron el nombre de Formación Talacasto para el conjunto de sedimentitas devónicas fosilíferas conocidas hasta ese momento en la comarca central-oriental de la Precordillera como “Eodevónico”, “Devónico Inferior” o “Devónico marino”. La localidad y sección tipo se ubica en la Quebrada homónima, unos 60 km al Noroeste de la ciudad de San Juan.

En cuanto a su contenido fósil, respecto a datos de micropaleontología se encuentra restringido a las descripciones de palinomorfos en el área del Cerro del Fuerte (Le Hérisse *et al.*, 1997), Sierra de La Minitas (Rubinstein *et al.*, 2010) y Loma de los Piojos (García Muro *et al.*, 2018). La unidad cuenta con un amplio registro de macroinvertebrados marinos (Castellaro, 1966) de afinidades malvinocáfricas, en ocasiones excepcionalmente preservados. Los grupos mejor representados son en general braquiópodos (Amos y Boucot, 1963; Herrera, 1993, 1995a, 1995b; Levy y Nullo, 1970a, b; 1972a, b; Méndez Alzola y Sprechmann, 1971; Racheboeuf y Herrera, 1994; Racheboeuf *et al.*, 1998), bivalvos (Sánchez *et al.*, 1995), trilobites (Thomas, 1906; Cuerda y Baldis, 1971; Baldis, 1967, 1975a, b; Baldis y Peralta, 1991; Edgecombe *et al.*, 1994a, b; Vaccari *et al.*, 1994; Waisfeld *et al.*, 1994; Rustán y Vaccari 2010a, b, 2012a, b; Rustán *et al.*, 2011a, b; Holloway y Rustán, 2012), equinodermos (Haude, 1995, 2004; Haude y Sterren, 2006;

Haude *et al.*, 2007a, b; Ruedemann, 1916; Waisfeld, 1988), ostrácodos (Baldis y Rossi de García, 1972; Salas *et al.*, 2013) y corales (Baldis, 1971; Fernández-Martínez *et al.*, 1999, 2002, 2007; García López y Fernández-Martínez, 1995; Rodríguez *et al.*, 2002; Carrera y Halpern, 2011). Plantas relacionadas con el género *Cooksonia* son conocidas en la sección tipo (Edwards *et al.*, 2009). Ante la ausencia de grupos de mayor utilidad bioestratigráfica, como conodontes y graptolitos, las edades se han ajustado en base a braquiópodos. Las mayores precisiones fueron aportadas por Herrera (1991, 1993, 1995b), Racheboeuf y Herrera, (1994) y Herrera y Bustos (2001).

El Miembro inferior de lutitas verdes porta braquiópodos referibles al Lochkoviano no basal; el Miembro de areniscas azules suprayacente contiene trilobites y braquiópodos correspondientes al Lochkoviano Tardío-Pragian; el Miembro de lutitas nodulares contiene braquiópodos de edad emsiana temprana, mientras que en los niveles suprayacentes registrados en las secciones del Norte de la Precordillera Central, el contenido en braquiópodos señala tentativamente edades del Emsiano Temprano Tardío o más jóvenes (Herrera, 1993; Herrera y Bustos, 2001). Así, la base de la unidad no sería más antigua que el Lochkoviano (no inicial) en toda la cuenca, mientras que el techo sería de edad pragiana tardía-emsiana temprana en la sección de Talacasto y más al Sur, llegando a edades posiblemente más jóvenes que el Emsiano temprano hacia el Norte.

D1b. Formación Punta Negra: Fue definida por Braccini (1949) inicialmente como Complejo Punta Negra, para correlacionar los afloramientos del perfil de Tambolar con los llamados “estratos post-devónicos” reconocidos por Keidel (1921), en la sección de Loma de los Piojos. Con posterioridad Padula *et al.* (1967), manifestaron explícitamente la intención de elevar formalmente la unidad al rango de Formación (p.177), a pesar de reconocer que el término “Formación Punta Negra” había sido empleado ya por Braccini en 1950.

La sección tipo de acuerdo a Padula *et al.* (1967) se desarrolla a lo largo del río San Juan. Para Baldis (1973), siguiendo las descripciones originales de Braccini (1949), la sección tipo se ubica en la margen Norte del Río San Juan, en las exposiciones de los desmontes realizados para la construcción del dique nivelador, unos 28 km al oeste de la ciudad de San Juan.

En cuanto al material paleontológico, cabe consignar que las trazas fósiles son muy frecuentes y diversas (Peralta y Aceñolaza, 1988; Peralta y Ruzzycki, 1990; Bustos, 1996; Edwards *et al.*, 2009), habiéndose reconocido icnofacies de *Nereites*, *Cruziana* y *Skolithus*. Briznas carbonosas no identificables resultan muy abundantes particularmente en la interfase de los paquetes pelíticos-psamíticos, y los restos mejor preservados han permitido reconocer los géneros *Sporogonites?*, *Pachyteca*, *Hostinella*, *Cyclostigma*, *Isidrophyton?*, *Salopella* y *Haplostigma* (Frenguelli, 1951, 1952; Menéndez, 1967; Baldis, 1973; Poiré y Morel, 1996; Poiré *et al.*, 2005; Edwards *et al.*, 2009). Se han mencionado evidencias palinológicas del Emsiano Temprano

inicial, provenientes de la base de la unidad en la localidad de Talacasto (Herrera y Bustos, 2001). Para la misma localidad, pero sin mayores precisiones estratigráficas, se han reconocido otras dos asociaciones palinológicas: una eifeliana–givetiana (Rubinstein, 1999), y otra no más joven que el Givetiano (Rubinstein, 2000). La fauna de invertebrados marinos es escasa y poco conocida (Padula *et al.*, 1967; Baldis, 1973). En la sección de Río de las Chacritas, Herrera y Bustos (2001) reportaron crinoideos, restos de trilobites, bivalvos, y braquiópodos, éstos últimos referidos a los géneros *Metaplasia?*, *Mutationella* y *Salopina*, en asociación con conetáceos (Herrera, 1995b) y discínidos. Más tarde se reconoció el trilobite indicador del Devónico Medio *Acanthopyge* (*Lobopyge*) *balliviani*, en una asociación similar y de posición estratigráfica equivalente en la vecina sección de Loma de los Piojos (Rustán y Vaccari, 2010b). En coincidencia con esta evidencia, se han reconocido asociaciones de braquiópodos Emsiano Tardío-Eifeliano Temprano en el área de Pachaco (Peralta *et al.*, 1995), y a su vez Bustos y Astini (1997) en base al cálculo del tiempo de depositación han considerado que la unidad no superaría el Devónico Medio.

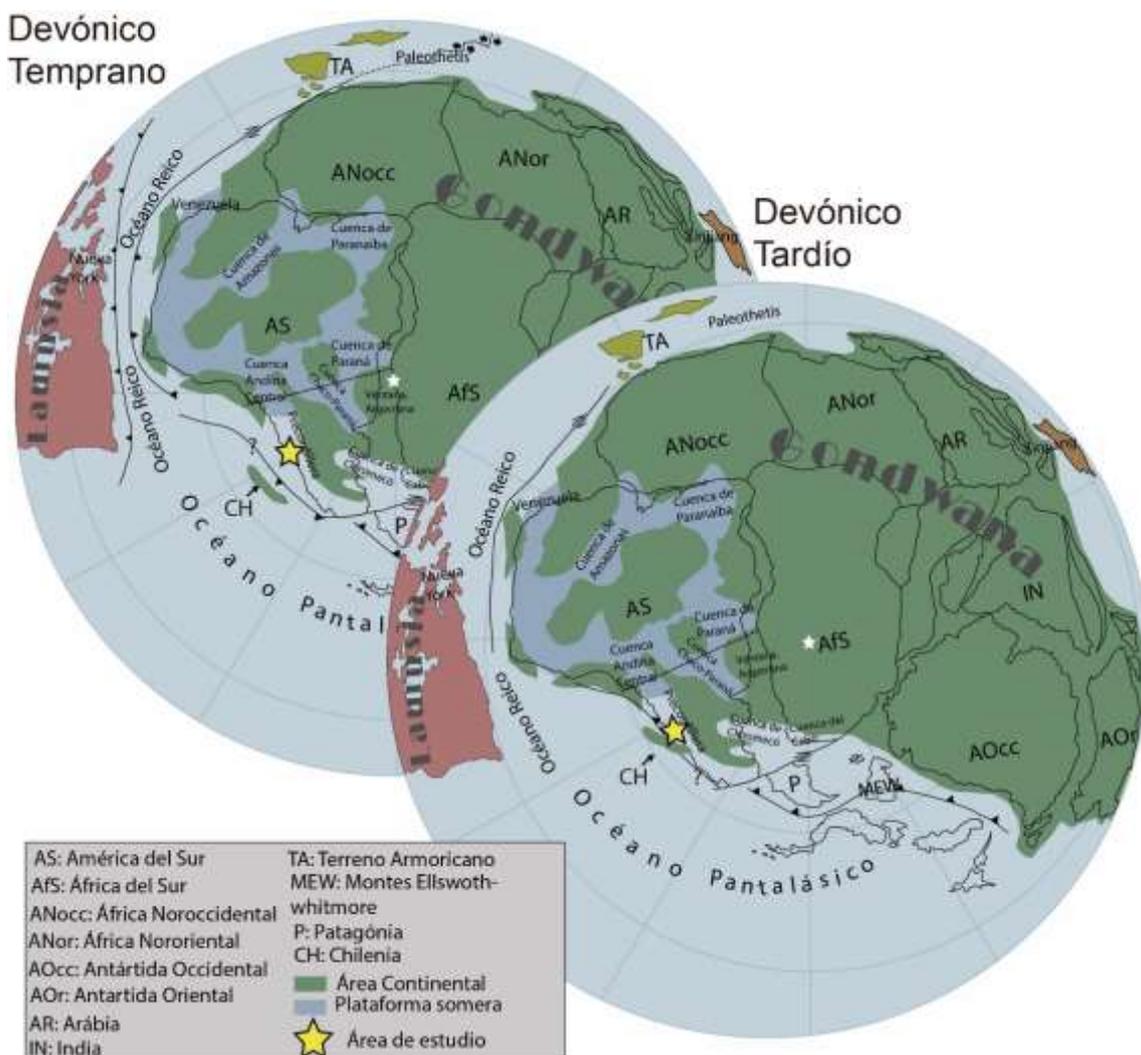
De acuerdo con esto, una edad mínima devónica superior sólo está sugerida por algunos indicios paleoflorísticos (Frenguelli, 1951, 1952; Baldis 1973) y, por lo tanto, registros del Devónico Tardío (Frasniano), deben considerarse con dudas. En atención al resumen de la información paleontológica que sustenta las dataciones la base de la unidad podría considerarse diacrónica (Herrera y Bustos, 2001). Las edades máximas corresponderían al Emsiano Temprano inicial en las secciones de Talacasto y más al Sur, pero no serían más antiguas que Emsiano Tardío al Norte del área de extensión, en la región del río Jáchal.

Cabe destacar que Loske (1992, 1994 y 1995) da a conocer las primeras edades de circones detríticos de las unidades devónicas de la Precordillera Central, mediante el método de dilución isotópica en grupos de cristales idiomorfos, bajo el método U/Pb. Llegando a obtener edades de cristalización para los mismos de 1,1 Ga asignando tentativamente como área de aporte a la Sierra de Pie de Palo, mientras que recientemente Arnol *et al.* (2020) como parte de este trabajo de tesis, proporcionan datos isotópicos por el método U-Pb por la metodología LA-ICP-MS para ambas unidades, confirmando como área de aporte para la Formación Punta Negra al orógeno Grenvilliano, mientras que para la unidad inferior, Formación Talacasto las rocas pertenecientes a los ciclos orogénicos Famatiniano y Pampeano-Brasiliano, fueron dominantes en el aporte a la sedimentación de esta unidad.

## II. EL ÁREA DE ESTUDIO DENTRO DEL CONTEXTO GONDWÁNICO.

### A. PALEOGEOGRAFÍA.

Hacia finales del periodo Silúrico e inicios del Devónico el paleo-polo sur se encontraba entre África y Sudamérica, muy próximo a la costa de África. Posteriormente, hacia el Devónico Tardío, este habría migrado hacia el interior del continente africano, como consecuencia del movimiento de las placas tectónicas, evidenciando que durante este periodo de tiempo la región bajo estudio siempre se mantuvo en valores de latitudes altas. Recientemente, el sudoeste de Gondwana ha sido objeto de varios estudios paleoecológicos y biostratigráficos mejorándose de esta manera el conocimiento sobre la fauna Malvinocáfrica, es decir un entorno marino con aguas templadas a frías (Carrera *et al.*, 2019; Penn-Clarke, 2019).



**Figura II-1.** Contexto paleogeográfico durante el Devónico Temprano y Tardío con énfasis en las cuencas siluro-devónicas de Sudamérica (modificado de Torsvik *et al.*, 2012; Torsvik y Cocks, 2013; Uriz *et al.*, 2016).

Durante este lapso temporal el mar presentaba niveles medios más altos que los actuales, registrándose rocas marinas en muy diversas cuencas a lo largo de todo el mundo (Haq y Schutter, 2008), entre las que se incluyen las del Oeste de Gondwana (Albariño *et al.*, 2000; Bergamaschi y Pereira, 2001; Uriz *et al.*, 2016, Cingolani *et al.*, 2017, Arnol *et al.*, 2020, de Vargas *et al.*, 2020). Debido a este contexto, el océano Rheico inundó el margen SO de Gondwana, provocando la creación de varios mares interiores (Melo, 1988; Torsvik y Cocks, 2013).

Sin embargo, la eustasia no fue el único factor que influyó en los patrones de acomodación, ya que durante este período se estableció un sistema de doble subducción, que separó el margen SO Gondwana de Laurussia (Nance *et al.*, 2012; Torsvik y Cocks, 2013). Este límite de placa convergente generó mecanismos geodinámicos que permitieron la acreción de terrenos alóctonos, como por ejemplo Chilenia hacia el margen occidental de Gondwana haciendo extensivos los esfuerzos tectónicos a lo largo del dominio cratónico (Ramos *et al.*, 1986; Ramos, 1988, 2005; Heredia *et al.*, 2018). La interacción entre estos esfuerzos de intraplaca y la eustasia favoreció el desarrollo de cuencas tanto próximas al frente de colisión en el margen oeste de Gondwana (por ejemplo, Cuenca Andina Central o Precordillera Albariño *et al.*, 2000; Astini *et al.*, 2005; Astini y Marengo, 2006; Milani y De Wit, 2008 Arnol *et al.*, 2020), como en el interior continental de Gondwana Occidental, con el desarrollo de cuencas epicontinentales con depósitos marinos someros del Devónico, tales como la cuenca de Chaco-Paraná, en Argentina y Uruguay (Noetinger, 2015; Uriz *et al.*, 2016), cuenca de Paraná, en Brasil (Bergamaschi y Pereira, 2001; Milani *et al.*, 2007), cuenca del Cabo, en Sudáfrica (Penn-Clarke *et al.*, 2018, 2019) e, Islas Malvinas (Marshall, 2016), todas ellas como resultado de un evento continuo, cuyos procesos alogénicos se registraron casi de forma contemporánea en estas cuencas (de Vargas *et al.*, 2020).

## B. CUENCAS SILURO-DEVÓNICAS SUDAMERICANAS.

Como fue mencionado anteriormente, Sudamérica fue el escenario en el cual se desarrollaron durante el Silúrico-Devónico diversas cuencas sedimentarias. De acuerdo a su posición y origen dentro del continente, pueden dividirse en aquellas desarrolladas en ambientes cratónicos (intracratónicas) entre las cuales se destacan las cuencas del Amazonas y Parnaíba en el Noroeste de Brasil y la de Paraná, con desarrollo principalmente en el Sur de Brasil y Este de Paraguay, con extensión en el subsuelo con la cuenca Chaco-Paranaense en el Noreste de Argentina y centro de Uruguay (Figura II-1), y aquellas otras desarrolladas en el sector occidental, estrechamente vinculadas al océano Panthalásico, como por ejemplo la cuenca Andina Central o la cuenca de Precordillera (Figura II-1).

La cuenca del Amazonas cuenta con una amplia y espesa secuencia sedimentaria compuesta esencialmente por areniscas y pelitas del Grupo Trombetas (Silúrico), estas presentan intercalaciones de pelitas negras portadoras de nódulos sideríticos y oolitas ferruginosas. El Devónico se encuentra representado por las Formaciones Maecurú, Ereré y Curuá las cuales

varían desde facies fluvio-deltaicas pasando a pelitas marinas. Las dos primeras unidades son portadoras de una variada fauna marina del Devónico Medio.

En la cuenca de Parnaíba los sedimentos del Silúrico Temprano a Emsiano quedan comprendidos por los depósitos del Grupo Serra Grande, caracterizado por facies de abanicos deltaicos que pasan a facies de prodelta y plataforma marina abierta. Por encima de depositaron las facies marinas de la Formación Pimenteira asignadas a una edad eifeliana-givetiana. Finalmente sobre esta unidad hacia el Fammeniano se registra la presencia de diamictitas glaciales y pavimentos estriados de la Formación Cabeças la cual evidencia la proximidad de la cuenca al paleo-polo en el Devónico Medio-Superior (Streel *et al.*, 2000).

La cuenca de Paraná abarca una extensa región desde el Sur de Brasil, el Este de Paraguay, el Noreste de Argentina y centro de Uruguay. En Brasil se reconocen para este sector seis supersecuencias (Milani, 1997) siendo las dos primeras de edades comprendidas entre el Ordovícico al Devónico. La supersecuencia Rio Ivaí está constituida por el Grupo Ivaí por las Formaciones Alto Garças: areniscas cuarzosas con estructura entrecruzada de origen fluvial, e icnofósiles de *Skolithos sp.* La Formación Iapó: diamictitas de edad hirnantiana a silúrica inferior y la Formación Vila Maria: esquistos y areniscas con rica fauna de ostrácodos y gran diversidad de icnofósiles, asignada al Llandoveryano. Suprayace en discordancia la supersecuencia Paraná, litoestratigráficamente se trata del Grupo Paraná compuesto por las Formaciones Furnas, Ponta Grossa y São Domingos. Recientemente, el Grupo Paraná fue objeto de clasificación tripartita en su nomenclatura litoestratigráfica (Grahn *et al.*, 2013). La unidad basal (Formación Furnas) consiste en sedimentos del Silúrico(?) -Devónico (Borghi, 1993; Sedorko *et al.*, 2018), esencialmente areniscas, con geometrías tabulares y espesores totales que varían entre 250 y 300 m (Ramos, 1970; Bergamaschi y Pereira, 2001) depositados en ambientes fluviales, estuarinos y deltaicos (Assine, 1996). La Formación Furnas está cubierta por rocas psamo-pelíticas de la Formación Ponta Grossa de Lochkoviano Tardío (?) -Emsiano (Grahn *et al.*, 2013). La formación más alta, São Domingos, corresponde al lapso Emsiano-Frasniano, y está compuesta por lutitas de ambiente profundo (Grahn *et al.*, 2013).

En Paraguay por su parte, sobre depósitos del Ordovícico Superior yacen unidades del Grupo Itacurubí, compuesto por las Formaciones Eusebio Ayala, Vargas Peñas y Cariy. Estas secuencias corresponden a ciclos transgresivos-regresivos en una plataforma marina somera. La unidad basal compuesta por areniscas hematíticas de grano fino a medio con intercalaciones de lutitas con presencia de braquiópodos, graptolites, trilobites, cefalópodos y otros grupos de invertebrados. La Formación Vargas Peñas cuenta con espesores muy reducidos entre 10 a 25 metros, consiste en lutitas fosilíferas con abundante diversidad de graptolites, trilobites, braquiópodos, acritarcos y gastrópodos, la edad fue atribuida al Llandoveryano (Aeroniano Tardío/Telychiano Temprano) por su graptofauna (Uriz *et al.*, 2008). La Formación Cariy presenta areniscas de grano fino a medio con intercalaciones lutíticas que totalizan un espesor de

alrededor de 100 metros. La fauna se compone de *Anabaia paraia*, *Climacograptus innotatus brasiliensis*, además de bivalvos, gastrópodos, trilobites y abundante presencia de icnofósiles (Uriz *et al.*, 2008; Tortello *et al.*, 2008a-b).

Hacia el Sur, en Uruguay se reconoce para el Devónico Inferior el Grupo Durazno, el cual registra un ciclo de sedimentación transgresivo-regresivo que tuvo lugar en una plataforma marina somera silicoclástica de aguas frías. La Formación Cerrezuelo constituye la unidad basal de la secuencia y está compuesta por areniscas cuarzo-feldespatitas con abundante muscovita, siendo cubiertas por pelitas caoliníticas de la Formación Cordobés la cual presenta frecuentemente niveles ferruginosos. Esta unidad es atribuida al evento transgresivo de máxima inundación registrando una abundante fauna típica del reino malvinocáfrico que le otorga una edad emsiana (Sprechmann *et al.*, 1993; Gaucher *et al.*, 1996). Hacia el tope del Grupo se encuentra la Formación La Paloma, constituida por una sucesión psamo-pelítica a conglomerádica depositada en una fase regresiva del nivel del mar (Uriz *et al.*, 2016).

Hacia el margen Proto-Pacífico de Gondwana, en la región central de Sudamérica se dio el desarrollo de una extensa cuenca denominada Cuenca Andina Central, en ella se identificaron para el Ordovícico cuspidal e inicios del Silúrico la presencia de diamictitas de origen glacial junto a una superficie erosiva, que representaría la instalación de un ambiente glaciogénico el cual se habría extendido hasta el Silúrico (Astini, 2003; Díaz-Martínez y Grahn, 2007). Debido a su extensión esta cuenca puede ser estudiada en diferentes sectores donde las unidades reciben denominaciones particulares las cuales en muchas ocasiones pueden ser correlacionables. Para el Noroeste argentino, este pasaje está representado por las Formaciones Zapla y Lipeón. En la primera se reconocen pavimentos estriados glaciarios del Ordovícico Tardío que son sucedidos por monótonas secuencias de areniscas y limolitas de la Formación Lipeón, la cual en su base presenta niveles hematíticos. Hacia el Norte en Bolivia occidental se reconoce una potente secuencia diamictítica conocida como Formación Cancañiri, preservada entre depósitos marinos (Schönian, 2003), concordantemente le suceden areniscas micáceas y areniscas cuarcíticas de las Formaciones Huanuni y Llallagua, seguidos por los depósitos de pelitas oscuras finamente laminadas de la Formación Uncía. Hacia el techo pasan transicionalmente a la Formación Catavi, compuesta por areniscas de grano fino con intercalación de lutitas. Mientras que hacia el oriente boliviano sobre la Formación Cancañiri se desarrolla la sucesión grano y estratocreciente denominada Formación Kirusillas, esta es portadora de restos de plantas primitivas y una rica fauna del Silúrico Superior asociada al reino afrosudamericano.

En Perú la secuencia diamictítica queda representada por la Formación San Gabán y sobre esta yacen los depósitos psamíticos hasta pizarras negras de la Formación Ananea con rica fauna de braquiópodos asignándole una edad silúrica tardía.

### **B1. Cuencas siluro-devónicas en el contexto del terreno Cuyania.**

Hacia el sector occidental de nuestro país durante el Silúrico-Devónico se desarrollaron varios depocentros de gran importancia en el terreno Cuyania, estas cuencas se encontraban vinculadas al antiguo Océano Panthalásico, evolucionando en relación directa con el proceso de acreción del terreno Cuyania en el margen occidental de Gondwana, y presentando características de cuencas de antepaís (Astini 1996; Astini *et al.*, 1995).

#### B1a. Cuenca de Precordillera.

Los depósitos silúricos están representados por el Grupo Tucunuco; esta unidad fue propuesta por Cuerda (1969) para reunir a las Formaciones La Chilca y Los Espejos. La primera de edad hirnantiana tardía a llandoveryana/wenlockiana?, consta de un conglomerado basal con clastos de chert y en menor proporción de calizas dispersos en una matriz arenosa, continua una alternancia de pelitas con abundante contenido de graptolites (Cuerda *et al.*, 1988). Luego de las glaciaciones del Hirnantiano y del rol que jugaron los glaciares en la erosión de las rocas, quedan a disposición en las aguas oceánicas una gran cantidad de elementos químicos, como el fósforo y hierro que luego precipitan en las secuencias silúricas, un ejemplo de ello puede verse en la parte inferior de esta unidad donde se encuentran mantos de hierros intercalados con la sedimentación de grano fino. Sobreyacen en paraconcordancia los depósitos de la Formación Los Espejos, representado por una sucesión monótona de pelitas verdes y moradas en la base, que pasan a capas de areniscas finas a medianas hacia el techo preservándose una gran diversidad de organismos entre lo que se destacan braquiópodos, gastrópodos, tentaculites y en menor medida trilobites, ostrácodos, conodontes y graptolitos. Los tramos finales de esta unidad serían diacrónicos, presentado al sur de la cuenca una edad pridoliana, mientras que hacia el norte pueden llegar al Lochkoviano Temprano.

Por su parte las secuencias devónicas se integran bajo el nombre de Grupo Gualilán y son el foco principal de esta tesis doctoral. Este Grupo está compuesto por las Formaciones Talacasto y Punta Negra, la primera conformada por una monótona secuencia pelítica que se torna más arenosa hacia el techo, es portadora de fauna malvinocáfrica por lo que se le asigna una edad devónica inferior. Continúa la sucesión con la secuencia areno-pelítica de la Formación Punta Negra, que registra briznas vegetales mal preservadas, que en ocasiones pueden ser identificables. Hacia el Sur, en la Precordillera mendocina aflora la Formación Villavicencio (Harrington, 1941), que se unidad se caracteriza por presentar facies pelíticas, heterolíticas y areniscas que se han asociado a un ambiente de plataforma proximal a distal. Ha sido referida al Devónico inferior a partir de su contenido fosilífero de plantas, trazas fósiles y palinomorfos. Es considerada como equivalente a la Formación Punta Negra por lo que será una de las unidades de comparación en los capítulos venideros. Las características estratigráficas del Grupo Gualilán en su totalidad serán desarrolladas en el capítulo III de este trabajo de tesis doctoral.

### B1a. Bloque de San Rafael.

Hacia el sector más austral del terreno Cuyania se encuentran los afloramientos del Bloque de San Rafael, allí es posible encontrar varias unidades pre-carboníferas entre las que se destacan para este lapso temporal las Formaciones Rio Seco de los Castaños y La Horqueta. La primera asignada a una edad silúrica tardío-devónica temprana, caracterizada por facies *humocky* que indicarían un rápida depositación de los sedimentos y acción de tormentas, la unidad cuenta con presencia de detritos vegetales, que por su estado de preservación sugiere que las fuentes continentales no se encontraban muy alejadas al depocentro (Morel *et al.*, 2017). Por su parte la Formación La Horqueta fue depositada en un ambiente marino, encontrándose dominada principalmente por metaareniscas, metapelitas y escasos metaconglomerados. En la petrografía de las metaareniscas puede observarse que la matriz se encuentra recristalizada. La edad máxima de sedimentación de la unidad queda comprendida entre el límite Siluro-Devónico, la cual ha sido determinada a partir de los registros U-Pb en circones detríticos (Cingolani *et al.*, 2008; Abre *et al.*, 2017; Tickyj *et al.*, 2017).

### III. GEOLOGÍA REGIONAL.

#### A. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.

La provincia geológica de Precordillera comprende una alargada franja montañosa de unos 500 km de longitud por unos 110 km de ancho máximo (Ramos, 1988) abarcando desde los 28°30' a 33° de latitud Sur, y desde los 68°15' a 69°45' de longitud Oeste de Sudamérica, ocupando en territorio argentino la porción Sur de la provincia de La Rioja, atravesando la región central de San Juan y el Norte de Mendoza (Figura III-1). Se diferencia de las provincias geológicas vecinas por el desarrollo de depósitos sedimentarios del Paleozoico, especialmente debido a la sucesión fosilífera del Cámbrico y del Ordovícico Inferior-Medio. La Precordillera constituye una faja plegada y corrida de doble vergencia, vinculada con la sub-horizontalización de la placa de Nazca durante el Neógeno (Jordan *et al.*, 1983; Cristallini y Ramos, 2000; Ramos *et al.*, 2002), la cual involucra las secuencias sedimentarias paleozoicas del sector occidental y central con estructura epidérmica y vergencias hacia el Este, y un sector oriental donde las fallas afectan el basamento de las Sierras Pampeanas Occidentales conformando una estructura de piel gruesa con vergencia hacia el Oeste (Ortiz y Zambrano, 1981; Mingramm, 1985). Sin embargo, se reconoce una deformación pre-andina que según Alonso *et al.* (2005) le atribuyen la clásica estructura de faja plegada y corrida precordillerana a la orogenia gondwánica (Pérmico temprano) la cual habría sufrido una reactivación durante la orogenia andina.

El basamento sobre el que se apoyan las secuencias sedimentarias es conocido de forma indirecta a través de xenolitos, los cuales fueron arrastrados hasta la superficie por cuerpos



**Figura III-1.** Sector precordillerano abarcando las Provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza

volcánicos miocenos. Las primeras menciones fueron realizadas por Leveratto (1968), quien describe la presencia de xenolitos conformados por rocas metamórficas. Estudios posteriores, de mayor detalle sobre estos xenolitos fueron realizados por Abruzzi *et al.* (1993) quienes diferencian fragmentos de anfibolitas, ortogneises biotíticos, gneises granulíticos y granulitas piroxénicas de corteza superior. Los estudios geoquímicos arrojan valores asociados a protolitos de composición basáltica. Los análisis isotópicos indican edades grenvillianas, con datos U-Pb en circón de  $1188 \pm 122$  Ma. Posteriormente, Kay *et al.* (1996), confirmaron dichas edades registrando valores entre  $1096 \pm 50$  Ma. y  $1102 \pm 6$  Ma. Más recientemente, Rapela *et al.* (2010), obtienen para un xenolito máfico dos edades mesoproterozoicas: 1165 Ma (cristalización) y 1060 Ma (posible evento metamórfico). Basándose en las relaciones isotópicas de Pb, relacionan a los xenolitos con las rocas que componen el basamento de la Sierra de Pie de Palo.

De acuerdo a las características del basamento y las particularidades de las unidades carbonáticas cámbrico-ordovícicas presentes en la Precordillera argentina, se interpretó a esta región como un fragmento exótico de corteza derivado de Laurentia (Ramos *et al.*, 1986; Mpodozis y Ramos 1989; Dalla Salda *et al.*, 1992a; Astini *et al.*, 1995; Thomas y Astini 1996; Dalziel 1997; Keller, 1999; entre otros).

Sobre la base de la estratigrafía y la tectónica Andina, la Precordillera puede ser dividida en tres sectores morfoestructurales bien definidos, reconocidos como: Precordillera Oriental, Precordillera Central y Precordillera Occidental (Baldis y Chebli, 1969; Ortiz y Zambrano, 1981; Baldis *et al.*, 1982) (Figuras III-2, 3, 4). Astini *et al.* (1995) de acuerdo a las características tectosedimentarias dividen a los depósitos eopaleozoicos de la Precordillera en dos tectofacies: tectofacies orientales, que integran los afloramientos de la Precordillera Oriental y Central, y la occidental con rocas netamente de la Precordillera homónima.

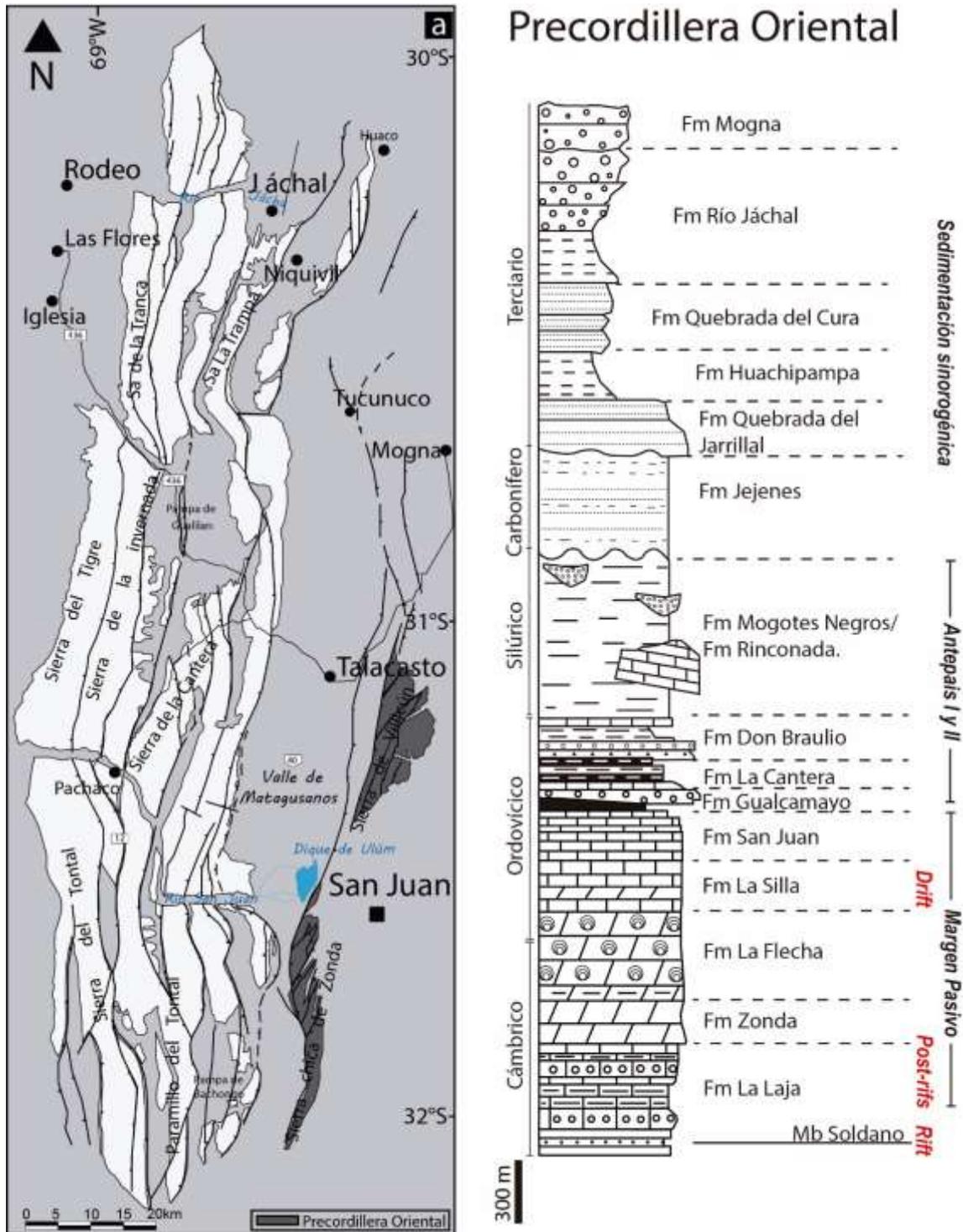
#### **A1. La Precordillera Oriental.**

En términos estratigráficos se caracteriza por presentar depósitos de plataforma carbonática de edad cámbrica-ordovícica y espesas sucesiones sinorogénicas terciarias. Las principales exposiciones de rocas carbonáticas dentro de la provincia de San Juan pueden encontrarse de Sur a Norte en el Cerro Pedernal, Sierra Chica de Zonda y Sierra de Villicum mientras que las rocas terciarias se encuentran mejor representadas en las sierras de Mogna, Morados de Talacasto y Yanzo (Figura III-2).

Entre las unidades más representativas que conforman la plataforma carbonática se encuentra el Grupo Marquesado, compuesto por las Formaciones La Laja en la base y Zonda en el techo (Bordonaro, 1980) y las Formaciones La Flecha y San Juan, abarcando un lapso temporal desde el Cámbrico Inferior Tardío hasta el Ordovícico Temprano.

La Formación La Laja o Caliza La Laja (Borrello, 1962), se compone principalmente por carbonatos con participación de material silicoclástico en su base. Se reconocen cinco Miembros:

El Estero, Soldano, Bernardino Rivadavia, Juan Pobre y Las Torres (Bordonaro, 1980; Gómez *et al.*, 2002). Siendo el quinto miembro transicional a la Formación Zonda.



**Figura III-2.** Provincia geológica de Precordillera: subprovincia de Precordillera Oriental, con sus principales afloramientos. (Sierra Chica de Zonda, Sierra de Villicum y Sierra de Mogna) Columna estratigráfica de síntesis con las unidades más representativas. Modificado de Astini *et al.* (1995) y Ramos (1999). Sedimentos terciarios fuera de escala.

La Formación Zonda (Bordonaro, 1980) está íntegramente conformada por dolomías y calizas dolomíticas con estructuras sedimentarias de poca profundidad, no presenta restos fósiles por lo que se interpreta como cámbrica superior temprana, por su posición estratigráfica. Es cubierta por la Formación La Flecha (Baldis y Bordonaro, 1981) la cual se caracteriza por una alternancia de calizas y dolomías con abundantes cherts y estructuras algales que evidencian una plataforma parcialmente restringida. La sedimentación continúa con los depósitos de la Formación La Silla (Keller *et al.*, 1994) integrando dentro de ésta al miembro superior de la Formación La Flecha más el miembro inferior de la Formación San Juan. La Formación San Juan (Amos, 1954) representa la unidad carbonática clásica de la Precordillera, la cual hacia su techo registra una profundización de la cuenca marcada por la depositación de lutitas negras de las Formaciones Gualcamayo y Los Azules. La sedimentación continúa con las Formaciones La Cantera y Don Braulio.

En la Precordillera riojana la sucesión ordovícica se compone de las Formaciones San Juan y Gualcamayo, las cuales son cubiertas por el Grupo Trapiche conformado por las Formaciones Las Vacas, Las Plantas y Trapiche (Furque y Cuerda, 1979; Keller, 1999).

Por encima de la secuencia ordovícica se ubican los depósitos silúricos, integrados por diversas unidades las cuales afloran en diferentes sectores dentro de la Precordillera Oriental. En el borde oriental de la Sierra de Villicúm, aflora la sección tipo del Ordovícico Superior, correspondiente a la Formación Don Braulio (Peralta, 1993), cuya sección superior pasa al Silúrico Inferior. Las Formaciones Rinconada y Mogotes Negros completan la sucesión silúrica en esta región. En el Cerro Pedernal aflora la Formación Rinconada encontrándose en discordancia erosiva por encima de los depósitos ordovícicos de la Formación San Juan (Amos, 1954; Peralta, 1993). Sobre esta última, mediante una discordancia angular yacen los depósitos del Carbonífero (Grupo Paganzo y equivalentes). Culmina la secuencia con espesos depósitos de sedimentitas continentales terciarias sinorogénicas (mayores a 9000 m), compuestos principalmente por areniscas y limonitas hacia las bases y conglomerados hacia el techo que van desde el Mioceno medio al Plioceno superior – Pleistoceno, estas secuencias son interpretadas como el producto del levantamiento de la faja plegada y corrida asociada a la Precordillera (Fielding y Jordan 1988). Quedan comprendidas por las Formaciones Quebrada del Jarillal, Huachipampa, Quebrada del Cura, Río Jáchal y Mogna, entre otras (Ramos, 1999).

## **A2. Precordillera Central.**

Fue definida como región morfoestructural por Baldis y Chebli (1969). Se caracteriza por un gran desarrollo de los depósitos correspondientes al Ordovícico Inferior, Silúrico y principalmente por las facies clásticas del Devónico. Los afloramientos más representativos se encuentran a lo largo de diferentes cordones serranos, entre los que se destacan, la sierra del

Durazno, de La Cumbrecita, de La Trampa, Paramillos del Tontal, Cordón del Coronel, Cerro La Chilca, Cerro Negro de Zonda, entre otras (Figura III-3).

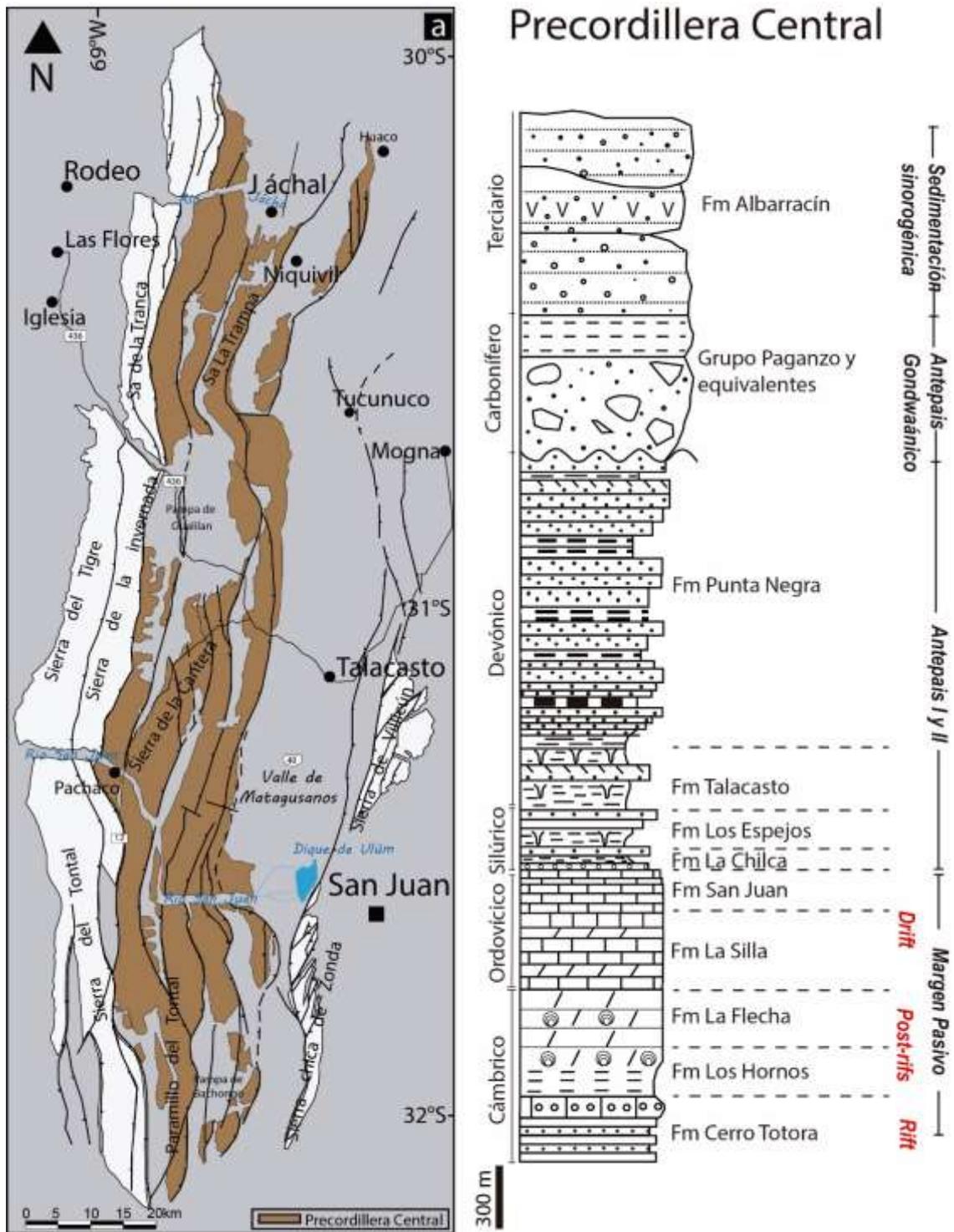
Por encima de las facies carbonáticas de plataforma, reconocidas como Formación San Juan, se apoyan en discordancia erosiva las sedimentitas silúricas, caracterizadas principalmente por depósitos psamo-pelíticos. La secuencia silúrica aflora desde el norte del Río Jáchal hasta la Sierra de la Dehesa, siendo reunidas en el Grupo Tucunuco (Cuerda, 1965), encontrándose su localidad tipo en el Cerro La Chilca e integrado por dos unidades litoestratigráficas La Chilca en su base y Los Espejos en el techo (Cuerda, 1965). La Formación La Chilca está litológicamente caracterizada por presentar un conglomerado basal compuesto por clastos de chert de aproximadamente 20 cm de espesor, seguido por pelitas laminadas de coloraciones oscuras con abundante graptofauna, por encima los depósitos se van haciendo más gruesos con una depositación rítmica aumentando la relación arena-pelita hacia el tope, en la parte alta de la unidad los bancos de arena se amalgaman, siendo más potentes hacia el Norte (Astini y Maretto, 1996). En total su espesor no supera los 200 metros, con un rango temporal desde el Hirnantiano al Llandoveryano (Cuerda *et al.*, 1988; Lenz *et al.*, 2003).

Mientras que la Formación Los Espejos se caracteriza por la presencia de un conglomerado basal ferruginoso, cubierto por pelitas verdes y moradas que alternan con horizontes fangosos, seguido de lutitas y lutitas arenosas de color verde oliva, finamente estratificadas con presencia de graptolitos, tentaculites, braquiópodos y trilobites. En la parte superior aumenta el contenido de arena conformando un típico arreglo grano y estrato creciente. Se desarrollan coquinas tabulares de origen autóctono o paraúctono. La unidad suele estar coronada por secuencias amalgamadas en los sectores Norte y Central. Las pelitas están fuertemente bioturbadas reconociéndose trazas correspondientes a la icnofacies de *Cruziana*. Los espesores máximos alcanzados en el sector Norte (Cerro del Fuerte y Loma de Los Piojos) rondan los 500 m, mientras que hacia el sur se adelgazan y no superan los 25 m de potencia (Astini y Maretto, 1996; Benedetto *et al.*, 1996).

Hacia el sector Sur, sobre las márgenes del Río San Juan, estos mismos depósitos llevan el nombre de Formación Tambolar (Braccini, 1949; Heim, 1952). La sección tipo de esta unidad se encuentra en el km 74 de la antigua ruta que unía la ciudad de San Juan con Calingasta, en el Portezuelo del Tambolar.

Por encima de los depósitos silúricos se ubican las sedimentitas correspondientes a la cuenca de antepaís del Devónico Temprano a Medio incluidas dentro del Grupo Gualilán (Baldis, 1975a) integrado por las Formaciones Talacasto (Padula *et al.*, 1967) en la base y Punta Negra (Braccini, 1949) en el techo.

Las sedimentitas correspondientes al Paleozoico Superior, esencialmente del Carbonífero integran depósitos continentales y marinos someros, los cuales constituyen el Grupo Paganzo y equivalentes, estos se disponen en paraconcordancia sobre las sedimentitas eopaleozoicas. Astini



**Figura III-3.** Provincia geológica de Precordillera: subprovincia de Precordillera Central, con sus principales afloramientos entre el Río Jáchal y cercanías de la localidad de Los Berros. Columna estratigráfica de síntesis con las unidades más representativas. Modificado de Astini *et al.* (1995) y Bercowski y Figueroa (1987). Sedimentos terciarios fuera de escala.

(1996) señala que esto es una evidencia de que al menos en este sector no hubo un levantamiento y plegamiento importante entre el Devónico y el Carbonífero como ocurrió en la Precordillera Oriental y Occidental (Baldis et al., 1982; Astini, 1996).

En el sector del Río San Juan los depósitos devónicos de la Formación Punta Negra pueden estar cubiertos discordantemente por los depósitos rojos y blanquecinos continentales terciarios de las formaciones Albarracín, Cuculi y equivalentes (Bercowski y Figueroa, 1987), las cuales corresponden a sistemas fluviales de diversas génesis y es intruída por cuerpos subvolcánicos dacíticos del Mioceno al Plioceno reconocidos como Cerro Blanco y Cerro de la Sal, siendo relevantes ya que en su ascenso arrastraron fragmentos del basamento del Terreno Cuyania, las características de estos xenolitos fueron ampliadas al inicio de este capítulo.

### **A3. Precordillera Occidental.**

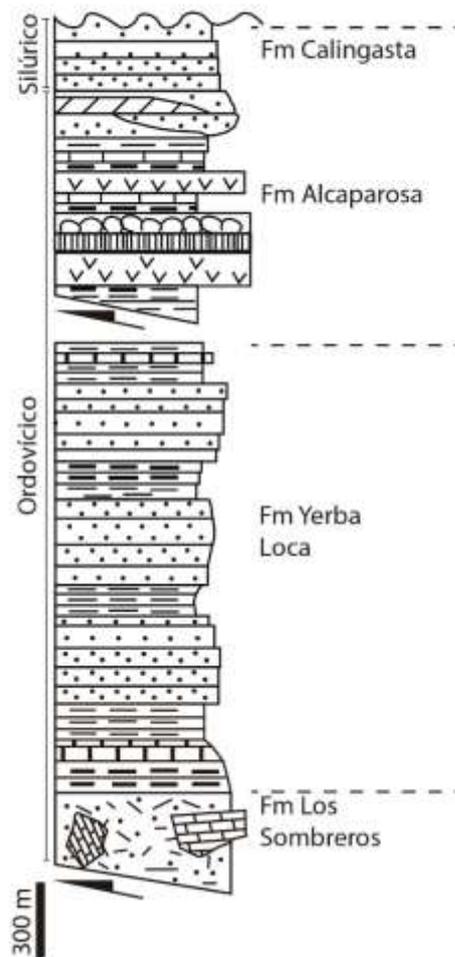
Representa el ámbito de plataforma externa y talud. Sus afloramientos más representativos se encuentran sobre el margen del río Jáchal, en el flanco oriental de la Sierra del Tontal y se extienden hacia el Sur en la zona de San Isidro, en la Precordillera Mendocina. Este sector se caracteriza por presentar fragmentos de la plataforma calcárea cámbrico-ordovícica los cuales se encuentran re-sedimentados como bloques de olistolitos en unidades olistostrómicas silicoclásticas ordovícicas que indican un ambiente de talud. Entre las unidades olistostrómicas se destacan: Formación Los Sombreros (Cuerda *et al.*, 1983), Formación Empozada (Harrington, 1957), Formación Cortaderas (Harrington, 1957). Los olistolitos varían en sus dimensiones desde unos pocos centímetros hasta centenares de metros (Figura III-4).

En el sector central de la Sierra del Tontal, localidad clásica de los afloramientos de la Precordillera Occidental, aflora la sucesión turbidítica compuesta por psefitas, psamitas y pelitas agrupadas en la Formación Portezuelo del Tontal (Cuerda *et al.*, 1985), de edad ordovícica media a tardía por la fauna de graptolites e interpretada como una variación lateral de la Formación Los Sombreros. Hacia el Noroeste de este mismo sistema serrano afloran areniscas, limolitas y pelitas laminadas de la Formación Alcaparrosa (Harrington, 1957) cuya edad sería ordovícica tardía. Esta unidad se caracteriza por la alternancia de rocas máficas y ultramáficas con las típicas estructuras de lavas almohadilladas (Haller y Ramos, 1984; Kay *et al.*, 1984) interpretados como basaltos de dorsales oceánicas anómalas producto del cierre del océano que separaba a los terrenos de Precordillera y Chilenia (Ramos *et al.*, 1986).

Hacia el Norte, en las cercanías de la localidad de Rodeo y sobre el margen del río Jáchal, aflora una potente sucesión de paquetes turbidíticos proximales y distales agrupados dentro de la Formación Yerba Loca, la cual debido al contenido de graptofauna fue asignada al Ordovícico Medio-tardío (Blasco y Ramos, 1976; Ortega *et al.*, 1991) e interpretada como una unidad típica de talud profundo. Es posible encontrar en esta unidad enjambres de diques básicos y estructuras de lavas almohadilladas intercaladas.



### Precordillera Occidental



**Figura III-4.** Provincia geológica de Precordillera: subprovincia de Precordillera Occidental, con sus principales afloramientos (Sierra del Tontal, Sierra de la Invernada y del Tigre). Columna estratigráfica de síntesis con las unidades más representativas del Paleozoico Inferior y Medio. Modificado de Astini *et al.* (1995).

#### A4. Evolución tectónica de la Precordillera.

Siguiendo el trabajo de Astini *et al.* (2005) la evolución tectonoestratigráfica de la Precordillera durante el Paleozoico fue atravesando diferentes etapas:

- *Margen pasivo*: Comenzó a desarrollarse en el Cámbrico temprano con la etapa previa de sinrift representada por la Formación Totorá, por encima de esta unidad se desarrollan las típicas

facies relacionadas al margen pasivo que culminarán en el Ordovícico Temprano. Estas incluyen a las facies mixtas de la Formación La Laja, la cual representa la transición rift-drift, continuando con la estabilización del margen pasivo, evidenciado por las Formaciones Zonda, La Flecha y San Juan.

- *Antepaís peri-gondwánico*: Representado por la cuña de antepaís periférico ordovícico. Aquí se produce el pasaje gradual desde las facies carbonáticas de plataforma somera a facies de pelitas negras anóxicas características de las Formaciones Gualcamayo y Los Azules, aflorantes tanto en la Precordillera Central como Oriental. Durante esta etapa coetáneamente aparecen intercalados depósitos de bentonitas potásicas, las cuales fueron interpretadas como el producto de alteración de ceniza volcánica procedente del arco magmático famatiniano, ubicado sobre el margen oeste gondwánico (Huff *et al.*, 1998, Cingolani *et al.*, 1997, Fanning *et al.*, 2004). Con el aumento de la subsidencia, la cuenca registra la transformación desde el margen pasivo a una cuenca de antepaís periférico. Después del intervalo de hundimiento y ahogamiento de la plataforma se desarrolla una cuña clástica de polaridad hacia el Oeste y compatible con el relleno de un antepaís periférico (Astini, 2003). Esta cuña queda conformada por los conglomerados de las Formaciones Las Vacas y Las Plantas. Hacia el Oeste se desarrollan las facies profundas integradas por las Formaciones Los Sombreros, Alcaparrosa, Yerba Loca y equivalentes. Mientras que en la Precordillera Oriental, la sedimentación ordovícica culmina con la depositación de la Formación Don Braulio, la cual fue interpretada como un depósito de origen glaciogénico de edad ordovícica superior, con una clara vinculación con Gondwana.
- *Antepaís malvinocáfrico*: representado por la cuña de antepaís Silúrico-Devónico. Se caracteriza por las secuencias marinas portadoras de la fauna malvinocáfrica, esto permite relacionar esta cuenca con otras asociadas a aguas templadas a frías de Gondwana. Según Astini *et al.* (2005) esta etapa se puede dividir en dos estadios: el primero “subalimentado”, el cual estaría representado por las secuencias silúricas del Grupo Tucunuco (Formaciones La Chilca y Los Espejos) y el segundo “sobrealimentado” conformado por el Grupo Gualilán (Formaciones Talacasto y Punta Negra).
- *Antepaís gondwánico*: el cual conformaría la cuña de antepaís carbonífero-pérmica. Esta reuniría a las unidades del Grupo Paganzo y equivalentes, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de la Precordillera.

#### B. GRUPO GUALILÁN (PRECORDILLERA CENTRAL).

Como fue mencionado en el capítulo I, este Grupo debe su nombre a Baldi (1975a), el cual involucra a las unidades devónicas ubicadas de base a techo: Formaciones Talacasto y Punta Negra (Figura III-5).



**Figura III-5.** Vista regional de los afloramientos de la Precordillera Central sobre las márgenes del Río San Juan a la altura del Dique Punta Negra.

### **B1. Reseña histórica y estratigráfica de la Formación Talacasto.**

Formación Talacasto: Padula *et al.* (1967) propusieron el nombre de la unidad para el conjunto de sedimentitas devónicas fosilíferas conocidas hasta ese momento en la comarca central-oriental de la Precordillera como “Eodevónico”, “Devónico Inferior” o “Devónico marino”.

Esta unidad aflora casi ininterrumpidamente a lo largo de la Precordillera Central Sanjuanina, entre los ríos Jáchal (30° lat. Sur) y el río San Juan (30° 30' lat. Sur), aproximadamente. Su registro más septentrional corresponde a asomos aislados (28° 42' 50'' lat. Sur/ 68° 39' 29'' long. Oeste) en el contexto estructural y estratigráficamente complejo de Sierra de las Minitas, Bolsón de Jagüé, extremo norte de Precordillera en la Provincia de La Rioja (Rustán *et al.*, 2011a).

#### B1a. Características sedimentarias y estructurales.

Descripción original: “*The lithology is variable. South of the San Juan River appear mainly greenish- grey, marly sandstones and a few greyish-green, poorly stratified shales. The shale content increases northward. The shales contain calcareous and ferruginous, fossiliferous concretions. At the Jáchal River occur bluish-black, fossiliferous limestones. Conglomerates are scarce but appear as thin lenses. The uppermost part, generally confounded with the Silurian part of the Tambolar Formation, consists mainly of green to mauve shales with buff quartzite intercalations. Cross-bedding is frequent in fine-grained sandstones. The overall greenish-grey color is the feature distinguishing the formation from the olive-green Silurian.*” (Padula *et al.*, 1967).

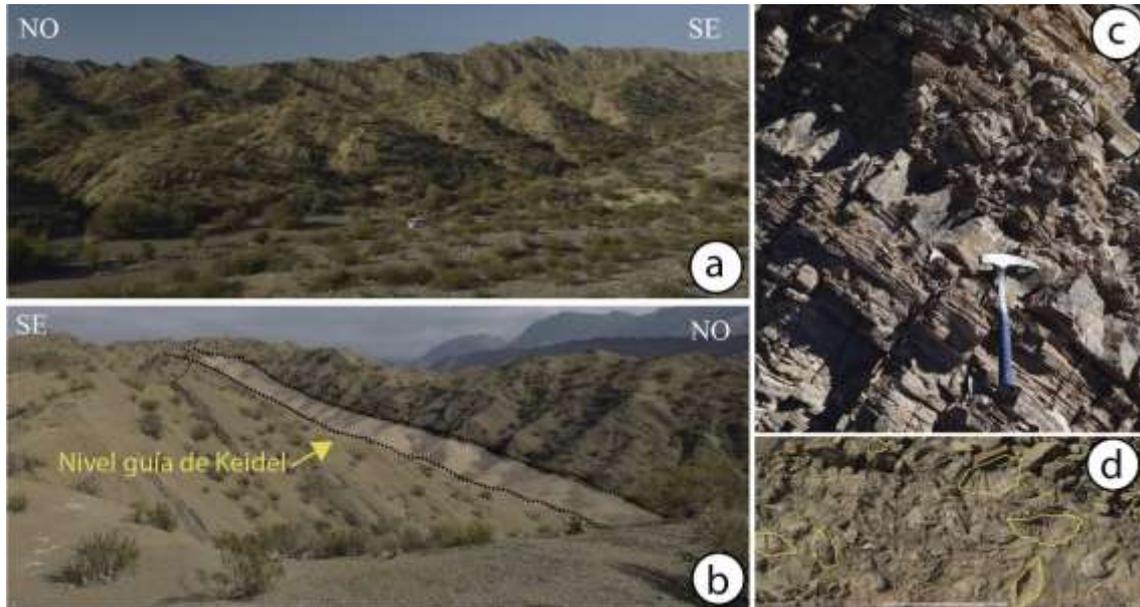
Una descripción complementaria fue propuesta por Astini (1990a, 1991) en donde la define como una sucesión de fangolitas y vaques bioturbados con intercalaciones de capas delgadas y continuas de areniscas finas. En forma subordinada se localizan cuerpos arenosos de mayor jerarquía con lentes y concreciones carbonáticas. La coloración predominante es gris-verdosa, pero localmente pueden reconocerse fajas oxidadas de color ocre y morado.

Cuatro miembros de continuidad lateral hacia el Sur de la localidad de Talacasto (Baldis, 1975a, Astini, 1991), fueron originalmente definidos por Espisúa (1968) y Baldis (1975a). El miembro superior (miembro de “lutitas verdes y moradas”), típicamente reconocible en el área de Talacasto y hacia el sur, fue posteriormente considerado como base de la Formación Punta Negra (Astini, 1991). Los restantes miembros, definidos de base a techo, y de acuerdo con la más difundida terminología de Baldis (1975a), son los siguientes: Miembro de lutitas verdes, correspondiente a la asociación de facies A de Astini (1991), constituido por fangolitas, en parte lutíticas con concreciones, de coloración verde grisáceo a negro; Miembro de areniscas azules, en gran parte correspondiente a la asociación de facies B de Astini (1991), compuesto por capas de areniscas finas con intercalaciones de fangolitas, muy bioturbadas, de coloración verdoso a verde grisáceo hasta azulado y Miembro de lutitas nodulares (miembro de areniscas con concreciones esferoidales de Baldis y Peralta (1999), parcialmente correspondiente a la asociación de facies A de Astini (1991), integrado por capas de areniscas muy finas y fangolitas verdosas, portando niveles de concreciones calcáreas fosilíferas.

En cuanto a sus espesores la unidad aumenta notablemente de espesor desde el Sur hacia el Norte, alcanza los 100 m en el área del río San Juan, cuenta con 300 m en su localidad tipo, en la Quebrada de Talacasto y supera los 1000 m en las proximidades de la localidad de San José de Jáchal. Apoya en discontinuidad estratigráfica sobre la Formación Los Espejos (Silúrico) y su equivalente Sur, la Formación Tambolar (Astini, 1996; Astini y Maretto, 1996), faltando el registro del límite Siluro-Devónico. Sin embargo, el posible registro de este límite en relación a un intervalo fangolítico morado de la parte más superior de la Formación Los Espejos en la sección de Cerro del Fuerte, ha sido discutido de acuerdo con el registro de braquiópodos (Benedetto *et al.*, 1992; Herrera 1993), palinomorfos (Le Hérisse *et al.*, 1997) y conodontes (Heredia *et al.*, 2007). A su vez, un intervalo estratigráfico equivalente ha sido reportado en la sección del Cerro La Chilca (Carrera *et al.*, 2011).

En el techo del Miembro de areniscas azules, se destaca una capa de unos 10 m de espesor, compuesta de fangolitas bandeadas grises a verdosas y areniscas finas, que rematan en un nivel de oolitas ferruginosas rojizas alterado a coloraciones ocráceas que se destacan en el terreno. Este horizonte, aproximadamente constante en toda la cuenca, corresponde al estrato reconocido por Keidel (1921) como “horizonte con *Pleurotomaria*”, luego descripto por Astini (1991) como asociación de facies “C” y considerado como excelente capa guía (Figura III-6b). Este estrato se localiza en el techo de la unidad en la localidad tipo de Talacasto y secciones más australes,

mientras que en los sectores más septentrionales se ubica en la parte media-superior, sobrepuesto por el Miembro de lutitas nodulares, sugiriendo un diacronismo para el techo de la unidad.



**Figura III-6.** Afloramientos de la Formación Talacasto en la localidad de Loma de los Piojos. **a:** vista regional de los afloramientos de la Formación Talacasto. **b:** ubicación del horizonte guía de Keidel dentro de la Formación Talacasto. **c:** Detalle de las capas superiores de la unidad, dominio de capas finas con alternancia de bancos arenosos de escaso espesor. **d:** Braquiópodos integrantes de la fauna Malvinocáfrica característicos de la parte alta de la unidad.

La Formación Talacasto se caracteriza por una rica asociación de invertebrados marinos integrantes de la fauna Malvinocáfrica (Figuras III-6d, 7, 8), estos consisten principalmente en braquiópodos y en menor medida equinodermos, ostrácodos, bivalvos, trilobites, entre otros grupos, sumado a la participación de paleoflora identificada en ciertos niveles de la unidad. Los primeros han permitido definir la edad de la formación, la cual fue asignada al Lochkoviano Inferior no basal para toda la cuenca, siendo la parte alta diacrónica y progresivamente más joven hacia el Norte (Herrera, 1991; Rustán, 2011). En cuanto a la flora, se describió la presencia de *Cooksonia* en el tramo inferior de la quebrada de Talacasto (Edwards *et al.*, 2009).



**Figura III-7.** Pavimentos fosilíferos de la Formación Talacasto evidenciando la diversidad de organismos presentes. 1: *Australocoelia*, 2: *Spiriféridos*, 3: *Strophoménidos*, 4: Equinodermos, 5: *Linguloideos*. Barra: 10 cm.

En cuanto a la preservación, los invertebrados fósiles de la unidad basal del Grupo Gualilán, se presentan de dos maneras distintas, por un lado, como impresiones, de sus morfologías externas, cuyo proceso se ve favorecido por la naturaleza del ambiente de sedimentación, caracterizado por tratarse de una plataforma fangosa somera. Dicha circunstancia, ha dado lugar que en ciertas localidades (Ej. en Loma de Los Piojos) sea posible reconocer asociaciones de invertebrados fósiles marinos conformando “pavimentos” de moldes de conchillas con muy buen grado de preservación (Figura III-7).



**Figura III-8.** Concreciones psamíticas de la Formación Talacasto, en ellas pueden hallarse fósiles con muy buen grado de preservación o fragmentos de organismos. **A-B:** concreción con Hyolítido?. **C-D:** pigidio de trilobite. **E:** fragmento de trilobite. **F:** *Pleurotomaria*.

Por otro lado, es posible encontrar concreciones en determinados sectores de la unidad. Estas se presentan de tamaños, formas y composiciones diferentes, las cuales pueden agruparse principalmente en dos: *a)* aquellas de composición mayormente psamítica de tamaño no superior a 15 cm de diámetro y contornos relativamente esféricos, con la particularidad de ser muy fosilíferas, donde los organismos se preservan en muchas ocasiones completos, siendo muy frecuentes la presencia de trilobites, braquiópodos, gastrópodos, entre otros organismos (Figura III-8), y *b).* Las concreciones calcáreas, que se encuentran en menor proporción, rara vez presentan fósiles en su interior, pero son de mayor tamaño pudiendo superar los 50 cm de diámetro y sus contornos suelen ser completamente esféricos a ovals (Figura III-9). Estos dos tipos de concreciones se encuentran principalmente incluidas en el denominado horizonte de Keidel.



**Figura III-9.** Concreciones calcáreas de la Formación Talacasto donde se observa la variedad morfológica y de tamaños.

Los fósiles hallados en esta unidad no han sido estudiados en la presente tesis doctoral, ya que en los últimos años han surgido numerosos trabajos de aspectos paleobiológicos, bioestratigráficos y paleobiogeográficos (Ej. Rustán 2016 y sus referencias allí) que permiten referir a esta fauna como perteneciente al reino Malvinocáfrico de condiciones de aguas frías. Entre los fósiles que pudieron ser reconocidos en la unidad se destaca la presencia de hyolítidos, trilobites, gastrópodos, braquiópodos, entre otros (Figuras III-10, 11). Algunos de los ejemplares colectados fueron expuestos a humos de magnesio para resaltar las características y detalles del fósil al momento de su fotografiado (Figura III-10).

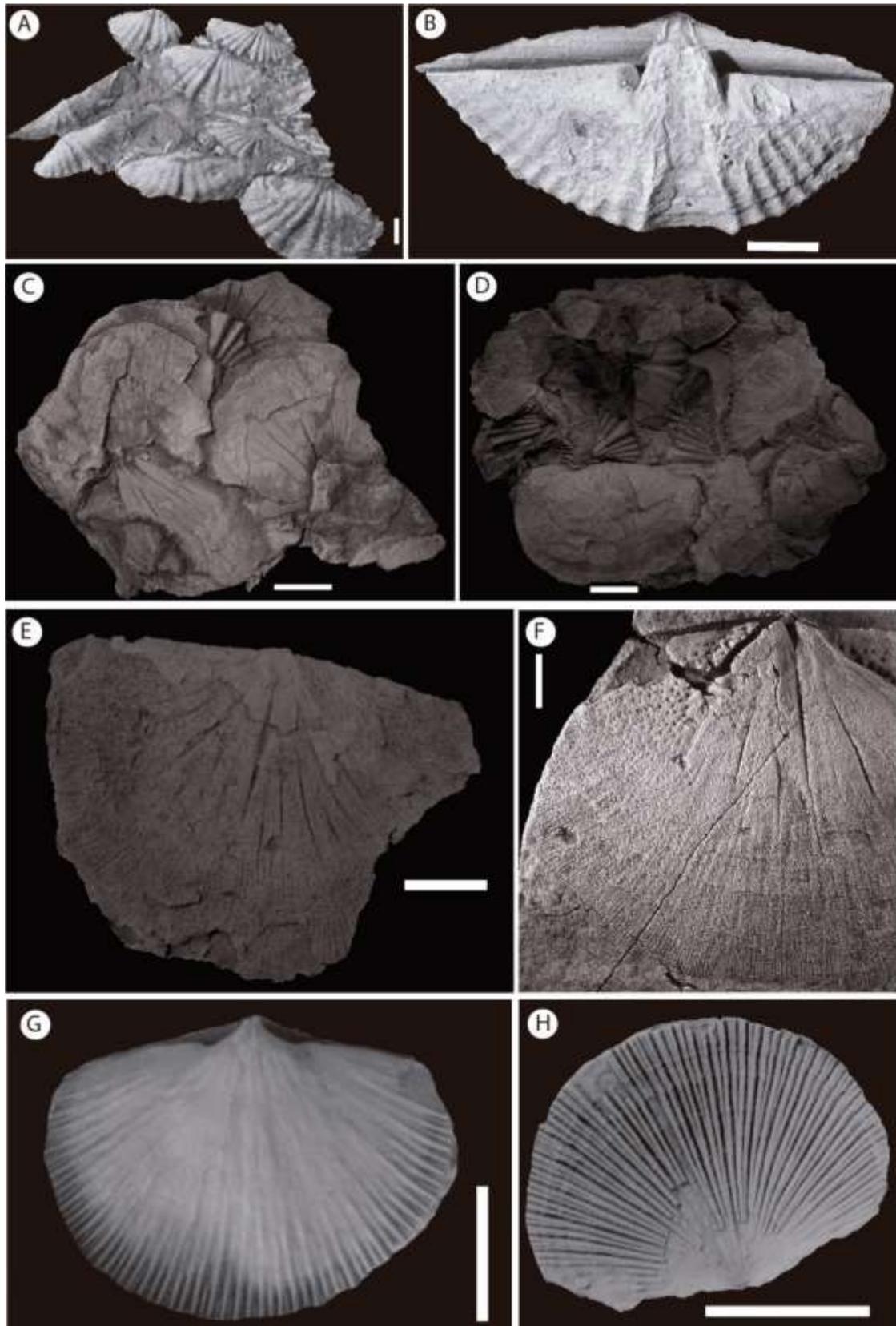
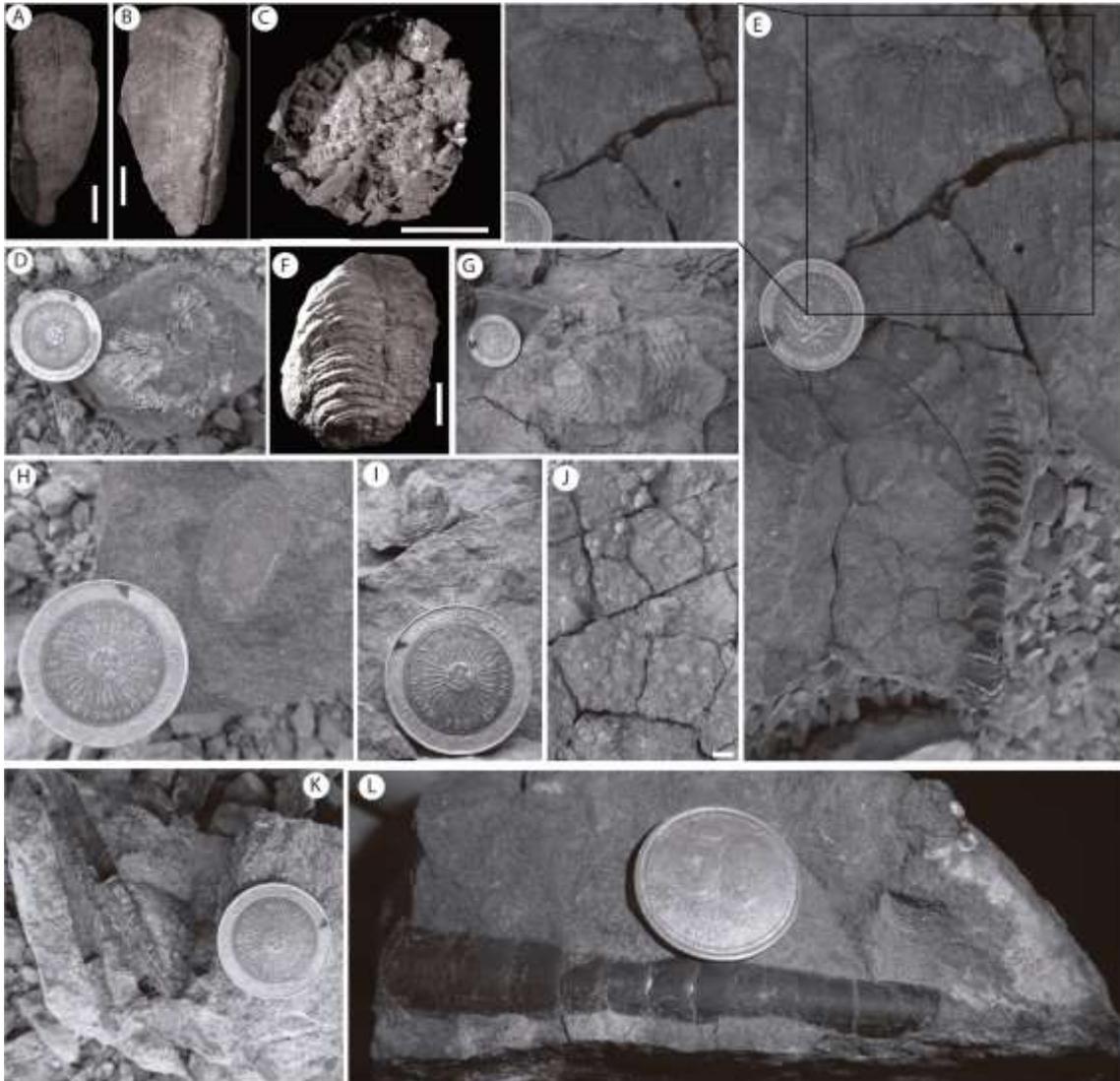


Figura III-10. Braquiópodos de la Formación Talacasto. A-B: *Spiriferidos*, C-D-E-F: *stromatoporidos*, G-H: *Salopina?* Descripciones (Siccardi, A. 2018, com. verbal). Barra: 1 cm.



**Figura III-11.** Fósiles de la Formación Talacasto. **A-B:** Conuláridos, **C-D:** Corales solitarios, **E:** Crinoideo, **F-G:** Trilobites, **H-I:** braquiópodos inarticulados, **J:** *Australocoelia*, **K-L:** Cefalópodos. Barra 2cm.

## **B2. Reseña histórica y estratigráfica de la Formación Punta Negra.**

Fue definida por Braccini (1949) como **Complejo Punta Negra** para correlacionar los afloramientos del perfil de Tambolar con los llamados “estratos post-devónicos” reconocidos por Keidel (1921), en la sección de Loma de los Piojos. Con posterioridad, Padula *et al.* (1967) manifestaron explícitamente la intención de elevar formalmente la unidad al rango de Formación, a pesar de reconocer que el término “Formación Punta Negra” había sido empleado ya por Braccini en 1950.

### B2a. Características sedimentarias y estructurales.

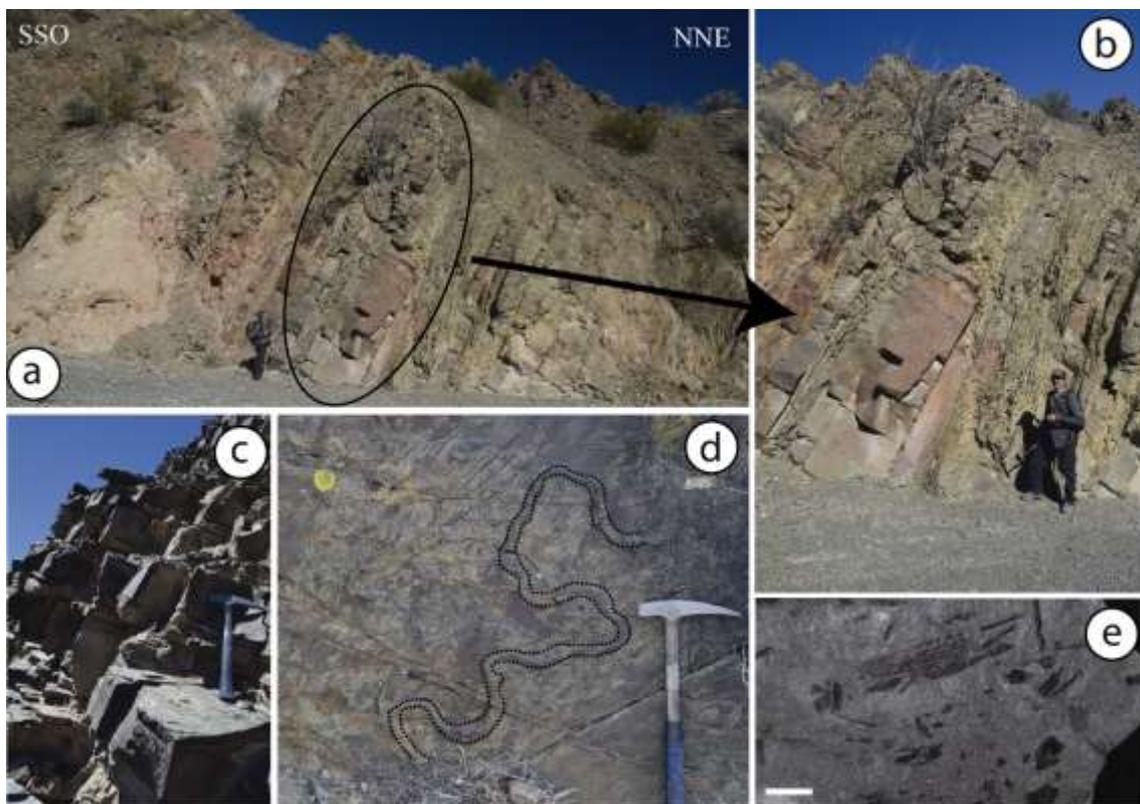
En su descripción original Braccini (1949), incluía a “la sucesión de terrenos que van desde los niveles fosilíferos del Devónico Inferior hasta el Complejo de Punta Negra, al margen de variaciones locales, evidencia un paulatino enriquecimiento arenoso que culmina en la parte

más baja del Complejo de Punta Negra compuesto por potentes bancos de arcosas, sin trazas de material pelítico intercalado” (Bracaccini, 1949).

Su extensión se desarrolla a lo largo de la provincia de San Juan, desde el Sur del río Jáchal al Norte hasta unos 60 km al Sur del río San Juan a partir de donde fue cartografiada como Formación Villavicencio en la provincia de Mendoza (Harrington, 1954); ambas unidades han sido consideradas lateralmente continuas por otros autores (Cuerda y Baldis, 1971; Poiré *et al.*, 2005).

Descripciones complementarias la señalan con potentes espesores que muestran una disposición rítmica tipo *flysch* característica en una sucesión monótona de areniscas, arcosas y subgrauvacas verde oscuro (Figura III-12a-b-c). Estas pasan hacia arriba a areniscas de grano fino y lutitas con escasos conglomerados polimícticos. Hacia la parte Central y Norte de la cuenca, las areniscas disminuyen considerablemente, mientras que las lutitas arenosas se vuelven dominantes. Al Norte del Valle de Gualilán el contenido arenoso se incrementa, aclarándose el color, conduciendo a una confusión parcial con la Formación Talacasto. En el techo de cada ritmita, son abundantes los calcos de flujo y detritos vegetales (Padula *et al.*, 1967). Según Baldis (1973) conforma una sucesión estrato y granocreciente de areniscas y limolitas intercaladas de coloración general verde a verde negruzco, con predominio de capas tabulares, dispuestas en bancos variables de 0,2 m a 1,5 m de espesor, caracterizados por su ritmicidad y sedimentación gradada. La gradación granulométrica en cada banco varía desde arenisca media en la base a limolita o arcilita en el techo. El tipo litológico predominante en el área, y en sentido vertical, corresponde al de vaques feldespáticos y vaques líticos. Las estructuras sedimentarias más usuales son las marcas de flujo, de carga y ondulas, generalmente presentes en el techo de cada ritmita, donde son frecuentes también las briznas vegetales carbonosas (Figura III-12e). Su espesor es variable alcanzando aproximadamente los 1000 m entre la localidad de Sasso, sobre el Río San Juan y la sección de Río de Las Chacritas sobre la Sierra de la Trampa, al Norte (Bustos 1996). Se apoya sobre las sedimentitas marinas de la Formación Talacasto donde el límite entre ambas unidades ha sido motivo de discusión en la literatura. Inicialmente fue considerado transicional (Bracaccini, 1949; Padula *et al.*, 1967; Baldis, 1973; González Bonorino, 1975; Bustos, 1996) y constituido por una sucesión de lutitas, limolitas y areniscas de color verde grisáceo y moradas, que adquieren gradualmente carácter rítmico hacia arriba. Sin embargo, este intervalo considerado primeramente como miembro superior de la Formación Talacasto (Miembro de “lutitas verdes y moradas” de Espisúa, 1968 y Baldis, 1975a), fue interpretado con posterioridad como tramo basal de la Formación Punta Negra (Astini, 1991), debido a su carácter transicional hacia arriba, relación genética (Astini, 1990b) y presencia de una discontinuidad en la base (Baldis y Peralta, 1999). De esta manera, el contacto entre ambas unidades fue considerado neto y paraconcordante por algunos autores (Baldis y Peralta, 1999). Por su parte Astini (1991) ubicó la base de la Formación Punta Negra inmediatamente por encima de su asociación de facies “C “,

correspondiente al horizonte guía de Keidel (1921), que consideró como techo de la Formación Talacasto en toda la cuenca. Finalmente, Bustos y Astini (1997), Herrera y Bustos (2001) y Poiré *et al.* (2005), consideraron la base de la Formación Punta Negra como diacrónica. Esto se basó en el carácter del techo de la Formación Talacasto (Herrera y Bustos 2001), el cual correspondería al Pragiano Superior o Emsiano basal en su localidad tipo de Quebrada de Talacasto (donde coincide con el horizonte guía de Keidel) y al Emsiano Inferior alto al Norte de la cuenca, donde el pasaje entre ambas unidades se ubica muy por encima de este horizonte. De acuerdo con esta última interpretación, los niveles superiores de la formación en las secciones más septentrionales, se correlacionarían con los términos basales de la Formación Punta Negra en la sección tipo de Talacasto y más australes.



**Figura III-12.** Afloramientos de la Formación Punta Negra sobre las márgenes del Río San Juan. **a-b-c:** afloramientos de la Formación Punta Negra con neto predominio de las facies arenosas sobre las facies pelíticas. **d:** traza fósil. **e:** restos de plantas fósiles (briznas) característicos de la unidad. Barra: 1 cm.

Mientras que, en su techo, es cubierta mediante discordancia erosiva por sedimentitas continentales de edad carbonífera correspondientes al Grupo Paganzo, particularmente en la zona norte, en la localidad de Loma de Los Piojos puede verse a la Formación Guandacol presentando clastos tanto de escala meso y microscópica de las unidades precedentes. No obstante, Peralta (2005a, b) ha interpretado que, debido a sus componentes, los depósitos olistostrómicos de la

Formación Los Sombreros serían de edad devónica y se ubicarían por encima de esta unidad en discordancia erosiva.

En cuanto a su interpretación paleoambiental se relacionaron inicialmente con abanicos submarinos (Baldis, 1973; González Bonorino, 1975; González Bonorino y Middleton, 1976; Peralta y Ruzzycki, 1990; Peralta, 2005b; entre otros). Más tarde fueron considerados como depósitos deltaicos (Astini, 1990b; de Luca y Basilici, 2013; Basilici *et al.*, 2012) de acuerdo con estudios sedimentológico-estratigráficos (Bustos, 1996), y de procesos sedimentarios vinculados a niveles con plantas (Poiré y Morel, 1996). Mayores precisiones de un origen relacionado con turbiditas deltaicas, fueron aportadas por Bustos y Astini (1997) respecto a la incidencia de procesos eustáticos cíclicos en una cuenca de antepaís en rampa. Más recientemente, estudios de icnofacies y tafonomía de restos vegetales han permitido interpretar ambientes marinos someros de plataforma interna y continentales localizados (Cuerda *et al.*, 1990), que sugieren procesos sedimentarios relacionados con eventos de tormenta y corrientes de turbidez (Poiré *et al.*, 2005; Edwards *et al.*, 2009). La unidad presenta marcados cambios laterales de facies, correspondiendo la facies característica aquí descrita, a la mayoría de los afloramientos de la Precordillera Central sanjuanina, de acuerdo con Baldis (1973).

#### B2b. Aspectos paleobiológicos, antecedentes.

Desde los trabajos pioneros hasta la actualidad, en la unidad se describieron una diversidad de organismos fósiles, desde trazas, invertebrados, palinomorfos y plantas. Estos restos se utilizaron posteriormente para formular hipótesis sobre la edad y el paleoambiente de la formación.

Las trazas fósiles son muy frecuentes y diversas (Peralta y Aceñolaza, 1988; Peralta y Ruzzycki, 1990; Bustos, 1996; Edwards *et al.*, 2009; de Luca y Basilici 2013), habiéndose reconocido icnofacies de Nereites, Cruziana y Skolithos. La fauna de invertebrados marinos es escasa y poco conocida (Padula *et al.*, 1967), pero en el tramo del río Chacritas (Herrera y Bustos, 2001) un nivel ubicado a unos 250 m sobre la base, se hallaron fragmentos de crinoideos, trilobites, bivalvos y braquiópodos. En la localidad de quebrada de Talacasto, pero sin mayores detalles estratigráficos, se han identificado dos asociaciones palinológicas: una eifeliana-givetiana (Rubinstein, 1999); y la otra posiblemente givetiana (Rubinstein, 2000). Recientemente, García Muro *et al.* (2018) describen una asociación palinológica en la base de la Formación Punta Negra sobre el horizonte de Keidel que apoya una edad emsiana temprana para esta sección.

Se han encontrado numerosos “restos vegetales” fósiles fragmentarios. Los taxones de plantas descritos son *Sporogonites*, *Pachythecca*, *Hostinella*, *Cyclostigma*, *Isidrophyton*, *Salopella*, *Haplostigma* (Frenguelli, 1951; Menéndez, 1967; Baldis, 1973; Poiré y Morel, 1996; Poiré *et al.*, 2005; Edwards *et al.*, 2009; Arnol y Coturel, 2017; 2022, en prensa; Coturel y Arnol, 2018). Las plantas fósiles habrían sido transportadas a cierta distancia de sus presuntos hábitats

costeros y ribereños y el conjunto se asignó al Devónico Medio como evidencia de la flora de latitudes altas. Sin embargo, su contenido paleoflorístico sugirió una edad del Devónico Medio a Superior (Frenguelli, 1951; 1952; Baldis, 1973).

### B2c. Aporte a la bioestratigrafía de la Formación Punta Negra.

Durante el desarrollo de la tesis doctoral se realizó un análisis bioestratigráfico en la región Central y Sur de la cuenca en función del registro paleoflorístico colectado, la metodología de trabajo consistió en el reconocimiento de la unidad, el levantamiento de perfiles esquemáticos que permitieron ubicar los niveles con plantas, y una búsqueda exhaustiva de restos de fósiles, que ayudaron a definir una edad bioestratigráfica para cada sector (Figura III-13). Los especímenes examinados han sido depositados en el Museo de La Plata (División de Paleobotánica), bajo las siglas LPPB. Pertenecen a dos localidades de la provincia de San Juan (Argentina), a saber, Cerro Negro de Zonda y Puesto Bachongo.



**Figura III-13.** Imagen *Google Earth* de los afloramientos ubicados en la región Centro-Sur de la Precordillera sanjuanina. Estrellas amarillas indican la ubicación de muestreo, acompañado por perfiles esquemáticos y ubicación de niveles con plantas (tomado de Arnol y Coturel, 2022 en prensa).

El material vegetal fue recolectado en dos lugares clásicos de la Precordillera Central. El primero, en la base del Cerro Negro de Zonda en la margen derecha del río San Juan, Nivel 185

(L185) (31°32'9.09''S 68°50'4.99''O). A la altura de la presa de Punta Negra, en la parte baja del cerro, se identificaron niveles de arenisca con restos de plantas, que se conservan como impresiones carbonosas y provienen de dos facies diferentes: 1) interfase areno-pelita, de donde proceden los ejemplares frágiles y 2) mantos arenosos, con ejemplares mejor conservados. La segunda ubicación está cerca del Puesto Bachongo (31°53'58''S 68°44'26''O) donde se determinaron 4 niveles con material vegetal (L209, L211, L216, L219). Corresponden a las exposiciones más australes de la Formación Punta Negra, con bancos de granulometrías más gruesas y material vegetal muy abundante. Todos los ejemplares fueron recolectados dentro de la fase arenosa.

Para los afloramientos del Río San Juan se reconoció la presencia de diferentes licophyts y tallos lignificados, donde se destaca una licophyta herbácea, con presencia de hojas tripartitas la cual fue asignada al género *Haskinsia* (Figura III-16). Este ejemplar además de ser el primer registro en la Precordillera, resulta de importancia por conformar parte de la flora de latitudes altas; la edad de este espécimen es a modo general Devónico Medio (Arnol y Coturel, 2022 en prensa).

Los afloramientos ubicados en cercanías del Puesto Bachongo resultaron ser más prolíferos en cuanto al material fósil, para este sector fue posible el reconocimiento de *Sporogonites*, *Hostinella* y *Salopella* (Arnol y Coturel, 2022 en prensa) (Figura III-14 y 15).

Para definir la edad de la asociación, se consideró en primera instancia los taxones que podrían determinarse a nivel genérico y los lapsos temporales en los cuales vivieron, a saber, *Sporogonites* y *Haskinsia*, además de registros en otros depocentros cercanos.

*Sporogonites* ha sido definido para el Devónico Inferior, distribuido principalmente en Europa, pero con una aparición previa en la Formación Punta Negra (Frenguelli, 1951) y recientemente en Brasil (Gerrienne *et al.*, 2001; de Melo Milagres *et al.*, 2018). Álvarez Ramis (1981) confirió una edad del Devónico Superior para algunos ejemplares de España, la cual fue descartada posteriormente por Montero y Dieguez (2010), dejando todo el registro de *Sporogonites* al Devónico Inferior. Por lo tanto, los afloramientos del Sur de la Formación Punta Negra pueden asignarse a esta edad.

El género *Haskinsia*, registrado en el área de Cerro Negro de Zonda, fue una planta con presencia común durante el Devónico Medio, con registros en Estados Unidos (Nueva York), Venezuela, Antártida, Argentina, China, Kazajstán y Siberia. Si bien es cierto que no sería raro que existan registros de este género en estratos más antiguos, antes de su expansión en el Devónico Medio, se sugiere para la localidad de Cerro Negro de Zonda una edad del Devónico Medio.

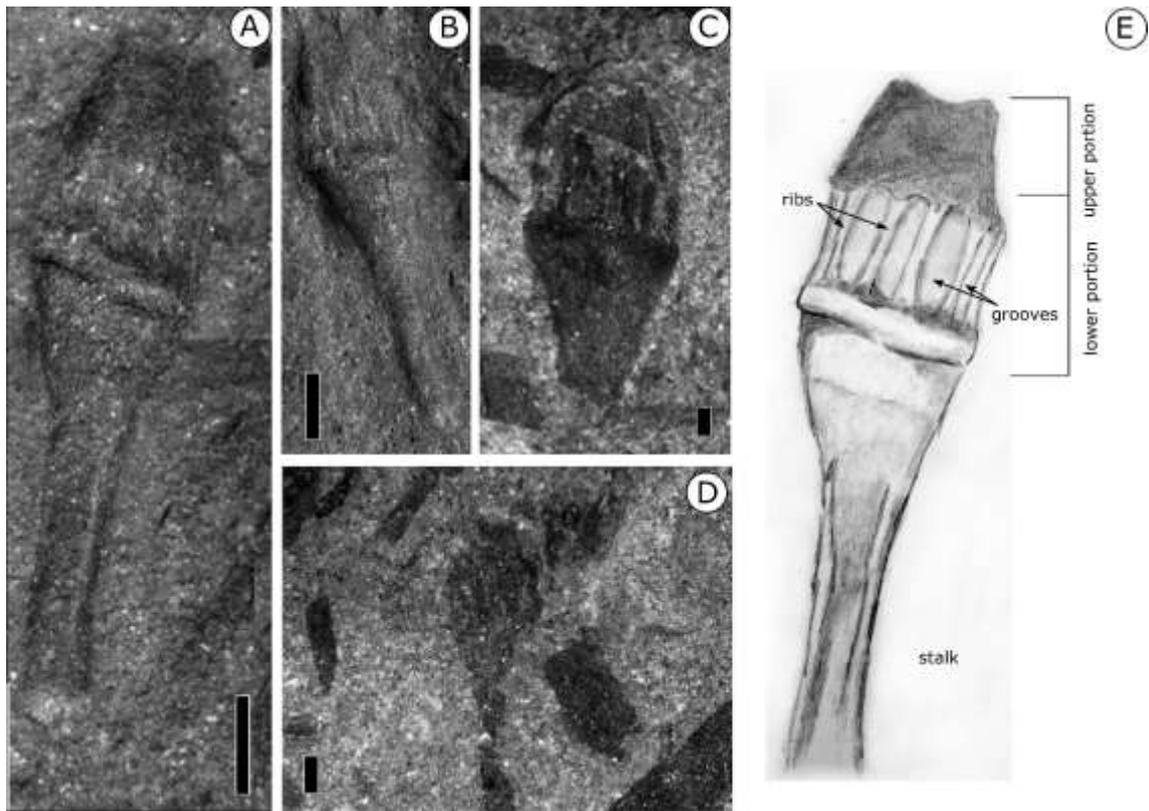


Figura III-14. *Sporogonites excellens*, escala: 1 mm.

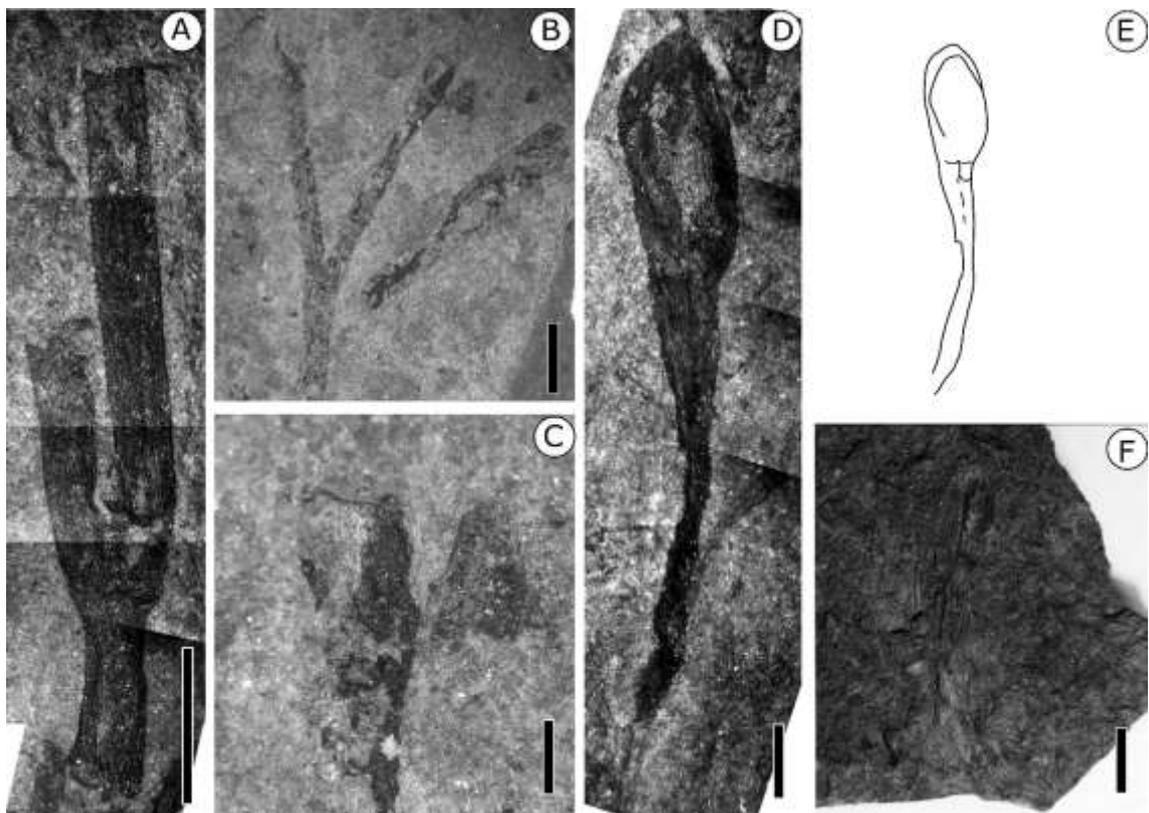
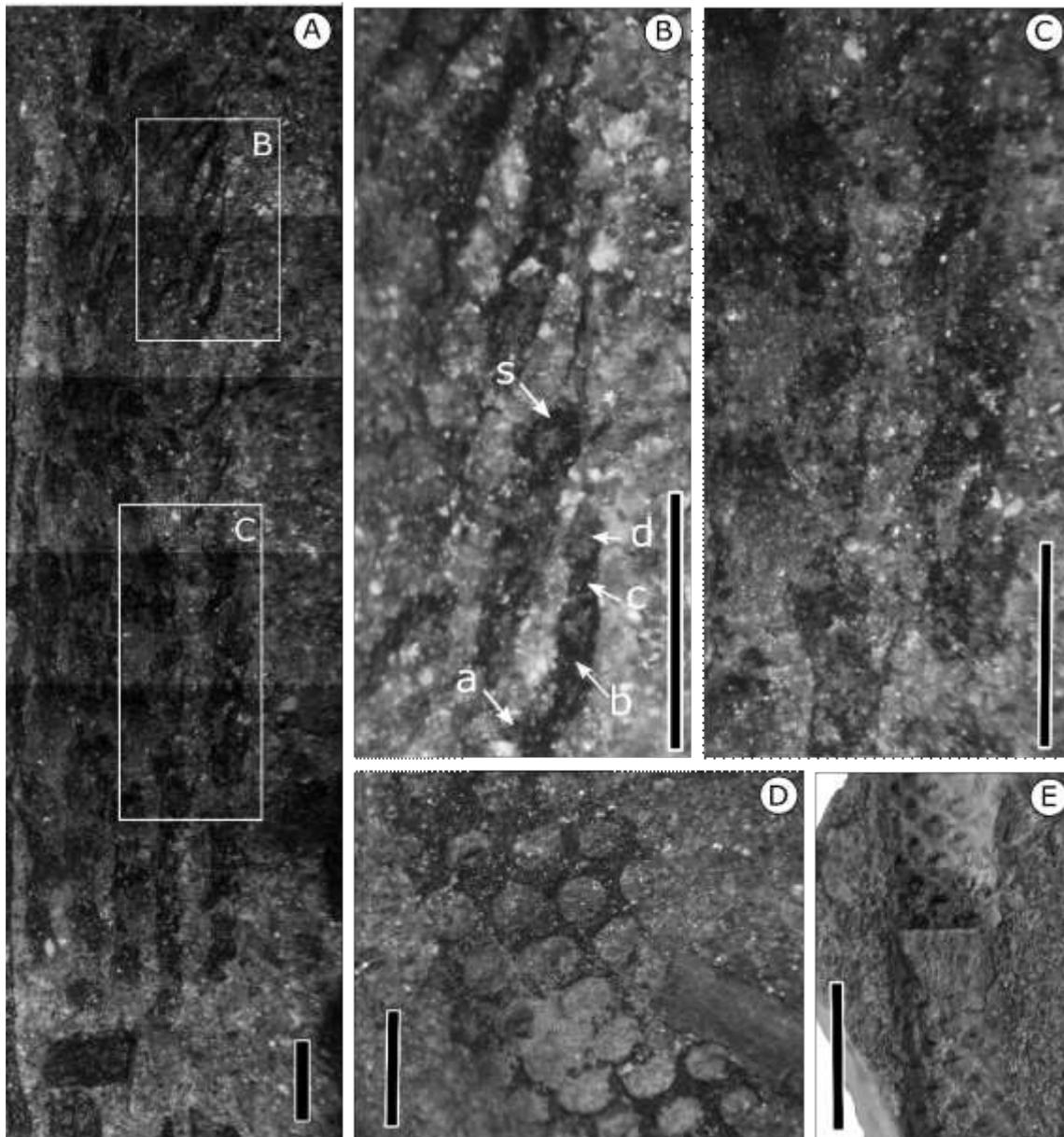


Figura III-15. A-C, *Hostinella* sp., escala: 5 mm. c D-E, cf. *Salopella* sp., escala: 5 mm. F, Tallo estriado, escala: 5 mm.



**Figura III-16.** A-C, *Haskinsia* sp., escala 1 mm. D-E, Tallo de Lycopsidas, D, escala: 5 mm. E, escala 10 mm.

La flora es consistente con la ya descrita para otras formaciones y la novedad es la descripción del género *Haskinsia*. Es de destacar que Edwards *et al.* (2009) también reportaron fragmentos de plantas como *Isidrophyton* (Formación Villavicencio) para la Formación Punta Negra, la condición de los especímenes permitió solo una comparación general y no una asignación. De confirmarse la presencia de este taxón para la Formación Punta Negra, sería otro registro en común entre las localidades.

Finalmente, otros aspectos interpretativos y consideraciones paleobiogeográficas sobre la relevancia de los nuevos registros de los taxones identificados para el Devónico de la Precordillera, serán tratados y discutidos en capítulos venideros, junto con los datos aportados a partir de las distintas metodologías de estudio aplicadas en la presente Tesis Doctoral.

### C. SÍNTESIS DE LOS MODELOS INTERPRETATIVOS DE LA PRECORDILLERA.

#### **C1. Modelos geotectónicos.**

A pesar de que hay un acuerdo general al entender a la Precordillera (del Paleozoico Inferior) como un terreno alóctono, el tiempo y los procesos involucrados en la transferencia desde Laurentia hacia Gondwana aún son discutidos. Por esta razón, algunos autores están en desacuerdo con este modelo y apoyan la idea de un origen autóctono o para-autóctono. Aceñolaza *et al.* (2002) señalaron que las relaciones bioestratigráficas no pueden soportar o rechazar ninguna reconstrucción continental. El magmatismo y consecuentemente las K-bentonitas, la edad del basamento, la composición isotópica (particularmente los datos de Pb) y el paleomagnetismo son evidencias que aún se discuten. (Finney, 2007; Mulcahy *et al.*, 2011; Rapela *et al.*, 2016; Martín *et al.*, 2020; entre otros).

#### C1a. Modelo de autoctonía.

Este modelo fue analizado por González Bonorino y González Bonorino (1991) quienes, valiéndose principalmente de la estratigrafía y los datos sedimentológicos, interpretan el desarrollo de la Precordillera, Cordillera Frontal y Sierras Pampeanas como un margen continental pasivo, desarrollado desde el Cámbrico al Devónico. Estos autores sugieren que no existe la evidencia de sutura entre la Cordillera Frontal y la Precordillera. El modelo explica que el magmatismo y la orogénesis son consecuencias de mecanismos asociados a una ruptura asimétrica de placas continentales y a la compresión originada en otros sectores de la placa sudamericana.

#### C1b. Modelo de para-autoctonía.

Baldis *et al.* (1989) sugieren que la Precordillera fue siempre parte de Gondwana y transportada desde el Sur (coordenadas presentes) por movimientos y deslizamiento a gran escala (varios cientos a miles de km) a su posición posterior, implicando por lo tanto un origen para-autóctono. La evolución de las diferentes facies estuvo controlada por megafallas profundas. Estos movimientos no comenzaron antes del Ordovícico Medio y terminaron durante el Devónico.

Por su parte Aceñolaza y Toselli (1988; 2000) también asumen a la Precordillera ubicada originalmente hacia el Sur de su presente posición y se habría movido a lo largo del margen paleo-Pacífico de Gondwana. Este modelo difiere del presentado previamente, debido a que considera que los movimientos de desplazamiento habrían ocurrido durante el Silúrico Tardío y Devónico

Temprano. Posteriormente estos mismos autores proponen una modificación al modelo de Baldis *et al.* (1989) en el cual, durante el Neoproterozoico, el terreno Precordillera se habría originado como una plataforma entre Sudamérica, África y Antártida (SAFRAN). Esto es similar al modelo propuesto por Dalziel (1997) aunque este último consideraba que la Precordillera era una porción de Laurentia y no de Gondwana. Debido a su comportamiento estable, se desarrollaron durante el Cámbrico espesas secuencias carbonáticas. Este modelo presenta datos geológicos y paleontológicos coherentes y explica el carácter alóctono del terreno de la manera más simple en comparación con el resto de los modelos (Aceñolaza *et al.*, 2002). Sin embargo, el modelo no tiene en cuenta datos paleomagnéticos (Astini y Rapalini, 2003), no explica la similitud de faunas entre Precordillera y Laurentia o las diferencias entre Precordillera y Gondwana (Benedetto, 2004).

Loske (1992; 1994; 1995) interpretó a la Precordillera como una cuenca de retro-arco asociada al cordón de Famatina. Este autor asumió movimientos de desplazamientos como los presentados por Baldis *et al.* (1989). Sin embargo, no hay evidencia de esos movimientos (Von Gosen *et al.*, 1995) y las faunas entre Famatina y Precordillera se diferencian claramente (Albanesi y Vaccari, 1994). Posteriormente (Buggisch *et al.*, 2000), concuerdan que la Precordillera fue parte de Laurentia. Además, utilizaron evidencias paleontológicas, estratigráficas y análisis de minerales pesados, demostrando que la Precordillera formó parte de Laurentia antes del Ordovícico Temprano, luego se produjo el rifting durante el Ordovícico Medio, acercándose a Gondwana en el Silúrico para terminar colisionando entre el Silúrico Tardío y Carbonífero Medio.

#### C1c. Modelo de aloctonía.

Ramos *et al.* (1986; 1993, 1998) interpretan a la Precordillera como un terreno alóctono. Durante el Cámbrico se desarrolla hacia el oeste de Precordillera una zona de subducción, mientras que simultáneamente en su sector oriental se da el desarrollo de un margen pasivo. Durante la parte más alta del Ordovícico al Silúrico Temprano la dorsal oceánica ubicada al oeste fue subductada generando intercalaciones de rocas máficas entre los sedimentos clásticos. La subducción controló la sedimentación y deformación antes de la acreción del terreno Chilenia (Devónico Tardío). Después de la implementación de este nuevo margen, la zona de subducción fue reinstalada y continuada hasta el Triásico. En este modelo, el límite con el terreno Pampia estaba localizado al oeste de la Sierra de Pie de Palo para tiempos proterozoicos.

Dalla Salda *et al.* (1992a; b; 1993) y Dalla Salda (2005) proponen la existencia de un terreno mayor al que denominaron Occidentalia, el cual incluía a los macizos de Arequipa-Belen-Antofalla, los terrenos de Mejillones, Chilenia, Cuyania, las Sierras Pampeanas Occidentales (sierras de Toro Negro, Umango, Maz, Pie de Palo, Valle Fértil y el Gigante) y Patagonia. Este terreno se caracterizaba por un basamento metamórfico Precámbrico originado en el este de Laurentia. El desplazamiento del terreno Occidentalia desde Laurentia a su presente ubicación se

vincula al proceso de extensión ocurrido en el Precámbrico cuspidal, como resultado de la apertura del océano Iapetus y al estadio de subducción acaecido durante el Cámbrico a lo largo del margen occidental de Gondwana, generando cierre de dicho océano y acretando un arco de islas (Sierra de Pie de Palo) al margen activo de Gondwana (Vujovich y Kay, 1998). La colisión continental entre Laurentia y Gondwana tuvo lugar a los 460-480 Ma. En el estadio final, Laurentia se separó y se mantuvo a la deriva durante el Ordovícico tardío dejando adosado a Gondwana el terreno Occidentalia (Dalla Salda *et al.*, 1992a; b; 1993; Dalziel, 1993; Dalziel *et al.*, 1994). Sin embargo, Ramos *et al.* (1986) asume la presencia de una cuenca oceánica abierta en el margen este del terreno Occidentalia.

La sutura resultante de la colisión continental está representada por el evento o fase Oclóyica en el Orógeno Famatiniano (540-330 Ma, Aceñolaza y Toselli 1976) la cual incluye granitos pre, sin y postectónicos, rocas de alto grado metamórfico y deformación. Sin embargo, la colisión continente-continente no es soportada por datos paleontológicos (Herrera y Benedetto, 1991). Una comparación detallada en las características sedimentológicas incluidas las K bentonitas, soportan la idea de que los orógenos tectónicos y oclóyicos no están en continuidad (Thomas *et al.*, 2002 y sus referencias allí). Además, Tosdal *et al.* (1994) y Tosdal (1996) demostraron en base a datos de isótopos de Pb que la totalidad del basamento del terreno Occidentalia no formó parte de Laurentia, ya que únicamente las firmas isotópicas de los xenolitos de la Precordillera y parte de las Sierras Pampeanas Occidentales son similares a esta última. Bahlburg y Hervé (1997) también cuestionaron este modelo debido a la falta de depósitos glaciares para el Ordovícico Tardío en el orógeno oclóyico, y en virtud que el tectonismo en el noroeste argentino fue durante el Ordovícico Tardío.

Otro modelo de aloctonía es propuesto por Benedetto (1993) y Astini *et al.* (1995) y referido por Thomas y Astini (1996, 1999, 2003); Astini (1998); Benedetto (1998); Benedetto *et al.* (1999) y Thomas *et al.* (2002). Este sugiere que antes del rifting, la Precordillera se encontraba adosada al estrecho de Ouachita al sur de los Apalaches, la cual experimentó rifting durante la apertura del océano Iapetus (*ca.* 550 – 570 Ma), como resultado la Precordillera se habría separado de Laurentia durante el Cámbrico Medio. La Precordillera se desplazó independientemente por más de 1000 km a través del océano Iapetus hasta el Ordovícico Medio (*ca.* 470 Ma) donde terminaría colisionando con el margen occidental de Gondwana.

Por su parte Ramos (2004) ofreció una síntesis del estado actualizado sobre la evolución tectónica de Cuyania que incluye al sector de Precordillera hasta ese momento.

Trabajos posteriores tendientes a mejorar la comprensión en cuanto al origen y evolución tectónica de Cuyania fueron presentados por diversos autores.

Rapalini (2005) utiliza las herramientas del paleomagnetismo para lograr una comprensión de la acreción de los terrenos en el oeste de Gondwana, aportando evidencias que apoyan el origen Lauréntico del Terreno Cuyania.

Naipauer *et al.* (2010) proporcionan un modelo para explicar la separación de Cuyania desde Laurentia basándose en el estudio de circones detríticos de las secuencias neoproterozoicas a cámbricas pasando desde un estadio de rift a un margen pasivo donde se habrían depositado las secuencias calcáreas de la Precordillera y de la Sierra de Pie de Palo. Por su parte Abre *et al.* (2011) teniendo en cuenta el análisis de procedencia sedimentaria de secuencias mayormente ordovícicas determina una fuerte exhumación de orógeno mesoproterozoico ubicado al este de Cuyania.

El trabajo presentado recientemente por Martin *et al.* (2020) apoya el modelo de aloctonía basándose en datos de Hf en circones mesoproterozoicos. Estos autores indican que los circones de estas edades en las secuencias cámbricas de Precordillera presentan características isotópicas idénticas al Grenville lauréntico, mientras que las secuencias del Ordovícico registran patrones que se diferencian de los anteriores y se asemejan a los encontrados en los basamentos de las Sierras Pampeanas Occidentales, por lo que no las consideran como un componente del Terreno Cuyania.

## IV. RESULTADOS: PETROGRAFÍA, DIFRACCIÓN DE RAYOS X Y ESTUDIO DE LOS MINERALES PESADOS.

### A. PETROGRAFÍA.

#### A1. Muestreo y caracterización de las unidades analizadas.

Se realizó el análisis petrográfico que involucró aproximadamente 50 muestras, que permitieron caracterizar a las Formaciones Talacasto, Punta Negra, Los Espejos y Guandacol. (Figura IV-1a-b), de las cuales fueron descriptas con mayor precisión aquellas que posteriormente serían analizadas para determinaciones isotópicas U-Pb y Lu-Hf (LA-ICP-MS). Para este último análisis se seleccionaron ocho (8) muestras de la Formación Talacasto, ocho (8) muestras de la Formación Punta Negra, mientras que la unidad infrayacente al Grupo Gualilán: Formación Los Espejos/Tambolar (Silúrico) fue analizada en dos (2) oportunidades (Figura IV-1a-b).

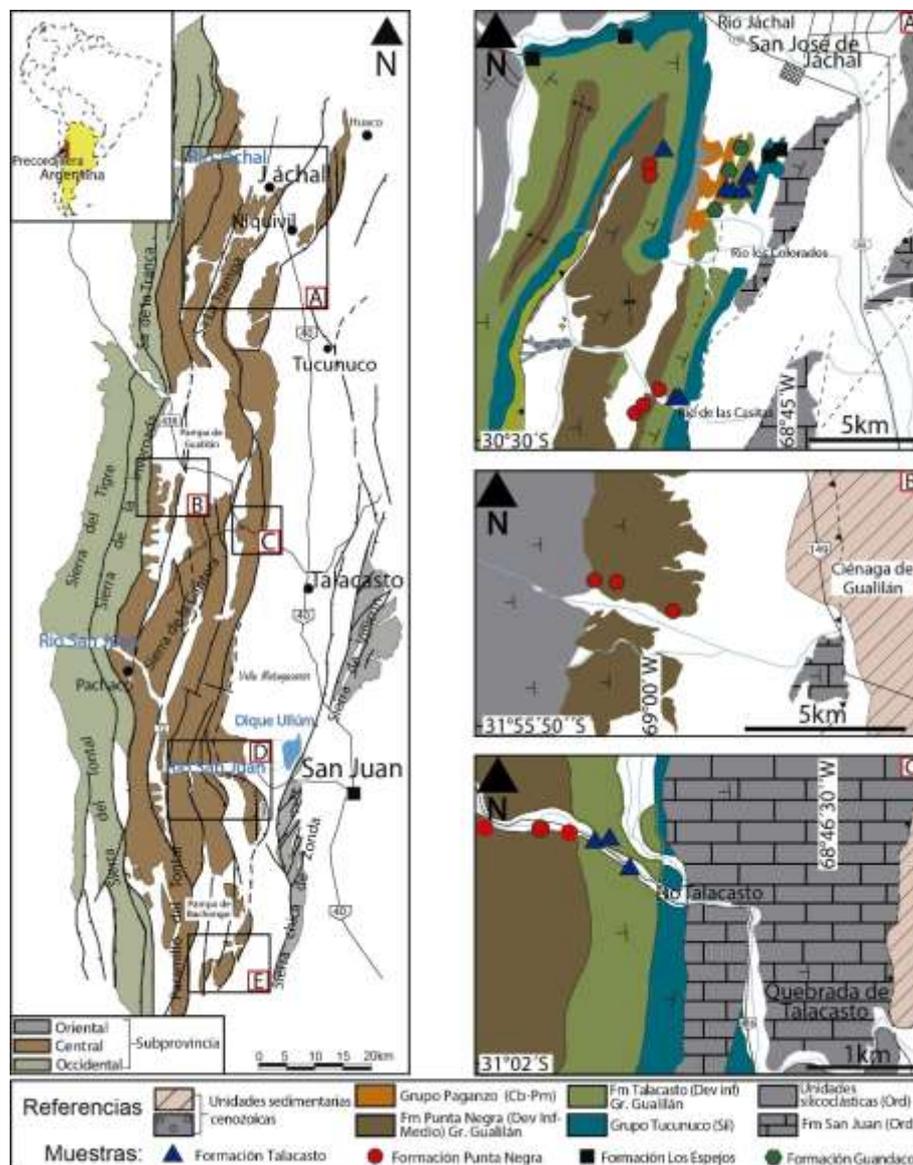


Figura IV-1a. Ubicación de muestras para análisis petrográficos.

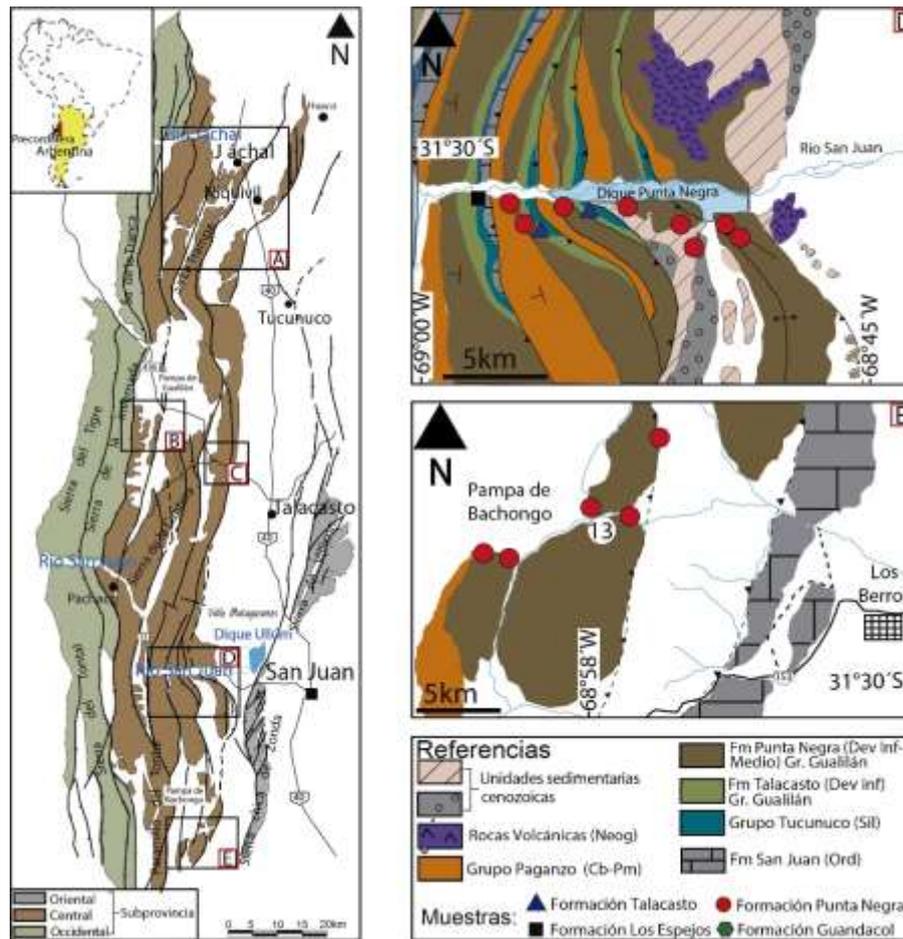


Figura IV-1b. Ubicación de muestras para análisis petrográficos.

#### A1a. Formación Talacasto.

*La Formación Talacasto* constituye la unidad basal del Grupo Gualilán, consiste en una sucesión de fangolitas y vaques bioturbados con intercalaciones de capas delgadas de areniscas finas, las cuales se hacen más frecuentes en la parte alta de la unidad. La coloración predominante es gris-verdosa, aunque localmente se pueden reconocer franjas de coloraciones ocre. Su composición es homogénea, sin embargo, localmente presenta variaciones en sus componentes, caracterizándose por poseer un grado de madurez composicional y textural sub-madura con cuarzo como componente principal, y tamaño de grano máximo arena mediana. Todas las muestras analizadas petrográficamente en esta tesis doctoral corresponden a la parte media y alta de la unidad, pues es allí donde se encuentran los niveles más gruesos, los cuales son necesarios al momento de hacer una detallada descripción petrográfica y principalmente cuando se pretende obtener los minerales pesados que luego puedan ser analizados por la metodología (LA-ICP-MS).

#### A1b. Formación Punta Negra.

*La Formación Punta Negra* constituye la unidad superior del Grupo Gualilán integrada por una secuencia con depositación rítmica, caracterizada por una sucesión monótona de areniscas, vaques, arcosas intercalados. La coloración predominante es verde oscuro.

Composicionalmente homogénea, con un grado de madurez composicional y textural de submadura a madura, con cuarzo, (monocristalino y policristalino) como componente principal y presentando un tamaño promedio de arena mediana. Las muestras analizadas para esta unidad corresponden en gran parte a la sección media-inferior ya que de esta manera fue posible tener un mayor control estratigráfico; de igual manera fueron muestreados los intervalos muy próximos al límite con la Formación Talacasto, esto permitió una comparación entre las distintas localidades. Para el área de Bachongo se interpreta a los niveles superiores de lutitas y areniscas rojas con aumento en tamaño de grano, junto con la aparición de estratos entrecruzados con estructuras de tipo artesa, como el primer evento de continentalización gondwánico en la Precordillera (Cuerda *et al.*, 1990). Según Peralta (2013) la ausencia de la Formación Talacasto en el flanco oriental de la sierra de la Invernada es interpretada como consecuencia de un basculamiento de la cuenca devónica hacia el norte, debido al control del alto del Tambolar (Furque y Caballé, 1990). En gran parte de la sierra la Formación Punta Negra se encuentra cubierta en paraconcordancia por los depósitos olistostrómicos de la Formación Los Sombreros, los cuales, sobre la base de sus relaciones estratigráficas, características litológicas y paleobiológicas, serían el resultado de un evento distensivo (cuenca extensional) ocurrido en el Devónico posteriormente a la depositación de la Formación Punta Negra (Peralta 2005a; b; 2013). Tradicionalmente la Formación Los Sombreros fue interpretada como una unidad olistostrómica depositada en un ambiente de talud, de acuerdo al contenido fosilífero presente en la matriz fue asignada al Ordovícico y se encontraría mediante fallamiento por encima de la Formación Punta Negra (Cuerda *et al.*, 1983). El análisis fosilífero de los olistolitos permite asignar a los mismos una edad cámbrica a ordovícica temprana (Benedetto y Vaccari, 1992; Vaccari y Bordonaro, 1993; Bordonaro y Banchis, 1996; Bordonaro y Fojo, 2011).

## **A2. Estudio petrográfico.**

Los objetivos al aplicar esta técnica consistieron en clasificar las muestras, su textura y composición mineralógica. Luego determinar las composiciones modales para estimar la procedencia de las areniscas.

Se realizaron cortes petrográficos de más de 50 muestras psamíticas. Los mismos han sido confeccionados en el laboratorio de cortes delgados del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG). El equipo utilizado se compone de una sierra circular Conrad D3392 Clausthal-Zellerfeld y una devastadora Petro-Thin. Para el pulido de los cortes se utilizó pasta diamantada de 0.25 $\mu$ m tipo "P" para lubricación con HC, y alúmina levigada de 0,3 $\mu$ m.

Los cortes delgados fueron estudiados bajo microscopio en el laboratorio de Petrografía del CIG, el cual cuenta con un equipo de luz polarizada Zeiss Wetzlar y otro Nikon Eclipse E200 los cuales tienen adosados cámaras digitales Leica para la obtención de fotografías, que permitieron observar las características petrográficas y microtexturales descriptas. Los conteos

modales se llevaron a cabo con un contador de puntos Swift, modelo F, el cual se encuentra adosado a un microscopio Leitz Laborlux 12 Pol. Para cada muestra analizada se contaron un total de 400 puntos (Figura IV-2A-B). La composición modal de las psamitas de grano medio que contaban con <15% de matriz fueron cuantificadas por el método de conteo de Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.*, 1984).



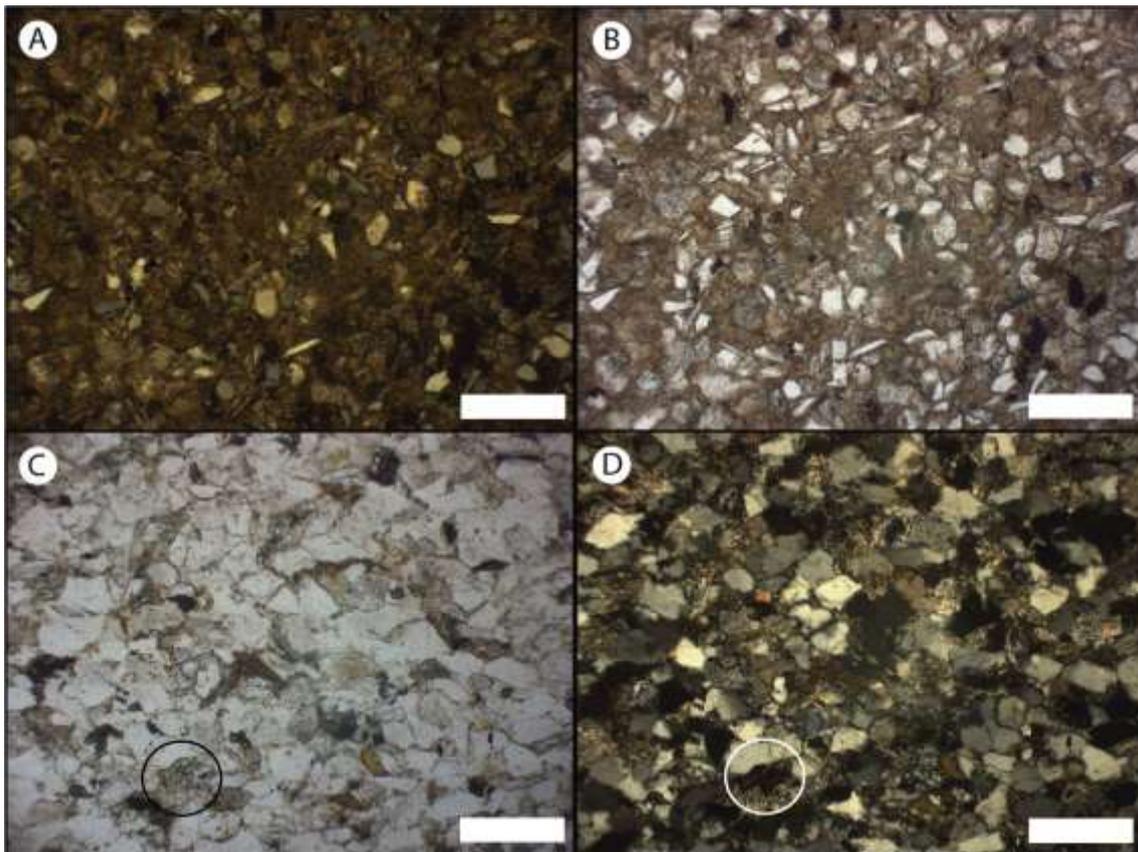
**Figura IV-2.** Instrumental utilizado para realizar análisis petrográfico, obtención de imágenes y conteo de puntos. **A:** Nikon Eclipse E200 con acople de cámara digital Leica. **B:** contador de puntos Swift, modelo F adosado al microscopio Leitz Laborlux 12 Pol.

En el presente trabajo de tesis doctoral, se presentarán las descripciones petrográficas de muestras colectadas en diferentes niveles estratigráficos de las formaciones que integran el Grupo Gualilán (Formaciones Talacasto y Punta Negra) y de diversas muestras que se consideran relevantes al momento de comparar los aportes de detritos, esencialmente de las Formaciones Los Espejos y Guandacol (Figura IV-1a-b). Especial atención y un análisis más profundo ha sido puesto en aquellas muestras que fueron seleccionadas para análisis U-Pb y Lu-Hf (ICP-LA-MS). El estudio de las secciones delgadas permitió caracterizar la composición mineral, textural, y analizar el grado de deformación o compactación que han sufrido las rocas. Se efectuaron análisis comparativos entre las unidades del Grupo Gualilán y entre estas y otras unidades con el objetivo de establecer similitudes y diferencias entre las secuencias sedimentarias.

Se describirán en una primera instancia, las unidades del Grupo Gualilán en orden estratigráfico (Formaciones Talacasto y Punta Negra respectivamente), luego la unidad infrayacente, Formación Los Espejos/Tambolar y finalmente la unidad suprayacente, Formación Guandacol. Cada unidad es caracterizada luego del análisis individual de las muestras, aquellas que presenten alguna particularidad será mencionado en la descripción.

### A2a. Formación Talacasto.

De acuerdo a su tamaño de grano las muestras analizadas pueden ser clasificadas entre fangolitas a arenas finas. Las mismas presentan un moderado grado de selección de sus componentes, con morfologías que van desde angulosas a subangulosas. La madurez textural, varía desde submaduras en el sector Sur de la cuenca, en donde se observa la presencia de una pseudomatriz dada por minerales altamente alterados, pero que aún preservan las formas de sus bordes, a maduras en la región más septentrional de la misma donde la matriz es muy escasa o está directamente ausente (Figura IV-3A-B-C-D).

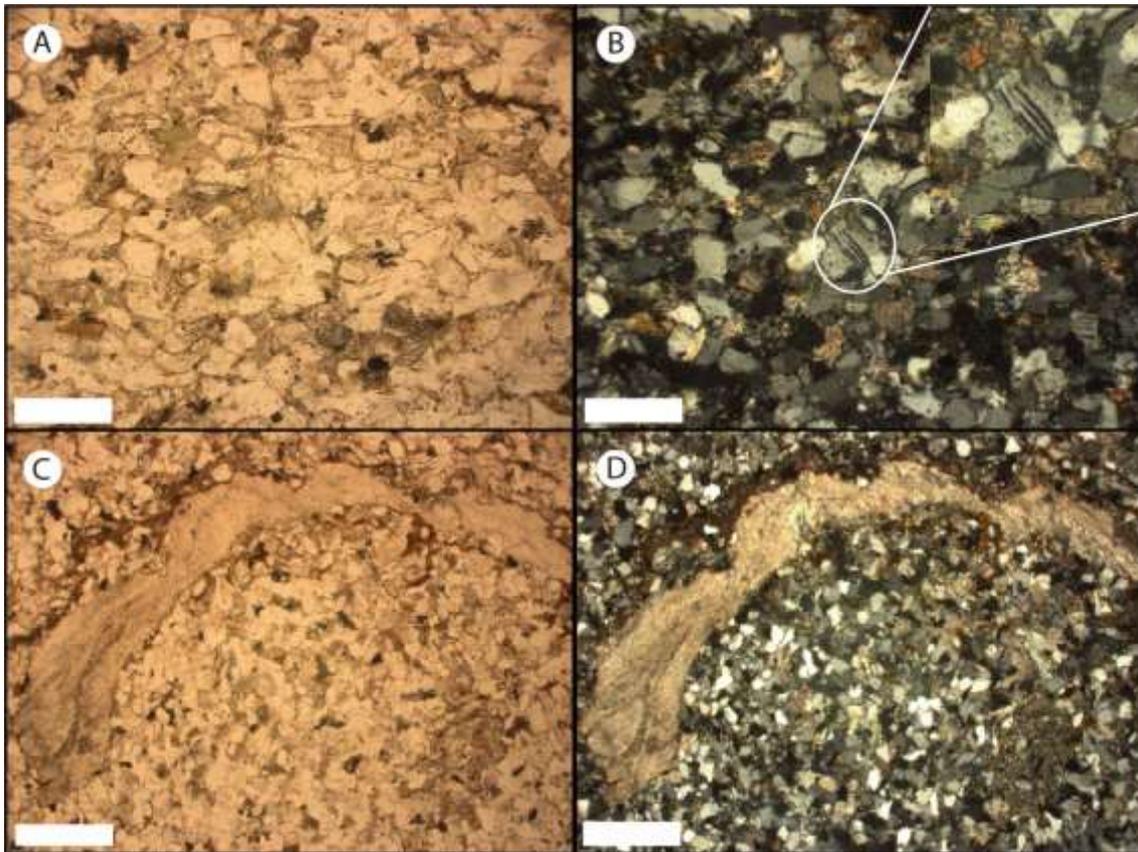


**Figura IV-3.** Microfotografías de la Formación Talacasto. Barra de escala: 200 micrones. **A-B:** característica asociación petrográfica de la Formación Talacasto en la región Norte: clastos angulosos esencialmente de cuarzo monocristalino con escasa o nula matriz. **C-D:** característica asociación petrográfica de la Formación Talacasto en la región Sur: clastos subredondeados, mayor presencia de filosilicatos y pseudomatriz. En el interior del círculo se observa un cristal de clorita.

La mineralogía está controlada fundamentalmente por cuarzos monocristalinos de formas angulosas los cuales presentan extinción común u ondulosa, con sus bordes levemente alterados o corroídos. En algunos casos estos cuarzos presentan pequeñas inclusiones de diferentes minerales donde la más frecuente es de rutilo de hábito acicular. Debido al tamaño de grano es difícil de visualizar el cuarzo policristalino, pero el mismo se encuentra presente en baja

proporción en la región Norte donde el tamaño de grano medio de las muestras es menor, aumentando su presencia hacia el Sur conjuntamente con el aumento del tamaño de grano medio.

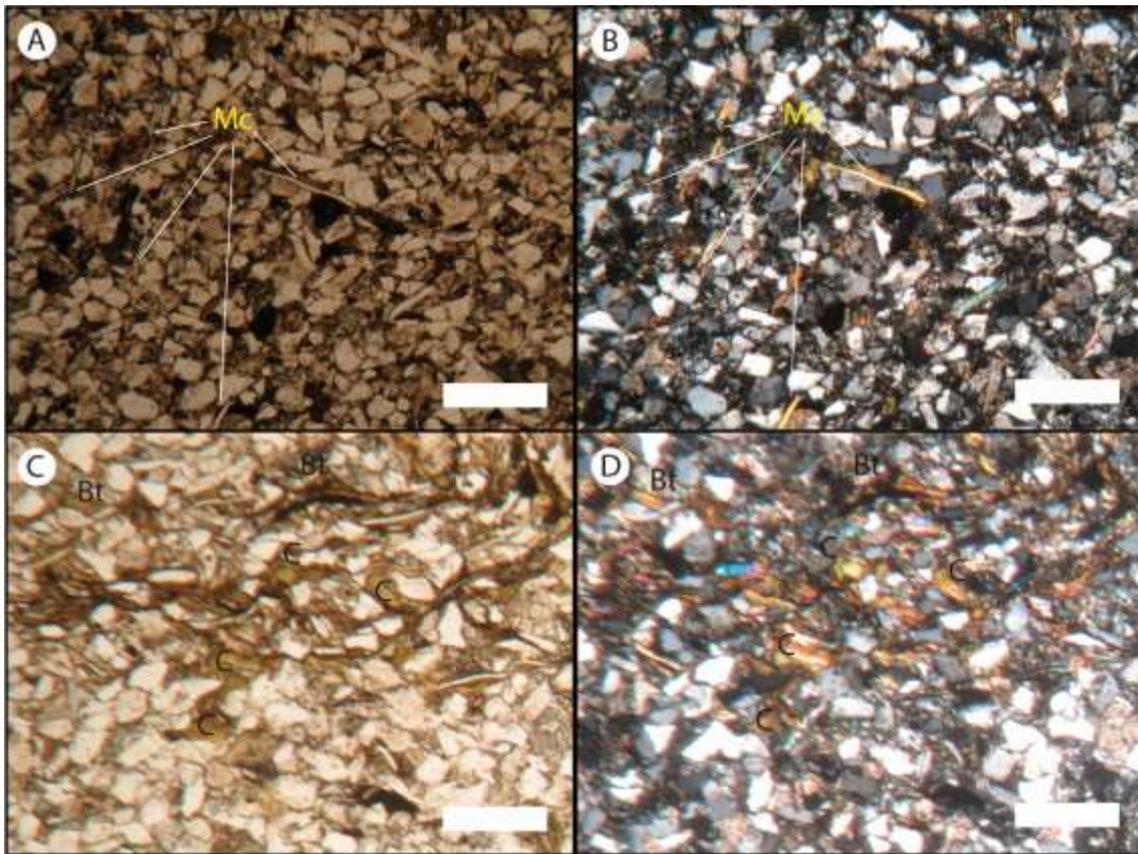
En orden de abundancia siguen los feldespatos en aquellas muestras ubicadas hacia el Centro y Norte de la cuenca. La plagioclasa es poco significativa, pero se encuentra en todas las muestras con un porcentaje cercano al 3%, los cristales se pueden identificar fácilmente gracias a la presencia de las maclas polisintéticas, sus bordes también se encuentran levemente alterados; se pudo observar que varios cristales presentaban una deformación en el retículo que deja como resultado un desplazamiento en sus maclas (Figura IV-4A-B). Los feldespatos potásicos presentan alteración avanzada, siendo algunos cristales completamente reemplazados por carbonatos de tipo calcítico.



**Figura IV-4.** Microfotografías de la Formación Talacasto. **A-B:** característica asociación petrográfica de la Formación Talacasto: clastos mayormente de cuarzo y plagioclasa en menor proporción. Círculo: cristal de plagioclasa con retículo desplazado. Barra de escala: 200 micrones. **C-D:** resto fósil característico de la unidad: *Australacoelia sp* rodeado de un cemento arcilloso “flotando” entre granos de cuarzo. Barra de escala: 500 micrones.

En contraposición, las muestras ubicadas en la porción más austral del sector central de la cuenca muestran un aporte más significativo de líticos, en su mayoría de origen plutónico y metamórfico y se encuentran considerablemente reducidas en la cantidad de feldespatos.

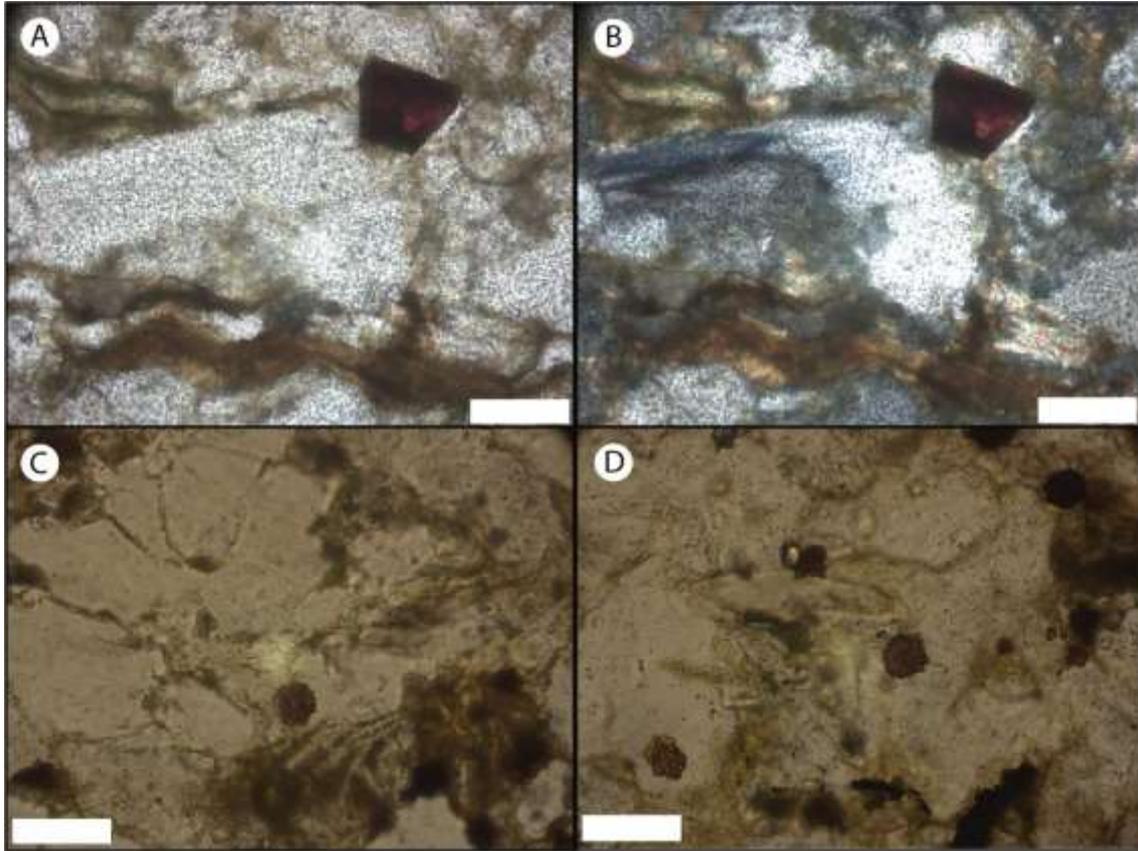
Dentro de los minerales accesorios son abundantes los filosilicatos, se pudo identificar biotita detrítica, en general muy deformada y adaptando su forma a los espacios dejados por los minerales más resistentes. En segundo lugar, se identifica muscovita, en general con cristales más pequeños que la anterior, el grado de deformación es menor y en último lugar un filosilicato de grano muy fino, posiblemente sericita que se encuentra como cemento de la muestra, rellenando los poros dejados por los cristales mayores (Figura IV-5A-B). Es importante destacar la presencia de cristales de clorita diseminada por la misma (Figura IV-5C-D). En cuanto a los minerales pesados translucidos, se destacan la presencia de circón, apatita, turmalina, rutilo, epidoto, etc.



**Figura IV-5.** Microfotografías de la Formación Talacasto. Barra de escala: 200 micrones. Mayor presencia de filosilicatos. **A-B:** muscovitas (Mc). **C-D:** predominio de cloritas (C) y biotitas (Bt).

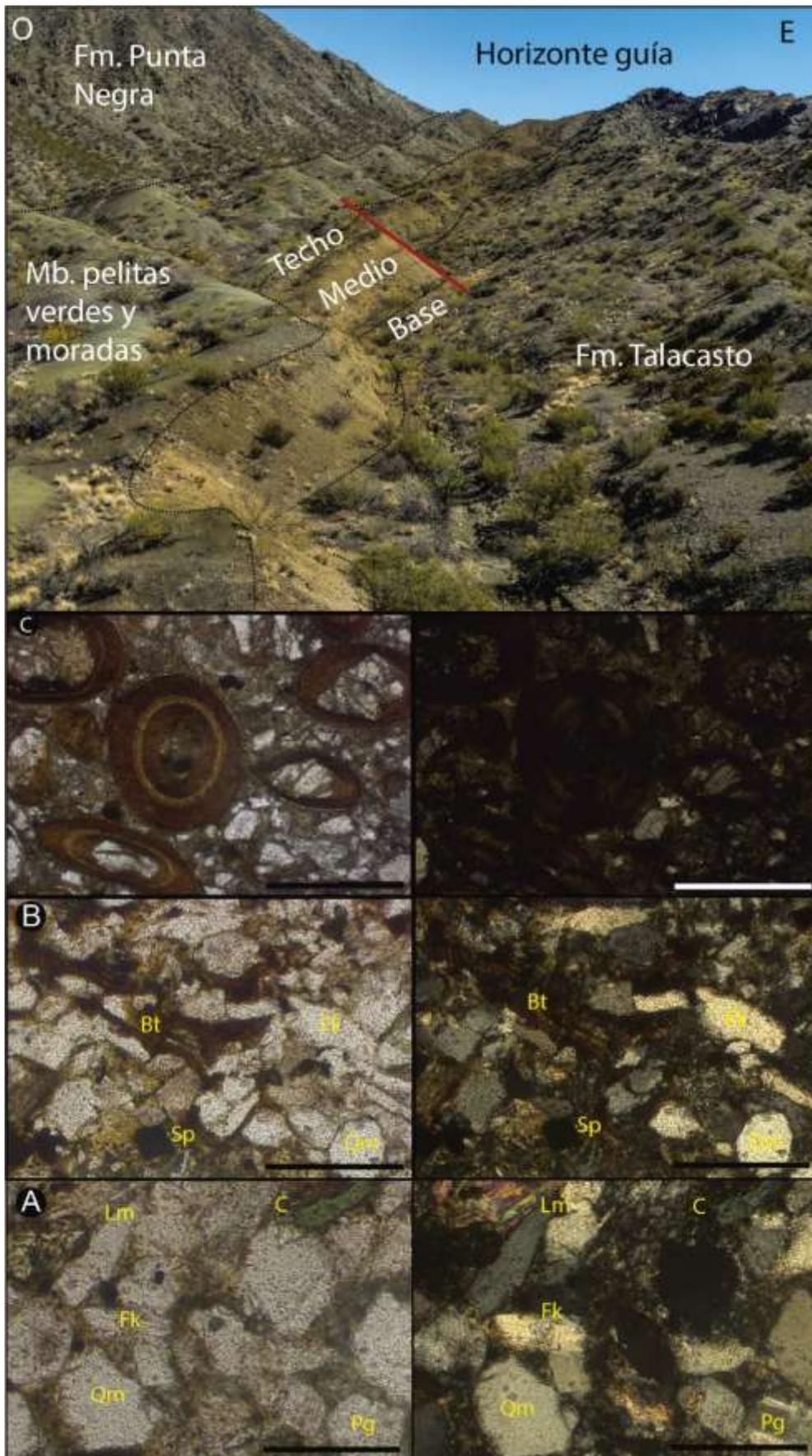
Es de destacar que las muestras 16T56 y 16T45 son anómalas respecto a las demás analizadas para esta unidad, comenzando por el tamaño granulométrico donde en promedio de granos corresponderían a una arena mediana, siguiendo por su composición, en la cual los granos de cuarzo (mono como policristalinos) son el componente principal, seguidos por líticos plutónicos y metamórficos. Se observan además una gran cantidad de minerales de bordes netos, color rojo rubí, en muchos casos conformando glomérulos, identificados a partir de MEB-EDS como posibles espinelas, mientras que entre los granos pueden observarse contornos circulares de

coloración ocre-anaranjado que podrían ser clasificados como palinomorfos. (Figura IV-6A-B-C-D).



**Figura IV-6.** Microfotografías de la Formación Talacasto. Barra de escala: 50 micrones. **A-B:** Mineral accesorio de color rojo rubí: espinela? **C-D:** palinomorfos no identificables.

En relación a los minerales opacos se pudo observar la presencia de magnetita, hematita y pirita, las cuales pudieron ser reconocidas en los concentrados de minerales pesados, estas dos últimas con características de ser neoformadas y no detríticas. Estas muestras corresponden a la sección media del denominado “horizonte guía de Keidel”. En su techo se reconoció una pequeña capa de entre 10-15 cm, conformado por ooides de probable composición chamosítica y gran diversidad morfológica desde netamente circulares a ovals, en ocasiones con presencia de núcleos cuarzosos, texturalmente matriz-sostén, sumergidos en una matriz arcillosa (Figura IV-7).

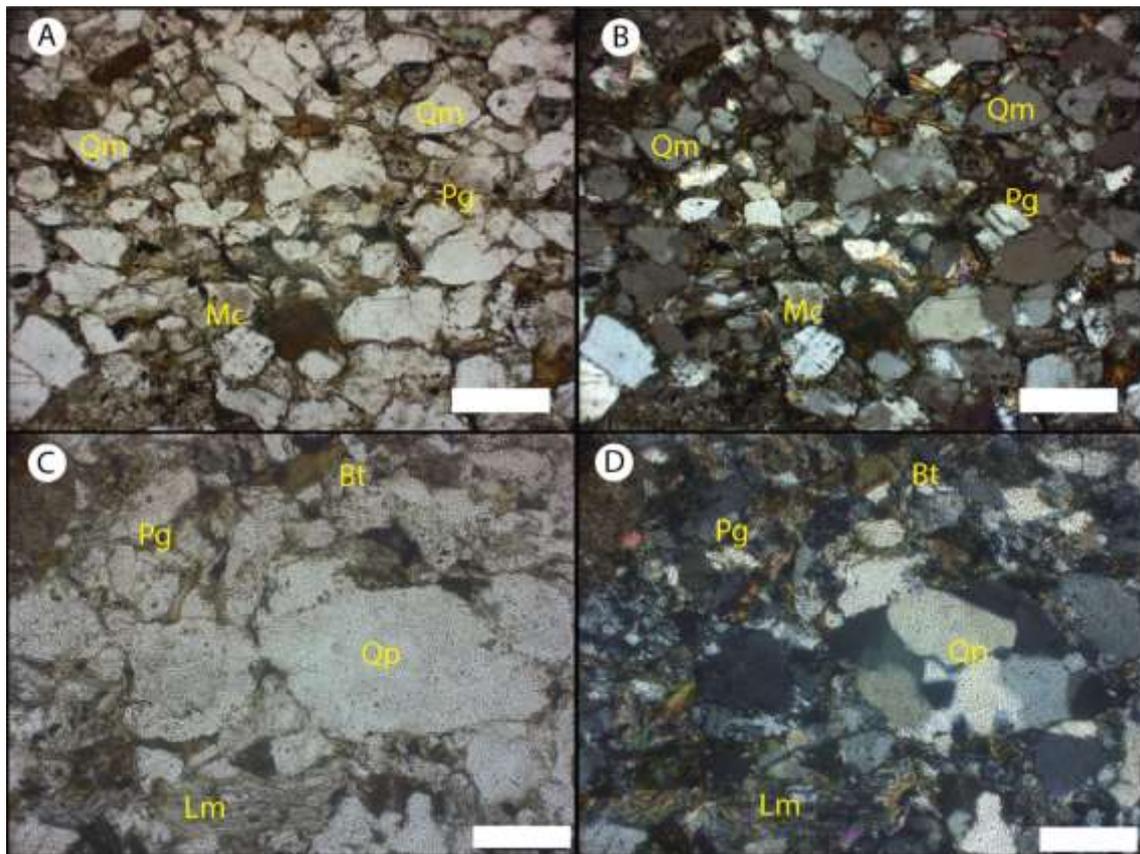


**Figura IV-7.** Fotografía de campo del límite entre la Formación Talacasto y la Formación Punta Negra en la Quebrada de Talacasto, con detalle del horizonte guía de Keidel. Microfotografías; A: Base del horizonte.

**B:** Sección media. **C:** Techo del horizonte. Barra de escala: 200 micrones. Qm: cuarzo monocristalino, Pg: plagioclasa Fk: feldespato potásico. Lm: lítico metamórfico, C: clorita, Bt: biotita, Sp: espinela.

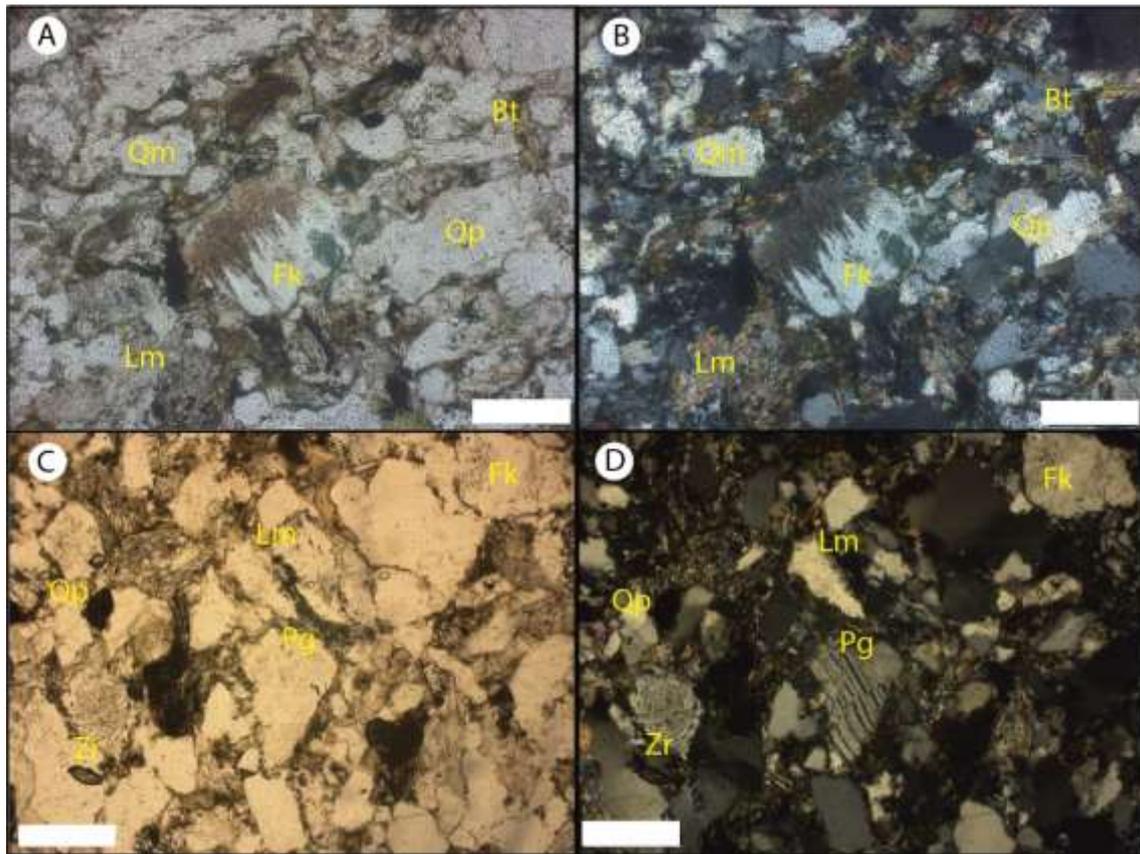
#### A2b. Formación Punta Negra.

Fueron analizadas muestras que presentaban un tamaño de grano de areniscas medianas, en todos los casos se trata de rocas moderadamente a bien seleccionadas, donde el cuarzo monocristalino y policristalino conforman los componentes principales, presentando extinción ondulosa con bordes levemente alterados, en los primeros es frecuente la presencia de inclusiones (Figura IV-8).



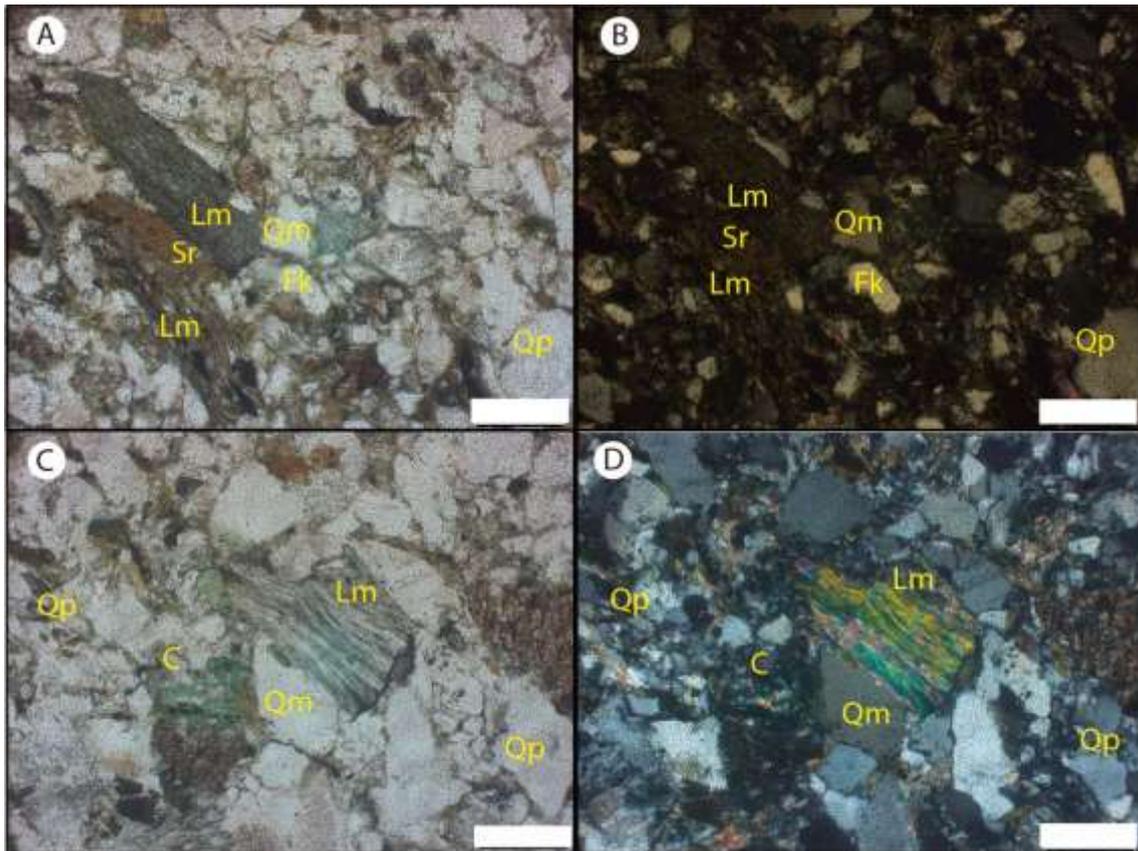
**Figura IV-8.** Microfotografías de la Formación Punta Negra. Barra de escala: 200 micrones. Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, Pg: plagioclasa, Mc: microclino, Lm: lítico metamórfico, Bt: biotita.

El feldespato potásico también es importante, de fácil reconocimiento por su hábito prismático alargado y macla de tipo Carlsbad, los bordes están alterados a sericita (Figura IV-9A-B). También se identificó microclino con su macla en enrejado muy característica y por último feldespatos con perfitas producto de exsolución. Las plagioclasas siguen en orden de abundancia, de fácil reconocimiento por las maclas polisintéticas, las cuales también pueden encontrarse deformadas al igual que las que se encontraron en la Formación Talacasto, y en ocasiones aparecen alteradas en sus bordes e interior del cristal (Figura IV-9C-D).



**Figura IV-9.** Microfotografías de la Formación Punta Negra. Barra de escala: 200 micrones. **A-B:** feldespato potásico (Fk) parcialmente alterado a sericita. **C-D:** Detalle de plagioclasa (Pg) con el retículo desplazado por esfuerzo mecánico. Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, Pg: plagioclasa Fk: feldespato potásico, Lm: lítico metamórfico, Bt: biotita, Zr: circón.

Los filosilicatos presentes, son por su abundancia biotita y muscovita. La primera muy deformada, adoptando la forma que dejan los minerales más resistentes a la compresión, en tanto que las segundas tienden a ser de hábito prismático más corto y preservan su forma original. También se identificó en estas muestras un filosilicato, de hábito similar a la muscovita, pero con colores de interferencia anómalos, posiblemente de origen metamórfico. La presencia de cloritas es significativa, (Figuras IV-10C-D, 11A-B) tanto de tipo detríticas como autógenas. Estos minerales junto con los feldspatos se orientan preferencialmente conformando una microestructura bandeada. Otros componentes de importancia son los líticos, los más abundantes son los de origen metamórfico (Figura IV-10), por el tamaño de grano y la orientación de los cristales dentro del mismo, se pueden considerar como provenientes de esquistos, pero también son comunes líticos plutónicos ácidos, derivados de granitoides. En cuanto a los minerales pesados translúcidos se destacan la presencia de circón, turmalina, rutilo, epidoto, monacita. Dentro de los opacos se registran hematita y magnetita. El cemento es en general de composición illítica. La muestra 16PN43 presenta en sectores muy aislados, cemento carbonático.

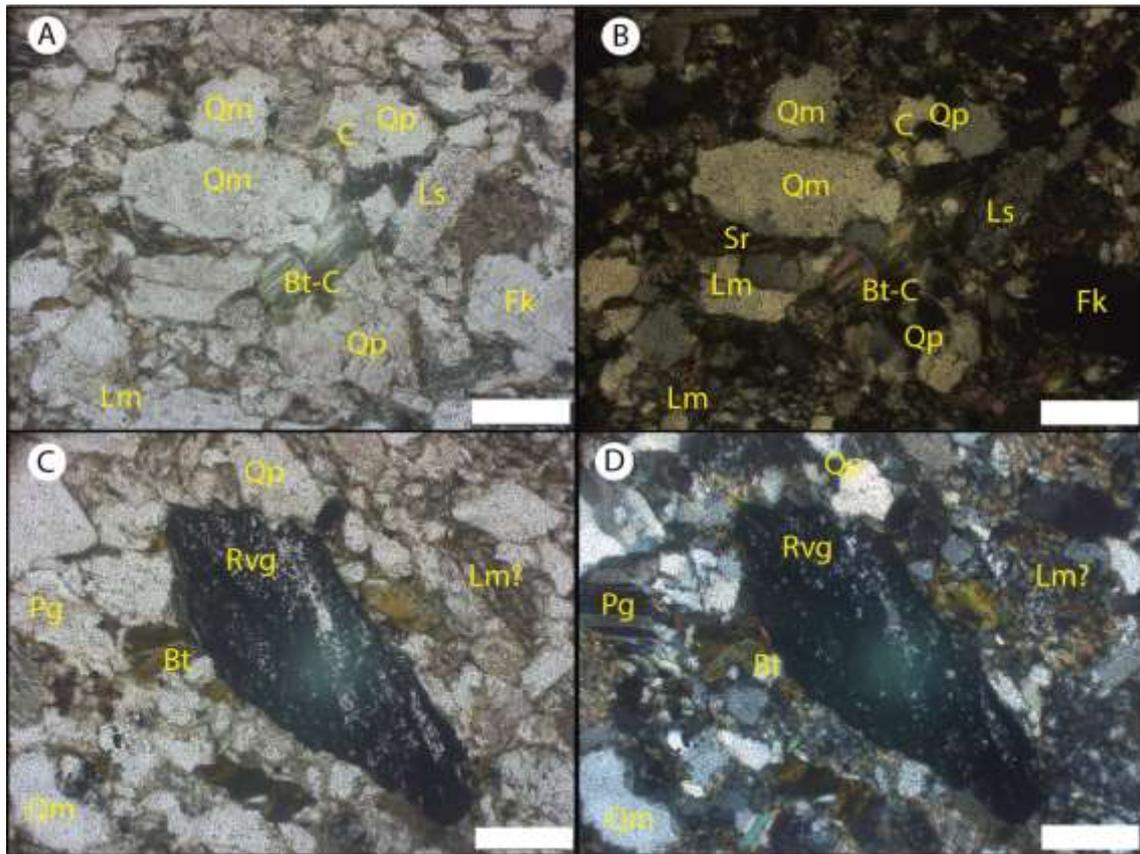


**Figura IV-10.** Microfotografías de la Formación Punta Negra. Barra de escala: 200 micrones. Detalle de líticos metamórficos. **A-B:** bajo grado. **C-D:** grado medio, nótese la abundante presencia de clorita. Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, Fk: feldespato potásico, Lm: lítico metamórfico, C: clorita, Sr: sericita.

Es de destacar para esta formación el alto porcentaje de briznas vegetales presentes, las cuales al igual que los minerales de hábito prismático se orientan de una manera preferencial. (Figura VI-11).

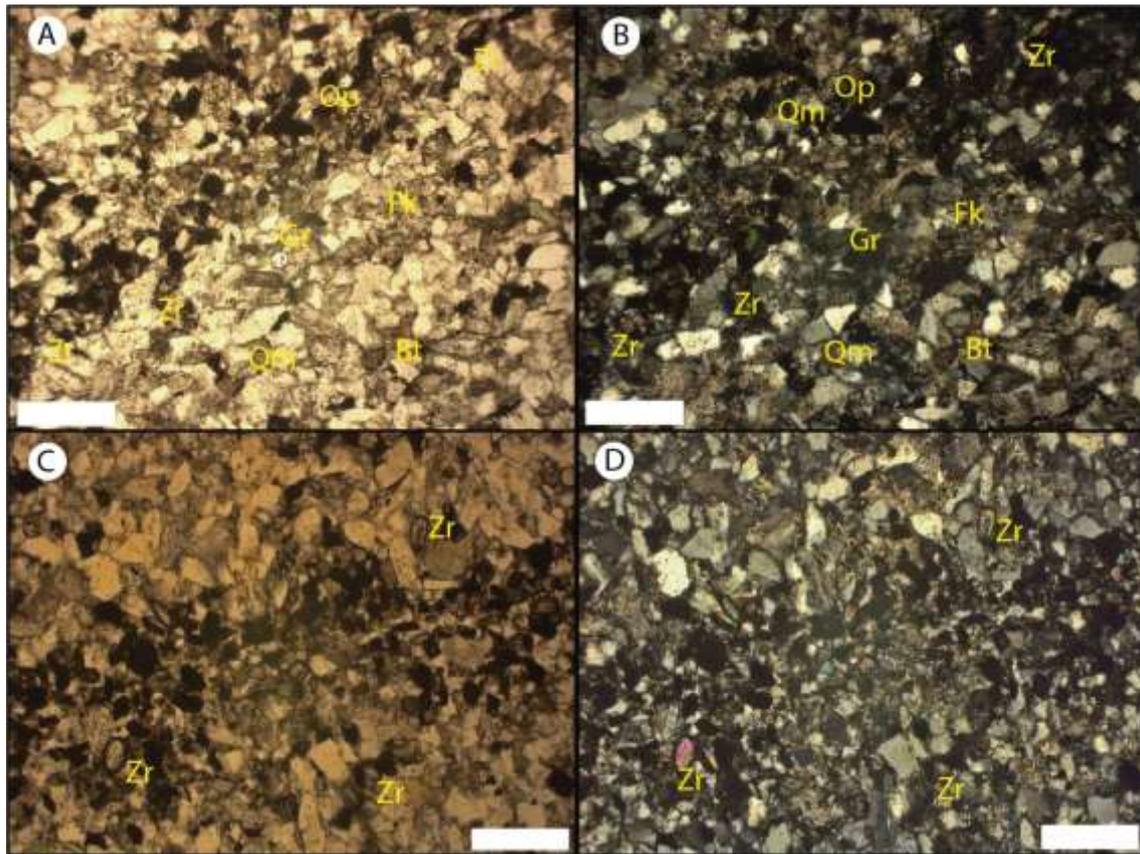
### A2c. Otras unidades.

*Formación Los Espejos/Tambolar:* esta unidad está representada por sedimentitas con tamaño de grano medio de limo grueso, presentando una moderada selección de sus componentes, en general con contornos de sus granos subangulosos a angulosos. En cuanto a la composición, dominan los granos de cuarzo monocristalino, en su mayoría presentando extinción ondulosa, y sus bordes están dados por suturas entre los cristales o por uniones triples y en casos aislados con engolfamientos. El cuarzo policristalino está presente en baja proporción resultando difícil su identificación debido al tamaño de grano. La plagioclasa constituye un componente detrítico con una participación secundaria en la muestra con cristales subangulosos levemente alterados a



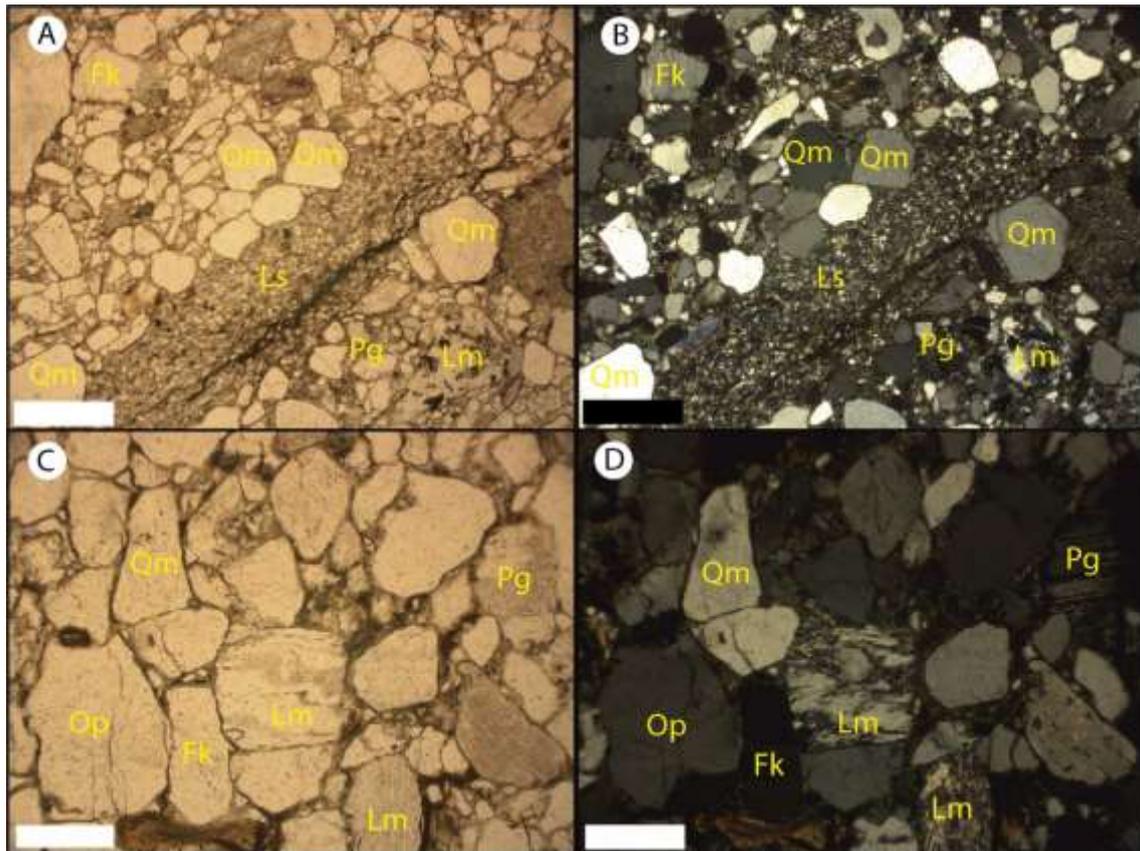
**Figura IV-11.** Microfotografías de la Formación Punta Negra. Barra de escala: 200 micrones. **A-B:** cristal de biotita (Bt) siendo parcialmente reemplazado a clorita (C). **C-D:** detalle de resto vegetal característico de la unidad. Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, Pg: plagioclasa Fk: feldespato potásico, Lm: lítico metamórfico, C: clorita, Bt: biotita, Rvg: resto vegetal.

carbonatos en sus bordes, presentando la clásica macla polisintética. Los feldespatos potásicos presentes se encuentran totalmente alterados a carbonatos conformando una pseudomatriz. Las micas participan escasamente, se exhiben cristales de muscovitas detríticas muy dispersas, mientras que la biotita se aloja en huecos dejados por otros minerales encontrándose en ocasiones deformada. Dentro de los minerales accesorios se destacan pequeños mantos de minerales de hierro, como magnetita y hematita principalmente (Figura IV-12A-B-C-D). Es en estos mantos donde se concentran los minerales pesados translúcidos que son muy abundantes en la muestra, entre los más destacados por su abundancia tenemos al circón, apatita, rutilo. En cuanto al cemento se presenta por un lado arcilloso posiblemente illítico, rodeando los cristales, aunque no llega a formar un anillo completo, mientras que por otro lado se identificó cemento carbonático, reemplazando a los feldespatos, alterando bordes de plagioclasa y cuarzos, Se trata de un cemento macroesparítico que en algunos sectores se comporta como poiquilotópico. Un tercer tipo de cemento está relleno los poros, compuesto por un filossilicato marrón claro, posiblemente sericita.



**Figura IV-12.** Microfotografías de la Formación Los Espejos. Barra de escala: 200 micrones. Detalle de los mantos donde se concentran tanto minerales opacos como pesados. El resto de los elementos son difíciles de visualizar por el tamaño de grano. Qm: cuarzo monocristalino, Fk: feldespato potásico, Bt: biotita, Gr: Granate, Zr: circón.

*Formación Guandacol:* en las muestras analizadas se observa escasa selección (Figura IV-13A), con una variedad en el tamaño y forma de los granos; los mismos se presentan desde angulosos hasta completamente redondeados y de tamaños de grano desde pelítico a bloques de hasta 50 cm (en afloramiento). Composicionalmente el cuarzo es el mineral principal, que se presenta en muchas variedades, desde redondeados con extinción *flash*, pasando por clastos con extinción ondulosa y también en la forma policristalina. Los feldespatos potásicos más comunes son los microclinos, seguidos por feldespatos peritéticos producto de exsolución. Hay pocos feldespatos límpidos. Las plagioclasas son poco frecuentes y se encuentran alteradas y remplazadas por carbonatos. Otros componentes abundantes son los fragmentos de roca, en orden de abundancia, dominan los metamórficos de intermedio a bajo grado, aunque se reconocen litoclastos de grado metamórfico alto (Figura IV-13C-D), seguidos por los líticos volcánicos de composiciones básicas/intermedias a ácidas. Por último, los sedimentarios tanto clásticos (pelíticos y psamíticos) como calcáreos, estos conteniendo restos fósiles de posibles algas (Figura VI-13A-B).

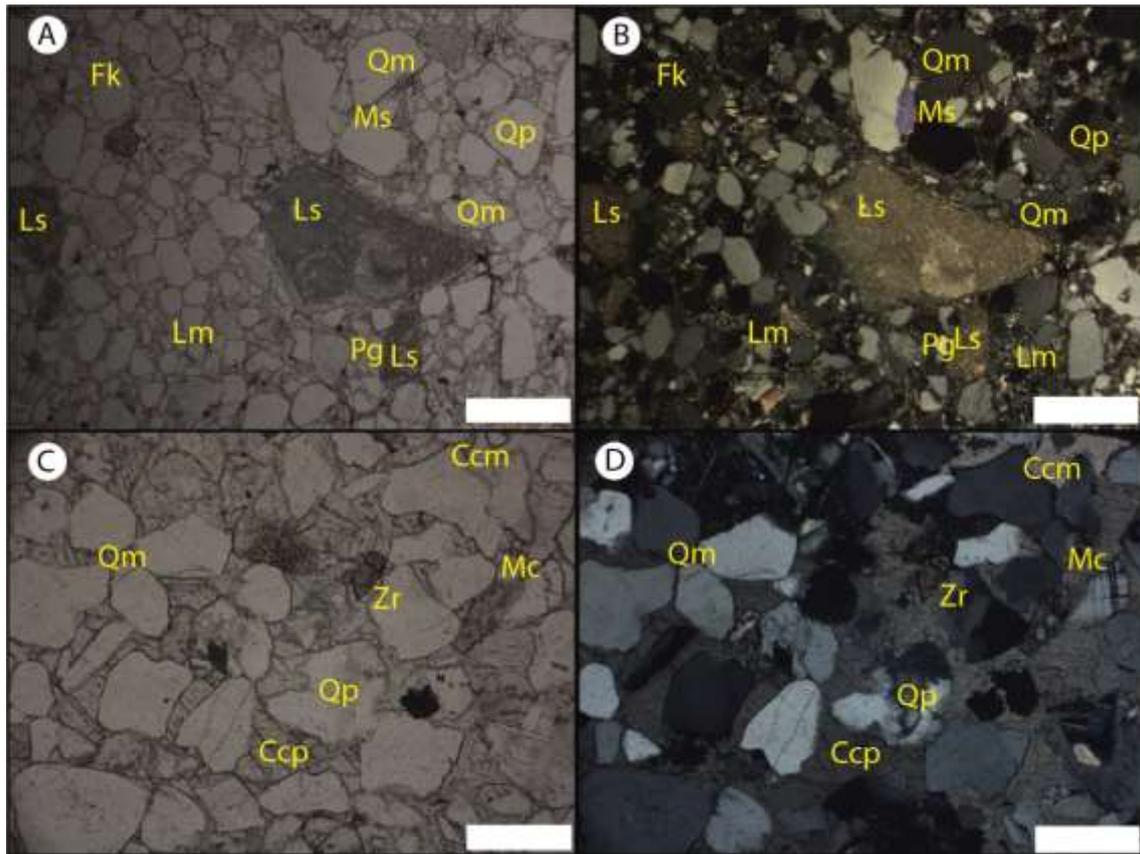


**Figura IV-13.** Microfotografías de la Formación Guandacol. Barra de escala: 200 micrones. A-B Detalle de la escasa selección granulométrica, con claro predominio de cuarzo monocristalino (Qm), en el centro de la microfotografía se destaca un lítico sedimentario de gran tamaño (Ls). C-D: diversidad mineralógica, en el centro de la microfotografía litoclasto de roca metamórfica de alto grado. Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, Fk: feldespato potásico, Pg: plagioclasa, Ls: lítico sedimentario, Lm: lítico metamórfico.

En cuanto a los cementos se reconocen tres generaciones, la primera de composición arcillosa que forma anillos que rodean a todos los clastos (tipo *ring*) y luego los espacios restantes son cubiertos por un cemento microesparítico o por cemento carbonático macroesparítico poiquilotópico que a veces cubre a algunos granos (Figura IV-14C-D).

### A3. Síntesis interpretativa de la petrografía.

Al analizar en detalle las unidades bajo estudio observamos una similitud tanto mineralógica como textural entre las dos formaciones que conforman el Grupo Gualilán. En ambas unidades el cuarzo es el mineral dominante. En el caso de la Formación Talacasto, los minerales que la componen presentan sus contornos de angulares a sub-angulares y un tamaño promedio de grano de arena fina. Es notable la presencia de feldespatos tanto potásico como plagioclasas los cuales se presentan parcialmente o totalmente reemplazados por carbonatos. Se destaca el grado de disparidad textural que presenta la unidad en sentido Norte-Sur; hacia el Norte,



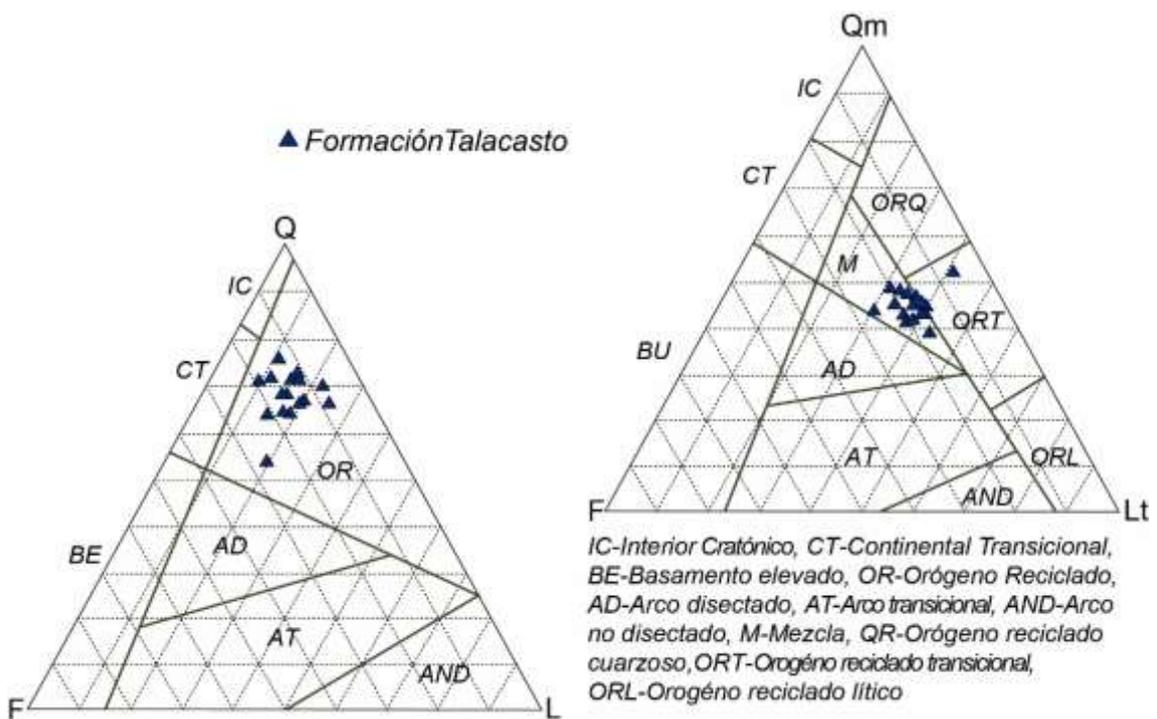
**Figura IV-14.** Microfotografías de la Formación Guandacol. **A-B:** Detalle de litoclasto sedimentario donde se observa la presencia de un resto fósil: alga? Barra de escala: 500 micrones granulométrica. **C-D:** detalle de la cementación carbonática Ccm: cemento carbonático microesparítico, Ccp: cemento carbonático poiquilótópico Barra de escala: 200 micrones granulométrica. Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, Fk: feldespato potásico, Pg: plagioclasa, Ls: lítico sedimentario, Lm: lítico metamórfico, Ms: muscovita, Mc: microclino, Zr: circón.

las muestras en su mayoría presentan una elevada madurez textural, con cuarzo mono y ocasionalmente policristalino clasto-sostén, acompañados en menor medida de feldespatos y filosilicatos. Hacia el Sur, las muestras de esta unidad presentan una cantidad de matriz próxima al 15%. Otro componente significativo dentro de la unidad corresponde a los fragmentos líticos, mayormente de origen plutónico (granítico) y metamórficos.

En esta unidad se destaca el ya mencionado horizonte de Keidel el cual presenta características particulares; debido a sus disparidades internas fue dividido para su estudio en tres secciones: inferior, media y superior. La primera de ellas presenta tamaño de grano de arena mediana, clasto sostén con gran participación de cuarzo monocristalino, líticos metamórficos, plagioclasas, feldespatos potásicos y ocasionales cloritas que le otorgaban a esta pequeña capa una coloración verdosa (10-15 cm). La sección media cuenta con un tamaño de grano promedio de arena media con un porcentaje de material fino abundante en el cual se encuentran inmersos los componentes mayores, estos componentes en orden de abundancia son cuarzo monocristalino,

policristalino, feldespatos potásicos, líticos plutónicos y metamórficos, plagioclasas y filosilicatos. Es característico de esta capa la presencia de minerales de color rojo con bordes netos asignados como espinelas. Mientras que la sección superior se caracteriza por presentar como componente principal ooides de hasta 2mm, que presentan morfologías diversas desde netamente circulares a ovales contenidos en una matriz arcillosa por lo que texturalmente se la clasifica como matriz sostén. Otro componente que acompaña a los ooides, es el cuarzo monocristalino, que se encuentra diseminado en la matriz y también conformando los núcleos de muchos ooides.

Cuando se plotean las muestras de la Formación Talacasto en los diagramas triangulares propuestos por Dickinson *et al.* (1983) podemos ver que en el (Q-F-L) las muestras se ubican en el campo de orógeno reciclado, mientras que al diferenciar al cuarzo entre monocristalino y policristalino (Qm-F-Lt) las muestras analizadas se disponen en su mayoría en el campo de mezcla, a excepción de la muestra 16T45 la cual se ubicó en el campo de orógeno reciclado transicional (Figura IV-15).

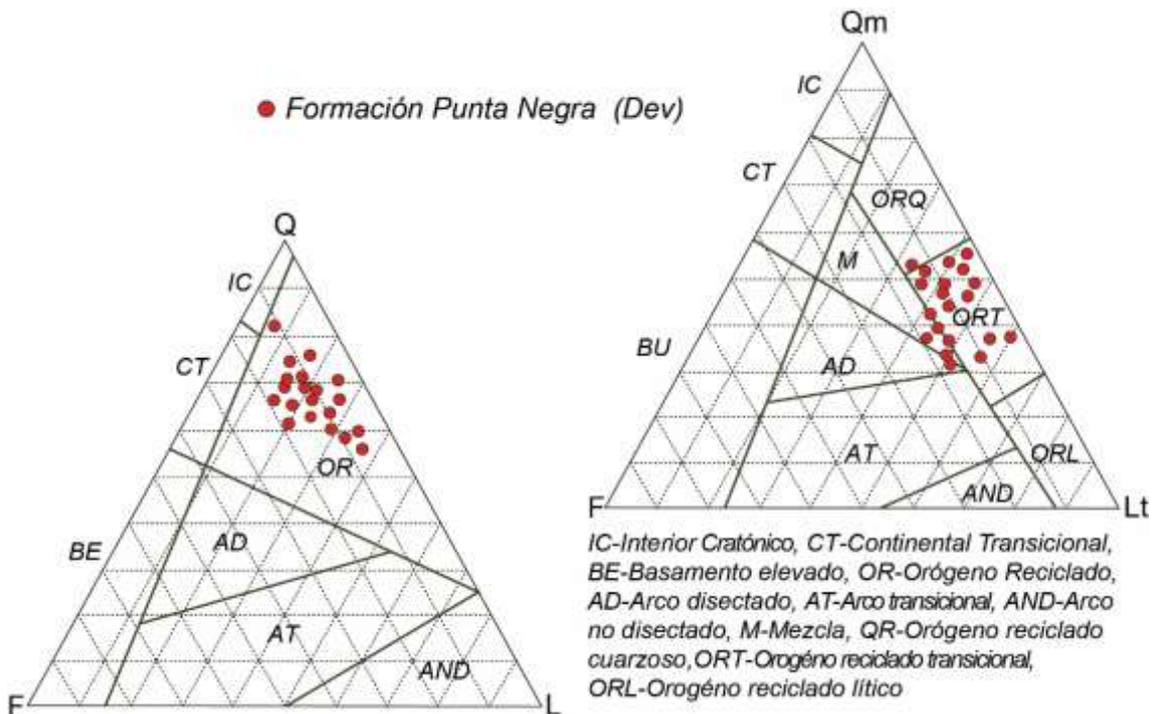


**Figura IV-15.** Muestras de la Formación Talacasto ubicadas en los diagramas propuestos por Dickinson *et al.* (1983).

La Formación Punta Negra mostró una composición textural de madura a submadura, con contorno de granos angulares a subangulares, el tamaño granulométrico promedio es de arena mediana. Composicionalmente dominadas por cuarzo en sus variedades monocristalina con extinción ondulosa y policristalina conformada por más de tres componentes, los líticos plutónicos ácidos de tipo graníticos y metamórficos de grado medio le siguen en abundancia. Los feldespatos potásicos reconocibles suelen presentar signos de exsolución mientras que otros

exhiben características maclas en enrejado que permiten asociarlos a fuentes plutónicas. Las plagioclasas se encuentran escasamente representadas, en muchos casos presentando microfisuras intracrystalinas que probablemente se acomodan localmente a la deformación; debido a la misma compactación causada por el apilamiento de la columna sedimentaria, las micas tanto muscovita como biotita se encuentran deformadas. Todas las muestras analizadas presentan porcentajes de matriz menores al 14%, es frecuente reconocer pequeños fragmentos alargados de coloración negra e isótropos asignados a restos vegetales, los cuales junto a los filosilicatos presentaban una orientación preferencial otorgando una microestructura a las muestras.

Al ubicar las muestras que involucran a la Formación Punta Negra en los diagramas composicionales propuestos por Dickinson *et al.* (1983), notamos cierta similitud con la unidad infrayacente: Las muestras de la Formación Talacasto, en diagrama ternario (Q-F-L) se ubican en el campo de orógeno reciclado, sin embargo, estas presentan porcentajes de cuarzo total superiores a la unidad basal por lo que al discriminar el cuarzo entre monocristalino y policristalino del diagrama (Qm-F-Lt) observamos un desplazamiento hacia el campo del orógeno reciclado transicional y únicamente dos de las muestras analizadas se posicionan en el campo de mezcla (Figura VI-16). Esto podría deberse a una exhumación mayor de las áreas orogénicas que proporcionarían un mayor aporte de detritos.

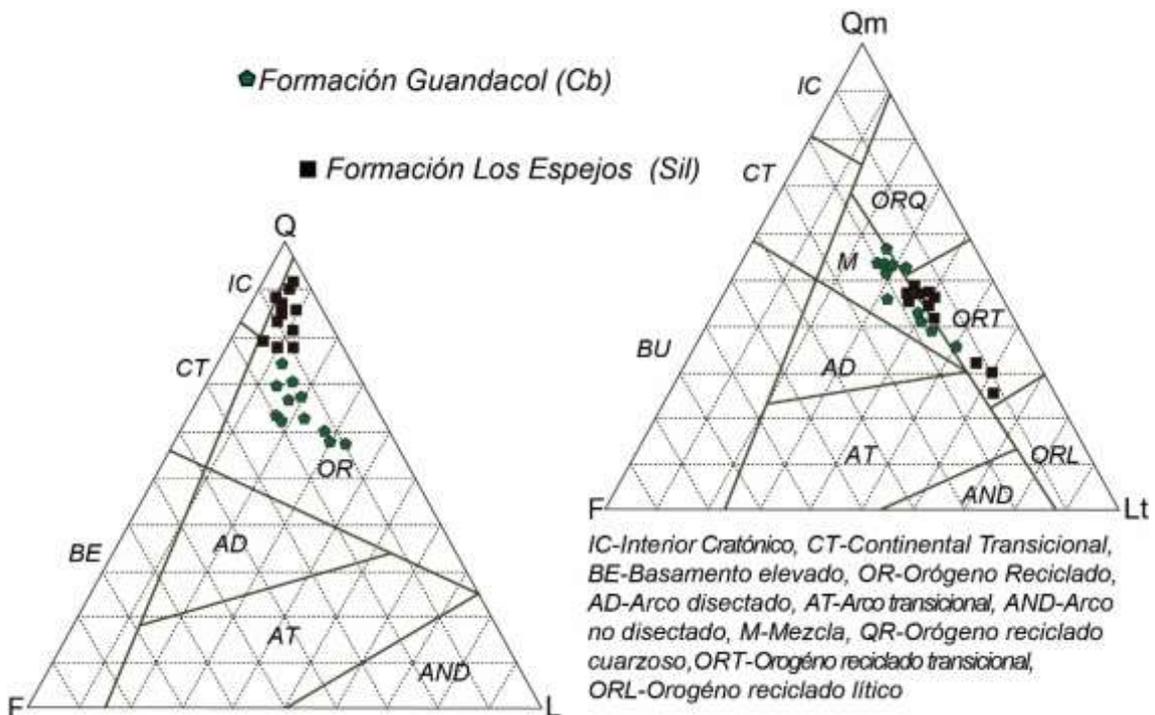


**Figura IV-16.** Muestras de la Formación Punta Negra ubicadas en los diagramas propuestos por Dickinson *et al.* (1983).

Las restantes muestras analizadas corresponden a las Formaciones Los Espejos y Guandacol respectivamente. La primera de ellas con tamaño de grano de limo a arena fina, conformadas por cuarzo monocristalino y policristalino seguido de líticos metamórficos y

plutónicos. Las muestras contienen porcentajes de matriz elevados, en realidad se trata de pseudomatriz producto de la alteración total de feldespatos. Es característico de la unidad, la disposición en mantos de minerales ricos en hierro como magnetita y hematita identificados a partir de MEB-EDS. La segunda de ella se caracteriza por una mala selección de sus componentes, el tamaño de grano es muy heterogéneo, variando desde tamaño de limo a bloque (en afloramiento), la muestra es dominada por cuarzo como componente principal, los líticos reconocidos al microscopio y en muestra de mano, corresponden a fuentes plutónicas graníticas a granodioríticas, los líticos metamórficos de tipo esquistos son los más abundantes. Además, se identificaron clastos metamórficos de bajo grado en los cortes. Los líticos sedimentarios reconocidos fueron de tres litologías principales. En primer lugar, líticos psamíticos, seguidos por aquellos de características pelíticas y en menor proporción de composición carbonática, estos últimos conteniendo restos fósiles. Es posible reconocer también clastos de chert, los cuales se encuentran muy diseminados.

Cuando ploteamos los datos analizados en los diagramas triangulares, las muestras que representan a la Formación Los Espejos (Sil) se ubican en el campo de orógeno reciclado, prácticamente todas ellas con más del 80% de cuarzo, cuando desglosamos al cuarzo entre monocristalino y policristalino las muestras analizadas se desplazan principalmente al campo de orógeno reciclado transicional y levemente al campo de mezcla (Figura IV-17).



**Figura IV-17.** Muestras de las Formaciones Los Espejos y Guandacol ploteadas en los diagramas propuestos por Dickinson *et al.* (1983).

Las muestras correspondientes al Paleozoico Superior de la Formación Guandacol, se ubican en el campo del orógeno reciclado de igual modo que las muestras de la unidad descrita

anteriormente, pero presentando porcentajes de cuarzo que rondan entre 50% a 80%, cuando las mismas muestras son ploteadas en el diagrama (Qm-F-Lt) estas se desplazan levemente hacia el vértice de Lt incluidas dentro del campo de mezcla, otras de ellas se ubican en el campo de orógeno reciclado cuarzoso, mientras que solo una muestra se ubica en el campo de orógeno reciclado transicional (Figura IV-17). La baja selección que caracteriza a esta unidad no se ve reflejada en gran medida en la petrografía debido a que las muestras correspondientes a esta unidad representan la “matriz” que contiene inmersa a componentes de mayor tamaño.

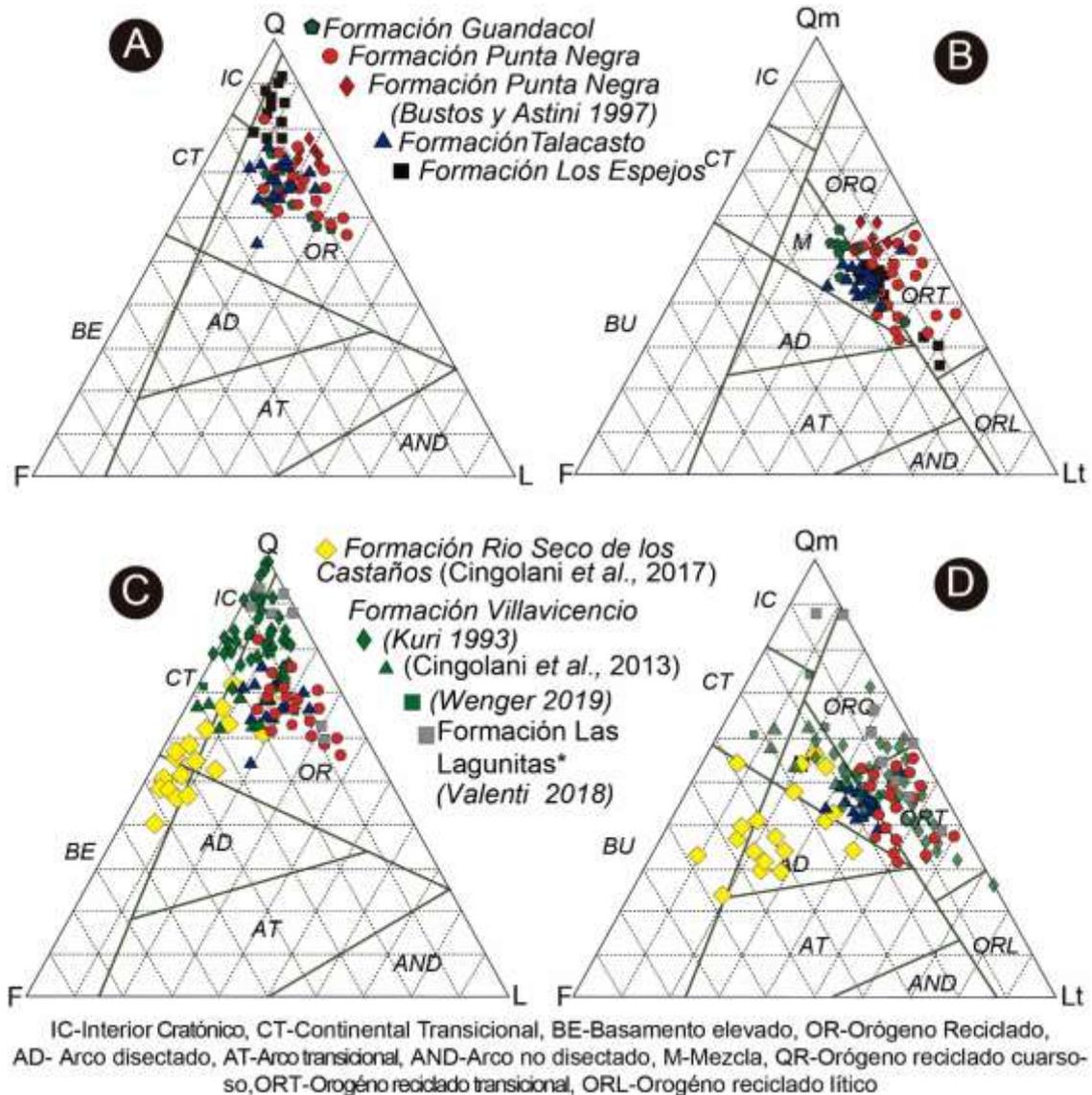
### A3a. Comparación petrográfica.

Al plotear todas las muestras analizadas en esta tesis doctoral, se observa como las muestras del Grupo Gualilán presentan una composición similar derivadas de un posible orógeno reciclado (Figura IV-18A). Las diferencias entre las dos unidades se presentan al desglosar los cuarzos entre mono y policristalinos (Figura IV-18B), de esta manera las muestras de la Formación Talacasto procederían de ambientes de mezcla, debido que en ellas no es posible reconocer un considerable porcentaje de cuarzo policristalino. Sin embargo, para la Formación Punta Negra, al tratarse de muestras con granulometrías más gruesas, la presencia de cuarzo policristalino es mayor y al graficar las mismas en el diagrama (Qm-F-Lt) vemos como estas se desplazan al campo correspondiente a un orógeno reciclado transicional. Eso evidencia que, si bien pudieron compartir fuentes semejantes como áreas de aporte, al momento de la depositación de la Formación Punta Negra el orógeno responsable del aporte detrítico se encontraba con un grado mayor de exhumación y como consecuencia registran los porcentajes elevados de cuarzo policristalino y líticos tanto plutónicos como metamórficos. Datos aportados por Bustos y Astini (1997) para la Formación Punta Negra arrojaron un comportamiento similar en el diagrama (Qt-F-L), la diferencia entre las muestras analizadas por estos autores y las muestras de esta tesis doctoral, radica en que ellos registran fases más cuarzosas de esta unidad por lo que la procedencia indica un origen desde un orógeno reciclado transicional a cuarzoso (Figura IV-18B).

Si realizamos una comparación de la composición detrítica con la unidad ubicada por debajo del Grupo Gualilán, encontramos que la Formación Los Espejos presenta porcentajes de cuarzo tanto mono como policristalinos mayores, esto indica una procedencia desde áreas cratónicas así como también desde orógenos reciclados (Figura IV-18A). Al separar el cuarzo en las dos especies minerales útiles en la clasificación, observamos que las muestras de esta unidad comparten el campo de orógeno reciclado transicional con las muestras del Grupo Gualilán, sin embargo, su ubicación dentro del triángulo es un poco caótica, reflejando una procedencia diversa en cuanto a las fuentes.

Similares comportamientos manifiestan las muestras de la Formación Guandacol (Figura IV-18A), para esta unidad la procedencia a partir de los componentes petrográficos indica un

claro predominio de un ambiente de mezcla, este campo refleja la complejidad que representa a la unidad, por lo que las fuentes pueden ser múltiples y de diversos orígenes (Figura IV-18B).



**Figura IV-18.** Diagramas propuestos por Dickinson *et al.* (1983). **A:** Diagrama (Q-F-L) y **B:** Diagrama (Qm-F-Lt) para las muestras de analizadas en esta tesis doctoral más muestras de la Formación Punta Negra aportadas por Bustos y Astini (1997). **C:** Diagrama (Q-F-L) y **D:** Diagrama (Qm-F-Lt) Comparando las muestras del Grupo Gualilán con otras unidades de Cuyania: Formaciones Villavicencio (Kury 1993; Cingolani *et al.*, 2013; Wenger, 2019), Rio seco de los Castaños (Cingolani *et al.*, 2017) y Formación Las Lagunitas (Cordillera Frontal; Valenti, 2018), \*: Facies Selerpe (Sil-Dv?).

Similar análisis puede efectuarse con otras unidades de edades similares que cuenten con análisis petrográficos, en particular hay dos unidades consideradas como posibles equivalentes a las muestras del Grupo Gualilán que son la Formación Villavicencio, ubicada en la Precordillera mendocina, y la Formación Rio Seco de los Castaños aflorante en el Bloque de San Rafael.

La primera de ellas fue analizada por diversos autores: Kury (1993); Cingolani *et al.* (2013); Wenger (2019), no llegando a conclusiones similares. Por un lado, Kury (1993) indica una preponderancia de cuarzo total en las muestras analizadas lo que conlleva a que estas se ubiquen dentro del campo de orógeno reciclado y, en menor medida dentro de interior cratónico y continental transicional. Al discriminar el cuarzo en sus dos especies, se observa un desplazamiento significativo de las muestras hacia los campos de orógeno reciclado transicional, a cuarzoso y lítico lo que evidencia el gran aporte de cuarzo policristalino con que cuenta la unidad (Figura IV-18C-D). Similares conclusiones fueron alcanzadas por Wenger (2019).

En tanto que los resultados obtenidos por Cingolani *et al.* (2013) arrojan un mayor contenido de feldespatos potásicos correspondiendo a vaques feldespáticos y cuarzosos, vinculando las áreas de procedencia desde orógeno reciclado a continental transicional (Figura IV-18C) o derivados de ambientes de mezcla a continental transicional (Figura IV-18D).

Por su parte la Formación Río Seco de los Castaños muestra una gran disparidad con todas las unidades analizadas previamente, en ella es posible reconocer como áreas de procedencia de los detritos a basamentos elevados, continental transicional y en menor grado al campo de orógeno reciclado (Figura IV-18C). Mientras que si observamos las muestras ploteadas en el diagrama (Qm-F-Lt), vemos como las mismas se ubican mayormente en los campos de arco disectado y ambiente de mezcla evidenciando una tectónica inestable al momento de su depositación.

Otra unidad expuesta en el Bloque de San Rafael que se habría depositado contemporáneamente a la Formación Río Seco de los Castaños es la Formación La Horqueta, si bien esta no cuenta con un análisis petrográfico de detalle, Tickyj *et al.* (2017) describen una alternancia de metavaques, metaarenitas, metalimolitas, metapelitas y raros metaconglomerados, depositados en un ambiente marino. Las metaarenitas muestran textura metaclástica con matriz recristalizada. En los metavaques con menor grado de deformación, los clastos están compuestos principalmente por cuarzo (mono y policristalinos), líticos sedimentarios y metasedimentarios, con escasos litoclastos volcánicos y calcáreos, y feldespatos menores. Es frecuente la presencia de material carbonoso y pirita autigénica.

En la región de Cordillera Frontal, en la sección ubicada al Oeste del Bloque de San Rafael, es conocida la presencia de una secuencia silicoclástica identificada como Formación Las Lagunitas de edad pre-Carbonífera (Ordovícico Tardío-Devónico Temprano; Volkheimer, 1978; Caminos, 1979; Dessanti y Caminos, 1967; Tickyj *et al.*, 2009), la cual está integrada por dos sucesiones con características distintivas: una sección inferior constituida por facies que se encuentran afectadas por la deformación y metamorfismo atribuida a la Fase Chánica, como resultado de la acreción del terreno Chileno, y una sección superior, la cual no se halla afectada por dicha deformación y metamorfismo denominada informalmente como facies Selerpe (García Sansegundo *et al.*, 2012; 2014) atribuida con dudas al Silúrico-Devónico Temprano. Valenti,

(2018) realiza un análisis petrográfico de la unidad y encuentra para la sección superior, que las muestras de acuerdo a sus componentes mineralógicos provendrían desde áreas cratónicas maduras y orógenos dominados por cuarzo (Figura VI-18C), al desglosar al cuarzo en las especies monocristalina y policristalina, observamos que las muestras presentan una notable heterogeneidad, ubicándose en los campos de interior cratónico, orógeno reciclado cuarzoso y orógeno reciclado transicional (Figura VI-18D).

Las muestras del Grupo Gualilán (Formaciones Talacasto y Punta Negra) presentan comportamientos semejantes de acuerdo a sus componentes detríticos a la Formación Villavicencio (ver Kury, 1993 y Wenger, 2019) esto estaría asociado a que los sedimentos compartirían las mismas fuentes durante el Devónico temprano, sin embargo la disposición de alguna de las muestras de la Formación Punta Negra, podrían indicar que las condiciones tectónicas del Devónico Medio estarían cambiando hacia momentos de mayor inestabilidad tectónica con tasas de exhumación mayor.

## B. DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

### **B1. Introducción.**

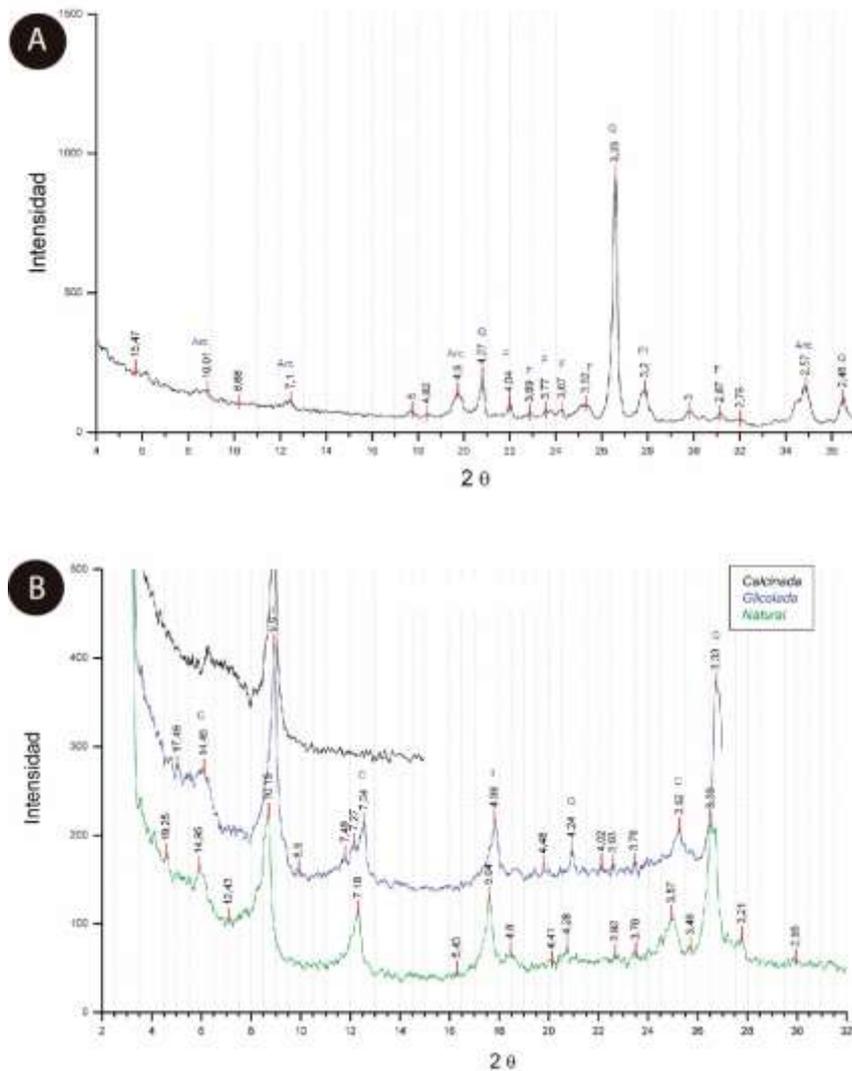
Para los análisis de difracción de rayos X se seleccionaron las mismas muestras que fueron empleadas en los análisis isotópicos de Sm/Nd. Se utilizaron aproximadamente tres gramos de rocas de grano fino (pelitas) en polvo molidas a mano en morteros de cerámica, por cada una de las 8 muestras sedimentarias, con el objetivo de complementar el análisis petrográfico, identificando los minerales de grano fino, que conforman parte de la matriz y cementos en las rocas de grano psamítico.

Se recurrió al difractómetro de rayos X PANalytical, modelo X' Pert PRO3373/00 con lámpara de Cu ( $k\alpha=1.5403\text{Å}$ ) del laboratorio de difracción de rayos X del Centro de Investigaciones Geológicas. Haciendo correr las muestras desde los 3 grados hasta los 37 grados, lo que da como resultados la primera lectura, que corresponde a la "roca total" (Figura IV-19A).

Posteriormente se coloca el polvo de la muestra en un vaso correctamente rotulado y se lo completa con agua destilada. La mezcla de sedimento y agua se agita bien y se la deja reposar por 20 minutos para que decante la fracción más gruesa y concentrar la fracción menor a 40 micrones. Pasado ese tiempo se toma una muestra de la mezcla con una pipeta, se divide el contenido de la pipeta en dos portaobjetos de vidrio y se los deja secar para obtener una película fina de sedimento. Una de estas muestras se la analiza en el difractómetro de rayos X desde los 2 hasta los 32 grados obteniéndose la denominada muestra "natural" (Figura IV-19B). Esta misma muestra se coloca en un glicolador y se la deja expuesta a los vapores de etilenglicol durante al menos 24 horas para la hidratación de las arcillas expansivas. Luego de este proceso, se la pasa

por el difractómetro de rayos X; esta tercera lectura es la denominada muestra “glicolada” (Figura IV-19B).

La cuarta y última lectura se realiza sobre la segunda muestra montada a partir del pipeteo y se efectúa después de pasarla por una mufla a 550° C durante dos horas para generar el colapso de la estructura cristalina de las arcillas expansivas y de la caolinita. De esta manera, se obtiene la denominada muestra “calcínada” (Figura IV-19B).



**Figura IV-19. A:** difractograma de roca total, se pueden identificar los minerales o grupo de minerales preponderantes en la muestra. **B:** difractograma de arcillas en él se grafican las tres lecturas: natural, glicolada y calcínada, reconociéndose los picos de las arcillas dominantes.

## B2. Resultados.

De las cuatro muestras analizadas en roca total correspondientes a la Formación Talacasto (16T08, 16T11, 16T38 y 16T46) se desprende que todas ellas muestran un comportamiento de los difractogramas similares en donde pueden identificarse los picos correspondientes a las

especies minerales de cuarzo, plagioclasa y arcillas (elipses gris, amarillo y verde respectivamente) (Figura IV-20).

El feldespato potásico fue reconocido claramente en la muestra 16T11 (elipse rosa, Figura IV-20B), mientras que en las restantes este resultó de difícil identificación. Esta asociación mineralógica coincide con lo obtenido como preponderante en la petrografía de las facies más gruesas.

Al identificarse el pico correspondiente a las arcillas, se procedió a realizar nuevas lecturas que permitan reconocer que filosilicatos se encuentran presentes (Figura IV-21). A partir de estos análisis las muestras de la Formación Talacasto arrojaron un predominio claro de dos especies minerales: en primer lugar, se encuentra la illita (I, elipse amarilla), este filosilicato había sido descrito conformando un cemento de coloración ocre en la petrografía de las rocas psamíticas, por otro lado, la clorita (C) pudo ser identificada a partir de los difractogramas, esta especie mineral fue observada en la petrografía como detrítica conformando parte del esqueleto de las muestras y no como cemento (Figura IV-21).

Por su parte la Formación Punta Negra quedó representada por cuatro muestras (16PN34, 16PN44, 16PN52 y 16PN58), ellas exhibieron a partir de los difractogramas características similares a la Formación Talacasto, reconociéndose los picos de minerales como cuarzo, plagioclasa y el grupo de las arcillas (elipses gris, amarillo y verde respectivamente), en ningún caso pudo identificarse claramente el feldespato potásico que si fue identificado en los cortes petrográficos (Figura IV-22).

Al analizar el grupo de los filosilicatos en particular, encontramos nuevamente semejanzas a la formación inferior del Grupo Gualilán (Figura IV-23), con claro predominio de las especies mineralógicas de illita (I) reconocida para las cuatro muestras (elipse amarilla) y clorita (C), presente en tres de ellas (elipse verde). Esta última fue identificada en los cortes delgados conformado parte del esqueleto de las rocas psamíticas, de acuerdo a su estructura fue descrita mayormente de origen detrítico y en menor proporción neoformada o autigénica. Es de destacar que en la muestra 16PN52 no se reconoció dicho pico (Figura IV-23C), pero si se pudo observar el pico correspondiente a la esmectita (S) o arcilla expansiva (elipse rosa, Figura IV-23C).

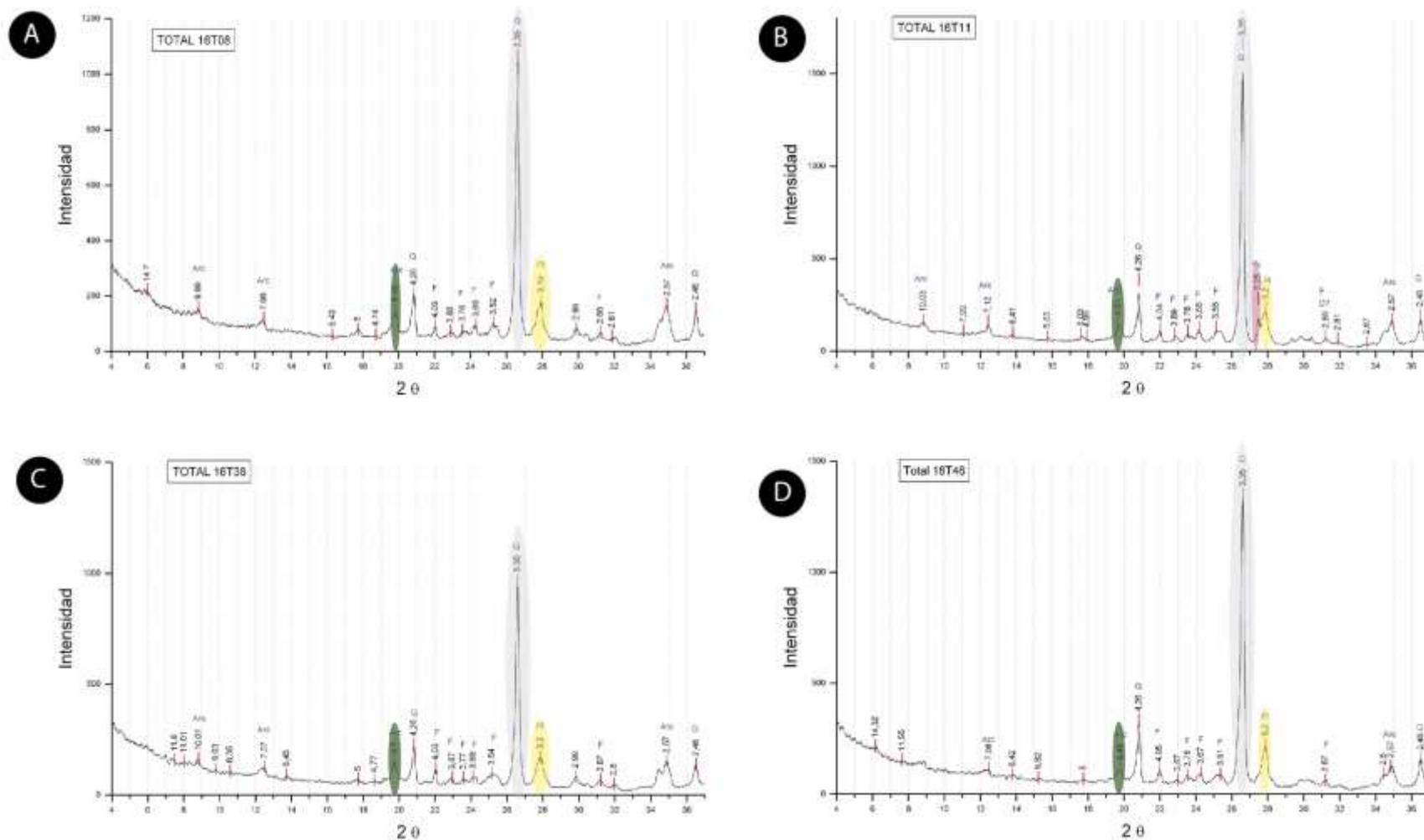


Figura IV-20. Difractogramas de roca total para muestras de la Formación Talacasto. A: 16T08, B: 16T11, C: 16T38, D: 16T46.

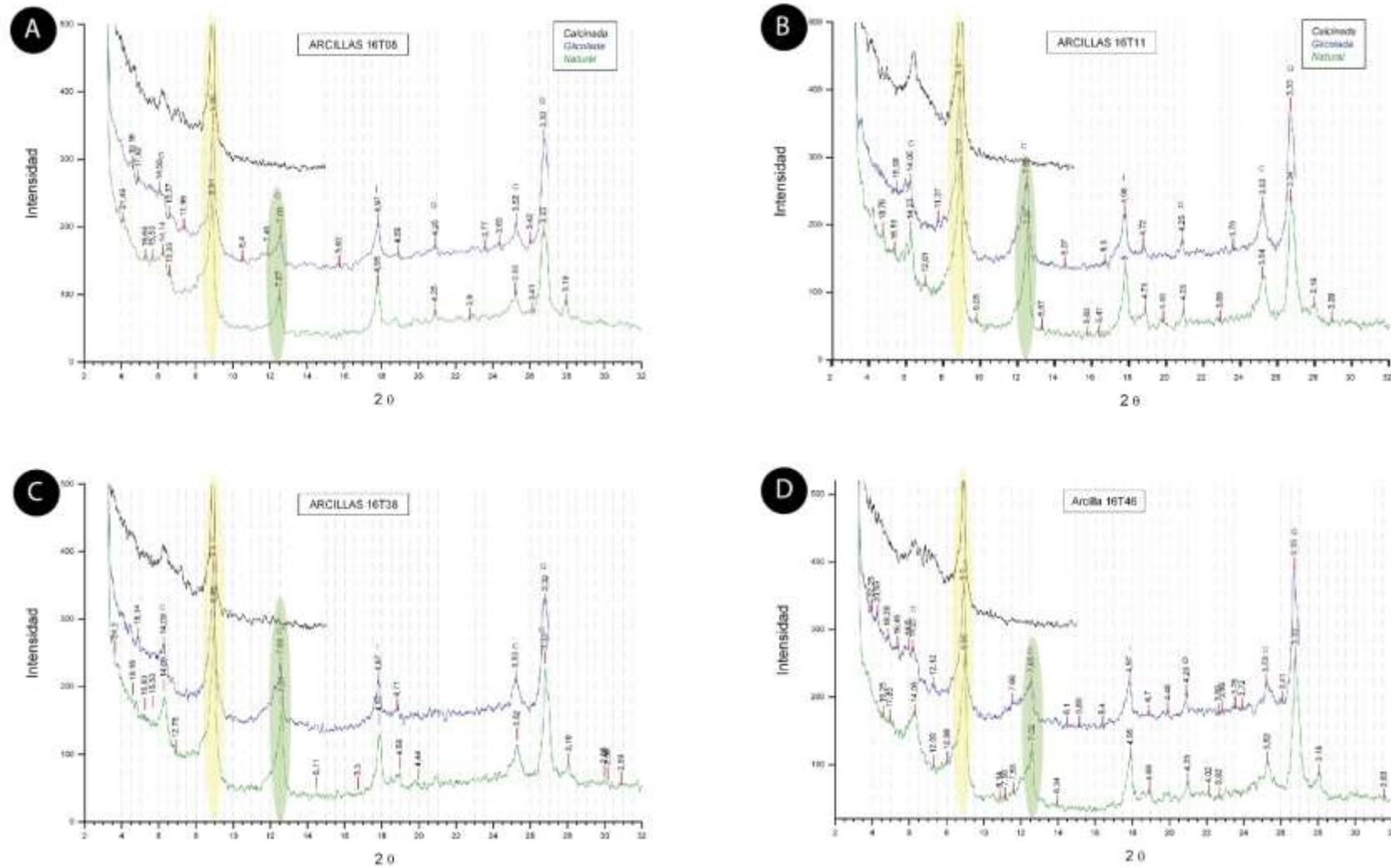


Figura IV-21. Difractogramas de arcillas para muestras de la Formación Talacasto. A: 16T08, B: 16T11, C: 16T38, D: 16T46

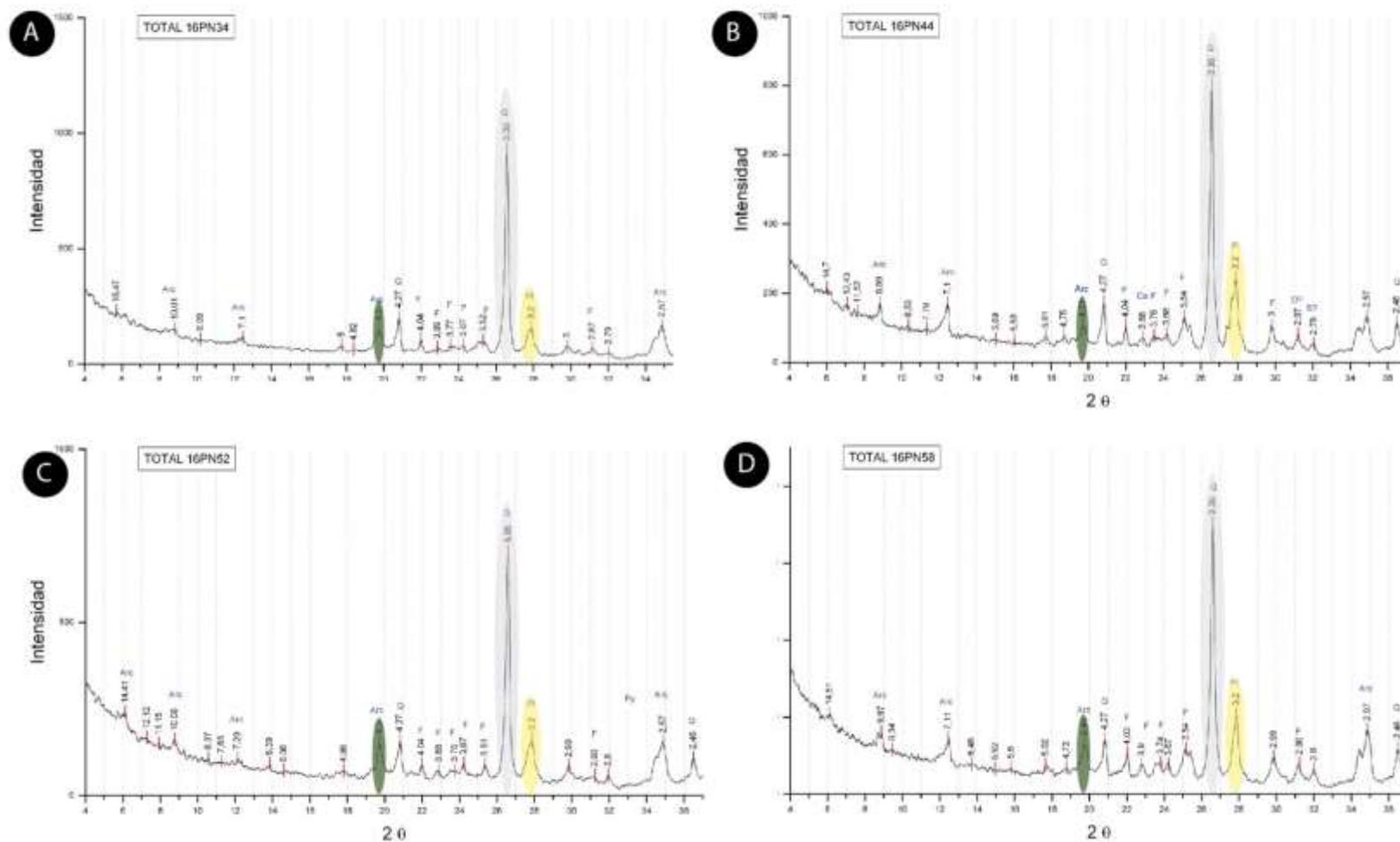


Figura IV-22. Difractogramas de roca total para muestras de la Formación Punta Negra. A: 16PN34, B: 16PN44, C: 16PN52, D:16PN58.

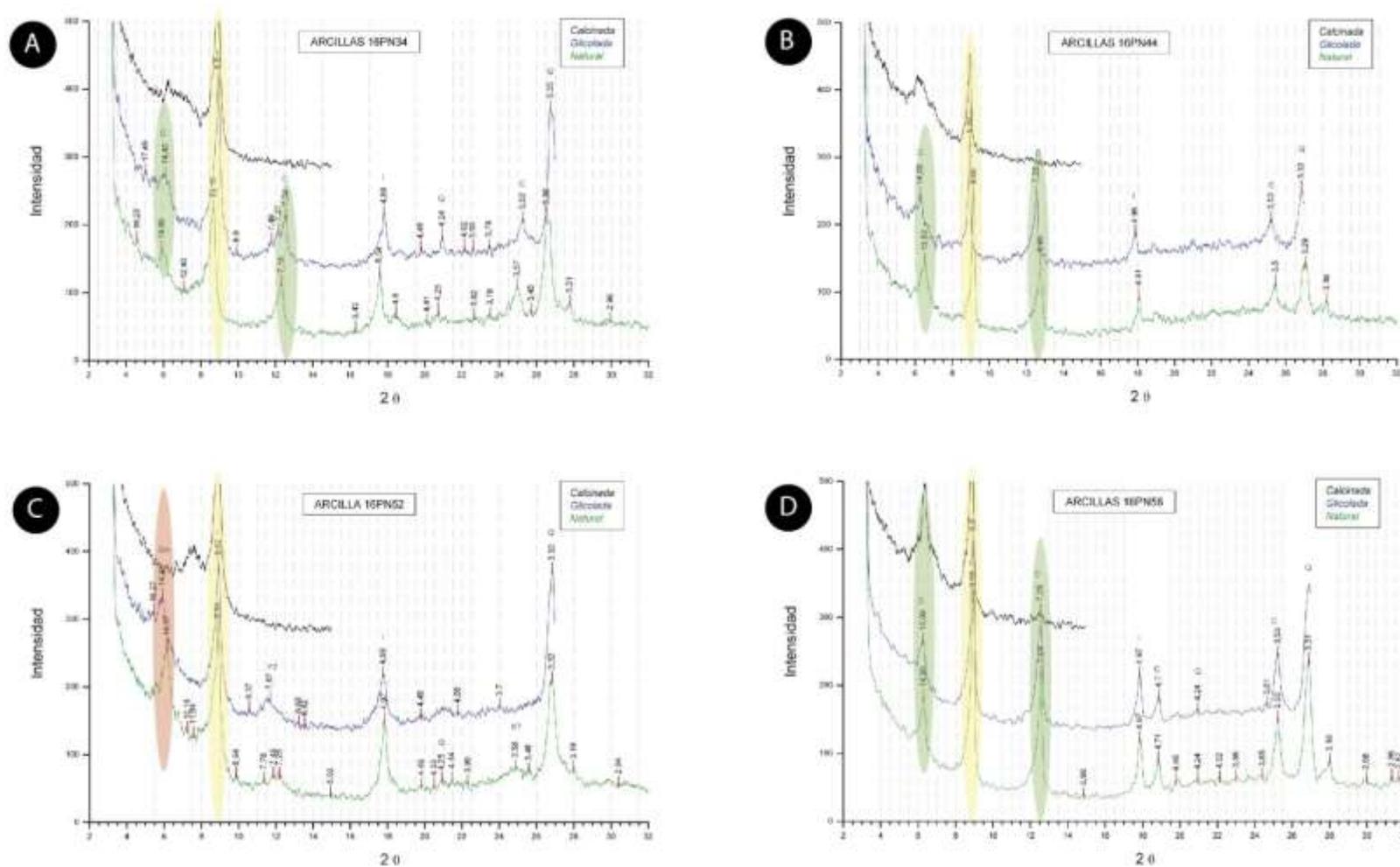


Figura IV-23. Difractogramas de arcillas para muestras de la Formación Punta Negra. A: 16PN34, B: 16PN44, C: 16PN52, D:16PN58.

## C. ESTUDIOS DE MINERALES PESADOS.

### **C1. Morfología y tipología de circones detríticos.**

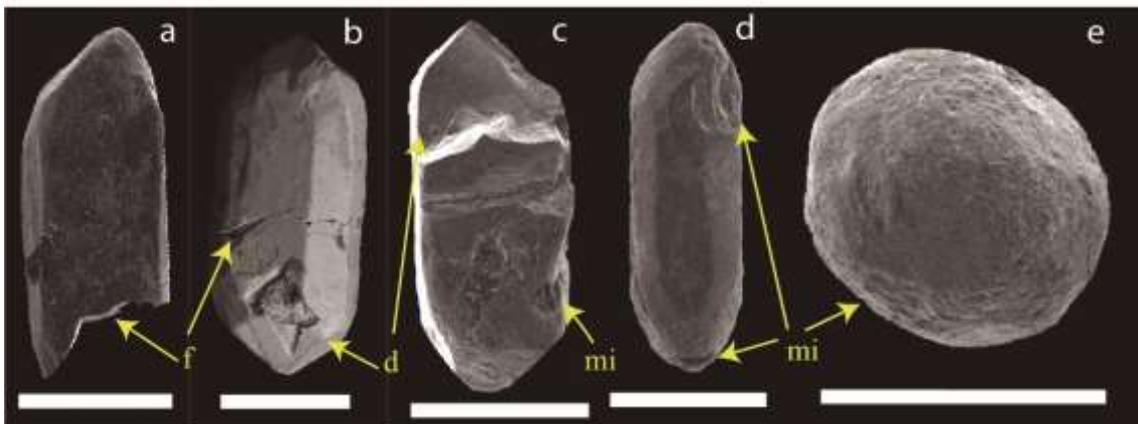
#### C1a. Introducción.

Dentro de los estudios de procedencia sedimentaria, el análisis de minerales pesados (todos aquellos minerales en que su densidad es mayor a  $2,9 \text{ g/cm}^3$ ) resulta ser una de las herramientas de mayor utilidad, ya que al analizar en detalle esta asociación mineral se puede establecer o inferir el origen de los mismos y de ser posible, establecer correlaciones entre diferentes unidades clásticas. La asociación de minerales pesados, dentro de una roca sedimentaria resulta no ser la misma a la roca de la cual derivan, sino que en las rocas sedimentarias estos minerales se encuentran generalmente en una concentración mayor y muchas veces presentando condiciones muy variables, debido a los procesos actuantes durante el ciclo sedimentario (liberación, transporte y sedimentación) por selección hidráulica con diferentes comportamientos, los cuales se ven influenciados por su peso, forma o hábito, y abrasión mecánica entre otras (Morton y Hallsworth, 1999; Van Loon y Mange, 2007; Garzanti *et al.*, 2011).

La estabilidad química de los minerales pesados permite separarlos en tres categorías, ya sean inestables, estables o ultraestables, mediante esta separación es posible tener una idea en cuanto al transporte sufrido y la madurez textural de la roca fuente. De acuerdo a la persistencia y estabilidad química de los minerales pesados expuestos a la meteorización Pettijohn *et al.* (1973), establecieron un orden de minerales desde aquellos de mayor persistencia o ultraestables que incluyen: circón, rutilo, turmalina, anatasa. Siguiendo con los estables: monacita, estaurolita y granate rico en hierro férrico, pasando por los moderadamente estables: cianita, sillimanita, epidoto, granate rico en hierro ferroso y esfena. Luego los inestables: andalucita, hipersteno, diópsido, augita y hornblenda y finalmente olivinas consideradas como muy inestables.

Otros factores que condicionan la asociación de minerales pesados dentro de los sedimentos se relacionan a los procesos mecánicos y de disolución. Los primeros conducen a la destrucción y abrasión de los granos durante el transporte, ocasionando el redondeamiento, fracturación y disminución del tamaño de los granos, pudiéndose alcanzar la eliminación de algunos de ellos llevando a un empobrecimiento en determinados minerales pesados. A partir de las imágenes obtenidas en el microscopio electrónico de barrido se puede llegar a observar que los circones suelen presentar imperfecciones sobre su superficie, entre las más destacadas se encuentran las fracturas, grietas, estrías, y marcas de impacto, todos ellos siendo resultados de los procesos de transporte (Gärtner *et al.*, 2013), otras características de las superficies como la impresión de otro cristal o la formación de inclusiones fluidas, se generan durante la fase de crecimiento magmático (Hoppe, 1962). Las fracturas en los granos de circón, se producen de acuerdo a la energía efectiva durante el proceso de transporte y solo son posibles en dos

direcciones: paralelas o perpendiculares al eje c del cristal (Gärtner *et al.*, 2013). Mientras que las grietas son consecuencia de un crecimiento concéntrico durante la cristalización, en el caso de los cristales magmáticos, la laminación se observa en zonas ricas en U (Nasdala *et al.*, 2003). La delaminación está indicada por grietas en la superficie del circón, causadas por colisiones durante el transporte (Kempe *et al.*, 2004; Gärtner *et al.*, 2011). Una de las características más comunes en la superficie de los circones son las marcas de impacto, estas están relacionadas con la energía cinética del transporte y se producen inicialmente en los bordes de los cristales eliminando el hábito original del cristal, en algunos casos al ser abundantes llegan a dar a los cristales un aspecto netamente esférico (Figura IV-24).



**Figura IV-24.** Detalle de la superficie de diferentes granos de circón. **a-b:** (f) fracturas, **b-c:** (d) delaminación, **d-e:** (mi) marca de impacto, **e:** pérdida total del hábito y la forma cristalina debido al impacto durante el transporte. La barra equivale a 50 micrones.

Por otro lado, los procesos de disolución ocurridos esencialmente durante la diagénesis, involucran a los minerales menos estables reaccionando frente a numerosas variables como la temperatura, circulación de fluidos o el tiempo geológico, entre otros. Morton (1979) establece un orden de persistencia de los minerales pesados en la diagénesis encabezado por el circón y continuando con rutilo, turmalina, apatita y espinelas ricas en cromo.

Por todas estas características, es de suma importancia contar con el estudio de toda la asociación de minerales pesados al momento de establecer una posible procedencia sedimentaria, que en conjunto con otras metodologías nos permitan identificar las posibles fuentes de detritos.

Al momento de estimar el origen de la fuente de sedimentos, una de las herramientas útiles es el estudio de la morfología y tipología de circones. Los circones poseen como sello distintivo una morfología particular que los vincula fuertemente con su origen, el cual puede ser a partir de un medio ígneo (volcánico o plutónico) o metamórfico. Esta metodología es particularmente útil si los cristales no han sufrido una larga historia de transporte o retrabajo en los sedimentos que los contienen hasta su depositación final (Dickinson y Gehrels, 2003). A pesar de su alta resistencia a la descomposición y abrasión, su morfología puede verse alterada e incluso

totalmente obliterada como resultado de los procesos sedimentarios. En este sentido, las areniscas concentran circones de una gran diversidad morfológica, lo que indicaría una mezcla de las fuentes de los detritos, la adecuada identificación de poblaciones de circones con similares características morfológicas, nos permite asociar unidades y estimar su procedencia.

#### C1b. Métodos de separación de minerales pesados.

Los minerales agrupados bajo la denominación de minerales pesados se encuentran frecuentemente en proporciones menores al 1% dentro de los sedimentos. Su concentración a través del/los ciclo/ciclos sedimentario/s se debe a procesos selectivos, esto es posible principalmente debido a su resistencia tanto química como física frente a los diferentes agentes de erosión. Este fue uno de los trabajos más importantes en el plan de investigación ya que el estudio de minerales pesados principalmente circones detríticos, es un pilar fundamental dentro de los estudios de procedencia. Para ello se procedió a realizar diferentes pasos hasta obtener los minerales de interés, que se pueden sintetizar de la siguiente manera:

- a) Recolección de aproximadamente 5 kilogramos de roca por muestra, las sedimentitas seleccionadas son preferentemente de tamaño de grano arena mediana, teniendo la precaución de eliminar cualquier rasgo de alteración o meteorización en su superficie.
- b) Limpieza de los fragmentos de rocas traídos del campo; con ayuda de cepillo, detergente y agua se procede a eliminar cualquier partícula suelta que pueda contener la superficie de la muestra, se utiliza para su último enjuague agua destilada y se deja secar bajo lámpara de calor. Esta actividad fue llevada a cabo en el laboratorio de separación de minerales del CIG.
- c) Trituración y molienda: en una primera instancia, los fragmentos de roca fueron reducidos en tamaño mediante una chancadora de mandíbula Fritsch, logrando fragmentos menores a un centímetro cúbico, para luego pasar a por un molino de widia Fritsch y obtener las granulometrías finas para ser tamizadas. Mientras las muestras pasaban por los diferentes grados de molienda desde el más grueso a fino, fueron tamizadas mediante tamices #35 y #80. Este procedimiento evita fracturar los minerales de interés por un exceso de molienda. Este procedimiento se realizó en el laboratorio de molienda del CIG.
- d) Lavado del material retenido en el fondo (pasante tamiz #80): aproximadamente unos 400 gr por muestra fue introducido en un vaso de precipitado de 3 litros de capacidad, el lavado consistió en llevar el vaso de precipitado con la muestra en su interior a su capacidad máxima, el agua se agregaba lentamente mientras se agitaban las dos fases, una vez completo se dejaba reposar por 1 minuto y se descartaba aproximadamente un tercio de su capacidad. De esta manera se iba eliminando agua con minerales livianos en suspensión y se concentraban en el fondo los minerales pesados, este procedimiento se repitió hasta que el agua quedaba totalmente translúcida con la fracción de pesados al fondo del vaso. Este procedimiento se realizó en el laboratorio de separación de minerales del CIG.

- e) Pre-concentrado: para obtener el pre-concentrado se utilizó batea y agua, que al producir movimientos oscilatorios se provoca la separación de la fracción de pesados de los livianos que pudieron quedar del paso anterior, posteriormente se seca el material bajo lámpara de calor, se separa la fracción magnética con ayuda de imanes de neodimio (la cual no es requerida para este estudio), y en este paso el material queda listo para pasar a la catación o *hand-picking*. Este procedimiento se realizó en el laboratorio de separación de minerales del CIG.
- f) Separación final: la fase final de separación se realizó bajo lupa binocular, mediante *hand picking* principalmente de circones y también de espinelas y rutilos. El procedimiento consistió en separar únicamente los minerales de interés, aproximadamente 400 granos al azar. Este procedimiento se desarrolló en la División Geología del Museo de La Plata.

#### C1c. Fundamentos del método.

A partir del estudio de circones, principalmente referidos a su morfología es posible el reconocimiento de patrones cristalográficos que permitan una identificación de familias de cristales o poblaciones que presentan características similares, reflejando la historia geológica particular del mineral y el tipo de roca del cual deriva, permitiendo caracterizar si provienen de una fuente magmática, metamórfica o sedimentaria (Muller *et al.*, 1995). Debido a la elevada resistencia del circón, la cual le permite en muchas ocasiones sobrevivir a diferentes ciclos de fusión, metamorfismo, erosión y sedimentación, hacen que este mineral sea ampliamente utilizado en los estudios de sistemas detríticos.

En esta sección se describen las tipologías de los circones detríticos de distintas muestras en base a una serie de parámetros como lo son: tamaño, forma, hábito, elongación, fracturas, entre otros. Todos estos factores están en estrecha relación con la historia geológica que tuvo el cristal de circón antes de su depositación final. De esta manera, la forma externa de cada circón será indicativa del grado de transporte que el mismo haya sufrido antes de ser depositado. Las diferentes posibilidades en que podemos encontrar a los granos de circón son: euhedrales, subhedrales y subredondeados y redondeados o anhedrales (Figura IV-25).

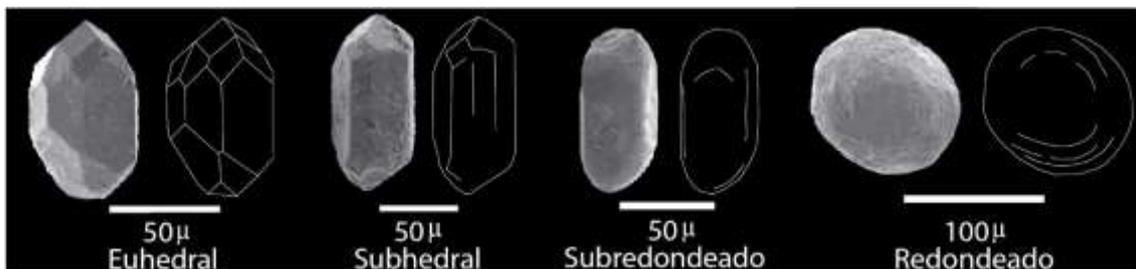


Figura IV-25. Posibles morfologías externas en granos de circón.

## **C2. Análisis morfológico y tipología de circones.**

Para el análisis morfológico de cristales de circón se analizaron tres muestras correspondientes a la Formación Talacasto (16T56, 16T45 y 16T64), tres de la Formación Punta Negra (16PN43, 16PN59 y 17PN18), dos de la Formación Los Espejos (17CAR y 16LE26) y una de la Formación Guandacol (16LP04). Los granos de circones detríticos fueron examinados en el microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 6360 LV) del Museo de La Plata.

Se definieron diferentes poblaciones de circones, aquellas interpretadas como de origen ígneo, fueron comparadas con la clasificación tipológica de Pupin (1980), para las restantes se utilizaron los criterios propuestos por Gärtner *et al.* (2013). El agrupamiento en diferentes familias se pudo realizar en aquellos cristales euhedrales o en los que preservaban algunas de sus caras cristalinas, mientras que los que se hallaron completamente redondeados fueron clasificados como reciclados y se interpreta que sufrieron diferentes procesos que se mencionaron en la sección D1a. de este capítulo.

### C2a. Formación Talacasto.

Para esta unidad, fueron estudiados 128 granos de circones detríticos entre las tres muestras, de los cuales el 29% o bien estaban fracturados o no presentaban ningún carácter que permita debido al grado de redondeamiento, incorporarlos dentro de algún grupo poblacional, estos fueron considerados como reciclados, los restantes fueron analizados en base a los parámetros morfológicos, reconociéndose tres poblaciones (Figura IV-26).

**Grupo 1:** Se diferenciaron dos familias dentro de este grupo. Por un lado, la **F1:** se caracteriza por cristales prismáticos cortos a medios, con formas euhedrales a subhedrales, pasando por subredondeados a redondeados. El parámetro de elongación fue calculado únicamente para los cristales euhedrales, cuyo valor varía entre  $> 1,41$  y  $< 2,76$ . Se observa un desarrollo de caras prismáticas simples y facetado no complejo. Comprenden tamaños desde  $70,4\mu\text{m}$  a  $143,9\mu\text{m}$  de largo por  $41,8\mu\text{m}$  a  $58,1\mu\text{m}$  de ancho. Según la clasificación tipológica propuesta por Pupin (1980) se reconocen las clases P2, P5, L5, R3, pudiendo vincularse genéticamente a estos circones con un posible origen ígneo-plutónico. Por otro lado, la **F2** presenta características morfológicas similares pero varía en el tamaño de los cristales; estas presentan de  $37,8\mu\text{m}$  a  $58,9\mu\text{m}$  de ancho por  $128,2\mu\text{m}$  a  $176,1\mu\text{m}$  de largo registrando valores de elongación que varían entre 2,98 y 3,39, en la clasificación de Pupin (1980) corresponderían a las formas P1 y P2. Este grupo de cristales conforman el 46% del total analizado (Figura IV-26).

**Grupo 3:** Comprende a un conjunto de cristales prismáticos cortos, multifacetados, en las formas euhedrales a subhedrales. Los cristales subredondeados muestran facetados con complejas relaciones axiales. Las formas redondeadas vinculadas a este grupo presentan siempre valores de elongación entre 1,05 y 1,86 siendo la relación de elongación que caracteriza a este grupo siempre menor a este último número. Los tamaños registrados varían desde  $83,8\mu\text{m}$  a

108,2µm de largo por 48,8µm a 96,9µm de ancho. Los circones multifacetados ya sean prismáticos cortos o completamente equidimensionales fueron considerados de un posible origen metamórfico. Estos conforman el 22% de los cristales analizados (Figura IV-26).

**Grupo 4:** Incluye aquellos granos que no preservan ninguno de los caracteres originales que permita clasificarlos, por lo que fueron denominados como reciclados, dado el grado de redondeamiento del cristal. Los circones presentaban valores de elongación muy próximos a 1 (Figura IV-26).

Unidad	Población	Morfología	Familia	Elongación (E)	Dimensiones	Tipología	Imagen
Formación Talacasto	Grupo 1 Plutónicos	Cristales de hábito prismático corto con caras bipiramidales y facetas simples	F1	< 2,76->1,41	Ancho: 41,8µm -58,1µm Largo: 70,4µm-143,9µm		
			F2	< 3,39->2,98	Ancho: 37,8µm -58,9µm Largo: 128,2µm -176,1µm		
	Grupo 3 Metamórficos	Cristales de hábito prismático corto, multifacetado	F1	< 2,21->1,05	Ancho: 48,8µm- 96,9µm Largo: 83,8µm- 108,2µm		
	Grupo 4 Reciclados	Cristales redondeados		=1			

**Figura IV-26.** Morfología de circones estudiados de la Formación Talacasto.

Una particularidad dentro de la unidad es el denominado “horizonte guía de Keidel”, este presenta desde diversos puntos de vista características peculiares y sus circones no son la excepción. Para la muestra que corresponde a este nivel fueron definidos los mismos grupos de circones encontrados en las demás muestras, sin embargo, en la 16T56 tomada en la localidad de Loma de Los Piojos, fue posible reconocer un nuevo grupo, el cual fue denominado como **Grupo 2:** Corresponde a cristales prismáticos largos de formas euédrales. Los granos presentan facetas simples, mostrando caras prismáticas y piramidales bien desarrolladas. Los cristales presentan dimensiones desde los 130,1µm a 159,2µm de largo por 28,1µm a 48,7µm de ancho. Con relación largo/ancho siempre > 3,6. Los patrones cristalográficos reconocidos según la clasificación tipológica de Pupin (1980) correspondería con las clases P1, P2 y P3. Correspondiendo con cristales de un posible origen ígneo-volcánico. Estos cristales constituyen el 3% de los granos analizados (Figura IV-27).

Unidad	Población	Morfología	Familia	Elongación (E)	Dimensiones	Tipología	Imagen
Fm Talacasto Horizonte de Keidel	Grupo 2 Volcánicos	Cristales de hábito prismático largo con caras bipiramidales y facetas simples	F1	> 3,6	Ancho: 28,1µm- 48,7µm Largo: 130,1µm-159,2µm		

**Figura IV-27.** Morfología de circones de posible origen volcánico del “horizonte guía de Keidel”, Formación Talacasto.

**C2b. Formación Punta Negra**

Se analizaron un total de 163 circones detríticos. El 32% de los granos correspondían a formas fracturadas o altamente redondeadas que no permitió poder clasificarlos de acuerdo a sus características morfológicas. Los restantes circones analizados fueron agrupados en dos conjuntos principales sobre la base de los parámetros utilizados (Figura IV-28).

**Grupo 1:** Las formas identificadas están relacionadas a cristales euhedrales a subhedrales, muchas veces presentaban características subredondeadas, pero mantenían la apariencia general de cristales prismáticos. En este grupo se diferenciaron dos familias. La **F1** donde los cristales presentaron valores entre 90,7µm a 118,5µm de ancho y 156,3µm a 200µm de largo, arrojando valores de elongación para esta primera familia entre 1,47 y 2,02. La segunda familia denominada **F2** estaba integrada por circones los cuales presentaban medidas de ancho y largo entre 78,3µm a 98,1µm y 266µm a 342µm respectivamente. En las formas euhedrales y subhedrales se observa un buen desarrollo de caras prismáticas y piramidales simples, con desarrollo de facetas no complejas. Tipológicamente se clasificaron como P1, P2, P4, J5 entre las más habituales. Estos cristales se relacionaron a un posible origen ígneo-plutónico. Estas morfologías incluidas en el Grupo 1 representan el 45% del total de los granos analizados (Figura IV-28).

**Grupo 3:** Corresponden a cristales prismáticos cortos, cuyas formas predominantes son las subredondeadas, las cuales preservan caras multifacetadas. Las formas bien desarrolladas son escasas, pero muestran claramente el aspecto cristalino complejo. Todas las formas presentan elongaciones entre 1,21 a 2. Las dimensiones varían entre 123,7µm a 152,1µm de largo por 62,2µm a 102,2µm de ancho. Estos cristales estarían relacionados a un origen metamórfico cuyas morfologías representan el 23% del total de las formas analizadas (Figura IV-28).

**Grupo 4:** Incluye aquellos granos que no preservan ninguno de los caracteres originales que permitan clasificarlos, por lo que fueron denominados como reciclados, dado el grado de redondeamiento del cristal. Los circones presentaban valores de elongación muy próximos a 1 (Figura IV-28).

Unidad	Población	Morfología	Familia	Elongación (E)	Dimensiones	Tipología	Imagen
Formación Punta Negra	Grupo 1 Plutónicos	Cristales de hábito prismático corto con caras bipiramidales y facetas simples	F1	< 2,02- >1,47	Ancho: 90,7µm-118,5µm Largo: 156,3µm-200µm		
			F2	< 3,48- >3,31	Ancho: 78,3µm-98,1µm Largo: 266µm-342,3µm		
	Grupo 3 Metamórficos	Cristales de hábito prismático corto, multifacetado	F1	<2- >1,21	Ancho: 62,2µm-102,2µm Largo: 123,7µm-152,1µm		
	Grupo 4 Reciclados	Cristales redondeados		≈1			

Barra: 100 µm

**Figura IV-28.** Morfología de circones estudiados de la Formación Punta Negra.

C2c. Otras unidades.

*Formación Los Espejos/Tambolar:* se analizaron dos muestras, una de la Formación Los Espejos y otra de la Formación Tambolar, con un total de 74 circones detríticos, si bien corresponden a dos unidades distintas al ser equivalentes fueron consideradas como una sola unidad a la que se denominó Formación Los Espejos/Tambolar. De los 74 circones analizados el 24% corresponden a aquellos que no pueden ser clasificados de acuerdo a sus caracteres morfológicos ya sea por estar fracturados y/o por el alto grado de redondeamiento. En este caso se reconocieron tres poblaciones diferentes (Figura IV-29).

**Grupo 1:** Se caracteriza por cristales de hábitos prismáticos cortos a medios, con formas euhedrales a subhedrales, donde se distinguen el desarrollo de caras prismáticas simples, tanto primarias como secundarias y facetado no complejo. Dentro de este grupo se diferenciaron dos familias en función de su tamaño: **F1** comprende tamaños desde 37,4 $\mu$ m a 40,4 $\mu$ m de ancho por 70,1 $\mu$ m a 85,1 $\mu$ m de largo. Esto determina valores de elongación  $< 2,1$  y  $> 1,8$ . La segunda familia denominada como **F2** está integrada por cristales con valores de 38,7 $\mu$ m a 43,5 $\mu$ m de ancho y 116,9 $\mu$ m a 141,5 $\mu$ m de largo determinando valores de elongación comprendidos entre 2,7 y 3,2. Según la clasificación tipológica de Pupin (1980), se reconocen las clases P1, P2, P3, P4 y R1, correspondiendo a formas características de cristales con un posible origen ígneo-plutónico. Estas morfologías abarcan el 44 % (Figura IV-29).

**Grupo 2:** En realidad no se trataría de un grupo propiamente dicho ya que está constituido por un único cristal, la peculiaridad de este circón que no permite incluirlo dentro de los demás grupos es que presenta un hábito prismático largo, completamente euhedral con desarrollo de caras, aristas y vértices perfectamente preservados, prisma largo con facetado simple y pirámides con facetas múltiples. Comprende un tamaño de 140,2 $\mu$ m de largo por 35,1 $\mu$ m de ancho lo que le asigna un valor de elongación de 4. Según la clasificación tipológica podría corresponder a las clases P1, P2 o P5 aunque presentaría un prisma más largo y facetado complejo en la bipirámide, esta morfología fue asociada a un posible origen ígneo-volcánico. Este cristal representa únicamente el 2% del total analizado (Figura IV-29).

**Grupo 3:** Involucra a un conjunto de cristales de hábito prismático corto, en las formas euhedrales a subhedrales, se observa un multifacetado de las caras con complejas relaciones axiales. Presentan valores de elongación  $> 1,5$  y  $< 1,7$ . Los tamaños registrados varían desde 45,8 $\mu$ m a 55,6 $\mu$ m de ancho por 73,3 $\mu$ m a 89,3 $\mu$ m de largo. Estas morfologías multifacetadas y de hábitos prismáticos cortos a ecuantos las asociamos con un posible origen metamórfico. Estas morfologías representan el 30% de los circones analizados (Figura VI-29).

**Grupo 4:** Al igual que en las unidades anteriores, este grupo involucra aquellos granos que no preservan ninguno de los caracteres originales que permita clasificarlo, por lo que fueron denominados como “reciclados” dado el grado de redondeamiento del cristal. Los circones presentaban valores de elongación muy próximos a 1 (Figura IV-29).

Unidad	Población	Morfología	Familia	Elongación (E)	Dimensiones	Tipología	Imagen
Formación Los Espejos/Tambolar	Grupo 1 Plutónicos	Cristales de hábito prismático corto con caras bipiramidales y facetas simples	F1	< 2,1 - > 1,87	Ancho: 37,4µm - 40,4µm Largo: 70,1µm - 85,1µm		
			F2	< 3,2 - > 2,7	Ancho: 38,7µm - 43,6µm Largo: 116,9µm - 141,5µm		
	Grupo 2 Volcánicos	Cristales de hábito prismático largo con caras bipiramidales y facetas simples	F1	4	Ancho: 35,1µm Largo: 140,2µm		
	Grupo 3 Metamórficos	Cristales de hábito prismático corto, multifacetado	F1	< 1,7 - > 1,5	Ancho: 45,8µm - 55,6µm Largo: 73,3µm - 89,3µm		
Grupo 4 Reciclados	Cristales redondeados		= 1				

Barra= 50µm

**Figura IV-29:** Morfología de circones estudiados de la Formación Los Espejos/Tambolar.

*Formación Guandacol:* fue analizada una única muestra tomada en la localidad de Loma de los Piojos, próxima a la localidad de San José de Jáchal. Fueron observados y fotografiados un total de 42 circones: el 5% corresponden a aquellos que no pueden ser clasificados de acuerdo a sus caracteres morfológicos debido al alto grado de redondeamiento. En este caso se reconocieron 4 poblaciones diferentes (Figura IV-30).

**Grupo 1:** Se caracteriza por cristales de hábitos prismáticos cortos a medios, con formas euhedrales a subhedrales, donde se distingue el desarrollo de caras prismáticas simples, tanto primarias como secundarias y facetado no complejo. De acuerdo al tamaño fueron divididos en dos familias: **F1**, comprende a circones con anchos entre 87,4µm y 121,1µm mientras que a lo largo de su eje C cuentan con valores entre 192,9µm y 211,1µm. La familia 2 denominada como **F2**, queda comprendida por los granos que presentan entre 66,7µm y 128,9µm de ancho y 159,4µm y 326,6µm de largo. Esto determina valores de elongación < 2,4 y > 1,5 para la primera mientras que la segunda, presenta valores de elongación < 3,3 y > 2,4. De acuerdo a la clasificación tipológica, se reconocen las clases P1, P2, P3, P4 y R1, correspondiendo a formas características de cristales con un posible origen ígneo-plutónico. Estas morfologías abarcan el 52% (Figura IV-30).

**Grupo 2:** Está representado por circones de hábito prismático largo, euhedrales con desarrollo de caras, aristas y vértices perfectamente preservados, prisma largo con facetado simple y pirámides con facetas múltiples. Comprende a tamaños entre 51,1µm a 94,5µm de ancho mientras que los largos varían entre 206,2µm a 326,8µm de largo por lo que le asigna un valor de elongación muy próximos a 4. Según la clasificación tipológica de Pupin (1980) podrían corresponder a las clases P1, P2 o P5 aunque presentarían prismas más largos y facetados

complejos en la bipirámide; esta morfología fue asociada a circones de posible origen ígneo-volcánico, representados por el 7% (Figura IV-30).

**Grupo 3:** Involucra a un conjunto de cristales de hábito prismático corto, en las formas euhedrales a subhedrales, se observa un multifacetado de las caras con complejas relaciones axiales. De acuerdo a sus tamaños fueron agrupados en dos familias. **F1** corresponde a los circones que presentan valores entre 78,6µm a 90,5µm de ancho y entre 170,5µm a 188,3µm de largo, arrojando valores de elongación entre 2 a 2,2. Por otro lado, la **F2** agrupa aquellos circones con valores de ancho comprendidos entre 103,4µm a 125,2µm. Mientras que a lo largo del eje C dichos circones comprenden valores entre 182,9µm y 213,2µm. Estas morfologías multifacetadas y de hábitos prismáticos cortos a ecuanes las asociamos con un posible origen metamórfico. Estas representan el 36% de los circones analizados (Figura IV-30).

**Grupo 4:** Involucra a granos con alto grado de redondeamiento, no preservan ninguno de los caracteres originales que permitan clasificarlos, por lo que fueron denominados como reciclados. Los circones presentaban valores de elongación muy próximos a 1 (Figura IV-30).

Unidad	Población	Morfología	Familia	Elongación (E)	Dimensiones	Tipología	Imagen
Formación Guandacol	Grupo 1 Plutónicos	Cristales de hábito prismático corto con caras bipiramidales y facetas simples	F1	< 2,4 - > 1,6	Ancho: 87,4µm-121,1µm Largo: 192,9µm-211,1µm		
			F2	< 2,4 - > 3,3	Ancho: 66,7µm-128,9µm Largo: 159,4µm-326,6µm		
	Grupo 2 Volcánicos	Cristales de hábito prismático largo con caras bipiramidales y facetas simples	F1	> 3,4	Ancho: 51,5µm-94,5µm Largo: 206,2µm-326,8µm		
	Grupo 3 Metamórficos	Cristales de hábito prismático corto, multifacetado	F1	< 2,1 - > 2,0	Ancho: 78,6µm-90,5µm Largo: 170,5µm-188,3µm		
			F2	< 1,8 - > 1,7	Ancho: 103,4µm-125,2µm Largo: 182,9µm-213,2µm		
Grupo 4 Reciclados	Cristales redondeados		= 1				

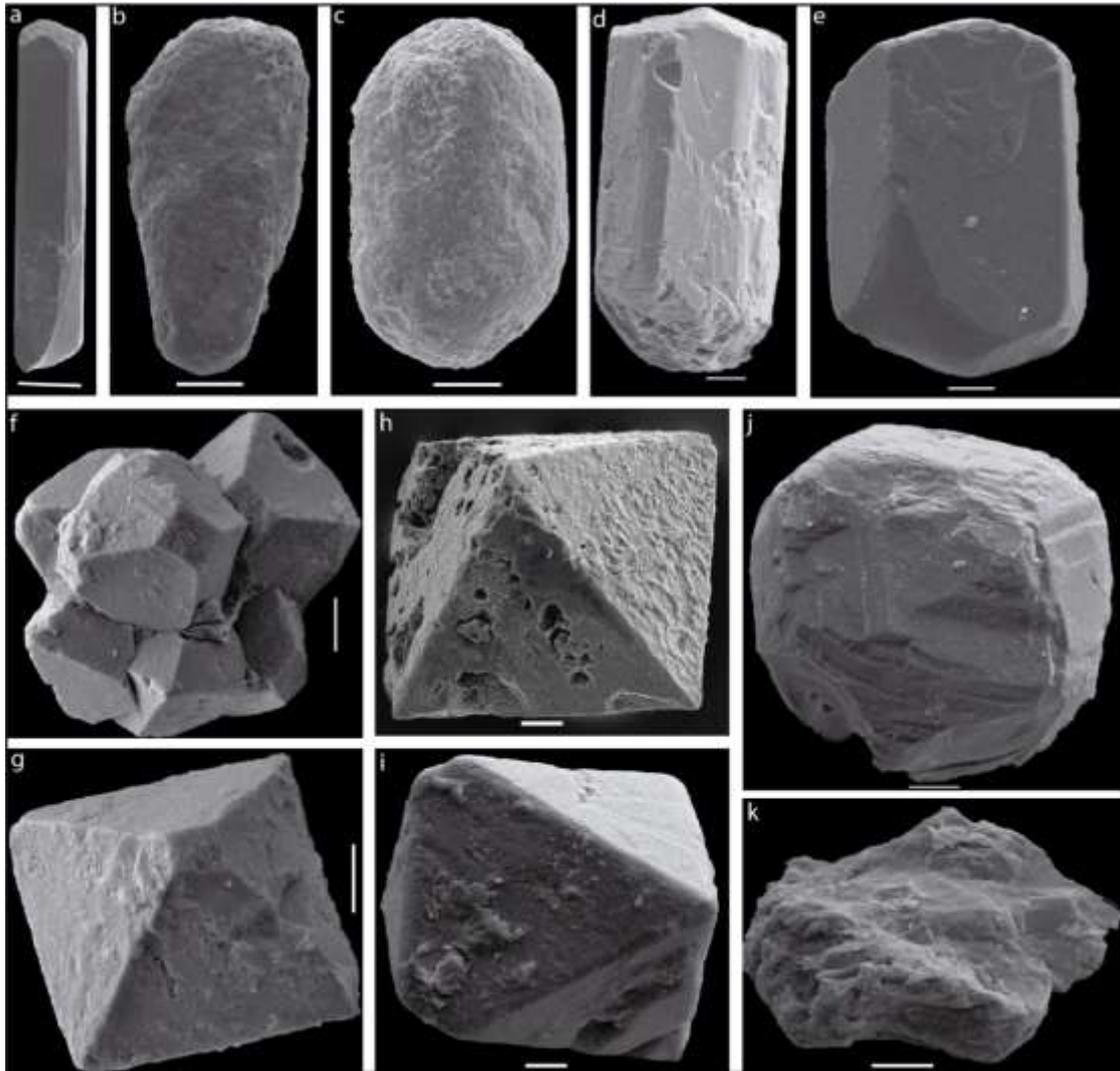
Barra: 100µm

**Figura IV-30.** Morfología de circones estudiados de la Formación Guandacol.

Por el motivo de no poder identificar diferentes minerales que se encuentran en los concentrados junto a los circones, es que se tomó la decisión de realizar análisis más exhaustivos, que permitan reconocerlos y de esta manera poder estimar con más herramientas las fuentes de estos detritos.

En una primera instancia recurrimos al Centro de Investigación y Desarrollo de Ciencias Aplicadas (CINDECA, La Plata), dependiente del CONICET-UNLP, en este laboratorio a partir del uso del microscopio electrónico se procedió a analizar químicamente los minerales de distintas muestras en forma semi-cuantitativa para de esta manera poder conocer los elementos químicos que caracterizan a cada especie mineral. Para este análisis se seleccionaron diferentes muestras de ambas formaciones del Grupo Gualilán, particularmente aquellas en las cuales los minerales de difícil identificación se encontraban representados en altos porcentajes, y que se diferenciaban

en función de su forma, hábito o color característico. De esta manera, fue posible el reconocimiento de minerales como rutilos, turmalinas, epidotos, anatasas, granates, titanitas, monacitas, hematitas, espinelas, etc (Figura IV-31).



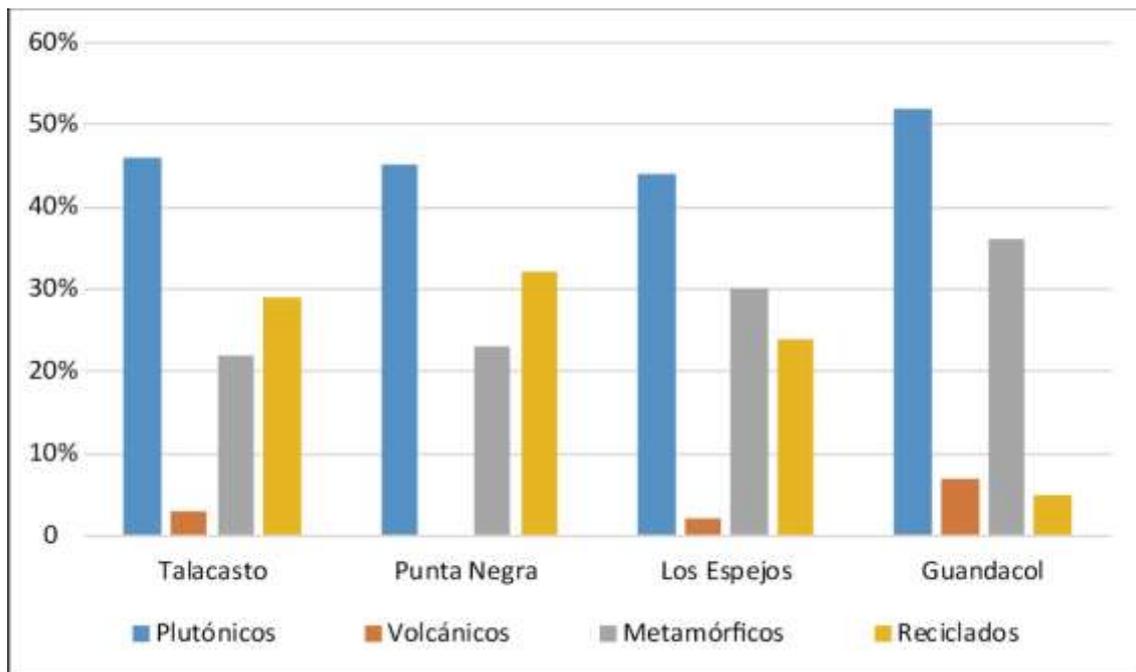
**Figura IV-31.** Minerales reconocidos a partir del análisis semi-cuantitativo EDAX. **a-b-c:** rutilos, **d-e:** turmalinas, **f-g:** hematitas, **h-i:** espinelas ricas en cromo, **j:** granate rico en manganeso, **k:** epidoto. Barra: 20 micrones.

### C3. Discusión.

A partir de lo expuesto anteriormente podemos concluir que las muestras del Grupo Gualilán estarían representadas principalmente por circones de dos orígenes distintos, por un lado, aquellos asignados por sus morfologías a un origen ígneo-plutónico el cual representa para cada unidad porcentajes cercanos al 45%, seguidos por aquellos asignados a un origen metamórfico con porcentajes que rondan el 22% (Figura IV-32). Sin embargo, hay que destacar que un elevado porcentaje de los circones no puede asociarse a un origen particular debido al grado de redondeamiento, esto lleva a pensar que el análisis morfológico debe ser tomado con precaución

al momento de la estimación del origen mineral, pero resulta ser un buen examen aproximativo que posteriormente puede ser complementado y confirmado o no con análisis más complejos como la relación Th/U obtenida a partir de la datación U/Pb. Similar comportamiento a las formaciones que integran el Grupo Gualilán presentaron las unidades silúricas, aunque en estas el porcentaje de cristales asignados a un posible origen metamórfico es mayor. Estas similitudes entre las unidades mencionadas anteriormente, podrían indicar que las fuentes que aportaron los detritos a la cuenca serían las mismas o muy semejantes.

Mientras que si comparamos con la unidad ubicada por encima del Grupo Gualilán, Formación Guandacol, encontramos grandes discrepancias con elevados aportes de morfologías asignadas a un posible origen ígneo-plutónico (52%), la presencia significativa de circones con características morfológicas asignables con un origen ígneo-volcánico y un porcentaje muy reducido de aquellos circones reciclados, indicando *a priori* que las fuentes de sedimentos no serían las mismas que aportaron sedimentos hacia la cuenca durante el Silúrico-Devónico y por otro lado, una proximidad de las fuentes debido al bajo grado de redondeamiento presente en los cristales.



**Figura IV-32.** Gráficos de barras mostrando porcentajes asignados a un determinado origen estimado a partir del análisis morfológico para cada unidad.

Coincidiendo con Loske (1992, 1994), es frecuente encontrar en los sedimentos de las rocas devónicas una fracción importante de minerales pesados. Estos registran un incremento en su diversidad muy significativa si se compara con rocas del Cámbrico al Silúrico para la misma región, en donde es muy característica la asociación de circón, turmalina y rutilo, típica de áreas de procedencia de rocas maduras con muy bajo o nulo metamorfismo. Las sedimentitas devónicas,

cuentan además con la presencia de minerales como granate, zoisita, apatita, epidoto y titanita lo que pondría en evidencia que, desde el Devónico en adelante, rocas de alto grado metamórfico e ígneas fueron exhumadas y expuestas a la erosión. Dentro de los minerales más abundantes se destacan: circón, rutilo, turmalina y espinela.

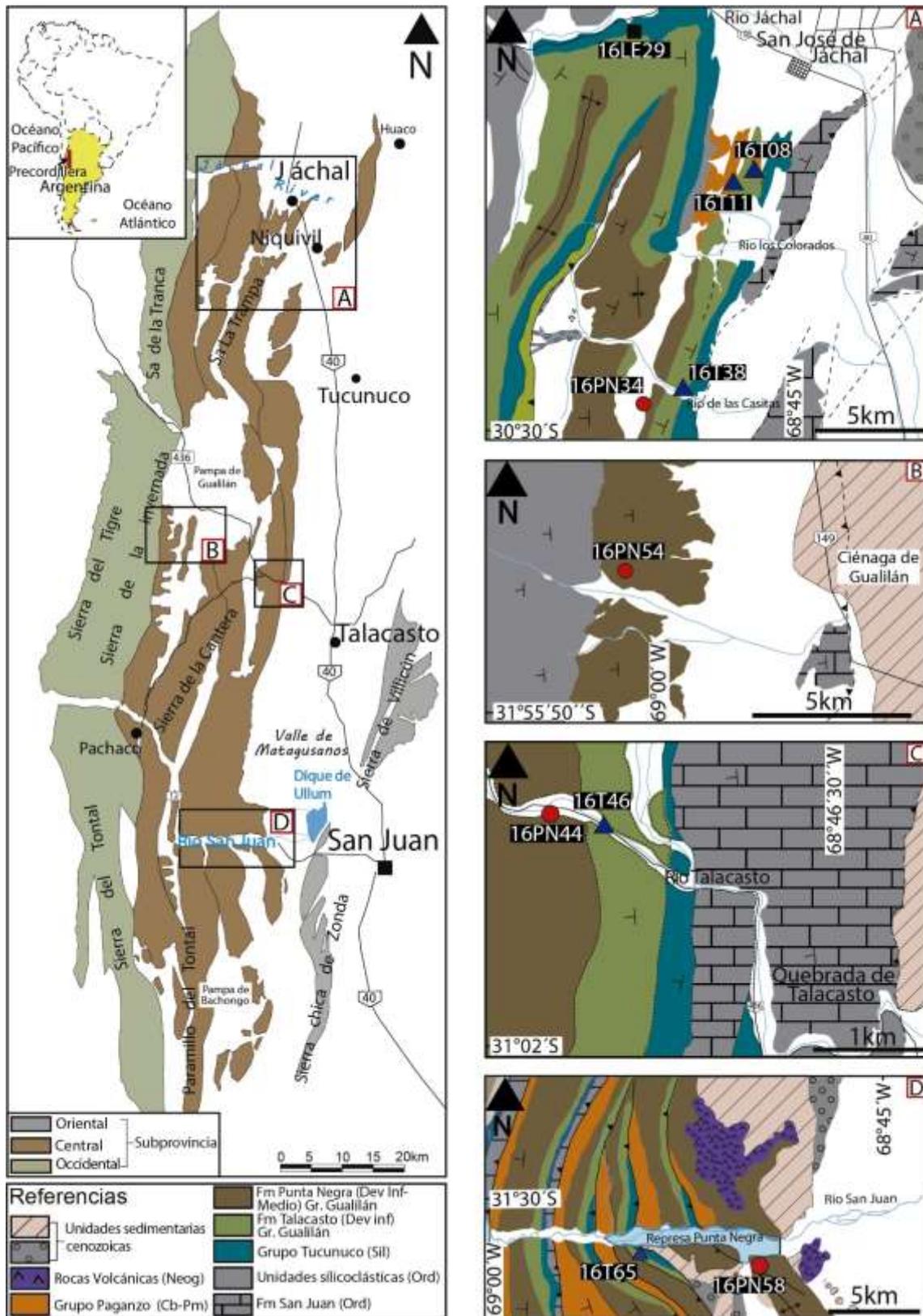
## V. RESULTADOS: GEOQUÍMICA.

### A. INTRODUCCIÓN.

Los estudios de procedencia tienen por objetivo la reconstrucción e interpretación de la historia de suministro de sedimentos, desde la erosión de la roca parental hasta el depósito final de los detritos, para finalmente intentar dilucidar las características del área fuente y estimar una posible localidad paleogeográfica como área de aporte. Se ha establecido que la composición promedio de las rocas sedimentarias a escala global se modifica a través del tiempo, reflejando cambios en la química de las rocas de origen cristalino (Taylor y McLennan, 1985). Las relaciones entre distintos elementos químicos pueden ser modificadas durante la meteorización o diagénesis (Nesbitt y Young, 1989; Milodowski y Zalasiewicz, 1991), así los estudios geoquímicos son una herramienta valiosa para analizar a las areniscas ricas en matriz o vaques (McLennan *et al.*, 1993). Las relaciones entre algunos elementos como pueden ser Th/Sc, o una anomalía poco pronunciada del Eu comparada con la composición de la corteza superior pueden indicar materiales provenientes de arcos juveniles (McLennan *et al.*, 1993). Por lo tanto, la composición geoquímica de una roca permite caracterizarla y finalmente clasificarla de acuerdo a diversos modelos. A su vez aporta a los estudios de procedencia de los distintos tipos litológicos, siendo posible identificar diferentes ambientes tectónicos de las rocas fuentes que originaron los detritos sedimentarios, tomando en consideración las posibles influencias que tuvieron factores tales como la meteorización, diagénesis y metamorfismo (Bhatia, 1983; Bhatia y Crook, 1986; Roser y Korsch, 1986; McLennan *et al.*, 1990 y Bahlburg, 1998; entre otros).

#### **A1. Unidades estudiadas.**

Un total de 10 muestras de naturaleza pelítica, fueron seleccionadas para realizar estudios de las composiciones geoquímicas. Estas muestras corresponden a las unidades silicoclásticas que componen la secuencia del Grupo Gualilán y la infrayacente Formación Los Espejos. Para la Formación Talacasto, los análisis geoquímicos se llevaron a cabo sobre 5 muestras pertenecientes a la parte media/baja de la unidad, la cual presenta características mayormente pelíticas que se intercalan con bancos de escaso espesor de material arenoso a váquico. De esta manera, las muestras escogidas para el análisis proceden de las siguientes localidades: dos muestras de Loma de los Piojos (16T08 y 16T11), una en cercanías del río de las Casitas (16T38), otra de la quebrada de Talacasto (16T46) y la restante sobre el margen del río San Juan (16T65), frente a la represa Punta Negra (Figura V-1, Tabla V-1). Por otro lado, para la Formación Punta Negra, se analizaron 4 muestras, dos de ellas muy próximas al límite con la Formación Talacasto, ubicadas en dos localidades distintas: correspondiente a los afloramientos cercanos al río de las Casitas (16PN34), y otra ubicada en la quebrada de Talacasto (16PN44), mientras que la muestra



**Figura V-1.** Ubicación geográfica de los puntos de muestreo para análisis geoquímicos. **A:** Afloramientos en cercanías de la localidad de San José de Jáchal. **B:** Afloramientos en el faldeo este de la Sierra de la Invernada. **C:** Afloramientos en la Quebrada de Talacasto. **D:** Afloramientos sobre el margen del río San Juan. Los triángulos azules corresponden a muestras de la Formación Talacasto, círculos rojos a la Formación Punta Negra y cuadrado negro a la Formación Los Espejos.

(16PN52) se localiza en el faldeo este de la Sierra de la Invernada, muy próxima al contacto con la Formación Los Sombreros. Por último, la muestra (16PN58) se tomó en la base del cerro Negro de Zonda, sobre el río San Juan (Figura V-1, Tabla V-1). Asimismo, una muestra de la Formación Los Espejos (16LE29) colectada sobre el margen derecho del río Jáchal, fue analizada con el fin de tener un patrón de comparación de la composición geoquímica de la unidad, que podría ser objetivo de estudio a futuro (Figura V-1, Tabla V-1).

La geoquímica de roca total es una herramienta útil para el estudio de la procedencia sedimentaria, no obstante, debe complementarse con otras técnicas para obtener conclusiones consistentes. De esta manera, las interpretaciones arribadas en el presente capítulo a partir del análisis de 10 muestras seleccionadas, serán cotejadas con similares datos de trabajos publicados y analizados en el contexto de los resultados obtenidos a partir de otras metodologías.

Formación	Muestra	Coordenadas geográficas		Litología
● Punta Negra (Devónico Inferior-Medio)	16PN34	30°31'07.00''S	68°52'39.10''O	Pelita
	16PN44	30°0.05'00''S	68°43'34.00''O	Pelita
	16PN52	30°50'48.68''S	69°00'46.54''O	Pelita
	16PN58	31°32'54.53''S	68°49'58.29''O	Pelita
▲ Talacasto (Devónico Inferior)	16T08	30°17'04''S	68°46'51.00''O	Pelita
	16T11	30°31'32''S	68°54'11.00''O	Pelita
	16T38	30°17'47.00''S	68°46'33.00''O	Pelita
	16T46	31°0'10.00''S	68°46'50.00''O	Pelita
	16T65	31°31'54.63''S	68°54'53.15''O	Pelita
■ Los Espejos (Silúrico)	16LE29	30°12'35.25''S	68°53'7.90''O	Pelita

**Tabla V-1.** Muestras estudiadas mediante análisis geoquímicos para determinación de la composición de elementos mayoritarios, minoritarios, trazas y tierras raras.

## A2. Preparación de muestras y métodos analíticos.

Se realizaron diez análisis geoquímicos de roca total, nueve de ellas correspondientes al Grupo Gualilán y una de la Formación Los Espejos, se determinaron elementos mayoritarios, minoritarios, trazas y tierras raras en los laboratorios de ACME Labs, Canadá. Los elementos mayoritarios fueron obtenidos a partir del *inductive coupled plasma element spectroscopy* (ICP-ES) en perla de fusión (usando  $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), la pérdida por ignición (LOI) fue calculada por peso después de la ignición a 1000°C. Elementos como Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Hg, Tl y Se fueron analizados por *inductive coupled plasma mass spectroscopy* (ICP-MS) después de lixiviar cada muestra con 3 ml de  $\text{HCl-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  en una relación 2:2:2 a 95°C por una hora y luego diluido a 10 ml. Los elementos de las tierras raras (RRE) y ciertos elementos

trazas como: Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu fueron analizados por ICP-MS luego de ser fundidos con metaborato/tetraborato de litio y digestión con ácido nítrico. Se confeccionaron diagramas según Nesbitt y Young (1982), Taylor y McLennan (1985); Roser y Korsch (1986 y 1988); Bhatia y Crook (1986); McLennan *et al.* (1993) entre otros, para la interpretación de la procedencia y del ambiente tectónico. Luego se realizaron comparaciones con datos conocidos de unidades equivalentes dentro del terreno Cuyania, como Formación Villavicencio (Precordillera Mendocina), Formaciones Río Seco de los Castaños y La Horqueta (Bloque de San Rafael) y la Formación Las Lagunitas (Cordillera Frontal).

## B.-RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS GEOQUÍMICOS.

### **B1. Elementos mayoritarios y minoritarios.**

#### B1a. Formación Talacasto.

El contenido de SiO<sub>2</sub> para las muestras de la Formación Talacasto varía entre 58,24% y 61,86%, únicamente la muestra 16T46 presenta un leve aumento en la concentración de este óxido alcanzando el 65,74% que podría deberse a un leve incremento en el tamaño granulométrico y a una mayor madurez composicional. El contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en las mismas es de 14,86% a 18,54%, el valor mínimo de concentración en este óxido se da justamente en la muestra 16T46, consecuencia de la pérdida de filosilicatos, indicando un grado de madurez composicional más elevado. Estos valores son superiores al promedio para la corteza continental superior (CCS), 15,17% según Taylor y McLennan (1985). En cuanto al TiO<sub>2</sub> los contenidos resultan ser muy homogéneos entre las muestras analizadas, variando entre el 0,85% y 0,90%. Para el MnO los rangos de porcentajes varían entre 0,05%-0,07% alcanzando en el caso de la muestra 16T65 un contenido de 0,12%. El MgO revela resultados muy homogéneos con porcentajes entre 2,12%-2,59%, la muestra ubicada en quebrada de Talacasto arrojó una leve disminución con 1,98%. El porcentaje de Na<sub>2</sub>O varía entre 1,31% y 1,80% estos valores están por debajo de los promedios para la corteza continental superior (CCS: 3,89 % según Taylor y McLennan, 1985). En tanto que el K<sub>2</sub>O varía entre 3,05% a 4,19% próximos al promedio de la CCS. El hierro férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) se encuentra con porcentajes cercanos al 7% (6,56%-7,93%), en este caso la muestra ubicada en cercanías al río de las Casitas registra un leve incremento con valor del 8,34%. Por último, el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se manifiesta con valores homogéneos donde los porcentajes entre el 1% y 1,8%, mientras que el Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> resulta ser el óxido del elemento minoritario que se encuentra presente con contenidos más constantes en todas las muestras, promediando valores de ~0,012% (Figura V-2, Tabla V-2).

#### B1b. Formación Punta Negra.

El contenido de SiO<sub>2</sub> para las muestras de la Formación Punta Negra presenta un rango entre 54,12% y 58,24%; arrojando valores más bajos que el promedio de la CCS, en donde el

porcentaje de este óxido es de 65,89% (Taylor y McLennan, 1985). El  $Al_2O_3$  por su parte, arrojó valores muy homogéneos, estos se encuentran entre 18,41% a 19,58% siendo en general más altos que la CCS. En cuanto al  $TiO_2$  nuevamente los valores son muy similares entre todas las muestras analizadas, rondando el 1% (0,99%-1,08%). El comportamiento del  $MnO$  es similar al del  $TiO_2$  con valores entre 0,06% y 0,09%, mientras que el del  $MgO$  es más heterogéneo registrando 2,59% hacia el norte (Loma de los Piojos) y llegando a 3,78% en el sector de quebrada de Talacasto.

Los valores de  $Na_2O$  son en todos los casos menores al 2% (1,15%-1,99%), mientras que el  $K_2O$  promedia el 4,5% exhibiendo un comportamiento homogéneo entre las muestras analizadas (Figura V-2, Tabla V-2).

Por su parte, el  $Fe_2O_3$  manifiesta una cierta heterogeneidad entre las muestras de esta unidad, el valor mínimo de 7,57% se encuentra en cercanías del río de las Casitas, mientras que el valor máximo de 9,26% corresponde a la muestra 16PN44, ubicada en quebrada de Talacasto.

El  $P_2O_5$  oscila entre 0,15% y 0,26 %, y por último, el  $Cr_2O_3$  arrojó valores muy homogéneos con promedio de 0,017%, mientras que la muestra ubicada hacia el sur, en las márgenes del río San Juan, registra una leve disminución con respecto a las demás con un valor de 0,013%.

Como fue anunciado en la sección A2 de este capítulo se analizó una muestra correspondiente a la Formación Los Espejos, arrojando los siguientes resultados: valor de  $SiO_2$  de 51,14%, mientras que el  $Al_2O_3$  (20,45%) es considerablemente mayor a la CCS (15,17% según Taylor y McLennan 1985; Figura V-2, Tabla V-2).

El  $TiO_2$  de 0,88%, el  $MnO$  de 0,09% y el  $MgO$  de 2,74%, por último, el  $Fe_2O_3$  con un valor de 7,85%. Los óxidos más lábiles como el  $Na_2O$ ,  $K_2O$  y  $CaO$  mostraron valores de 1,6%, 4,71% y 3,35% respectivamente. El  $P_2O_5$  arrojó un valor de 2,07%, mientras que el  $Cr_2O_3$  midió 0,014% (Figura V-2, Tabla V-2).

Formación	Muestra	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$MgO$	$CaO$	$Na_2O$	$K_2O$	$TiO_2$	$P_2O_5$	$MnO$	$Cr_2O_3$	LOI	Sum	
Grupo Gualilán	Punta Negra	16 PN 34	57,92	19,08	7,57	2,59	0,53	1,15	4,39	0,99	0,15	0,06	0,017	5,3	99,83
		16 PN 44	54,12	18,92	9,26	3,78	1,56	1,99	4,15	1,07	0,18	0,09	0,016	4,5	99,79
		16 PN 52	54,28	19,58	8,32	2,61	1,27	1,25	4,56	1,08	0,21	0,07	0,018	6,5	99,82
		16 PN 58	55,82	19,05	8,67	3,23	0,7	1,79	4,59	1,01	0,26	0,09	0,013	4,5	99,81
		16 T 08	59,14	18,64	7,29	2,12	0,84	1,31	4,04	0,85	0,13	0,07	0,012	5,3	99,85
	Talacasto	16 T 11	61,86	16,6	7,06	2,24	1,03	1,67	3,32	0,92	0,18	0,06	0,012	4,8	99,84
		16 T 38	58,24	18,41	8,34	2,52	0,81	1,46	3,81	0,94	0,17	0,07	0,014	5,0	99,83
		16 T 46	65,74	14,86	6,56	1,98	0,88	1,8	3,05	0,9	0,16	0,05	0,012	3,8	99,83
		16 T 65	59,28	18,55	7,93	2,59	0,39	1,43	4,19	0,96	0,1	0,12	0,014	4,2	99,82
		Los Espejos	16 LE 29	51,01	20,45	7,85	2,74	3,35	1,6	4,71	0,88	2,07	0,09	0,014	4,9
	CCS	65,89	15,17	4,49	2,20	4,19	3,89	3,39	0,50	0,20	0,07	83*			

**Tabla V-2.** Composición porcentual de los óxidos mayoritarios y minoritarios de las muestras analizadas para las Formaciones: Punta Negra, Talacasto y Los Espejos. CCS: corteza continental superior. \* Valor en ppm.

B1c. Comparación entre ambas unidades: Formación Talacasto vs. Formación Punta Negra.

Un análisis comparativo de las concentraciones de óxidos mayoritarios y minoritarios de las muestras de las Formaciones Talacasto y Punta Negra, revelan similitudes entre ambas unidades. En la Figura V-2 se grafican los contenidos en % de los óxidos de todas las muestras analizadas para cada unidad.

De esta manera es posible observar que los contenidos de  $\text{SiO}_2$  de las Formaciones Talacasto y Punta Negra muestran patrones similares con rangos entre 55-65%, estas a su vez registran una diferencia con la muestra analizada de la Formación Los Espejos, donde este valor es levemente menor alcanzando el 51% (Figura V-2).

El óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) en las muestras de la Formación Talacasto, exhibe leves variaciones entre ellas, pero siempre con porcentajes menores a la Formación Punta Negra que en promedio cuenta con 19% de este óxido. Por su parte la muestra de la Formación Los Espejos, presenta un leve incremento en comparación con las unidades del Grupo Gualilán superando el 20% (Figura V-2).

En cuanto al hierro férrico tanto entre las unidades del Grupo Gualilán como entre éstas y la Formación Los Espejos, se observa una homogeneidad en el contenido de este óxido con rangos entre 7,08%-8,67%. Sin embargo, la muestra 16PN44 de la Formación Punta Negra exhibe un leve aumento llegando al 9,26% (Figura V-2).

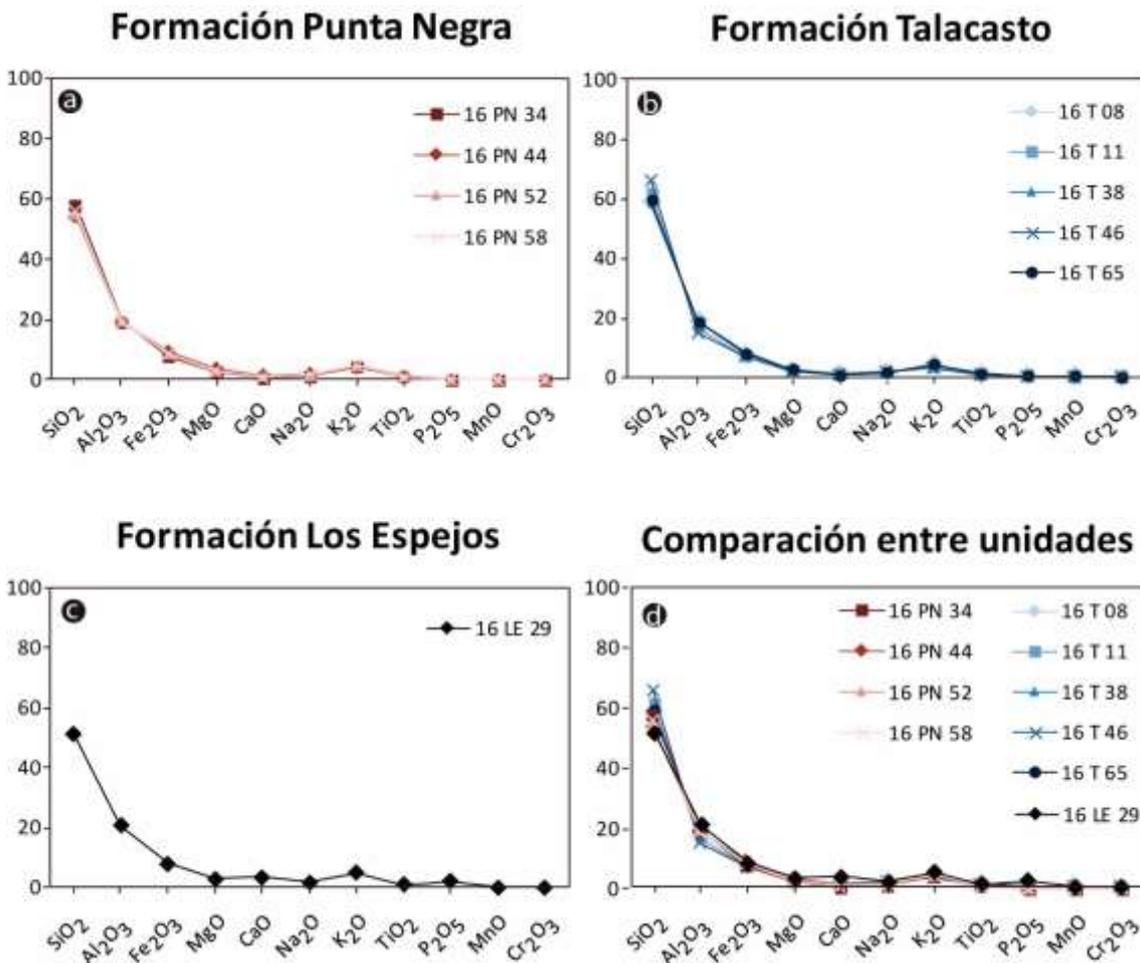
El  $\text{MgO}$ , al igual que el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , arrojan porcentajes similares entre las 3 formaciones analizadas (1,98%-3,23%), nuevamente se encontró un leve aumento en la concentración de este primer óxido en la muestra 16PN44 con un 3,78%. En el caso del  $\text{CaO}$ , los contenidos en la Formación Talacasto son similares a los de la Formación Punta Negra, los cuales quedan comprendidos entre ~0,5% y 1,5%. Mientras que la muestra de la Formación Los Espejos registró un valor de 3,35% (Figura V-2).

El  $\text{Na}_2\text{O}$  muestra valores semejantes en todas las unidades analizadas, comprendiendo el intervalo entre 1,15% y 1,99%. El  $\text{K}_2\text{O}$  en la Formación Talacasto principalmente se manifiesta con un contenido aproximado al 4% sin embargo, las muestras 16T11 y 16T46 arrojaron valores menores cercanos al 3%. Por otro lado, la Formación Punta Negra registra concentraciones constantes entre las muestras analizadas, con contenidos entre 4,15% y 4,59%, levemente superiores a la unidad anterior. Mientras que, la Formación Los Espejos, arrojó el porcentaje mayor de las muestras analizadas con 7,71% (Figura V-2).

Para el  $\text{TiO}_2$  se observa que la Formación Talacasto comparte en líneas generales, contenidos similares en este óxido, con un promedio de 0,91% mientras que la Formación Punta Negra presenta un leve incremento con promedio cercano al 1%. Por último, la Formación Los Espejos, registró un valor de 0,88% similar a la Formación Talacasto. El  $\text{P}_2\text{O}_5$  en general presentó bajos tenores en todas las muestras (menos del 0,26%) del Grupo Gualilán, en cambio la

Formación Los Espejos exhibió un incremento en comparación con las unidades mencionadas anteriormente, con un valor de 2,07%. El MnO presentó valores similares entre las unidades del Grupo Gualilán y entre éstas y la Formación Los Espejos, con valores entre 0,05% y 0,09%, sin embargo, la muestra 16T65 midió un leve incremento a las demás alcanzando el 0,12% (Figura V-2).

El Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la Formación Talacasto registró en promedio un contenido en este óxido de 0,012%, por su parte para la Formación Punta Negra los tenores son algo mayores con un promedio de 0,016%, mientras que la muestra de la Formación los Espejos presentó un valor intermedio de 0,014% (Figura V-2).



**Figura V-2.** Comparación de los óxidos de las muestras analizadas para cada unidad. **a:** Formación Punta Negra; **b:** Formación Talacasto; **c:** Formación Los Espejos y **d:** comparación entre las unidades analizadas.

B1d. Comparación con otras unidades dentro del contexto de Cuyania.

Al igual que las características petrográficas, las muestras pertenecientes al Grupo Gualilán pueden ser comparadas con otras muestras correspondientes a unidades de similar edad dentro del contexto de Cuyania, de esta manera se pretende conocer las características geoquímicas de cada unidad para poder establecer semejanzas y diferencias en los sedimentos

pelíticos en las diferentes regiones. A partir de los datos aportados por Manassero *et al.* (2009) para la Formación Río Seco de los Castaños, Abre *et al.* (2017) para la Formación La Horqueta y Wenger (2019) para la Formación Villavicencio, se procuró comparar al menos de forma general, las unidades involucradas, también fue contrastada la Formación Las Lagunitas, expuesta en la Cordillera Frontal a partir de los datos proporcionados por Valenti (2018).

La Formación Río Seco de los Castaños cuenta con 14 análisis químicos, de los cuales 12 se realizaron sobre rocas pelíticas y los dos restantes, a una limolita (99S4) y una arenisca (HOR28). Los resultados exhiben un comportamiento similar a los obtenidos para las rocas del Grupo Gualilán si tomamos en cuenta los porcentajes de óxidos mayoritarios y minoritarios. Manassero *et al.* (2009) agrupan por un lado a las muestras pelíticas, donde obtienen rangos de SiO<sub>2</sub> de 52,9% a 59,9%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 18,57% a 21,4%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 7,68% a 9,65% y K<sub>2</sub>O de 3,63% a 4,57%; y por otro, las muestras más gruesas que arrojaron concentraciones entre: 70,44 a 76,82%; 10,28% a 11,5%; 4,74% a 6,81% y 1,41% a 1,72% de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente, siendo claro el aumento en el contenido de SiO<sub>2</sub> de las muestras de mayor tamaño granulométrico y, por consiguiente, la disminución del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que provienen en gran parte de los filosilicatos concentrados en las pelitas. De esta manera, las fracciones finas arrojan concentraciones de estos óxidos similares a las halladas para las muestras del Grupo Gualilán.

La Formación La Horqueta cuenta con 18 análisis químicos (Abre *et al.*, 2017), los cuales presentan concentraciones de SiO<sub>2</sub> que oscilan entre 44,69% y 83,17%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 7,32% y 24,48%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oscila entre 3,33% y 10,89%, CaO está presente en concentraciones bajas (0,59% en promedio), el contenido de Na<sub>2</sub>O oscila entre 0,08% y 2,16%, mientras que el K<sub>2</sub>O se encuentra entre 1,23% y 6,84%. Los valores obtenidos para las muestras de esta unidad arrojaron rangos de concentraciones de óxidos muy amplios por lo que resulta dificultoso encontrar semejanzas con las rocas analizadas para el Grupo Gualilán.

Por su parte, para la Formación Villavicencio han sido analizadas 9 muestras, cuyos resultados aportados por Wenger (2019) revelan que el rango de SiO<sub>2</sub> es amplio entre las distintas muestras, con porcentajes que varían entre 54,93% a 71,78%, igualmente el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es variable con un porcentaje mínimo de 9,20% y máximo de 19,86%. Otro comportamiento muy heterogéneo lo presenta el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con valores que van desde 1,45% a 8,79%. Por último, el K<sub>2</sub>O arrojó un rango entre 1,87% a 4,98%. Se destaca para esta unidad los bajos porcentajes de CaO, en promedio se obtuvo un 0,79% a excepción de dos de las muestras en las que los porcentajes de este óxido superó el 5%.

Por otro lado, Valenti (2018) exhibe concentraciones de óxidos mayoritarios de la Formación Las Lagunitas (Facies Selerpe), esta sección de la unidad cuenta con 6 análisis, los cuales mostraron concentraciones de SiO<sub>2</sub> entre 48% y 62%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 18% y 26%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> siempre mayor a 5%; CaO está presente en concentraciones bajas, inferiores al 1%, el contenido de Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O oscilan entre 0,3% a 2%; y 3,9% y 6,6% respectivamente.

Por lo expuesto en esta sección, encontramos que tanto la Formación Villavicencio como Río Seco de los Castaños muestran leves incrementos en el contenido de  $\text{SiO}_2$  y una reducción en el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en comparación con las muestras del Grupo Gualilán, pero en forma general, ambas unidades presentan características geoquímicas semejantes. Por su parte las formaciones La Horqueta y Las Lagunitas no muestran patrones claros que permitan establecer semejanzas con las unidades estudiadas en este trabajo de tesis doctoral.

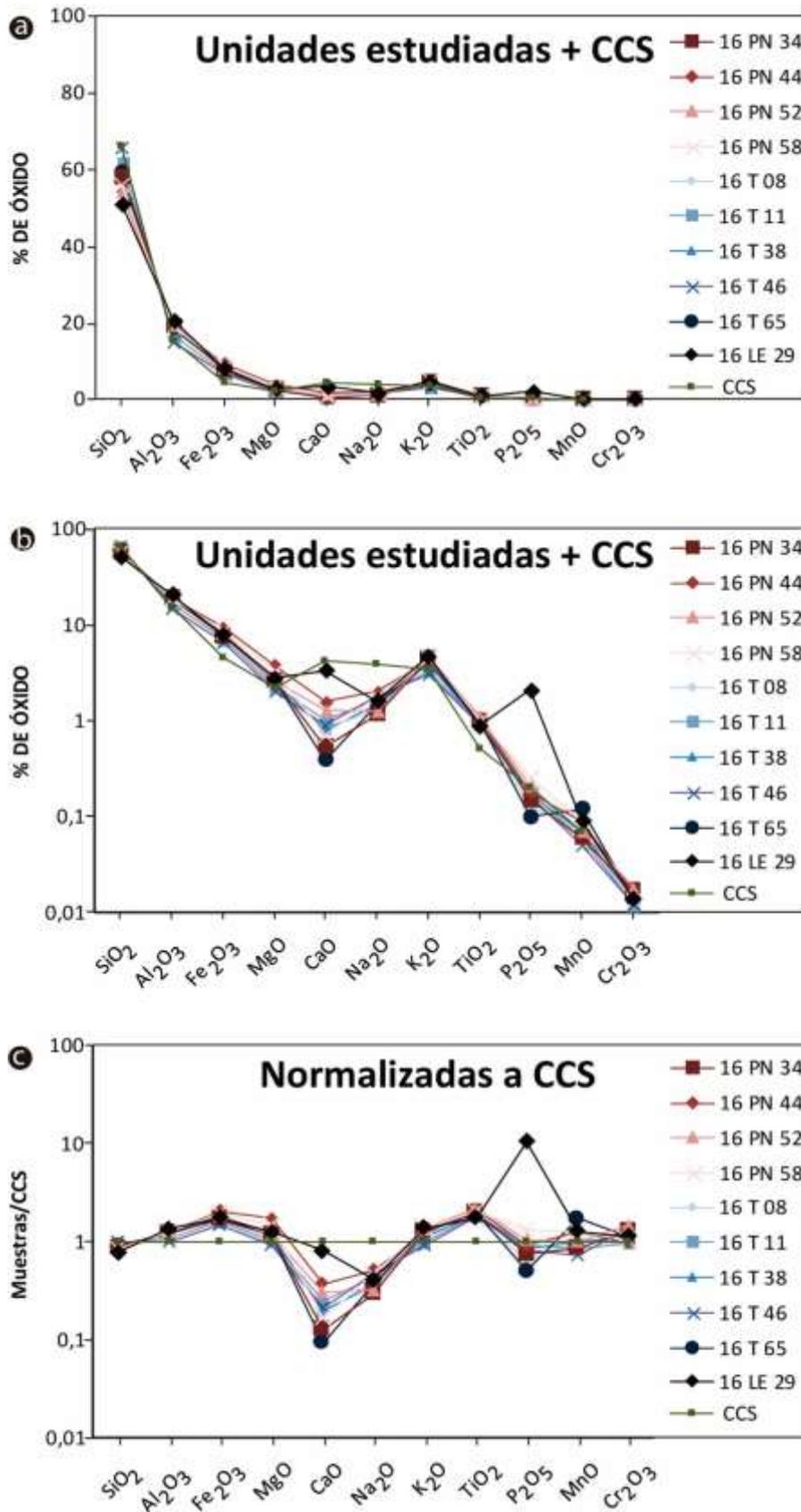
#### B1e. Valores de la Corteza Continental Superior (CCS) vs. unidades estudiadas.

Los resultados de los análisis efectuados sobre muestras de las unidades del Grupo Gualilán y la Formación Los Espejos, fueron cotejados con la composición promedio de la CCS a partir de los estudios realizados por Taylor y McLennan (1985). Así se puede observar que para la Formación Talacasto, el porcentaje de  $\text{SiO}_2$  en la mayoría de las muestras, presenta valores inferiores a la composición promedio de este óxido en la corteza continental superior, registrándose solamente en la muestra 16T46 un valor próximo a este índice. Para la Formación Punta Negra, las muestras analizadas presentan valores aún más bajos que los medidos en la Formación Talacasto, esta disminución se relacionó a los altos contenidos de alúmina registrados, asociados probablemente a una mayor participación de filosilicatos. Para el caso de la Formación Los Espejos el valor obtenido es inferior a todas las muestras analizadas con valor del ~51%, muy inferior a los contenidos observados en la corteza continental superior (Figura V-3).

En cuanto a la alúmina, la Formación Talacasto presenta valores en general algo mayores que la CCS (entre 16% y 18%) a excepción de la muestra 16T46 que registra un valor inferior al promedio. En la Formación Punta Negra, todas las muestras arrojan valores cercanos al 19%, que resultan ser superiores a los observados en la corteza continental superior. Para la Formación Los Espejos este valor aumenta al 20,45%. Debemos recordar que el contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  está controlado fundamentalmente por la presencia de argilominerales y feldespatos, siendo los primeros de ellos más abundantes en las granulometrías finas (Figura V-3).

El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  presenta un comportamiento similar en todas las muestras analizadas, en todos los casos los valores fueron superiores a los promedios de la CCS con rangos de 7,08% a 9,26%. El hierro en las muestras se concentra principalmente en óxidos como magnetita y hematita, sulfuros como piritita y argilominerales como cloritas. Para el  $\text{CaO}$ , en todos los casos los contenidos son significativamente más bajos que la CCS, superando en cuatro de las muestras el 1%, particularmente la correspondiente a la Formación Los Espejos que alcanzó un valor superior al 3%. El calcio está supeditado a las características mineralógicas de cada unidad, fundamentalmente proviene de cristales de plagioclasas y calcita (Figura V-3).

Similar comportamiento se observa con el  $\text{Na}_2\text{O}$ , con valores menores al 2% que resultan inferiores al promedio de la corteza continental superior. El aporte de este elemento se asocia principalmente con las plagioclasas (Figura V-3).



**Figura V-3.** Composición de los óxidos mayoritarios de las unidades analizadas comparados con los datos promedios calculados para la corteza continental superior (CCS) por Taylor y McLennan (1985). **a:** escala normal; **b:** escala logarítmica y **c:** normalizados a corteza continental superior.

El  $K_2O$  en general teniendo en cuenta todas las muestras analizadas, tiene registros mayores a los observados en la corteza continental superior, con un promedio de 4,3%. Únicamente dos muestras de la Formación Talacasto arrojaron valores inferiores a la CCS. El potasio se encuentra en general principalmente relacionado a la presencia de feldespatos potásicos y argilominerales como la illita (Figura V-3).

El  $MgO$  en las muestras analizadas de la Formación Talacasto, proyectó un valor de 2,29% muy próximo a los observados en la CCS. En contraposición la Formación Punta Negra presenta en promedio un valor de 3% algo superior al promedio de la CCS, mientras que la muestra de la Formación Los Espejos, suministró un valor similar a la Formación Punta Negra, la presencia de magnesio se vincula esencialmente a la participación de minerales del grupo de las micas. El  $MnO$  en las muestras analizadas tanto de la Formación Talacasto como las de la Formación Punta Negra registra en promedio igual valor a la CCS (0,07%). Mientras que la Formación Los Espejos revela un leve incremento en la concentración de este óxido (0,09%), (Figura V-3).

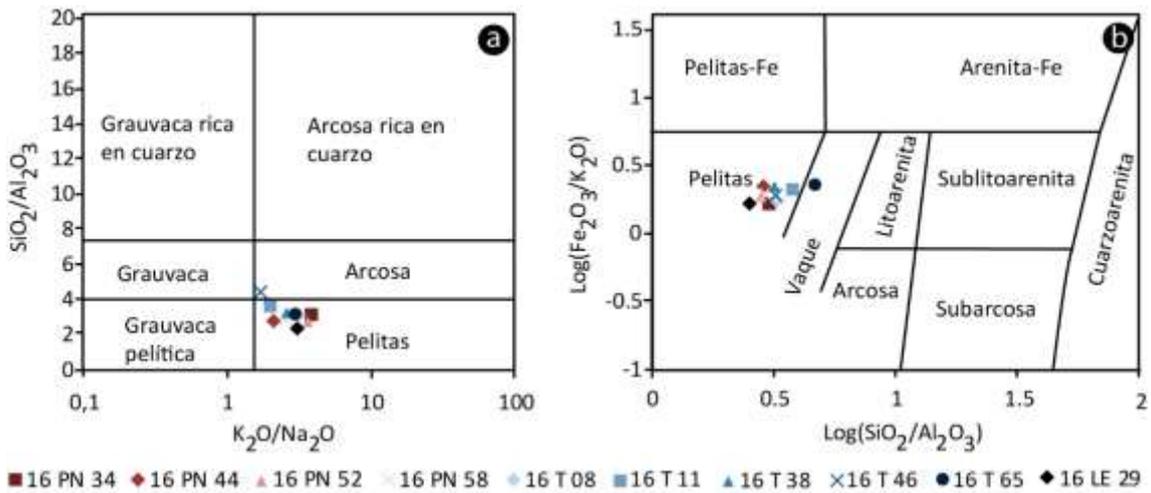
El  $TiO_2$  en todos los casos arrojó valores superiores al promedio de la CCS. Sin embargo, entre las unidades del Grupo Gualilán hay una leve diferencia en la concentración. Para la Formación Talacasto la concentración promedio es de 0,9%; mientras que la Formación Punta Negra presentó un leve incremento llegando al 1%. Por otro lado, la Formación Los Espejos, midió más bajo que las dos unidades descriptas anteriormente, pero igualmente, con valor más alto que la CCS.

El comportamiento del  $P_2O_5$  en la Formación Talacasto es inferior ( $\sim$ 0,14%) al promedio de la CCS (0,2%), mientras que, para la Formación Punta Negra, este valor es idéntico. En cambio, la Formación Los Espejos midió 2,07%, valor muy superior. La presencia de fósforo en esta última unidad podría estar vinculada a la alta proporción de fosfatos y a la concentración de este elemento en las mineralizaciones de hierro frecuentes en esta unidad.

#### B1f. Clasificación geoquímica de las muestras analizadas.

A partir de la composición porcentual de los óxidos de elementos mayoritarios e implementando de los gráficos propuestos por Wimmenauer (1984) y Herron (1988), se pudo establecer la variación composicional de las muestras analizadas (Figura V-4). El primero de ellos involucra las relaciones  $SiO_2/Al_2O_3$  vs.  $K_2O/Na_2O$  de cada muestra, esto reveló que todas las muestras analizadas presentan una composición asimilable a pelitas a excepción de la muestra 16T46 la cual se ubica en el campo de la arcosa (Figura V-4a). Por otro lado, el gráfico propuesto por Herron (1988) coteja los logaritmos de las relaciones  $Fe_2O_3/K_2O$  vs.  $SiO_2/Al_2O_3$ , donde se observó que la distribución composicional de las rocas analizadas es coherente con el diagrama anterior y con las características petrográficas observadas, todas las muestras se ubican en el

campo de rocas pelíticas a excepción de la muestra 16T65 correspondiente a la Formación Talacasto que presenta características atribuibles a una grauvaca (Figura V-4b).



**Figura V-4.** Clasificación geoquímica para las muestras del Grupo Gualilán y Formación Los Espejos: **a:** clasificación geoquímica de Wimmenauer (1984); **b:** clasificación geoquímica según Herron (1988).

Blg. Índice de Alteración Química (CIA- *Chemical Index of Alteration*).

Una vez que los detritos han sido depositados son numerosos los eventos post-depositacionales que pueden sufrir, produciendo una importante movilización de los elementos mayoritarios y alterando la composición original del protolito. El índice de alteración química (CIA) fue establecido como una guía general para cuantificar el grado de meteorización en rocas silicoclásticas (Nesbitt y Young, 1982). El CIA es la relación que existe entre los porcentajes moleculares de los óxidos  $Al_2O_3 / (Al_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO^*)$ , en donde el CaO corresponde al de las fases silicatadas, (el CaO total fue corregido por calcita, dolomita y apatita). Un valor elevado de este índice refleja movilidad de cationes como  $K^+$ ,  $Na^+$  y  $Ca^{+2}$  comparado con cationes  $Al^{+3}$  y  $Ti^{+2}$  (Nesbitt y Young, 1982). De forma opuesta, un bajo valor en este índice, revela que la meteorización química no fue importante, evidenciando condiciones climáticas áridas o frías. Los valores del índice pueden variar de  $>92$  indicando una intensa meteorización, donde los feldspatos se transformaron en minerales de las arcillas, valores entre 60 y 80 indican una meteorización intermedia, y los valores  $< 60$  reflejan un grado muy bajo de meteorización química (Fedo *et al.*, 1995; Aristizábal *et al.*, 2009).

Existen numerosos factores que influyen en el valor final del CIA de una muestra, entre los más relevantes se encuentran: el tamaño de grano, es por ello que rocas regionalmente asociadas y formadas por procesos similares, aunque texturalmente distintas, pueden registrar valores de CIA diferentes (McLennan *et al.*, 1993). Durante el transporte puede existir una selección que puede llegar a alterar el valor del CIA debido a la diferenciación mineralógica y la pérdida de masas (Nesbitt y Young, 1982), además en un sedimento o roca sedimentaria existe una mezcla de detritos de diferentes fuentes, cada una con una historia de meteorización particular

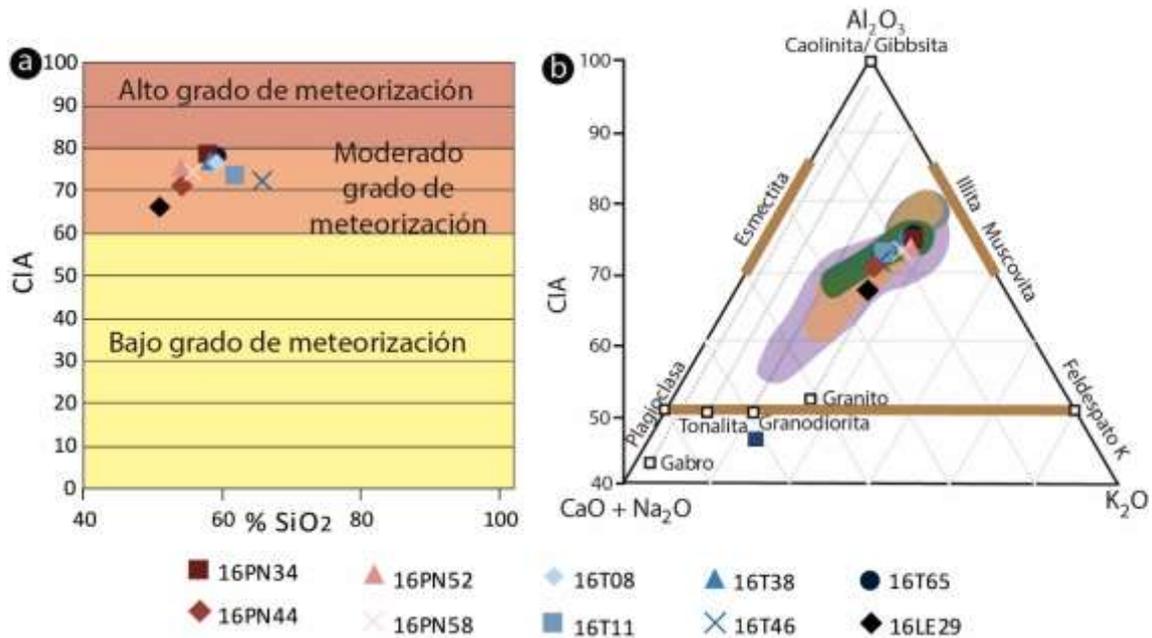
(McLennan *et al.*, 1993) asimismo, el metasomatismo potásico originado por la transformación de caolinita en illita o bien por el remplazo de plagioclasas por feldespato potásico, puede reducir el valor del CIA por adición del catión potasio (Fedo *et al.*, 1995).

La mineralogía y la composición química de las pelitas refleja la intensidad de la meteorización, ya que los minerales con altos valores en Al como la caolinita y gibbsita son producidas bajo una intensa meteorización y como consecuencia los valores del CIA aumentan.

Son muchos los factores que pueden modificar los valores de este índice, entre los más relevantes se encuentran: el tamaño de grano (McLennan *et al.*, 1993), selección mineral y masa perdida durante el transporte (Nesbitt y Young, 1982) mezcla de detritos de diferentes fuentes, cada una con una historia de meteorización única (McLennan *et al.*, 1993) y metasomatismo potásico (Fedo *et al.*, 1995). Este índice refleja la movilidad de elementos como el  $Ca^{+2}$ ,  $Na^{+1}$  y  $K^{+1}$  con respecto al  $Al^{+3}$  (Nesbitt y Young, 1982).

De los resultados obtenidos en este capítulo, se puede observar para la Formación Talacasto valores de CIA que fluctúan entre 72,2 a 75,5. Para la Formación Punta Negra los resultados se encuentran entre 71,1 y 75,9. La muestra correspondiente a la Formación Los Espejos arrojó un valor de 67,9 considerablemente menor que las del Grupo Gualilán.

De la distribución de  $SiO_2$  vs. CIA (Figura V-5a) se observó que independientemente del contenido de sílice la mayoría de las muestras presentan un índice de alteración comprendido entre 71% a 76%, lo cual podría suponer que estuvieron sometidas a similares procesos de condiciones de alteración de los materiales, influenciado por una composición mineralógica semejante.



**Figura V-5. a:** Diagrama SiO<sub>2</sub> vs. Índice de Alteración Química (CIA) de Nesbitt y Young (1982). Valores CIA en %. **b:** Valores del CIA para cada muestra y diagrama CaO+Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-K<sub>2</sub>O, se exponen las composiciones promedio de algunos tipos de rocas y minerales comunes y las muestras analizadas. Las

líneas punteadas indican tendencias de meteorización. Campo verde: muestras de la Formación Villavicencio según Wenger (2019); campo naranja: muestras de la Formación Rio Seco de los Castaños según Manassero *et al.* (2009); campo violeta: muestras de la Formación La Horqueta según Abre *et al.* (2017); campo gris: muestras de la Formación Las Lagunitas Valenti (2018).

Por otro lado, el diagrama A-CN-K (Fig.V-5b) presenta los diferentes trenes de meteorización partiendo de diferentes fuentes originales (Fedo *et al.*, 1995). Se volcaron los resultados de las muestras analizadas en este diagrama, junto con la composición promedio de las rocas ígneas, sus trayectorias teóricas de meteorización, y los principales minerales sedimentarios.

Como puede observarse en el diagrama A-CN-K (Figura V-5b), tanto las muestras de la Formación Talacasto como las de la Formación Punta Negra exhiben una distribución semejante en sus composiciones, agrupándose en el centro del diagrama con una leve tendencia hacia el extremo de muscovita-illita, con rangos de CIA entre 71 a 76, lo que implica una predisposición a la meteorización moderada. Una proporción del calcio y sodio fueron eliminados durante la meteorización, mientras que los contenidos de potasio para todas las muestras analizadas resultaron semejantes. El potasio podría estar vinculado de acuerdo a los estudios petrográficos con la presencia de feldespatos potásicos y muscovita principalmente. En el caso de la muestra 16LE29 de la Formación Los Espejos, presenta el valor de CIA más bajo 67,9 que se encuentra en el mismo rango de meteorización. Por otro lado, las muestras del Grupo Gualilán no siguen el camino de meteorización normal para rocas de la CCS, se puede ver que las muestras se ubican por debajo del tren de meteorización del granito-granodiorita, indicando rocas fuentes de tipo félsicas hacia el campo de la illita, lo cual indica que los minerales con Ca y Na en su composición no fueron totalmente removidos durante la meteorización.

Por su parte, las muestras analizadas de la Formación Rio Seco de los Castaños arrojaron valores de CIA entre 61,1 a 78,7 (Manassero *et al.*, 2009), la Formación La Horqueta presentó valores entre 61 a 77 (Abre *et al.*, 2017) mientras que para la Formación Villavicencio este índice quedó comprendido entre 60 y 80 (Wenger, 2019); al igual que para la Formación Las Lagunitas (Valenti, 2018), lo cual indica que todas estas unidades como aquellas que integran el Grupo Gualilán presentan un grado de meteorización moderada (Figura V-5b).

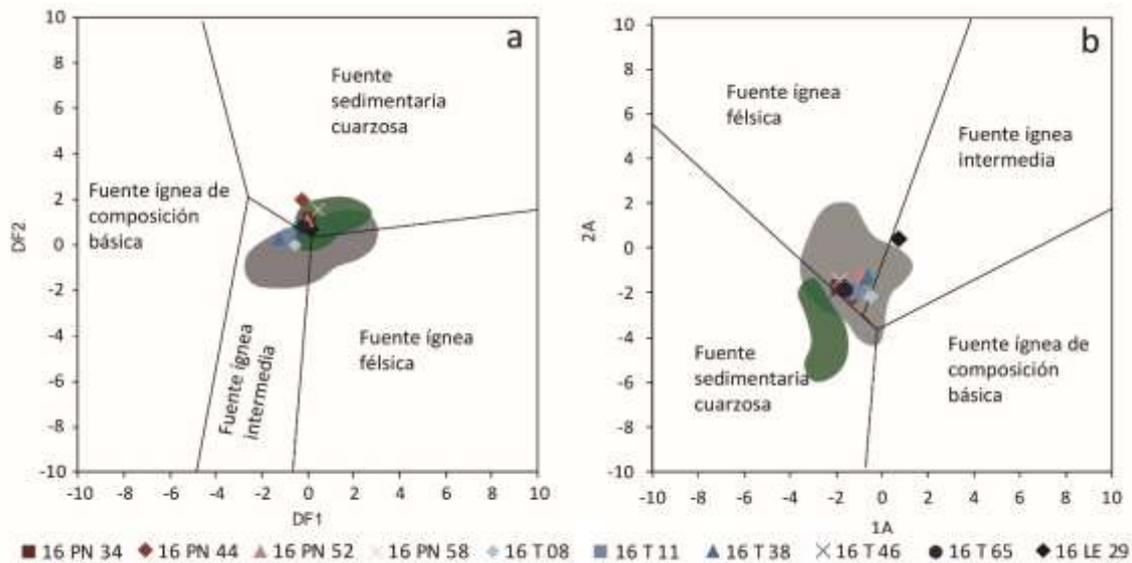
#### B1h. Aplicación de los elementos mayoritarios al análisis de procedencia.

Las concentraciones de elementos mayoritarios permiten de una manera preliminar, determinar la procedencia y el ambiente de sedimentación de las rocas silicoclásticas, principalmente las de grano fino, ya que estas reflejan mejor la composición del protolito, en contraposición con lo que ocurre con las rocas de grano grueso particularmente ricas en cuarzo, el cual produce dilución de otros elementos que se encontrarán así menos representados (Cullers *et al.*, 1988; Taylor y McLennan, 1985).

Diversos estudios como los llevados a cabo por Roser y Korsch, (1988), Fedo *et al.* (1995); Girty *et al.* (1996) y Meinhold *et al.* (2007), han demostrado el uso efectivo de valores contrastantes en la composición de elementos principales como una herramienta para determinar la procedencia de los sedimentos. Con el objetivo de establecer el tipo de fuente de los sedimentos, Roser y Korsch (1988) proponen dos diagramas, utilizando elementos mayoritarios para composiciones de areniscas y pelitas. En el primero de ellos (Figura V-6a) discriminan las funciones DF1 y DF2, donde DF1:  $30,638 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12,541 \text{ Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7,329 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12,031 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35,402 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6,382$ . y DF2:  $56,5 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10,879 \text{ Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30,875 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5,404 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11,112 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3,89$ . De esta manera, las proyecciones de los resultados obtenidos para las muestras del Grupo Gualilán a partir de las funciones discriminantes mencionadas anteriormente, presentan una distribución de las fuentes muy semejante, siguiendo un tren desde la proveniencia de rocas ígneas intermedias, llegando al campo de las fuentes sedimentarias cuarzosas. En el caso de la muestra de la Formación Los Espejos se encuentra en el límite entre los campos de fuentes félsicas e intermedias, lo cual dificulta su interpretación.

Posteriormente los mismos autores desarrollan otro diagrama (Figura V-6b) en base a elementos mayoritarios que permite clasificar a las muestras de acuerdo a la fuente de origen: máfica, P1: arco de isla oceánico; intermedio, P2: arco de isla maduro; félsica, P3: margen continental activo y reciclada, P4: granítica-gnéissica o fuente sedimentaria. En el otro caso discrimina entre la función 1A:  $-1,773 \text{ TiO}_2 + 0,607 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,76 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1,5 \text{ MgO} + 0,616 \text{ CaO} + 0,509 \text{ Na}_2\text{O} - 1,224 \text{ K}_2\text{O} - 9,09$  y la función 2A:  $0,445 \text{ TiO}_2 + 0,07 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,25 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1,142 \text{ MgO} + 0,438 \text{ CaO} + 1,475 \text{ Na}_2\text{O} + 1,426 \text{ K}_2\text{O} - 6,861$ . Los resultados obtenidos a partir de estas funciones, registran un comportamiento similar a lo analizado previamente. De esta manera, las proyecciones de los resultados obtenidos para cada muestra del Grupo Gualilán con estas funciones discriminantes, presentan una distribución de las fuentes muy semejante, ubicándose de manera unánime en el campo de fuentes sedimentarias cuarzosas. En el caso de la muestra de la Formación los Espejos se encuentra en el límite entre los campos de fuentes félsicas y fuentes intermedias, lo cual dificulta su interpretación.

La implementación de este diagrama para las muestras de la Formación Villavicencio indicó una procedencia de acuerdo a las relaciones DF1 vs. DF2 desde fuentes sedimentarias cuarzosas a ígneas intermedias exactamente las mismas donde se habrían originado las muestras del Grupo Gualilán (Figura V-6). Por otra parte, las mismas muestras en el diagrama de relaciones 1A vs. 2A indican una procedencia desde fuentes sedimentarias cuarzosas, esto no sería coincidente con las muestras del Grupo Gualilán que se ubican en el campo de fuentes ígneas félsicas (Figura V-6). Por su parte la Formación Las Lagunitas para ambas relaciones muestran una nube de datos con gran dispersión, por los datos por lo que no se puede establecer una relación entre las muestras de esta unidad y las del Grupo Gualilán.

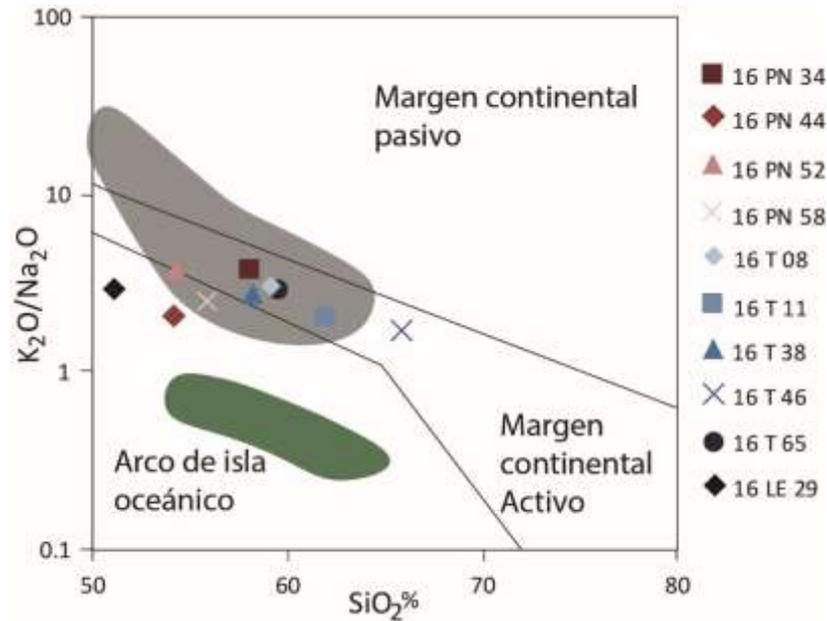


**Figura V-6.** Diagramas discriminatorios de ambientes geotectónicos utilizando el contenido en elementos mayoritarios de Roser y Korsch (1988) para las composiciones de areniscas y pelitas. **a:** DF1 vs. DF2, **b:** 1A vs. 2A. Campo verde: muestras de la Formación Villavicencio según Wenger (2019); campo gris: muestras de la Formación Las Lagunitas según Valenti (2018).

Por otra parte, se proyectan los datos en un diagrama bi-variante de  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  según Roser y Korsch (1986) en donde se distinguen tres posibles campos correspondientes a un margen continental pasivo, margen continental activo y arco de islas oceánico (Figura V-7).

Los resultados aportados por las muestras del Grupo Gualilán se ubican en diferentes campos: las correspondientes a la Formación Talacasto se disponen en el de margen continental activo mientras que aquellas que representan a la Formación Punta Negra, se ubican en el campo de arcos de isla oceánico y una única muestra coincide en el mismo campo que las de la unidad anterior. La relación de óxido de potasio sobre la del óxido de sodio, es relativamente uniforme en todas las muestras analizadas, la disparidad está dada en el contenido de sílice (Figura V-7).

Nuevamente al comparar las muestras analizadas en este trabajo con aquellas exhibidas por Wenger (2019) para la Formación Villavicencio, observamos disparidad entre estas, ya que todas las muestras de esta unidad se ubican en el campo de arco de isla oceánico, sin embargo si analizamos por separado las muestras del Grupo Gualilán podemos observar como aquellas que representan a la Formación Punta Negra son las que registran mayores semejanzas, a excepción de la muestra 16PN34 la cual fue tomada en la región Norte de la cuenca (Figura V-7). Las muestras de la Formación Las Lagunitas exhiben gran heterogeneidad, pudiendo registrarse algunas en el campo de margen pasivo, otras en arco de isla continental y margen continental activo, estos últimos dos grupos tendrían semejanzas con las muestras analizadas para el Grupo Gualilán (Figura V-7).



**Figura V-7.** Diagrama discriminante de Roser y Korsch (1986) mostrando las composiciones de las muestras analizadas para el Grupo Gualilán y Formación Los Espejos. Campo verde: muestras de la Formación Villavicencio según Wenger (2019); campo gris: muestras de la Formación Las Lagunitas según Valenti (2018).

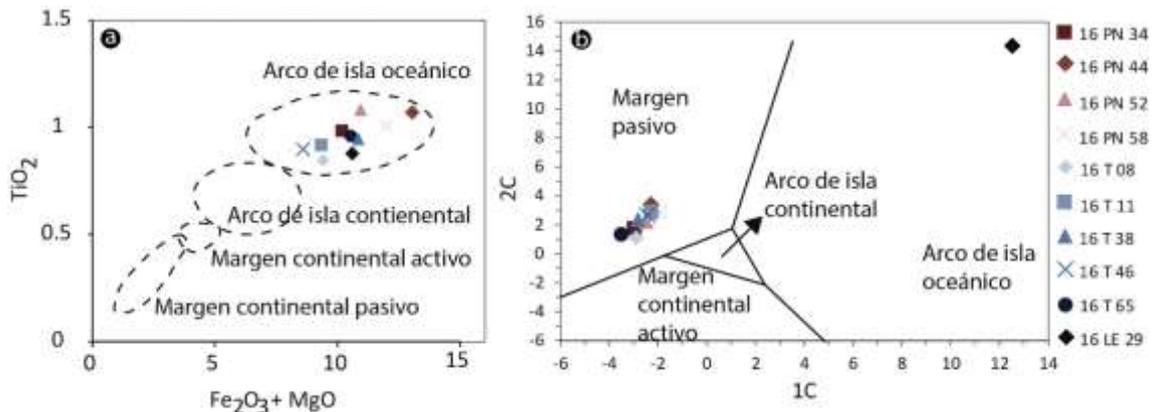
La disparidad entre las representaciones gráficas de los diagramas discriminantes de Roser y Korsch (1986, 1988) obtenidos a partir de la composición de elementos mayoritarios, pone de manifiesto la poca eficiencia de estos elementos al momento de definir el ambiente tectónico del cual proceden los sedimentos.

En el caso de los elementos mayoritarios Bathia (1983) utiliza los % en peso de elementos como el  $\text{TiO}_2$  y la sumatoria de  $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ , a partir de la relación entre ambos llega a discriminar 4 posibles ambientes tectónicos: margen pasivo; margen continental activo; arco de isla continental y arco de isla oceánico (Figura V-8a). Esta relación elimina el posible efecto de la movilización de  $\text{SiO}_2$  por procesos post-depositacionales y permite indagar la dispersión en la distribución de muestras.

En el caso del Grupo Gualilán (Formaciones Talacasto y Punta Negra) como para el de la muestra de la Formación Los Espejos, todas quedan incluidas dentro del campo de arco de isla oceánico con valores de óxido de titanio cercanos al 1% y tenores de óxido férrico + óxido de magnesio próximos al 10%.

El mismo autor generó otro diagrama, utilizando funciones discriminatorias de elementos mayoritarios a las cuales denominó como 1C:  $-0,0447 \text{ SiO}_2 - 0,972 \text{ TiO}_2 + 0,008 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,267 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 3,082 \text{ MnO} + 0,140 \text{ MgO} + 0,195 \text{ CaO} + 0,719 \text{ Na}_2\text{O} - 0,032 \text{ K}_2\text{O} + 7,510 \text{ P}_2\text{O}_5 + 0,303$  y 2C:  $-0,421 \text{ SiO}_2 + 1,988 \text{ TiO}_2 - 0,526 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,551 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 2,720 \text{ MnO} + 0,881 \text{ MgO} - 0,907 \text{ CaO} - 0,177 \text{ Na}_2\text{O} - 1,840 \text{ K}_2\text{O} + 7,244 \text{ P}_2\text{O}_5 + 43,57$  (Figura V-8b).

Para este caso las muestras del Grupo Gualilán se ubican en el campo del margen pasivo, siendo no concordante con los demás gráficos (Figura V-8b). La muestra correspondiente a la Formación Los Espejos queda ligeramente fuera del gráfico alejándose notoriamente de las muestras del Grupo Gualilán, marcando un cambio composicional. La misma cuenta con altos valores de CaO y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.



**Figura V-8. a-b:** Diagramas de discriminación tectónica basado en distintos elementos mayoritarios según Bhatia (1983).

La discriminación de ambientes tectónicos basados únicamente en elementos mayoritarios, conlleva a errores de interpretación, debido a que los mismos son compuestos móviles durante los procesos de meteorización y alteración (Basu *et al.*, 2016). Una mejor interpretación se logra utilizando los elementos trazas, siendo adecuados dado que poseen baja movilidad durante los procesos sedimentarios (Bhatia, 1983 y 1985; Taylor y McLennan, 1985; Bhatia y Crook, 1986; McLennan *et al.*, 1993).

De esta manera, se analizarán las relaciones de elementos trazas y tierras raras, ya que las características particulares de estos, permiten obtener información más confiable para caracterizar las muestras estudiadas.

## B2. Elementos trazas y tierras raras.

Los elementos trazas son todos aquellos que se encuentran en diferentes rocas en proporciones menores al 0,1% (1000 ppm), no constituyen minerales por si solos (con algunas excepciones, por ejemplo: Zr, Sr, Ba, Pb, etc.); pero si se ubican como sustitutos de elementos mayores en los minerales formadores de rocas (Tabla V-2). Dentro de este grupo se incluyen a los denominados elementos de las tierras raras (ETR); químicamente constituyen a los lantánidos, con números atómicos ente 57 y 71, estos a su vez se subdividen en dos subgrupos, por un lado, las tierras raras livianas (ETRL) que integran desde el La al Nd, con números atómicos más bajos y por otro las tierras raras pesadas (ETRP) con mayor numero atómico, incluyen desde el Sm al Lu (Tabla V-3).

Formación	Muestra	Ba	Cr	Sc	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	
Grupo Gualilán	Punta Negra	16PN34	578	116,3	20	4	15,2	9,1	23,2	5,1	16,2	190,9	4	63,6	1,3	14,3	3,3	168	14,6
		16PN44	763	109,4	19	4	23,9	3,8	25,6	6,4	17,2	156,7	3	154,8	1,3	13,0	3,3	152	27,8
		16PN52	648	123,1	22	4	18,7	9,3	24,7	5,5	17,3	196,1	4	87,3	1,3	14,9	3,6	185	1,8
		16PN58	705	88,9	19	4	19,3	5,0	25,4	6,2	17,0	176,1	4	91,1	1,2	14,2	3,5	145	1,8
		16T08	693	82,0	19	3	17	8,8	23,7	4,6	16,6	179,6	4	71,1	1,3	15,8	3,4	164	29,9
	Talacasto	16T11	455	82,0	18	4	17,5	6,7	20,3	6,2	16,3	141,5	4	73,9	1,5	13,3	2,9	139	73,4
		16T38	501	95,7	20	3	15,6	7,5	22,9	4,8	16,3	168,5	4	66,7	1,5	13,6	2,8	159	29,4
		16T46	411	82,0	15	3	16,5	5,9	16,0	7,1	14,9	131,2	3	84,5	1,4	12,4	3,1	131	81,6
		16T65	436	95,7	20	3	20,1	9,1	22,2	5,6	16,8	186,1	4	59	1,2	15,1	3,1	201	2,5
		16LE29	625	95,7	23	5	173	11,1	26,8	5	15,8	209,6	4	101,8	1,2	15,8	4	204	25,6

Formación	Muestra	Zr	Y	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se	Σtr	
Grupo Gualilán	Punta Negra	16PN34	177,4	29,3	0,6	48,2	17,7	134	50	1,8	bdl	bdl	0,4	bdl	bdl	0,01	0,1	bdl	1715,7
		16PN44	230,7	38,7	0,4	51,7	15,1	152	56	5,0	bdl	bdl	0,3	bdl	bdl	bdl	0,1	bdl	1884,7
		16PN52	192,9	38,7	0,9	51,4	18,5	146	61	6,7	bdl	0,1	0,5	bdl	1,5	0,02	0,1	bdl	1884,9
		16PN58	215,9	46,8	0,5	58,4	17,0	166	44	2,3	bdl	bdl	0,3	bdl	0,6	0,01	0,1	bdl	1878,6
		16T08	163,1	32,1	1,2	37,0	23,2	119	34	14,2	bdl	0,2	0,7	bdl	1	0,03	0,2	bdl	1762,7
	Talacasto	16T11	223,1	32,5	0,8	31,3	15,7	112	53	6,1	bdl	bdl	0,4	bdl	0,6	0,01	0,1	bdl	1551,1
		16T38	179,3	34,4	0,6	35,2	17,6	135	42	3,3	bdl	0,1	0,5	bdl	bdl	0,01	bdl	bdl	1640,4
		16T46	273,5	32,6	1,1	22,8	12,7	100	41	10	bdl	0,2	0,2	0,2	0,7	bdl	bdl	bdl	1654,8
		16T65	197,1	32,6	bdl	30,5	16,9	147	48	1,4	bdl	bdl	0,5	bdl	0,8	bdl	0,1	bdl	1879,2
		16LE29	181,7	114,6	1,3	34,0	19,8	119	45	5,7	bdl	bdl	0,6	bdl	bdl	bdl	0,1	bdl	1704,3

Tabla V-2. Contenido de los principales elementos trazas en ppm de las muestras analizadas.

Formación	Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	
Grupo Gualilán	Punta Negra	16 PN 34	40,4	80,2	9,33	33,5	6,11	1,19	5,48	0,86	5,25	1,13	3,38	0,51	3,62	0,54	191,50
		16 PN 44	39,9	83,2	10,44	40,2	7,87	1,54	7,52	1,2	7,49	1,5	4,1	0,63	4,21	0,65	210,45
		16 PN 52	28,4	71,4	8,3	32,9	7,3	1,29	7,25	1,18	7,26	1,48	4,27	0,62	4,08	0,6	176,33
		16 PN 58	46,2	97,4	12,32	48,4	9,98	1,86	9,55	1,44	8,66	1,73	4,88	0,7	4,37	0,67	248,16
		16 T 08	38,5	77,3	9,09	32,9	6,45	1,23	6,05	0,99	6,02	1,23	3,57	0,54	3,55	0,56	187,98
	Talacasto	16 T 11	38,9	80	9,29	35,1	6,98	1,36	6,49	1,03	6,2	1,26	3,74	0,53	3,46	0,52	194,86
		16 T 38	40,2	80,3	9,66	37,3	7,51	1,42	6,64	1,05	6,28	1,24	3,75	0,54	3,61	0,54	200,04
		16 T 46	36,9	74,3	9,11	34,2	6,87	1,24	6,29	0,96	5,61	1,16	3,5	0,53	3,41	0,52	184,60
		16 T 65	41,9	92,8	10,16	37,6	6,97	1,31	6,02	0,99	5,97	1,28	3,74	0,56	3,57	0,56	213,43
		16 LE 29	71	143,5	19,22	89,3	23,05	5,34	28,12	3,73	19,68	3,52	9,01	1,09	6,49	0,99	424,04
Los Espejos	UCC	31	63	7,1	27	4,7	1	4	0,7	3,9	0,83	2,3	0,3	2	0,31	148,14	
	PAAS	38	80	8,9	32	5,6	1,1	4,7	0,77	4,4	1	2,9	0,5	2,8	0,5	183,17	

Tabla V-3. Valores de los elementos de tierras raras (ETR) en ppm de las muestras analizadas del Grupo Gualilán y Formación Los Espejos.

Los elementos trazas tienden a ser insolubles en soluciones acuosas, y se transfieren desde la roca de origen a los sedimentos sin sufrir grandes cambios ni fraccionamiento significativo (Lee, 2002); pueden presentar una movilidad relativamente baja frente a la meteorización, diagénesis o metamorfismo de bajo grado, estas características junto con cortos periodos de residencia en los océanos y coeficientes de partición muy bajos condicionan que no puedan ser incorporados en la estructura cristalina de minerales diagnósticos. Esto los convierte en una herramienta muy útil para diferenciar procesos geoquímicos específicos y posibilitan la caracterización de la roca fuente (Taylor y McLennan, 1985; Bhatia y Crook, 1986; McLennan, 1989; McLennan *et al.*, 1993). Por lo tanto, los elementos trazas representan los indicadores de procedencia más confiables.

Bhatia y Crook (1986), definen una serie de elementos adecuados como discriminadores tectónicos debido a considerarlos como los más inmóviles, los elementos incluidos en este grupo incluyen a: La, Th, Zr, Y, Sc, Co, Ce, Hf, Nb y Ti.

Dentro de los análisis de procedencia, el estudio de los elementos trazas son de gran importancia debido a que muchos de ellos son prácticamente inmóviles frente a procesos de intemperismo, diagénesis y metamorfismo de bajo grado, pudiéndose, por lo tanto, conocer las características de la roca fuente (Taylor y McLennan, 1985; Bhatia y Crook, 1986; McLennan *et al.*, 1993; entre otros).

#### B2a. Aplicación de los elementos trazas y tierras raras al análisis de procedencia.

Con el objetivo de caracterizar las fuentes de sedimentos que aportan a la secuencia clástica en estudio, se determinaron los contenidos de elementos trazas, tierras raras y ciertas relaciones entre ellos que permiten caracterizar la procedencia sedimentaria. Para tal fin, diversos autores exponen una serie de consideraciones teóricas a tener en cuenta respecto al comportamiento de los elementos trazas y tierras raras en los diferentes ambientes geotectónicos, como también, las relaciones más utilizadas para poder discriminar las fuentes de detritos.

En el caso de las rocas silicoclásticas, la composición química está controlada por la configuración tectónica de la cuenca sedimentaria y la naturaleza de la fuente original. Como consecuencia, las rocas clásticas de diferentes ambientes tectónicos registran características geoquímicas particulares para cada caso, pudiendo ser utilizadas las relaciones de diferentes elementos trazas como Th, Zr, La, Sc y Hf en la discriminación de estos ambientes (Bhatia, 1983, 1985; Roser y Korsch, 1988; Floyd y Leveridge, 1987; McLennan y Taylor, 1991).

Los diagramas de diferenciación tectónica fueron creados por diversos autores, los cuales utilizaron diferentes elementos trazas como Th, Zr, La, Sc y Hf (Taylor y McLennan, 1985; Bhatia y Crook, 1986 y McLennan *et al.*, 1990) entre otros. Todos estos autores concuerdan que las rocas sedimentarias pertenecientes a un mismo ambiente tectónico pueden presentar firmas geoquímicas diferentes (McLennan *et al.*, 1990; Bahlburg, 1998), es por ello que los resultados obtenidos con estos diagramas deben ser interpretados con precaución.

Las relaciones entre diferentes elementos trazas como por ejemplo la relaciones Sc/Cr o La/Sc junto a las altas concentraciones de Zr son utilizados para caracterizar un margen continental pasivo y permite diferenciarlo de un margen continental activo, a su vez estos últimos se pueden diferenciar de un arco de islas continental mediante la relación La/Y, mientras que la relación La/Th permite discriminar entre arco de islas oceánicos y arcos de islas continental. Por este motivo, de los diagramas de discriminación tectosedimentaria propuestos por Bhatia y Crook (1986) y modificados por McLennan *et al.* (1990) se consideran más representativos el diagrama binario La/Y vs. Sc/Cr y el ternario Sc-Th-Zr/10, en este último se incorporan dos nuevos campos de acuerdo a Bahlburg (1998) a los cuales se denominó como 1: depósitos marinos turbidíticos recientes derivados de depósitos de margen continental activo y 2: depósitos marinos turbidíticos recientes derivados de depósitos de margen pasivo.

Al momento de caracterizar la roca fuente de la cual derivan los sedimentos, las relaciones entre ciertos elementos como La, Th, Co, Sc, Cr y Eu son algunos de los indicadores más sensibles y por lo tanto más utilizados (Culler, 2000). Estas relaciones podrían indicar el grado de diferenciación ígnea (McLennan *et al.*, 1990) o el posible aporte de rocas máficas si por ejemplo las relaciones Th/Cr o La/Sc, presentan valores relativamente bajos.

Los análisis de tierras raras son otra herramienta muy utilizada para determinar la procedencia de los detritos, estos tienen la ventaja de no fraccionarse significativamente por procesos sedimentarios, y por lo tanto siguen siendo un reflejo de la composición de la fuente original para rocas silicoclásticas (McLennan, 1989; Dou *et al.*, 2010; Um *et al.*, 2013). La mayoría de las rocas félsicas muestran sutiles variaciones en la magnitud de las anomalías negativas del Eu. Mientras que en las rocas máficas o ultramáficas esta anomalía negativa desaparece completamente.

Los patrones de estos elementos suelen ser normalizados a condritos o bien respecto al NASC (North American Shale Composite; Gromet *et al.*, 1984) y también al PAAS (Post-Archean Australian Shales) o CCS (Corteza Continental Superior), según Taylor y McLennan (1985). La concentración de este grupo de elementos varía según el tamaño de grano de las muestras analizadas, comúnmente se manifiestan en baja concentración en las granulometrías arenosas, mientras que la proporción de estos elementos en las facies pelíticas es considerablemente mayor, aproximadamente un 20% más. No obstante, la presencia y magnitud de la anomalía de Eu, así como el patrón general, son similares independientemente del tamaño de grano (Cullers, 1988; Cullers *et al.*, 1987 y 1988).

#### B2b. Geoquímica de elementos trazas para el Grupo Gualilán.

En las (Tablas V-2 y 3) se expresan los resultados del análisis de elementos trazas para las muestras estudiadas, los datos son expresados en ppm y los resultados fueron normalizados con los de la corteza continental superior (McLennan *et al.*, 2006), mientras que los elementos del grupo de las tierras raras se normalizaron en función del condrito (Sun y McDonough, 1989).

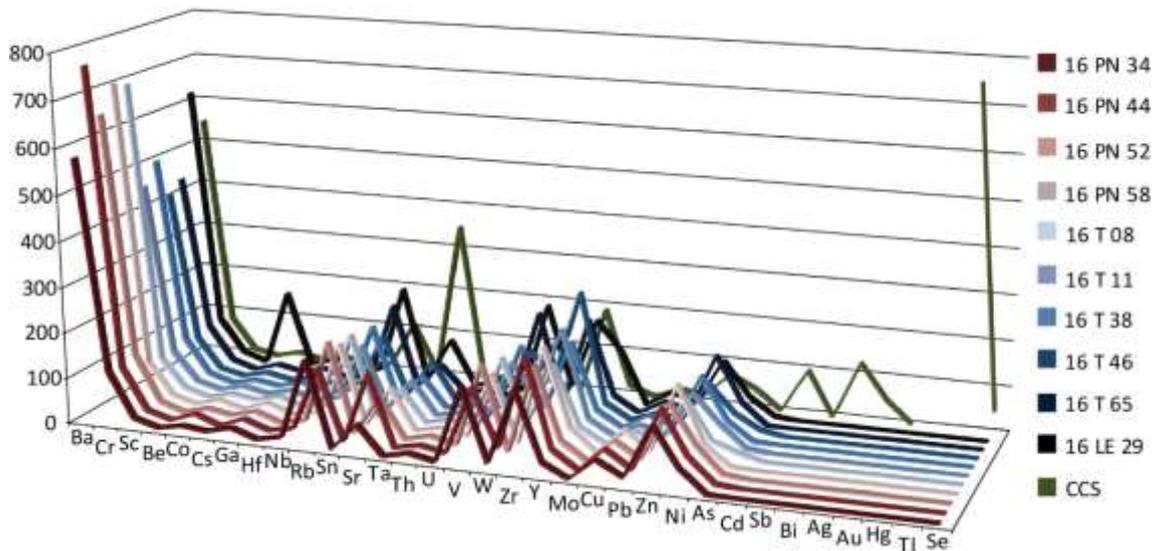
#### Formación Talacasto.

Las muestras analizadas de la Formación Talacasto comparativamente con los valores promedios de aquellos registrados para la corteza continental superior, muestran los siguientes patrones: todas arrojaron comportamientos semejantes destacándose un elevado contenido en Ba en la muestra 16T08 (693 ppm) mientras que las restantes muestras correspondientes a esta unidad arrojan valores entre (411-501 ppm), siendo estos últimos inferiores al promedio de la CCS (550 ppm). El Ni arrojó en promedio 43,6 ppm entre las muestras analizadas, esta es una cifra inferior al promedio encontrado en la parte alta de la corteza (50 ppm). El Sc por su parte se presenta en elevados contenidos: 16T08 (19 ppm), 16T11 (18 ppm), 16T38 (20 ppm), 16T46 (15 ppm) y

16T65 (20 ppm) respecto a la CCS (13 ppm). El Co presenta valores entre 15,6-20,1 ppm, próximos en comparación con la corteza continental superior (17 ppm). El Cs registra valores relativamente elevados, con un promedio entre las 5 muestras analizadas de 7,6 ppm; este valor supera al promedio para la CCS de 4,8 ppm. Por su parte el Ga exhibió en cuatro de las muestras analizadas valores entre 20,3-23,7 ppm, estos resultan ser superiores a la CCS (17 ppm), únicamente la muestra 16T46 arrojó un valor levemente inferior (16 ppm). El Rb presentó cifras altas de entre 131,2 - 186,1 ppm superiores al promedio para la CCS (112 ppm). El Th por su parte presentó valores altos en las 5 muestras analizadas 16T08 (15,8 ppm), 16T11 (13,30 ppm), 16T38 (13,6 ppm), 16T46 (12,4 ppm) y 16T65 (15,1 ppm). El comportamiento del U fue similar al Th aunque presentando rangos entre (2,8 - 3,4 ppm) próximos a la CCS (2,8 ppm). El V arrojó valores fuertemente superiores para todas las muestras analizadas 16T08 (164 ppm), 16T11 (139 ppm), 16T38 (159 ppm), 16T46 (131 ppm) y 16T65 (201 ppm), siendo el promedio para la corteza continental superior de 110 ppm. El W es el elemento que más disparidad muestra en comparación a la CCS (2 ppm), en cuatro muestras analizadas para esta unidad se midió un rango entre 29,4 - 81,6 ppm, la restante muestra 16T65 es muy próxima al promedio con un valor de 2,5 ppm. El Y exhibió en promedio 32,8 ppm entre las 5 muestras, esta cifra es respecto al promedio de la CCS (22 ppm) levemente superior. El Cu presenta en cuatro de las cinco muestras valores superiores al promedio de la corteza (25 ppm), las diferentes muestras arrojaron: 16T08 (37 ppm), 16T11 (31,3 ppm), 16T38 (35,2 ppm) y 16T65 (30,5 ppm) mientras que la muestra 16T46 presentó 22,8 ppm; valor levemente inferior al promedio para la corteza. El Zn en general duplica en valor al promedio para la CCS (71 ppm), la concentración de este elemento en las muestras analizadas es en promedio de 122,6 ppm. El As presenta 1,5 ppm en la CCS, la muestra 16T65 es la única dentro de las estudiadas que presenta un valor inferior con 1,4 ppm, mientras que las restantes arrojaron 16T08 (14,2 ppm), 16T11 (6,1 ppm), 16T38 (3,3 ppm) y 16T46 (10 ppm). Finalmente, el Zr presentó características anómalas entre las distintas muestras 16T08 (163,1 ppm), 16T11 (223,1 ppm), 16T38 (179,3 ppm), 16T46 (273,5 ppm) y 16T65 (197,1 ppm), siendo el promedio de la CCS de 190 ppm. Los elementos como el Be, Nb, Sn, Sr, Ta, Mo, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Tl y Se arrojaron valores por debajo del promedio para la CCS (Figura V-9).

#### Formación Punta Negra.

Las muestras de la Formación Punta Negra registran patrones similares a los de la unidad infrayacente Formación Talacasto, aunque al tratarse de muestras de naturaleza pelítica más finas que las analizadas para la unidad anterior registran valores más elevados. Los datos de Ba entre las cuatro muestras analizadas arrojaron en promedio 676 ppm, este valor es superior al de la CCS con 550 ppm. El Ni presenta igual comportamiento que en la unidad inferior, pero con valores más elevados que van desde 44 a 61 ppm, siendo próximos al promedio para este elemento en la



**Figura V-9.** Comparación de los contenidos de los elementos trazas para las muestras del Grupo Gualilán y Formación Los Espejos y el promedio de los principales elementos trazas para la corteza continental superior (CCS), expresados en ppm (McLennan *et al.*, 2006).

corteza de 50 ppm. El Sc presenta un comportamiento idéntico al de la Formación Talacasto con un promedio de 20 ppm entre las muestras analizadas, este es superior al promedio en la corteza que es de 13 ppm. El Be presentó en todos los casos analizados 4 ppm, próximo a la CCS con 3 ppm. El Co arrojó en promedio 19,3 ppm entre las muestras analizadas, este es muy próximo al promedio en la corteza que es de 17 ppm. Para el Cs los valores medidos fueron entre 3,8 y 9,3 ppm, estos son en algunos casos inferiores y en otros superiores al promedio de la CCS (4,8 ppm). El Ga mostró un comportamiento similar a la Formación Talacasto, pero con un leve aumento de 24,7 ppm, que es superior a la CCS con 17 ppm. El Hf midió levemente por encima (5,1-6,4 ppm) al promedio de la CCS (5,8 ppm). El Rb presentó entre 156,7 y 196,1 ppm con una media de 179,9 ppm, contenidos superiores a la CCS con 112 ppm. El Th arrojó un comportamiento prácticamente idéntico al de la Formación Talacasto con concentraciones entre 13 y 14,9 ppm, mientras que el U manifestó en las 4 muestras analizadas valores de: 16PN34 (3,3 ppm), 16PN44 (3,3 ppm), 16PN52 (3,6 ppm) y 16PN58 (3,5 ppm); todos superiores al promedio para la CCS de 2,8 ppm. El V exhibió como promedio 162,5 ppm, siendo el promedio de este elemento en la corteza de 110 ppm. Mientras que el W reveló un comportamiento anómalo entre las distintas muestras y con respecto a la unidad infrayacente, dos de las muestras analizadas: 16PN34 y 16PN44 arrojaron datos muy superiores al promedio para la CCS (2 ppm) con concentraciones de 14,6 y 27,8 ppm respectivamente, mientras que las restantes: 16PN52 y 16PN58 presentaron datos por debajo del promedio, cada una de ellas con 1,8 ppm. El Y presentó un patrón idéntico a la unidad anterior, pero con un leve aumento 38,3 ppm. Los valores de Cu varían entre 48,2 y

58,4 ppm siendo el promedio para la CCS de 25 ppm. Similar comportamiento presentó en Zn donde la concentración media en las muestras analizadas resultó de 149,5 ppm, más del doble del estándar para la CCS (71 ppm). El As en todos los casos es superior al promedio de la corteza: 16PN34 (1,8 ppm), 16PN44 (5 ppm), 16PN52 (6,7 ppm) y 16PN58 (2,3 ppm). Elementos como Zr y Hf muestran una heterogeneidad entre las distintas muestras con promedios de 204,1 ppm y 5,8 ppm respectivamente, siendo para el primer elemento levemente superior al de la CCS (190 ppm), mientras que para el segundo es igual al de la CCS. Elementos como Nb, Sn, Sr, Ta, Mo, Pb, Cd, Sb, Bi, Ag, Au, Tl y Se arrojaron valores muy próximos o por debajo del promedio para la CCS.

La única muestra de la Formación Los Espejos exhibió los siguientes resultados, elementos como Ba, Sc, Be, Co, Cs, Ga, Rb, Th, U, V, W, Y, Cu, Zn, As presentaron concentraciones superiores al promedio de la CCS, de todos ellos cabe destacar al Co el cual exhibió 173 ppm, más de 10 veces superior al promedio de la corteza, el Cs midió 11,1 ppm más de dos veces el valor del promedio de la CCS. El V arrojó 204 ppm, duplicando a la corteza continental superior. El W al igual que la mayoría de las muestras del Grupo Gualilán presenta una anomalía de 25,6 ppm que resulta más de 12 veces superior a la CCS. El Y con 114,6 ppm es al menos 5 veces superior al promedio en la corteza. Finalmente, el As con 5,7 ppm es aproximadamente 4 veces superior al promedio para la corteza continental superior (Figura V-9).

#### B2c. Formación Talacasto vs. Formación Punta Negra.

De la comparación en los contenidos de elementos traza entre la Formación Talacasto y Punta Negra, surge que los contenidos de los principales elementos muestran patrones semejantes entre sí, en ambos casos como fue tratado en el inciso B de este capítulo, en todos los casos fueron seleccionadas para el análisis muestras de granulometría pelítica, sin embargo, comparativamente, las muestras de la Formación Punta Negra suelen ser más finas, por lo que al momento del análisis los comportamientos de los elementos Ba, Ni, Be, Co, Cs, Ga, Nb, Rb, Sr, Th, U, Zr, Y, Cu, Zn, As, en ambas unidades suelen ser semejantes con un leve incremento en las muestras de la Formación Punta Negra. Elementos como Sc, Hf, Sn, Ta, Mo, V presentan en promedio valores muy próximos entre ambas unidades y menores al promedio de la corteza continental superior. El W arrojó un comportamiento anómalo ya que la concentración de este elemento, fue muy superior al promedio de la CCS para ambas unidades, a su vez fue el único elemento que en promedio arrojó mayor concentración en la Formación Talacasto que en Punta Negra. Elementos como el Cd, Sb, Ag, Au, Hg, Se y Tl se encontraron por debajo del límite de detección.

B2d. Relaciones Th/Sc vs. Zr/Sc.

A partir de las relaciones Th/Sc vs. Zr/Sc en cada muestra se puede obtener una representación gráfica binaria que permite visualizar la composición de la fuente y el grado de reciclaje de los sedimentos. Cabe destacar que el aumento de las relaciones Th/Sc vs. Zr/Sc está asociado a aquellos ambientes de margen pasivo y/o rift. A partir de la relación Th/Sc se puede diferenciar entre fuentes máficas y félsicas, aquellos detritos que proceden de rocas de la corteza superior poseen un valor de esta relación igual o superior a 0,79; mientras que los procedentes de rocas máficas y ultramáficas presentarán valores menores a 0,6 (McLennan *et al.*, 1990).

El retrabajo y la selección de sedimentos durante el transporte generan depósitos con concentraciones minerales pesados resistentes, comúnmente enriquecidos en circón. Geoquímicamente esto conduce a pensar que una alta concentración de Zr es un buen indicador del reciclaje sedimentario. Cuando lo combinamos con otros elementos trazas como Th y Sc, los cuales son respectivamente incompatible y compatible en procesos de diferenciación química, la relación Zr/Sc es un buen indicador de la abundancia de circón y del grado de retrabajo, mientras que la relación Th/Sc es diagnóstica del grado de diferenciación química ígnea (McLennan *et al.*, 1993).

La relación Th/Sc de las muestras analizadas para ambas unidades de estudio, resultó en general ser menor al promedio de los contenidos de la CCS (0,82). Para la Formación Talacasto se registraron cocientes entre 0,68 a 0,83 de estos elementos, estos se asocian a un alto valor del Sc en todas las muestras analizadas. Para las muestras de la Formación Punta Negra, se mantienen las relaciones por debajo al de la corteza continental superior. Estos valores se encuentran entre 0,68 a 0,75 (Tabla V-4).

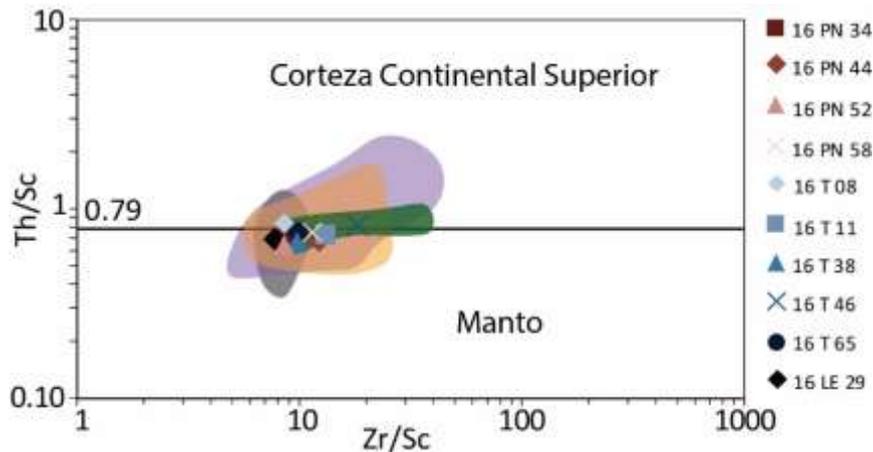
Formación	Muestra	Th/Sc	Zr/Sc	Cr/V	Y/Ni	La/Th	Th/U	Th/Co	La/Sc	
Grupo Gualilán	Punta Negra	16 PN 34	0,72	8,87	0,69	0,68	2,83	4,33	0,94	2,0
		16 PN 44	0,68	12,14	0,72	0,69	3,07	3,94	0,54	2,1
		16 PN 52	0,68	8,77	0,66	0,63	1,91	4,14	0,80	1,3
		16 PN 58	0,75	11,36	0,61	1,06	3,25	4,06	0,74	2,4
	Talacasto	16 T 08	0,83	8,58	0,50	0,94	2,44	4,65	0,93	2,0
		16 T 11	0,74	12,42	0,59	0,61	2,92	4,59	0,76	2,2
		16 T 38	0,68	8,97	0,60	0,81	2,96	4,86	0,87	2,0
		16 T 46	0,83	18,23	0,62	0,79	2,98	4,0	0,75	2,5
		16 T 65	0,76	9,86	0,47	0,67	2,77	4,87	0,75	2,1
	Los Espejos	16 LE 29	0,69	7,90	0,56	2,64	4,49	3,95	0,09	3,1

**Tabla V-4:** Valores de las relaciones entre elementos trazas incluidos los elementos de tierras raras (ETR), para las muestras analizadas del Grupo Gualilán y Formación Los Espejos.

Por otro lado, las relaciones Zr/Sc para la Formación Talacasto fueron inferiores a las registradas para la CCS (14,6) encontrándose entre 8,58 a 12,42; la excepción la constituye la muestra 16T46 con 18,23. Para la Formación Punta Negra se mantiene la misma tendencia con relaciones menores al promedio de la CCS con valores entre 8,77 a 12,14 (Tabla V-4).

Por último, la muestra de la Formación Los Espejos arrojó un cociente en estas relaciones muy próximo o inferior a los del Grupo Gualilán. La primera registró 0,69 mientras que la segunda arrojó un valor de 7,9 los cuales resultan nuevamente por debajo del promedio de la CCS.

La figura V-10 muestra las relaciones Th/Sc vs. Zr/Sc de las 10 muestras analizadas. Se puede observar que todas ellas se ubican por debajo de la línea que separa el campo de la CCS, debido al bajo contenido en Th. La excepción la marcan las muestras 16T08 y 16T46 con valores levemente superiores, a su vez esta última muestra presenta en relación a las demás un leve enriquecimiento en Zr por lo que se desplaza levemente hacia la derecha del gráfico. Esto sugiere que no hay un enriquecimiento en Th y Zr entre las muestras analizadas, lo cual indicaría que no hubo un significativo retrabajo y/o clasificación selectiva de los sedimentos. El tamaño granulométrico seleccionado para el análisis no es el apropiado para ver un enriquecimiento en Zr dentro de los sedimentos, por lo que, al analizarse únicamente granulometrías finas, los trenes de meteorización son prácticamente inexistentes.



**Figura V-10.** Diagrama Th/Sc vs. Zr/Sc (McLennan *et al.*, 1993). con las relaciones de las muestras analizadas para el Grupo Gualilán y Formación Los Espejos. Campo verde: muestras de la Formación Villavicencia según Wenger (2019); campo naranja: muestras de la Formación Rio Seco de los Castaños según Manassero *et al.* (2009); campo violeta: muestras de la Formación La Horqueta según Abre *et al.* (2017); campo gris muestras de la Formación Las Lagunitas según Valenti (2018).

Wenger (2019), Manassero *et al.* (2009), Abre *et al.* (2017) y Valenti (2018) analizaron estas mismas relaciones para muestras de las unidades devónicas aflorantes en la Precordillera mendocina, en el Bloque de San Rafael y Cordillera Frontal respectivamente. Para la Formación Villavicencia (Wenger, 2019), las muestras se ubican próximas a la recta límite entre las fuentes máficas provenientes del manto y félsicas derivadas de la corteza continental superior, con lo cual no resulta claro definir el origen de esta relación. Por otro lado, la relación Zr/Sc refleja un grado de retrabajo similar entre ellas que aumenta progresivamente en las muestras de mayor tamaño granulométrico (Figura V-10). Para la Formación Rio Seco de los Castaños (Manassero

*et al.*, 2009) encuentran, relaciones de Th/Sc en las facies pelíticas de 0,52 a 0,71, valores por debajo del promedio para la CCS. La muestra de arenisca (HOR28) exhibió un valor de 1,4. Por su parte la relación Zr/Sc resulta ser en todas las muestras pelíticas inferiores a 13,13 siendo la excepción a este valor tres muestras donde el cociente queda comprendido entre 12,75 y 21,26 esto es debido a un enriquecimiento en Zr (HOR22 y 99S4) o por una merma en Sc (HOR28), (Figura V-10). Por su parte Abre *et al.* (2017) manifiestan que las relaciones Zr/Sc de la Formación La Horqueta oscilan entre 5,2 y 36,6; lo que indica que los componentes detríticos no fueron reciclados. La muestra HOR27, con una relación Zr/Sc de 29,31; muestra la misma tendencia. Cabe mencionar que aquellas muestras con relaciones Zr/Sc inferiores al promedio de CCS (14; McLennan *et al.*, 2006), son consecuencia a una respuesta de concentraciones de Sc superiores y Zr inferiores al promedio de CCS, lo que indica una derivación de una fuente menos evolucionada que la CCS promedio. Lo mismo se dedujo para la Formación Río Seco de los Castaños, ya que su rango más estrecho de valores indica una composición de fuente agotada y el reciclaje fue aún menos importante en comparación con la Formación La Horqueta (Manassero *et al.*, 2009). Por último Valenti (2018) proporciona valores de esta relación para la Formación Las Lagunitas indicando que las muestras de esta unidad no han sufrido reciclaje significativo ya que estas se ubican muy próximas a la línea que separa el manto de la corteza continental superior.

De esto puede concluirse que las unidades comparadas no sufrieron un reciclaje importante y las características geoquímicas correspondían a fuentes menos evolucionadas que el promedio de la corteza continental superior. Estos resultados son coincidentes con la conclusión a la que se ha arribado para las muestras del Grupo Gualilán.

#### B2e. Relaciones Th/U vs. Th.

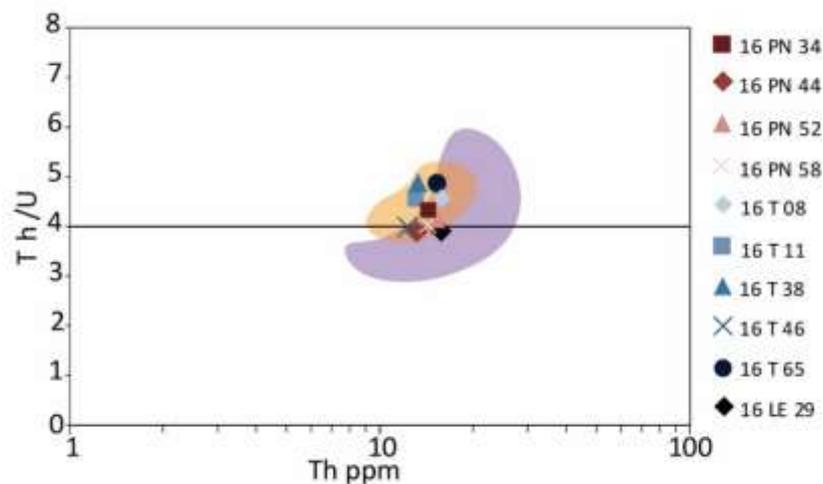
La relación promedio Th/U en la corteza continental superior es de 3,8 y para muchas rocas sedimentarias derivadas de la corteza esta relación varía de 3,5 a 4, indicando que estos sedimentos no han experimentado meteorización y/o reciclaje (McLennan *et al.*, 1993). Bajo condiciones de oxidación esta relación aumenta debido a la transformación del  $U^{+4}$  a formas más móviles y solubles ( $U^{+6}$ ). Una baja relación Th/U puede deberse a un enriquecimiento en este último elemento (McLennan, 1989). Por lo que, esta relación se utiliza para estimar el grado de meteorización y/o reciclaje de las rocas sedimentarias. Comparadas con el promedio para la CCS (Th: 10,7 ppm y U: 2,8 ppm) de acuerdo a McLennan *et al.* (2006), las muestras analizadas del Grupo Gualilán arrojaron concentraciones de U entre 2,8-3,4 ppm para la Formación Talacasto y entre 3,3-3,6 para la Formación Punta Negra, mostrando un leve enriquecimiento en este elemento. Por otro lado, las concentraciones de Th para ambas unidades varían de 12,4-15,8 en la Formación Talacasto y de 13-14,2 ppm para la Formación Punta Negra, mostrando también un enriquecimiento en este elemento. La relación Th/U varía de 4 a 4,8 en el caso de la Formación

Talacasto, mientras que en la Formación Punta Negra los valores de esta relación varían entre 3,94 a 4,3. Finalmente la muestra de la Formación Los Espejos exhibió 3,95. La relación para todo el Grupo Gualilán varía por lo tanto entre 3,94-4,8 indicando que aquellas muestras con cociente superior a 4 han sufrido una pérdida de U durante la meteorización y/o reciclaje, mientras que aquellas otras entre 3,5 y 4 son típicas de muestras derivadas de la corteza continental superior que no ha sufrido reciclaje y/o meteorización (Figura V-11).

Comparativamente las muestras correspondientes a las formaciones Villavicencio y Río Seco de los Castaños, arrojaron para la primera de ellas valores de esta relación comprendido entre 0,33 a 3,9 que indica que todas las muestras se ubican por debajo del promedio de la corteza continental superior, evidenciando que no han sufrido reciclaje ni retrabajo (Wenger, 2019). Para las muestras de la Formación Río Seco de los Castaños el promedio es de 4,7, valor superior al de la corteza continental superior, lo que evidencia meteorización y procesos de reciclaje (Manassero *et al.*, 2009).

Según Abre *et al.* (2017) las muestras de la Formación La Horqueta están enriquecidas en concentraciones de Th (14 ppm en promedio), y muestran concentraciones de U enriquecido (4 ppm es el promedio). No obstante, las relaciones Th/U están en general alrededor de 3,5-4, lo que es típico de las muestras no recicladas derivadas de la CCS, aunque algunas muestras tienen relaciones Th/U más altas (valor máximo 6,02) que indican meteorización. La muestra HOR27 tiene una relación Th/U de 3,99 por lo que se agrupa junto con todas las muestras.

En este sentido, las muestras del Grupo Gualilán mostraron un comportamiento mayormente semejante a las muestras de las Formaciones Río Seco de los Castaños y La Horqueta, lo que favorece la interpretación de acción de procesos de meteorización y reciclaje para las unidades devónicas de la Precordillera sanjuanina (Figura V-11).



**Figura V-11.** Diagrama Th/U vs. Th con las relaciones de las muestras analizadas para el Grupo Gualilán y Formación Los Espejos. Modificado de McLennan *et al.* (1993). Campo naranja: muestras de la

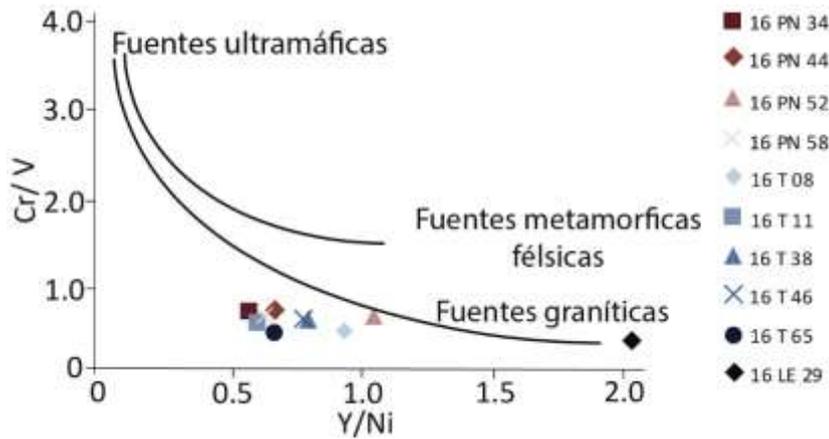
Formación Río Seco de los Castaños según Manassero *et al.* (2009), campo violeta: muestras de la Formación La Horqueta según Abre *et al.* (2017).

#### B2f. Relaciones Cr/V vs. Y/Ni.

Las relaciones Cr/V vs. Y/Ni son una buena herramienta para evaluar la proveniencia de fuentes ofiolíticas (Hiscott, 1984 y McLennan *et al.*, 1993). La relación Cr/V permite analizar si hay un enriquecimiento de Cr frente a otros ferromagnesianos, mientras que la relación Y/Ni permite rastrear el comportamiento del elemento traza Ni comparado con Y que es un elemento incompatible, integrante de las tierras raras pesadas. Además de ser esta relación un indicador de rocas fértiles en minerales de las tierras raras pesadas (HREE) (McLennan *et al.*, 1993). La relación Cr/V y Y/Ni promedio en la corteza continental superior es de 0,78 y 0,5 respectivamente (McLennan *et al.*, 2006). Los sedimentos derivados de fuentes máficas y ultramáficas arrojan altos valores de Cr/V y bajos de Y/Ni mientras que lo inverso ocurre cuando los sedimentos provienen de fuentes félsicas a intermedias, con baja relación de Cr/V y altas de Y/Ni.

Las muestras del Grupo Gualilán (Tabla V-4) arrojan un enriquecimiento en Cr, con abundancias que van desde 82,1 a 123,18 ppm si comparamos con la corteza continental superior (83 ppm) de este elemento, sin embargo el V muestra un enriquecimiento comparativamente mayor, entre 131 a 201 ppm para la Formación Talacasto y de 145 a 185 ppm para la Formación Punta Negra, por lo que, la relación Cr/V varía entre 0,47 a 0,62 para la Formación Talacasto y de 0,61 a 0,72 para la Formación Punta Negra, cocientes inferiores al promedio para la corteza continental superior. El Y se encuentra en un promedio de 22 ppm en la corteza continental superior, mientras que para las muestras analizadas este elemento arrojó un claro enriquecimiento en ambas unidades con valores de 32,1 a 34,4 ppm para la Formación Talacasto y de 29,3 a 46,8 ppm para la Formación Punta Negra, mientras que el comportamiento del Ni es similar al de la CCS (47 ppm), con una media de 43,6 ppm para la Formación Talacasto y 52,7 ppm para la Formación Punta Negra. Por lo tanto, la relación de Y/Ni para la Formación Talacasto fluctúa de 0,61 a 0,94 mientras que, para la Formación Punta Negra, esta relación varía de 0,63 a 1,06. En todos los casos la relación Y/Ni fue superior a la CCS (0,46) lo que indicaría que las rocas provienen desde fuentes félsicas (Figura V-12).

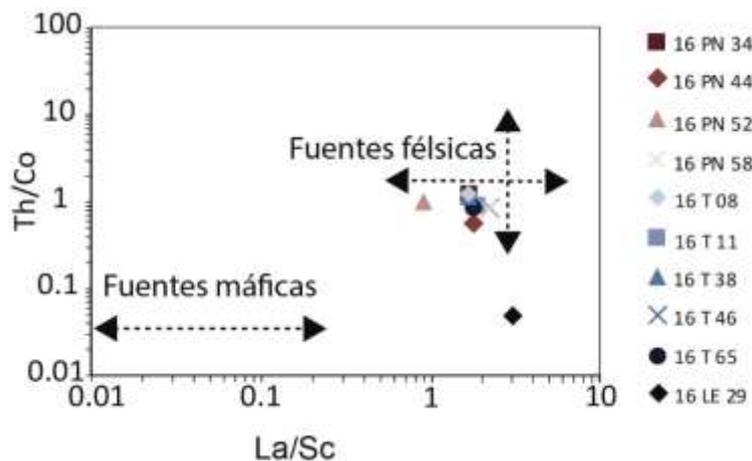
La muestra 16LE29 de la Formación Los Espejos arrojó como resultado de la relación Cr/V 0,56 lo cual está por debajo de la media para CCS. La concentración de Y de 114,6 ppm valor muy superior al valor de la corteza, en cuanto al Ni el dato obtenido fue de 45 ppm. Por lo que la relación Y/Ni exhibe un valor de 2,64 indicando una fuente de procedencia félsica, concordante con los diagramas anteriores (Figura V-12).



**Figura V-12.** Diagrama Cr/V vs. Y/Ni de proveniencia sedimentaria de Hiscott (1984). Las curvas superior e inferior representan las líneas de mezcla de rocas ultramáficas ( $Cr/V = 45$ ;  $Y/Ni = 0,001$ ), metamórficas félsicas ( $Cr/V = 1,23$ ;  $Y/Ni = 1,02$ ) y rocas graníticas ( $Cr/V = 0,25$ ;  $Y / Ni = 2,33$ ), (Dinelli *et al.*, 1999).

Elementos como La y Th son más abundantes en las rocas silicoclásticas que en las máficas, mientras que para el Sc y Co ocurre la situación inversa, las relaciones La/Sc, Th/Sc y Th/Co pueden ser utilizadas también en la determinación de la procedencia (Taylor y McLennan, 1985).

Cullers (2002) utilizó las relaciones de Th/Co vs. La/Sc para discriminar fuentes ya sean máficas o félsicas, siendo los valores medios de estas relaciones  $Th/Co > 0,3$  y  $La/Sc > 0,7$  para fuentes félsicas y  $< 0,4$  de esta última relación característica de fuentes máficas. En el caso de las muestras analizadas, la relación Th/Co arrojó cocientes entre 0,75 a 0,92 para la Formación Talacasto y de 0,54 a 0,94 para la Formación Punta Negra. Por otro lado, la relación La/Sc exhibió resultados 2,01 a 2,46 en las muestras de la Formación Talacasto y de 1,29 a 2,43 para las muestras de la Formación Punta Negra. Nuevamente hay concordancia con los demás diagramas de procedencia, ya que las muestras se encuentran en el campo de fuentes félsicas (Figura V-13).



**Figura V-13.** Diagrama Th/Co vs. La/Sc para discriminación de procedencia (Cullers, 2002).

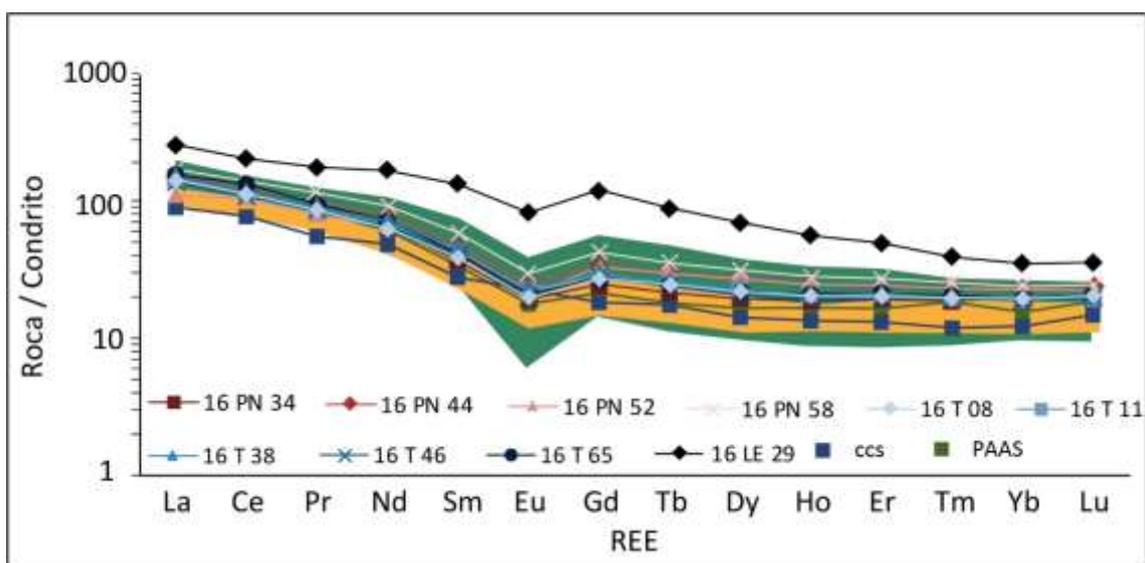
B2g. Geoquímica de ETR del Grupo Gualilán.

Para la interpretación de la composición de los elementos de las tierras raras se utilizan los diagramas de multielementos normalizados a un estándar, en este caso todos los elementos fueron normalizados a la composición original del meteorito condrito según Sun y McDonough (1989). A su vez las rocas analizadas fueron comparadas a los valores promedio de pelitas post-arqueanas (PAAS, *Post-Archean Australian Shales*, Taylor y McLennan 1985); y a los valores de la corteza continental superior (CCS) según McLennan *et al.* (2006). La interpretación del gráfico establece que, si el material analizado no sufrió una eficiente diferenciación desde la composición original del condrito, los valores de la relación se ubicaran cercanos a 1. Pero a medida que el material comienza a diferenciarse de la composición original de éste, la relación de los ETR se alejará de ese valor.

La figura V-14 muestra los diagramas multielementos para los ETR normalizados al condrito de cada una de las muestras analizadas correspondientes a la Formación Talacasto, Formación Punta Negra (Grupo Gualilán) y Formación Los Espejos y su comparación respecto a los valores del PAAS y corteza continental superior.

Formación Talacasto.

Para las muestras de esta unidad se observa una pendiente pronunciada para la distribución de los elementos (La, Ce, Pr, Nd, Sm y Eu) y más tendida en el caso de los elementos (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu) estos valores fueron muy próximos tanto al PAAS como a la CCS, con un enriquecimiento de las de los ETRL respecto a los ETRP, presentando en todos los casos anomalías de Eu, lo cual marca el patrón de rocas de origen cortical, sin embargo, los valores son levemente superiores al PAAS y CCS (Figura V-14).



**Figura V-14.** Distribución de la composición de los ETR para las muestras del Grupo Gualilán y Formación Los Espejos normalizados al condrito de Sun y McDonough (1989) y su comparación respecto a los valores

del PAAS (Taylor y McLennan, 1985) y corteza continental superior (McLennan *et al.*, 2006). Campo verde: muestras de la Formación Villavicencio según Wenger (2019); campo naranja: muestras de la Formación Río Seco de los Castaños según Manassero *et al.* (2009).

#### Formación Punta Negra.

La Formación Punta Negra arroja un patrón prácticamente idéntico al de la unidad infrayacente, Formación Talacasto, con valores levemente superiores a esta última, pero manteniéndose próximos tanto al PAAS como a la CCS. Exhibe también la anomalía en Eu y un predominio de los ETRL sobre los ETRP (Figura V-14).

#### B2h. Comparación entre ambas unidades.

Para el caso de la muestra 16LE29 de la Formación Los Espejos, observamos que la misma se diferencia significativamente de las Formaciones Talacasto y Punta Negra como así también del PAAS y de la CCS, sus tenores en ERT son considerablemente más elevados, la curva desarrollada entre los ERTL es más tendida que las que registra el Grupo Gualilán, mientras que la que involucra las ETRP es más empinada debido a una alta concentración en Gd; la anomalía en Eu se encuentra presente indicando que podría derivar de un origen cortical (Figura V-14).

La anomalía negativa de Eu presente en las diez muestras analizadas podría estar vinculada a la presencia de plagioclasas detríticas dentro del material clástico (Taylor y McLennan, 1985) o debido a condiciones de depositación en un ambiente reductor, en virtud de la capacidad del europio a ser reducido de  $\text{Eu}^{+3}$  a  $\text{Eu}^{+2}$  (Henderson, 1984). No obstante, la presencia de la anomalía negativa de Eu en todas las muestras, sugiere similares condiciones en el ambiente de sedimentación como asimismo una composición general semejante al material lítico analizado en ambas formaciones, por consiguiente, posibles áreas fuentes comunes.

Si se analizan los resultados obtenidos por Wenger (2019) para los valores de los elementos de las tierras raras de las muestras de la Formación Villavicencio, éstas presentan patrones similares muy próximos o levemente superiores a las PAAS y CCS, con una anomalía en Eu negativa poco pronunciada y un leve enriquecimiento de las tierras raras livianas sobre las tierras raras pesadas (Figura V-14). Por su parte, los datos de Manassero *et al.* (2009) revelan para la Formación Río Seco de los Castaños un moderado enriquecimiento de los elementos de las tierras raras livianas con una pronunciada curva descendente entre el La al Sm, la anomalía negativa de Eu se encuentra presente, mientras que las tierras raras pesadas muestran un patrón de distribución plano muy similar a el PAAS, aunque las muestras de esta formación se encuentran enriquecidas en ETR comparada con el PAAS (Figura V-14). En este sentido, las muestras del Grupo Gualilán presentan un patrón de distribución de ETR similar a las presentadas para la Formación Villavicencio.

### C. DIAGRAMAS DE DISCRIMINACIÓN DE AMBIENTES TECTÓNICOS Y PROCEDENCIA.

En el caso de las rocas silicoclásticas, la composición química está controlada por la configuración tectónica de la cuenca sedimentaria y la naturaleza de la fuente original. Como consecuencia, las rocas clásticas de diferentes ambientes tectónicos registran características geoquímicas particulares para cada caso. Pudiendo ser utilizados como una efectiva herramienta en la determinación de dichos ambientes (Bhatia 1983, 1985; Roser y Korsch, 1988; Floyd y Leveridge, 1987; McLennan y Taylor, 1991).

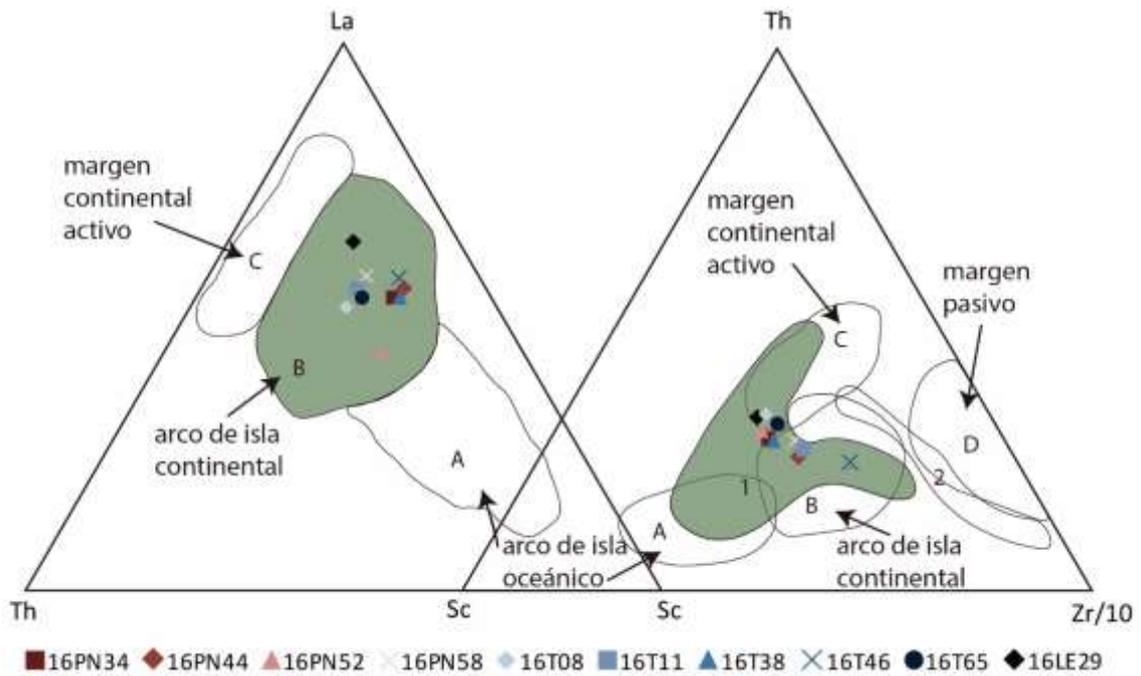
La caracterización del ambiente tectónico en el cual se desarrollaron las unidades estudiadas, se puede determinar con la aplicación de una serie de diagramas construidos a partir de las concentraciones de ciertos elementos trazas como son Th, Sc, Zr, Hf y La.

#### **C1. Diagramas La-Th-Sc y Th-Sc-Zr/10.**

Empleando en diagramas triangulares las relaciones entre elementos como: La-Th-Sc y Th-Sc-Zr/10 definidas por Bhatia y Crook (1986) y modificados por McLennan *et al.* (1990) y Bahlburg (1998) se pueden discriminar entre diferentes ambientes tectónicos y estimar la procedencia de los detritos. Las diversas posibilidades que ofrecen estos diagramas son: A: arco de isla oceánico; B: arco de isla continental; C: margen continental activo; D: margen pasivo. En el diagrama de Th-Sc-Zr/10 se incorporan dos nuevos campos (Bahlburg, 1998), a los cuales se denominó como 1: depósitos marinos turbidíticos recientes derivados de depósitos de margen continental activo y 2: depósitos marinos turbidíticos recientes derivados de depósitos de margen pasivo.

Las relaciones de los elementos analizados en el diagrama La-Th-Sc, muestran para las Formaciones Talacasto, Punta Negra y Los Espejos que exhiben una distribución de las proyecciones que se concentran en el campo de arco de isla continental.

En el diagrama Th-Sc-Zr/10 las proyecciones de las relaciones entre los elementos analizados para la Formación Talacasto, presentan una distribución de las muestras que se reúnen en el campo de depósitos marinos turbidíticos recientes, derivados de depósitos de margen continental o arco de isla con una leve tendencia hacia el vértice de Zr/10. Iguales comportamientos tienen las muestras pertenecientes a la Formación Punta Negra. Por otro lado, la muestra 16LE29 que representa a la Formación Los Espejos, si bien comparte el mismo campo que las dos unidades mencionadas anteriormente, sus concentraciones en los tres componentes son prácticamente idénticas, por tal motivo se ubica en el centro del diagrama (Figura V-15).



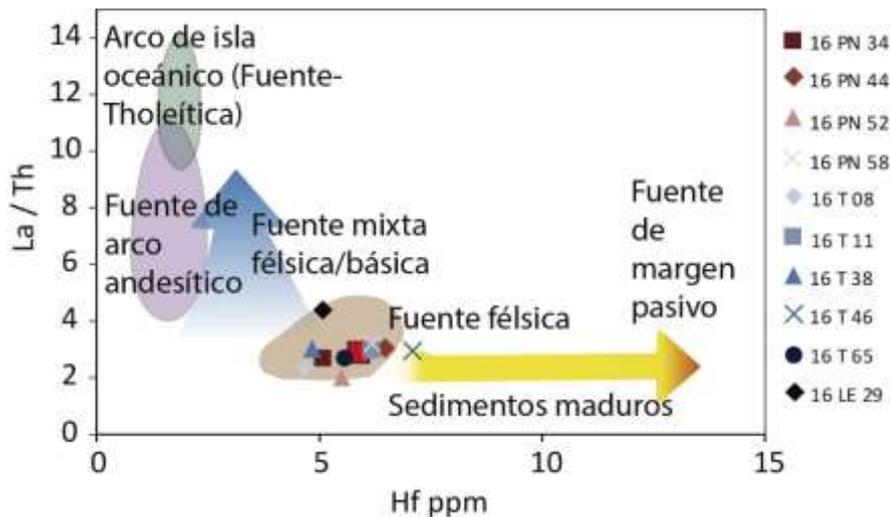
**Figura V-15.** Diagramas ternarios de discriminación tectónica. **a:** La-Th-Sc y **b:** Th-Sc-Zr/10, 1: depósitos marinos turbidíticos recientes derivados de depósitos de margen continental activo y 2: depósitos marinos turbidíticos recientes derivados de depósitos de margen pasivo. Modificado de Bhatia y Crook (1986) y Bahlburg (1998).

### C2. Diagrama Hf vs. La/Th.

Con el objetivo de aproximar la composición de la fuente de sedimentos, Floyd y Leveridge (1987) desarrollan el diagrama de relaciones La/Th vs. Hf para discriminar la entrada de fuente de sistemas de arcos (tholeítica, andesítica y fuentes félsicas).

En este diagrama (Figura V-16) se puede observar que las muestras analizadas quedan comprendidas en el campo de la fuente félsica, mostrando valores muy similares a los de la CCS, donde las relaciones de La/Th varían entre 1,91 y 4,49 (Tabla V-4).

Siendo los valores de Hf típicos de fuentes félsicas (Tabla V-4) a excepción de la muestra 16T46 que presenta un leve incremento, probablemente relacionado con un aumento de la proporción de componentes sedimentarios reciclados (Figura V-16).



**Figura V-16.** Diagrama discriminante Hf vs. La/Th (basado en Floyd y Leveridge, 1987; Gu *et al.*, 2002) para la determinación de las fuentes del Grupo Gualilán y Formación Los Espejos. Cuadrado rojo: corteza continental superior.

#### D. DISCUSIÓN.

Al comparar las muestras analizadas con los valores promedios para la CCS establecidos por Taylor y McLennan (1985) se observa que las concentraciones de los elementos mayoritarios se hallan controladas por la granulometría y mineralogía de sus componentes. Las rocas de grano muy fino principalmente pelitas, los contenidos de sílice obtenidos resultaron ser inferiores al promedio de la CCS, mientras que, en contraposición las rocas pelíticas se encuentran enriquecidas en filosilicatos por lo que la concentración de óxido de aluminio arrojó valores superiores. Del mismo modo, el óxido férrico y el de magnesio se encuentran enriquecidos con respecto a la CCS, particularmente el Fe que llega a duplicar el contenido promedio. La excepción entre las muestras analizadas, lo constituye la muestra 16T46 de la Formación Talacasto, donde el porcentaje de óxido de silicio presenta un valor muy próximo a la CCS, concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{MgO}$  resultaron inferiores al promedio de la CCS, mientras que el óxido férrico exhibe un incremento con respecto al valor promedio. Los contenidos de  $\text{CaO}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  de las muestras correspondientes tanto a la Formación Punta Negra como a la Formación Talacasto se encuentran por debajo de la media para la CCS, lo mismo acontece con el resultado de la muestra de la Formación Los Espejos diferenciándose de las anteriores por el contenido de  $\text{CaO}$  en relación de 3 a 1 ya que la mayoría de las muestras del Grupo Gualilán arrojan menos del 1% de concentración en este óxido. Se pudo identificar una anomalía positiva en el caso del  $\text{K}_2\text{O}$  entre casi todas las muestras, a excepción de 16T11 y 16T46 correspondientes a la Formación Talacasto. Por último, el  $\text{TiO}_2$  arrojó un leve aumento con respecto al valor promedio, mientras que los resultados de  $\text{P}_2\text{O}_5$  son muy próximos a la media a excepción de la muestra 16LE29 correspondiente a la Formación Los Espejos que presenta un incremento ( $>2\%$ ) con respecto al promedio para la CCS (0,20%; Tabla V-4, Figura V-9).

Por otro lado, independientemente del contenido de  $\text{SiO}_2$ , las muestras presentan valores de CIA que oscilan principalmente entre 70 y 80, lo cual podría indicar que todas las muestras estuvieron sometidas a procesos de meteorización y condiciones de alteración similares, tal como se puede observar en el gráfico de  $\text{SiO}_2$  vs. CIA (Figura V-5a). Del mismo modo, a partir de la interpretación del gráfico A-CN-K, se observa un comportamiento análogo de las muestras con una meteorización intermedia y rocas fuentes de tipo félsicas (Figura V-5b).

Como ya se ha mencionado en este capítulo, la implementación de los elementos mayoritarios al momento de definir los diferentes ambientes tectónicos de los cuales proceden los sedimentos que rellenarán una cuenca no resultan precisos, esto es debido a su alta movilidad frente a los procesos de intemperismo, diagénesis y metamorfismo. Sin embargo, son una primera aproximación que permiten ajustar los modelos a tener en cuenta. Las interpretaciones a partir de los diagramas discriminantes propuestos por Roser y Korsch (1988) arrojan fuertes tendencias de fuentes derivadas de sedimentos cuarzosos e ígneos félsicos a intermedios (Figura V-6a-b). En el caso del gráfico propuesto por Roser y Korsch (1986), las muestras se concentran en el campo de margen continental activo a excepción de las muestras 16PN44, 16PN52 y 16PN58 (Formación Punta Negra) y 16LE29 (Formación Los Espejos), que debido al bajo porcentaje en sílice que presentan se ubican en el campo de arco de isla oceánico, difiriendo notablemente con lo visto en los diagramas anteriores (Figura V-7). Sin embargo, si analizamos los diagramas propuestos por Bhatia (1983) (Figura V-8a) encontramos que las muestras consideradas como una excepción en el último gráfico de Roser y Korsch, se ubican igualmente en el campo de arco de isla oceánico junto a las demás muestras analizadas, pero si tenemos en cuenta el segundo diagrama propuesto (Figura V-8b) hallamos una cierta discrepancia con todos los anteriores, debido a que todas las muestras se ubican en el campo de margen pasivo. De lo expuesto se desprende que la diversidad de posibilidades que podemos hallar al discriminar ambientes tectónicos de las fuentes utilizando únicamente los elementos mayoritarios, no resulta confiable para arribar a una interpretación coherente.

El análisis de los elementos trazas y tierras raras y ciertas relaciones entre estos, permiten discriminar con un mayor grado de certeza los diferentes ambientes tectónicos y fuentes de procedencia de las unidades estudiadas, además de comprender el grado de evolución y retrabajo de los detritos. Uno de los diagramas más útil en este último aspecto, es el propuesto por McLennan *et al.* (1990), donde se contraponen las relaciones  $\text{Th/Sc}$  vs.  $\text{Zr/Sc}$  (Figura V-10). Allí se aprecia que mayormente las muestras de las formaciones Punta Negra, Talacasto y Los Espejos se encuentran muy próximos o levemente por encima del promedio de la corteza continental superior, no mostrando un enriquecimiento en Zr, por lo tanto, un muy bajo a nulo retrabajo.

Para los elementos de las tierras raras, normalizados al condrito según Sun y McDonough (1989) se observó tanto para la Formación Punta Negra como para la Formación Talacasto un enriquecimiento de las ETRL respecto a los ETRP, con tenores levemente superiores a los valores

de las PAAS y CCS. La muestra de la Formación Los Espejos exhibe un enriquecimiento en este grupo de elementos no solo en comparación con las PAAS y CCS como con las muestras correspondientes al Grupo Gualilán. Esto podría estar vinculado directamente a la granulometría, debido a que la muestra de esta unidad presenta el menor tamaño de grano de todas las analizadas, enriqueciéndose más en estos elementos o podría deberse a errores analíticos, que al contar con una única muestra no podemos afirmar ninguna hipótesis.

En todos los casos, se observa una anomalía negativa en Eu constante, lo cual refleja similares condiciones previas a la depositación, que estarían vinculadas a un fraccionamiento mecánico de la plagioclasa fuera del sistema durante la meteorización y el transporte.

Al comparar las unidades estudiadas (Formaciones Talacasto y Punta Negra) con otras unidades siluro-devónicas depositadas en el terreno Cuyania como la Formación Villavicencio, Formación Río Seco de los Castaños, Formación La Horqueta y Formación Las Lagunitas (Cordillera Frontal) encontramos concentraciones de elementos mayoritarios similares con escasas excepciones debido a la diversidad del tamaño granulométrico. Del análisis de estos elementos surgen niveles moderados de meteorización y fuentes de sedimentos cuarzosas a ígneas intermedias.

A partir del análisis de elementos trazas podemos decir que las muestras estudiadas de la Formación Villavicencio no han sufrido un reciclaje considerable, mientras que por su parte las unidades aflorantes en el Bloque de San Rafael muestran ciertas condiciones asociadas a procesos de meteorización y re-trabajo. Las características geoquímicas generales de estos elementos serían coincidentes con fuentes menos evolucionadas que las de la corteza continental superior.

Dentro de los elementos de las tierras raras encontramos comportamientos semejantes entre ambas unidades con leve a moderado enriquecimiento en elementos de las tierras raras livianas por sobre las pesadas y anomalía negativa de Eu.

Por todo esto, a partir del análisis geoquímico de rocas pelíticas encontramos que tanto la Formación Villavicencio como la Formación Punta Negra muestran características generales coincidentes que *a priori* indicarían que los sedimentos aportados a cada depocentro podrían derivar de las mismas fuentes.

## VI. RESULTADOS: GEOLOGÍA ISOTÓPICA.

### A. INTRODUCCIÓN.

Los estudios de procedencia sedimentaria llevados a cabo por diferentes grupos de investigación en diversas partes del mundo, tienen como eje fundamental la aplicación de análisis isotópicos, cuyos avances en el campo de esta rama de la geología, contribuyen a la comprensión de los procesos que tienen lugar en la dinámica de la Tierra. El uso de numerosas metodologías isotópicas (Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf, entre otras), ha brindado la posibilidad de realizar interpretaciones acerca de múltiples aspectos geológicos y elaborar diversos modelos paleogeográficos como se puede ver en las numerosas contribuciones referidas al tema (por ejemplo, Martin *et al.*, 2020).

El análisis de circones detríticos ha sido ampliamente utilizado como elemento o herramienta para comprender el crecimiento y reciclaje de la corteza continental, debido a que los circones son capaces de resistir procesos de erosión, transporte y diagénesis, preservando la edad de cristalización magmática o metamórfica que puede ser registrada por el par U-Pb.

La combinación de determinaciones isotópicas de U-Pb y Lu-Hf para granos de circón individuales, proporciona además de la edad del cristal, la naturaleza del magma en el cual cristalizó, ya sea de origen cortical o mantélico, a partir del parámetro petrogenético  $\epsilon_{\text{Hf}}$ . Por otro lado, la edad modelo ( $T_{\text{DM}}$ ) permite establecer el momento en el cual el magma original se separa del manto y determinar si el mismo se separó y cristalizó rápidamente o si se mantuvo un tiempo considerable en la corteza para lograr diferenciarse, siendo este valor otro parámetro útil para el análisis de la procedencia sedimentaria. Este análisis integrado, aplicado a conjuntos de circones detríticos, proporciona una imagen distintiva y más fácil de interpretar de la evolución de la corteza en el área de procedencia que los datos de edad por sí solos (Veevers *et al.*, 2006 y referencias), permitiendo distinguir episodios magmáticos que han añadido material del manto juvenil, de aquellos otros eventos que meramente reciclaron la corteza existente (Gerdes y Zeh, 2006; Willner *et al.*, 2008, Augustsson *et al.*, 2016).

Por otro lado, los estudios de procedencia con dataciones geocronológicas U-Pb sobre circones detríticos, pueden ser utilizados para resolver problemas sobre el ambiente tectónico en el cual evoluciona una cuenca sedimentaria (Cawood y Nemchin, 2001; Cawood *et al.*, 2012). Estos autores encuentran que los comportamientos en las frecuencias de edades de los circones detríticos, presentan características distintivas para el tipo de cuenca que se esté analizando. A su vez, hay que considerar que muchos trabajos de procedencia sedimentaria tienden a definir la edad máxima de sedimentación de la secuencia, pero conceptualmente esta no puede aplicarse (o al menos no tiene relevancia) en aquellas unidades que cuentan con un registro bioestratigráfico que establezcan un límite para la edad de la unidad, pero sí resultan importantes para calibrar la edad del registro fósil. En el caso de una sucesión con registro bioestratigráfico, este resulta un

punto clave a tener en cuenta y pone un marco de referencia para la consideración de las edades obtenidas, en otras palabras, acota la edad máxima de sedimentación (EMS) a ese intervalo geocronológico. Particularmente la EMS es relevante en aquellas secuencias carentes de registro bioestratigráfico, pero con aportes de un arco volcánico activo coetáneo a la sedimentación.

Es de destacar que, previo a la obtención de las edades a partir de la metodología U-Pb, se pueden analizar la estructura interna de cada circón a partir de las imágenes de catodoluminiscencia, de esta manera es posible estimar el origen de la fuente de dicho circón debido a que, si el mismo presenta una zonación concéntrica puede asociarse a un posible origen magmático, mientras que si la estructura interna exhibe “parches” o perturbaciones en su zonación puede asociarse preliminarmente con una génesis metamórfica. Este análisis puede ser de gran utilidad ya que se podrían seleccionar aquellos circones particularmente si se quieren conocer o reconocer eventos metamórficos.

#### **A1. Sistema U-Pb: conceptos generales.**

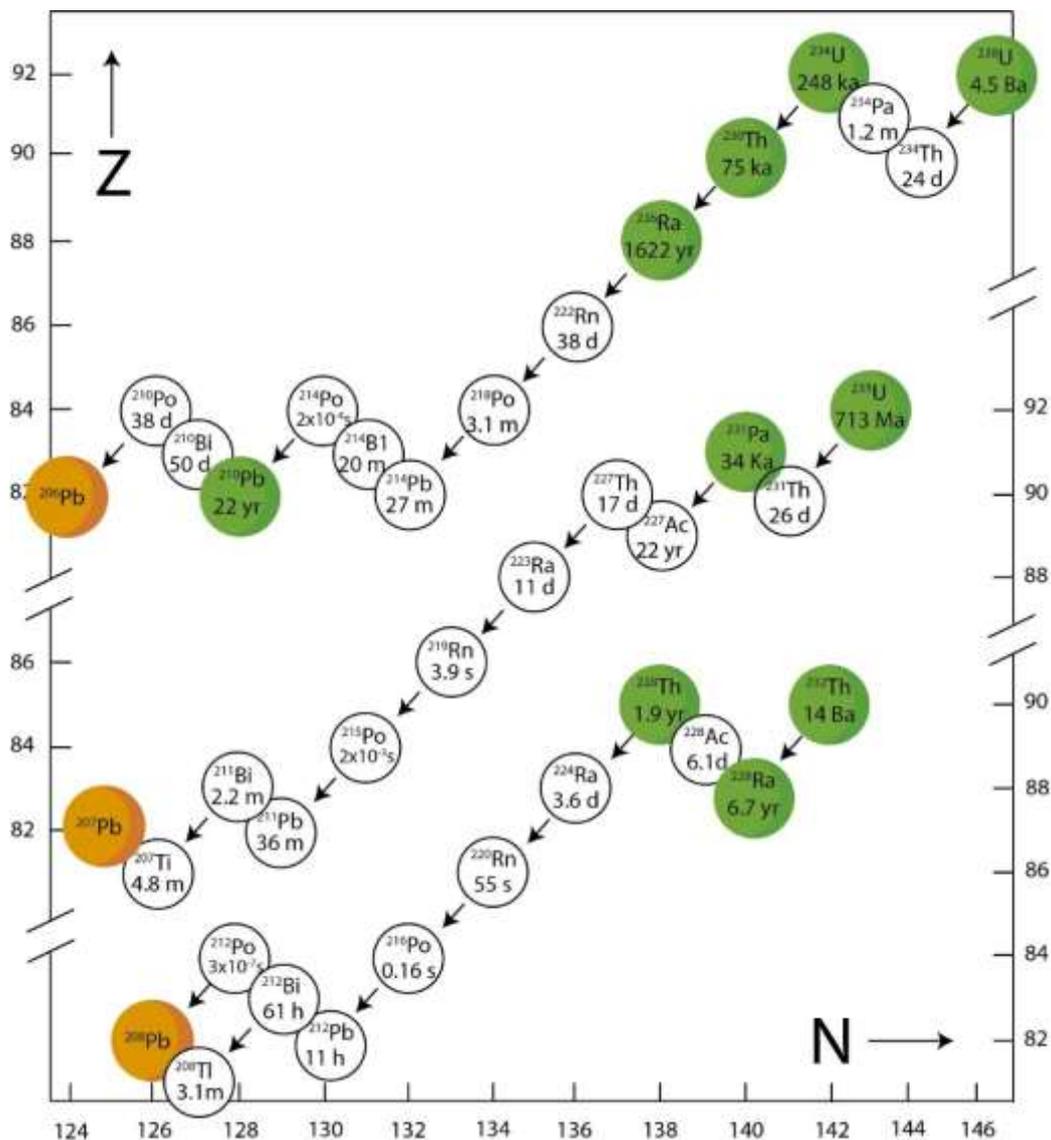
El método U-Pb es una de las herramientas geocronológicas más robustas dentro de los estudios de procedencia sedimentaria. Se basa en el principio de decaimiento radioactivo de los isótopos de U, Th y Pb (Figura VI-1). Los isótopos radigénicos poseen un tiempo de decaimiento donde pierden la mitad de su masa y se transforman de un isótopo padre en un isótopo hijo, siendo el tiempo transcurrido denominado como vida media ( $T_{1/2}$ ) o periodo de semidesintegración (Figura VI-1).

El circón cristaliza con altas concentraciones de U, mostrando una baja difusión de Pb e incompatibilidad con el Pb común, es un mineral accesorio ampliamente distribuido en la corteza terrestre, siendo posible hallarlo en rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas y también eventualmente en meteoritos y rocas lunares. Este mineral es químicamente resistente y refractario, sobreviviendo a los procesos de intemperismo, transporte, diagénesis y a gran parte del campo metamórfico. Estas características vuelven al circón el principal mineral para aplicación del método U-Pb (Hancher y Miller, 1993; Dickin, 1997).

El decaimiento de U en dos series de isótopos de Pb forma tres geocronómetros independientes  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$  y  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , que en teoría deben indicar el mismo valor de edades para el material analizado. Wetherill (1956) propone un diagrama de concordia que agrupa estas edades en un único gráfico, facilitando la interpretación de los posibles datos discordantes. Los sistemas que poseen edades U-Pb concordantes definen la curva del diagrama. Las composiciones isotópicas de los materiales a ser analizados tienen, por tanto, que ser comparadas con la curva de concordia, permitiendo de esa forma estimar su edad. Cuando el mineral a ser datado ha permanecido cerrado a la pérdida de U y las correcciones por Pb inicialmente incorporadas al mineral están bien definidas, los geocronómetros producen edades concordantes

y los resultados pueden alinearse a una recta, o en una trayectoria de pérdida de Pb, llamada discordia (Faure, 1986).

La edad concordia (Ludwig, 1998) existe cuando las razones  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  y  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  dentro de las estimaciones de incertidumbre son las mismas, o cuando visualmente las razones de U/Pb y Pb/Pb correspondientes poseen elipses de error contempladas dentro del 95% de certeza. Otro tipo de diagrama para representar los datos isotópicos es el diagrama de Tera-Wasserburg (Wendt, 1984), este fue generado para facilitar la obtención de los datos de rocas jóvenes, donde la razón  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  es ploteada en las abscisas y la razón  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  en las ordenadas.



**Figura VI-1.** Serie de decaimientos de los isótopos de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ , tomado de Allégre (2008). Z: número atómico, N: número de neutrones.

## A2. Unidades estudiadas: muestras y técnicas analíticas.

En el presente trabajo se propusieron analizar mediante la metodología U-Pb (LA-ICP-MS) las secuencias silicoclásticas devónicas integrantes del Grupo Gualilán, aflorantes a lo largo de la Precordillera Central de San Juan, como así también a modo de comparación se analizaron las formaciones Los Espejos y Los Sombreros. La primera debido a que es la unidad infrayacente al Grupo Gualilán y la segunda ya que algunos autores sostienen para la misma una edad devónica post-Punta Negra, comparando los resultados obtenidos con los análisis aplicados bajo la misma metodología de unidades posiblemente equivalentes del terreno Cuyania (Formaciones Villavicencio, Río Seco de los Castaños, La Horqueta, entre otras). Los estudios U-Pb efectuaron a un total de 19 muestras sedimentarias, de las cuales 8 corresponden a la Formación Talacasto, 8 a la Formación Punta Negra, mientras que las restantes corresponden 2 a la Formación Los Espejos y 1 a la Formación Los Sombreros (Tabla VI-1).

Formación	Muestra	Coordenadas geográficas		Litología
● Punta Negra (Devónico Inferior -Medio)	17PN07	30°17'50.28"S	68°50'53.64"O	Arenisca
	16PN33	30°31'7.00"S	68°52'39.00"O	Arenisca
	16PN43	31°0'1.00"S	68°47'38.00"O	Arenisca
	16PN59	31°32'0.49"S	68°49'42.74"O	Arenisca
	16PN61	31°31'32.05"S	68°52'10.60"O	Arenisca
	16PN66	31°32'9.36"S	68°55'9.05"O	Arenisca
	16PN54	30°50'50.79"S	69°0'55.23"O	Arenisca
	17PN18	31°53'45.18"S	68°49'35.46"O	Arenisca
▲ Talacasto (Devónico Inferior)	16T06	30°17'40.48"S	68°46'52.40"O	Arenisca
	16T56	30°17'39.10"S	68°46'42.56"O	Arenisca
	16T10	30°17'46.53"S	68°46'36.74"O	Arenisca fina
	17T04	30°18'11.88"S	68°50'4.80"O	Arenisca
	16T40	30°28'4.35"S	68°50'10.00"O	Arenisca fina
	16T45	31°0'9.99"S	68°46'50.00"O	Arenisca
	16T64	31°31'54.63"S	68°54'53.29"O	Arenisca
	16T63	31°31'50.74"S	68°52'26.01"O	Arenisca
■ Los Espejos (Silúrico)	16LE29	30°12'35.25"S	68°53'7.95"O	Arenisca
	17PNCAR	31°31'11.34"S	68°57'53.22"O	Arenisca
● Los Sombreros (Ordovícico)	16LS55	30°40'17.96"S	68°59'32.64"O	Arenisca

**Tabla VI-1:** Ubicación de las muestras analizadas por U-Pb.

Todas las muestras fueron seleccionadas en zonas estratégicas en donde se tomaron además para estudios petrográficos, geoquímicos e isotópicos. A modo de complemento se seleccionaron 15 de estas muestras a las cuales se les aplicó la metodología Lu-Hf a un total de aproximadamente 30 cristales de circón por muestra.

### A2a. Muestras.

Dentro de los objetivos de las diferentes campañas, quizás el más relevante fue realizar un muestreo representativo de las unidades en diversas localidades, lo cual permitirá comprender

luego de la aplicación de diferentes análisis, las características del relleno en esa localidad y las posibles fuentes de detritos que llegaron a ese sector de la cuenca. Para la Formación Talacasto se seleccionaron 8 muestras distribuidas entre la parte media a alta de la unidad, debido a que es en esta sección donde se pueden encontrar las granulometrías necesarias para la obtención de circones del tamaño necesario que permita su análisis isotópico. Es para destacar que la unidad cuenta con un horizonte guía (Keidel, 1921) el cual sirve perfectamente como nivel de correlación. Para la región Norte de la cuenca, en la localidad de Loma de Los Piojos se analizaron las muestras 16T10 por debajo del horizonte guía, la muestra 16T56 en la capa guía propiamente dicha y la muestra 16T06 por encima de la misma, de esta manera se podrá tener un control en la vertical en cuanto al aporte de esta área (Figura VI-2a). También en la parte Norte de la cuenca hacia el Oeste de la localidad anterior, se encuentra la denominada quebrada de las Aguaditas, donde se colectó la muestra 17T04 por debajo del horizonte guía (Figura VI-2a).

Continuando en la misma longitud, pero desplazándonos hacia el Sur de la localidad de Loma de Los Piojos, se encuentra el río de Las Casitas, en este sitio fue levantada la muestra 16T40 por debajo de la capa guía (Figura VI-2a). Desplazándonos aún más al Sur, llegamos a la localidad tipo de la Formación Talacasto (Figura VI-2a). En este lugar fue seleccionada una muestra de arenisca por debajo del horizonte guía y se la denominó como 16T45. Por último, las muestras 16T64 y 16T63 se tomaron en la margen derecha del río San Juan entre los diques Caracoles y Punta Negra (Figura VI-2b-D), en este sector al no encontrarse presente la capa guía, no se tiene precisión si los niveles estratigráficos son semejantes a los muestreados hacia el norte.

En el caso de la Formación Punta Negra se escogieron muestras en algunas de las localidades donde ha sido muestreada la Formación Talacasto, pero al prolongarse sus afloramientos hacia el Oeste y Sur de la cuenca también se colectaron muestras en esos sectores a modo de tener una representación de toda la unidad. En la parte Norte (Figura VI-2a), en quebrada de Las Aguaditas la Formación Punta Negra queda representada por las muestras 17PN07, hacia el Sur, en cercanías del Puesto El Durazno, se tomó la muestra 16PN33 y en quebrada de Talacasto la 16PN43 (Figura VI-2a). Tres muestras fueron colectadas sobre el río San Juan (Figura VI-2b), las cuales de Este a Oeste son 16PN59 sobre el Cerro Negro de Zonda, 16PN61 y 16PN66. Las dos muestras restantes se ubican, una en el flanco Este de la Sierra de la Invernada 16PN54 representativa de las facies distales (Figura VI-2a), y otra en cercanías al Puesto Bachongo 17PN18 siendo estos los afloramientos más australes de la unidad (Figura VI-2b).

Finalmente fueron tomadas otras tres muestras de dos unidades que sirven a modo de comparación, por un lado, la unidad infrayacente al Grupo Gualilán, Formación los Espejos, cuenta con 2 análisis, la muestra 16LE29 sobre las márgenes del Río Jáchal (Figura VI-2a-A), y la muestra 17CAR sobre el Río San Juan (Figura VI-2b-D) muy próximo al dique de Los Caracoles, esta muestra correspondería a la Formación Tambolar la cual sería equivalente a la

parte inferior de la Formación Los Espejos. Por último, se levantó la muestra 16LS55 correspondiente a la matriz de la Formación Los Sombreros (Ordovícico) en el flanco este de la Sierra de la Invernada.

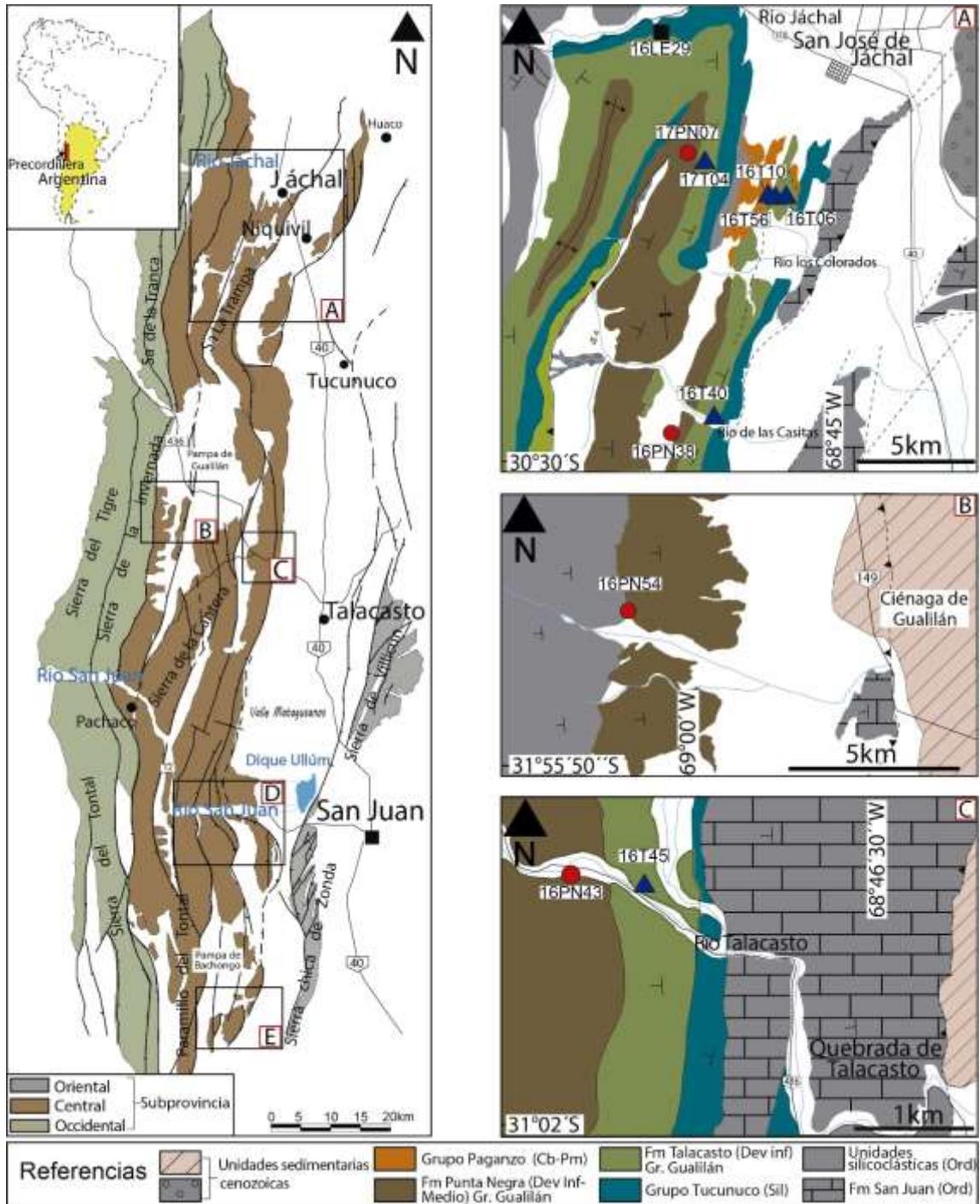
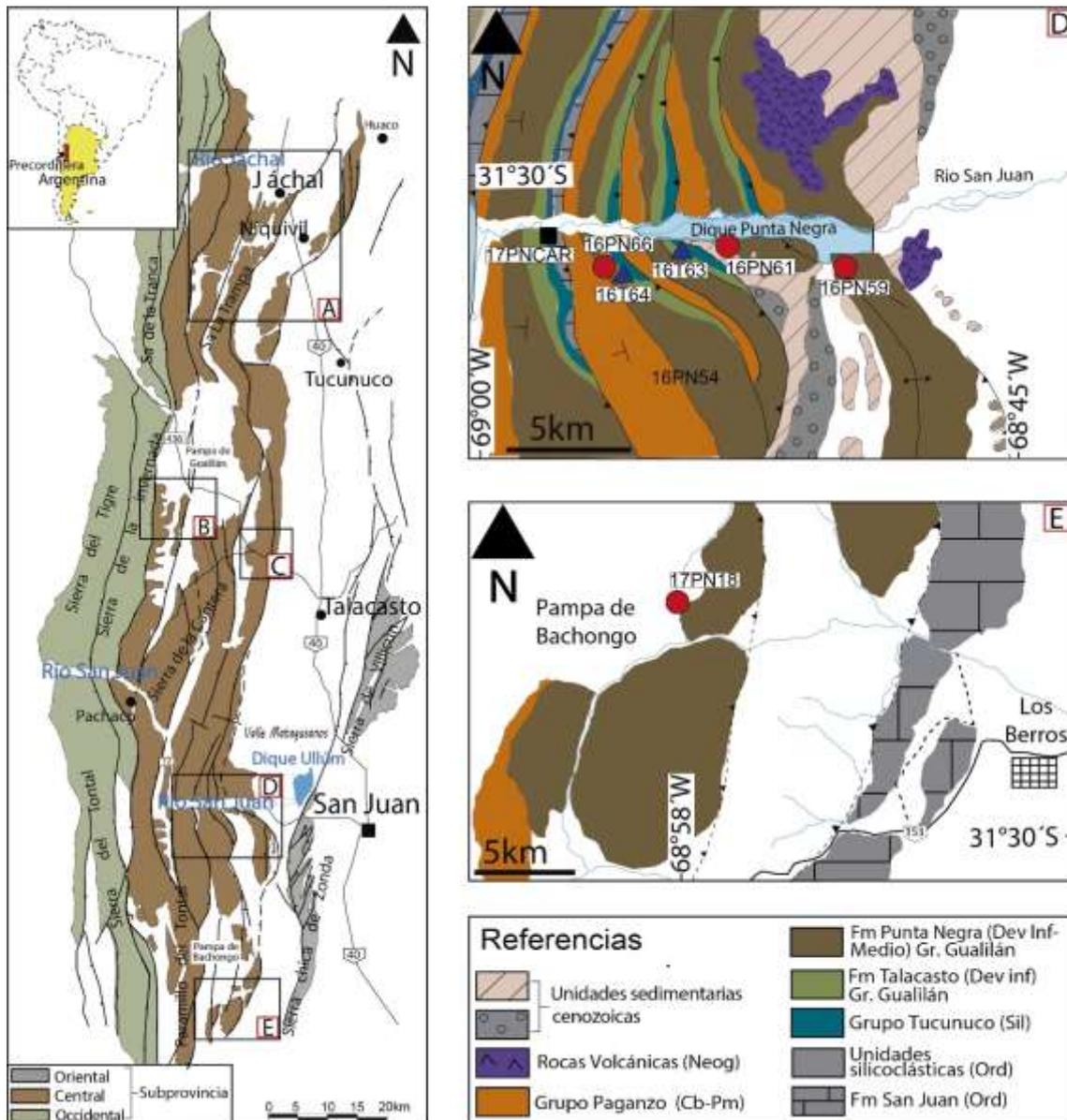


Figura VI-2a. Mapas de ubicación de las muestras para análisis isotópico U-Pb en la región Centro-Norte de la cuenca.



**Figura VI-2b.** Mapas de ubicación de las muestras para análisis isotópicos U-Pb en la región Sur de la cuenca siluro-devónica.

En el Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) de la Universidad de São Paulo, Instituto de Geociencias (CPGeo – USP, Brasil) se llevó a cabo la preparación final de las muestras, la obtención de imágenes por catodoluminiscencia y los análisis isotópicos correspondientes (LA-ICP-MS). Los circones de cada muestra se dispusieron en filas, se montaron en discos de resina epoxi con un diámetro de 2,54 cm (*mounts*) y se pulieron para revelar los centros de los granos. Antes del análisis, se obtuvieron las imágenes de catodoluminiscencia (CL) que permitieron visualizar el interior de cada cristal, para poder seleccionar los mejores sitios del circón para efectuar el análisis. Se utilizó el patrón de referencia de circón GJ1 para el análisis por LA-ICP-MS (*Laser –Ablation Inductively Coupled Plasma*

*Mass Spectroscopy*) de U-Pb y Lu-Hf. Todos los análisis de Hf se obtuvieron en los mismos granos previamente datados por U-Pb.

## B. SISTEMÁTICA U-Pb CON EQUIPO LA-ICP-MS.

Detalle de la metodología empleada para la obtención de edades U-Pb, a saber:

- Cada análisis se compone de 40 medidas secuenciales (de aproximadamente 1 segundo de integración cada una) en el ICP-MS “Neptune”, 10 de ellas con el láser apagado para la obtención del blanco instrumental y 30 bajo la ablación del láser.
- Se miden 7 señales isotópicas simultáneamente, 4 en cajas de Faraday (de mayor amplitud): 206, 208, 232, 238 y 3 en MICs (“Multiple Ion Counters” de mayor sensibilidad): 202, 204 y 207.
- Al final de cada secuencia de medición, el valor medio del blanco instrumental se resta inmediatamente de cada una de las 7 señales isotópicas.
- La obtención del isótopo 235 no se mide, sino que se obtiene matemáticamente, dividiendo la señal 238 por la abundancia relativa 238/235 (=137,88).
- La participación de Hg (del gas portador) en la señal 204 se descuenta restando de ella el cociente: señal 202/ abundancia relativa 202/204(=4.355).
- Utilizando las razones: 206/238, 207/235 y 208/232 como estimaciones de edad y las fórmulas de Stacey-Kramers, se calculan las abundancias relativas (variables con edad geológica): 206/204, 207/204 y 208/204.
- La fracción “Pb común” (no radiogénico) de los isótopos: 206, 207 y 208 se descuentan luego restando el 204 de cada uno de ellos multiplicando por su abundancia relativa: 206/204, 207/204 y 208/204.
- Los análisis del estándar GJ-1 se rehacen cada 10 minutos, con el fin de corregir errores y/o variaciones en el instrumento de muestras posteriores. La comparación entre los valores de GJ-1 tabulados y medidos proporcionan:
  - a) Los coeficientes (multiplicativos) utilizados para convertir las 3 señales totales: Pb (204+206+207+208), Th (232) y U (235+238) en unidades de ppm.
  - b) Los factores de corrección de fraccionamiento de las 4 proporciones: 206/238, 207/235, 207/206 y 208/232, antes de que finalmente se utilicen para calcular las (respectivas) edades.

## C. DATACIONES RADIMÉTRICAS U-Pb EN CIRCONES DETRÍTICOS.

### C1. Antecedentes.

A pesar del gran volumen de información generada en las últimas décadas en cuanto a las particularidades geológicas del Grupo Gualilán, principalmente asociado al análisis estratigráfico y del registro fósil de las unidades, han sido muy pocos los trabajos tendientes a establecer la edad

de los detritos por metodologías radimétricas, permitiendo correlacionar temporalmente con otras unidades equivalentes y generar modelos paleogeográficos que logren establecer su génesis y evolución. En la mayoría de los casos, la edad y la relación de yacencia se limitó a fijar las relaciones estratigráficas y descripciones de campo, ajustándolo a partir del contenido fosilífero. En el capítulo III se describieron detalladamente las relaciones estratigráficas entre ambas unidades y entre éstas y las unidades infra y suprayacentes.

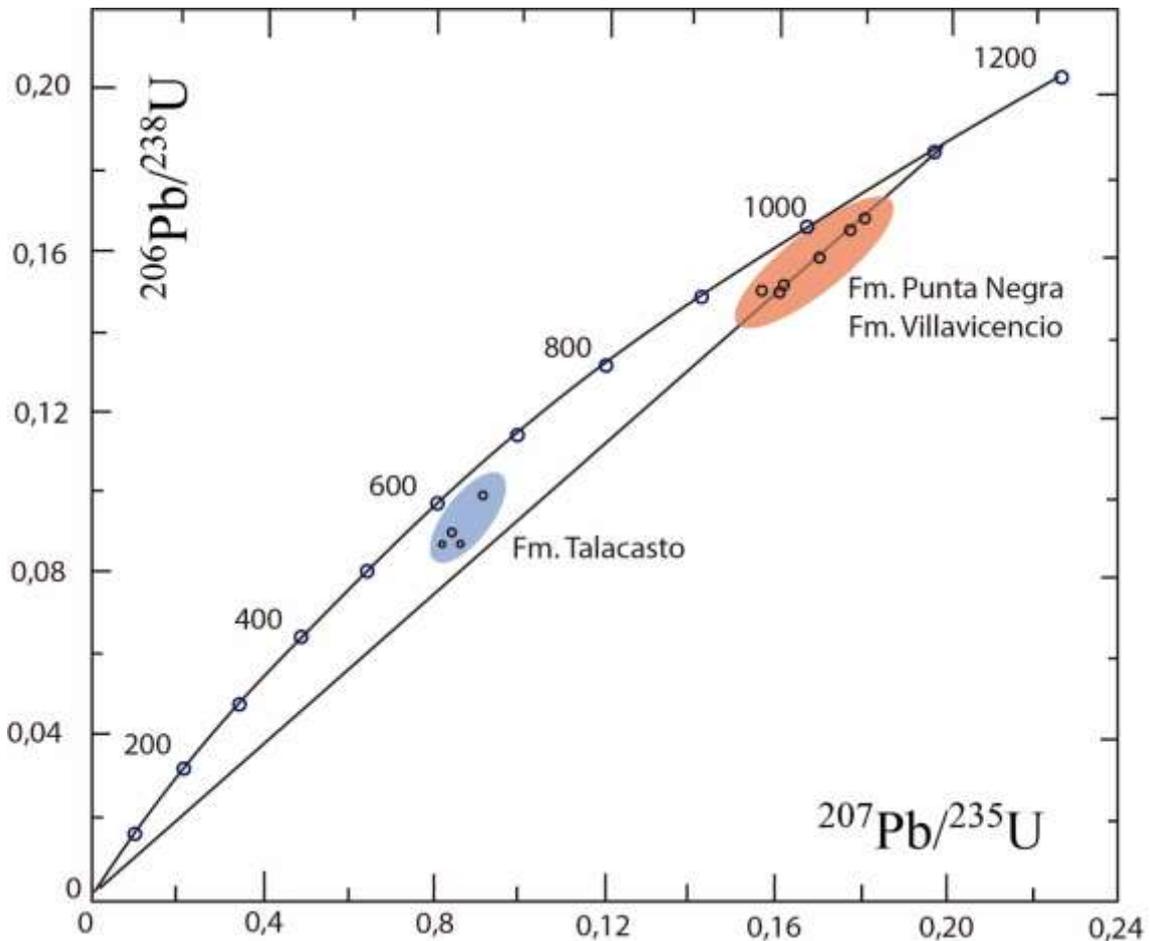
La primera publicación en informar datos U-Pb en circones detríticos para las unidades del Grupo Gualilán fue proporcionado por Loske (1995). En este trabajo, resultado de análisis previos de su tesis doctoral (Loske, 1992) se expusieron los resultados obtenidos a partir de la metodología TIMS (Thermal Ionization Mass Spectrometry) en sedimentitas de las formaciones Talacasto y Punta Negra, además de una muestra correspondiente a la Formación Villavicencio. Este autor realizó un estudio morfológico de circones de detalle, en el cual separó los idiomórficos para la obtención de edades. En el caso de la Formación Punta Negra obtuvo edades de  $\approx 1,1$  Ga para esta familia de circones, valores similares fueron obtenidos para la Formación Villavicencio mientras que para la Formación Talacasto se registraron edades del orden de 0,6 Ga (Figura VI-3).

En contribuciones realizadas como adelanto del presente trabajo de tesis, se presentaron las edades obtenidas en circones detríticos para las Formaciones Talacasto y Punta Negra en la parte Norte de la cuenca (Arnol *et al.*, 2018; 2020). Los resultados para la Formación Talacasto dan cuenta de una participación de fuentes correspondientes a tres ciclos principales: Pampeano-Brasiliano, Famatiniano y Grenvilliano, participando prácticamente de forma equitativa. Los mismos ciclos orogénicos, aunque con amplio dominio de este último se encuentra representado en la Formación Punta Negra.

## **C2. Edades U-Pb.**

Se analizaron un total de 1449 circones detríticos mediante la metodología LA-ICP-MS para determinar la relación isotópica U-Pb de los mismos, del total 554 corresponden a la Formación Talacasto mientras que 676 pertenecen a la Formación Punta Negra, por otro lado, 124 circones representan a la Formación Los Espejos y 95 a la Formación Los Sombreros (tablas de datos en el anexo “Datos U-Pb”). Los resultados fueron graficados de acuerdo a los diagramas concordia propuesto por Wetherill (1956) y Tera-Wasserburg (Wendt, 1984), mientras que las probabilidades relativas se graficaron según (Ludwig, 2003). Para un mejor entendimiento en la distribución de los detritos dentro de la cuenca, es que la misma fue dividida en tres sectores Norte (localidades de Loma de los Piojos, quebrada de las Aguaditas, Río de las Casitas y flanco este de la sierra de la Invernada); Centro (quebrada de Talacasto y Río San Juan); Sur (cercanía de Puesto Bachongo). En cuanto a las descripciones de edades que se mencionarán a continuación, el Mesoproterozoico fue dividido de acuerdo a la escala de IUGS (2020), en sus tres períodos:

Calymmiano (1600-1400 Ma), Ectasiano (1400-1200 Ma) y Steniano (1200-1000 Ma). Por otro lado, se escogieron diferentes tonos para las unidades bajo estudio que facilitarán al momento de las gráficas una interpretación más rápida. Los tonos rojos constituyen la Formación Punta Negra, los azules la Formación Talacasto, los violáceos representan a la Formación Los Espejos y el naranja a la Formación Los Sombreros.



**Figura VI-3.** Datos según Loske (1995) de los circones idiomórficos para las unidades del Grupo Gualilán y Formación Villavicencio analizados por la metodología U-Pb TIMS.

#### C2a. Formación Talacasto (Grupo Gualilán).

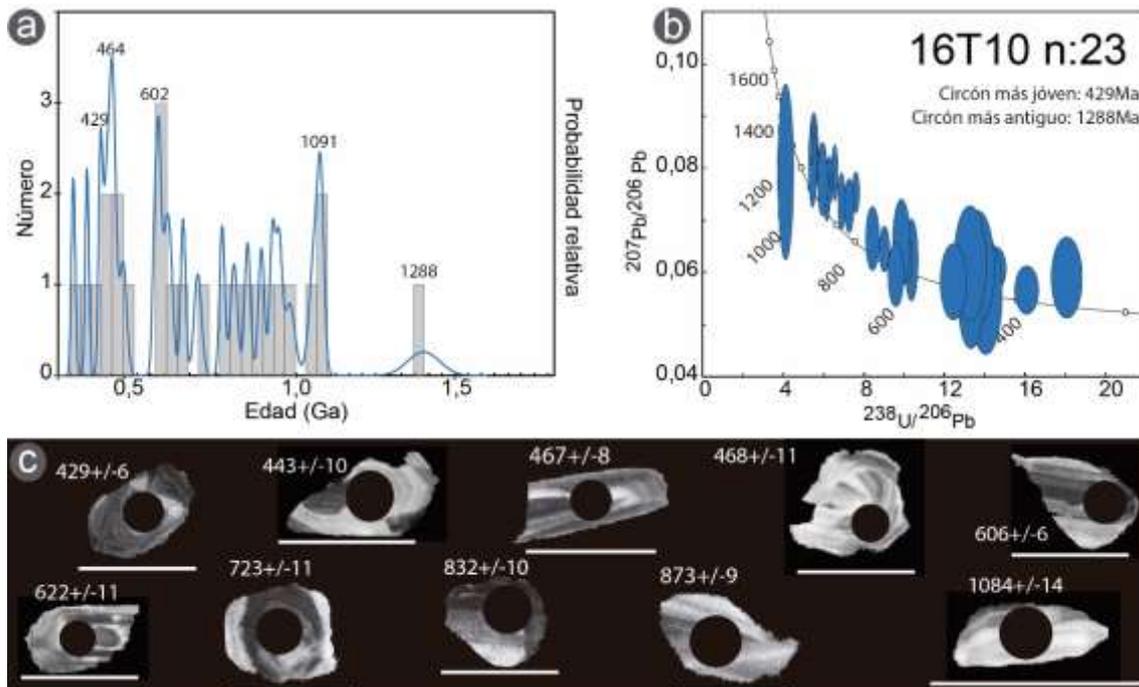
##### **Sector Norte.**

##### a) Localidad Loma de los Piojos.

##### **Muestra 16T10.**

Representa la sección inferior de la unidad por debajo del horizonte guía de Keidel, la muestra analizada se compone por 23 granos de circones. El bajo número de circones datados es debido a la dificultad de concentrar estos minerales en granulometrías de arenas finas como las encontradas en la parte inferior de la unidad. Sin embargo, de la totalidad de granos analizados,

se encontró un claro predominio de las edades neoproterozoicas con un 52,2%, estas quedan comprendidas entre 594-968 Ma. Una moda secundaria está caracterizada por las edades comprendidas dentro del ciclo orogénico Famatiniano (Cámbrico Medio- Silúrico), integradas por el 4,5% de edades cámbricas tardías, 13% de edades ordovícicas (455-468 Ma), 8,7% edades silúricas (429-443 Ma). Se registró un cristal de edad devónica con un valor de 389 Ma, este último no fue considerado en el recálculo, ya que la unidad no puede ser de acuerdo a su contenido paleobiológico más joven que emsiana. Entre las edades más antiguas el Mesoproterozoico está presente con un 20% oscilando entre 1288 Ma (Ectasiano) y entre 1000-1095 Ma (Steniano). Por último, se registró una edad anómala carbónica (347 Ma), si bien este dato cuenta con bajo porcentaje de Pb común y es concordante no se ha tomado en cuenta en las interpretaciones debido al buen control bioestratigráfico que otorga a la unidad una edad devónica inferior, probablemente se relaciones con una contaminación en el muestreo o en la separación de los circones (Figura VI-4).

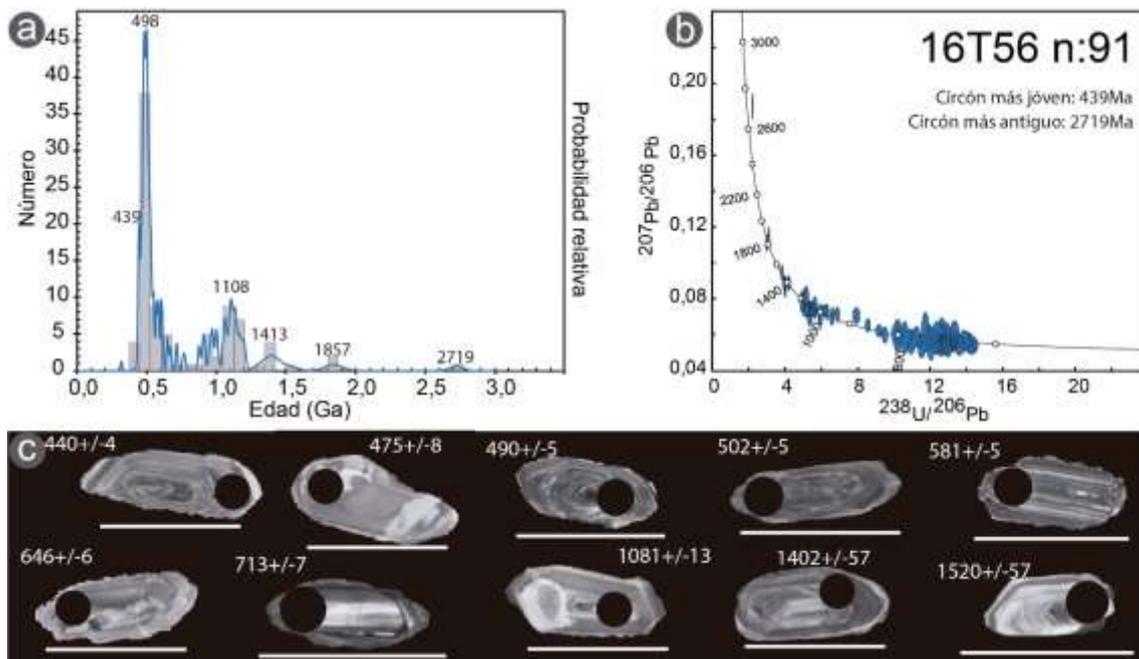


**Figura VI-4. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16T10 de la Formación Talacasto en su sección inferior, en niveles estratigráficos por debajo del horizonte de Keidel. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de cátodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

### Muestra 16T56.

Muestra que representa al horizonte de Keidel, se compone de 91 circones cuyos resultados arrojan una moda principal representada por aquellas edades de cristales comprendidos dentro del ciclo orogénico Famatiniano (45,1%) de los cuales el 19,8% pertenecen al Ordovícico con valores entre 444-483 Ma, el 14,3% a edades cámbricas medias entre 499-521 Ma, el 8,8% a

edades cámbricas superiores entre 486-496 Ma, el 2,2% corresponden a edades silúricas entre 439-440 Ma y finalmente un único circón de edad carbónica tardía con 317 Ma, este dato es descartado debido al elevado porcentaje de Pb común >24% y por la incoherencia de estar en una unidad devónica. Los circones con edades relacionadas al Mesoproterozoico y al ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano (Neoproterozoico-Cámbrico Inferior) se encuentran presentes con similares proporciones 26,4% y 25,3% respectivamente. Entre las edades mesoproterozoicas se identificó un 19,8% de circones con edades stenianas entre 1000-1199 Ma, 4,4% de edades ectasianas entre 1318-1398 Ma y 2,2% con registros del Calymmiano entre 1402-1520 Ma. Para el ciclo Pampeano-Brasiliano, el 20,9% corresponden a circones con edades neoproterozoicas entre 544-971 Ma y 4,4% de circones con edades cámbricas inferiores entre 528-536 Ma. Las edades antiguas están representadas por circones relacionados a fuentes derivadas de rocas del Paleoproterozoico, presentes en 2,2% con edades del Orosiriano entre 1817-1869 Ma y por un grano del Neoarqueano con 2719 Ma que representa el 1%. (Figura VI-5).

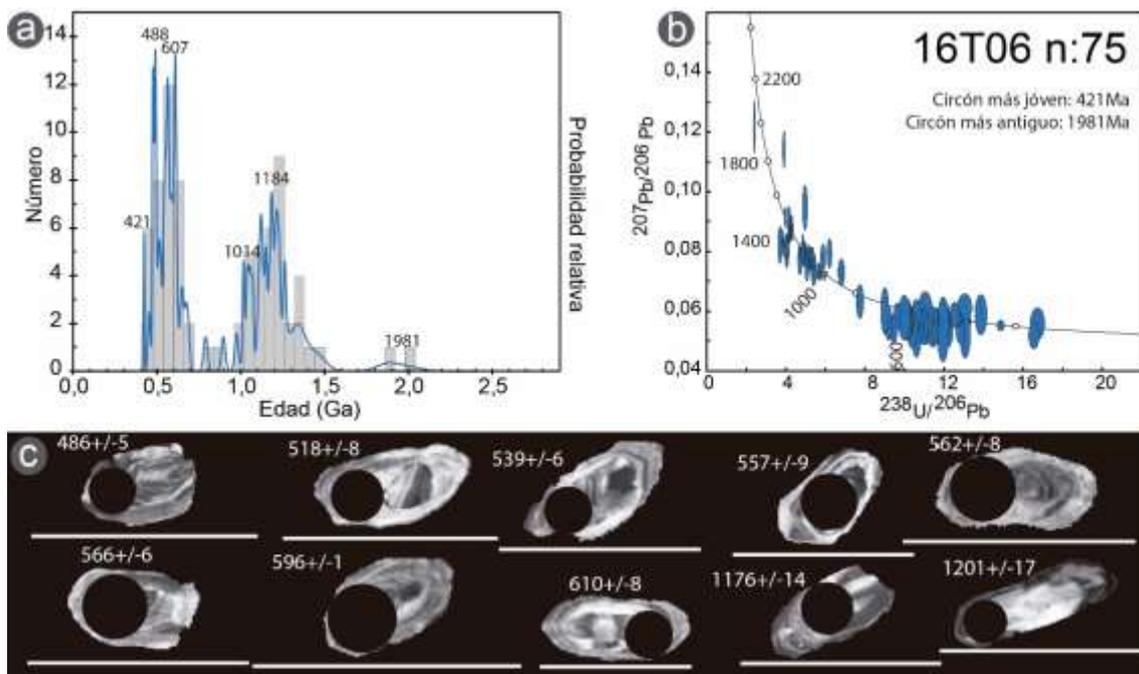


**Figura VI-5. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16T56 de la Formación Talacasto en el horizonte de Keidel. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de cátodoluminiscencia (CL), escala: 100µm.

### Muestra 16T06.

Fueron analizados 75 circones en la parte alta de la unidad obteniéndose los siguientes datos: dos modas principales con edades mesoproterozoicas y neoproterozoicas, abarcando el 45,3% y 36% respectivamente de la población total de circones (Figura VI-6). Para el Mesoproterozoico las edades abarcan esencialmente al medio y superior (Ectasiano-Steniano), oscilando entre 1201-1269 y 1014-1185 Ma en cada uno de los casos, mientras que para el

Neoproterozoico las edades registradas comprenden el lapso que va desde los 551 a 973 Ma (Neoproterozoico Inferior, Medio y Superior). El ciclo orogénico Famatiniano abarca el 15,6% del total de granos analizados distribuidos en: 4% de edades cámbricas medias (498-518 Ma), 4% cámbricas superiores (489-491 Ma), 6,7% ordovícicas (451-479 Ma), 1,3% silúricas (421 Ma). Se registraron dos edades devónicas (376-380 Ma) pero estas no fueron consideradas debido al elevado grado de Pb común (>36%). Las restantes edades corresponden 2,7 % al Cámbrico Inferior (521-539 Ma) y al Rhyaciano con un 2,7% quedando comprendido por los valores 1868 y 1981 Ma (Figura VI-6).



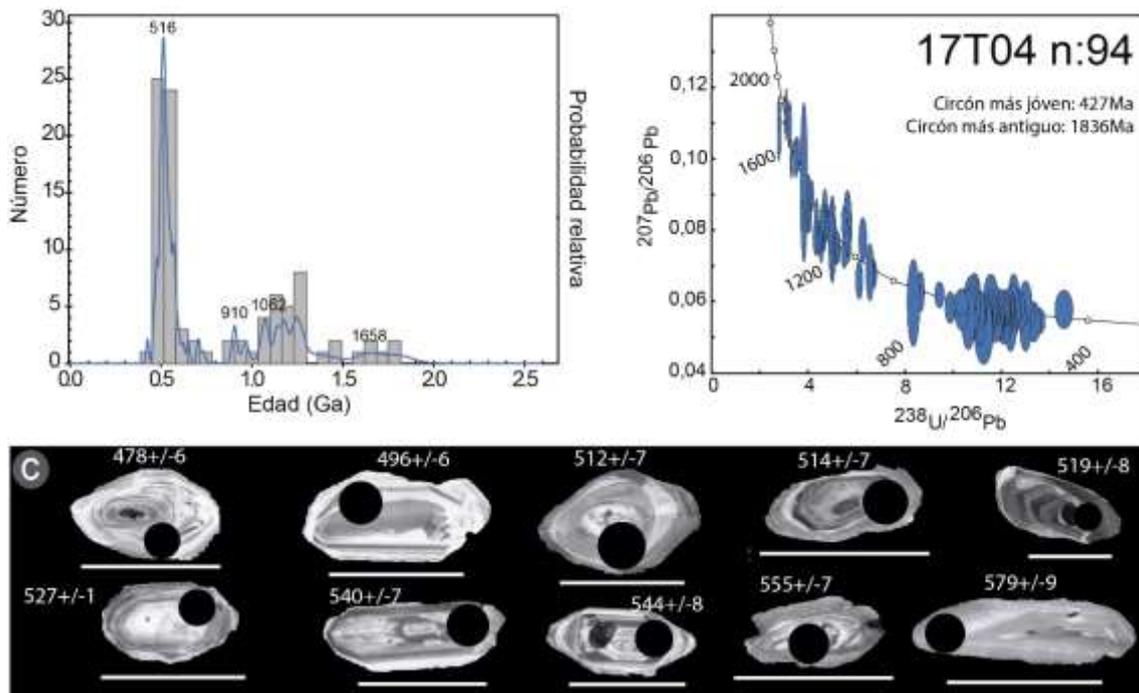
**Figura VI-6. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16T06 de la Formación Talacasto en nivel estratigráfico por encima del horizonte de Keidel. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100µm.

b) Perfil de las Aguaditas.

#### Muestra 17T04.

Se seleccionó para el análisis una muestra ubicada por debajo del horizonte guía de Keidel en esta localidad, la cual quedó representada con 94 circones analizados. El análisis isotópico arrojó edades comprendidas dentro del ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano como moda principal con un 35,1%; comprendidos entre 975-520 Ma, mientras que un segundo pico queda constituido por las edades mesoproterozoicas y aquellas que integran el ciclo orogénico Famatiniano. Las primeras involucran el 27,6% de las cuales más del 50% abarcan el lapso temporal entre 1000-1200 Ma (Ciclo Orogrénico Grenvilliano), en el segundo caso, las edades famatinianas comprenden el 29,8% de los circones analizados diferenciándose en cámbricas

medias (60,7%); cámbricas superiores (17,9%); ordovícicas (17,9%) y silúricas (3,5%). En último lugar aparecen las edades antiguas paleoproterozoicas integradas entre 1836 y 1608 Ma, estas constituyen el 7,5% de los análisis obtenidos (Figura VI-7).

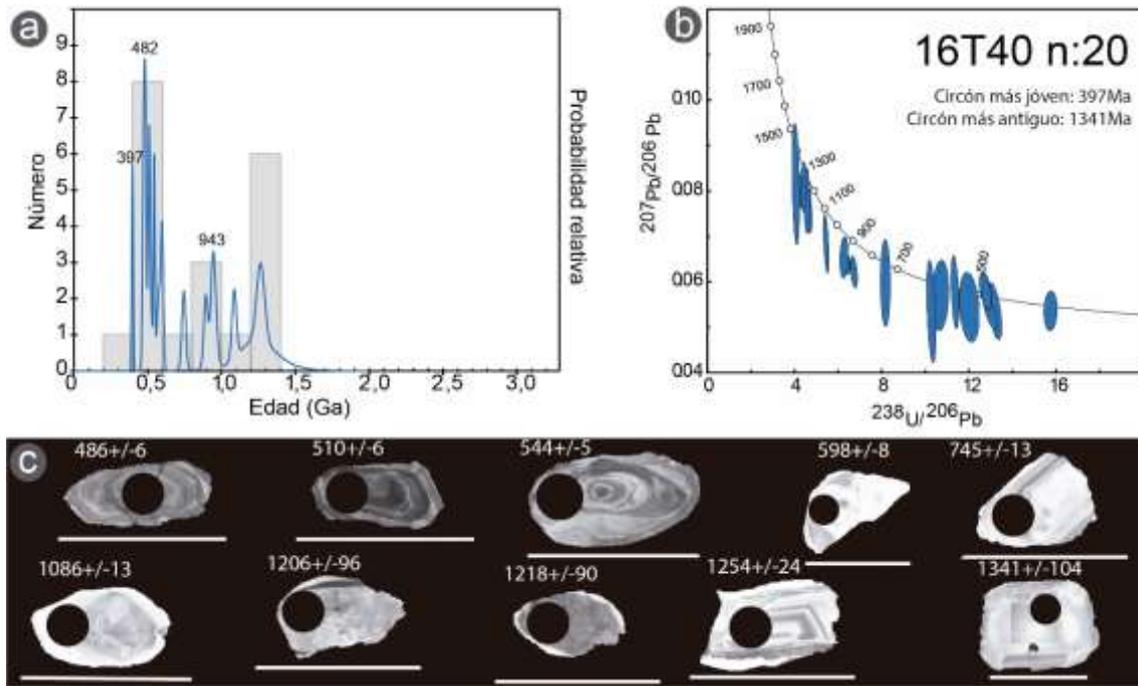


**Figura VI-7. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos, para la muestra 17T04 de la Formación Talacasto en nivel estratigráfico por debajo del horizonte de Keidel. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catódoluminiscencia (CL), escala: 100  $\mu$ m.

c) Perfil de Las Casitas.

#### Muestra 16T40.

Esta muestra corresponde al perfil del río de Las Casitas, próxima al límite con la Formación Punta Negra, de la cual se recuperaron y analizaron solamente 20 circones, probablemente debido a la dificultad de concentrar estos minerales en arena de granulometría fina o bien porque los mismos presentaban fracturas que no permiten obtener datos confiables. El total de granos se reparten prácticamente equitativamente entre las edades pampeanas-brasilianas, mesoproterozoicas y famatinianas con el 35%, 35% y 30% respectivamente, siendo el primero dominado por edades neoproterozoicas (544-953 Ma), el segundo caracterizado por edades comprendidas entre 1383 y 1018 Ma resultando dominante dentro de estas edades las correspondientes al Ectasiano. Por último, las edades famatinianas se reparten entre cámbricas medias (510-515 Ma), cámbricas superiores (486 Ma), ordovícicas (471-478 Ma) y una edad devónica (397 Ma) (Figura VI-8).



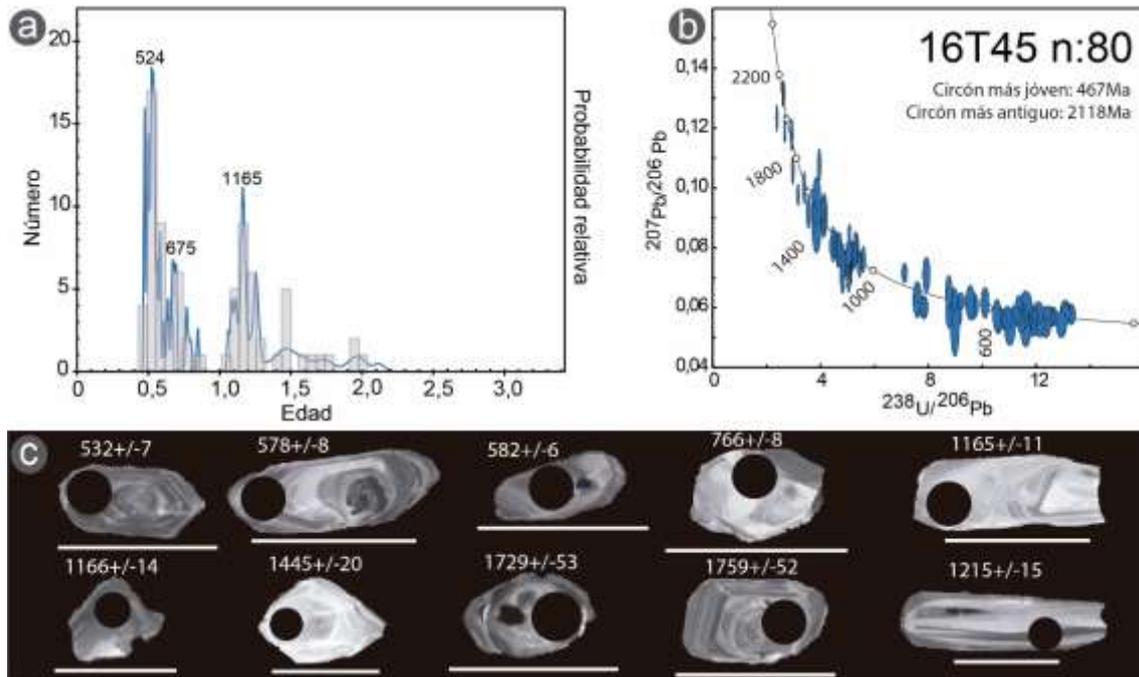
**Figura VI-8.** **a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16T40 de la Formación Talacasto en nivel estratigráfico por encima del horizonte de Keidel. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100µm.

### Sector Central.

#### a) Perfil Quebrada de Talacasto.

#### Muestra 16T45.

Esta muestra representa a la unidad en la localidad tipo, se ubica a 20 m por debajo del horizonte de Keidel, se trata de una arenisca donde se analizaron en total 80 cristales. Se observan dos picos dominantes representados por las edades neoproterozoicas-cámbricas inferiores y otro por las edades mesoproterozoicas con un predominio mínimo de estas últimas 36,2% y 37,5% respectivamente. Al desglosar estos dos picos principales se encontró dentro de estas edades una preponderancia del periodo Steniano (Grenvilliano: 1061-1183 Ma) con el 50%, seguido por el Ectasiano (1215-1392 Ma) 30% y en último lugar el Calymmiano (1445-1579 Ma) abarcando el 20%. Por otro lado, las edades correspondientes al ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano se distribuyen en un 72,4% neoproterozoicas (544-848 Ma) seguido por un 27,6% de edades cámbricas inferiores (521-540 Ma). El ciclo orogénico Famatiniano se encuentra representado por el 14% del total de datos analizados, con un 50% de estos pertenecientes al Cámbrico Medio (499-519 Ma) y 14,3% al Cámbrico Superior (497-491 Ma). Las edades antiguas quedan integradas dentro del Paleoproterozoico con el 8,75% del total de los análisis, con un rango abarcando desde los 1624 a los 2118 Ma (Figura VI-9).



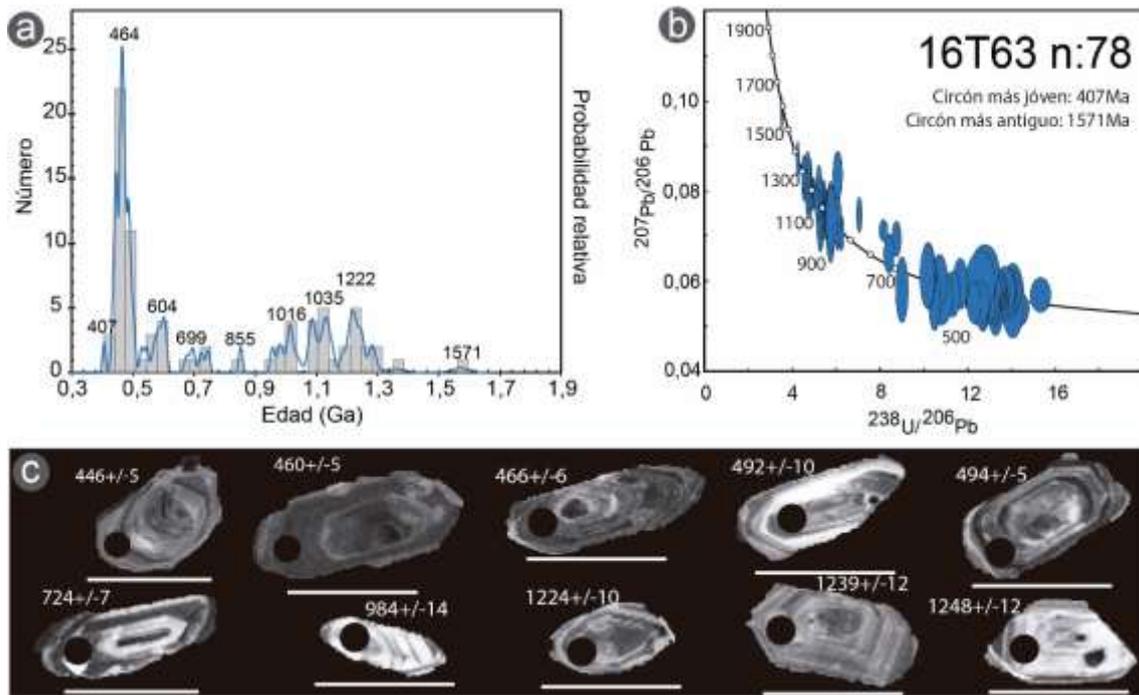
**Figura VI-9. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16T45 de la Formación Talacasto en nivel estratigráfico 20 m por debajo del horizonte de Keidel. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

b) Perfil del Rio San Juan.

### Muestra 16T63.

Un total de 78 cristales de circones fueron analizados obteniéndose como moda principal edades ordovícicas entre 443-485 Ma, constituyendo el 33,3%; las restantes edades involucradas en el ciclo orogénico Famatiniano se reparten entre: 2,5% Cámbrico Medio (497-504 Ma); 5,1% Cámbrico Superior (488-494 Ma); 3,8% Silúrico (435-442 Ma) y 1,3% Devónico (407 Ma), de esta manera, este ciclo orogénico comprende el 46,1% del total de los circones analizados.

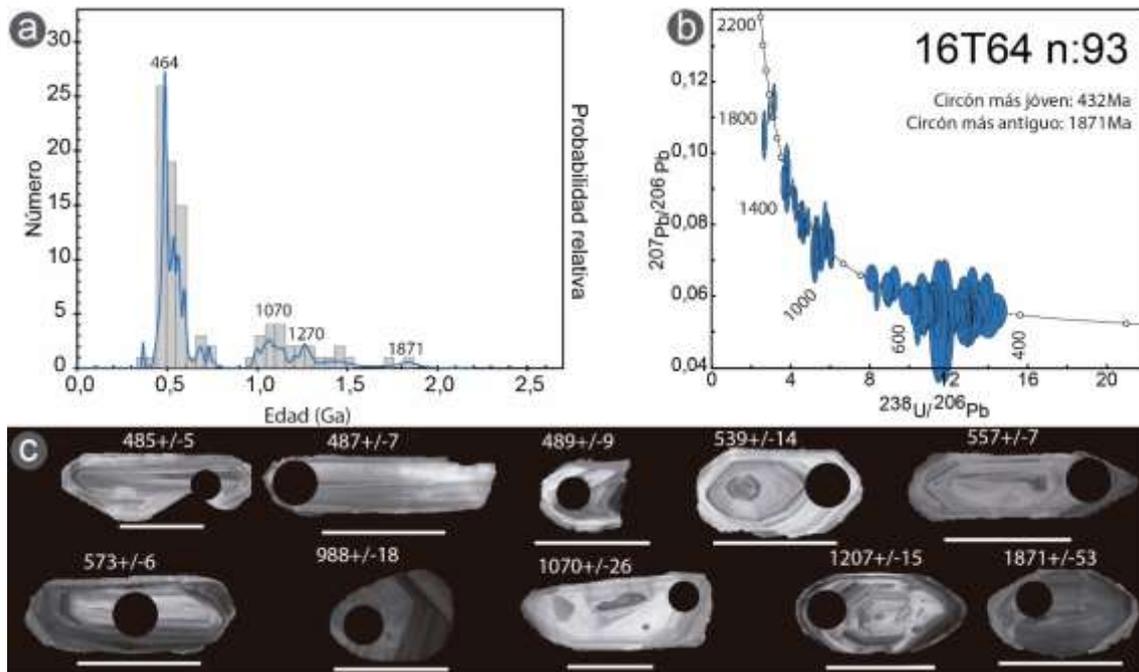
En segundo lugar, encontramos a las edades mesoproterozoicas, integradas por el 19,2% de valores stenianos (1010-1185 Ma), 14,1% ectasianos (1204-1283 Ma) y 1,3% calymmianos (1571 Ma), lo que indica un 34,6% del total de datos obtenidos. Por último, el ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano representa el 19,2%, siendo ampliamente dominantes las edades neoproterozoicas (546-984 Ma) con el 93,7% de estas edades y solamente un valor del Cámbrico Inferior de 530 Ma, (Figura VI-10).



**Figura VI-10. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16T63 de la Formación Talacasto. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

#### Muestra 16T64.

Esta muestra contó con 93 circones analizados, las edades de estos minerales se repartieron en una primera moda dominada por el ciclo orogénico Famatiniano con el 38,7% de los datos obtenidos, repartidos 47,2% de edades ordovícicas (445-485 Ma); 30,6% cámbricas superiores (486-496 Ma); 19,4% cámbricas medias (501-517 Ma) y un solo valor silúrico (432 Ma) representado el 2,8%. En segundo lugar, encontramos las edades comprendidas dentro del ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano con el 33%, de las cuales las edades neoproterozoicas (548-995 Ma) son las dominantes (72,7%) seguidas por el 27,3% de las edades cámbricas inferiores (524-540 Ma). Como tercera moda encontramos las edades mesoproterozoicas, las cuales representan el 22,6% de los circones analizados y se subdividen en: 52,4% (stenianas); 33,3% (ectasianas) y 14,3% (calymmianas). Finalmente, las edades antiguas quedan registradas en tres circones correspondientes al Paleoproterozoico con edades comprendidas entre 1714-1871 Ma (Figura VI-11).



**Figura VI-11. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16T64 de la Formación Talacasto. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

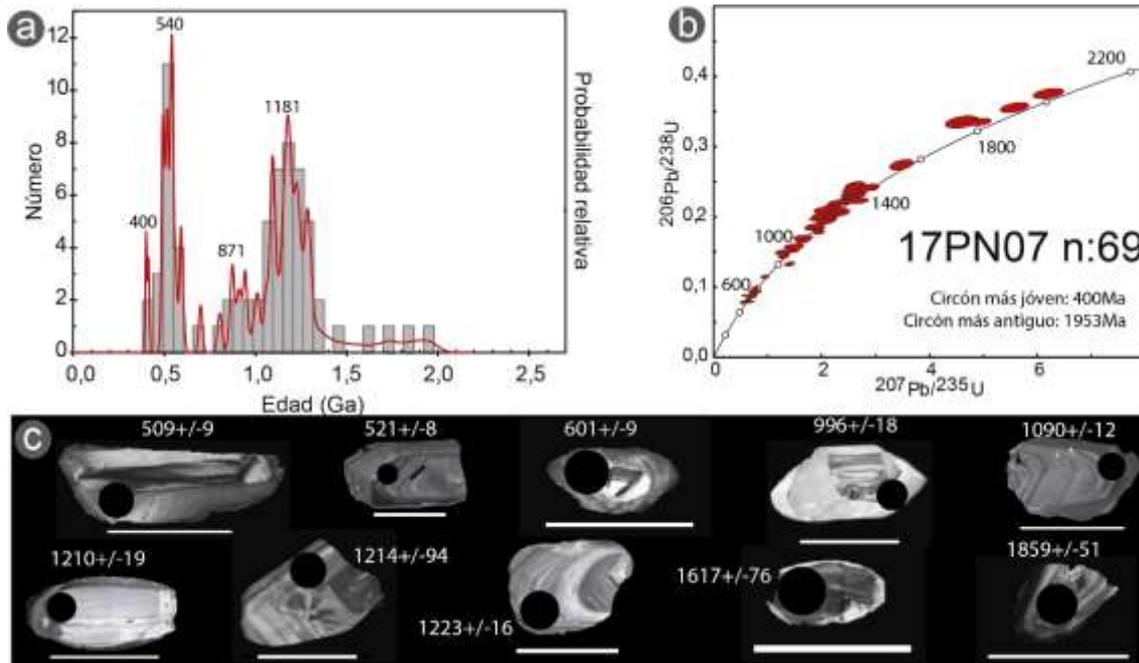
### C2b. Formación Punta Negra (Grupo Gualilán).

#### **Sector Norte.**

##### a) Perfil de Las Aguaditas.

#### **Muestra 17PN07.**

Se analizaron 69 granos de circones cuyos resultados isotópicos revelan que las edades entre 1472 y 1014 Ma (Mesoproterozoico) se hallan como fuente principal de aporte, representando el 52,2% del total de edades obtenidas; de todos estos cristales existe un claro predominio de edades grenvillianas con el 58,3%. Las edades comprendidas dentro del ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano (Neoproterozoico-Cámbrico Inferior) representan el 27,5% siendo la segunda moda en importancia, dentro de estas, las edades neoproterozoicas (544-996 Ma) abarcan el mayor porcentaje con el 78,9%. Las edades famatinianas (14,5%) se encuentran presentes con participación del Cámbrico Medio 7,2%; Cámbrico Superior 4,3% y dos circones devónicos los cuales representan el 2,9%. Por su parte, edades entre 1617- 1953 Ma (paleoproterozoicas) se encuentran con escasa participación (5,8%); Figura VI-12.

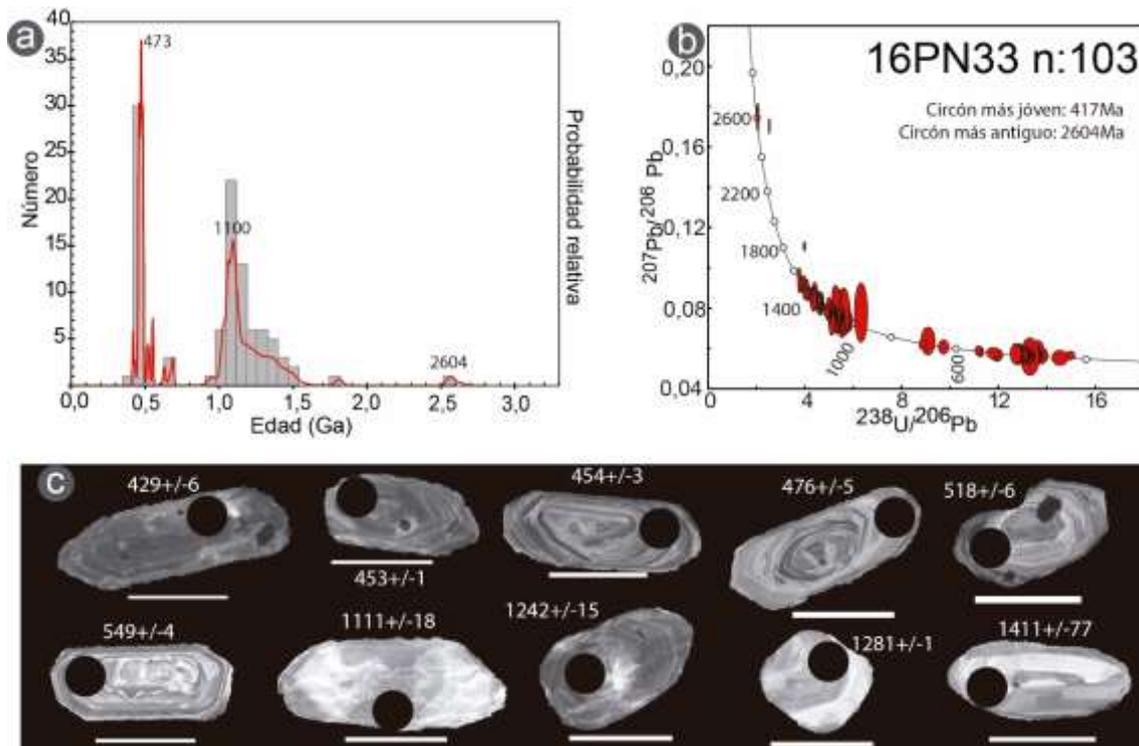


**Figura VI-12. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 17PN07 de la Formación Punta Negra. **b:** Curva de concordia. **c:** Imágenes de cátodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

b) Perfil de Las Casitas.

#### Muestra 16PN33.

Se realizaron 103 análisis de circones detríticos, los resultados arrojaron como moda principal las edades mesoproterozoicas con un 60% de ellas el 66,6% corresponde a edades stenianas (1194-1010 Ma), 25,4% a ectasianas (1348-1202 Ma), y el restante 8% se encuentra constituido por edades calymmianas (1505-1405 Ma). Como segunda moda en importancia se encuentran las edades comprendidas en el ciclo orogénico Famatiniano (30,5%), siendo dominante dentro de este las ordovícicas (484-453 Ma) constituyendo el 82%, seguidas en menor medida por las cámbricas medias a superiores (485-453 Ma), silúricas (429 Ma) y devónicas (417 Ma). En tercer lugar, se encuentran las edades comprendidas dentro del ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano (Neoproterozoico Cámbrico Temprano) con el 6,2% las mismas quedan comprendidas entre 525-946 Ma. Los valores antiguos se reparten entre el ciclo orogénico Transamazónico (1810 Ma) y aquellos derivados de fuentes arqueanas (2588-2564 Ma) (Figura VI-13).

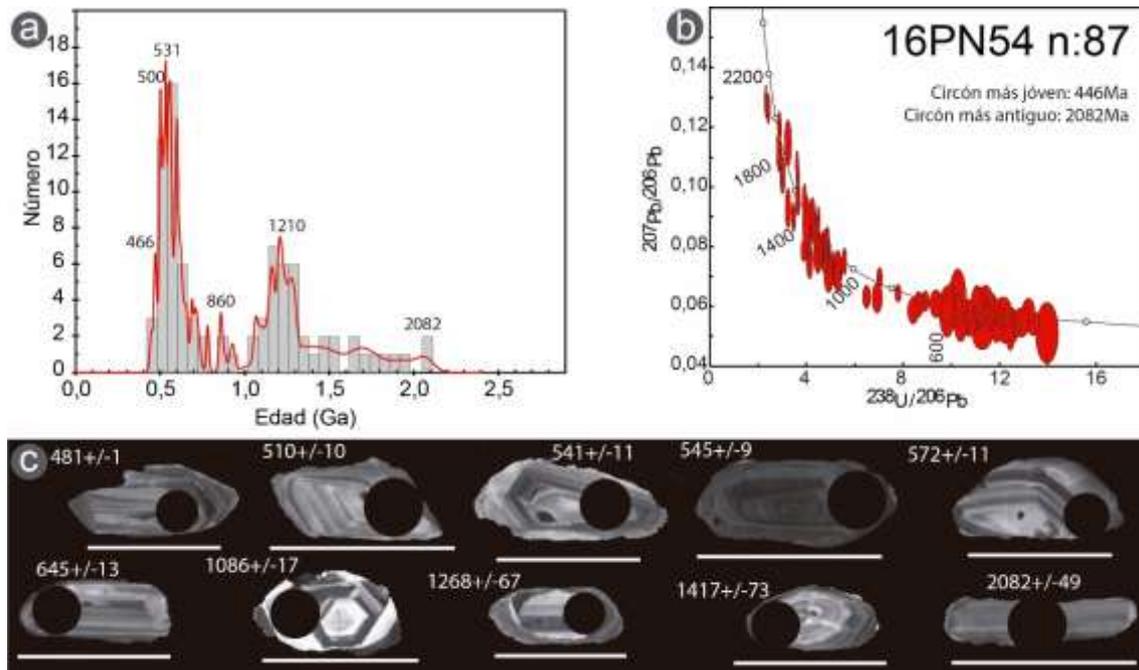


**Figura VI-13. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16PN33 de la Formación Punta Negra. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

c) Perfil de Sierra de la Invernada.

#### Muestra 16PN54.

Una población de 87 circones detríticos fue datada encontrándose el principal registro para el Mesoproterozoico (36,1%) involucrando edades desde los 1549-1062 Ma siendo el porcentaje de las edades ectasianas y stenianas prácticamente idéntico: 16,1% y 14,9% respectivamente. Estas son seguidas por las edades neoproterozoicas con valores entre 545-925 Ma, representando el 33,3% de la muestra. Las edades paleoproterozoicas ocupan una tercera posición con 10,3% comprendidas entre 1667-2082 Ma. El restante porcentaje se reparte entre el Cámbrico Inferior (5,7%); Cámbrico Medio (8%); Cámbrico Superior (1,1%) y Ordovícico (4,6%) (Figura VI-14).



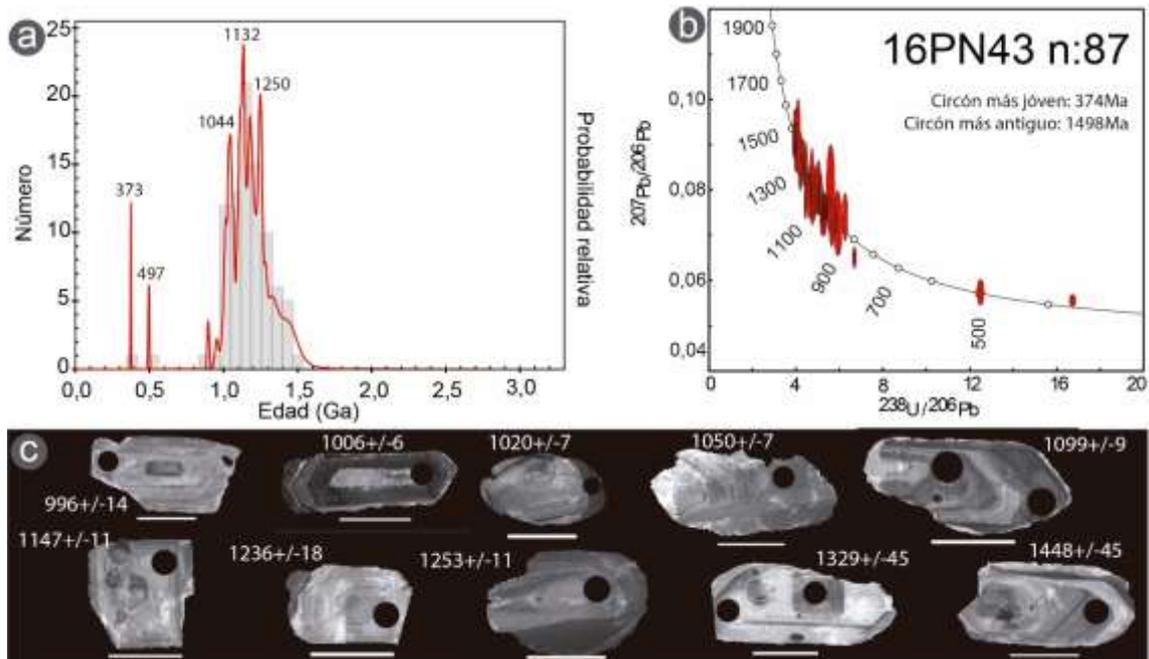
**Figura VI-14. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16PN54 de la Formación Punta Negra. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de cátodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

### Sector Central.

a) Quebrada de Talacasto.

### Muestra 16PN43.

El análisis de 87 circones detríticos revela una clara tendencia unimodal dominada por un amplio rango de edades comprendidas dentro del Mesoproterozoico (94,3%). Desglosando este porcentaje se encuentra claro predominio de valores asignados al ciclo orogénico Grenvilliano (1000-1200 Ma), con el 54% de las edades obtenidas, seguido por las edades ectasianas (1203-1396 Ma) representando el 33,3% y finalmente aquellas edades calymmianas (1424-1498 Ma) las cuales incluyen el 6,9% de las edades. El porcentaje restante del total se encuentra manifestado por 3,4% de edades neoproterozoicas (879-996 Ma) y 2,2% de valores correspondientes al ciclo orogénico Famatiniano (496-374 Ma) (Figura VI-15).

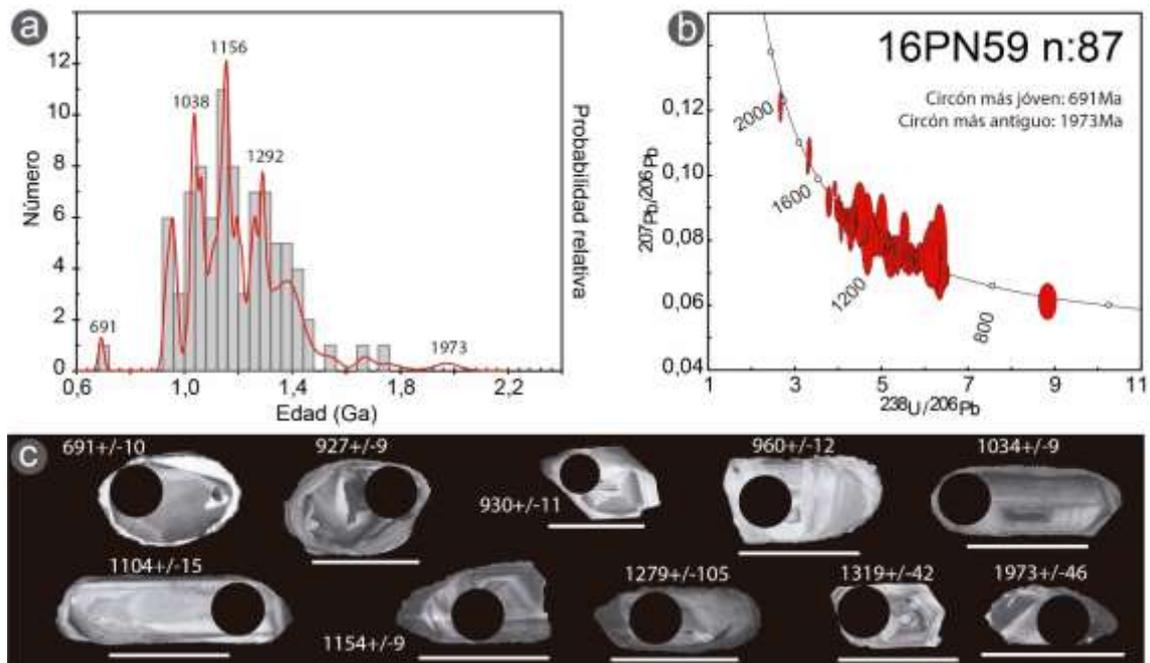


**Figura VI-15. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16PN43 de la Formación Punta Negra. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

b) Perfil del Rio San Juan.

### Muestra 16PN59.

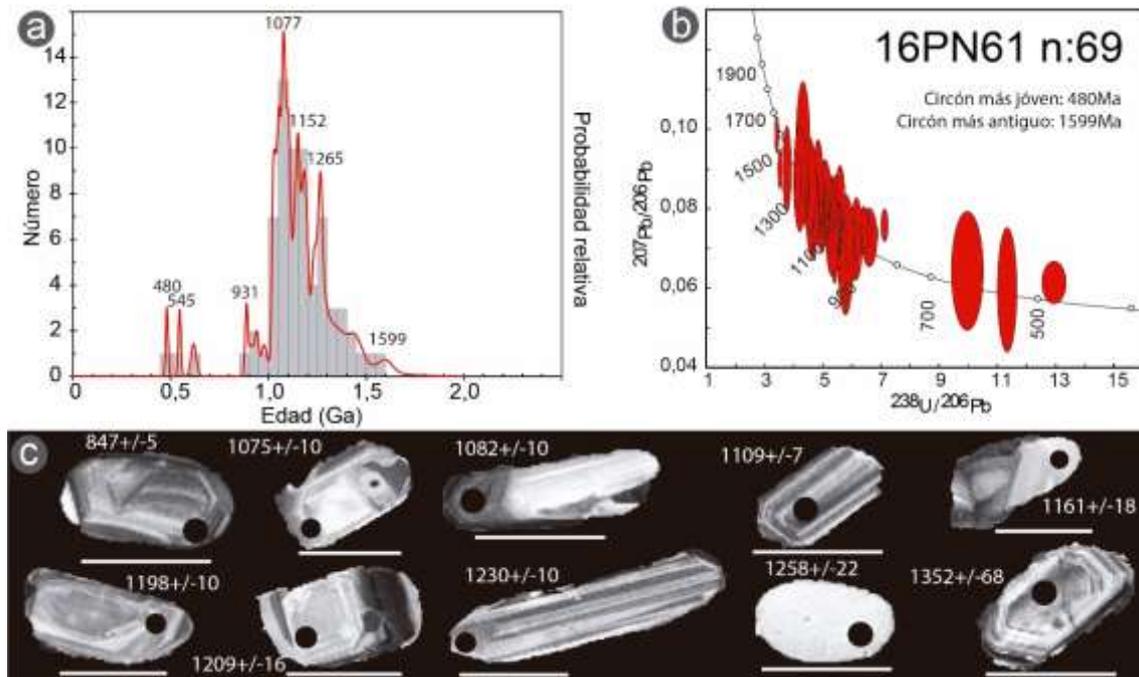
El análisis de 87 granos de circones detríticos revela una clara tendencia principal, dominada por las edades mesoproterozoicas con el 85,1% de los datos obtenidos (Figura VI-16). El grupo de edades más representativo dentro de este rango temporal son las comprendidas entre 1011-1198 Ma (stenianas: ciclo orogénico Grenvilliano), con el 46%, seguidas por las edades ectasianas: 1204-1396 Ma con el 31% y finalmente las edades calymmianas comprendidas entre 1401-1545 Ma incluye al 8% del total de la muestra. El restante porcentaje se reparte entre el Neoproterozoico (691-972 Ma) con el 11,5% y el Paleoproterozoico (1667-1973 Ma), involucrando el 3,4% (Figura VI-16).



**Figura VI-16. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16PN59 de la Formación Punta Negra. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

### Muestra 16PN61.

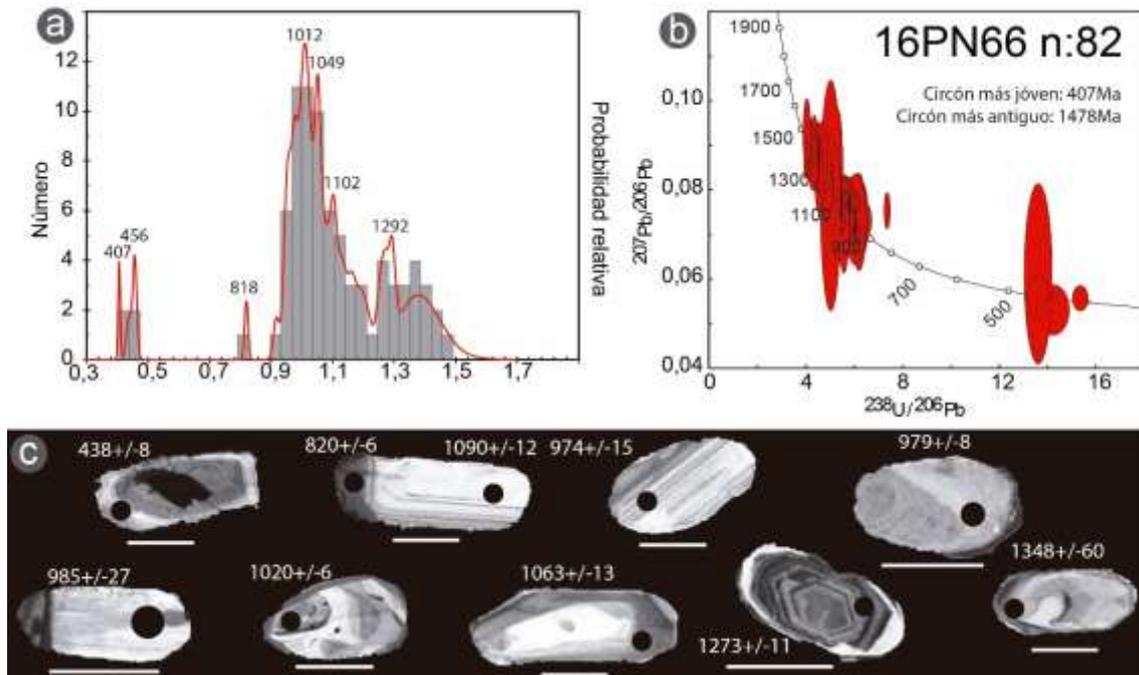
Se analizaron 69 granos de circones cuyos resultados isotópicos revelan que las edades entre 1022-1599 Ma (Mesoproterozoico) se hallan presentes como fuente principal de aporte, representando el 89,9%. Si desglosamos estas edades, se halla con claro predominio de las edades comprendidas entre 1022-1198 Ma, pertenecientes al ciclo orogénico Grenvilliano (stenianas) con el 58% de los datos, seguidas por las edades comprendidas entre 1209-1381 Ma (ectasianas) y aquellas que varían entre el rango de 1426-1599 Ma (calymmianas) con el 24,6% y 7,2% respectivamente. Los restantes valores de edades obtenidos se reparten entre el Neoproterozoico (545-977 Ma) y un único valor ordovícico (480 Ma) representado el 8,7% y el 1,4% respectivamente (Figura VI-17).



**Figura VI-17. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16PN61 de la Formación Punta Negra. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de cátodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

### Muestra 16PN66.

Una población de 82 circones fue analizada encontrándose el principal registro para el Mesoproterozoico con edades entre 1006-1478 Ma, representando el 72% de la muestra. Dentro de estas edades vuelven a ser dominantes aquellas entre los 1006-1197 Ma con el 64,4% (stenianas, ciclo orogénico Grenvilliano), en segundo lugar, los valores comprendidos entre 1210-1399 Ma (ectasianas) aportaron a la muestra el 27,1% de las edades analizadas, en último lugar el periodo Calymmiano (1401-1478 Ma) se encuentra aportando el 8,5% de los datos obtenidos. El Neoproterozoico presenta una contribución secundaria del 23,2%, con edades entre 820-999 Ma. Con escasa participación se manifiestan las edades Famatinianas, con solo 2,4% de edades ordovícicas (457-458 Ma); 1,2% silúricas (438 Ma) y 1,2% devónicas (407 Ma) (Figura VI-18).



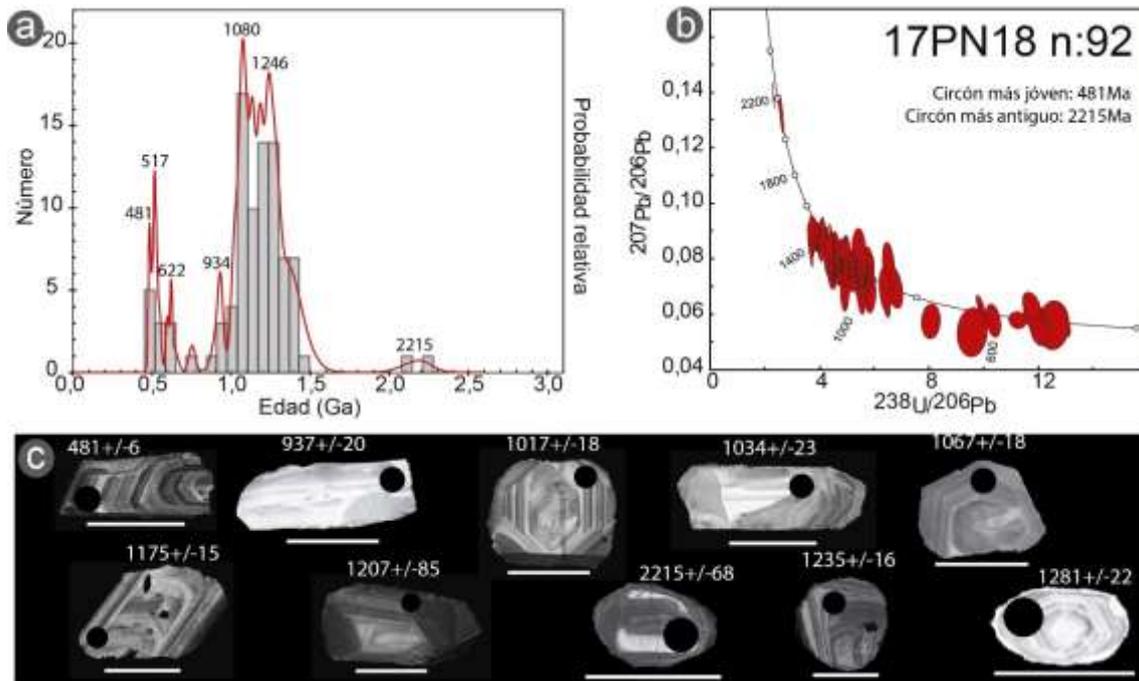
**Figura VI-18. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16PN66 de la Formación Punta Negra. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

### Sector Sur.

#### a) Puesto Bachongo.

#### Muestra 17PN18.

Los resultados obtenidos en 92 circones detríticos revelan una coherencia con las muestras analizadas en la porción central de la cuenca para la misma unidad. Encontramos una neta preponderancia de las edades mesoproterozoicas con el 80,4% de los datos analizados, siendo el Steniano (Grenvilliano) la moda principal con el 42,4%, estas edades son seguidas por aquellas del periodo Ectasiano representado por el 34,8% y por último el Calymmiano con un escaso 3,3% (Figura VI-19). A estas edades les siguen en orden de abundancia las involucradas dentro del ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano, el cual queda representado por el 12% de los datos obtenidos, estas incluyen al Neoproterozoico (937-549 Ma) y Cámbrico Inferior (525-527 Ma). Las edades famatinianas abarcan el pequeño porcentaje de 5,4% repartidas en Cámbrico Medio (514-513 Ma); Cámbrico Superior (494-491 Ma) y Ordovícico (481 Ma). Por último, las edades antiguas corresponden al Paleoproterozoico (2215-2127 Ma), siendo este el 2,2 % del total de la muestra analizada (Figura VI-19).



**Figura VI-19. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 17PN18 de la Formación Punta Negra. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de cátodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

### C2c. Formación Los Espejos (Grupo Tucunuco).

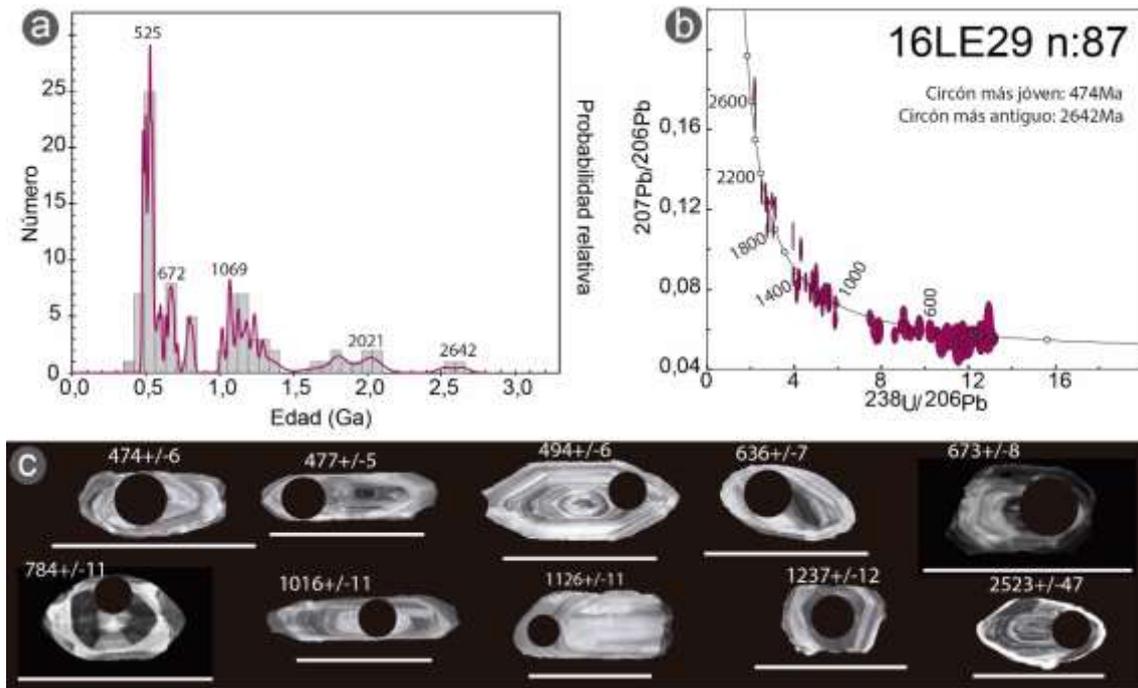
#### **Sector Norte.**

##### a) Río Jáchal.

#### **Muestra 16LE29.**

El análisis de 87 granos de circones detríticos revela una clara tendencia unimodal, la cual queda comprendida por las edades involucradas en el ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano (59,1%), las mismas se reparten en un 37,5% de edades neoproterozoicas y un 21,6% cámbricas tempranas. Como segunda moda se encuentran las mesoproterozoicas, que representan el 27,3% del total de datos analizados y quedan comprendidas entre 1354-1014 Ma, por lo que las edades del período Calymmiano no se encuentran presentes en esta muestra. En un tercer lugar encontramos a los valores asignados al ciclo orogénico Famatiniano, abarcando el 21,6% de las edades, estas se reparten en 8% Cámbrico Medio; 5,7% Cámbrico Superior y 6,8% Ordovícico. Si bien fue registrado un circón de edad devónica (400 Ma) este valor no fue considerado en el recalcu porcentual ya que presenta elevado porcentaje de Pb común >34% y resultó discordante.

Las edades antiguas se encuentran constituidas por el Paleoproterozoico y el Arqueano con el 11,4% (1624-2078 Ma) y 2,3% (2523-2642 Ma) respectivamente (Figura VI-20).



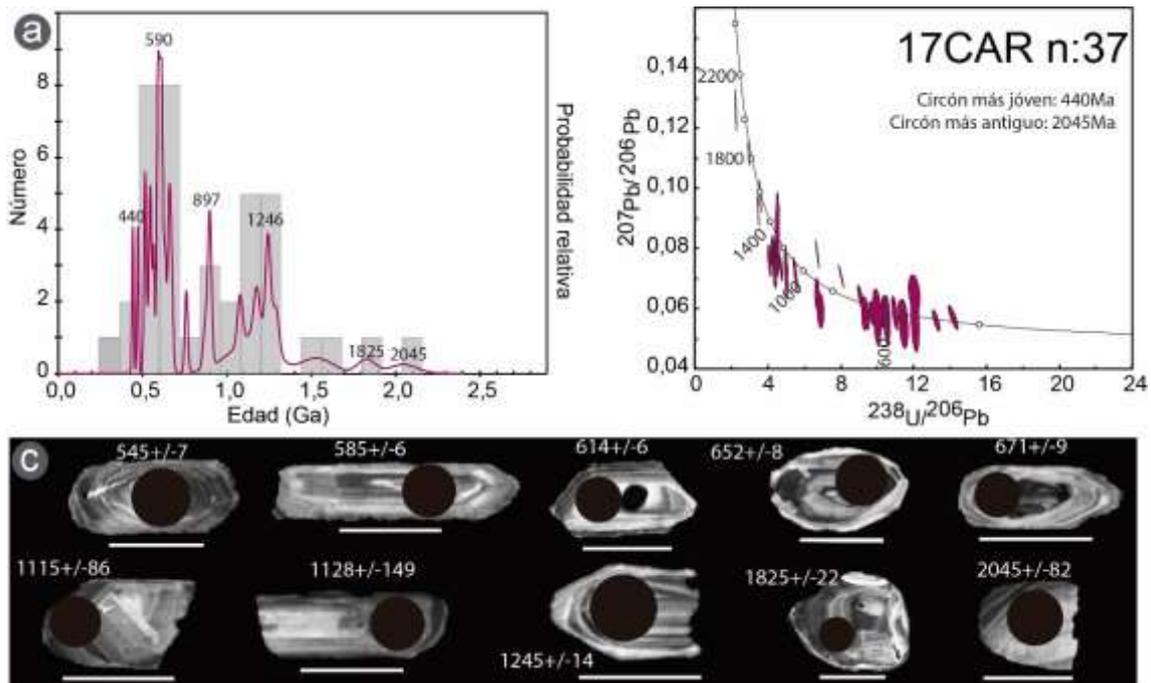
**Figura VI-20. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16LE29 de la Formación Los Espejos. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de cátodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

### Sector Central.

#### a) Río San Juan.

### Muestra 17CAR.

Se analizó una familia de 38 granos de circón arrojando porcentajes similares a los hallados en la muestra sobre el río Jáchal. Como moda principal se registran la/s fuente/s de edad neoproterozoicas 44,7% que junto a las edades cámbricas tempranas 2,6% representan al ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano (47,3%). La moda secundaria al igual que la muestra ubicada en la región Norte, se encuentra comprendida por edades del Mesoproterozoico (36,9%) de las cuales el 18,4% abarcan al Steniano; el 13,2% al Ectasiano y el 5,3% al Calymmiano. Las restantes edades se reparten entre las que integran al ciclo orogénico Famatiniano: 5,3% Cámbrico Medio; 2,6% Ordovícico y 2,6% Silúrico, estos últimos dos sistemas presentes con una única edad. Fue registrado un circón de edad carbonífera (339 Ma), que presenta porcentajes bajos de Pb común y resulta concordante, de igual modo esta edad no fue tomada en cuenta ya que la unidad de acuerdo a su contenido bioestratigráfico corresponde al Silúrico superior. Mientras que las edades antiguas correspondientes al Paleoproterozoico 3 (Orosiriano) contemplan el 5,3% (Figura VI-21).



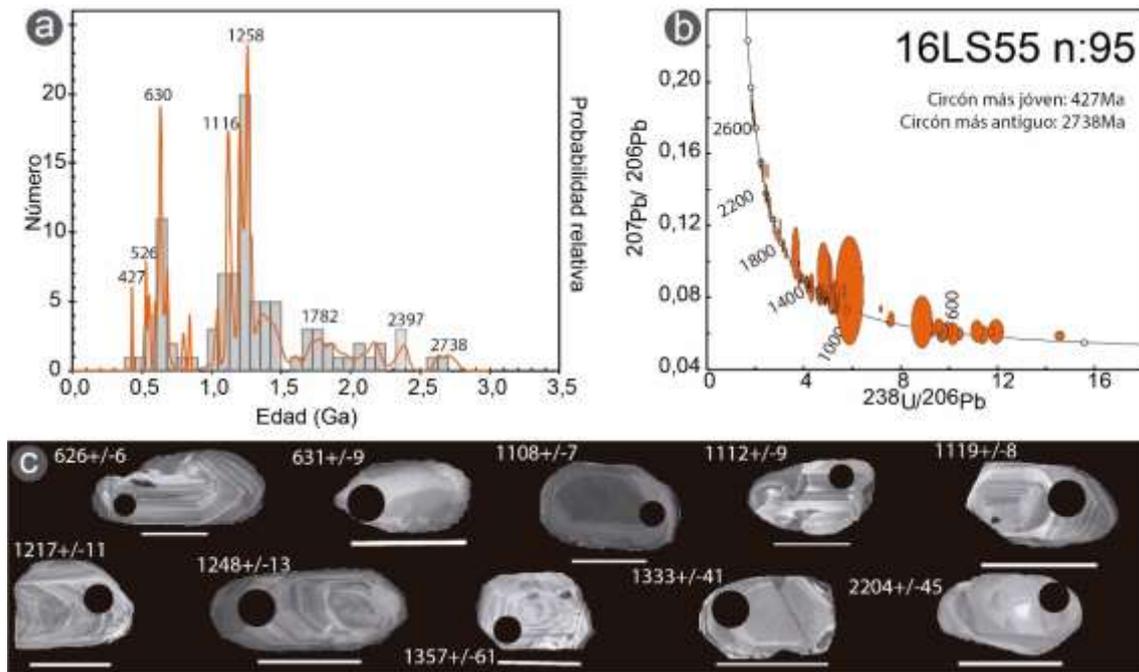
**Figura VI-21. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 17CAR de la Formación Los Espejos. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

#### C2d. Formación Los Sombreros.

##### **Muestra 16LS55.**

Esta muestra corresponde a la matriz arenosa la cual contiene los clásicos olistolitos de la unidad fue analizada a modo de comparación con el objetivo de identificar un patrón en la distribución de edades que pudiera ser similar o no con la Formación Punta Negra, a fin de comprender si la misma corresponde al Ordovícico como fue originalmente definida o podría ser considerada como pos-devónica según estudios más recientes mencionados anteriormente.

En este caso se analizaron un total de 95 circones detríticos, los cuales arrojan una importante tendencia de edades mesoproterozoicas (56,4%), es de destacar que dentro de las mismas el periodo Ectasiano, representa el 31,9% del total de edades obtenidas, seguidos por el Steniano y el Calymmiano. La moda secundaria está integrada por las edades paleoproterozoicas y neoproterozoicas ambas con el 19,1% de los valores. Dentro de las primeras abarcando un lapso temporal desde los 1707 Ma a los 2393 Ma, en cambio las segundas se encuentran comprendidas en gran parte por edades entre los 600 a 700 Ma. Las edades jóvenes de esta muestra incluyen el 2,1% de los datos con una edad cámbrica media y una edad silúrica (Figura VI-22), sin embargo esta última no fue considerada por el grado de discordancia.



**Figura VI-22. a:** Gráfico de probabilidad relativa con las edades U-Pb en circones detríticos para la muestra 16LS55 de la Formación Los Sombreros. **b:** Curva de concordia (Tera-Wasserburg). **c:** Imágenes de catodoluminiscencia (CL), escala: 100 $\mu$ m.

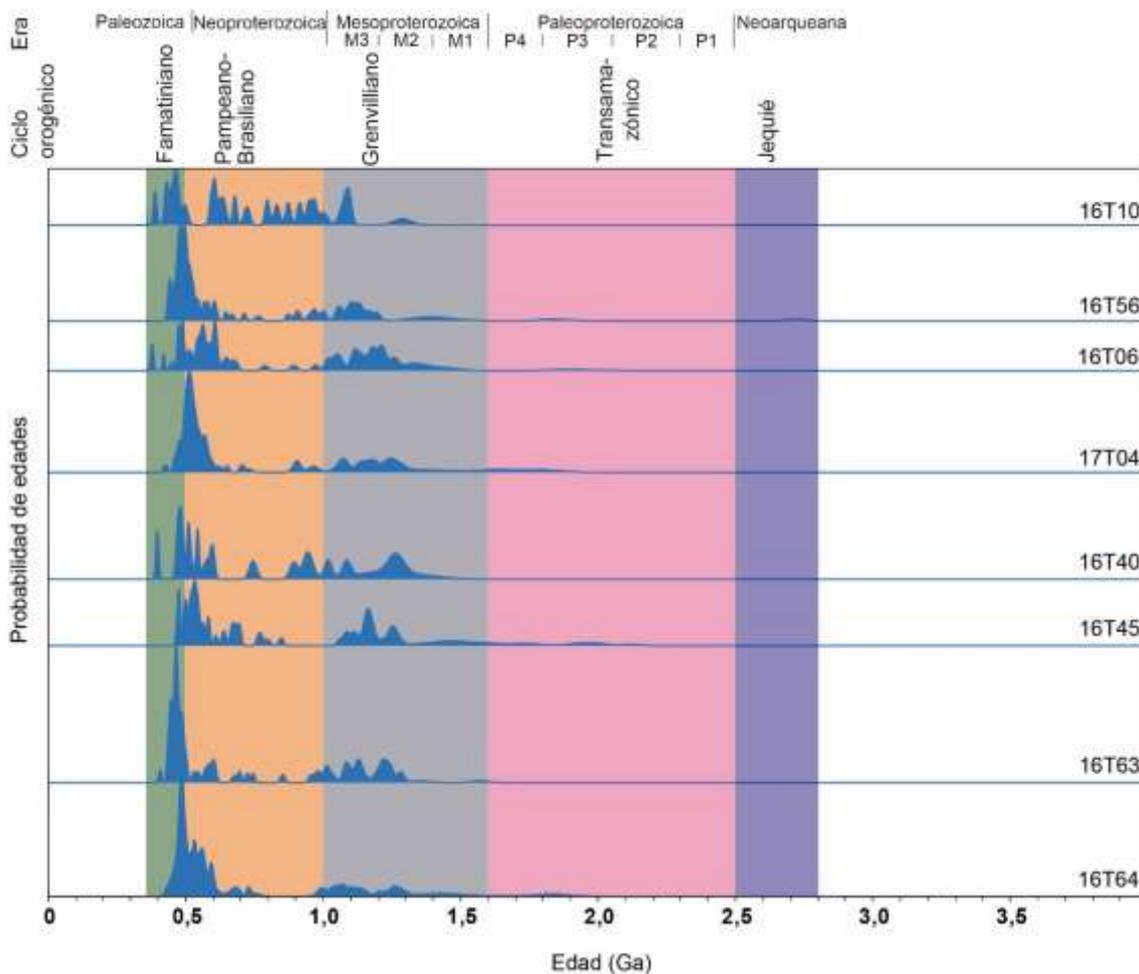
### C3. Análisis comparativo de edades.

Para lograr una comprensión de las fuentes que aportaron al relleno de esta cuenca y la identificación de patrones que permitan establecer diferencias y similitudes entre las muestras dentro de una misma unidad en diversos sectores de la misma, así como entre las diferentes unidades, se realizó un análisis comparativo de las edades de los circones detríticos, agrupando los registros de acuerdo a sus modas para cada muestra y los ciclos orogénicos que comprenden.

Las edades máximas de sedimentación requieren de un análisis particular ya que las unidades bajo estudio presentan un control bioestratigráfico preciso, y como se mencionó anteriormente, el registro fósil acota la edad de la unidad analizada frente a la ausencia de capas volcánicas que permitan obtener una edad precisa de la secuencia.

En la figura VI-23 se reúnen todos los gráficos de probabilidad relativa (curvas de probabilidad de edades) de todas las muestras, en los distintos sectores de la cuenca dispuestos desde el sector más septentrional (16T10) hasta la ubicada en la región austral (16T64) de la Formación Talacasto. En la misma se pueden apreciar picos dominantes de edades correspondientes a los ciclos orogénicos Famatiniano y Pampeano-Brasiliano y en menor medida, una distribución de edades correspondientes al Grenvilliano. Se destacan algunas excepciones, como es el caso de la muestra 16T06, la cual registra edades comprendidas entre 1014-1399 Ma como pico principal, las que constituyen junto con las edades neoproterozoicas (entre 542-973 Ma) las contribuciones más importantes. Otros casos particulares los presentan las muestras 16T10 y 16T40, ambas presentan un número reducido de datos analizados debido a la dificultad

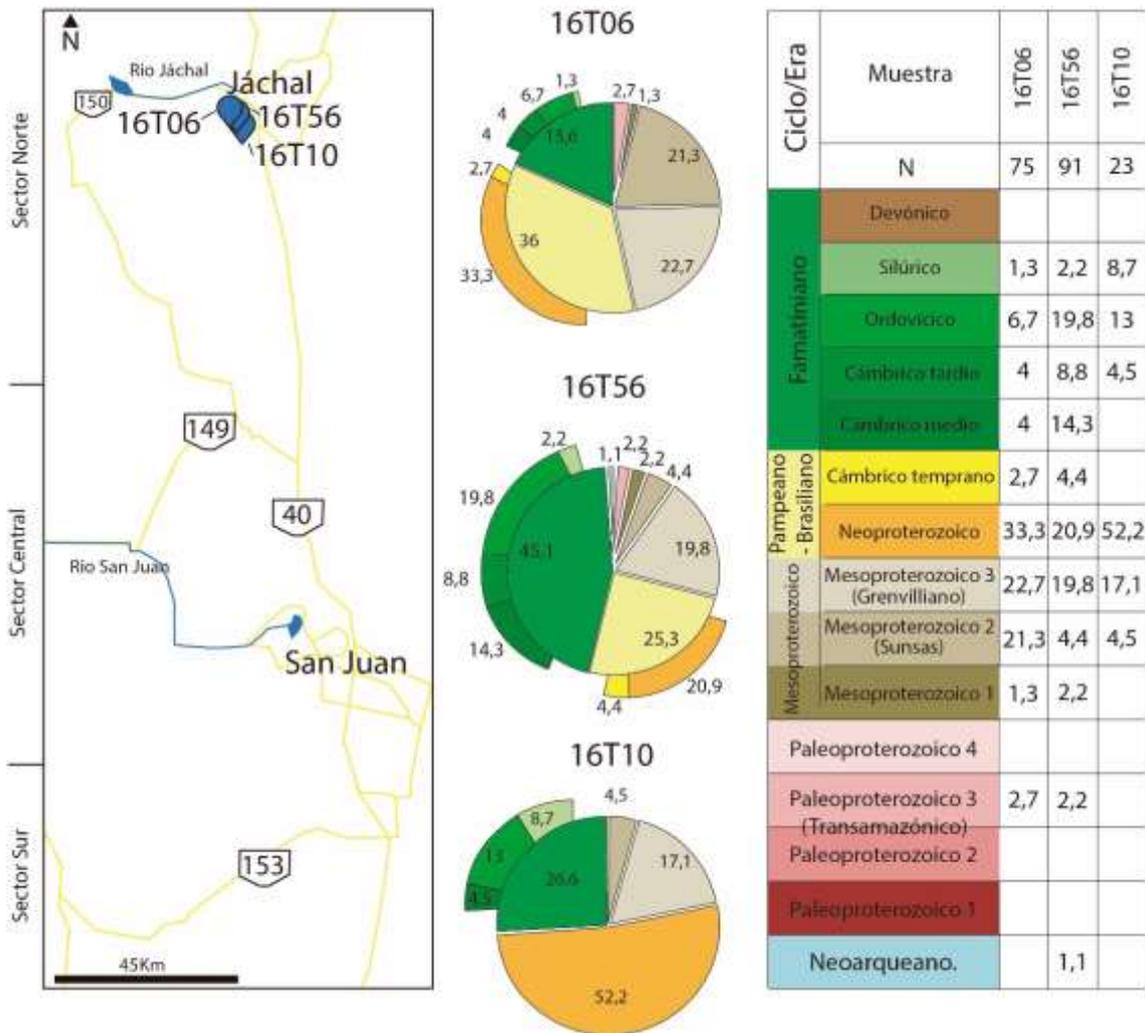
en la obtención de circones en rocas de granulometría arena fina. No obstante, los datos obtenidos son coherentes con el resto de las muestras analizadas por lo que fueron considerados. Un dato relevante de la unidad es que en la sección Norte de la cuenca, los picos dominantes están constituidos por aquellas edades neoproterozoicas, seguidas por las ordovícicas, mientras que, en la porción Central, esta relación se mantiene con predominio de edades neoproterozoicas, seguidas por las ordovícicas y mesoproterozoicas sugiriendo variaciones en las fuentes de aportes, pero registrando para esta sección un claro predominio en conjunto de las edades comprendidas dentro del ciclo orogénico Famatiniano.



**Figura VI-23.** Diagramas de distribución de probabilidad de edades para cada muestra de la Formación Talacasto. Los diferentes colores representan los ciclos orogénicos reconocidos para Sudamérica: Jejuí (Azul), Transamazónico (rosa), Grenvilliano (gris), Pampeano-Brasiliano (naranja) y Famatiniano (verde). Las muestras se encuentran dispuestas desde la ubicada en la región más septentrional hasta la tomada en la porción más austral de la cuenca.

En cuanto a las edades más jóvenes, las muestras 16T06, 16T40 y 16T63 presentan al menos un valor de Devónico: 376 Ma (Frasniano); 397 Ma (Emsiano) y 407 Ma (Pragian) respectivamente.

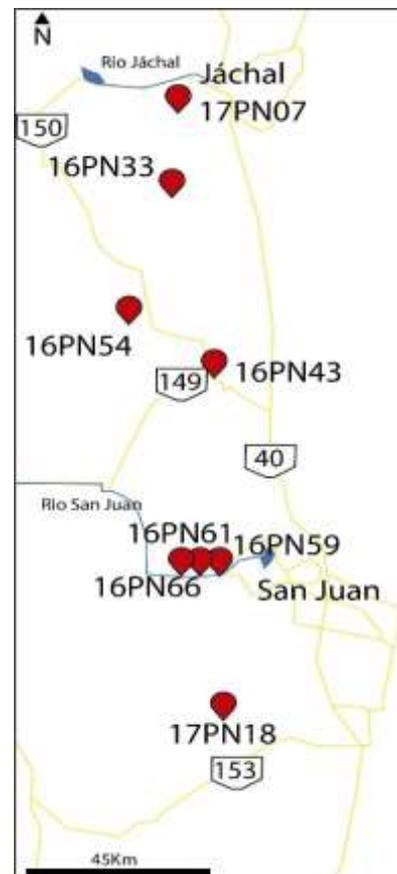
En el caso de la Formación Talacasto es posible realizar un análisis comparativo de las fuentes de detritos en la localidad de Loma de los Piojos, ya que en este sector fueron colectadas como se mencionó anteriormente, 3 muestras de la unidad teniendo como punto de referencia el horizonte guía de Keidel. La muestra 16T10 (por debajo del horizonte), la 16T56 (en la misma capa guía) y la 16T06 en los cuerpos arenosos ubicados por encima del nivel (Figura VI-24).



**Figura VI-24.** Diagramas de torta para la Formación Talacasto en la localidad de Loma de los Piojos. Desde la base del perfil (16T10), pasando por la propia capa guía (16T56) y llegando a la sección superior (16T06) podemos ver los cambios en las fuentes de detritos siendo las edades dominantes en un primer momento las neoproterozoicas, en la sección media estas edades se equiparan con las ordovícicas y stenianas, mientras que hacia el tope hay dominio de las edades ectasianas y stenianas. Datos expresados en %.

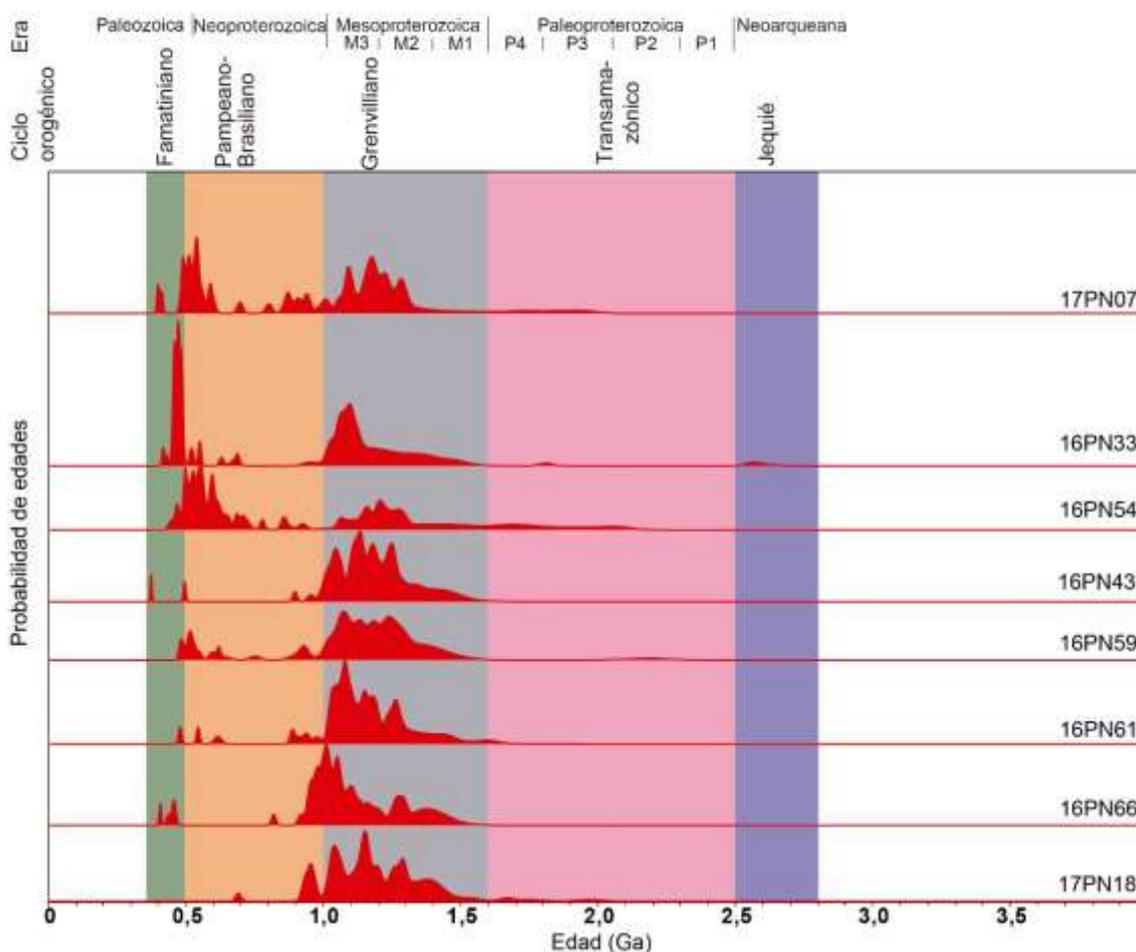
En esta figura, pueden verse los diagramas de tortas para cada muestra en donde se representan los porcentajes de cada fuente de detritos: en la muestra de la base del perfil la fuente dominante corresponde a edades neoproterozoicas, la moda secundaria se encuentra representada por edades stenianas seguidas de las ordovícicas. La capa guía de Keidel presenta una equidad entre las edades neoproterozoicas, ordovícicas y stenianas, para esta capa se obtuvo un circón de edad carbónica, aunque debido a la presencia de micro y microfósiles la edad de esta capa sería asignada al límite Pragiano-Emsiano por lo que este único valor no tendría coherencia. La muestra que representa la porción alta de la unidad exhibe un predominio de sedimentos de edades mesoproterozoicas cercano al 45% en donde los períodos Steniano y Ectasiano (Grenvilliano) se distribuyen equitativamente, estas son seguidas por edades neoproterozoicas con una importante representatividad (>33%). Por lo que de este análisis puede observarse una clara variación de la fuente de detritos para esta unidad en la región Norte en sentido vertical, esto evidencia un cambio en las áreas de aporte que se encontraban exhumadas, como así también probables variaciones en la dinámica de sedimentación que puede haber afectado los patrones de los componentes detríticos. A partir del análisis bioestratigráfico podemos definir que la secuencia fue depositada durante el Devónico Inferior, con variadas fuentes de detritos.

En la figura VI-25 se observa la distribución de las muestras analizadas en la cuenca para la Formación Punta Negra, esta distribución permite comparar a la unidad en sentido tanto latitudinal como longitudinal. Mientras que en la figura VI-26 se expone la probabilidad de edades para la Formación Punta Negra, donde las muestras fueron ubicadas en sentido Norte-Sur. A partir de este diagrama pueden observarse dos tendencias a mencionar: primero que en la porción Norte de la cuenca (muestras 17PN07, 16PN33 y 16PN54) se encuentra una clara tendencia unimodal con picos dominantes representados por edades de los ciclos Famatiniano o Pampeano-Brasiliano. Pero a partir de la ubicación de la muestra 16PN43, empieza a desarrollarse un claro aporte unimodal de detritos dominado casi exclusivamente por edades mesoproterozoicas, sobrepasando el 70% de los datos analizados en todos los casos, y siendo dentro de estas dominantes las correspondientes al ciclo orogénico Grenvilliano (stenianas) con aportes comparativamente muy reducidos de fuentes correspondientes a los ciclos Pampeano-Brasiliano y Famatiniano. Hay que destacar algunos



**Figura VI-25.** Distribución de muestras para análisis U-Pb de la Formación Punta Negra.

casos particulares como la muestra 16PN43 en la cual, de los 87 circones datados, el 94,3% corresponden a edades mesoproterozoicas y de ellos el 54% quedan comprendidos entre 1006 y 1198 Ma (edades grenvillianas). Otra muestra a señalar es la ubicada en la porción más austral de la cuenca (17PN18) la cual presenta el 80% de edades mesoproterozoicas, pero de estas, 43% está representado por el Ectasiano.



**Figura VI-26.** Diagramas de distribución de probabilidad de edades para cada muestra de la Formación Punta Negra. Los diferentes colores representan los ciclos orogénicos reconocidos para Sudamérica: Jequié (Azul), Transamazónico (rosa), Grenvilliano (gris), Pampeano-Brasiliano (naranja) y Famatiniano (verde). Las muestras se encuentran dispuestas desde la ubicada en la región más septentrional hasta la tomada en la porción más austral de la cuenca.

Al intentar realizar un análisis comparativo longitudinal sobre el margen del río San Juan, encontramos que las tres muestras (16PN59, 16PN61 y 16PN66) orientadas en sentido Este a Oeste presentan valores de porcentajes de familia de edades semejantes con claro dominio del Steniano y Ectasiano, seguido por edades neoproterozoicas y una escasa participación inferior al 3,4% de edades ordovícicas. Las edades jóvenes de esta unidad se registraron principalmente en

las muestras ubicadas en la región Norte y Centro de la cuenca (17PN07, 16PN33 y 16PN43) registrando valores de 400 Ma (Emsiano), 417 Ma (Lochkoviano) y 374 Ma (Frasniano) respectivamente. Mientras que las edades antiguas se asignaron al Paleoproterozoico y al Neoarqueano, las primeras coincidentes con el ciclo orogénico Transamazónico (Rhyaciano y Orosiriano), mientras que la neoarqueana con un valor 2604 Ma fue registrada en la muestra 16PN33 (Figura VI-26).

### C3a. Formación Talacasto vs. Formación Punta Negra.

Al pretender realizar un análisis comparativo entre ambas unidades, no resulta posible integrar los datos por tratarse de una extensa cuenca, sin un control estratigráfico preciso, especialmente en la región Sur y Oeste de la misma, por lo tanto, cualquier comparación entre estas unidades conduciría a una interpretación errónea. La metodología de trabajo escogida para poder llevar adelante la comparación, fue analizar los datos por localidades de muestreo en sentido Norte-Sur donde se cuente con al menos una muestra de la Formación Talacasto y otra de La Formación Punta Negra, tomando como referencia el nivel guía de Keidel (cuando es posible), ya que de esta manera podemos dilucidar si hay cambios en la vertical en las fuentes de detritos que aportaron a la cuenca para cada sector. Fueron entonces seleccionadas 4 localidades:

- Quebrada de las Aguaditas (sudoeste de Jáchal).
- Río de las Casitas.
- Quebrada de Talacasto.
- Río San Juan.

En la figura VI-27 encontramos los diagramas de torta para cada muestra distribuidas en sentido Norte-Sur, acompañados por un cuadro donde se resumen los porcentajes presentes para cada una, a su vez se mencionan las tres modas principales, de esta manera podemos tener una aproximación más rápida de las fuentes dominantes de edades que llegaron a cada una de las localidades de estudio. A modo de una primera aproximación se puede observar que la moda principal en las muestras de la Formación Talacasto se asigna a las edades neoproterozoicas, mientras que para la Formación Punta Negra estas están representadas en todos los casos por las edades stenianas. El análisis detallado por localidad de estudio permite encontrar cambios en las fuentes de detritos entre ambas unidades de estudio.

- Quebrada de las Aguaditas:

Se observa que la Formación Talacasto presenta patrones de aporte sedimentarios dominados por las edades neoproterozoicas que, junto a las cámbricas inferiores integran al ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano, siendo este la fuente principal de sedimentos. Las mismas edades son registradas en la Formación Punta Negra en esta localidad, pero estas dejan de ser las

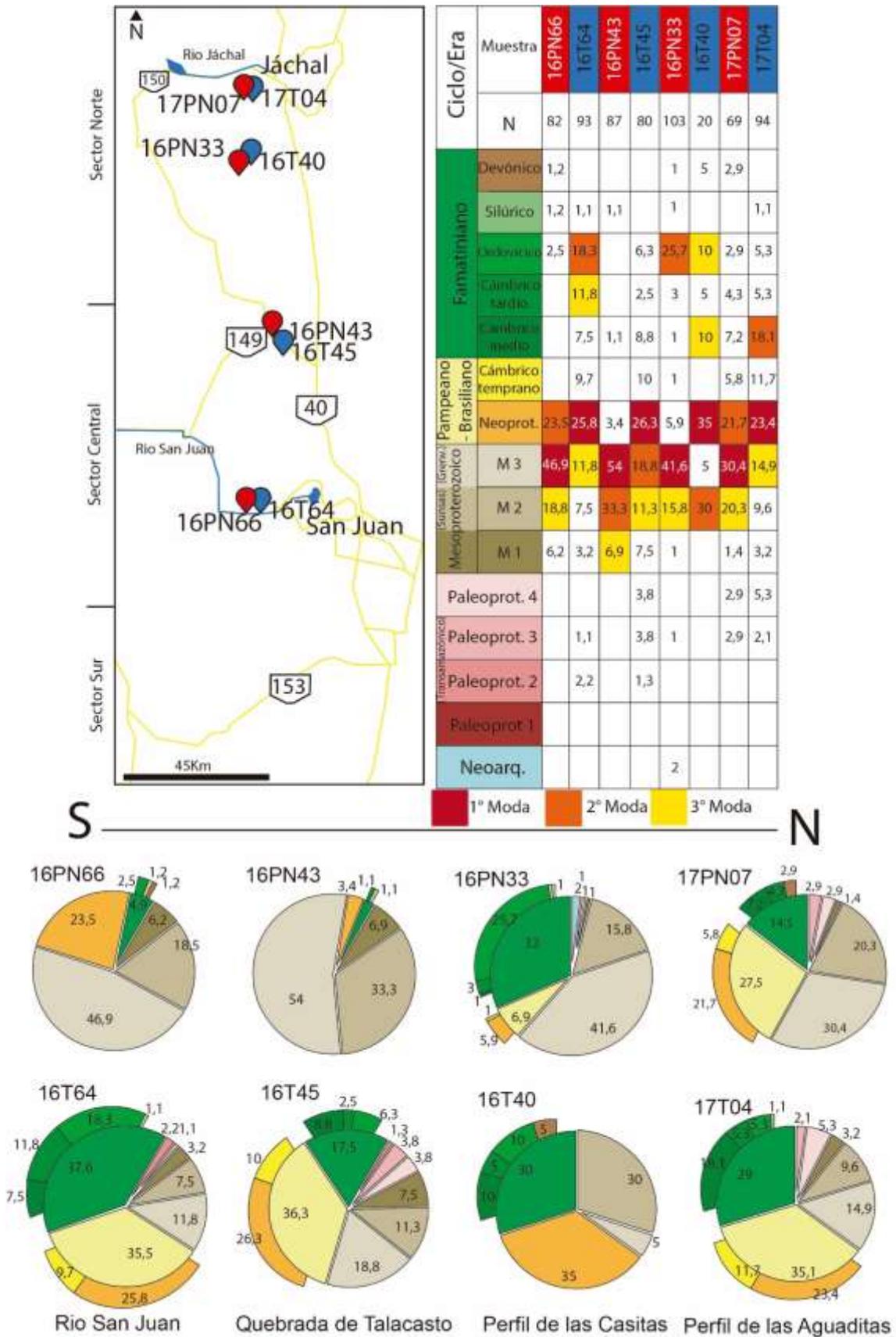
dominantes para dar paso a una sedimentación encabezada por aquellas edades mesoproterozoicas, principalmente las stenianas y también destacándose las correspondientes al Ectasiano asignadas al ciclo orogénico Grenvilliano. Estas mismas edades en la Formación Talacasto otorgan al Mesoproterozoico un porcentaje total que lo ubica como tercera moda en abundancia. Es de destacar en esta formación el elevado porcentaje de las edades cámbricas medias, que constituye la segunda fuente de detritos más representada, siendo estas mismas prácticamente la mitad en la Formación Punta Negra. Otra característica a resaltar es que ambas unidades registran sedimentos de fuentes antiguas, principalmente paleoproterozoicas, las cuales podrían corresponder en parte, al ciclo orogénico Transamazónico (Figura VI-27).

- Río de las Casitas:

En este sector observamos que la Formación Talacasto se encuentra representada equitativamente por tres ciclos orogénicos, con un leve dominio en orden de abundancia del Pampeano-Brasiliano sobre el Grenvilliano y Famatiniano. La moda principal de edades corresponde al Neoproterozoico. La Formación Punta Negra en esta localidad presenta una moda principal de edades mesoproterozoicas, dominada ampliamente por las stenianas. Mientras que las neoproterozoicas quedan muy relegadas y poco representadas. Por su parte el ciclo Famatiniano continúa con una representatividad semejante a la unidad infrayacente, con dominio de edades ordovícicas y cámbricas medias. Fue posible registrar una edad neoarquena, lo que evidencia junto al alto porcentaje de edades mesoproterozoicas y a la baja participación de edades neoproterozoicas a cámbricas inferiores un cambio en las fuentes de aportes para esta localidad. Sin embargo, podemos encontrar cierta semejanza entre las dos localidades analizadas hasta el momento, mientras que estas presentan una disparidad muy grande con las muestras ubicadas hacia el centro de la cuenca (Figura VI-27).

- Quebrada de Talacasto:

De la comparación entre las dos unidades en esta localidad, se destaca prácticamente la ausencia en la unidad superior del Grupo Gualilán de las edades asignadas a los ciclos orogénicos Famatiniano y Pampeano-Brasiliano siendo las edades stenianas y ectasianas ampliamente dominantes con más del 95% de los datos analizados. Por el contrario, estas edades ausentes en la Formación Punta Negra se encuentran bien representadas en la Formación Talacasto, particularmente las edades neoproterozoicas que conforman la moda principal. Es de destacar en esta muestra, la presencia de edades cámbricas tempranas con porcentajes similares a la 17T04 del perfil de las Aguaditas. Siendo evidente que para esta localidad con la conspicua participación de edades mesoproterozoicas y la escasa participación de otras, existe un cambio rotundo en la fuente de detritos para este momento en la cual las rocas del ciclo orogénico Grenvilliano conformarían las áreas de aportes exhumadas expuestas a los agentes erosivos (Figura VI-27).



**Figura VI-27.** Parte superior izquierda: Mapa con ubicación de muestras; derecha: se presenta la tabla con las muestras analizadas en la comparación por localidad expresando los porcentajes de edades para cada una, en ella se mencionan la moda principal, secundaria y terciaria. M1: Calymmiano, M2: Ectasiano, M3: Steniano. En la parte inferior pueden verse los diagramas de torta orientados en sentido Norte-Sur y ubicados estratigráficamente.

- Río San Juan:

El análisis comparativo entre ambas unidades para esta sección de la cuenca arrojó patrones de sedimentación similares a los de la quebrada de Talacasto. La unidad inferior del Grupo Gualilán presenta como moda principal de detritos a las edades neoproterozoicas, sin embargo, discrepa de la localidad anteriormente analizada por los altos porcentajes aportados por las edades comprendidas dentro del ciclo orogénico Famatiniano, particularmente las edades ordovícicas las cuales son próximas al 20% y cámbricas medias 11,8%. Por su parte, la muestra 16PN66 diverge de la unidad infrayacente en esta localidad, con una moda principal dominada ampliamente por edades stenianas. Es de destacar como segunda fuente de detritos a rocas de edades neoproterozoicas, mientras que en esta unidad las edades comprendidas dentro del ciclo orogénico Famatiniano se encuentran escasamente representadas.

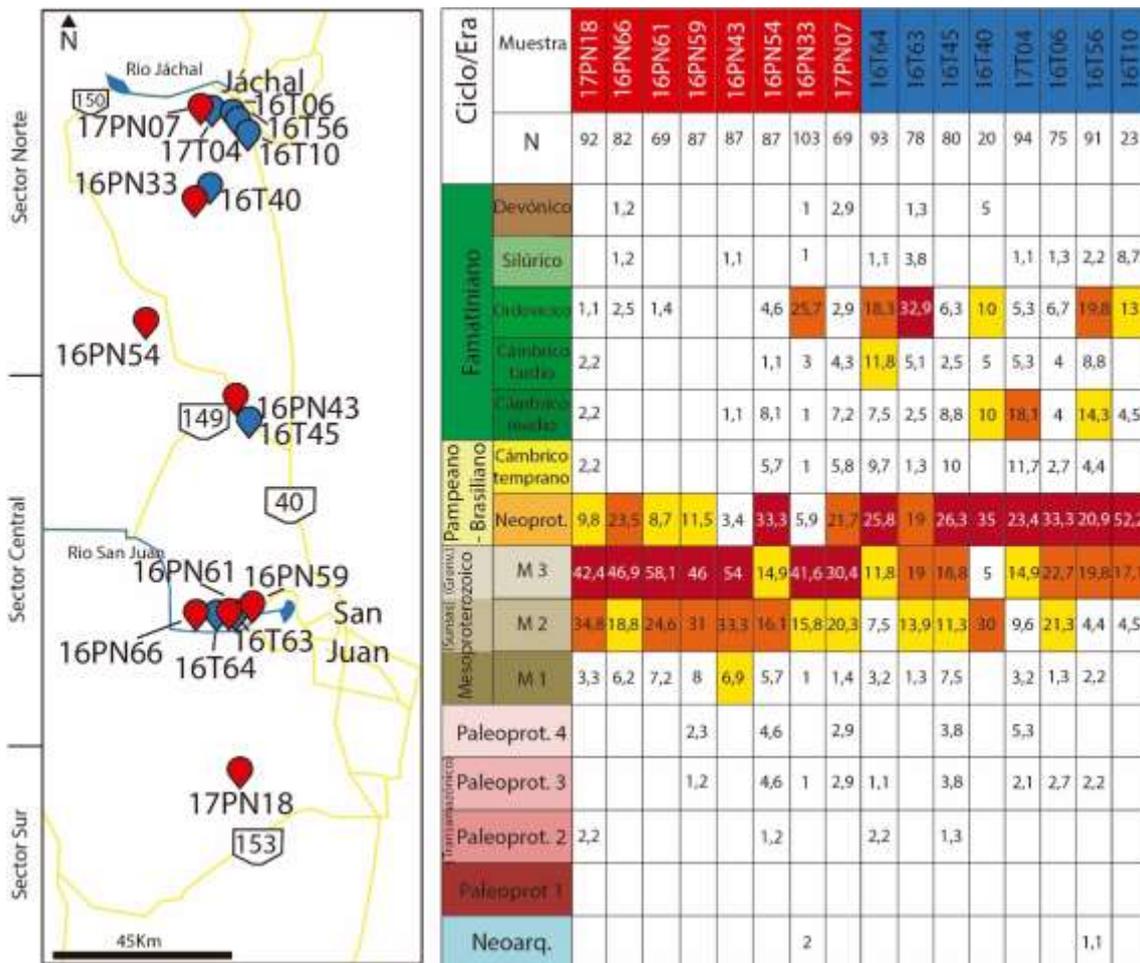
#### C3b. Análisis comparativo expresado en forma porcentual.

Debido al número elevado de muestras y gráficos presentes en este capítulo, es que se pretende realizar el análisis comparativo expresado en porcentajes, ya que este permite una mejor visualización de los resultados obtenidos en los análisis de circones detríticos. La metodología elegida fue el agrupamiento de los cristales según sus edades y expresar el contenido en forma porcentual respecto al total de circones analizados para cada muestra. De igual forma, se calculó la proporción que estos representan respecto a los ciclos orogénicos al cual pertenecen. En la figura VI-28 se resume el total de muestras analizadas.

Los resultados fueron representados en gráficos de barras tanto para el registro de edades individuales como para la cuantificación de los ciclos.

Lo primero que hay que mencionar para las muestras de la Formación Talacasto es la heterogeneidad de las fuentes de detritos, quedando registradas la diversidad de los diferentes lapsos temporales. Se destaca en todas las secciones analizadas una participación preponderante de las edades neoproterozoicas, las mismas oscilan entre 20,4% - 48%, constituyendo la fuente principal de aportes detríticos para toda la secuencia; estas edades sumadas a las cámbricas inferiores integran el ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano, presentando este sus mayores aportes en la región Norte de la cuenca. No obstante, dentro de la unidad encontramos algunas excepciones: la muestra 16T63 presenta como moda principal a las fuentes de edad ordovícica (32,9%), estas edades se registran para todas las muestras de la unidad, pero representan los

mayores aportes en la región Centro-Sur de la cuenca. En concordancia con la alta presencia de edades ordovícicas acompañadas por las restantes edades que integran al ciclo Famatiniano, hacen de este la fuente predominante de detritos en el sector más austral de la región Central (Figura VI-29g-h). En relación a estas edades para el Norte del área de estudio, en la localidad de Loma de los Piojos se destaca la muestra 16T56, la cual representa al denominado horizonte guía de Keidel, registrando una alta proporción de edades famatinianas, particularmente ordovícicas y cámbricas medias. La sumatoria de edades en esta muestra posiciona al ciclo orogénico Famatiniano como la fuente principal de detritos (Figura VI-29b).

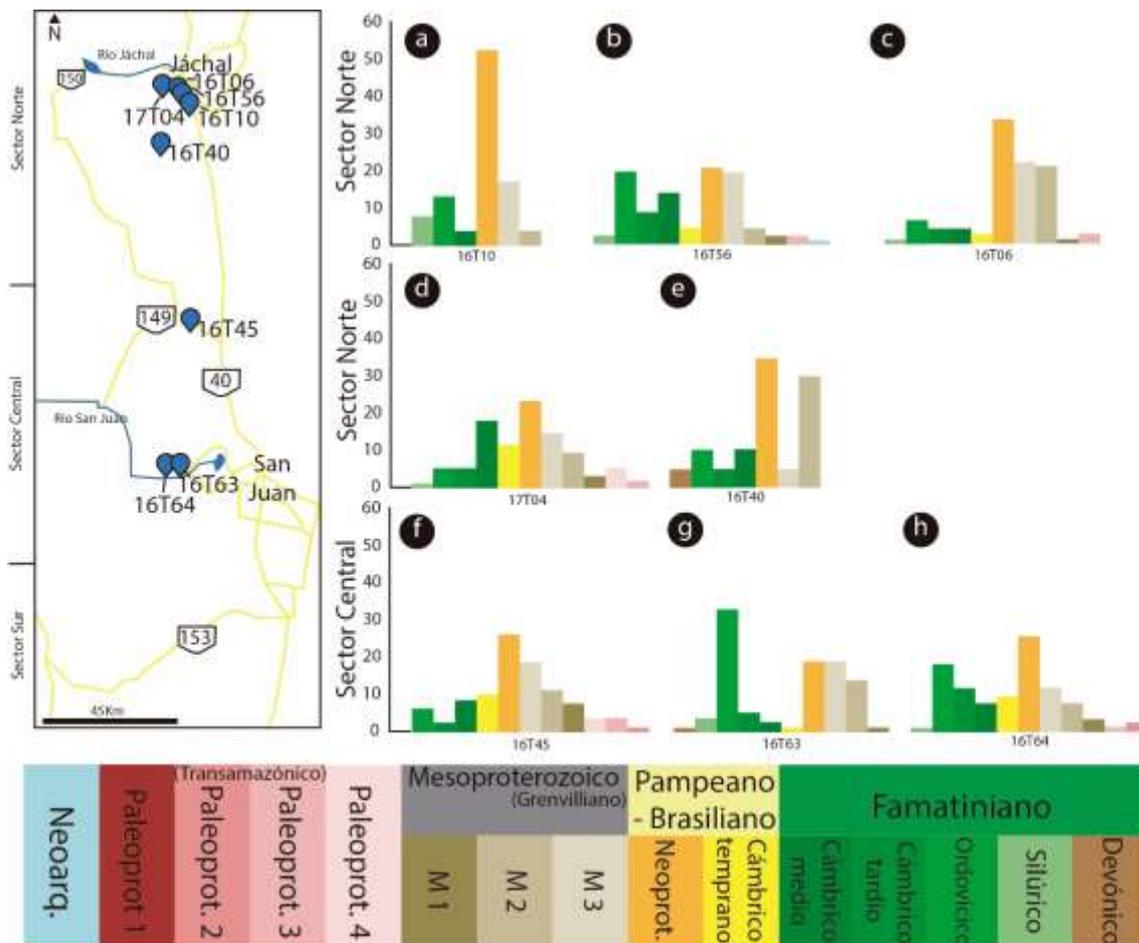


**Figura VI-28.** Izquierda: mapa con ubicación de muestras. Derecha: Se presentan en forma porcentual todos los valores de edades obtenidos para cada muestra analizada. En la parte superior de la tabla en rojo aparecen las muestras de la Formación Punta Negra orientadas de Norte a Sur (derecha a izquierda) y en azul las muestras de la Formación Talacasto orientadas de Norte a Sur (derecha a izquierda). Además, se identificaron las tres modas principales. Rojo: moda principal, naranja: moda secundaria y amarillo: moda terciaria. M1: Calymmiano, M2: Ectasiano, M3: Steniano.

Otro aporte importante de sedimentos a la cuenca son los derivados de fuentes de edad mesoproterozoica particularmente las edades stenianas, que en numerosas oportunidades integra

la moda secundaria (Figura VI-28). Si bien estas edades se encuentran representadas en todas las muestras, en ningún caso llegan a conformar la moda principal, sin embargo, la sumatoria de las edades mesoproterozoicas constituyen en promedio alrededor del 30% de las edades registradas.

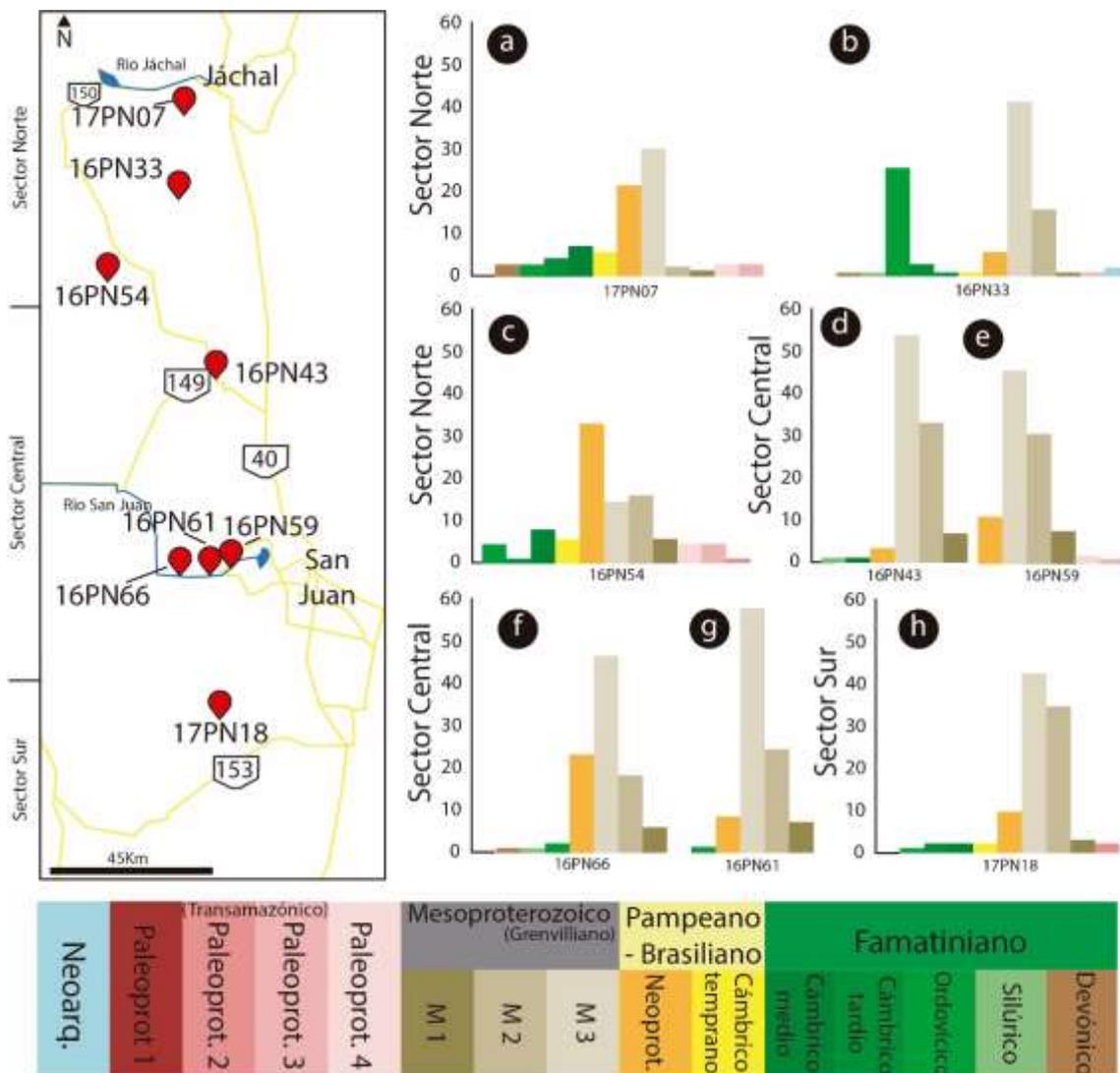
De manera menos relevante, pero presentes en la mayoría de las muestras, las edades cratónicas paleoproterozoicas participan siempre por debajo del 10%; menos frecuentes se hallan edades nearqueanas, donde fue registrado en una única oportunidad (16T56).



**Figura VI-29.** Izquierda: Mapa de ubicación de muestras. Derecha: Gráficos de barras representando el contenido de circones detríticos de acuerdo a las edades para cada muestra de la Formación Talacasto. Los resultados se expresan en porcentajes respecto al número total de circones presentes en cada muestra. M1: Calymmiano, M2: Ectasiano, M3: Steniano.

Si realizamos un análisis similar para la segunda unidad de estudio, Formación Punta Negra, podemos observar que esta presenta una mayor homogeneidad en las edades de las fuentes de sedimentos al menos para algunos sectores de la cuenca (Figura VI-30). Lo primero a tener en cuenta es que en todas las muestras analizadas son preponderantes las edades grenvillianas, las cuales constituyen la moda principal. También es posible observar como los rellenos sedimentarios que llegan a los diferentes sectores varían de acuerdo a sus edades. Las muestras

ubicadas en la región Norte de la cuenca muestran una distribución de sus componentes similares a las de la Formación Talacasto en cuanto a la heterogeneidad, pero siempre con predominio de las edades stenianas. Por otro lado, estas muestras (17PN07 y 16PN33) tienen como modas secundarias a edades neoproterozoicas y ordovícicas respectivamente. Otra muestra con comportamiento similar y la única de la unidad analizada que no presenta moda principal mesoproterozoica es la 16PN54, en ella dominan las edades neoproterozoicas, seguidas de las mesoproterozoicas. Al agrupar las edades en sus respectivos ciclos orogénicos vemos que las mismas presentan porcentajes levemente superiores del ciclo Pampeano-Brasiliano, seguido por el ciclo Grenvilliano.



**Figura VI-30.** Izquierda: Mapa de ubicación de muestras. Derecha: Gráficos de barras representando el contenido de circones detríticos de acuerdo a las edades para cada muestra de la Formación Punta Negra. Los resultados se expresan en porcentajes respecto al número total de circones presentes en cada muestra. M1: Calymmiano, M2: Ectasiano, M3: Steniano.

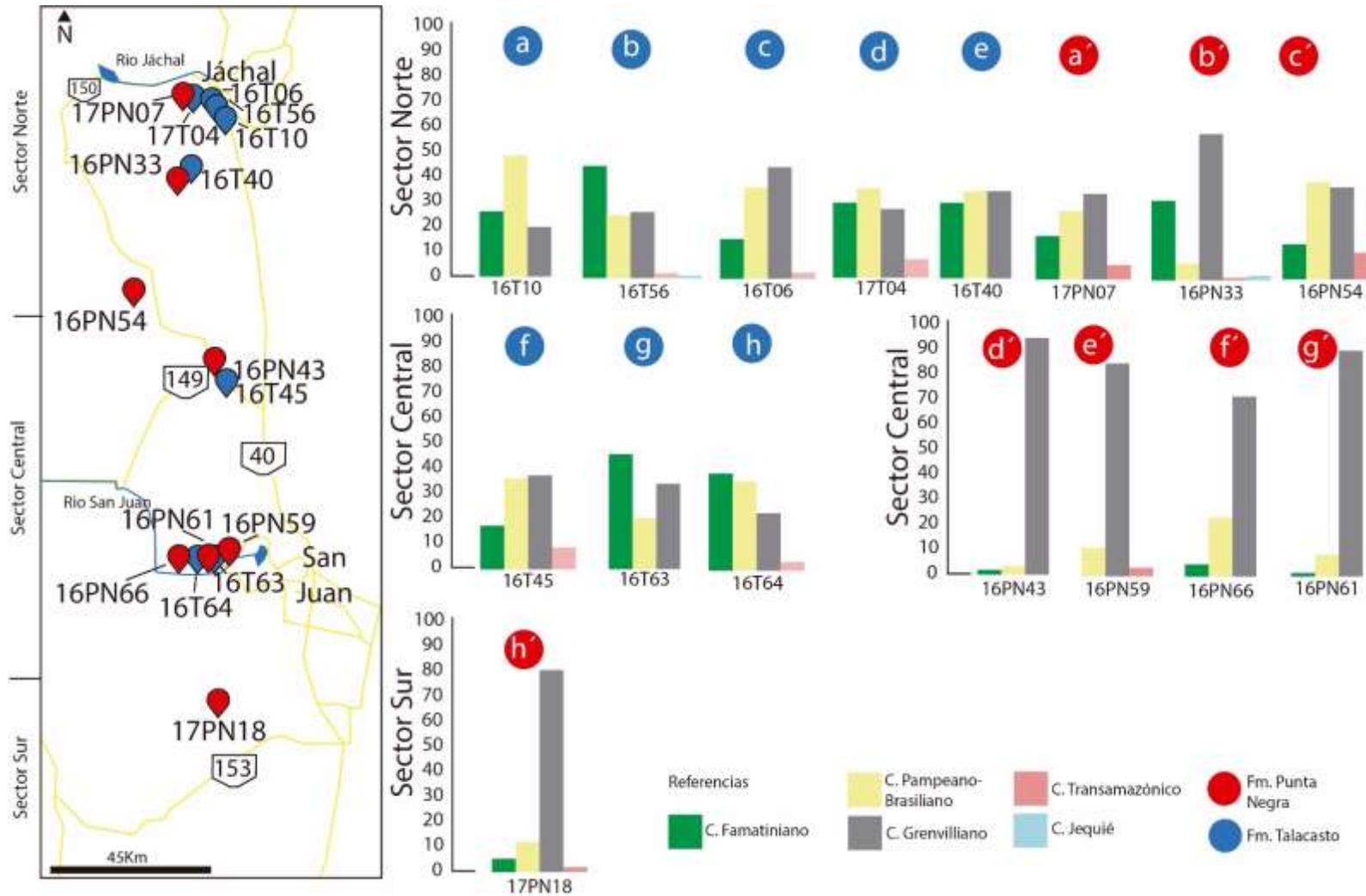
Las restantes muestras analizadas tanto de la región central como de la porción Sur de la cuenca mostraron un claro dominio de la sedimentación aportado por las edades mesoproterozoicas, principalmente stenianas. La muestra 16PN43 se encuentra constituida por un 54% de edades comprendidas en este lapso temporal, que al sumarlos a las edades ectasianas y calymmianas alcanzan un valor superior al 90%. Similares comportamientos exhibieron las restantes muestras de la porción Central y la muestra de la región Sur (Figura VI-30e-f-g-h) donde el dominio de edades mesoproterozoicas es muy claro. Es de destacar que las edades ectasianas constituyen la moda secundaria de detritos a excepción de la muestra 16PN66, donde el porcentaje que representa estas edades alcanzó el 34,8 % (17PN18), mientras que en promedio de las restantes muestras de la región representa el 30% de los datos obtenidos. Para este sector el ciclo Pampeano-Brasiliano representa la moda secundaria si tenemos en cuenta la sumatoria de edades por ciclos, en ningún caso supera el 12%, mientras que el ciclo orogénico Famatiniano abarca menos del 10% o directamente se encuentra ausente (Figura VI-30d-e-f-g-h).

Las edades ‘cratónicas’ quedan representadas principalmente por el Paleoproterozoico, pero siempre por debajo del 10%, mientras que la muestra 16PN33 registró edades arqueanas que corresponderían al ciclo orogénico Jequié.

A modo de resumen, la Formación Talacasto presenta una moda principal de edades neoproterozoicas, seguida según el caso por edades ordovícicas o stenianas. De acuerdo a la distribución de los ciclos orogénicos no hay un dominio de un ciclo en particular en la totalidad de las muestras, sino que en general se distribuyen equitativamente, a excepción de las muestras 16T56 y 16T63 en donde el ciclo orogénico Famatiniano actúa como fuente principal de detritos (Figura VI-31b-g). Por su parte, la Formación Punta Negra presenta una moda principal de edades stenianas, seguidas en la mayoría de los casos analizados por edades ectasianas, las excepciones la conformarían las muestras 17PN07 y 16PN54 con modas secundarias neoproterozoicas y la muestra 16PN33 con moda secundaria ordovícica. A nivel de ciclos orogénicos hay un claro dominio del Grenvilliano por sobre los demás ciclos de sedimentación, la excepción la constituye la muestra 16PN54 en donde tanto el Pampeano-Brasiliano y Grenvilliano se distribuyen de forma prácticamente equitativa (Figura VI-31c’).

### C3c. Comparación de edades de poblaciones de circones detríticos (*K-S test*).

El test estadístico de Kolmogorov-Smirnov (*K-S test*) permite evaluar cuantitativamente el grado de similitud entre las edades de poblaciones de circones detríticos de dos muestras, que pone a prueba la hipótesis nula de que dos poblaciones independientes resulten ser iguales o deriven de la misma población original (Canover, 1971).

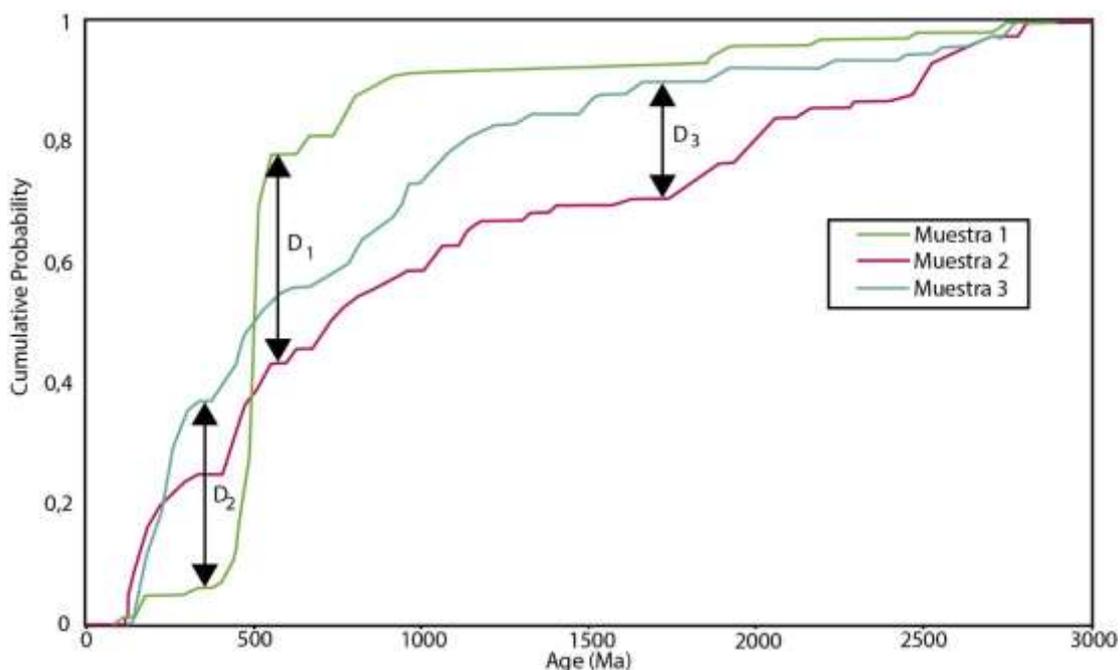


**Figura VI-31:** Gráficos de barras para los ciclos orogénicos registrados en cada muestra (Formación Punta Negra: rojo, Formación Talacasto: azul) en base a las edades y proporción de circones detríticos presentes. Los resultados se expresan en porcentajes respecto al número total de circones analizados en cada muestra.

El *K-S test* es una prueba no paramétrica, que compara las curvas de probabilidad acumulada de edades de circones detríticos entre dos muestras, para determinar la probabilidad (valor P) que dos curvas (edades U-Pb) deriven de una misma población original a partir de un muestreo aleatorio. Es decir, el test se basa en la CDF (*Cumulative distribution function* – Función o curva de distribución acumulada) en lugar de la PDF (*probability density function*- Función o curva de densidad de probabilidad). Específicamente, el *K-S test* compara la diferencia de probabilidad máxima entre dos CDF (diferencia vertical máxima entre dos curvas) (Figura VI-32).

Si la diferencia observada ( $D_{obs}$ ) es mayor que un cierto valor crítico ( $D_{crit}$ ) la hipótesis nula es rechazada y las dos muestras probablemente no provienen de la misma población (por ejemplo, circones detríticos de dos muestras que no derivan de la misma región fuente).

Como criterio para la comparación de las poblaciones de circones detríticos se utiliza un valor  $P \leq 0,05$ ; indicando que hay una probabilidad de 95% que la diferencia entre dos poblaciones sometidas a prueba no es debido a un error de muestreo al azar, sino más bien que estas dos muestras derivan de diferentes poblaciones originales, por lo cual la hipótesis nula es rechazada (DeGraaff-Surpless *et al.*, 2003). El valor D representa la distancia máxima entre las curvas de frecuencia acumulada en las dos poblaciones analizadas. Muestras estrictamente idénticas tendrán valores de  $P=1$  y  $D=0$ .



**Figura VI-32.** Gráficos de probabilidad acumulada de los datos de edades U-Pb de circones detríticos mostrando la máxima diferencia (D) entre las CDFs.  $D_1$  es la máxima distancia entre la muestra 1 y muestra 2;  $D_2$  entre muestra 1 y muestra 3 y  $D_3$  entre muestra 2 y muestra 3.

Los resultados de la comparación de las curvas de probabilidad acumulada de edades de circones detríticos aplicando el *K-S test* (Tabla VI-2, Figura VI-33) revela que las distribuciones de edades mayormente no son estadísticamente diferentes entre las muestras tanto de la Formación Talacasto como las de la Formación Punta Negra, para un intervalo del 95% de confianza, y la prueba no rechaza la hipótesis nula que las muestras fueron extraídas de la misma población original. Esto sugiere una marcada correlación entre la mayor parte de las muestras de ambas unidades.

Las muestras de la Formación Talacasto mostraron altos grados de correlación entre sí, aunque no se observa un patrón distintivo en alguna de las tres regiones analizadas (Figura VI-33a). Sin embargo, tres de las muestras: dos de la región Norte y una de la Central presentan niveles de correlación elevados con muestras de las mismas regiones para la Formación Punta Negra, siendo también posible la correlación entre estas muestras dentro de la unidad.

Para la Formación Punta Negra hay un fuerte índice de correlación entre las muestras ubicadas en la región Centro-Sur (Figura VI-33b). No obstante, se observa que la muestra 16PN66 presenta nulo valor de correlación con las demás comparadas, probablemente responde a variaciones de índice local en los aportes de detritos. Es de destacar que dentro de la unidad no es posible establecer correlaciones entre las muestras analizadas para las diferentes regiones, ya que se evidencia una fuerte diferencia en la fuente de sedimentos. La muestra 16PN54 arroja patrones similares a algunas de las muestras de la Formación Talacasto, por lo que sí es posible establecer la correlación entre ambas unidades a partir de esta muestra (Tabla VI-2, figura VI-33b).

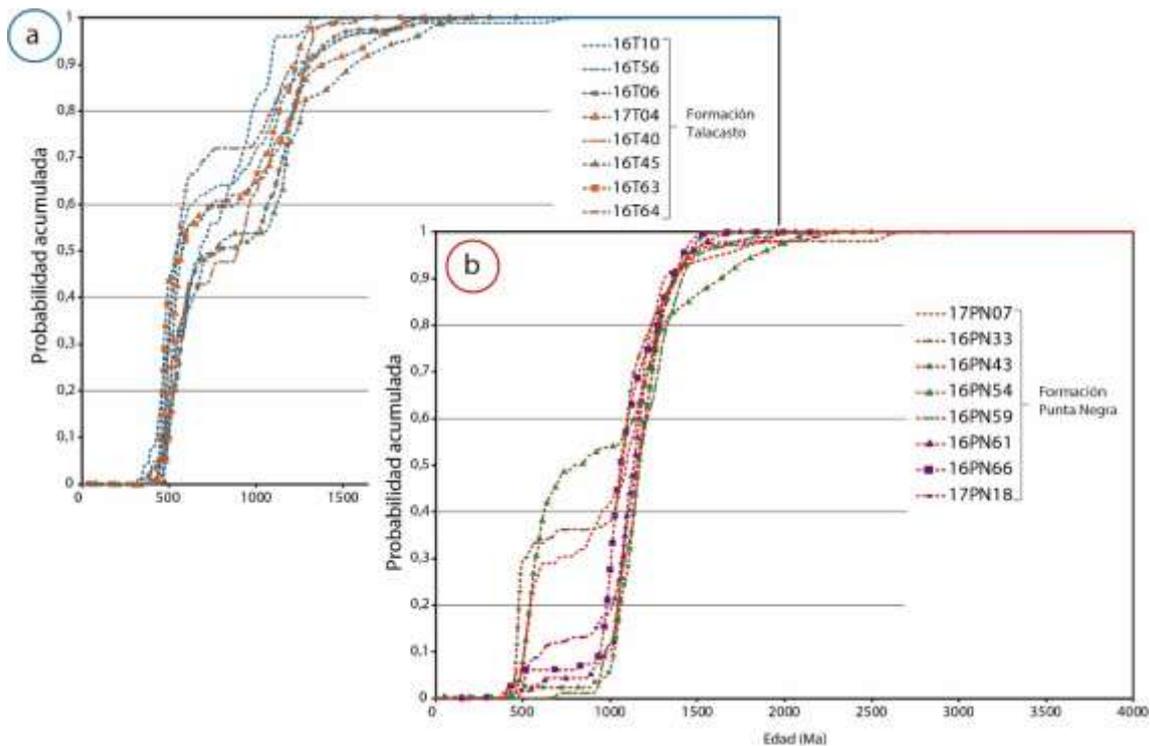
De una manera gráfica la Figura VI-33a permite visualizar como las muestras de la Formación Talacasto presentan valores de probabilidad acumulada altos en las edades jóvenes y luego el desplazamiento de la curva hacia las edades más antiguas se hace menos pronunciado. Por el contrario, la Formación Punta Negra comienza con valores de frecuencias acumuladas muy reducidos para las edades jóvenes mientras que una vez alcanzado los 1000 Ma tienen ascensos abruptos como evidencia del dominio de estas edades dentro de los sedimentos analizados (Figura VI-33b). Dos muestras de esta unidad: 17PN07 y 16PN33 de la región Norte, al presentar comportamientos intermedios se ubican en la porción media del gráfico. La excepción dentro de la unidad la marca la muestra 16PN54 la cual tiene un comportamiento semejante a la unidad infrayacente del Grupo Gualilán.

Al comparar ambas unidades a partir las curvas resultantes del *K-S Test* para las mismas muestras y localidades analizadas en la sección C3a de este capítulo, observamos diferentes comportamientos: por un lado, las muestras ubicadas en la región Norte, en el perfil de Las Aguaditas muestran diseños de curvas que si bien comienzan con un diseño similar a partir de los 600 Ma esta se separar tomando caminos diferentes, la Formación Talacasto, representada por la muestra 17T04 continua con un sentido vertical como consecuencia de la relevante presencia de

K-S P-values using error in the CDF																
Muestras	16T10	16T56	16T06	17T04	16T40	16T45	16T63	16T64	17PN07	16PN33	16PN43	16PN54	16PN59	16PN61	16PN66	17PN18
16T10		0,226	0,038	0,186	0,662	0,012	0,497	0,084	0,003	0,001	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
16T56	0,226		0,002	0,031	0,454	0,002	0,259	0,903	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16T06	0,038	0,002		0,064	0,984	0,829	0,003	0,004	0,118	0,238	0,000	0,652	0,000	0,000	0,000	0,000
17T04	0,186	0,031	0,064		0,789	0,159	0,000	0,109	0,002	0,001	0,000	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000
16T40	0,662	0,454	0,984	0,789		0,846	0,313	0,163	0,327	0,182	0,000	0,791	0,000	0,000	0,001	0,002
16T45	0,012	0,002	0,829	0,159	0,846		0,000	0,003	0,069	0,036	0,000	0,983	0,000	0,000	0,000	0,000
16T63	0,497	0,259	0,003	0,000	0,313	0,000		0,049	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16T64	0,084	0,903	0,004	0,109	0,163	0,003	0,049		0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
17PN07	0,003	0,000	0,118	0,002	0,327	0,069	0,000	0,000		0,027	0,000	0,118	0,000	0,002	0,003	0,033
16PN33	0,001	0,000	0,238	0,001	0,182	0,036	0,001	0,000	0,027		0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,002
16PN43	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,788	0,488	0,000	0,399
16PN54	0,009	0,000	0,652	0,038	0,791	0,983	0,000	0,001	0,118	0,013	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
16PN59	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,788	0,000		0,694	0,003	0,374
16PN61	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,488	0,000	0,694		0,015	0,874
16PN66	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,015		0,024
17PN18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,033	0,002	0,399	0,000	0,374	0,874	0,024	

D-values using error in the CDF																
Muestras	16T10	16T56	16T06	17T04	16T40	16T45	16T63	16T64	17PN07	16PN33	16PN43	16PN54	16PN59	16PN61	16PN66	17PN18
16T10		0,235	0,324	0,245	0,216	0,366	0,190	0,284	0,422	0,444	0,758	0,374	0,709	0,725	0,631	0,631
16T56	0,235		0,291	0,212	0,207	0,281	0,155	0,084	0,336	0,338	0,655	0,315	0,656	0,619	0,591	0,527
16T06	0,324	0,291		0,202	0,113	0,100	0,288	0,272	0,197	0,155	0,485	0,115	0,506	0,463	0,444	0,375
17T04	0,245	0,212	0,202		0,157	0,171	0,318	0,176	0,291	0,272	0,596	0,210	0,608	0,554	0,542	0,471
16T40	0,216	0,207	0,113	0,157		0,150	0,236	0,271	0,237	0,262	0,574	0,158	0,527	0,539	0,472	0,448
16T45	0,366	0,281	0,100	0,171	0,150		0,339	0,273	0,213	0,211	0,513	0,072	0,526	0,494	0,464	0,403
16T63	0,190	0,155	0,288	0,318	0,236	0,339		0,208	0,357	0,290	0,599	0,359	0,609	0,577	0,547	0,486
16T64	0,284	0,084	0,272	0,176	0,271	0,273	0,208		0,415	0,358	0,696	0,287	0,709	0,677	0,659	0,590
17PN07	0,422	0,336	0,197	0,291	0,237	0,213	0,357	0,415		0,227	0,360	0,192	0,357	0,321	0,293	0,228
16PN33	0,444	0,338	0,155	0,272	0,262	0,211	0,290	0,358	0,227		0,338	0,231	0,352	0,319	0,301	0,268
16PN43	0,758	0,655	0,485	0,596	0,574	0,513	0,599	0,696	0,360	0,338		0,497	0,099	0,135	0,315	0,134
16PN54	0,374	0,315	0,115	0,210	0,158	0,072	0,359	0,287	0,192	0,231	0,497		0,513	0,475	0,450	0,385
16PN59	0,709	0,656	0,506	0,608	0,527	0,526	0,609	0,709	0,357	0,352	0,099	0,513		0,114	0,280	0,137
16PN61	0,725	0,619	0,463	0,554	0,539	0,494	0,577	0,677	0,321	0,319	0,135	0,475	0,114		0,256	0,094
16PN66	0,631	0,591	0,444	0,542	0,472	0,464	0,547	0,659	0,293	0,301	0,315	0,450	0,280	0,256		0,226
17PN18	0,631	0,527	0,375	0,471	0,448	0,403	0,486	0,590	0,228	0,268	0,134	0,385	0,137	0,094	0,226	

**Tabla VI-2:** Resultados del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov (*K-S Test*, con error en la CDF) para todas las muestras analizadas. **a:** Valores de P: En blanco,  $P < 0,05$ ; en amarillo:  $P > 0,05$ . **b:** Valores D.

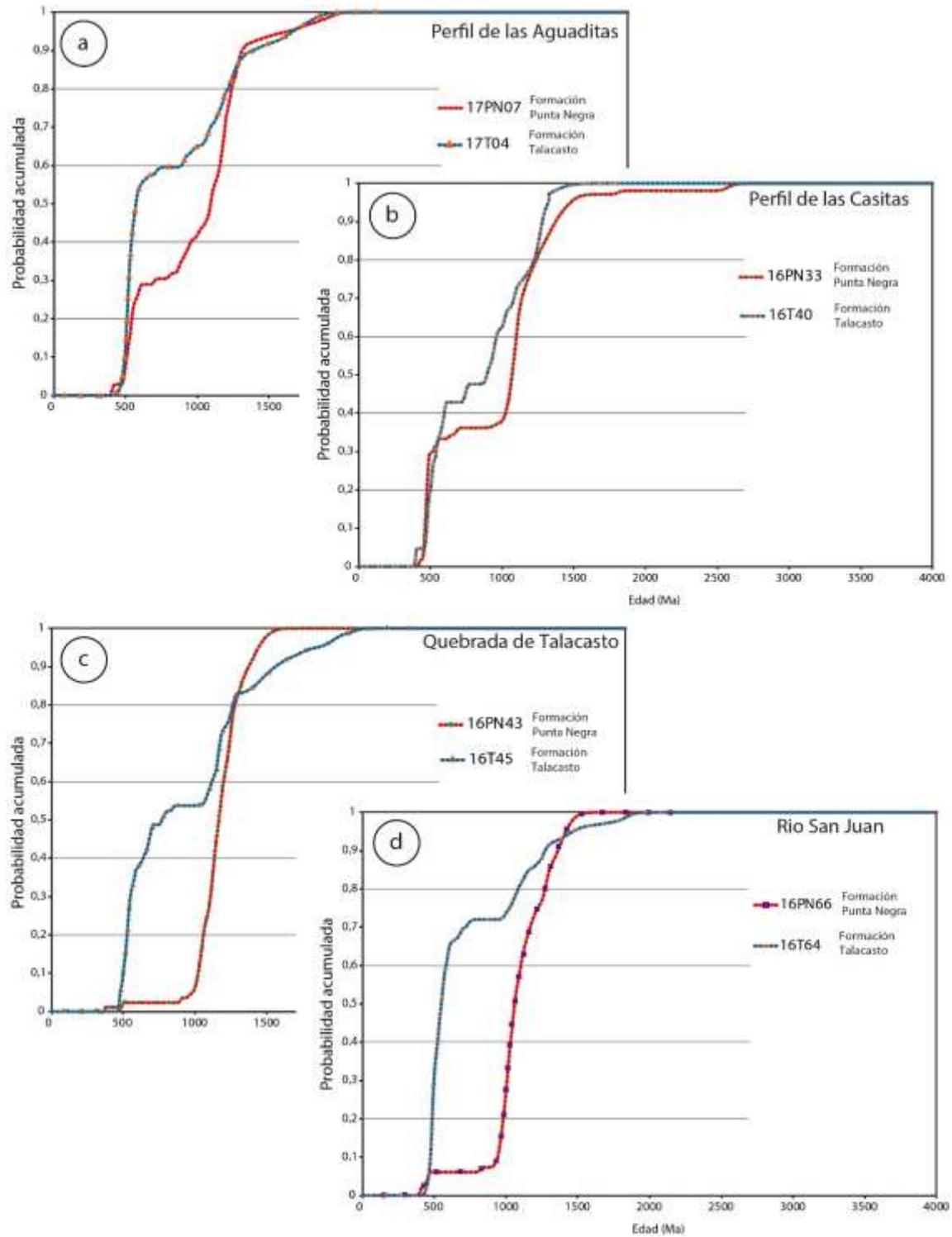


**Figura VI-33.** Gráficos de probabilidad acumulada de los datos de edades U-Pb de circones detríticos para muestras de **a:** Formación Talacasto (trazo azul) y **b:** Formación Punta Negra (trazo rojo).

edades famatinianas y pampeanas-brasilianas (Figura VI-34a), mientras que el diseño de curva de la Formación Punta Negra, representada por la muestra 17PN07, presenta un desplazamiento hacia las edades grenvillianas, llegando a los 1000 Ma toma un sentido vertical como consecuencia de las abundantes edades de este lapso temporal (Figura VI-34a).

También en la región Norte, se analizó el diseño de curvas de frecuencias acumuladas para las muestras procedentes del perfil de Las Casitas, allí el diseño para ambas muestras, resultó ser similar con una leve separación de las curvas hacia las edades del Neoproterozoico (Figura VI-34b). Este diseño similar de las curvas se condice con los valores de correlación elevados entre ambas muestras.

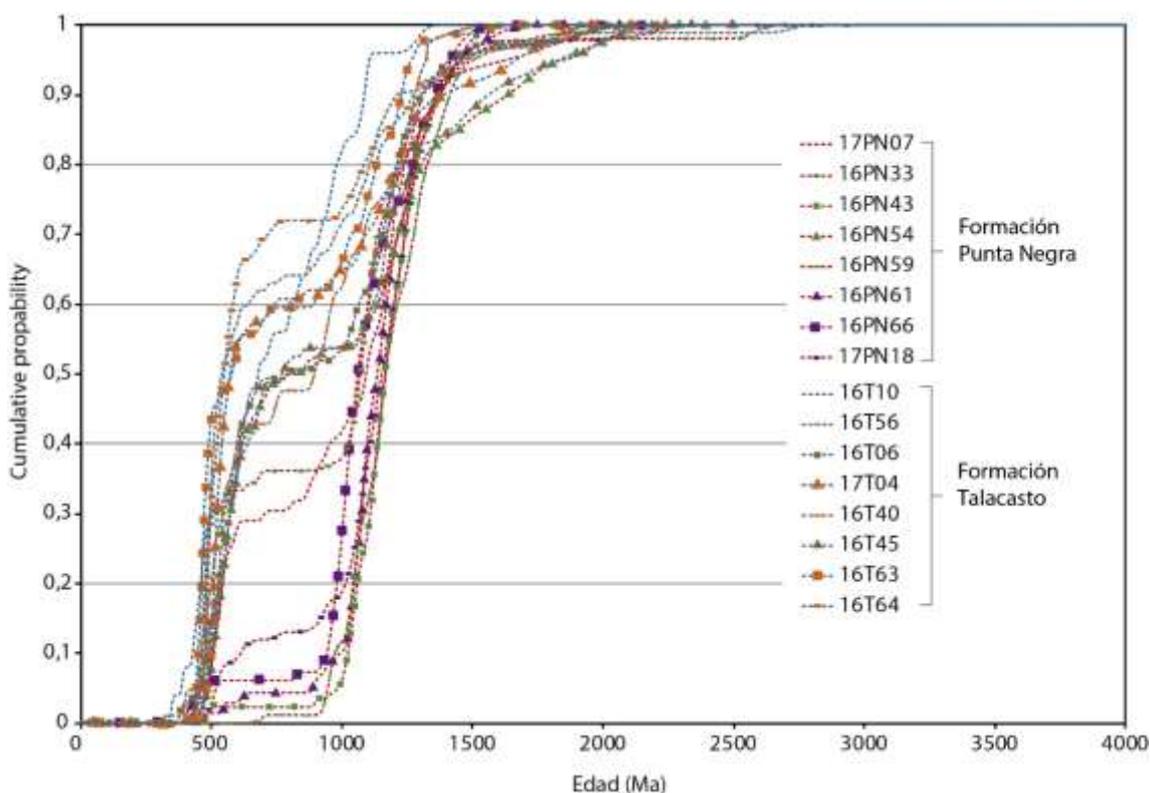
Los patrones de curvas de frecuencias acumuladas en la región Central para la Formación Talacasto resultan ser muy homogéneos a las muestras de la región Norte, confirmando nuevamente la homogeneidad en las fuentes de detritos que aportaron a esta unidad. Por lo contrario, el cambio en las fuentes de sedimentos queda muy representado en las muestras de la región Central donde puede verse un patrón de curvas entre ambas unidades muy disímil, en donde las muestras de la Formación Punta Negra presentan un rápido desplazamiento de sus curvas hacia los valores grenvillianos, una vez alcanzados, toman un diseño vertical, el cual pone de manifiesto la elevada representatividad de estas edades (Figuras VI-34c-d).



**Figura VI-34.** Gráficos de probabilidad acumulada de los datos de edades U-Pb de circones detríticos para 4 localidades de muestreo: **a:** Perfil de Las Aguaditas, **b:** Perfil de las Casitas, **c:** Quebrada de Talacasto, **d:** Rio San Juan.

En la Figura VI-35 se representan todas las curvas obtenidas para ambas unidades, allí es posible distinguir dos comportamientos diferentes, por un lado las muestras de la Formación Talacasto más las muestras de la región Norte de la Formación Punta Negra con alta frecuencia

de edades jóvenes, presentan diseños inicialmente empinados y luego un suave transición hacia edades más antiguas, por lo contrario, las muestras de la Formación Punta Negra de la región Centro-Sur muestran escasa representatividad de edades jóvenes por lo que hay un rápido desplazamiento hacia la derecha hasta alcanzar las edades mesoproterozoicas, luego se disponen verticalmente, evidenciado la alta representatividad de estas edades para esta muestras (Figura VI-35).

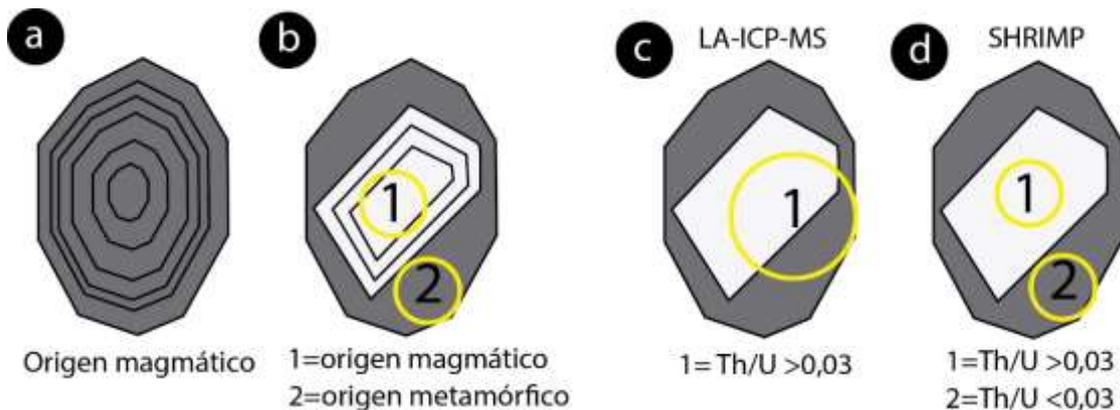


**Figura VI-35.** Gráficos de probabilidad acumulada de los datos de edades U-Pb de circones detríticos para muestras de la Formación Talacasto (trazo azul) y Formación Punta Negra (trazo rojo).

#### D. PROCEDENCIA.

Una primera aproximación sobre el origen de las fuentes de detritos, es posible de establecer efectuando un análisis de la textura interna de los granos de circón previo a la obtención de edades por U-Pb. De esta manera, las imágenes de catodoluminiscencia dejan al descubierto la textura interna de cada circón. Aquellos granos con zonación interna concéntrica son asociados a fuentes de origen magmático (Figura VI-36a), mientras que aquellos que presentan parches en distintas orientaciones, se entiende que la última fracción cristalizada de ese grano se asociaría con un origen metamórfico. Los núcleos denominados como heredados suelen encontrarse presentes en algunos cristales de circón que registran más de un evento geológico (Figura VI-36b), de acuerdo a la textura de la recristalización que lo envuelve es posible diferenciar entre dos eventos magmáticos o una recristalización metamórfica sobre el núcleo de un circón formado previamente (Corfu *et al.*, 2003). Otro índice que permite la estimación del origen de las fuentes

de detritos, es la relación Th/U (Williams y Claesson, 1987; Hoskin y Black, 2000; Rubatto, 2002; Gatewood y Stowell, 2012). Las concentraciones de estos dos elementos son obtenidas a partir del análisis isotópico, donde si el cociente entre ambos es mayor ( $>$ ) a 0,03 indica un posible origen magmático (Figura VI-36c), y si este valor es menor ( $<$ ) se lo asocia con un origen metamórfico (Figura VI-36d). En este sentido hay dos factores que son de suma importancia y que se encuentran íntimamente relacionados al pretender realizar estas estimaciones: por un lado, el tamaño del grano de circón a analizar y por otro, la metodología empleada para el análisis. Por ejemplo, si contamos con un circón de dimensiones reducidas y utilizamos la metodología LA-ICP-MS, la cual presenta un tamaño del *spot* del láser mayor ( $\approx 30 \mu\text{m}$ ) podemos obtener un promedio en estos elementos si el circón registra más de un evento geológico, mientras que si para el mismo grano de circón se le efectúa el análisis mediante la metodología SHRIMP, que cuenta con un tamaño de *spot* del láser más reducido ( $\approx 19 \mu\text{m}$ ), esta permite discriminar entre el núcleo heredado y el reborde metamórfico, por lo que obtendremos diferentes valores que revelen el origen para cada evento. Por ejemplo en la Figura VI-36d se representa un núcleo generado por cristalización primaria y reborde generado por un proceso metamórfico secundario.



**Figura 36.** Esquema con estimación de la fuente de origen a partir de la estructura interna del grano de circón. **a:** zonación oscilatoria: fuente magmática; **b:** circón con estructura compleja, núcleo heredado (magmático) y reborde (metamórfico). Estimación de la fuente de origen a partir de la relación Th/U. **c:**  $\text{Th}/\text{U} > 0,03 =$  magmático; **d:**  $\text{Th}/\text{U} < 0,03 =$  metamórfico.

En el caso de las muestras analizadas del Grupo Gualilán, siempre se utilizó la primera metodología. A partir de las imágenes de catodoluminiscencia (CL), muy pocos circones exhibieron núcleos heredados por lo que en primera instancia se interpretan como generados bajo un posible origen magmático. Esto fue corroborado con el cociente Th/U en donde más del 90% de los granos analizados presentaban valores mayores a 0,03.

Con esto *in mente*, sumado a que como se mencionó en capítulos previos, las paleocorrientes indican un movimiento de los sedimentos en sentido Este-Oeste principalmente (Astini, 1990a; González Bonorino, 1975; González Bonorino y Middleton, 1976; Bustos, 1995;

de Luca y Basilici, 2013; Basilici *et al.*, 2012), se procedió a interpretar las posibles áreas de aporte/rocas fuentes de detritos.

Las edades más antiguas representan menos del 10% y se agrupan en aquellas comprendidas dentro del Paleoproterozoico (Rhyaciano, Orosiriano y Statheriano) y otro pequeño grupo de registro Neoarqueano (2588- 2719 Ma), debido a sus características internas y relación Th/U, indicarían una probable procedencia de áreas con rocas plutónicas asociadas, estos lapsos temporales son registrados hacia el Este del área de estudio y corresponderían con rocas formadas durante el ciclo orogénico Transamazónico y Jequié respectivamente.

El grupo de edades en circones detríticos estadísticamente más representativos pertenecen al Mesoproterozoico, donde la gran mayoría de los circones presentan texturas simples en las imágenes de CL, sugiriendo una procedencia de estos circones desde zonas con rocas plutónicas. Esto se ve confirmado por los valores superiores a 0,03 de la relación Th/U. De manera secundaria (muy escasos granos de circón) presentaron texturas complejas de origen metamórfico; sugiriendo una procedencia de estos desde zonas conformadas por rocas metamórficas de medio a alto grado.

Dentro de las edades mesoproterozoicas, se destacan por su abundancia las correspondientes al Steniano, el cual sería equivalente junto a parte del Esteniano al ciclo orogénico Grenvilliano. Estas edades suelen ser las dominantes dentro de la Formación Punta Negra, principalmente en las muestras ubicadas en la porción Centro-Sur de la cuenca donde los picos dominantes se hallan representados por (1012, 1077, 1080, y 1132 Ma). Dentro de las edades mesoproterozoicas aparecen importantes picos que quedan comprendidos dentro del Ectasiano entre los que se incluyen aquellos de valores (1210, 1246, 1250, 1265 y 1292 Ma) para las mismas muestras. En resumen, para esta unidad, los circones detríticos con edades entre 1000-1200 Ma son los más abundantes en las muestras del Centro-Sur de la cuenca, seguidos por las edades comprendidas entre 1200-1400 Ma. A su vez se interpretan que provienen desde una zona similar, caracterizada por el predominio de rocas ígneas principalmente plutónicas, seguidas en menor proporción por rocas metamórficas. Mientras que en la Formación Talacasto las edades mesoproterozoicas suelen conformar la moda secundaria o terciaria, y no hay una clara tendencia en cuanto a la abundancia y la llegada de detritos dentro de la cuenca.

El grupo de edades neoproterozoicas está presente principalmente en las muestras de la Formación Talacasto (16T10, 16T56, 16T06, 17T04, 16T40, 16T45 y 16T64). Se reconoce un pico cercano a los 600 Ma, donde los circones muestran baja luminiscencia, siendo posible visualizar una zonación oscilatoria la cual se vincularía a un origen magmático, lo que sugiere una procedencia desde áreas expuestas con rocas ígneas neoproterozoicas. Es importante destacar que las muestras de la región Norte (16T06 y 16T40), poseen un grupo de circones con edades entorno a los 775 Ma, con texturas de origen ígneo.

Las edades famatinianas registradas para la Formación Talacasto, presentan picos importantes en dos regiones de la cuenca. Al Norte, la muestra 16T56 registró un pico dominante

de edades ordovícicas, seguidas por las cámbricas medias. Mientras que hacia el Sur las muestras 16T63 y 16T64 presentan sus picos principales con edades ordovícicas seguidas por aquellas cámbricas tardías. Es de destacar que dentro de esta unidad la muestra 17T04 cuenta con un pico dominante dentro de este ciclo orogénico, con predominio de las edades cámbricas medias.

Por su parte, en la Formación Punta Negra, las edades ordovícicas se encuentran conformando un pico importante en la muestra 16PN33, siendo esta la segunda moda en abundancia. Para ambas unidades los circones referidos a este lapso temporal se encuentran preservando características externas originales y sus estructuras internas se asocian principalmente a fuentes de origen ígneo plutónico. Esto es corroborado por las concentraciones en ppm de los elementos Th y U, que indican que los cristales analizados derivarían de estos tipos de rocas fuentes.

Una vez descripta la distribución y proporción en la que participan los circones detríticos, es posible al menos, de forma aproximada, entender la procedencia y regiones fuentes de los materiales clásticos que rellenaron la cuenca. De esta manera, para definir las principales fuentes de circones detríticos, se detallarán los componentes de mayor a menor edad.

**Arqueano a Paleoproterozoico:** resulta probable que las rocas generadoras del pequeño conjunto de circones de estas edades deriven de la erosión del cratón del Río de la Plata. Si bien las paleocorrientes indican un movimiento de los detritos en sentido Este-Oeste la escasa participación de estas edades en esta cuenca y otras cuencas siluro-devónicas de Sudamérica, haría pensar que estas áreas se encontrarían en su mayor parte cubiertas, muy distantes o separadas por alguna barrera topográfica y no proporcionarían grandes cantidades de sedimentos a la cuenca, sin descartar la posibilidad de que estos deriven del reciclado de otras rocas sedimentarias formadas previamente.

**Mesoproterozoico:** Los afloramientos más importantes de rocas del Mesoproterozoico Tardío ocurren en casi todo el margen occidental de América del Sur. Las edades que comprenden el lapso entre 1000-1200 Ma, agrupadas como la moda más predominante en la región Centro-Sur de la cuenca para la Formación Punta Negra, reflejan la importancia del evento Mesoproterozoico conocido parcialmente como cinturón orogénico Sunsás (Cordani *et al.*, 2000; Schwartz y Gromet, 2004; Casquet *et al.*, 2006; Rapela *et al.*, 2007; Adams *et al.*, 2008; Willner *et al.*, 2008; do Santos *et al.*, 2008; Ramos 2009; 2010, y sus referencias) o también llamado Grenvilliano. En Argentina la fuente de circones detríticos de esta edad podría proceder del terreno Cuyania, el cual cuenta con un basamento de esta edad (Grenvilliano) de afinidad Lauréntica, con sus afloramientos ubicados al Este de la cuenca de estudio principalmente exhumados en las sierras de Pie de Palo, Umango, Espinal y Maz, como otros afloramientos menores en los bloques de San Rafael y Las Matras, por lo que podrían constituir la fuente principal de edades mesoproterozoicas (Mingramm, 1985; Kay *et al.*, 1996, Sato *et al.*, 2004; Cingolani *et al.*, 2005; Ellis, 2005; McClelland *et al.*, 2005; Vujovich *et al.*, 2004, 2005; Rapela

*et al.*, 2005, 2010; Varela *et al.*, 2011). Asimismo, no se puede descartar la posible contribución desde el cratón del Amazonas, principalmente de la provincia geocronológica de Rondonia-San Ignacio con rangos de edades de 1300-1450 Ma. Esta provincia, ubicada en el sudoeste del cratón del Amazonas, se compone de un basamento metamórfico de edad 1,55 a 1,33 Ga (Tassinari *et al.*, 2000). El principal problema encontrado al analizar estas edades, es que las mismas derivan de circones con texturas plutónicas, lo cual no sería coherente debido a la ausencia de circones ígneos en la provincia de Rondonia- San Ignacio, la cual se caracteriza por la presencia de circones con texturas metamórficas. Esto dificulta la hipótesis de que la provincia geocronológica de Rondonia-San Ignacio sea el área de aporte para los circones del Mesoproterozoico Medio, hallados en la unidad superior del Grupo Gualilán.

**Neoproterozoico:** Las poblaciones de circones detríticos de origen ígneo hallados en la Formación Talacasto (*ca.* 600) y otro cercano a las 750 Ma, sugieren fuertemente la existencia de actividad ígnea en las áreas aledañas para esos tiempos. Las edades de 600 Ma estarían vinculadas a las Sierras Pampeanas orientales. Mientras que las edades cercanas a 750 Ma podrían derivar de rocas producidas por un evento magmático representado en la Sierra de Pie de Palo, donde Baldo *et al.* (2006) describieron un ortogneis cuyos circones analizados arrojaron una edad U-Pb SHRIMP de 774 ±6 Ma. Esto sugiere para la Formación Talacasto, una procedencia desde el basamento de la Sierra de Pie de Palo o desde un área similar.

**Cámbrico:** como fue mencionado en este capítulo, el lapso temporal abarcado por este periodo fue subdividido en tres segmentos: temprano o inferior, medio y tardío o superior. Las edades cámbricas inferiores representadas fundamentalmente en la Formación Talacasto podrían vincularse con las Sierras Pampeanas Orientales, particularmente a las sierras del Norte de Córdoba y Santiago del Estero donde se registran edades en granitoides y subvolcánicos de 555-525-512 Ma (Gordillo, 1996; Lira *et al.*, 2014; Ramos *et al.*, 2015), o de las Sierras Chica, Grande, de Pocho y Comechingones donde el pico metamórfico y magmático comprende el lapso temporal entre 525-515 Ma (Rapela *et al.*, 1998, Sims *et al.*, 1998; Gromet y Simpson, 1999; Escayola *et al.*, 2007; Tibaldi *et al.*, 2008), o bien relacionarse con los granitoides que se encuentran intruyendo a la Formación Puncoviscana en el Noroeste argentino los cuales registran 519-534 Ma (Granitoide Cañaní, Bachmann *et al.*, 1987; Escayola *et al.*, 2011), o 534 Ma para la granodiorita gris (Hauser *et al.*, 2011) y 526 Ma para el pórfido dacítico (Hongn *et al.*, 2010) ambos del batolito Santa Rosa de Tastil.

Las edades cámbricas medias presentes en ambas formaciones, pero siendo más abundantes en la Formación Talacasto, particularmente en las muestras analizadas para la región Norte de la cuenca (17T04, 16T40 y 16T56) donde llegan a representar hasta el 18% de los datos analizados, podría derivar desde la región del Noroeste argentino particularmente de algunos componentes del batolito de Santa Rosa del Tastil, como el granito rojo con 517 Ma (Hongn *et al.*, 2010).

Por último las edades cámbricas tardías se encuentran escasamente representadas pero presentes en prácticamente todas las muestras de la Formación Talacasto, podrían derivar desde las Sierras Pampeanas orientales donde es posible encontrar estos rangos temporales como por ejemplo en la Sierra de San Luis, la Sierra de Valle Fértil/de la Huerta o los granitoides de la serie TTG de la Sierra de Córdoba (Steenken *et al.*, 2006; Drobe *et al.*, 2009; Gallien *et al.*, 2010; D'eraimo *et al.*, 2014).

**Ordovícico:** Los afloramientos de rocas orogénicas de estas edades se encuentran al Este de la zona de estudio, principalmente en las Sierras Pampeanas Orientales y en el Cinturón del Famatina (Pankhurst *et al.*, 2000; Baldo *et al.*, 2001; Rapela *et al.*, 2001; Sato *et al.*, 2003; Galindo *et al.*, 2004; Báez *et al.*, 2005; Gallien *et al.*, 2010; Bellos *et al.*, 2015, entre otros). Estas edades suelen ser muy frecuentes en las muestras estudiadas particularmente en aquellas que corresponden a la Formación Talacasto, en la cual llegan a constituir poco más del 32% de los datos analizados (16T63), por lo que, es evidente que las rocas pertenecientes a estos sectores actuaron para esos momentos como áreas elevadas, expuestas a la erosión siendo importantes fuentes de detritos.

**Silúrico:** circones detríticos de estas edades fueron registrados en un importante número de muestras analizadas, sin embargo, no constituyen elevados porcentajes. Estos podrían derivar por ejemplo de la zona de cizalla dúctil de la Sierra de Valle Fértil/ de la Huerta (Castro de Machuca *et al.*, 2005), aunque nos encontramos con el dilema de que estos circones presentan texturas metamórficas, mientras que los detríticos encontrados en las muestras bajo estudio, presentaron texturas asociadas a un origen plutónico, por lo que aún hay dudas de su procedencia.

**Devónico:** fueron registradas edades de este rango temporal, particularmente del Devónico Temprano a Medio. Cabe destacar que recientemente Dahlquist *et al.* (2020) mencionan la presencia de un arco magmático que sería compatible con las edades registradas en el margen oriental de la Cordillera Frontal, pero hacia latitudes más altas.

## **D1. Comparación con otras unidades.**

### D1a. Formación Los Espejos (Grupo Tucunuco).

Debido a que la unidad superior del Grupo Tucunuco presenta para algunos sectores de la cuenca una edad (en su tope) lochkoviana temprana, podríamos pensar que la misma puede ser comparable con la Formación Talacasto, en esta sección se pretende a partir de dos muestras analizadas, estimar si las poblaciones de circones detríticos que rellenaron la cuenca para el Silúrico Tardío son similares a los circones detritos encontrados en las muestras devónicas y de este modo plantear si las fuentes de sedimentos pudieron ser las mismas. Para esto se efectuó el test estadístico de Kolmogorov-Smirnov comparando las dos muestras de la Formación Los Espejos entre sí, como así también, entre estas y las muestras del Grupo Gualilán (Figura VI-37A). A partir del *K-S test*, se observa un buen nivel de correlación entre ambas muestras de la

unidad a pesar de que las mismas pertenecen a sectores muy alejados entre sí. Luego vemos que la muestra 16LE29 presenta elevados niveles de correlación con las muestras de la Formación Talacasto, principalmente en la región Norte y las muestras más septentrionales de la región Central. Por su parte la Formación Punta Negra no registra niveles de correlación a excepción de la muestra 16PN54 debido a que esta presenta un elevado porcentaje de edades neoproterozoicas.

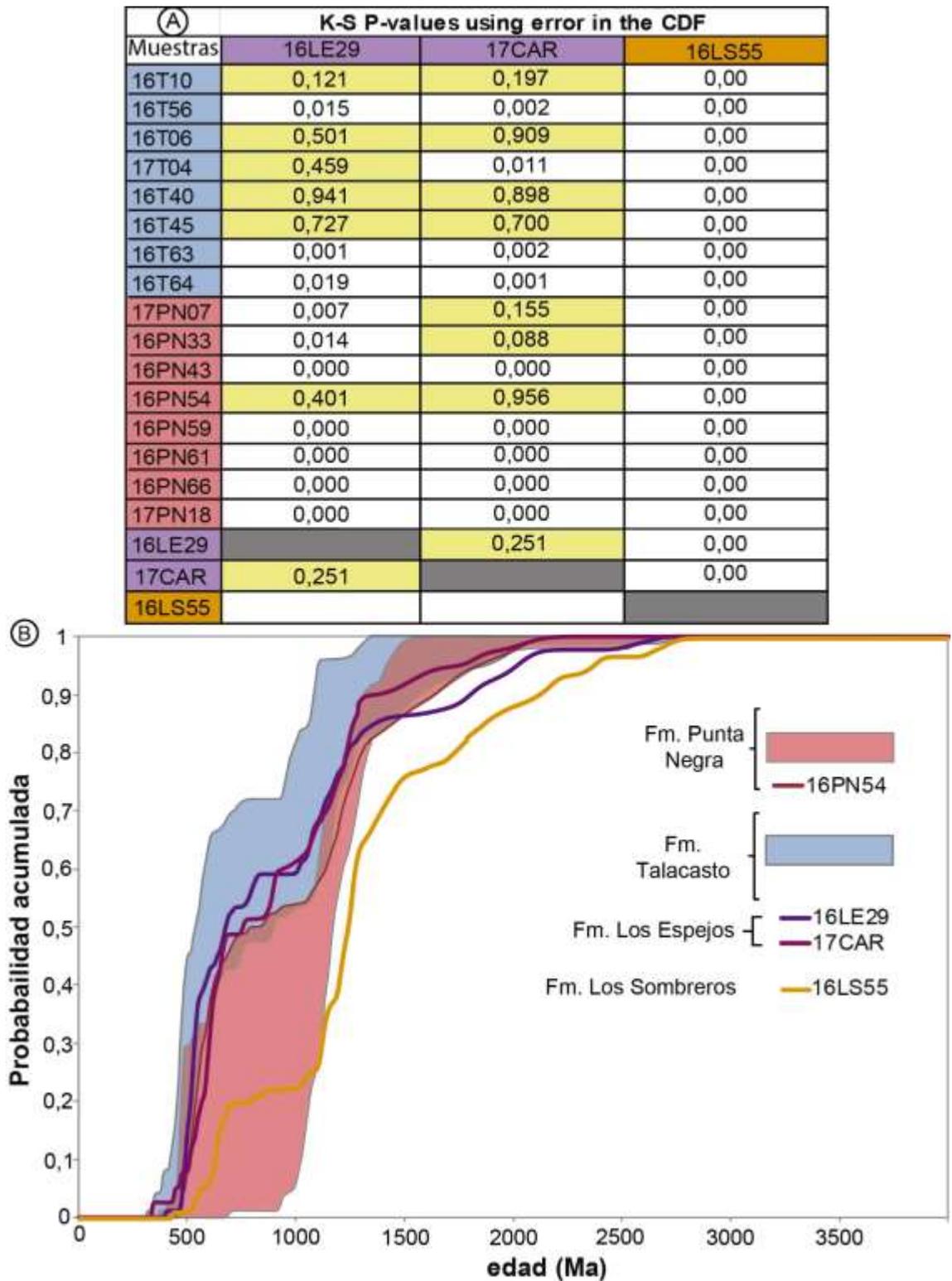
En cuanto a la muestra 17CAR las posibilidades de correlación son mayores, esta arrojó un comportamiento similar a la anterior con respecto a la Formación Talacasto, mientras que con la Formación Punta Negra, las posibilidades de correlación aumentan, debido a que esta unidad varía mucho en su composición de detritos, dependiendo de su posición en la cuenca que estemos analizando, por lo que es posible establecer una correlación entre las muestras de la Formación Punta Negra de la sección Norte y la muestra de esta unidad.

Una manera gráfica que permite la comparación entre las diferentes muestras analizadas, es a través de las curvas de frecuencias acumuladas (Figura VI-37B) en donde pueden diferenciarse en tonos azules el campo que abarcan las muestras de la Formación Talacasto, en tonos rojos el campo de las muestras de la Formación Punta Negra y en tonos violáceos a las dos muestras de la Formación Los Espejos. Estas últimas presentando patrones similares entre sí, siendo sus diseños comunes a los de la unidad inferior del Grupo Gualilán, de este modo se podría inferir que durante la mayor parte del Silúrico Superior y Devónico Inferior las fuentes de detritos fueron análogas o directamente las mismas, mientras que hacia el Devónico Medio, un cambio en las fuentes de detritos queda registrada por el elevado número de circones de edades mesoproterozoicas, lo cual genera una diseño de curvas muy plano en una primera instancia hasta llegar a los valores de 1000 Ma, donde luego crecen abruptamente.

#### D1b. Formación Los Sombreros (Sierra de la Invernada).

A partir de los trabajos de Peralta (2005a) y Peralta y Heredia (2005), donde se reinterpreta a la Formación Los Sombreros como una *melange* sedimentaria devónica desarrollada bajo un régimen extensional (cuenca de tipo *rift*), se decidió analizar los circones detríticos de una muestra de la matriz de esta formación con el fin de determinar si existe alguna relación entre la distribución de edades encontradas en la misma y las muestras estudiadas del Grupo Gualilán.

La Formación Los Sombreros fue considerada clásicamente como una unidad olistostrómica desarrollada en un ambiente de talud en tiempos ordovícicos, su edad fue definida en base a su contenido de graptolites (Cuerda *et al.*, 1983). Sin embargo, los autores mencionados anteriormente indican que debido a la presencia de clastos pertenecientes a las unidades del Paleozoico Medio es que la misma presentaría una edad devónica post Formación Punta Negra.



**Figura VI-37.** Resultados del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov (*K-S Test*, con error en la CDF) para las muestras de la Formación Los Espejos y Formación Los Sombreros vs. las muestras del Grupo Gualilán analizadas. **A:** Valores de P: En blanco,  $P < 0,05$ ; en amarillo:  $P > 0,05$ . **B:** Curvas de probabilidades acumuladas.

Del análisis de población de circones detríticos hallados en la matriz arenosa se desprende una preponderancia de edades mesoproterozoicas, las cuales son seguidas en igual proporción por las edades neoproterozoicas y paleoproterozoicas, llama la atención que no se registran edades famatinianas a excepción de solo dos datos uno Cámbrico Medio y otro Silúrico. Al analizar detalladamente este último valor, podemos ver que el mismo se encuentra asociado a un alto porcentaje de plomo común (26%) por lo que podría ser descartado, al tomar esta decisión quedan un registro de edades desde del Cámbrico Medio a más antiguas. Si bien las edades mesoproterozoicas son las dominantes, esto no es suficiente para afirmar que existe una relación entre las unidades mencionadas por lo que se procede a realizar el test estadístico de Kolmogorov-Smirnov (*K-S Test*) que permitirá de acuerdo a las edades registradas establecer algún tipo de correlación posible.

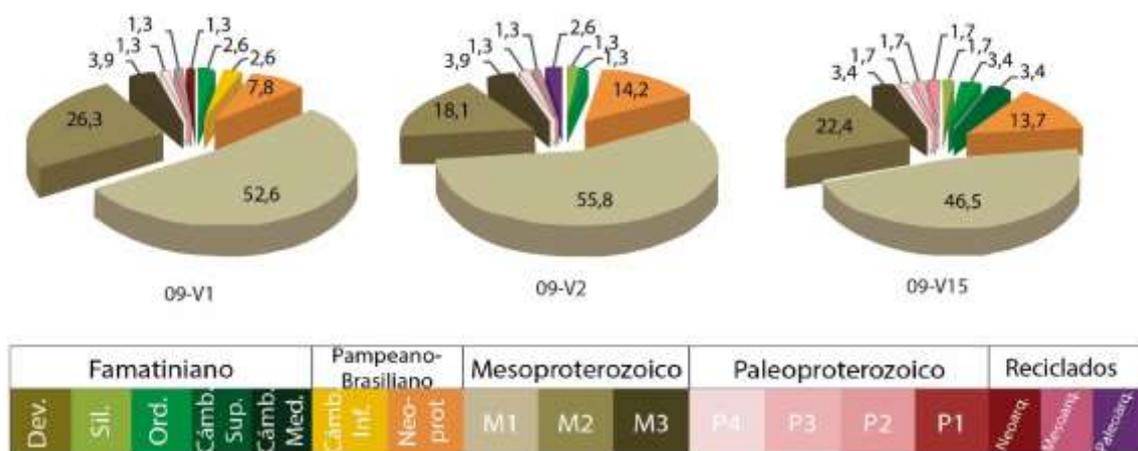
Una vez ejecutado el test estadístico (Figura VI-37A), se confirma la nula correlación entre la muestra de la Formación Los Sombreros y las muestras del Grupo Gualilán, tampoco es posible plantear la correlación con las muestras del Grupo Tucunuco. De este modo, podemos afirmar que las fuentes de detritos no fueron las mismas para estas unidades. De igual modo, la curva de frecuencia acumulada (Figura VI-37B) arrojó un diseño que no coincide con ninguna de las muestras analizadas previamente. En la parte superior, esta curva se separa del resto debido a la elevada cantidad de edades antiguas registradas.

#### D1c. Formación Villavicencio (Precordillera Mendocina).

Desde los trabajos pioneros de Harrington (1941, 1971) y luego reafirmado por trabajos más modernos y de detalle, se considera a la Formación Villavicencio como una continuación hacia el Sur de la Formación Punta Negra en la Precordillera Mendocina y por lo tanto equivalentes. Con esto *in mente* y contando con los datos proporcionados por Cingolani *et al.* (2013), se procedió a realizar un análisis comparativo de las edades obtenidas por estos autores con las muestras analizadas en este trabajo de tesis doctoral.

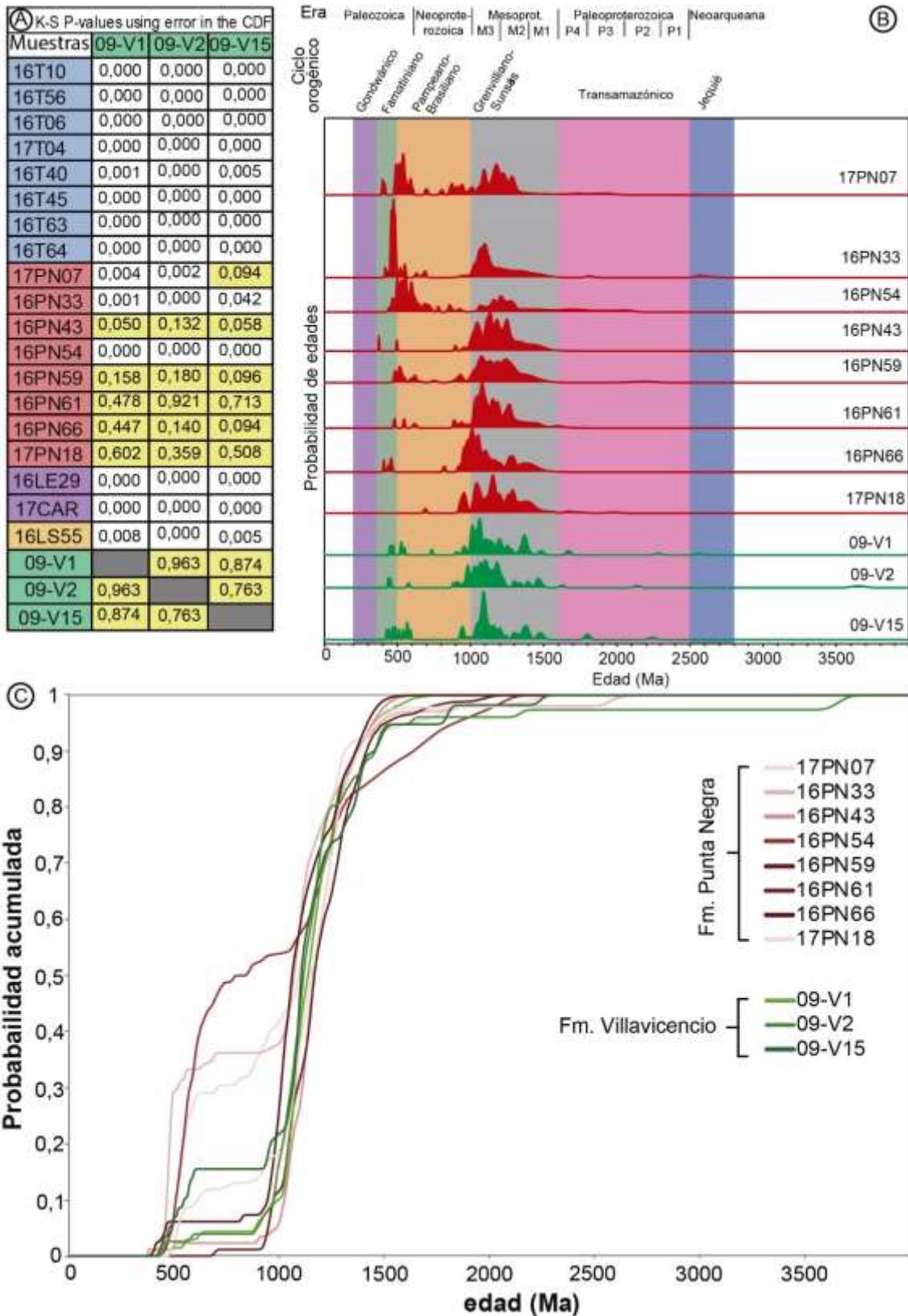
Cingolani *et al.* (2013) realizaron dataciones U-Pb (LA-ICP-MS) sobre tres muestras de esta unidad (09-V1, 09-V2 y 09-V15), y registraron patrones de edades muy homogéneas, principalmente del Mesoproterozoico, el cual conformaba el 83%, 77% y 72% respectivamente en cada muestra. Donde las edades del periodo Steniano, relacionadas al Orógeno Grenvilliano, resultan ser las más frecuentes con el 53%, 56% y 47%, en tanto que las edades vinculadas al Ciclo Orogénico Pampeano-Brasiliano no superan el 14%. Las edades que representan al ciclo Famatiniano resultaron escasas, no superando el 3% en las muestras 09-V1 y 09-V2 y alcanzando cerca del 9% en la muestra 09V-15. Los circones reciclados que corresponderían a las edades más antiguas, se encuentran de forma aislada con solo un 5% de participación en las muestras 09-V2 y 09-V15 (Figura VI-38).

Mediante la aplicación del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov (*K-S Test*) se revela que las muestras de la Formación Punta Negra ubicadas hacia el sector Norte de la Precordillera Central, muestran un grado de correlación nulo o muy bajo con respecto a las de la Formación Villavicencio, mientras que, los valores de correlación de las muestras del Centro- Sur de la cuenca (16PN43, 16PN59, 16PN61, 16PN66 y 17PN18) arrojaron elevados valores de correlación con las tres muestras de la unidad de la Precordillera mendocina (Figura VI-39A). Esto sugiere que, la correlación en función a la distribución de edades es posible en la parte Centro-Sur de la cuenca, y no hacia el Norte, probablemente debido a que los depósitos más septentrionales representan los niveles superiores de la unidad, mientras que hacia el sector austral de la cuenca los niveles estratigráficos serían semejantes y estuvieron depositándose coetáneamente. Por su parte las demás unidades estudiadas (Formaciones Talacasto, Los Espejos y Los Sombreros) arrojaron valores de correlación nulos con las muestras de la Formación Villavicencio, es por este motivo que solo fueron graficadas las curvas de probabilidad de edades y frecuencias acumuladas de las dos unidades que arrojaron valores posibles de correlación (Formaciones Punta Negra y Villavicencio).



**Figura VI-38.** Diagrama de tortas representando la distribución de edades halladas en las muestras de la Formación Villavicencio. Tomado de Cingolani *et al.* (2013).

En la Figura VI-39B se observan las curvas de probabilidades de edades, quedando claramente visible como las poblaciones de circones detríticos de la Formación Punta Negra del Centro-Sur de cuenca, presentan patrones muy semejantes a las tres muestras de la Formación Villavicencio. Mientras que en la figura VI-39C, las formas de las curvas de frecuencias acumuladas de las muestras de la Formación Villavicencio presentan un diseño similar a la Formación Punta Negra en la región Centro-Sur de la cuenca, donde es muy claro el predominio de las edades mesoproterozoicas como población principal de los detritos y prácticamente son nulos los valores entre 600 Ma a 900 Ma, representado por las ‘mesetas’ que exhiben las curvas al atravesar este lapso temporal (Figura VI-39C).

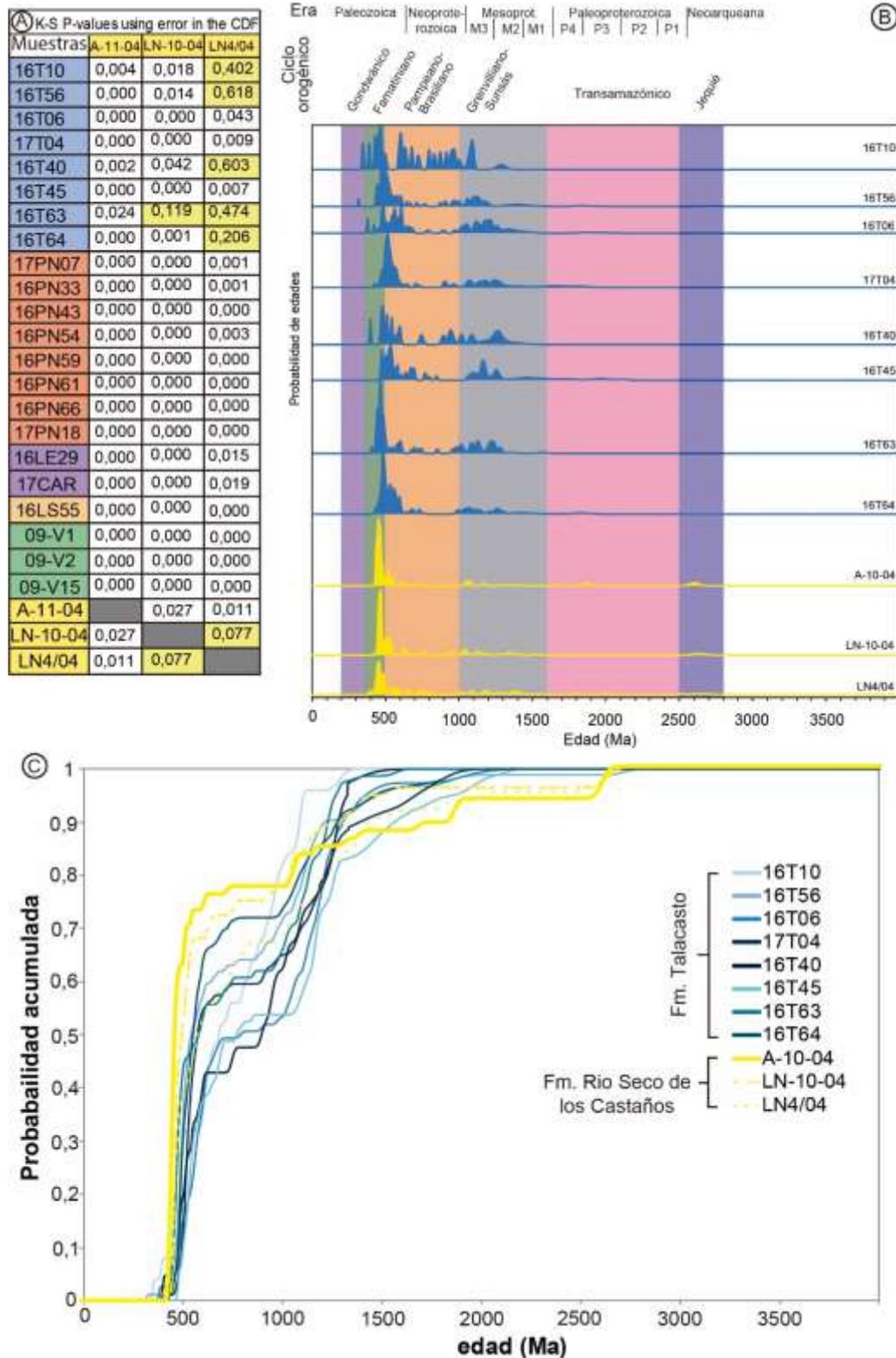


**Figura VI-39.** Resultados del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov (*K-S Test*, con error en la CDF) para las muestras de la Formación Villavicencio vs. las muestras del Grupo Gualilán analizadas. **A:** Valores de P: En blanco,  $P < 0,05$ ; en amarillo:  $P > 0,05$ . **B:** curvas de probabilidad de edades (Formación Punta Negra ubicadas de Norte a Sur. **C:** Curvas de probabilidades acumuladas.

#### D1d. Formación Río Seco de los Castaños (Bloque de San Rafael).

Entre las distintas provincias geológicas que integran al terreno compuesto de Cuyania, las secuencias aflorantes en el Bloque de San Rafael en varias oportunidades fueron comparadas con la Precordillera, particularmente la Formación Río Seco de los Castaños debido a su contenido paleoflorístico y edad. En diversas ocasiones se ha comparado esta unidad con la formación superior del Grupo Gualilán (Formación Punta Negra). A partir de los datos de circones detríticos proporcionados por Cingolani *et al.* (2017), es que se procedió a realizar un análisis comparativo entre esta unidad y las analizadas en la Precordillera. En un primer momento nos valemos del test estadístico (*K-S Test*), en el que fueron comparadas las tres muestras proporcionadas por estos autores, con las anteriormente descritas en esta tesis doctoral y también fueron adheridas las muestras de la Formación Villavicencio tomadas de Cingolani *et al.* (2013).

Si bien la Formación Río Seco de los Castaños, puede presentar semejanzas sedimentológicas y paleoflorísticas, los resultados obtenidos a partir del test demuestran que la Formación Río Seco de los Castaños presenta nulo valor de correlación con las muestras de la Formación Punta Negra (Figura VI-40A). Esto se debe principalmente a la presencia dominante de edades jóvenes, esencialmente ordovícicas en esta unidad. Mientras que si comparamos a la unidad aflorante en el Bloque de San Rafael (principalmente la muestra LN7/04) con la Formación Talacasto encontramos en muchos casos altos valores de correlación (Figura VI-40A). Por su parte, tampoco es posible a partir de este test, establecer correlaciones entre esta unidad y las muestras analizadas para la Formaciones Los Espejos, Los Sombreros y Villavicencio (Figura VI-40A). En la Figura VI-40B se puede ver como las curvas de probabilidad de edades presentan patrones similares a la Formación Talacasto, con marcados picos en el ciclo orogénico Famatiniano. Esto está dado por la particular abundancia de edades ordovícicas en esta unidad, mientras que los demás ciclos orogénicos se encuentran relegados; es de destacar la presencia de edades antiguas que no son características de la Formación Talacasto. Por su parte las curvas de probabilidad acumuladas (Figura VI-40C) exhiben ciertas semejanzas, aunque no terminan por tener un patrón lo suficientemente similar. Es por todo esto que la correlación entre la Formación Río Seco de los Castaños y las unidades del Grupo Gualilán no queda del todo clara, ya que por su distribución de edades podría ser comparada con la Formación Talacasto, mientras que por su contenido bioestratigráfico sería equivalente a la Formación Punta Negra. Quizás esta unidad fue depositada en condiciones de un depocentro aislado sin conexión con los depocentros de Precordillera, siendo posible que el registro plantífero llegase por igual a ambos sectores, pero con detritos provenientes de diferentes áreas.



**Figura VI-40.** Resultados del test estadístico de Kolmogorov-Smirnov (*K-S Test*, con error en la CDF) para las muestras de la Formación Rio Seco de los Castaños vs. las muestras del Grupo Gualilán analizadas. **A:** Valores de P: En blanco,  $P < 0,05$ ; en amarillo:  $P > 0,05$ . **B:** curvas de probabilidad de edades (Formación Talacasto ubicadas de Norte a Sur. **C:** Curvas de probabilidades acumuladas.

### D1e. Formación La Horqueta (Bloque de San Rafael).

La Formación La Horqueta aún sigue siendo un interrogante dado que su relación con las demás unidades devónicas aflorantes en el terreno Cuyania todavía resulta desconocida. Como fue mencionado anteriormente, la unidad cuenta con metamorfismo de bajo grado por lo que fueron seleccionadas para el análisis U-Pb 6 muestras de metaareniscas con el fin de poder definir la edad máxima de sedimentación y la procedencia de los detritos que llegaron a esta parte de la cuenca (Tickyj *et al.*, 2017). La población de circones detríticos de las muestras Hor21 (n = 61), Hor46 (n = 60) y Hor10 (n = 60) muestran patrones dominados por granos de edades mesoproterozoicas, con picos menores correspondientes al Paleozoico Inferior y Neoproterozoico y pocos picos subordinados del Paleoproterozoico (Figura VI-41).

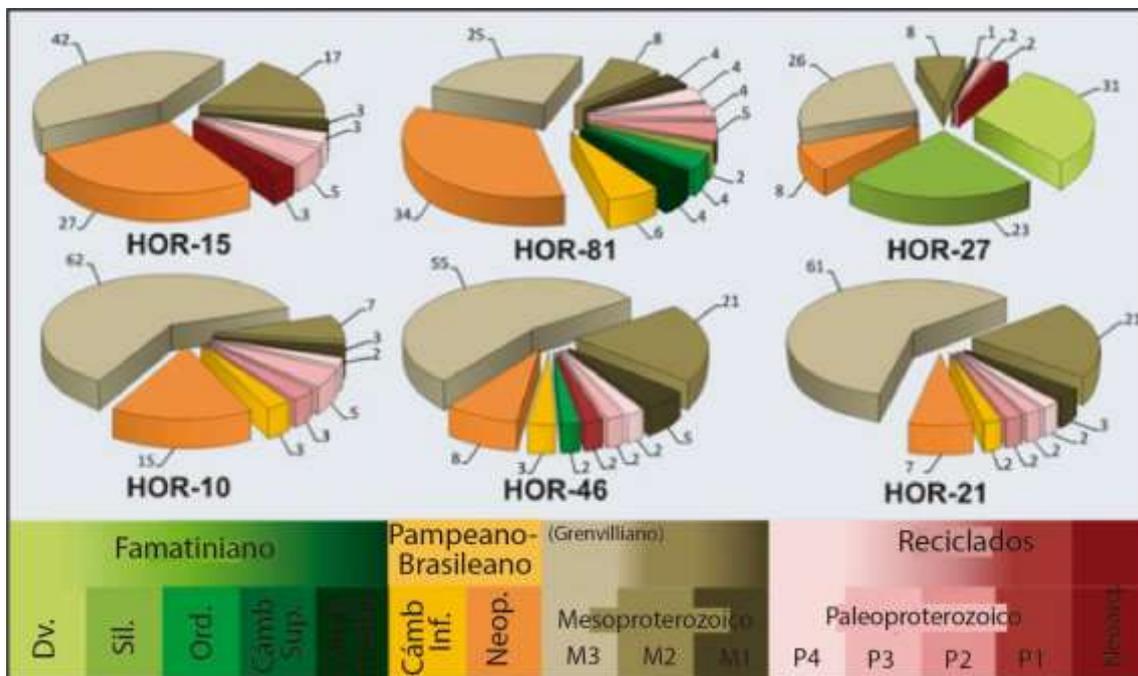
Es para destacar que la muestra Hor21 registra un porcentaje del 85% de circones derivados de fuentes mesoproterozoicas, la mayoría de ellos del Mesoproterozoico superior (Grenvilliano). El 9% corresponde al Neoproterozoico (ciclo Pampeano-Brasiliano), el 6% de los granos de circón se derivaron de dominios cratónicos (edades Paleoproterozoicas). La muestra Hor46 presenta más del 80% de circones de fuentes mesoproterozoicas, con un 55% que corresponden a edades Stenianas; el 11% son del ciclo Pampeano-Brasiliano, el 9% de fuentes cratónicas y sólo el 3% derivan de fuentes famatinianas. La muestra Hor10 también presenta picos principales en el Mesoproterozoico (72%) con 62% de edades grenvillianas. Los circones del ciclo Pampeano-Brasiliano están presentes con un 18% y aproximadamente un 10% del total de circones analizados derivarían de fuentes cratónicas (Paleoproterozoico).

Por su parte las muestras Hor15 (n = 59) y Hor 81 (n = 56) registran un patrón con picos principales en el Neoproterozoico-Paleozoico Inferior, así como en el Mesoproterozoico, con picos menores del Paleoproterozoico y Neoarqueano. El patrón de edades de los circones detríticos para la muestra Hor15 exhibe dos grupos principales correspondientes al Mesoproterozoico (62% de los granos, con 42% de edades grenvillianas) y Pampeano-Brasiliano (27% de circones), con una contribución menor de fuentes cratónicas (11%), donde el 3% corresponden al Neoarqueano. Para la muestra Hor81, la población de circones está dominada por un fuerte pico correspondiente a las edades Pampeano-Brasiliano (40%), luego el 37% de las edades corresponden al Mesoproterozoico, el 13% al Paleoproterozoicas (mayor porcentaje de fuentes cratónicas), mientras que los circones del ciclo Famatiniano representan un 10% de los granos analizados.

La muestra Hor27 (n = 64) muestra un patrón bastante diferente al de otras muestras estudiadas. El patrón de edades de circones detríticos está dominado por el 54% de los granos del ciclo Famatiniano (23% Silúrico y 31% Devónico temprano) luego un 35% derivado de una fuente de edad mesoproterozoica, y contribuciones subordinadas de fuentes pampeanas-brasilianas (8%) y áreas cratónicas 4%, con 2% del Neoarqueano (Figura VI-41).

En resumen, los patrones de edades de circones detríticos para la Formación La Horqueta indican según Abre *et al.* (2017), cuatro poblaciones principales, que en orden de abundancia corresponden al Mesoproterozoico (ciclo Grenvilliano), Neoproterozoico (ciclo Pampeano-Brasileano), Paleoproterozoico (ciclo Transamazónico) y Cámbrico Superior-Devónico (ciclo Famatiniano). Se sustenta una derivación principal del basamento Mesoproterozoico del Bloque de San Rafael y terreno Pampia, así como un aporte detrítico desde el cratón del Río de la Plata y el cinturón Famatiniano. Sin embargo, la muestra HOR27 muestra un patrón diferente, con un predominio de granos famatinianos, seguido en abundancia por la población mesoproterozoica, el Neoproterozoico, el Paleoproterozoico con algunos granos de circones detríticos neoarqueanos; también comprende los circones detríticos más jóvenes que se encuentran dentro de la unidad (*ca.* 0.4 Ga; Cingolani *et al.*, 2008; Tickyj *et al.*, 2017) (Figura VI-41).

Por todo lo expuesto la Formación La Horqueta guarda particularmente relación con las muestras de la Formación Punta Negra, principalmente por la abundante participación de edades mesoproterozoicas, particularmente grenvillianas, pero no hay relación en las fuentes en cuanto al alto porcentaje de edades cratónicas (paleoproterozoicas) ni tampoco en los porcentajes elevados de edades famatinianas (silúricas y devónicas) los cuales son ínfimos para las muestras del Grupo Gualilán.

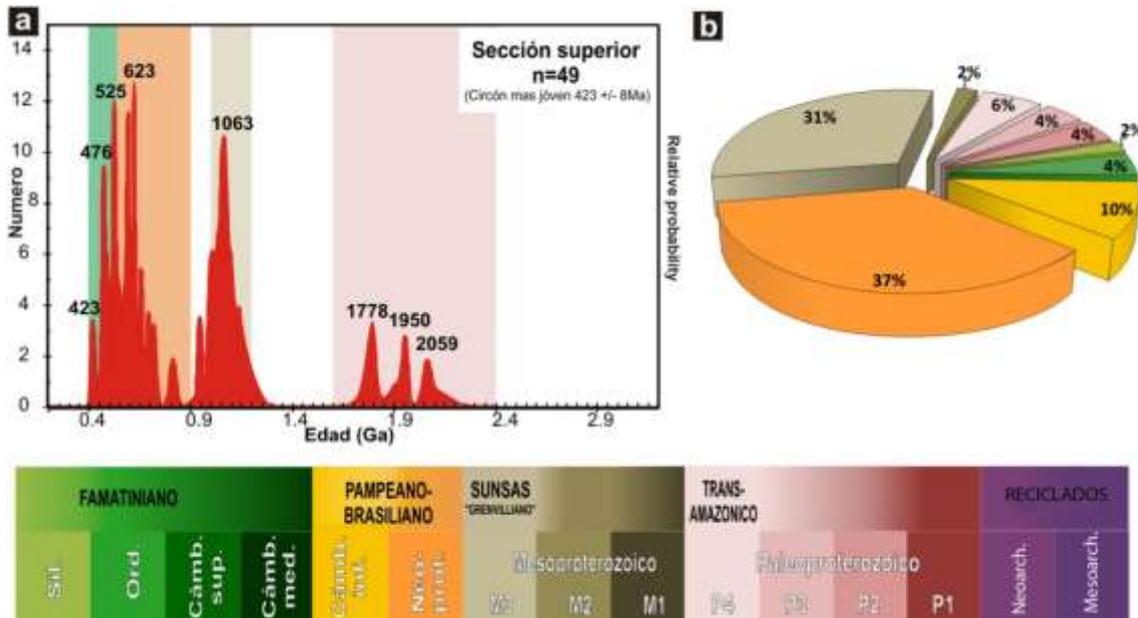


**Figura VI-41.** Diagrama de tortas representando la distribución de edades halladas en las muestras de la Formación La Horqueta. Tomado de Tickyj *et al.* (2017).

#### D1f. Formación Las Lagunitas (Cordillera Frontal).

Esta unidad cuenta con un único estudio para la sección superior la cual podría potencialmente tener relación con las mismas fuentes que rellenaron las secuencias silicoclásticas

del Grupo Gualilán. Uriz *et al.* (2016b) proporcionan datos de la muestra 09-LC4 (Serie Selerpe) donde se analizaron un total de 49 circones, siendo el principal aporte sedimentario correspondiente a fuentes de edades neoproterozoicas con registros entre 546-996 Ma. El Mesoproterozoico caracteriza la moda secundaria con un 31% entre 1014-1141 Ma. Con menor relevancia se presentan edades cámbricas, seguidas por las paleoproterozoicas. Finalmente, cabe destacar la participación de edades ordovícicas y un registro del Silúrico (423 Ma) que representan las edades más jóvenes encontradas (Figura VI-42).



**Figura VI-42. a:** Histograma de probabilidad relativa para la Formación Las Lagunitas. **b:** Diagrama de torta representado los porcentajes de edades obtenidos para la unidad. Tomado de Uriz *et al.* (2016b).

#### E. EDADES MÁXIMAS DE SEDIMENTACIÓN (EMS).

Como fue mencionado en este capítulo, la aplicación de la metodología U-Pb en circones detríticos permite conocer la edad de las poblaciones que aportaron al relleno de una cuenca sedimentaria y de esta manera comprender la procedencia de los sedimentos dentro de la misma (Fedo *et al.*, 2003; Dickinson y Gehrels, 2009). A partir de ella es posible no solo revelar la edad del mineral, sino que también, cuando analizamos la población de circones en su totalidad podemos determinar el rango de edades de las fuentes que contribuyeron al relleno de la cuenca. Pero además, es ventajoso al momento de limitar la edad máxima de sedimentación (EMS) del depósito, considerando el registro más joven o el promedio de circones más jóvenes obtenidos (Coutts *et al.*, 2019; Vermeesch, 2020 y sus referencias). Este procedimiento resulta importante ya que a menudo es la única forma de estimar la edad de depósito de rocas silicoclásticas que carecen de fósiles o cenizas volcánicas (Vermeesch, 2020). A lo largo de los años se han propuesto

numerosos algoritmos de estimación de EMS, que quedan resumidos en los siguientes ítems según Coutts *et al.* (2019).

- 1) La edad del circón más joven.
- 2) La moda del pico gráfico más joven en un histograma de densidad de probabilidad.
- 3) La edad del circón más joven con  $1\sigma$  o  $2\sigma$ .
- 4) La edad del circón detrítico más joven estimada según Ludwig (2003), (Algoritmo de remuestreo de Monte Carlo).
- 5) El resultado del algoritmo TuffZirc de Ludwig y Mundil (2002).
- 6) La media ponderada de los tres o cuatro circones más jóvenes.
- 7) La media ponderada de las edades en el pico más joven de una gráfica de densidad de probabilidad.
- 8) La edad mínima de los granos seleccionados por el algoritmo AgePick de Gehrels (2003).
- 9) La "población estadística más joven", que agrupa a la submuestra más joven de más de dos granos que pasan una prueba Chi-cuadrado de homogeneidad.

Como tal, estos métodos se han utilizado para restringir la edad de depósito de rocas donde falta el control de la edad bioestratigráfica o magnetoestratigráfica (Tucker *et al.*, 2013; Sickmann *et al.*, 2018), o restringir el tiempo de determinados procesos geológicos que se están investigando (Schwartz *et al.*, 2016; Daniels *et al.*, 2018).

Para este trabajo de tesis doctoral se optó por utilizar el segundo método citado, donde se toma a partir del pico generado por las edades más jóvenes registradas en la gráfica del histograma, teniendo en mente que las unidades bajo estudio cuentan con controles bioestratigráficos más o menos precisos, muchos de ellos basados en palinomorfos, braquiópodos y restos vegetales, cuyas edades de biozonas conocidas restringen la edad de depositación. Se pretendió dentro de lo posible utilizar datos que se encuentren solapados por 1 rango de error, pero en muchas oportunidades eso no fue posible debido a que las diferencias entre las edades más jóvenes, se encuentran aun considerando los errores del cálculo, muy distantes, quedando la muestra representada por el circón más joven registrado.

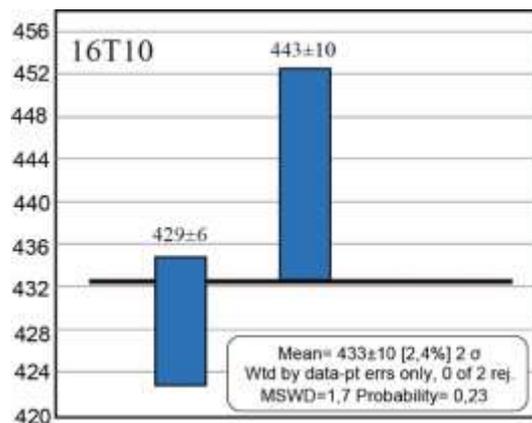
A continuación, se irán desarrollando las edades máximas de sedimentación para las diferentes muestras de las unidades bajo estudio y en orden estratigráfico.

## **E1. Formación Talacasto.**

### E1a. Región Norte.

La Formación Talacasto en estos sectores cuenta con la presencia del horizonte guía de Keidel, a partir del registro palinológico la edad de esta capa queda restringida al Pragiano tardío (García Muro *et al.*, 2018). Mientras que el resto de la unidad depositada sobre esta capa cuenta con una edad emsiana en el sector norte de la cuenca.

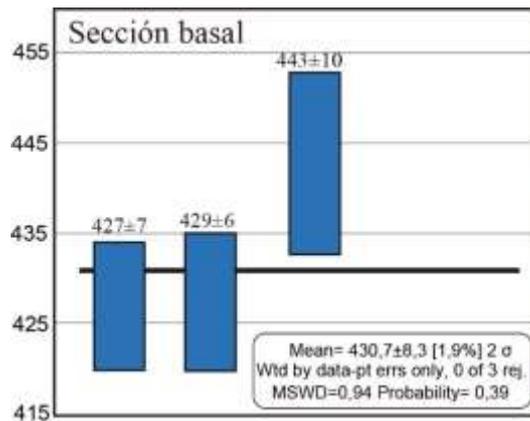
La muestra 16T10 corresponde a los depósitos ubicados por debajo del horizonte guía en la localidad de Loma de los Piojos, esta muestra arrojó una edad máxima de sedimentación de  $433\pm 10$  Ma, (Figura VI-43).



**Figura VI-43.** Cálculo de la edad máxima de sedimentación para la muestra 16T10 ubicadas en los niveles previos a la depositación del HK en la localidad de Loma de Los Piojos.

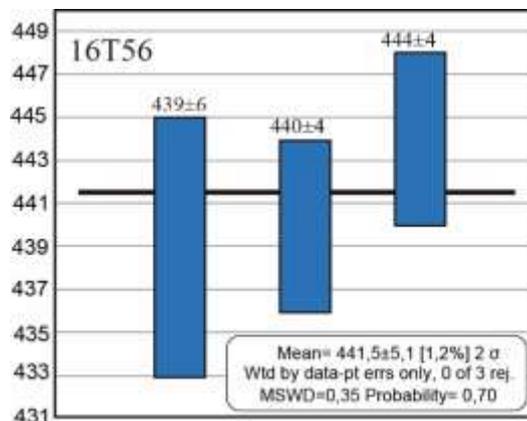
Por su parte la muestra 17T04 representa niveles semejantes en la localidad de Quebrada de las Aguaditas, en este caso la edad máxima de sedimentación quedó representada por el circón más joven de unos  $427\pm 3$  Ma (Ludloviano).

Si se consideran los circones más jóvenes de ambas muestras, podemos emplearlos en el cálculo de la EMS de la sección basal de la Formación Talacasto. Los resultados indican que las fuentes más jóvenes corresponden a una edad wenlokiana ( $430,7\pm 8,3$ ) indicado para el sector norte, que la cuenca recibió sedimentos de fuentes de estas edades las cuales no se ajustan a la edad bioestratigráfica (430,7 lochkoviana-pragiana), Figura VI-44.



**Figura VI-44.** Cálculo de la edad máxima de sedimentación para las muestras 16T10 y 17T04 ubicadas en los niveles previos a la depositación del HK en las localidades de Loma de Los Piojos y Quebrada de las Aguaditas respectivamente.

Al contar con una sola muestra que representa al horizonte de Keidel propiamente dicho (16T56), la edad máxima de sedimentación fue calculada en base a la edad de los circones más jóvenes que se registraron en la muestra. Los resultados indican que para este nivel de la secuencia las fuentes más jóvenes que aportaron detritos corresponden al Rhuddaniano (Silúrico Temprano) (Figura VI-45). Esta edad contrasta con la edad obtenida para esta capa en base a palinomorfos e invertebrados marinos los cuales revelan una edad en el límite Pragiano-Emsiano.



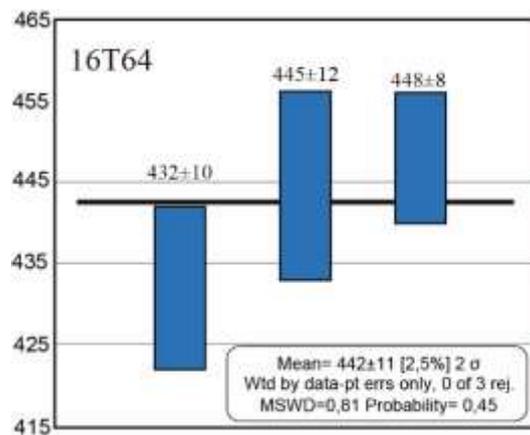
**Figura VI-45.** Cálculo de la edad máxima de sedimentación para la muestra 16T56 (Horizonte de Keidel) ubicada en la localidad de Loma de Los Piojos.

La edad máxima de sedimentación de los niveles superiores quedó definida para cada muestra en base al cristal más joven ya que dentro de las mismas las edades más jóvenes se encontraban muy distantes y aun considerando el error las mismas no se solapaban. Por lo que la muestra 16T06 de la Localidad de Loma de Los Piojos presenta como edad más joven registrada a  $421\pm 3$  Ma (Pridoliano) mientras que la muestra 16T40 del perfil de Las Casitas registró  $397\pm 7$  Ma como registro más joven (Emsiano). Esta última edad registrada sería consistente con la edad bioestratigráfica para esta unidad en esta región.

### E1b. Región Central.

La región central quedó representada por tres muestras de esta unidad, en dos de ellas no fue posible el cálculo que involucre a dos o más edades debido a la diferencia entre registros más jóvenes, la muestra 16T45 quedó representado por un único circón de edad  $467\pm 3$  Ma (Ordovícico medio) siendo esta registró muy disímil a la edad asignada a partir del registro fósil, que para este lugar indica una edad pragiana (García Muro *et al.*, 2018). Por su parte una de las muestras ubicadas en los márgenes de Río San Juan (16T63) registró como edad más joven un circón de unos  $407\pm 5$  Ma (pragiana) esta es coincidente con la edad biostratigráfica para esta región de la cuenca.

Para la muestra 16T64 puedo a partir de las edades más jóvenes registradas realizarse el cálculo de EMS (Figura VI-46). El resultado indicó un valor de  $442\pm 11$  Ma (Llandoveryano).



**Figura VI-46.** Cálculo de la edad máxima de sedimentación para la muestra 16T64 ubicada en los márgenes del Río San Juan.

Para esta región no fue posible el cálculo entre dos o más muestras ya que las edades registradas para cada una de ellas eran distantes evidenciando una mayor heterogeneidad de las fuentes registradas respecto a la región Norte.

### **E2. Formación Punta Negra.**

Las edades máximas de sedimentación para la unidad superior del Grupo Gualilán resultaron ser ampliamente heterogéneas en los sectores Norte y Centro de cuenca, no fue posible en ningún caso realizar el cálculo entre dos o más registros de edades, debido a la gran diferencia en los registros adquiridos para las edades jóvenes, por lo que la EMS de cada muestra en estos dos sectores quedó determinada en base a circón más joven registrado.

E2a. Región Norte.

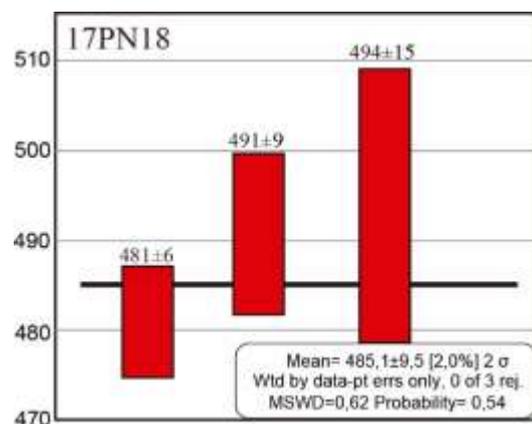
De la región Norte, la muestra 17PN07 del perfil de Las Aguaditas indicó una edad de  $400\pm 4$  Ma, esta resulta ser correspondiente al Emsiano. La edad obtenida sería semejante o muy próxima a la edad bioestratigráfica. En el perfil del Río de Las Casitas la muestra 19PN33 registró un circón de edad lockoviana ( $417\pm 3$  Ma). Mientras que la muestra más occidental, 16PN54 del flanco oriental de la Sierra de la Invernada indicó como registro de edad más joven  $446\pm 9$  Ma, asignable al Ordovícico superior.

E2b. Región Central.

La región Central comprende a cuatro muestras, la ubicada en la localidad de Quebrada de Talacasto (16PN43) arrojó como registro más joven una edad de  $374\pm 2$  (frasniana), la edad obtenida para esta región no es coherente con la edad definida en base al registro fósil que indica en base a palinomorfos una edad emsiana. Las muestras tomadas sobre el Río San Juan desde este a oeste registraron como edades más jóvenes (16PN59:  $691\pm 10$  Ma, Criogeniano), (16PN61:  $480\pm 6$  Ma, Tremadociano) y (16PN66:  $407\pm 3$ , límite Pragiano-Emsiano) de las tres, esta última muestra registra un valor semejante al asignado a partir de palinomorfos y restos de plantas (García Muro et al., 2018; Arnol y Coturel, 2022, en prensa).

E2c. Región Sur.

Debido a que la Formación Punta Negra en la región Sur está representada por una única muestra (17PN18), y que las edades más jóvenes pueden solaparse si se considera un rango de error, la edad máxima de sedimentación fue calculada en base a los tres menores valores que cumplen esta condición. Los resultados indican que las fuentes más jóvenes que aportaron detritos corresponden al límite Cámbrico-Ordovícico (Figura VI-47). Esta edad contrasta con la edad obtenida para esta unidad en base a los registros de paleoflora los cuales indican una edad devónica inferior (emsiana a probablemente pragiana).

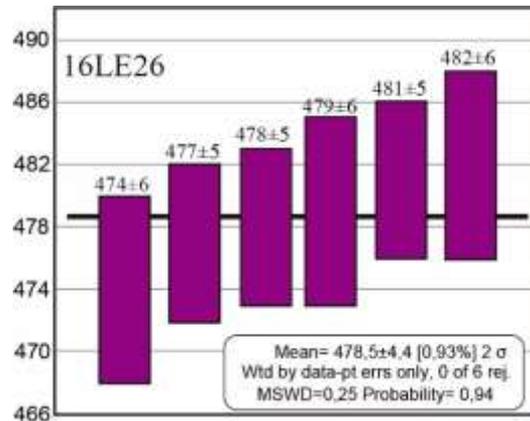


**Figura VI-47.** Cálculo de la edad máxima de sedimentación para la muestra 17PN18 de la Formación Punta Negra en la región Sur, en base a las edades más jóvenes de los circones detríticos hallados en la muestra.

### E3. Otras unidades.

#### E3a. Formación Los Espejos/Tambolar.

A partir de los picos de edades generados por los circones más jóvenes para la muestras 16LE26 fue calculada la edad máxima de sedimentación de esta muestra que fue tomada en los márgenes del Río Jáchal arrojando un valor de  $478,5 \pm 4,4$  Ma esta se ubicaría en el Tremadociano, esta edad no es coherentes con el registro de fósiles de la unidad correspondientes a la fauna Afro-Sudamericana, principalmente asignada al Silúrico Superior, pero estaría indicando un importante aporte desde fuentes ordovícicas al momento de la depositación de la unidad en esta región (Figura VI-48).



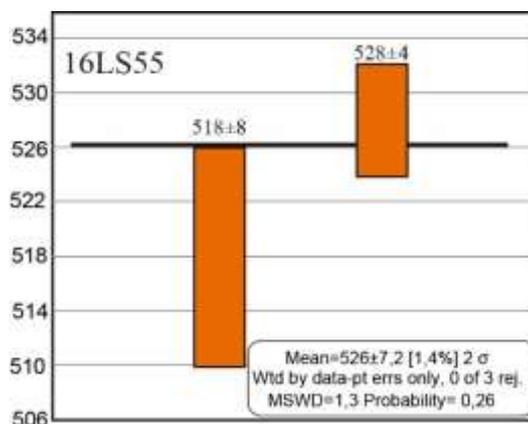
**Figura VI-48.** Cálculo de la edad máxima de sedimentación para la muestra 16LE26 de la Formación Los Espejos a partir del pico de edades más jóvenes registradas en la unidad en los márgenes del Río Jáchal, al norte de la cuenca.

Por su parte la muestra ubicada en la región central 17CAR, al presentar diferencias significativas entre las edades jóvenes quedó representada por un circón de edad  $440 \pm 5$  Ma (Llandoveryano). Esto evidenciaría que la región central habría recibido sedimentos desde fuentes más jóvenes al momento de la depositación de esta unidad.

#### E3b. Formación Los Sombreros.

A partir de los circones más jóvenes registrados en la muestra se calculó una edad máxima de sedimentación teniendo en cuenta de no considerar al único circón de edad silúrica por su alto contenido en plomo, de esta manera se obtuvo para la muestra una edad de  $526 \pm 7,1$  Ma. la cual correspondería al Terreneuviano (Cámbrico Inferior). La edad calculada a partir de los circones

detríticos no sería coherente con la edad obtenida a partir del registro fósil que indica una edad ordovícica (Figura VI-49).



**Figura VI-49.** Cálculo de la edad máxima de sedimentación de la muestra 16LS55 de la Formación Los Sombreros en la Sierra de la Invernada.

## F. ESTUDIOS ISOTÓPICOS Lu-Hf EN CIRCONES DETRÍTICOS.

### F1. Introducción.

En las últimas décadas como complemento de las dataciones U-Pb, la sistemática isotópica Lu-Hf se convirtió en uno de los métodos más utilizados en geocronología, principalmente en el análisis *in situ* de circones por LA-ICP-MS. Esto se debe a que este sistema isotópico complementa los estudios de procedencia sedimentaria, como así también, permite mejorar el conocimiento sobre el origen y evolución de la corteza y el manto (Gerdes and Zeh, 2006; Spencer *et al.*, 2012; 2020; Martin *et al.*, 2017, entre otros). Los análisis de isótopos de Hf indican la composición relativa de la fuente generadora del mineral, registrando si hubo mayor contribución de material de origen mantélico (juvenil) o de material proveniente de la corteza continental reciclada (Harrison *et al.*, 2005). Por otro lado, al aplicarse a los mismos circones que fueron previamente datados por el par U-Pb, resulta ser una técnica relativamente sencilla, con gran sensibilidad y velocidad de análisis.

Es por este motivo que la combinación de los análisis U-Pb y Lu-Hf en un mismo circón por la metodología LA-ICP-MS permite caracterizar isotópicamente el reservorio de magma del cual cristalizó, suministrando una significativa información para la comprensión de la procedencia sedimentaria, estudios de la evolución de la corteza y el ambiente tectónico del cual derivan (Cawood *et al.*, 2007a, b; Bouvier *et al.*, 2008; Dickinson y Geherls, 2009, Cornell *et al.*, 2012; Martin *et al.*, 2020), posibilitando realizar correlaciones e interpretaciones paleogeográficas más precisas.

En el presente trabajo de tesis doctoral, se aplicó la metodología isotópica Lu-Hf con el fin de caracterizar las propiedades petroquímicas de los circones detríticos que participaron en el

relleno de la cuenca devónica de la Precordillera Sanjuanina al momento de la depositación de la Formaciones Talacasto y Punta Negra, y comparar sus resultados entre sí y con otras unidades presentes tanto en Precordillera como en el Bloque de San Rafael. De esta manera, se intentará establecer si las fuentes que suministraron los detritos guardan una relación común o se hallaban desvinculadas. La comparación fue extendida hacia rocas de basamento de las Sierras Pampeanas Occidentales y Orientales, Cratón del Río de la Plata y Bloque de San Rafael, con el propósito de establecer si las rocas que conforman estos basamentos pudieron constituir áreas de aporte de detritos para tiempos devónicos.

## **F2. Sistema Lu-Hf: conceptos generales.**

Como ya fue mencionado anteriormente el circón es un mineral accesorio presente en una amplia variedad de rocas. La importancia de este radica en su capacidad de albergar altas concentraciones de elementos trazas, incluyendo a los radionúclidos U-Th-Pb y Lu-Hf de relevancia en geología isotópica. Este último par está ganando impulso como un importante trazador geoquímico (*e.g.*, Heaman *et al.*, 1990; Hoskin y Schaltegger, 2003; Kinny y Maas, 2003). Debido a las altas concentraciones de Hf y a la baja relación Lu/Hf, es que el circón es el mineral por excelencia para estos estudios (Patchett *et al.*, 1981; Fujimaki, 1986). Siendo la composición isotópica de Hf en el circón prácticamente idéntica a la relación inicial de  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  heredada del magma al tiempo de su formación (Hawkesworth y Kemp, 2006; Nebel *et al.*, 2007).

La metodología Lu-Hf nos posibilita, además de definir procesos de diferenciación, establecer un indicador petrogenético denominado  $\epsilon\text{Hf}$ . Este parámetro consiste básicamente en la comparación de la razón  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  de la muestra estudiada para el momento de su formación o de su valor actual, con un reservorio estándar de composición condritica uniforme (CHUR).

Si en el momento de cristalización de la roca el magma del cual deriva tiene una razón  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  más elevada que la del CHUR, el  $\epsilon\text{Hf}$  será positivo, lo que significa que la fuente de esta masa fundida tenía relación Lu/Hf mayor que el condrito, es decir, la fuente sería el manto superior. Por otro lado, si la relación se invirtiera, y fuera menor que la del condrito, el valor de  $\epsilon\text{Hf}$  sería negativo y, por lo tanto, la fuente de estas rocas tendría una relación Lu/Hf menor que la del condrito, como es el caso de los magmas de origen cortical.

Otro parámetro que se puede obtener por esta metodología es la edad modelo del manto empobrecido (*DM-Depleted Mantle*). En este modelo se supone que el manto habría sufrido episodios de fraccionamiento involucrando la extracción de magmas basálticos para la generación de corteza continental, causando un empobrecimiento de los elementos livianos (LILE- *Large Ion Lithophile Elements*) y también de los elementos de tierras raras livianas (LREE) en este reservorio (Nebel *et al.*, 2007).

Los valores asumidos actualmente para el manto empobrecido para las relaciones  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  y  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  son 0,28325 y 0,0388 respectivamente (Andersen *et al.*, 2009). La edad

modelo  $T_{DM}$  es calculada a partir de la composición isotópica inicial de Hf en el momento que el circón cristalizó y de la relación Lu/Hf de la corteza precursora, sea ella de composición máfica o félsica (Pietranik *et al.*, 2008). Por lo tanto, es importante realizar los análisis de U-Pb y Lu-Hf sobre el mismo grano de circón, a fin de recalcular el  $\epsilon_{Hf}$  y la edad modelo  $T_{DM}$  del momento de su cristalización.

De esta forma, para una misma unidad formacional, las diferentes composiciones isotópicas de Hf encontradas en una población de circones, o incluso en un mismo circón, permiten caracterizar los diferentes eventos magmáticos o metamórficos que se produjeron a nivel regional durante la evolución de la corteza de las regiones de origen o fuente que aportaron estos detritos (Gerdes y Zeh, 2006, 2009).

### F3. Materiales y técnica analítica.

Para el análisis de las relaciones isotópicas Lu-Hf se procedió a la selección de aproximadamente 30 granos de circón por muestra estudiada. Estos circones previamente datados por U-Pb, comprenden el espectro de edades más representativas de cada muestra, particularmente aquellas que corresponden a las fuentes principales de aporte.

Todos los análisis y aplicación de la metodología Lu-Hf fueron llevados a cabo en el Centro de Pesquisas Geocronológicas de la Universidad de São Paulo (CPGeo, USP), Brasil, bajo la supervisión del Prof. Dr. Miguel A. Stipp Basei. Los procedimientos analíticos y características metodológicas utilizadas se detallan a continuación:

- Cada análisis se compone de 50 mediciones secuenciales (de aproximadamente 1 s de integración cada una) en el ICP-MS "Neptune", bajo la ablación del láser excimer "Analyte Excite".
- Se miden 7 señales isotópicas simultáneamente, todas en copas de Faraday (para una mejor intercalibración): 171, 173, 174, 175, 176, 177, 178 y 179.
- Al final de cada secuencia de medición, el valor medio del blanco instrumental se resta inmediatamente de cada una de las 7 señales isotópicas.
- Para todos los cálculos, los isótopos Yb (171, 173, 174 y 176), Lu (175 y 176) y Hf (176, 177, 178 y 179) publicados por la IUPAC (<https://www.Ciaaw.org/pubs/TICE-2009.pdf>).
- Las señales 171, 173 y parte de la señal 174 se utilizan para calcular el coeficiente de fraccionamiento (sesgo de masa) de Yb ( $\beta_{Yb}$ ), adoptando una ley exponencial.
- Las señales 179, 178, 177 y parte de la señal 174 se utilizan para calcular el coeficiente de fraccionamiento de Hf ( $\beta_{Hf}$ ), adoptando también una ley exponencial.
- Como no tiene suficientes isótopos para corregirse, se asume que el coeficiente de fraccionamiento de Lu es:  $\beta_{Lu} = \beta_{Hf}$ .
- La relación  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  se obtiene después de restar las interferencias  $^{176}\text{Yb}$  (estimadas mediante  $\beta_{Yb}$ ) y  $^{176}\text{Lu}$  (estimadas mediante  $\beta_{Lu}$ ) de la señal total de 176.

- Los parámetros:  $\epsilon_{\text{Hf}}$ ,  $T_{\text{DM}}$ , etc se calculan luego utilizando las fórmulas de Yang *et al.* (2007).

#### **F4. Unidades estudiadas.**

Seis muestras por cada unidad procedentes de diferentes sectores de la cuenca, pertenecientes a las facies arenosas de la Formación Talacasto y Punta Negra fueron seleccionadas para ser analizadas por la metodología Lu-Hf. De la población de circones, previamente datados mediante análisis U-Pb, se eligieron treinta granos cuyas edades comprendieran los rangos más frecuentes obtenidos previamente o porque resultaran ser significativas. Las muestras estudiadas para la Formación Talacasto son: 16T06 (niveles superiores de la unidad, por encima de la capa guía de Keidel) y 16T56 (areniscas del nivel guía propiamente dicho) ambas de la localidad de Loma de los Piojos; 17T04 perteneciente a la quebrada de las Aguaditas, 16T40 (areniscas próximas al contacto con la Formación Punta Negra) aflorantes en el margen del río de las Casitas, 16T45 (areniscas ubicadas a 20 metros por debajo del horizonte guía) de la localidad tipo: Quebrada de Talacasto y 16T64 areniscas expuestas sobre el margen del río San Juan. Mientras que la Formación Punta Negra queda representada por las muestras: 17PN07 del perfil de las Aguaditas; 16PN33 aflorante sobre el río de las Casitas, 16PN43 ubicada en la quebrada de Talacasto, 16PN54, esta muestra se ubica en flanco oriental de la Sierra de la Invernada, 16PN59 representa a la unidad en la sección tipo sobre el río San Juan y 17PN18 es la muestra más austral tomada en cercanías del Puesto Bachongo. También se analizaron dos muestras de la Formación Los Espejos: 16LE29, sobre el río Jáchal y 17CAR, sobre el río San Juan, por último, se efectuó un análisis en la muestra 16LS55 de la Formación Los Sombreros a modo de comparación. De esta forma, se intenta precisar si las fuentes de detritos que estén aportando circones poseen firmas isotópicas similares o son diferentes. (Tablas de datos en el anexo “Datos Lu-Hf”).

#### **F5. Resultados.**

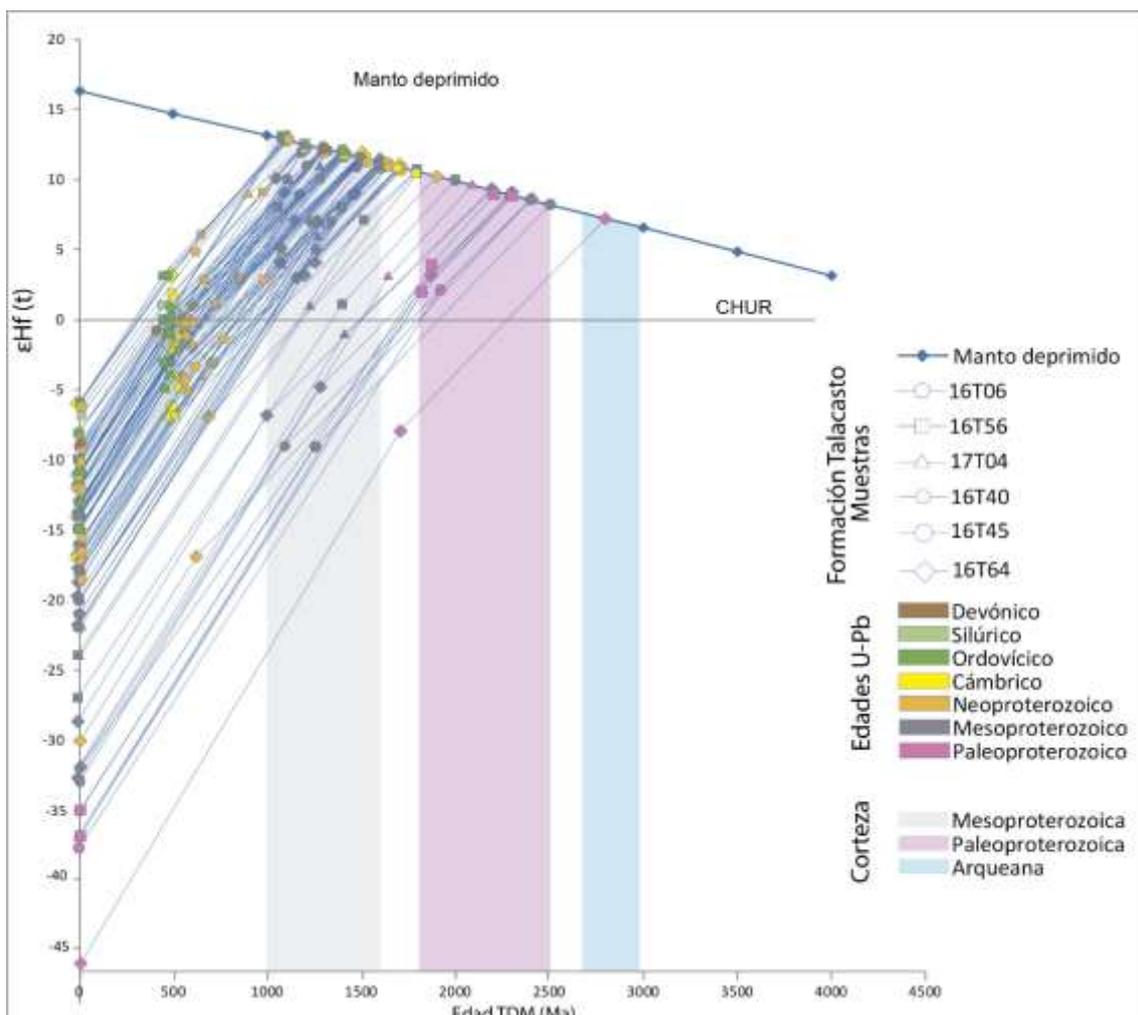
Para una mejor comprensión, se presentan los resultados de las poblaciones de circones seleccionados para el análisis Lu-Hf, separados según los rangos de edades establecidos como frecuentes o significativas para cada una de las formaciones estudiadas, desde las edades más antiguas a las más jóvenes.

##### F5a. Formación Talacasto (Grupo Gualilán).

*Circones paleoproterozoicos:* se seleccionaron 6 granos de circones correspondientes a estas edades, con registros U-Pb entre 1710 Ma y 1920 Ma. Este grupo de circones mostraron relaciones isotópicas de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (t) entre 4 y -8, mientras que las edades modelos  $T_{\text{DM}}$  Hf registradas varían desde los 2200 a los 2800 Ma. Es de destacar que los circones de estas edades suelen agruparse dentro los derivados de corteza paleoproterozoica a excepción de un único grano correspondiente a la muestra 16T64 el cual registró una edad U-Pb de 1710 Ma y valor de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (t)

de -8 y un  $T_{DM}$  de 2800 lo que indica que proviene de una corteza antigua de edad arqueana (Figura VI-50).

*Circones mesoproterozoicos*: un total de 39 granos de edades mesoproterozoicas fueron analizados. Para una mejor interpretación de los resultados los circones se agruparon de acuerdo a sus edades en Calymmiano, Ectasiano y Steniano (de acuerdo a la Escala de la IUGS), las mismas serán expuestas según a su abundancia. El rango de edad steniana (Grenvilliano), quedó representado por 18 circones los cuales registraron relaciones  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  para  $\epsilon\text{Hf}(t)$  entre 13 y -10, con edades modelo  $T_{DM}$  entre 1100 y 2400 Ma. Las edades ectasianas (1200-1400 Ma) fueron registradas en 14 cristales que arrojaron valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  entre 11 y -12, mientras que las edades modelos varían entre 1300-2500 Ma. Por último, 7 circones de edades U-Pb entre 1400-1600 Ma (calymmianas) fueron analizados, estos presentaron un rango de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  entre 11 y -1 con valores  $T_{DM}$  entre 1500 y 2300 Ma. Es de destacar que la mayor cantidad de circones de estas edades analizadas se agrupan en una nube de datos que indica que derivan de una corteza mesoproterozoica, mientras que otro pequeño grupo se relacionan a una corteza paleoproterozoica, en tanto que los valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  evidencian mayormente un origen de los circones desde fuentes mantélicas juveniles (Figura VI-50).



**Figura VI-50.** Diagrama comparativo de la evolución  $\epsilon\text{Hf}(t)$  vs. edad  $T_{\text{DM}}$  para circones detríticos de la Formación Talacasto. Los rangos principales de  $T_{\text{DM}}$  Hf son del Mesoproterozoico, en menor proporción del Paleoproterozoico y uno solamente Arqueano.

*Circones neoproterozoicos:* para este intervalo se analizaron 29 cristales de circón (edades más representativas dentro de la unidad) obteniéndose valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  en un rango entre 9 y -17 y comprendiendo las edades modelos  $T_{\text{DM}}$  Hf un espectro de 1100-2400 Ma. Si bien se obtuvo un valor de edad modelo correspondiente a una corteza paleoproterozoica, la mayor cantidad de circones analizados derivarían desde fuentes mesoproterozoicas (Figura VI-50).

*Circones cámbricos:* los granos de estas edades fueron divididos en dos grupos, por un lado, los cámbricos inferiores correspondientes al ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano y por otro, los cámbricos medios y superiores que se involucran en el ciclo orogénico Famatiniano.

*Circones cámbricos inferiores:* se analizaron un total de 4 circones mostrando relaciones isotópicas con valores  $\epsilon\text{Hf}(t)$  entre -1 y -5, presentando edades modelo  $T_{\text{DM}}$  Hf entre 1500-1700 Ma.

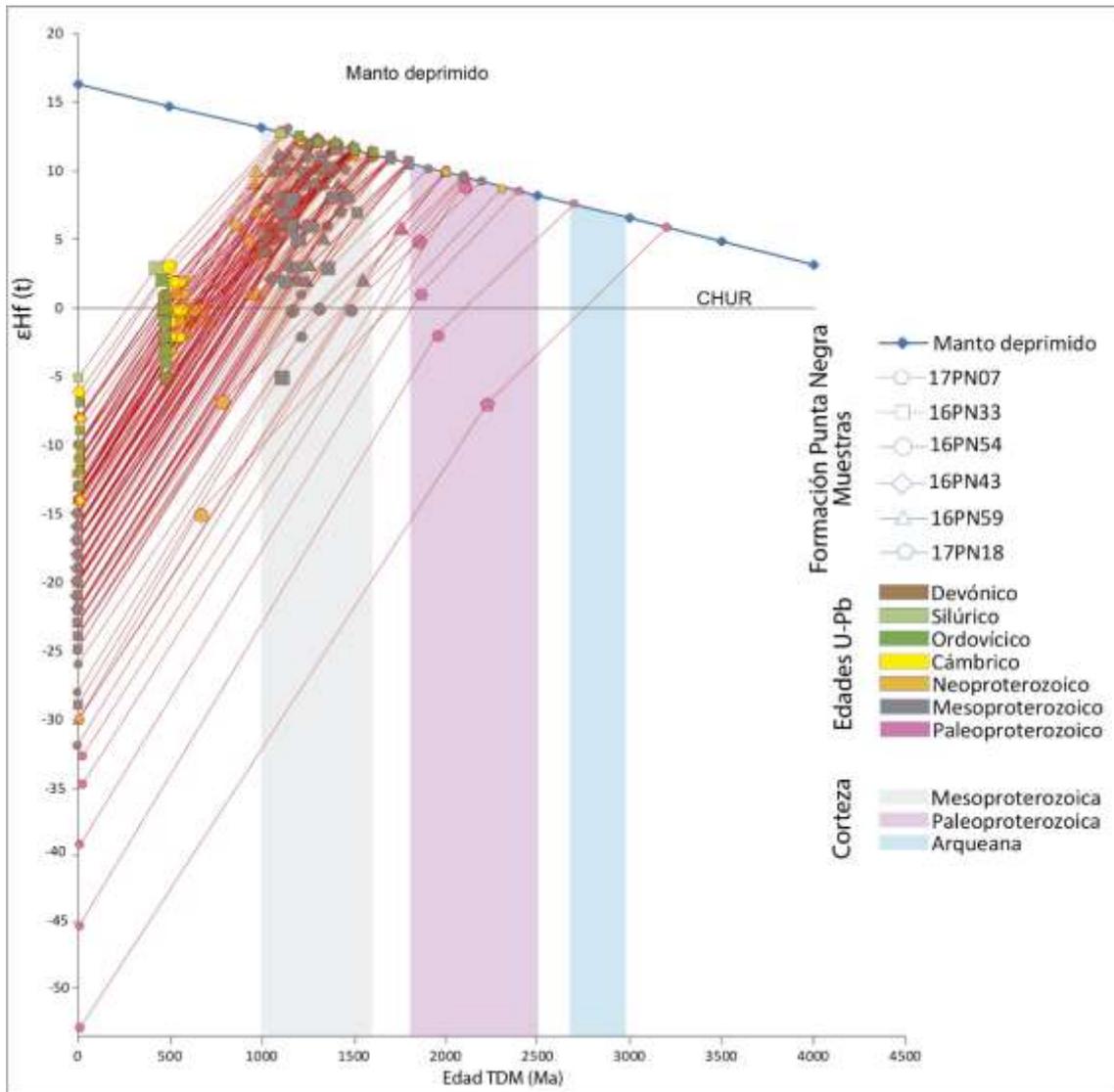
*Circones cámbricos medios y superiores:* se analizaron 20 cristales de circón para este rango temporal, los cuales revelaron valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  entre 2 y -7 mientras que el rango de edades  $T_{\text{DM}}$  Hf es de 1100 a 1800 Ma. En ambos casos para la mayor parte de los circones, los resultados indican que derivarían de una corteza mesoproterozoica, acompañados en segundo lugar por aquellos que derivan de cortezas más antiguas de edad paleoproterozoica (Figura VI-50).

*Circones ordovícicos:* fueron el segundo rango temporal más analizado con un total de 23 circones, para ellos se obtuvieron rangos de 3 a (-5) y 1100-1600 Ma para  $\epsilon\text{Hf}(t)$  y  $T_{\text{DM}}$  respectivamente. Todos los circones de esta edad derivan de una corteza de edad mesoproterozoica (Figura VI-50).

*Circones silúricos y devónicos:* únicamente fueron analizados dos circones, uno de cada lapso temporal. Los valores obtenidos de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  y  $T_{\text{DM}}$  resultaron ser 1 y 1200 Ma para el circón Silúrico, -1 y 1300 Ma para el Devónico indicando que ambos derivan de una corteza de edad mesoproterozoica (Figura VI-50).

#### F5b. Formación Punta Negra (Grupo Gualilán).

*Circones paleoproterozoicos:* se seleccionaron 6 granos correspondientes a estas edades. Los cuales mostraron relaciones isotópicas para el  $\epsilon\text{Hf}(t)$  entre 9 y -7, mientras que las edades modelos  $T_{\text{DM}}$  Hf registradas varían desde los 2000 Ma a los 3200 Ma. Los circones de estas edades se agrupan como derivados de corteza de edad paleoproterozoica a excepción de dos granos, uno correspondiente a la muestra 17PN07 con valor de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  de -2 y un  $T_{\text{DM}}$  de 2700 Ma y el único circón de la muestra 17PN18 con valores de -7 y 3200 Ma lo que indica que ambos provienen de una corteza antigua de edad arqueana (Figura VI-51).



**Figura VI-51.** Diagrama comparativo de la evolución  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  vs. edad  $T_{\text{DM}}$  para circones detríticos de la Formación Punta Negra. Los rangos principales de  $T_{\text{DM}}$  Hf son del Mesoproterozoico, en menor proporción del Paleoproterozoico y Arqueano.

Circones mesoproterozoicos: fueron analizados unos 96 circones involucrados en este lapso temporal, de los cuales, 40 granos corresponden a circones de edades stenianas (Grenvilliano), que muestran relaciones  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  para  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 13 y -5, con edades modelo TDM entre 1100 y 2100 Ma. En cuanto a las edades ectasianas (1200-1400 Ma) fueron analizadas en un total de 46 circones, las relaciones isotópicas arrojaron valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 12 y -2, mientras que las edades modelos varían entre 1200-2100 Ma. Por último, 10 circones de edades (U-Pb entre 1400-1600 Ma), fueron analizados, estos presentaron un rango de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 10 y 0 con valores TDM entre 1600 y 2200 Ma. Al igual que en la unidad descrita previamente, los circones de estas edades se agrupan en una nube de datos que indica un origen a partir de una corteza de edad mesoproterozoica, y solo un pequeño grupo derivarían de una corteza paleoproterozoica (Figura VI-51).

Circones neoproterozoicos: los circones de estas edades representan en proporción el tercer grupo, con un total de 21 análisis, obteniéndose valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  en un rango entre 6 y -15 y comprendiendo las edades modelos TDM Hf un espectro de 1100-2300 Ma. En todos los casos los circones analizados derivarían de una corteza de edad mesoproterozoica, a excepción de dos cristales de la muestra 16PN54 que debido a sus valores de edades modelos, indican una procedencia desde una corteza de edad paleoproterozoica (Figura VI-51).

*Circones cámbricos:* los granos de estas edades no constituyen poblaciones significativas dentro de esta unidad, por lo que se analizaron 13 circones. Al igual que para la Formación Talacasto los circones cámbricos se dividieron en dos grupos: *Cámbricos inferiores*, se analizaron un total de 6 circones los cuales provienen únicamente de las muestras 17PN07 y 16PN54 mostrando relaciones isotópicas con valores  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 3 y -2, presentando edades modelo  $T_{\text{DM}}$  Hf entre 1100-1500 Ma. *Cámbricos medios y superiores*, fueron analizados en 7 cristales, los cuales revelaron valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 2 y -3 mientras que el rango de edades  $T_{\text{DM}}$  Hf es de 1200 a 1500 Ma. Todos los circones analizados derivarían desde cortezas mesoproterozoicas (Figura VI-51).

*Circones ordovícicos:* constituyen el rango temporal más representativo dentro del ciclo orogénico Famatiniano, donde se analizaron 11 circones provenientes de las muestras 16PN54 y 16PN33. Se obtuvieron rangos de 1 a -5 y 1200-1600 Ma para  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  y  $T_{\text{DM}}$  respectivamente. Todos los circones de esta edad derivan de una corteza de edad mesoproterozoica (Figura VI-51).

*Circones silúricos:* Un único circón de esta edad, de la muestra 16PN33 (Figura VI-51) fue analizado. Los valores obtenidos de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  y  $T_{\text{DM}}$  resultaron ser 3 y 1100 Ma respectivamente.

Todos los circones correspondientes al ciclo orogénico Famatiniano derivarían, de acuerdo con sus valores de edad modelo, de una corteza de edad mesoproterozoica, variando su origen desde mantélicos juveniles a corticales (Figura VI-51).

#### F5c. Formación Los Espejos (Grupo Tucunuco).

*Circones arqueanos:* se analizó un único circón de la muestra 16LE29 de edad U-Pb de 2520 Ma, este cristal exhibió relaciones isotópicas de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ : 1 y edad modelo  $T_{\text{DM}}$ : 2900 Ma (Figura VI-52A).

*Circones paleoproterozoicos:* se seleccionó un único circón de edad U-Pb: 1800 Ma, este circón mostró valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  y  $T_{\text{DM}}$  de 2 y 2900 Ma respectivamente. El valor de la edad modelo indica que proviene de una corteza antigua de edad arqueana (Figura VI-52A).

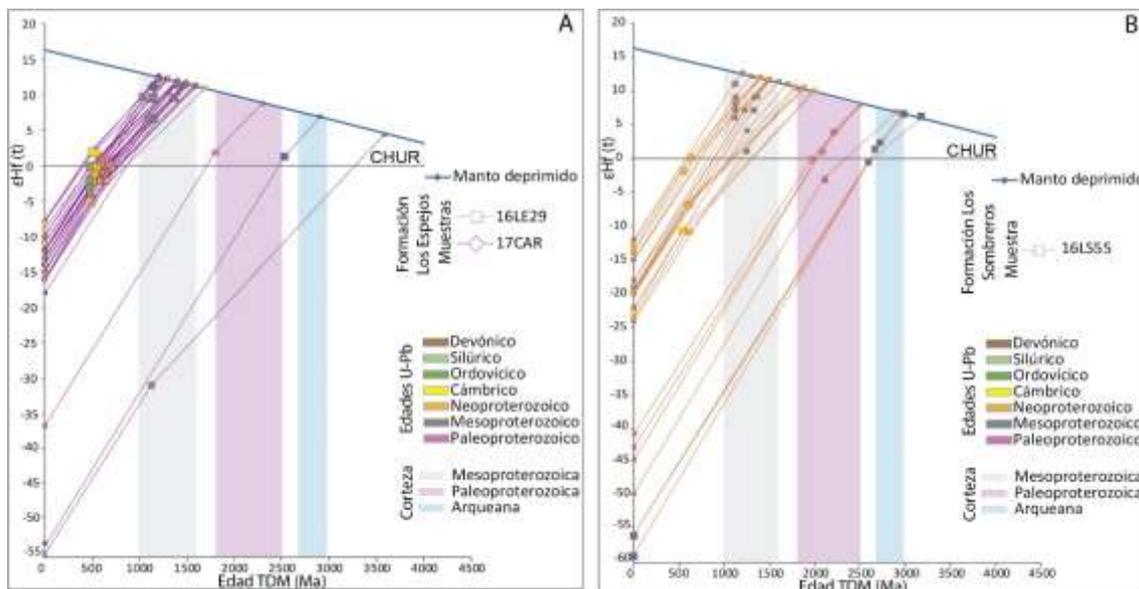
*Circones mesoproterozoicos:* un total de 9 granos de edades mesoproterozoicas fueron analizados. Se reconocieron circones de edades correspondientes al Ectasiano (un único registro) y al Steniano. El circón de edad 1350 Ma, arrojó valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ : 2 y  $T_{\text{DM}}$ : 2300 Ma, mientras que para el segundo grupo (stenianos) se analizaron 8 circones registrándose en 7 de ellos rangos

de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 7 y 10, mientras que las edades modelos  $T_{\text{DM Hf}}$  varían de 1200 a 1500 Ma, por lo que derivarían de una corteza de edad mesoproterozoica. Es de destacar que dentro de este grupo se distingue un circón de edad 1130 Ma con valores isotópicos  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  de -31 y  $T_{\text{DM}}$  de 3600 Ma, indicando un origen a partir de una corteza arqueana (Figura VI-52A).

*Circones neoproterozoicos:* para este intervalo se analizaron 9 granos, obteniéndose valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  en un rango entre 1 y -2, mientras que las edades modelos  $T_{\text{DM}}$ : varían entre 1300-1600 Ma (Figura VI-52A).

*Circones cámbricos:* Solo fue analizado un único circón de edad U-Pb 512 Ma, formando parte del ciclo orogénico Famatiniano, el cual mostró relaciones isotópicas con valor  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  de 2, presentando edad modelo  $T_{\text{DM Hf}}$  de 1200 Ma (Figura VI-52A).

*Circones ordovícicos:* 4 cristales para la muestra 16LE29 fueron analizados, obteniendo rangos de 0 a -4 y 1400-1600 Ma para  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  y  $T_{\text{DM}}$  respectivamente. Todos los circones de esta edad derivan de una corteza mesoproterozoica (Figura VI-52A).



**Figura VI-52.** Diagrama comparativo de la evolución  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  vs. edad  $T_{\text{DM}}$  para circones detríticos de la **A:** Formación Los Espejos y **B:** Formación Los Sombreros. Los rangos principales de  $T_{\text{DM Hf}}$  son del Mesoproterozoico, en menor proporción del Paleoproterozoico y Arqueano.

#### F5d. Formación Los Sombreros (Sierra de la Invernada).

*Circones arqueanos:* se analizaron tres cristales de este lapso temporal, con registro U-Pb entre 2620 a 2740 Ma. Las relaciones isotópicas registraron valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 2 y -1, y, por otra parte, las edades modelos  $T_{\text{DM}}$  varían entre 3000 y 3200 Ma (Figura VI-52B).

*Circones paleoproterozoicos:* se seleccionaron 4 granos de circones correspondientes a estas edades, con registros U-Pb entre 1960 Ma y 2200 Ma. Tres circones dentro del grupo mostraron relaciones isotópicas para el  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 4 y 0, y edades modelos  $T_{\text{DM Hf}}$  2500 Ma. Dentro de las edades paleoproterozoicas, se destaca un circón con edad U-Pb de 2100 Ma que

presenta un valor de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  de -3 y  $T_{\text{DM}}$  de 2900 Ma. Estas discrepancias indicarían un origen distinto para este circón, respecto a los demás granos del mismo lapso temporal estudiado (Figura VI-52B).

*Circones mesoproterozoicos:* un total de 13 granos de edades mesoproterozoicas fueron analizados, siendo el lapso temporal que cuenta con la mayor participación. Fueron registrados los intervalos de edades ectasianas y stenianas. Los 6 circones de edades ectasianas, muestran relaciones  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  para  $\epsilon\text{Hf}(t)$  entre 9 y 1, con edades modelo  $T_{\text{DM}}$  entre 1500 y 1800 Ma. Las edades stenianas (Grenvilliano) fueron registradas para 7 circones y arrojaron valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  entre 11 y 6, mientras que las edades modelos varían entre 1200-1500 Ma. Si bien para el primer grupo, se registraron dos valores de edades modelos  $T_{\text{DM}}$  que indican un origen a partir de una corteza de edad paleoproterozoica, el resto de los granos quedan incluidos como derivados de una corteza de edad mesoproterozoica (Figura VI-52B).

*Circones neoproterozoicos:* para este intervalo se analizaron 6 cristales, todos ellos comprendidos entre 553 y 631 Ma (edades U-Pb), obteniéndose valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  en un rango entre 0 y -11, mientras que el rango de las edades  $T_{\text{DM}}$  queda comprendido entre 1400 y 2000 Ma. Esto indicaría que los circones de este lapso temporal derivarían de dos cortezas de distintas edades: meso y paleoproterozoica (Figura VI-52B).

*Circones cámbricos:* se analizó un único circón de esta edad (544 Ma) el cual arrojó un valor de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  de -11 y  $T_{\text{DM}}$  de 2000 Ma, indicando una procedencia desde una corteza de edad paleoproterozoica (Figura VI-52B).

## F6. Discusión.

La mayoría de los circones de las muestras que integran el Grupo Gualilán, tanto de la Formación Talacasto como de la Formación Punta Negra presentan relaciones isotópicas y edad modelo  $T_{\text{DM}}$  similares. Aquellos circones con valores de  $\epsilon\text{Hf}$  positivo corresponden a un origen mantélico juvenil, mientras que lo que se encuentran próximos a la línea de valor 0 (entre -1 y 1) son interpretados como materiales reciclados de la corteza. Por otro lado, los valores negativos corresponden a circones de origen cortical. A partir de esta premisa, los granos analizados se dividen en aquellos que han cristalizado de fuentes mantélicas juveniles (54,8%), los derivados de materiales reciclados de la corteza (25,4%) y aquellos de origen cortical que representan el (19,8%).

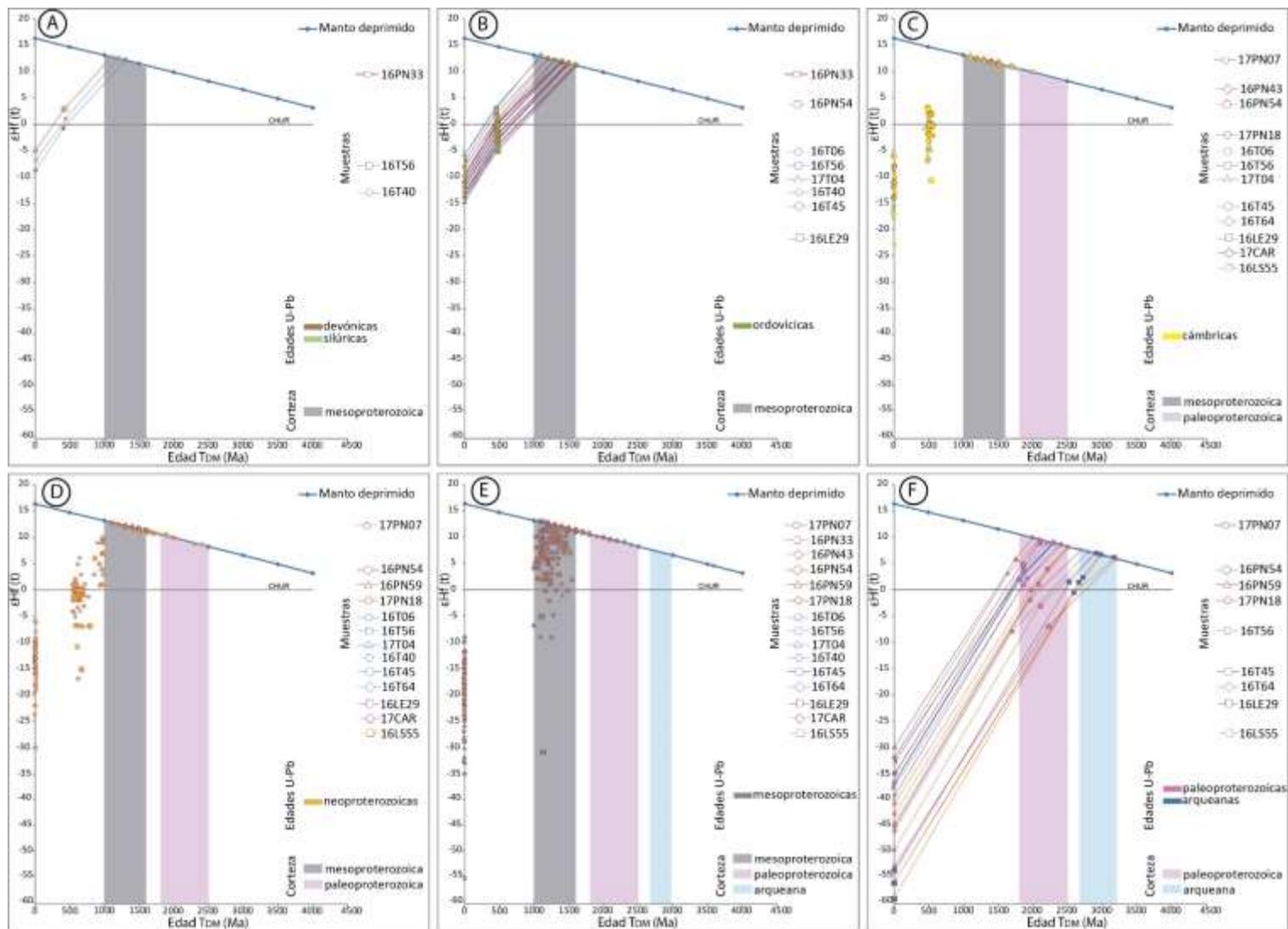
Como fue mencionado anteriormente, las relaciones isotópicas entre las dos unidades integrantes del Grupo Gualilán presentan valores similares. Las edades antiguas (paleoproterozoicas) en ambas unidades presentan rangos de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  entre 9 y -8 con un predominio de sus circones provenientes de cortezas de la misma edad a excepción de dos cristales (uno de cada unidad) los cuales arrojaron valores de  $T_{\text{DM}}$  que indican una procedencia desde una corteza antigua de edad arqueana (Figura VI-53F). Los registros mesoproterozoicos son

prácticamente idénticos, para los tres lapsos temporales, con claro dominio de los valores positivos de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  lo que indica un origen mantélico juvenil de los mismos, y edades modelos muy próximas a las edades de cristalización. Escasos granos corticales derivarían de cortezas antiguas de edades paleoproterozoicas (Figura VI-53E). Los circones neoproterozoicos arrojaron rangos amplios tanto en sus valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  entre 9 y -17, como de  $T_{\text{DM}}$  entre 1100-2400 Ma para ambas formaciones. Es de destacar que los circones neoproterozoicos con edades U-Pb entre 550 y 700 Ma se ubican sobre o muy próximos al valor 0 de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (circones reciclados) con edades modelos que indican que los mismos derivan de cortezas de edades mesoproterozoicas. Este grupo presenta algunas excepciones, donde los valores  $\epsilon_{\text{Hf}}$  son muy negativos ( $\approx -20$ ), los cuales derivarían de cortezas de edad paleoproterozoica. Un segundo grupo de circones neoproterozoicos de edad U-Pb entre 800 y 1000 Ma, arrojaron en todos los casos valores positivos de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (t), indicando que proceden de fuentes mantélicas juveniles (Figura VI-53D). El resto de los circones (cámbricos, ordovícicos, silúricos y devónicos) presentan rangos similares de los dos parámetros analizados. Sus valores  $\epsilon_{\text{Hf}}$  son mayormente negativos, indicando que los circones son de origen cortical o de fuentes recicladas (Figura VI-53A-B-C).

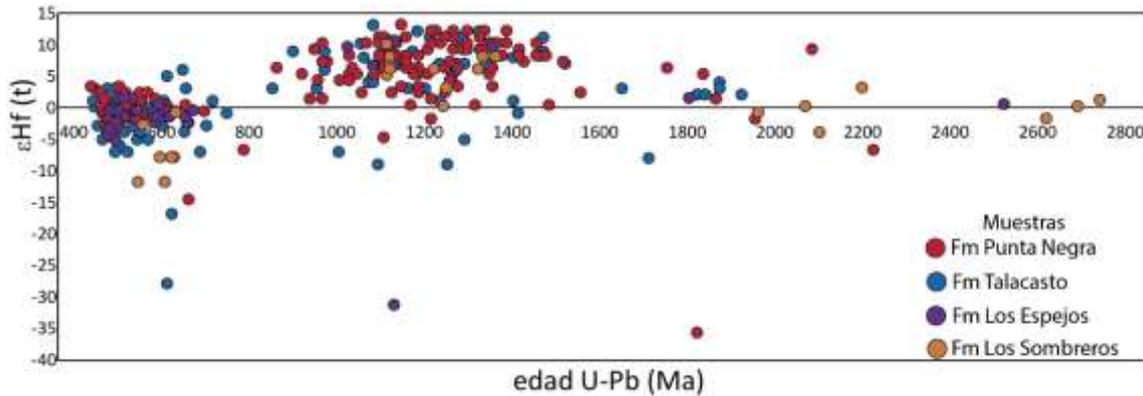
Al comparar estas unidades con las muestras de las formaciones Los Espejos y Los Sombreros encontramos algunas discrepancias. En estas dos unidades están presentes edades arqueanas con valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (t) próximos a 0 a levemente positivos, indicando un origen de los circones desde fuentes recicladas a mantélicas juveniles (Figura VI-53F). De igual modo, los circones paleoproterozoicos resultan ser más representativos que en las unidades analizadas anteriormente y derivarían de las mismas fuentes que aquellos circones arqueanos.

En cuanto a las edades mesoproterozoicas, se destaca que solo se encuentran representados los rangos U-Pb (Ectasiano-Steniano) pero el patrón de comportamiento de los parámetros isotópicos resulta ser el mismo con todos los valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (t) positivos. La única excepción es un cristal de la muestra 16LE29 que cuenta con un valor de este parámetro de -31 y edad modelo 3600 Ma (Figuras VI-53E, VI-54).

Los circones neoproterozoicos se concentran en las edades U-Pb  $< 700$  Ma y el comportamiento para las dos unidades es diferente. En la Formación Los Espejos los circones de estas edades se ubican muy próximos a la línea de valor 0 con una leve tendencia a los valores negativos (Figura VI-53D, VI-54). Mientras que los circones de las mismas edades para la Formación Los Sombreros presentan valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (t) negativos (Figura VI-53D, VI-54). La gran discrepancia entre estas formaciones y las unidades del Grupo Gualilán es la ausencia de edades U-Pb  $> 800$  Ma y relaciones de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  (t) positivos, mientras que las edades modelos  $T_{\text{DM}}$  resultan ser semejantes con rangos comprendidos entre 1200 y 1600 (Figura VI-54).



**Figura VI-53.** Diagramas comparativos de la evolución  $\epsilon\text{Hf}(t)$  vs. edad  $T_{\text{DM}}$  para circones detríticos de las Formaciones Talacasto, Punta Negra, Los Espejos y Los Sombreros, separado por lapsos temporales. **A:** circones siluro-devónicos. **B:** circones ordovícicos. **C:** circones cámbricos. **D:** circones neoproterozoicos. **E:** circones mesoproterozoicos y **F:** circones paleoproterozoicos y arqueanos. Aquellos lapsos temporales con un gran número de circones analizados no presentan las líneas de evolución debido a que las mismas dificultan la visualización de los datos.



**Figura VI-54.** Diagrama de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  vs. edades U-Pb (Ma). Este gráfico permite visualizar rápidamente los lapsos temporales registrados por las muestras y los valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  para cada unidad.

Dado que se cuenta con escasos reportes que brinden información sobre datos Lu-Hf de las secuencias siluro-devónicas presentes en el terreno Cuyania, no resulta posible llevar a cabo un análisis comparativo profundo, requiriéndose para un futuro, incrementar este tipo de estudios para arribar a una mejor interpretación.

La única secuencia sedimentaria de esta edad en el Terreno Cuyania que cuenta con este tipo de análisis isotópico es la Formación Río Seco de los Castaños, aflorante en el Bloque de San Rafael (Cingolani *et al.*, 2017). Estos autores analizaron una muestra compuesta de 17 cristales de circón, de los cuales 14 presentan edades ordovícicas (U-Pb entre 447-465 Ma), exhibiendo un rango de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  de -4,20 a 12,44 y edades modelos que varían entre 1645 y 2444 Ma. Dos circones tienen edades cámbricas media (U-Pb: 519-521 Ma) y arrojaron valores  $\epsilon\text{Hf}(t)$  de -13,78 y -10,06 respectivamente, mientras que las edades modelos de los mismos fueron de 2300 y 2065 Ma. Por último, un único circón es de edad mesoproterozoica (U-Pb: 1073 Ma) presentando un valor de 5,40 para  $\epsilon\text{Hf}(t)$  y 1513 Ma de  $T_{\text{DM}}$ .

#### F6a. Comparación con otras secuencias sedimentarias.

Contrastando estos resultados respecto a los obtenidos para el Grupo Gualilán se desprende que los valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  y  $T_{\text{DM}}$  en circones ordovícicos y cámbricos de la Formación Río Seco de los Castaños no guardan relación con los hallados en las Formaciones Talacasto y Punta Negra. No obstante, el circón de edad U-Pb mesoproterozoica si presenta parámetros similares a los hallados para las muestras analizadas en el presente trabajo, que podrían derivar

de fuentes comunes. Aunque como se mencionó anteriormente, se requiere de un mayor número de datos para tener certeza sobre la interpretación.

Martin *et al.* (2020) exponen datos de secuencias sedimentarias más antiguas aflorantes en la Precordillera. Allí se analizaron por un lado las unidades cámbricas (Formación La Laja y Olistolito San Isidro) y por otro, las secuencias sinorogénicas ordovícicas: Formaciones Trapiche (sección superior), Gualcamayo (sección superior) y La Cantera (sección basal). También son consideradas en la comparación la Formación Ponón Trehué del Bloque de San Rafael. En este mismo trabajo los autores mencionados presentan valores isotópicos de diferentes áreas de basamento que podrían actuar como fuentes de los detritos encontrados en las secuencias del Grupo Gualilán: diversas litologías del Complejo Pie de Palo y Sierra de Maz, la unidad metasedimentaria denominada Formación Difunta Correa y una muestra de granitoide representante del arco magmático Famatiniano (Figura VI-55).

Del análisis de los datos proporcionados por Martin *et al.* (2020) encontramos que las secuencias cámbricas analizadas de la Precordillera quedan agrupadas en dos campos de acuerdo a los valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ . Por un lado, las muestras de la Formación La Laja junto a un único grano de la muestra del Olistolito San Isidro, se ubican en el campo de manto empobrecido donde los valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  arrojan en promedio un valor de +4, siendo los valores de U-Pb de cristalización de estos circones del orden de 1250 a 1500 Ma. Los restantes granos del Olistolito San Isidro (U-Pb *ca.* 1250 A 1500 Ma) conforman un grupo con valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 5 y 10; estos circones estarían próximos a la edad de sedimentación de la muestra (Figura VI-55C).

Al comparar estos datos con las unidades del Grupo Gualilán encontramos que para el primer grupo de circones analizados (mesoproterozoicos) se registran altos valores de correlación, lo cual indicaría que para estas secuencias las fuentes de detritos de estas edades fueron las mismas. En cuanto al segundo grupo de circones (cámbricos), no se registran en las muestras del Grupo Gualilán valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  comprendidos entre 5 y 10, si no que para estas edades los valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  varían entre 5 y -10 aproximadamente por lo que esta gran disparidad de las relaciones isotópicas indica que las fuentes de detritos de edad cámbrica no serían las mismas.

Las muestras de las secuencias sinorogénicas ordovícicas por su parte, abarcan un mayor lapso temporal y producen una distribución más amplia de los valores  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ . Los circones de la Formación La Cantera y los de la muestra (SF7) de la Formación Gualcamayo quedan comprendidos mayormente entre 1000 y 1500 Ma siendo los valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre un rango de 10 a -10. La segunda muestra de la Formación Gualcamayo (SF4) exhibe valores de circones entre 600 a 2500 Ma (edades U-Pb) por lo que el rango de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  es mayor ( $\approx$ 10 a -15) al de las demás secuencias ordovícicas. Por otro lado, los circones de la Formación Ponón Trehué del Bloque de San Rafael en el Sur de Cuyania, se encuentran concentrados entre los 1150 a 1300 Ma, siendo el rango de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  entre 7 y 12 (Figura VI-55A).

De los datos proporcionados para las secuencias ordovícicas se desprende que las edades mesoproterozoicas presentan relaciones isotópicas de Hf semejantes a las muestras del Grupo Gualilán, siendo muy probable que las fuentes de detritos de estas edades sean las mismas, a pesar que el rango se extiende a los valores negativos de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  los datos se concentran mayormente en el campo de los circones originados a partir de fuentes mantélicas juveniles con ( $\epsilon\text{Hf}(t)$  positivos). Es para destacar que si bien las muestras representan secuencias ordovícicas no se registran circones de estas edades.

#### F6b. Comparación con rocas de basamento.

Rocas de basamento de edad paleoproterozoica pertenecientes al Cratón del Rio de la Plata fueron estudiadas por Cingolani *et al.* (2010); Cingolani, (2011); Oyhantçabal *et al.* (2018). Estos autores obtuvieron para rocas del Terreno Piedra Alta (Uruguay) y Tandilia (Argentina) edades modelos  $T_{DM}$  levemente más antiguas que las edades de cristalización, lo que indicaría una proveniencia desde una corteza paleoproterozoica a neoarqueana. Los valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  resultaron positivos a ligeramente negativos, por lo que se interpretan como originados en una fuente mantélica juvenil.

Las rocas analizadas del Grupo Gualilán mostraron comportamientos semejantes a lo expuesto por los autores mencionados anteriormente, donde las edades modelos  $T_{DM}$  resultaron ser paleoproterozoicas y los valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  positivos. Unos pocos granos exhibieron valores negativos de  $\epsilon\text{Hf}(t)$ , indicando que provendrían de una corteza reciclada de edad neoarqueana. En función de lo mencionado, se puede interpretar al Cratón del Rio de la Plata como la posible fuente de detritos de los circones de edad paleoproterozoica.

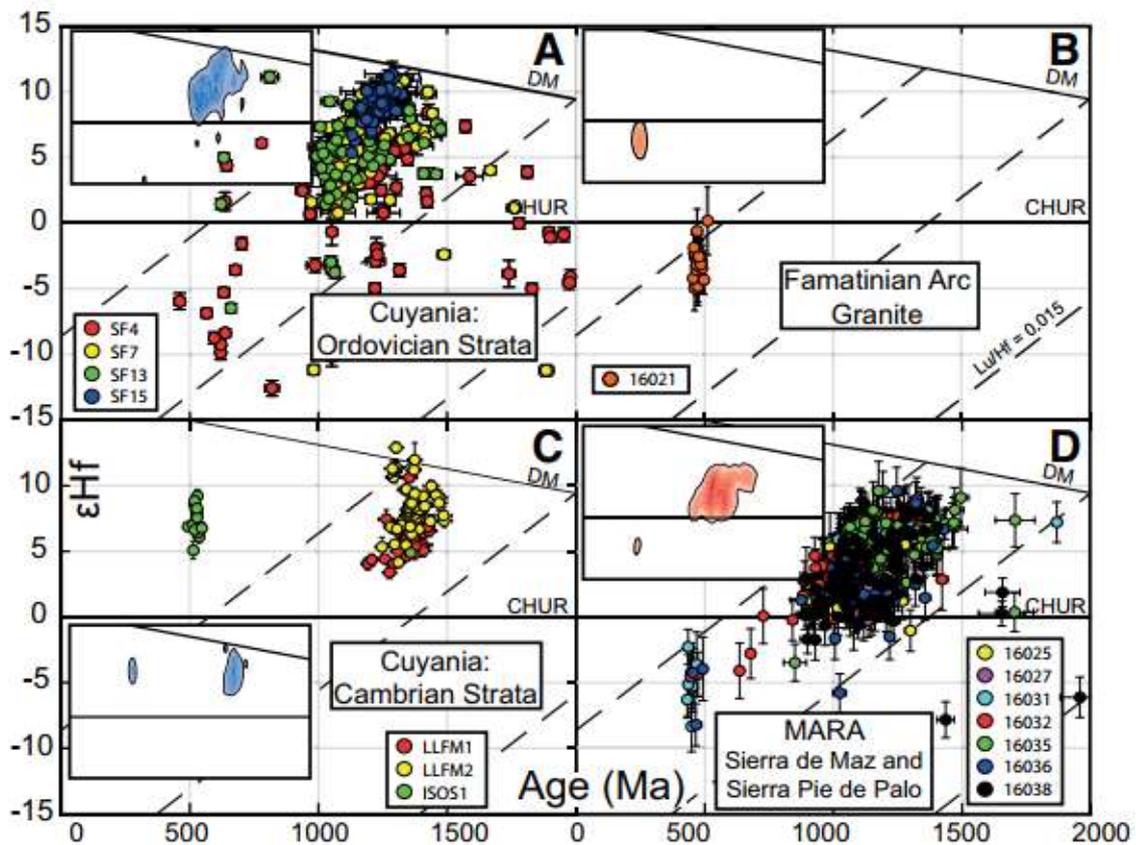
Las rocas del basamento de edad mesoproterozoica de las Sierras de Maz y Pie de Palo fueron analizadas por Martin *et al.* (2020). Las muestras tomadas en la Sierra de Maz arrojaron edades de cristalización entre 1400 y 900 Ma, mientras que un ortogneis de la Sierra de Pie de Palo exhibió edades de cristalización y valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  muy similares con un grupo de datos primarios entre 1400 a 900 Ma y  $\epsilon\text{Hf}(t)$  7 a -1. Una población subordinada dentro de esta muestra arrojó valores cercanos a 470 Ma, siendo los datos de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  de un rango entre -4 y -8 aproximadamente (Figura VI-55D).

De los datos obtenidos para muestras del basamento Mesoproterozoico, encontramos relevantes semejanzas con los circones detríticos de esta edad tanto de la Formación Talacasto como de Punta Negra. Sin embargo, en estas unidades los valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  se extienden hasta *ca.* 15, con pocas excepciones que registran valores negativos de este parámetro.

Las rocas neoproterozoicas incluidas dentro de la secuencia metasedimentaria conocida como Formación Difunta Correa se apoyan sobre las unidades de basamento de las Sierras de Maz y Pie de Palo, la cual presenta una matriz dominante de *ca.* 1500 a 850 Ma y  $\epsilon\text{Hf}(t)$  de 10 a -3, con pocos valores atípicos. Los valores de  $\epsilon\text{Hf}(t)$  obtenidos para los circones neoproterozoicos

presentan relaciones isotópicas similares a los circones de la misma edad presentes en el Grupo Gualilán, pero en este último es posible encontrar valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  más negativos llegando a *ca.* -15. En este sentido los circones neoproterozoicos podrían derivar parcialmente de esta fuente. Al igual que en la muestra mesoproterozoica de la Sierra de Pie de Palo se obtuvo una población subordinada de 470 Ma y  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  de -2 a -8, valores similares a los circones detríticos ordovícicos de las secuencias devónicas del Grupo Gualilán (Figura VI-55D).

Un granito representante del arco Famatiniano de edad U-Pb:  $472 \pm 1,4$  Ma fue analizado por Lu-Hf, los valores obtenidos de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  son muy constantes variando entre 0 y -5. Estos valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  resultan ser idénticos a los obtenidos para los circones detríticos de edad ordovícica en las muestras del Grupo Gualilán, indicando que los granitoides del orógeno Famatiniano serían las fuentes de estos circones.



**Figura VI-55.** Diagramas de dispersión y densidad de  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  vs. edad U-Pb (Ma). Las muestras de Cuyania se agrupan por edades estratigráficas. **A:** Formaciones sedimentarias ordovícicas. **B:** Granito del arco Famatiniano. **C:** Unidades sedimentarias cámbricas. **D:** rocas de basamento de edades meso y neoproterozoicas. Tomado de Martin *et al.* (2020).

## G. SISTEMÁTICA Sm-Nd (ISÓTOPOS DE Nd Y EDAD MODELO $T_{\text{DM}}$ ).

### G1. Introducción.

De los análisis realizados a rocas sedimentarias a partir del par Sm-Nd obtenemos valiosa información acerca del área de aporte de detritos y del basamento donde se desarrollan las cuencas, de este modo, esta herramienta es significativa para reconstruir la historia y evolución de las cuencas sedimentarias. En la actualidad, la implementación de la metodología Sm-Nd es considerada una herramienta esencial en la determinación de la procedencia de las rocas sedimentarias, siendo dos los parámetros utilizados: el  $\epsilon_{Nd}$ , el cual compara la composición isotópica de la roca en estudio en relación a la composición de los meteoritos condriticos (CHUR) y la edad modelo ( $T_{DM}$ ) la cual refleja el momento de separación de un magma de determinada composición ígnea, a partir de un manto empobrecido (*Depleted Mantle*). Cuando el volumen de datos disponibles lo permite, son muy útiles para delimitar terrenos o provincias isotópicas a escala continental.

Las firmas isotópicas relacionadas a estos elementos se mantienen aparentemente inalteradas frente a procesos de erosión, transporte y deposición de los detritos (McLennan *et al.*, 1990), lo cual la convierte en una herramienta con alto valor interpretativo. Sin embargo, en muchas oportunidades a pesar de contar con resultados geológicamente significativos, continúan existiendo dudas en cuanto a la extensión e interpretación de los datos obtenidos, debido a que las rocas sedimentarias resultan ser una mezcla de detritos de diversos orígenes con diferencias isotópicas, derivados de varias rocas fuente.

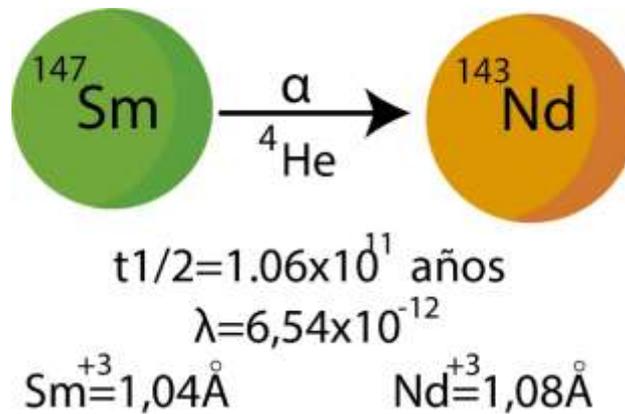
En las rocas estudiadas del Grupo Gualilán, se analizaron principalmente los isótopos de Nd para evaluar la procedencia de cada unidad, establecer posibles correlaciones e interpretar los ambientes tectónicos de deposición. Se realizaron análisis isotópicos en sedimentitas pelíticas procedentes de diferentes niveles de las formaciones Talacasto y Punta Negra, y una muestra procedente de la Formación Los Espejos, a modo de comparación.

## **G2. Sistema Sm-Nd: conceptos generales.**

El sistema Sm-Nd se distingue de otros métodos isotópicos ya que estos elementos, presentan un comportamiento químico muy similar, esto posibilita que la relación isotópica de padre/hijo no sea modificada en la mayoría de los procesos geológicos, manteniendo inalterado el sistema. Ambos pertenecen a los elementos de las tierras raras (ETR) caracterizados por tener propiedades físicas y químicas semejantes debido a su configuración electrónica.

La diferencia entre estos dos elementos radica en una pequeña discrepancia de sus radios iónicos. El  $Nd^{+3}$  con un radio iónico de 1,08 Å y el  $Sm^{+3}$  de 1,04 Å. Esta discrepancia es la responsable del fraccionamiento de estos elementos en los procesos de diferenciación magmática y cristalización fraccionada. El estado de valencia +3 en ambos elementos posibilita la unión con aniones mediante enlaces covalentes, este tipo de unión iónica produce una alta fuerza de atracción otorgando la baja solubilidad y movimiento de los compuestos.

El sistema Sm-Nd se basa en el decaimiento radiactivo del isótopo  $^{147}\text{Sm}$  (padre) en el isótopo estable  $^{143}\text{Nd}$  (hijo) por emisión de partículas  $\alpha$ , y con una vida media de 106 Ga (Figura VI-56)



**Figura VI-56.** Sistema isotópico Sm-Nd con las constantes usadas en geocronología y radios iónicos de los elementos Sm y Nd.

Si se considera al depósito condrítico como la fuente original, la evolución de las rocas por fusión parcial, resultará en la segregación de otros dos reservorios: uno empobrecido en elementos magmatófilos o manto empobrecido (*Depleted Mantle, DM*) y otro enriquecido en estos elementos, formado esencialmente por rocas corticales. De esta manera, la edad de las rocas de la corteza puede ser calculada en relación a:

- *El reservorio CHUR*, basado en la afirmación de que la evolución de Sm-Nd en el manto es similar a la evolución de este sistema en meteoritos condríticos.
- *El manto empobrecido (DM)*, asumiendo que el Sm/Nd evoluciona en un manto que se va empobreciendo en elementos incompatibles debido a las múltiples fusiones provocadas por la formación y extracción de la corteza.

A partir de este par isotópico, diferentes minerales o muestras de roca total pueden ser analizados mediante la aplicación de tres metodologías principales.

- Cálculo de edades convencionales, metodología poco utilizada debido a la relación inicial aproximada.
- Datación por medio de una isócrona, en la cual una serie de rocas cogenéticas, formarán una recta cuya pendiente será proporcional a la edad del conjunto. Se aplica para rocas intermedias a básicas; en estos casos son interpretadas como edades de cristalización. Mientras que las edades obtenidas de minerales como granates, anfíboles, piroxenos son interpretadas como edades de eventos metamórficos.
- Cálculo mediante el método de edad modelo ( $T_{DM}$ ) sobre roca total.

Esta última metodología es la más utilizada en los estudios de procedencia sedimentaria (Nelson y DePaolo, 1988; McLennan *et al.*, 2003; McDaniel *et al.*, 1997; Goldstein *et al.*, 1997),

esto se debe a las propiedades isotópicas del Nd en rocas sedimentarias clásticas, particularmente de tamaño de grano pelítico, las cuales ofrecen un buen registro de las características de las rocas fuentes que suministraron los detritos a la cuenca.

Para el cálculo del  $T_{DM}$  se implementa la siguiente ecuación:

$$T_{DM} = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ 1 + \frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{muestra}} - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{DM}}{(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{muestra}} - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{DM}} \right]$$

Donde las relaciones isotópicas de la muestra y la del DM son las actuales. Las edades Sm/Nd comúnmente exceden la edad estratigráfica, lo cual indica que los detritos están compuestos principalmente de material cortical reciclado que se separó del CHUR mucho tiempo antes de que se depositara. En contraparte, si la edad de depositación es próxima a la  $T_{DM}$  se interpreta como que los detritos son derivados de fuentes mantélicas prácticamente indiferenciadas.

El  $\epsilon_{Nd}$  se definió como el desvío de la relación  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  entre la muestra de roca y el reservorio CHUR o el manto empobrecido para un determinado tiempo. Este momento es una edad que generalmente se consigna como la edad de cristalización de la roca, en el caso de las rocas sedimentarias se considera la edad de depositación o estratigráfica.

El  $\epsilon_{Nd}$  puede ser calculado a través de la siguiente ecuación:

$$\epsilon_{Nd}(t) = \left[ \frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})(t)_{\text{muestra}}}{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})(t)_{\text{CHUR}}} - 1 \right] 1000$$

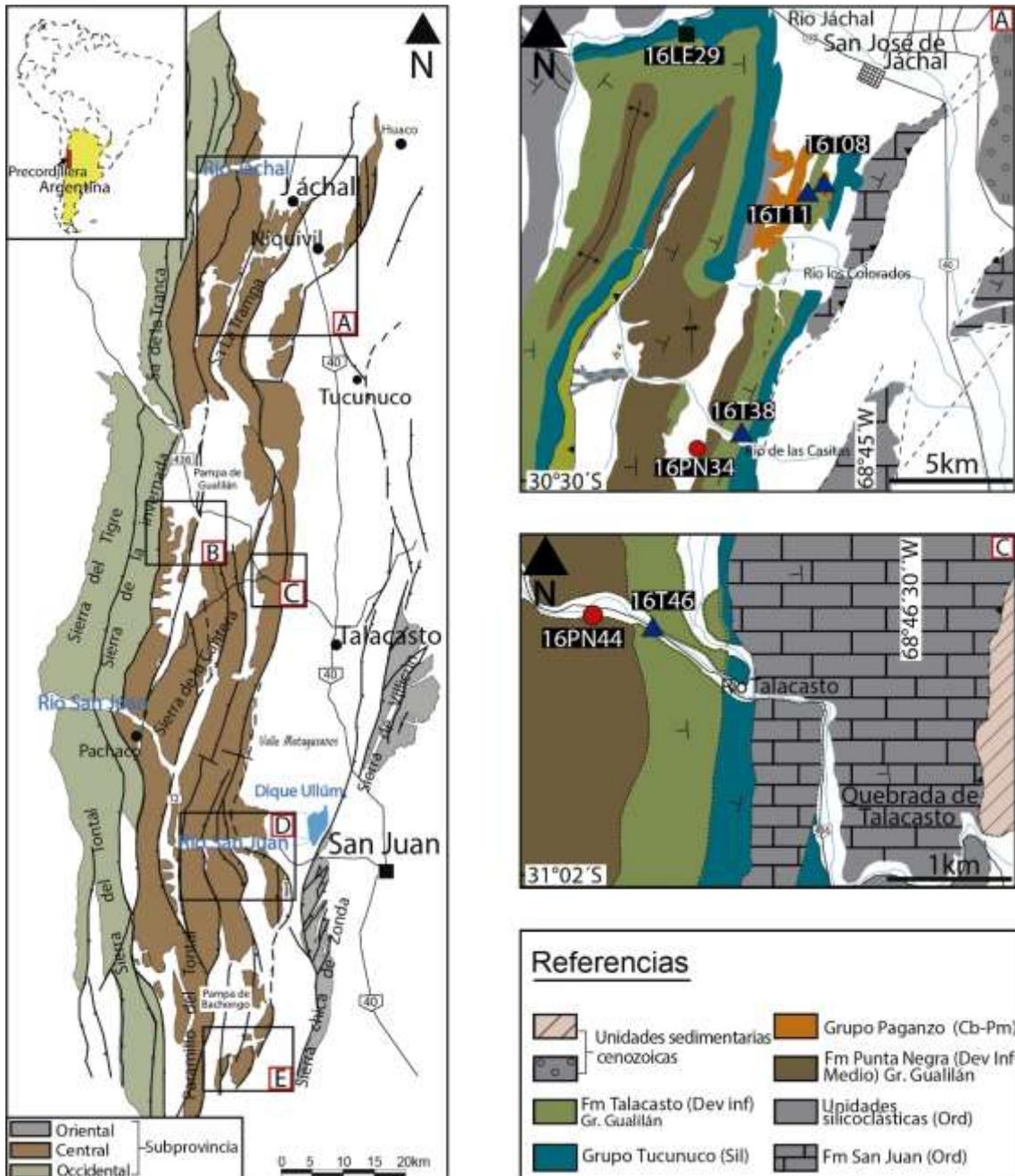
La relación  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  del manto empobrecido (DM) actual es considerada igual a la que presenta los basaltos de las dorsales centro-oceánicas (MORB). Esta premisa es descripta en los modelos de DePaolo (1981) y DePaolo *et al.* (1991).

Uno de los problemas al analizar la edad modelo de una roca sedimentaria, es que la misma es el resultado de posibles mezclas entre dos o más fuentes con diferencias isotópicas. En este caso la edad  $T_{DM}$  calculada es probable que sea intermedia o mezcla entre las fuentes participantes.

El otro parámetro de relevancia en los estudios de procedencia es el parámetro  $\epsilon_{Nd}$ , el cual es considerado una valiosa herramienta para discernir el origen de la roca fuente en función de su valor. Cuando el  $\epsilon_{Nd}$  es positivo generalmente las rocas fueron formadas a partir de la fusión del manto o de rocas corticales con una componente importante mantélica (juvenil). Si los valores de  $\epsilon_{Nd}$  son negativos, estos se asocian a rocas originadas a partir de la fusión de rocas corticales.

### G3. Muestras y técnicas analíticas.

Para el análisis de las edades modelo Sm-Nd  $T_{DM}$  se utilizaron 7 muestras pelíticas (roca total) de las cuales 6 de ellas corresponden al Grupo Gualilán: 2 pertenecientes a la Formación Punta Negra: 16PN34 (Río de las Casitas) y 16PN44 (Quebrada de Talacasto) y 4 correspondientes a la Formación Talacasto: 16T08; 16T11 (Loma de los Piojos); 16T38 (Río de las Casitas) y 16T46 (Quebrada de Talacasto) también fue analizada una muestra de la Formación Los Espejos: 16LE29 (Río Jáchal) para tener un parámetro de comparación (Figura VI-57).



**Figura VI-57.** Mapa de ubicación de muestras para aplicación de la metodología Sm-Nd en la región Centro Norte de la cuenca.

La preparación de las muestras para su análisis comenzó con el triturado del material; en primera instancia se realizó la trituración gruesa mediante chancadora de mandíbulas y posteriormente molienda fina con la implementación de molinos de ágata, estas tareas fueron llevadas a cabo en el Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET). Una vez listo el material pulverizado fue llevado al Centro de Pesquisas Geocronológicas de la Universidad de São Paulo, Brasil donde se desarrolló el análisis isotópico.

En la tabla VI-3: se detalla el nombre de muestra, la ubicación precisa de cada una, el tipo litológico y la unidad a la cual corresponde.

Formación	Muestra	Coordenadas geográficas		Litología
● Punta Negra (Devónico inferior -medio)	16PN34	30°31'07.00''S	68°52'39.10''O	Pelita
	16PN44	30°0.05'00''S	68°43'34.00''O	Pelita
▲ Talacasto (Devónico inferior)	16T08	30°17'04.00''S	68°46'51.00''O	Pelita
	16T11	30°31'32.00''S	68°54'11.00''O	Pelita
	16T38	30°17'47.00''S	68°46'33.00''O	Pelita
	16T46	31°0'10.00''S	68°46'50.00''O	Pelita
■ Los Espejos (Silúrico)	16LE29	30°12'35.25''S	68°53'07.90''O	Pelita

**Tabla VI-3.** Muestras para análisis Sm-Nd y la ubicación (GPS), litología y la unidad a la cual corresponde.

#### G3a. Técnica analítica.

La disolución de las muestras en polvo se realizó en el CPGeo en una sala limpia utilizando reactivos (HF + HNO<sub>3</sub> + HCl). Los elementos de tierras raras se extrajeron siguiendo técnicas de intercambio catiónico convencionales descritas por Sato *et al.* (2010). Las relaciones de isótopos se midieron con un espectrómetro de masas Finnigan MAT 262 multicollector y los errores citados se dan al nivel 2σ. Las concentraciones de Sm y Nd se obtuvieron mediante perlas fusionadas, disolución ácida e ICP-MS. Las relaciones <sup>147</sup>Sm / <sup>144</sup>Nd se calcularon usando los procedimientos de Hamilton *et al.* (1983), mientras que las proporciones <sup>143</sup>Nd / <sup>144</sup>Nd se normalizaron a <sup>146</sup>Nd / <sup>144</sup>Nd = 0,7219 (DePaolo, 1981) y <sup>143</sup>Nd / <sup>144</sup>Nd = 0,512103 (medición de laboratorio CPGeo del estándar JNDi-1 entre diciembre de 2016 y diciembre 2017). El valor medio de la relación <sup>143</sup>Nd / <sup>144</sup>Nd del estándar JNDi-1 durante el día del análisis fue 0,512107 ± 0,000004 (n = 16).

#### **G4. Resultados Sm-Nd (roca total).**

Los análisis por el sistema Sm/Nd permitieron comparar las edades modelos T<sub>DM</sub> en roca total de las unidades silicoclásticas que componen la secuencia del Grupo Gualilán y la unidad infrayacente (Formación Los Espejos), identificando patrones que vinculen y caractericen las

fuentes de detritos que rellenaron la cuenca (depocentro) al momento de la sedimentación de cada unidad.

Los resultados de los análisis isotópicos se muestran en la Tabla VI-4, donde se detallan los valores de las edades  $T_{DM}$  calculadas usando el modelo clásico de DePaolo (1981).

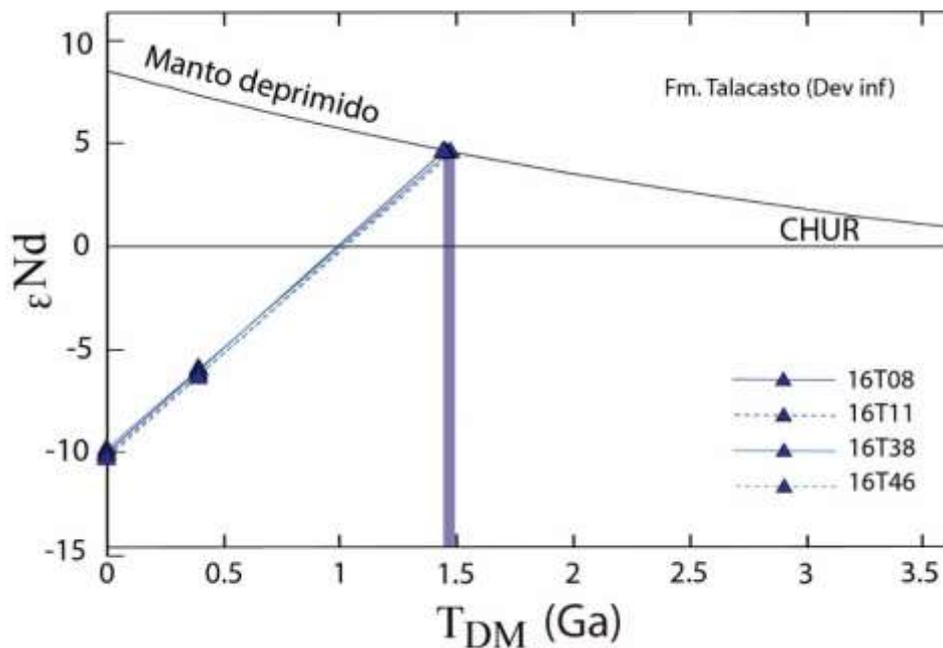
Muestra	Material	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	erro <sup>1</sup>	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	erro (2 $\sigma$ )	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$
16PN34	Pelita	6,672	36,327	0,1111	0,0007	0,512067	0,000004	-0,44	-11,14
16PN44	Pelita	8,554	43,528	0,1188	0,0012	0,512166	0,000004	-0,40	-9,21
16T08	Pelita	7,040	36,338	0,1171	0,0007	0,512118	0,000004	-0,40	-10,14
16T11	Pelita	7,024	35,827	0,1186	0,0007	0,512110	0,000004	-0,40	-10,31
16T38	Pelita	7,722	39,275	0,1189	0,0008	0,512134	0,000004	-0,40	-9,83
16T46	Pelita	7,366	38,465	0,1158	0,0008	0,512106	0,000005	-0,41	-10,37
16LE29	Pelita	24,621	93,616	0,1590	0,0012	0,512246	0,000004	-0,19	-7,66

**Tabla VI-4.** Resultados analíticos obtenidos (CPGeo) por la metodología Sm-Nd en roca total del Grupo Gualilán y la Formación Los Espejos.

A partir del conocimiento previo, el rango temporal estratigráfico de las unidades del Grupo Gualilán comprenden un lapso Devónico Inferior-Medio, mientras que la Formación Los Espejos queda limitada en el Silúrico Medio-Superior a Devónico Inferior bajo (Lochkoviano localmente). De esta forma, para los cálculos se tomó un tiempo “t” de 380 Ma para la Formación Punta Negra, 390 Ma correspondiente a la Formación Talacasto y 420 Ma, para la Formación Los Espejos.

#### G4a. Formación Talacasto (Grupo Gualilán).

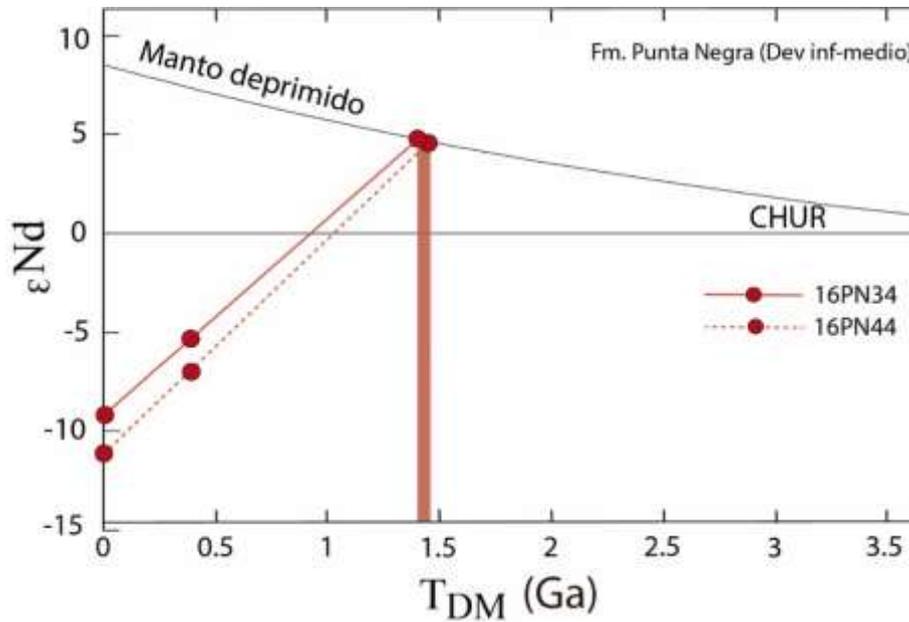
Formación Talacasto ( $t=390$  Ma) registra edades modelo  $T_{DM}$  entre 1,46-1,49 Ga (Mesoproterozoico Medio) y  $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$  que quedan comprendidos entre -9,83 y -10,38. El  $\epsilon_{\text{Nd}}(390$  Ma), se encuentra entre -6,0 y -6,4 (Figura VI-58).



**Figura VI-58.** Gráfico  $\epsilon_{\text{Nd}}$  vs.  $T_{DM}$  de la Formación Talacasto.

G4b. Formación Punta Negra (Grupo Gualilán).

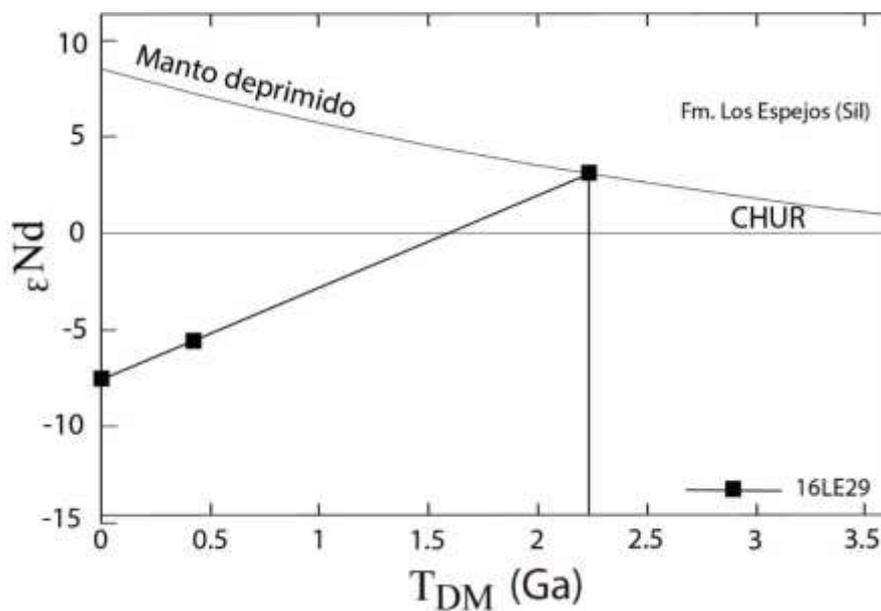
*Formación Punta Negra* ( $t=380$  Ma): los valores  $T_{DM}$  quedan comprendidos entre 1,41 y 1,45 Ga (Mesoproterozoico Medio) con valores negativos de  $\epsilon_{Nd}$  (0) que abarcan desde -9,21 a -11,14, siendo los valores de  $\epsilon_{Nd}$  (380 Ma): entre -5,4 y -7,0 (Figura VI-59).



**Figura VI-59.** Gráfico  $\epsilon_{Nd}$  vs.  $T_{DM}$  de la Formación Punta Negra.

G4c. Formación Los Espejos (Grupo Tucunuco).

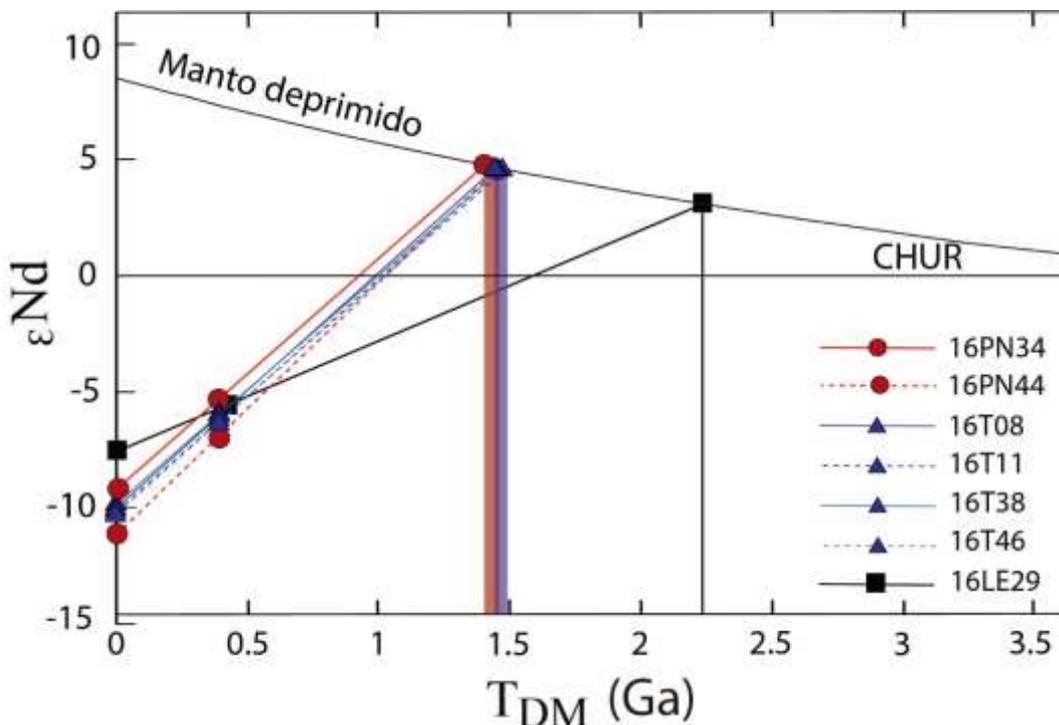
*Formación Los Espejos* ( $t=420$  Ma) al ser una única muestra la analizada el valor  $T_{DM}$  arrojado fue de 2,23 Ga (Paleoproterozoico) con valor de  $\epsilon_{Nd}$  (0) de -7,66 y  $\epsilon_{Nd}$  (420 Ma) de -5,6 (Figura VI-60).



**Figura VI-60.** Gráfico  $\epsilon_{Nd}$  vs.  $T_{DM}$  de la Formación Los Espejos.**G5. Discusión.**

Para las muestras analizadas de las formaciones Talacasto y Punta Negra se puede observar que poseen similares registros de edades  $T_{DM}$ , abarcando el rango entre 1,41 Ga a 1,49 Ga (Mesoproterozoico Medio) y registrando valores de  $\epsilon_{Nd}(t)$  negativos vinculados a fuentes de carácter cortical. Estos resultados difieren sustancialmente del obtenido para la Formación Los Espejos, el cual posee una edad  $T_{DM}$  mayor (2,23 Ga, Paleoproterozoico). Esta variación evidencia un cambio en la naturaleza de las contribuciones detríticas aportadas, interpretándose que durante la colmatación de la cuenca silúrica hubo una participación de detritos que le confirieron a la Formación Los Espejos una edad  $T_{DM}$  más antigua respecto a las que se sucedieron posteriormente durante la sedimentación de las unidades devónicas.

Así, a partir del análisis global de los datos es posible identificar dos ciclos de sedimentación representados por cada una de las sucesiones estudiadas (Figura VI-61). No obstante, resulta necesario en un futuro contar con un mayor número de muestras analizadas, para establecer si se mantiene este patrón identificado preliminarmente, sobre la base de los resultados obtenidos en el presente trabajo y confirmar la dinámica de relleno de la cuenca Silúrico-Devónica.

**Figura VI-61.** Gráfico  $\epsilon_{Nd}$  vs.  $T_{DM}$  de todas las muestras analizadas.

Por los resultados obtenidos puede decirse al menos preliminarmente, que al momento de la depositación de la Formación Los Espejos, los sedimentos registrados provendrían de rocas

originadas a partir de magmas paleoproterozoicos, en tanto que, durante la depositación de las secuencias devónicas, los sedimentos que llegan a la cuenta se habrían originado a partir de magmas mesoproterozoicos. En ambos casos, los prolongados tiempos hasta su depositación final permitió una mezcla de diferentes fuentes y posible contaminación que queda evidenciado por los valores negativos del  $\epsilon\text{Nd} (t)$ .

#### G5a. Comparación con las posibles rocas fuentes.

A partir de la obtención de edades modelos  $T_{DM}$  para las muestras del Grupo Gualilán las cuales quedan comprendidas dentro del Mesoproterozoico, es que se pretende comparar los resultados con los datos isotópicos que existen para el basamento del terreno Cuyania. De igual modo se compararon los valores obtenidos del parámetro  $\epsilon\text{Nd} (t)$ . Estos fueron calculados para la edad estratigráfica de las unidades y arrojaron valores negativos de este parámetro, indicando un origen cortical de los sedimentos y evidenciando una mezcla de detritos desde las fuentes originales. Sin embargo, tomando la premisa de que la edad modelo es mesoproterozoica, si se analizan los datos obtenidos para las muestras del Grupo Gualilán teniendo en cuenta una edad hipotética de 1000 Ma, los valores obtenidos de  $\epsilon\text{Nd} (t)$  para ese tiempo resultan ser positivos indicando que la fuente sedimentos podría ser la misma con mayor grado de diferenciación. Para esto se tomaron las edades obtenidas en: 1) Sierra de Pie de Palo; 2) xenolitos de corteza de edad grenvilliana encontrados en rocas dacíticas terciarias del Cerro La Sal; 3) sierras Pampeanas occidentales norte (Umango, Espinal y Maz); 4) el basamento aflorante en el Bloque de San Rafael (Formación Cerro La Ventana); 5) Basamento del Bloque Las Matras (Plutón Las Matras) y también fue comparado con el basamento metamórfico de la Cordillera Frontal aflorante en el Cordón del Portillo (Figura VI-62).

1) Dentro del Complejo Pie de Palo, Rapela *et al.* (2010), analizaron un grupo diverso de rocas, entre los que se incluyen anfibolitas, meta-gabros, meta-trondhjemitas, venas graníticas y ortogneises calcoalcalinos. Se obtuvieron edades modelos Sm/Nd de los meta-gabros, meta-trondhjemitas las que quedaban comprendidas entre 1,37 y 1,44 Ga; lo cual indicaría debido a las edades de cristalización de las mismas que estas rocas tuvieron un corto periodo de tiempo para diferenciarse, esto se encuentra avalado por el cálculo del  $\epsilon\text{Nd} (t)$  en donde la anfibolita y el meta-gabro presentan valores de +8 y +4,5 respectivamente. Esto sugiere que las unidades máficas y ultramáficas probablemente estén generadas a partir de un complejo apilamiento de rocas de arco y retroarco (Vujovich y Kay, 1998). En el caso del ortogneis calco-alcalino arrojó un valor  $T_{DM}$  de 1,77 Ga el cual fue interpretado como consecuencia de una subducción bajo una corteza madura, esta muestra exhibió el valor de  $\epsilon\text{Nd} (t)$  menos juvenil de toda la Sierra con -0,2 (Rapela *et al.*, 2010).

De igual modo fueron analizadas algunas de las rocas ígneas intercaladas con edades del Neoproterozoico y Ordovícico a modo de comparación. El Ortogneis Quebrada Derecha de edad

U-Pb SHRIMP:  $774 \pm 6$  Ma arrojó valores de  $T_{DM}$  ca. 1,06 y 0,9 Ga y  $\epsilon Nd$  de +4,2 y +4,9. (Baldo *et al.*, 2006). El Plutón El Indio de edad U-Pb SHRIMP:  $481 \pm 6$ , presentó un valor de  $T_{DM}$ : 1,48 Ga y  $\epsilon Nd$  de -3,6. Mientras que el Plutón Difunta Correa con edad U-Pb SHRIMP:  $470 \pm 10$  Ma arrojó un  $T_{DM}$  similar de 1,41 Ga y  $\epsilon Nd$  de -2,5 (Baldo *et al.*, 2006). Por su parte Rapela *et al.* (2005) presentaron los datos de una paraanfíbolita intercalada en esta última unidad 1,25 Ga aproximadamente de  $T_{DM}$  y  $\epsilon Nd$  de +1,1 (Figura VI-62).

La metasecuencia Difunta Correa representa la cobertura neoproterozoica del Complejo Pie de Palo, de acuerdo a sus circones comprende una edad que va desde 625 a 580 Ma. La edad modelo  $T_{DM}$  para la unidad fue calculada en 1,1 -1,5 Ga (Rapela *et al.*, 2005) (Figura VI-62).

Los datos aportados por Naipauer *et al.* (2005) en las secuencias que integran al Grupo Cauce indican para las unidades basales (formaciones El Quemado, La Paz y El Desecho) valores de  $\epsilon Nd$  (t) para los 550-520 Ma que van desde los +4,95 y -2,2 con una distribución unimodal de las edades modelos  $T_{DM}$  de ca. 1200 Ma. Mientras que la unidad superior (Caliza Angacos) arrojó valores más negativos de  $\epsilon Nd$  (t) del orden de -3,57 y -0,9 con una distribución bimodal de las edades modelos  $T_{DM}$  con picos de 1600-1700 Ma sugiriendo que una fuente paleoproterozoica evolucionada contribuyó en la procedencia de los sedimentos.

2) En la Precordillera Central afloran diferentes cuerpos subvolcánicos que arrastraron xenolitos del basamento hasta la superficie, estos fueron estudiados por diversos autores, pero fueron Kay *et al.* (1996) quienes aportaron los cálculos de edades modelos de al menos tres tipos litológicos diferentes: en granulitas máficas los  $T_{DM}$  arrojaron edades de 1,685; 1,68 y 1,56 Ga, con  $\epsilon Nd$  que varían entre +2,7 y +2,0. En los ortogneises ácidos se obtuvieron  $T_{DM}$  más jóvenes de 0,96 y 0,792 Ga, donde el  $\epsilon Nd$  presentaba valores más positivos comprendidos entre +9,3 y +6,9. Para las anfíbolitas máficas las edades  $T_{DM}$  fueron de 1,47; 1,38; 1,37 y 1,34 Ga con  $\epsilon Nd$  entre +2,1 y +3,5. Posteriormente Rapela *et al.* (2010) en un xenolito máfico obtuvieron valores de  $T_{DM}$  1,365 Ga y  $\epsilon Nd$  +4,5 ligeramente menos primitivos que los obtenidos por los autores mencionados anteriormente para la misma litología, e interpretados como derivados de un arco magmático mantélico de protolito anfibólico (Figura VI-62).

3) Las Sierras Pampeanas occidentales ubicadas en la Provincia de La Rioja, son las que cuentan con la mayor cantidad de datos Sm-Nd aportados por diversos autores. En los Complejos de Maz, Umango y El Taco fueron analizados diferentes tipos litológicos (Figura VI-62).

En la Sierra de Umango se analizaron varias de las unidades presentes tanto del basamento como de la cobertura sedimentaria. El Ortogneis Juchi, el cual cuenta con edades U-Pb SHRIMP de  $1240 \pm 60$  y  $1143 \pm 100$  Ma, arrojó edades modelos  $T_{DM}$  comprendidas entre 1,318 a 1,554 Ga y valores de  $\epsilon Nd$  positivos entre 1,3 a 4,1 (Varela *et al.*, 2003; Porcher *et al.*, 2004) (Figura VI-62).

La unidad Tambillito con edad U-Pb TIMS de  $1108 \pm 4$  Ma, exhibió un valor de  $T_{DM}$ : 1,485 Ga y  $\epsilon Nd$  para esta edad de +2,3 (Varela *et al.*, 2003). La Formación El Cordobés compuesta por ortogneises fue asignada al Ordovícico por datación de una anfíbolita U-Pb TIMS:  $446 \pm 3$  Ma. Sin embargo, algunas evidencias estructurales sugieren similitudes con rocas mesoproterozoicas, de esto se desprenden las dudas en cuanto a su edad. Varela *et al.* (2003) obtienen edades modelo  $T_{DM}$  1,593 Ga y  $\epsilon Nd$  +1,3 cuando utilizan 1150 Ma para el cálculo (valor promedio del Ortogneis Juchi), mientras que si se recalcula utilizando la edad de la anfíbolita se desprenden un  $T_{DM}$  de 1,296 Ga y  $\epsilon Nd$  -1,4 (Varela *et al.*, 2011) (Figura VI-62).

El Granito El Peñón cuenta con edades U-Pb TIMS de  $473 \pm 17$  Ma (Varela *et al.*, 2003) pero fue recalculada por Varela *et al.* (2011) obteniendo una edad de  $487 \pm 1$  Ma, esta última fue la empleada para el cálculo de  $T_{DM}$  las cuales quedan comprendidas entre 0,936 y 0,911 Ga con  $\epsilon Nd$  de +3,1 y +3,4 (Figura VI-62).

El basamento mesoproterozoico de las Sierras de Maz y del Espinal fue denominado como Grupo Maz, el mismo arrojó edades modelos  $T_{DM}$  contenidas entre 2,7 y 1,5 Ga, mientras que  $\epsilon Nd$  (t) varían entre +4,1 y -7,1 (Porcher *et al.*, 2004; Casquet *et al.*, 2008; Rapela *et al.*, 2010). Las edades modelos resultan anómalas al resto de las rocas de basamento de Cuyania, esto sugiere una distinción importante en la evolución isotópica de estas rocas la cual estaría más relacionada con el bloque de Arequipa-Antofalla (Casquet *et al.*, 2005), (Figura VI-62).

La Formación El Espinal presenta edades  $T_{DM}$  de 1,2 a 1,5 Ga (Porcher *et al.*, 2004; Casquet *et al.*, 2008), según Varela *et al.* (2011) esta unidad sería comparable con las meta-sedimentitas del Grupo El Taco aflorantes en la sierra de Maz. ( $T_{DM}$ : 1,3-1,5 Ga). Esta misma unidad analizada cerca de Villa Castelli exhibió  $T_{DM}$  entre 1,4 y 1,6 Ga, similares a los obtenidos para la misma unidad en la sierra de del Espinal y en los Grupos El Taco y El Zaino (Casquet *et al.*, 2008), (Figura VI-62).

4) En el Bloque de San Rafael el basamento se encuentra representado por la Formación Cerro La Ventana de edad grenvilliana: U-Pb TIMS:  $1214 \pm 6,5$  Ma. Las edades modelos  $T_{DM}$  obtenidas para esta unidad fueron recalculadas de las presentadas por Varela *et al.* (2003) y Cingolani *et al.* (2005; 2017), arrojando valores comprendidos entre 1,23 y 1,64 Ga, los valores de  $\epsilon Nd$  (t) fueron determinados para 1200 Ma exhibiendo un rango entre +4,7 y -0,94. Lo que indica que las fuentes del manto deprimido DM eran menos evolucionadas que el CHUR para la edad de cristalización (Figura VI-62).

5) Un poco más hacia el Sur se encuentra el Bloque Las Matras, en este sector del país el basamento aflorante fue denominado como Plutón Las Matras, el mismo fue datado mediante la metodología U-Pb TIMS arrojando  $1244 \pm 42$  Ma. Las edades modelos  $T_{DM}$  quedaron comprendidas entre 1,613 y 1,551 Ga y los  $\epsilon Nd$  (t) entre 1,7 y 2 (Sato *et al.*, 2000, 2004) (Figura VI-62).

6) Por último, el basamento de la Cordillera Frontal expuesto a lo largo del Cordón del Plata y del Portillo es comparado debido a sus edades magmáticas grenvillianas U-Pb TIMS de  $1096 \pm 36$  y  $1081 \pm 45$  Ma reportadas para el Ortogneis Las Yaretas (Ramos y Basei, 1997) las edades modelos varían entre 1,734 y 1,427 Ga, mientras que los  $\epsilon Nd$  entre -14 y -8 (Figura VI-62).

De todos estos datos recopilados se desprende que, las muestras correspondientes al Grupo Gualilán registran patrones de edades modelos  $T_{DM}$  semejantes a los hallados en las rocas de basamento de las Sierra de Umango donde aflora el Ortogneis Juchi y la Formación Tambillito. Asimismo, los patrones pueden encontrarse en la Formación El Espinal aflorante en la Sierra homónima. Un poco más hacia el Sur, los valores son coincidentes con los presentes en las rocas máficas que componen el basamento de la Sierra de Pie de Palo, mientras que comparten similitud con algunas de las rocas intercaladas en dicho complejo como lo son los plutones El Indio, Difunta Correa para hacerse presentes en la secuencia metasedimentaria de igual nombre y en la secuencia superior del Grupo Caucete. Hacia el Oeste de esta sierra, los valores  $T_{DM}$  aportados en las anfibolitas máficas halladas como xenolitos en las inmediaciones del dique de Ullum presentan igual rango de edad. Mientras que en los sectores ubicados en la parte Sur del terreno Cuyania observamos que el Bloque de San Rafael, podría haber actuado como roca fuente de detritos debido a que el basamento aflorante allí sería coincidente con el rango de edades de las muestras estudiadas. Por otra parte, el Bloque Las Matras, registra valores  $T_{DM}$  algo superiores por lo que en primera instancia no se lo podría asociar como fuente potencial de detritos. Por último, la Cordillera Frontal arrojó para las rocas de su basamento edades modelos más modernas, por lo que, sería muy probable que no haya actuado como una potencial área de aporte. Si tenemos en cuenta las proporciones iniciales de Sm/Nd para cada una de estas regiones donde afloran rocas de basamento y recalculamos los valores del  $\epsilon Nd$  de cada una de estas muestras para a los tiempos de depositación de las unidades bajo estudio, encontramos que, los valores arrojados son acordes con lo que podemos encontrar en las sedimentitas del Grupo Gualilán, siendo las rocas de basamento de las Sierras Pampeanas Occidentales, de la Precordillera (xenolitos) y el Bloque de San Rafael las áreas de aporte más probables de acuerdo a este análisis.

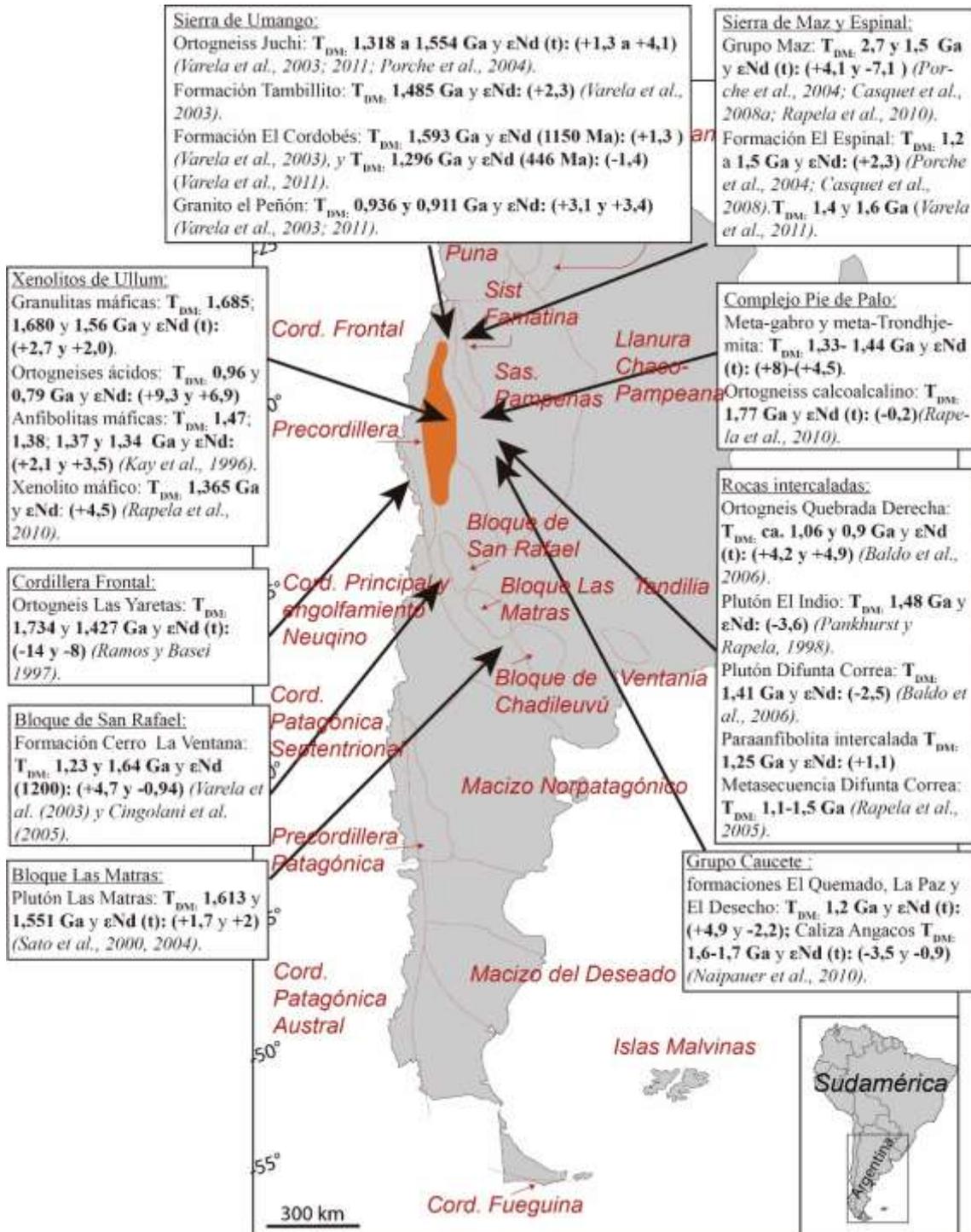


Figura VI-62. Registro de posibles áreas fuentes con valores  $T_{DM}$  y  $\epsilon Nd$  utilizados a modo de comparación.

El análisis del parámetro  $\epsilon Nd$  a priori indicaría que las fuentes de sedimentos que aportaron a la cuenca durante el Devónico no serían las mismas que las rocas analizadas previamente, sin embargo se debe tener en cuenta que la mayor parte de los datos comparados anteriormente corresponden a rocas de basamento, muchas de ellas con edades modelos similares o muy próximas a las edades de cristalización por lo que los valores de este parámetros arrojan valores positivos para esos tiempos de cristalización. Sin embargo, si esos sedimentos se van

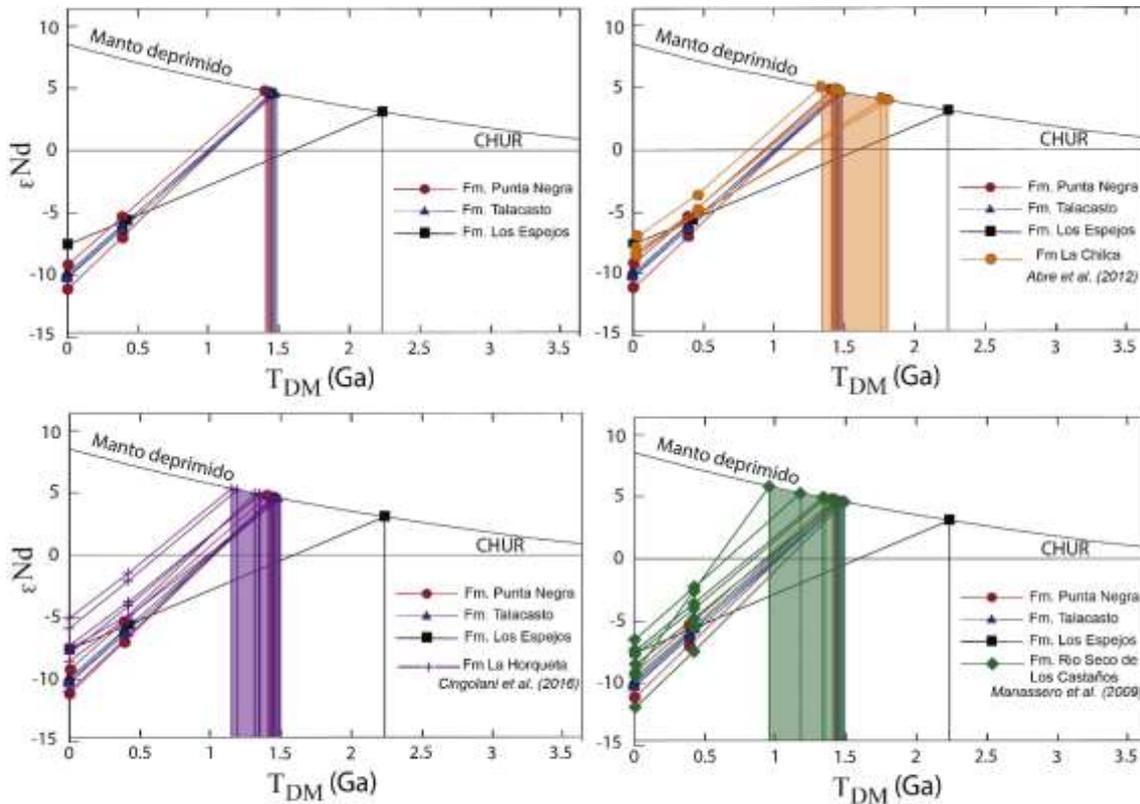
mezclando con otras fuentes donde los valores de  $\epsilon\text{Nd}$  tienden a ser cercanos a 0 o incluso negativos se producirá una mezcla que resultará de los valores de  $\epsilon\text{Nd}$  de las respectivas fuentes. Los valores negativos presentes en las muestras del Grupo Gualilán evidencian una marcada mezcla desde diferentes fuentes de sedimentos, evidentemente la heterogeneidad en las edades U-Pb que fueron esgrimidas para la región Norte y parte de la Central se ve reflejado a partir de los análisis de Sm/Nd, ya que si suponemos que las fuentes mayoritarias de detritos se encuentran hacia el este, presentan mayormente valores de este índice positivos una contaminación con fuentes de alto carácter cortical (negativo) dejaría en promedio los valores obtenidos.

#### G5b. Comparación con otras unidades siluro-devónicas semejantes.

Sobre el basamento del denominado terreno Cuyania para tiempos siluro-devónicos se registra el desarrollo de numerosas unidades silicoclásticas, muchas de ellas a partir de sus características petrográficas, geoquímicas, isotópicas o contenido fósil pueden llegar a considerarse como equivalentes de las unidades integrantes del Grupo Gualilán. Lamentablemente aún son muy escasos los datos isotópicos Sm/Nd con los que contamos para estas unidades, los cuales permitirían hacer una comparación más precisa que ayude a comprender si diferentes secuencias depositadas en diversos depocentros compartirían o no las mismas áreas de aporte. A partir de este interrogante es que se pretende comparar a las Formaciones Los Espejos, Talacasto y Punta Negra con algunas de las unidades siluro-devónicas aflorantes en Precordillera (Formación La Chilca) y en el Bloque de San Rafael (Formaciones La Horqueta y Río Seco de Los Castaños).

Los datos aportados por Abre *et al.* (2012) para la Formación La Chilca indican rangos de edades  $T_{DM}$  entre 1412 y 1723 Ma, con un promedio de 1542 Ma, estos valores evidencian que durante el Silúrico habría exhumadas fuentes de detritos más antiguas que las registradas durante el Devónico para la misma cuenca. Al comparar los datos para esta unidad con la suprayacente Formación Los Espejos, encontramos una gran discrepancia ya que para esta última unidad el dato arrojado para la única muestra analizada marcó un valor de 2,26 Ga (Paleoproterozoico) esto puede interpretarse de dos maneras posibles, la primera de ellas sería que durante la depositación de la Formación Los Espejos, las áreas de aportes con presencia de rocas de edad paleoproterozoica fueron dominantes, como consecuencia de una mayor exhumación de las mismas, esto pudo obliterar la entrada de edades más jóvenes como las que se registran en la unidad infrayacente; o bien que la muestra que representa a la Formación Los Espejos estaría arrojando un resultado erróneo el cual al no poder repetir el análisis o contar con más muestras de la misma unidad no pudo ser corroborado. Sin embargo, la evolución en la cuenca muestra que entre la Formación La Chilca y las unidades del Grupo Gualilán no habría grandes variaciones en

el aporte desde las áreas emergidas por lo que la segunda opción para la Formación Los Espejos toma más relevancia (Figura VI-63).



**Figura VI-63.** Comparación de los valores  $T_{DM}$  vs.  $\epsilon Nd_3$  de las muestras del Grupo Gualilán con otras unidades siluro-devónicas. **a:** Grupo Gualilán vs. Fm Los Espejos, **b:** vs. Fm La Chilca, **c:** vs. Fm La Horqueta, **d:** vs. Fm Rio Seco de los Castaños.

Para el Bloque de San Rafael, Abre *et al.* (2017) y Cingolani *et al.* (2017) proporcionan datos de Sm/Nd para las formaciones La Horqueta (Sil-Dv?), y Rio Seco de Los Castaños (Sil-Dv). Para la primera de ellas, el rango de las edades modelos  $T_{DM}$  quedó comprendido entre 1,2 y 1,5 Ga con un promedio de 1,34 Ga estos valores de  $T_{DM}$  tienden a ser más jóvenes que los hallados en las secuencias devónicas de la Precordillera por lo que podría interpretarse que las rocas exhumadas que aportaron al relleno de esta secuencia corresponderían a rocas de edades mesoproterozoicas incluyendo las de edad grenvilliana. Algo similar ocurre con la Formación Rio Seco de Los Castaños, en este caso el rango de edades modelos que abarca se amplía ya que registra valores comprendidos entre 0,952 y 1,494 Ga con un promedio de 1,32 Ga prácticamente igual promedio que la Formación La Horqueta, esto sugiere que durante la sedimentación de estas dos unidades no hubo grandes cambios en la evolución de la cuenca, la cual se encontraba recibiendo aporte de fuentes similares para el lapso Siluro-Devónico, pero contrastan levemente

con las unidades de Precordillera, las cuales habrían admitido detritos de fuentes más homogéneas en cuanto a su edad (mesoproterozoica) evidenciando una exhumación marcada de orógenos de este rango temporal (Figura VI-63).

Para todas las secuencias comparadas, incluyendo a las analizadas en esta tesis doctoral los patrones de  $\epsilon\text{Nd}$  arrojaron valores negativos entre -4 y -13 esto sugiere que hay un componente cortical significativo en la roca fuente, derivado de una corteza principalmente mesoproterozoica.

## **VII. INTERPRETACIÓN DE LA PROCEDENCIA SEDIMENTARIA Y CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS.**

### **A. INTRODUCCIÓN.**

Teniendo como base los datos y discusiones de los capítulos precedentes, se realizará una interpretación de las posibles áreas fuentes de sedimentos que actuaron en el relleno de la cuenca devónica de Precordillera. El análisis de los resultados obtenidos a partir de las distintas metodologías aplicadas en el estudio de las sucesiones sedimentarias devónicas (Formaciones Talacasto y Punta Negra del Grupo Gualilán) y datos adquiridos de las unidades infra y suprayacentes a estas secuencias (petrografía, geoquímica de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas, morfología y tipología de circones, análisis bioestratigráfico, el estudio de las relaciones isotópicas Sm-Nd en roca total y el análisis U-Pb y Lu-Hf en circones detríticos), ha permitido realizar una profunda discusión sobre los aspectos evolutivos de la cuenca y su contexto paleogeográfico. Sin duda, la importancia de los resultados de los análisis U-Pb y Lu-Hf en circones detríticos constituyeron uno de los pilares fundamentales para la comprensión de estos aspectos, aportando información relevante como las edades de las rocas fuentes y las características petroquímicas de las mismas, resultando ser una herramienta muy confiable para determinar y caracterizar la procedencia sedimentaria de las secuencias silicoclásticas. Por este motivo, las edades isotópicas obtenidas a partir de circones detríticos han sido el eje de este capítulo, las que se han organizado en función de ciclos orogénicos, teniéndose en cuenta además la representatividad y distribución en que las diferentes edades U-Pb se manifiestan dentro de una cuenca. De esta manera, ha sido necesario realizar un análisis exhaustivo de los diversos factores que condicionaron la distribución de estos registros, para dilucidar cuales fueron las variables que influyeron en el relleno de la cuenca y determinar las edades de las fuentes principales que contribuyeron activamente en el aporte sedimentario. En este sentido, la integración de la información bibliográfica conocida con los datos recopilados, ha sido clave para arribar a interpretaciones que se ajusten a un modelo paleogeográfico que permita explicar los eventos ocurridos durante el proceso de colmatación de la cuenca y su relación con otros depocentros equivalentes en la región del SO de Gondwana.

### **B. SINTESIS DE LAS PRINCIPALES FUENTES RECONOCIDAS.**

El análisis de los datos obtenidos a partir de las diferentes metodologías permitió reconocer y subdividir a la cuenca devónica en tres sectores (Norte, Central y Sur). Esta interpretación está soportada principalmente a partir de la distribución de las modas de edades U-Pb en circones detríticos, las cuales muestran una visible diferenciación en sentido Norte-Sur, siendo más significativa y clara para la unidad superior del Grupo Gualilán (Formación Punta Negra) respecto a la unidad basal (Formación Talacasto) y del registro bioestratigráfico presente

en ambas unidades, el cual como fue mencionado en capítulos precedentes, permitió establecer dos momentos principales de sedimentación: Devónico Inferior con la depositación de la Formación Talacasto en los sectores Central y Norte de la cuenca, y sincrónicamente en el Sur la depositación de la Formación Punta Negra, respaldado por el registro paleoflorístico. Mientras que, durante el Devónico Medio se registró para el sector Central y Norte únicamente la sedimentación de la unidad superior del Grupo Gualilán (Formación Punta Negra).

A continuación, se presenta una síntesis de las edades obtenidas a partir de circones detríticos durante el Devónico Inferior para cada región, analizando en los sectores Norte y Centro la Formación Talacasto y en el Sur la Formación Punta Negra.

### **B1. Devónico Inferior.**

#### **B1a. Sector Norte: Formación Talacasto.**

Las muestras analizadas para este sector registran edades que abarcan desde el Devónico al Neoarqueano, presentándose con diferentes frecuencias de representatividad en cada una de las localidades y niveles analizados. Las edades registradas comprenden los lapsos temporales comprendidos por ciclos Famatiniano (Cámbrico Medio-Devónico), Pampeano-Brasiliano (Neoproterozoico-Cámbrico Inferior), Grenvilliano (Steniano y Ectasiano), y por último las edades vinculadas a fuentes cratónicas que incluyen a las comprendidas dentro del ciclo Transamazónico (Paleoproterozoico) y en escasa proporción las edades vinculadas al ciclo Jequié, que dan cuenta de fuentes del Neoarqueano.

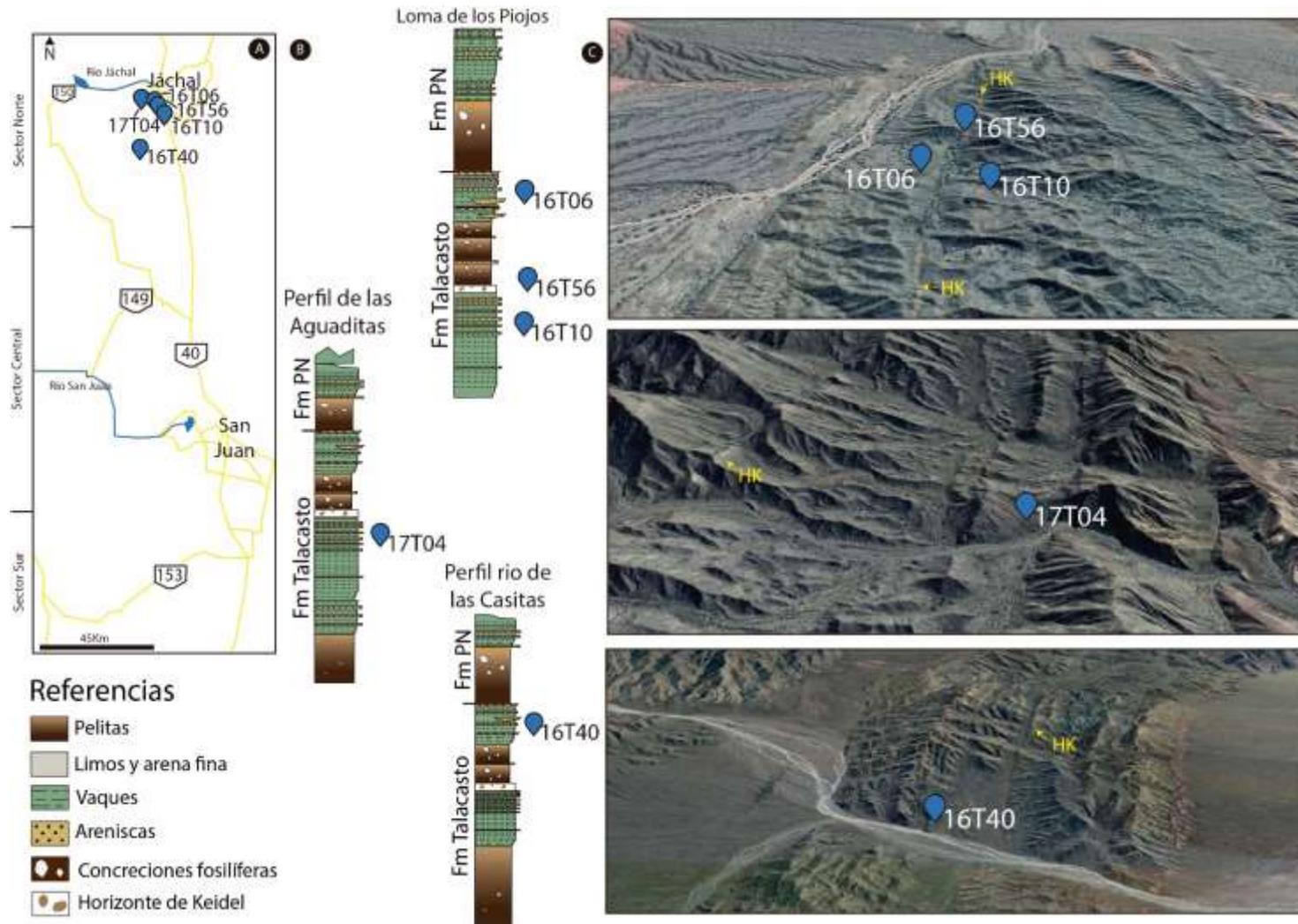
Para este sector es muy útil la presencia del denominado “horizonte guía de Keidel” (HK) el cual permite referir las muestras de acuerdo a si se ubican por debajo, en el horizonte propiamente dicho o en niveles por encima del mismo (Figura VII-1).

Así, como se ha visto en el Capítulo VI, el análisis detallado de las edades halladas en las muestras ubicadas por debajo, en y por encima del HK, muestra la existencia de cambios en las contribuciones detríticas.

#### **Formación Talacasto: muestras ubicadas en niveles previos a la depositación del horizonte de Keidel: 16T10 (Loma de los Piojos) y 17T04 (perfil de Las Aguaditas).**

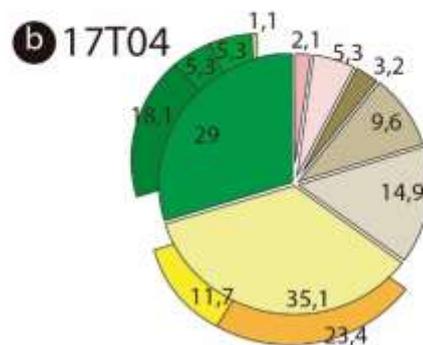
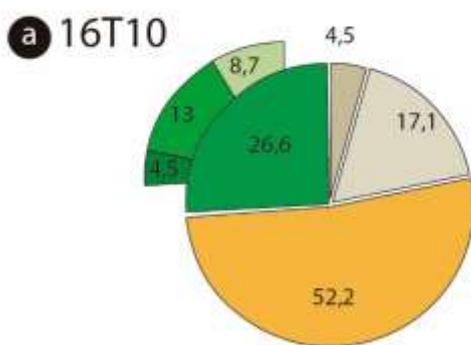
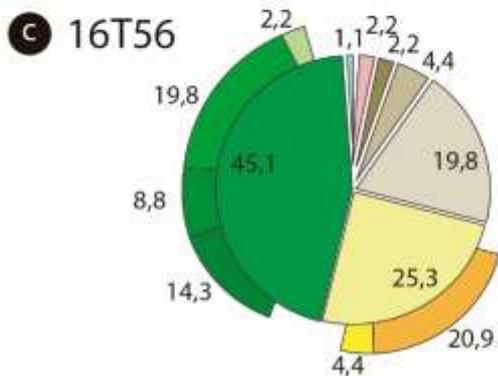
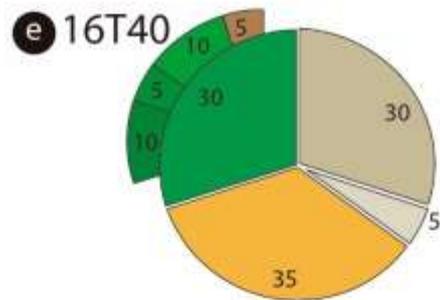
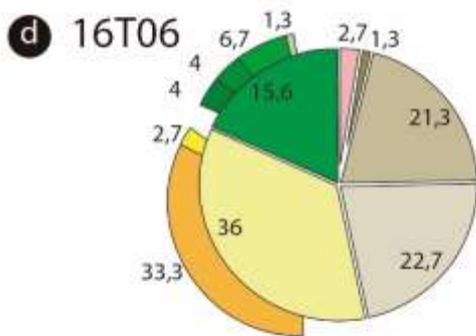
##### *Ciclo Famatiniano.*

Los registros vinculados a este ciclo orogénico comprendieron edades desde cámbricas medias a silúricas (Figura VII-2a-b). Así, el ciclo Famatiniano se encuentra representado con porcentajes muy homogéneos entre 26% y 29 % del total de los resultados obtenidos para ambas muestras, con una mayor representatividad de los componentes ordovícicos en la localidad de Loma de los Piojos y cámbricos medios para el perfil de Las Aguaditas.



**Figura VII-1.** Muestras correspondientes a la Formación Talacasto en el Sector Norte de la cuenca. **A:** Mapa de ubicación esquemático. **B:** Perfiles columnares con ubicación de los niveles muestreados para análisis U-Pb. **C:** Imágenes tomadas de Google Earth con ubicación de los niveles de muestreo. HK: Horizonte de Keidel.

Neorq.	Transamazónico				Mesoproterozoico (Grenv.)			Pampeano - Brasiliano		Famatiniano					Ciclo/Era	
	Paleoprot. 1	Paleoprot. 2	Paleoprot. 3	Paleoprot. 4	M 1	M 2	M 3	Neoprot.	Cambriico temprano	Cambriico medio	Cambriico tardío	Ordovicio	Silurico	Devonico	N	Muestra
			2,7		1,3	21,3	22,7	33,3	2,7	4	4	6,7	1,3		75	16T06
1,1			2,2		2,2	4,4	19,8	20,9	4,4	14,3	8,8	19,8	2,2		91	16T56
						4,5	17,1	52,2		4,5		13	8,7		23	16T10
			2,1	5,3	3,2	9,6	14,9	23,4	11,7	18,1	5,3	5,3	1,1		94	17T04
						30	5	35		10	5	10		5	20	16T40



**Figura VII-2.** Muestras correspondientes a la Formación Talacasto en el Sector Norte de la cuenca. **a-b-c-d-e:** Diagramas de tortas con porcentajes que representan las edades U-Pb obtenidas de circones detríticos. **f:** Tabla con valores en porcentajes de edades registradas para cada muestra.

*Ciclo Pampeano-Brasiliano.*

Las edades correspondientes al ciclo Pampeano-Brasiliano se encuentran representadas con contribuciones que superan el 35% (Figura VII-2a-b), presentando una mayor preponderancia dentro de este el Neoproterozoico. No obstante, las edades cámbricas inferiores si bien se encuentran ausentes en la localidad de Loma de los Piojos (16T10), se hallan presentes en el perfil de las Aguaditas donde componen más del 10% del total de datos en la muestra 17T04 (Figura VII-2b).

*Ciclo Grenvilliano*

Las contribuciones relacionadas a este lapso temporal se encuentran representadas de manera homogénea en ambos sectores, con un porcentaje mayor al 20% (Figura VII-2a-b).

*Circones con registro de edades cratónicas.*

Comprenden aquellos circones que han registrado edades del Paleoproterozoico. Para este nivel, estas edades no fueron encontradas en la muestra 16T10, pero si lo fueron para la muestra 17T04 (Figura VII-2b). En ella fue posible identificar edades correspondientes al Orosiriano y Statheriano, alcanzando en conjunto el 7,4%. Estos granos se encuentran mayormente, presentando formas redondeadas, evidenciando un reciclado de los materiales.

**Formación Talacasto: muestra 16T56 que representa el horizonte de Keidel (Loma de los Piojos).**

La sección media se caracterizó por un notable aumento de los aportes detríticos del ciclo Famatiniano, una disminución de las contribuciones correspondientes al ciclo Pampeano-Brasiliano y, similares tenores de participación de circones con edades del Mesoproterozoico comparado con los datos de los niveles infrayacentes. Finalmente, las edades cratónicas se encuentran presentes con una escasa participación. Analizando en conjunto otros aspectos de la unidad, se puede observar que la sección guarda importantes diferencias respecto a los niveles inferiores. De esta manera a continuación se detalla el grado de participación de edades registradas para cada ciclo.

*Ciclo Famatiniano.*

Los circones ordovícicos constituyen el componente principal en la muestra analizada. Por otra parte, se pudo observar el registro de edades cámbricas medias y superiores. Las edades cámbricas medias representan un porcentaje similar al hallado en la muestra 17T04 del nivel basal, lo que indica que los aporte desde fuentes de esta edad se mantuvieron invariables. En este nivel fue registrado un circón de edad silúrica que representa a las fuentes más jóvenes que habrían aportado a la cuenca.

*Ciclo Pampeano-Brasiliano.*

La participación de edades referidas a este ciclo se encuentra menos representada para esta sección en relación a los niveles infra y suprayacentes, alcanzando el 24,2% del total analizado, de este el 20,9% corresponde al Neoproterozoico, constituyendo la moda principal, mientras que el registro de las edades cámbricas inferiores representa el 3,3% de los datos (Figura VII-2c).

#### *Ciclo Grenvilliano.*

Las edades mesoproterozoicas presentan una participación similar a las halladas para las muestras de los niveles inferiores, con un leve aumento de las edades stenianas y disminución de las ectasianas, indicando que las fuentes de estas edades continuaron aportando de manera homogénea. Por otro lado, se identificaron edades correspondientes a fuentes calymmianas, lo cual evidencia la participación esporádica de circones heredados o reciclados provenientes de basamentos más antiguos (Figura VII-2c).

#### *Circones con registro de edades cratónicas.*

El contenido de circones de fuentes cratónicas para este nivel de la secuencia es pobre, respecto a la muestra 17T04 del nivel inferior. Los registros abarcan los intervalos de edades paleoproterozoicas a neoarqueanas las cuales representan poco más del 3% (Figura VII-2c).

#### **Formación Talacasto por encima del horizonte de Keidel: 16T06 (Loma de los Piojos) y 16T40 (perfil de Las Casitas).**

Las muestras ubicadas por encima del HK, reflejan un comportamiento disímil respecto a los niveles infrayacentes, destacándose en este caso, un aumento de los aportes de circones detríticos con edades del Mesoproterozoico y una disminución de aquellos con edades relacionadas al ciclo Famatiniano, mientras que los datos de circones referidos al ciclo Pampeano-Brasiliano se incrementan, alcanzando valores similares a los niveles ubicados por debajo del HK.

#### *Ciclo Famatiniano.*

El análisis de las muestras de los niveles superiores al HK mostraron participación de componentes con edades referibles al ciclo Famatiniano, abarcando desde el Cámbrico Medio al Devónico (Figura VII-2d-e). Dentro de este ciclo las edades ordovícicas son las dominantes, quedando relegada la participación de las edades cámbricas medias y superiores. Los circones de edades silúricas y devónicas conforman un pequeño porcentaje que no supera el 5%, siendo las edades de las fuentes más jóvenes asignadas al Devónico Temprano.

#### *Ciclo Pampeano-Brasiliano.*

De igual forma que en las muestras de los niveles inferiores de la secuencia, los registros vinculados al ciclo Pampeano-Brasiliano vuelven a incrementar su representatividad, con un claro

dominio dentro de éste de las edades neoproterozoicas: 32,5% en la sección de Loma de los Piojos y 35% en el perfil de las Casitas (Figura VII-2d-e).

#### *Ciclo Grenvilliano.*

Las edades correspondientes a este ciclo tuvieron una participación mayor comparativamente con los niveles inferiores y medios previamente descriptos (Figura VII-2d-e). El Steniano se destacó en la localidad de Loma de los Piojos con un registro del 22,7%, mientras que en la muestra 16T40 del perfil de Las Casitas su participación fue escasa, alcanzado el 5% del total de los datos. En contraposición respecto a los niveles infrayacentes, para este nivel se registró un porcentaje elevado de las edades del Ectasiano, en donde el 30% de las edades corresponden a este lapso temporal. Por su parte, la muestra 16T06 contó con una participación del 21,3%.

#### *Circones con registro de edades cratónicas.*

La participación de circones derivados de fuentes cratónicas no tuvieron demasiada relevancia para este nivel. Se registraron únicamente edades paleoproterozoicas en la muestra 16T06 (Figura VII-2d).

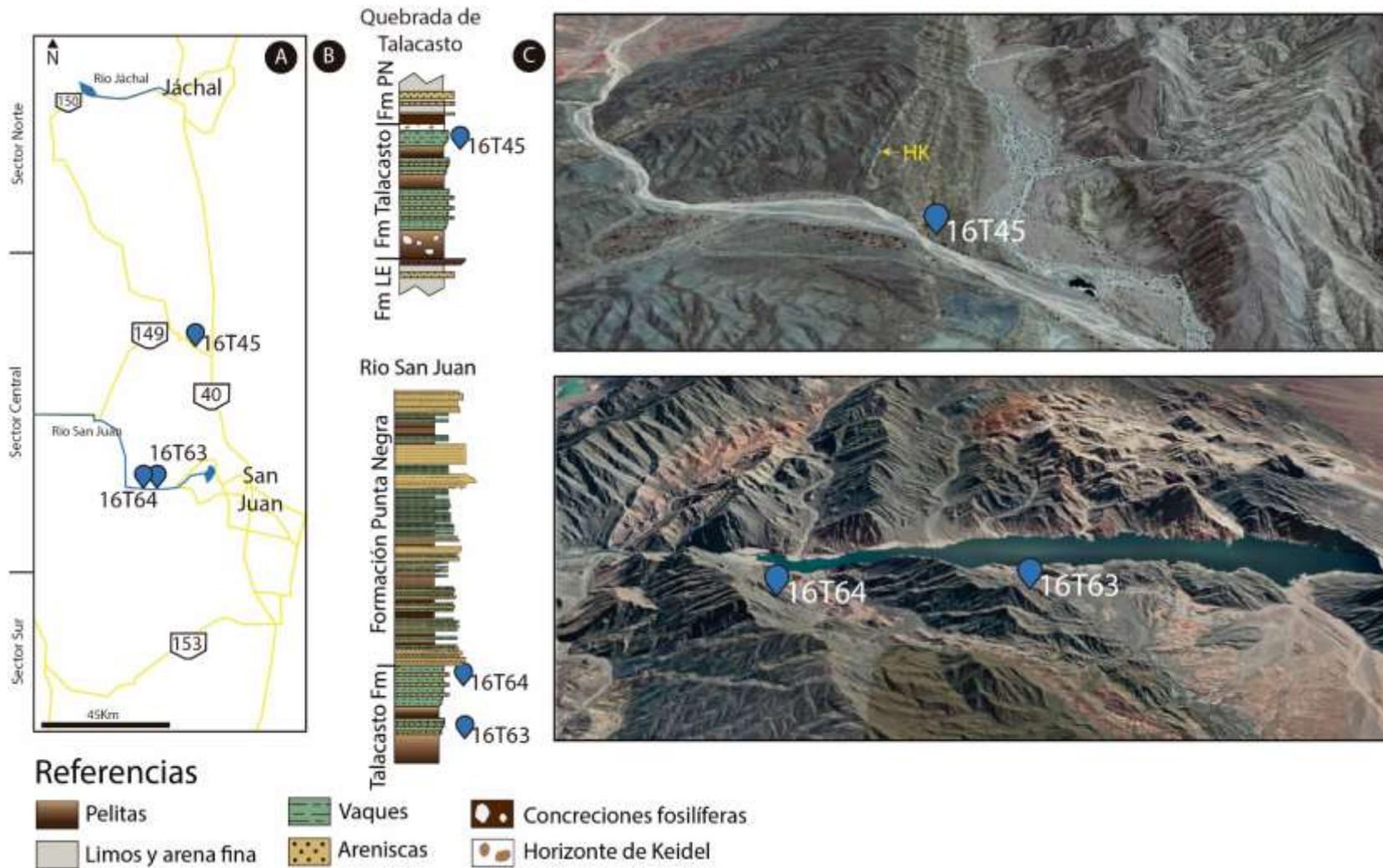
#### B1b. Sector Central: Formación Talacasto.

Las muestras analizadas para la región Central de la cuenca registran edades U-Pb de circones detríticos que abarcan desde el Devónico al Paleoproterozoico, variando la proporción en la que los distintos ciclos orogénicos se encuentran representados según la localidad analizada. Al igual que en la región Norte quedan registradas las edades de los ciclos Famatiniano, Pampeano-Brasiliano, Grenvilliano, Transamazónico, pero sin participación de circones con edades más antiguas que el Rhyaciano.

Hay que mencionar que para este sector la presencia del horizonte de Keidel se encuentra únicamente en la localidad de Quebrada de Talacasto, mientras que, para el río San Juan éste no pudo ser reconocido, por lo que los niveles muestreados corresponden a psamitas ubicadas próximas al límite con la Formación Punta Negra. Si bien en esta última localidad contamos con dos muestras analizadas, las mismas corresponden a afloramientos de dos escamas tectónicas diferentes que se entiende a partir de su posición y el registro de edades U-Pb, serían equivalentes correspondiendo a la parte alta de la unidad (Figura VII-6).

#### *Ciclo Famatiniano.*

El ciclo Famatiniano está constituido prácticamente por un conspicuo registro de circones con edades ordovícicas, alcanzando más del 35% para las muestras ubicadas sobre río San Juan (Figura VII-7b-c), mientras que para la muestra 16T45 de quebrada de Talacasto estas edades están representadas por un poco más del 6% (Figura VII-7a), evidenciando que fuentes de estas edades no han aportado de igual modo a toda la cuenca. El resto de los datos que componen al



**Figura VII-6.** Muestras correspondientes a la Formación Talacasto en el Sector Central de la cuenca. **A:** Mapa de ubicación esquemático. **B:** Perfiles columnares con ubicación de los niveles muestreados para análisis U-Pb. **C:** Imágenes tomadas de Google Earth con ubicación de los niveles de muestreo. HK: Horizonte de Keidel.

ciclo Famatiniano, se encuentra integrado por circones con edades del Cámbrico Medio a Tardío, y Silurico-Devónico. Estas últimas edades fueron registradas para las muestras de afloramientos en el río San Juan, las cuales constituyen las edades más jóvenes obtenidas para esta sección, mientras que la muestra 16T45 del sector de la quebrada de Talacasto, registró como edades más jóvenes, a circones del Ordovícico, de manera análoga a los que se encontró para la región Norte (Figura VII-7a).

*Ciclo Pampeano-Brasiliano.*

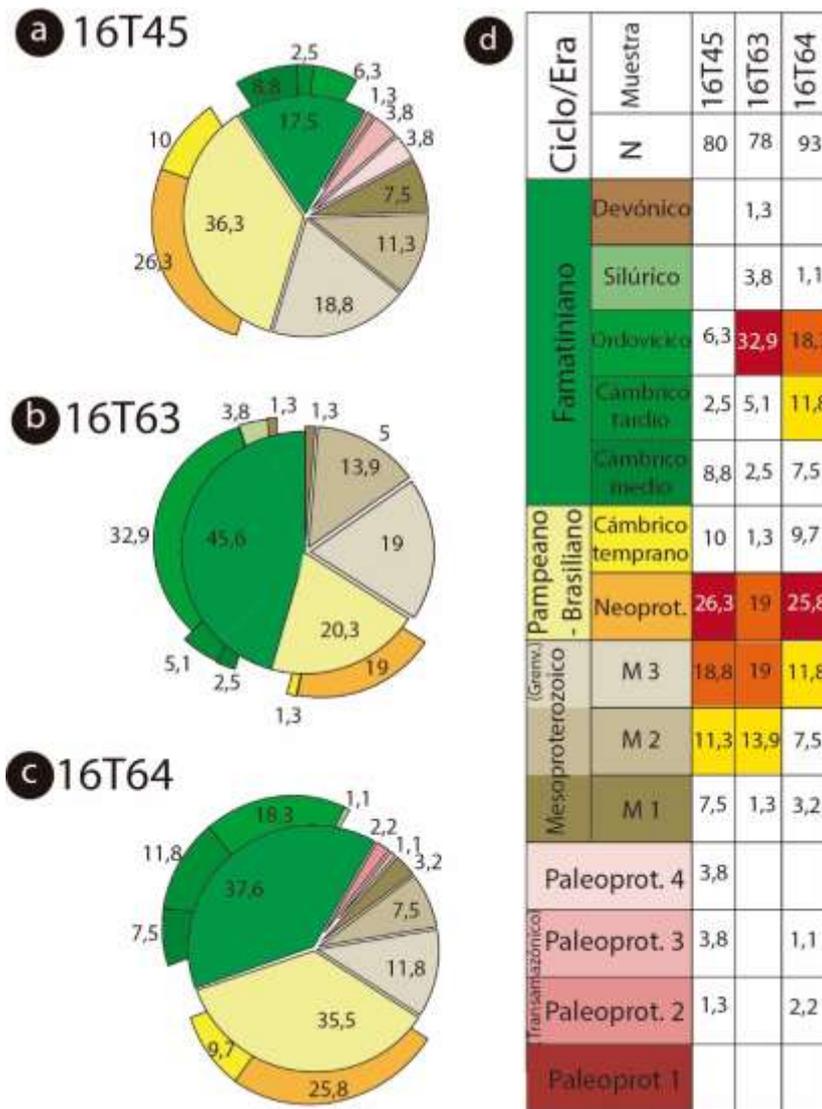
Los aportes de edades correspondientes a este ciclo orogénico resultan ser para las tres muestras analizadas bastante heterogéneos (Figura VII-7). La muestra ubicada en la región de quebrada de Talacasto (16T45) registró un aporte considerable de estas edades alcanzando el 36,3%, siendo el Neoproterozoico la moda principal (Figura VII-7a). Para las muestras 16T63 y 16T64 del río San Juan se encuentra una disparidad en cuanto a la participación de estas edades registradas, alcanzando el 20,3% y 35,5% respectivamente (Figura VII-7b-c). En la muestra 16T64 las edades cámbricas inferiores tuvieron una moderada representatividad, con registros de aproximadamente un 9%, valor similar al hallado para la muestra 16T45 (Figura VII-7).

*Ciclo Grenvilliano.*

Los circones detríticos con edades del Mesoproterozoico resultaron ser la fuente principal de aporte para la muestra ubicada en la quebrada de Talacasto, con registros de circones que superan el 37,6 %; de los cuales un 18,8% comprenden edades stenianas, el 11,3% ectasianas y el 7,5 calymianas, mientras que, para las restantes muestras los circones de estas edades conforman la moda secundaria, pero siempre con predominio de las stenianas por sobre las demás (Figura VII-7). Hay que destacar que la muestra 16T45 registró un porcentaje significativo de edades calymminanas de 7% (Figura VII-7a), indicando que hay presencia de circones reciclados derivados de fuentes más antiguas.

*Circones con registro de edades cratónicas.*

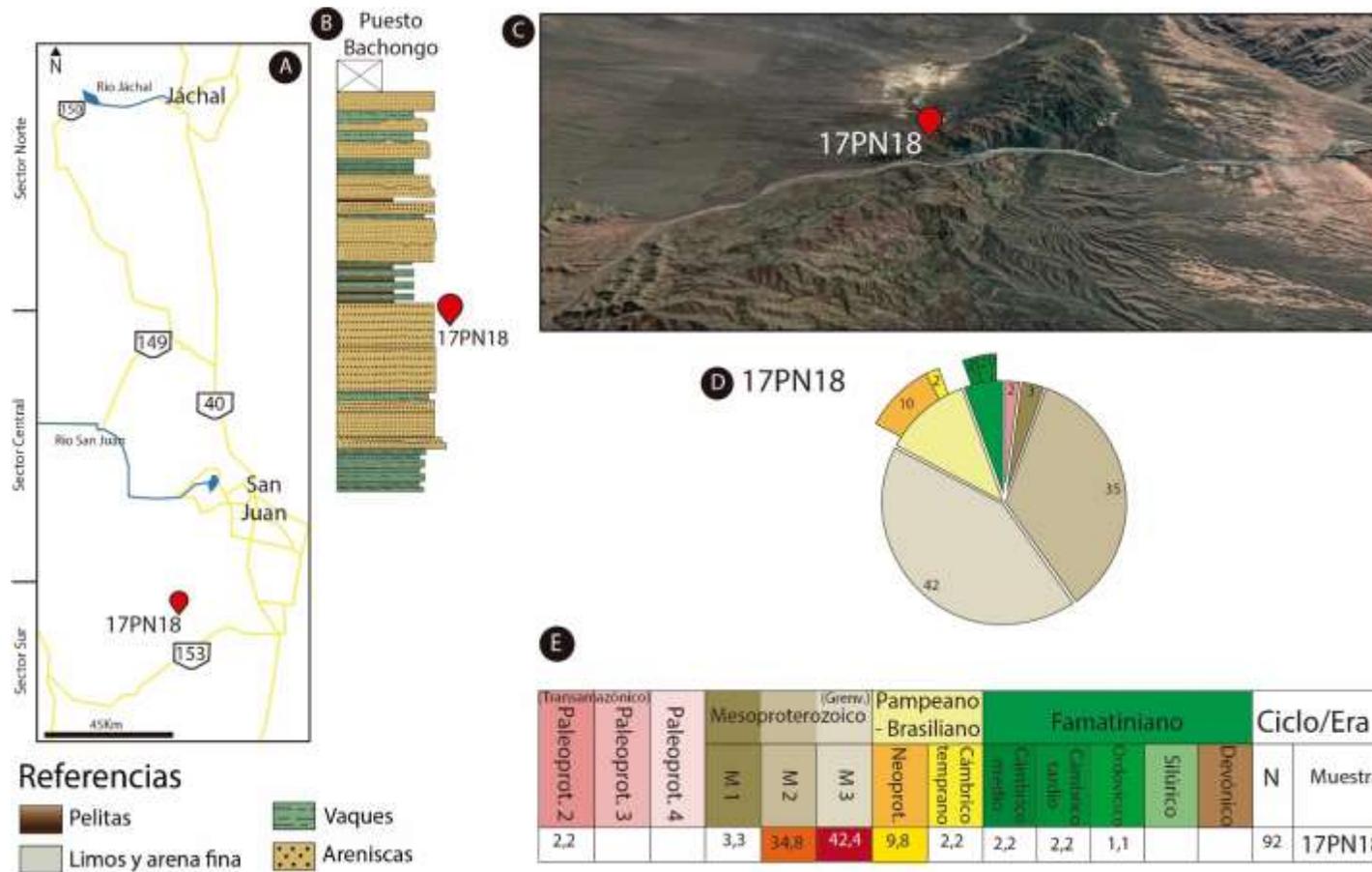
La participación de circones de edades paleoproterozoicas resultó ser significativa para la región de quebrada de Talacasto. Los registros alcanzaron el 8,9% del total de los datos. Por su parte en las muestras ubicadas en los márgenes del río San Juan estas edades se encuentran muy reducidas o directamente ausentes (Figura VII-7).



**Figura VII-7.** Muestras correspondientes a la Formación Talacasto en el Sector Central de la cuenca. **a-b-c:** Diagramas de tortas con porcentajes que representan las edades U-Pb obtenidas de circones detríticos. **d:** Tabla con valores en porcentajes de edades registradas para cada muestra.

B1c. Sector Sur: Formación Punta Negra.

Como fue definido en el capítulo III de este trabajo de Tesis doctoral, las muestras ubicadas en la región Sur de acuerdo a su contenido fosilífero, particularmente paleoflorístico indican una edad bioestratigráfica devónica inferior. Por lo que, en la cuenca para este momento se estaría dando sincrónicamente la sedimentación de la Formación Talacasto en el sector Centro-Norte, mientras que hacia el Sur se registran los sedimentos que constituyen las facies más proximales de la Formación Punta Negra. Esta porción de la cuenca se encuentra representada únicamente por las edades U-Pb obtenidas en circones detríticos de la muestra 17PN18, la cual fue tomada en cercanías del Puesto Bachongo (Figura VII-10). Cabe recordar que la región no



**Figura VII-10.** Muestra correspondiente a la Formación Punta Negra en el Sector Sur de la cuenca. **A:** Mapa de ubicación esquemático. **B:** Perfil columnar con ubicación del nivel muestreado para análisis U-Pb. **C:** Imagen tomada de Google Earth con ubicación del nivel de muestreo. **D:** Diagrama de torta con porcentajes que representan las edades U-Pb obtenidas de circones detríticos. **E:** Tabla con valores en porcentajes de edades representadas para cada muestra.

cuenta con alguna herramienta estratigráfica para poder establecer una posible correlación con los demás sectores de la cuenca.

En este sector es notable el aporte desde fuentes mesoproterozoicas constituyendo el 80% del total de edades analizadas, mientras que las edades comprendidas dentro de los lapsos temporales de los demás ciclos orogénicos se encuentran muy poco representados en comparación con lo que ocurre hacia el Centro-Norte de la cuenca (Figura VII-10).

#### *Ciclo Famatiniano.*

En contraste con lo que ocurre con las muestras analizadas de la región Centro-Norte, los circones detríticos que forman parte de este ciclo se encuentran escasamente representados, siendo su participación en el orden del 5% del total de circones con registros famatinianos; las edades más jóvenes para este sector corresponden al Ordovícico (Figura VII-10).

#### *Ciclo Pampeano-Brasiliano.*

Al igual que el ciclo Famatiniano, el Pampeano-Brasiliano se encuentra pobremente representado. Los circones con edades del Neoproterozoico alcanzan el 10%, mientras que los circones del Cámbrico Temprano componen solamente un 2% del total (Figura VII-10).

#### *Ciclo Grenvilliano.*

Las edades de este ciclo orogénico resultaron ser las dominantes para esta porción de la cuenca. Los circones con edades stenianas constituyen el 42% del total de datos mientras que las ectacianas componen un 35% (Figura VII-10). Evidentemente para este sector de la cuenca las fuentes mesoproterozoicas constituían las fuentes de detritos dominantes.

#### *Circones con registro de edades cratónicas.*

Estas edades se encuentran en muy baja representatividad, alcanzan el 2% del total de datos (Figura VII-10).

A modo de síntesis podemos considerar que durante el Devónico Temprano las regiones Norte y Central de cuenca recibieron sedimentos que constituyen a la Formación Talacasto. La primera de ella caracterizada por un registro de edades que abarca desde el Devónico al Neoarqueano. Las edades ordovícicas, resultan ser las más abundantes seguidas de las cámbricas medias y se encuentran muy representadas en todos los niveles analizados. Por su parte las edades más jóvenes permitieron calcular la EMS de este sector arrojando un valor de  $430,7 \pm 8,3$  Ma (Wenlokiano) para la sección inferior de la unidad. Mientras que la capa guía registro un valor de EMS de 441 Ma. Asimismo, los datos U-Pb obtenidos en circones detríticos relacionados al ciclo Pampeano-Brasiliano constituyen la moda dominante, principalmente por el aporte del Neoproterozoico, siendo las edades cámbricas inferiores escasamente registradas. El Mesoproterozoico, es variable desde porcentajes aproximados al 20 % en los niveles inferiores hasta duplicarse en los niveles ubicados por encima del horizonte de Keidel. Finalmente, las

edades asociadas a circones de fuentes cratónicas se encuentran poco representados. El sector Central por su parte, abarca un registro de edades desde el Devónico al Paleoproterozoico. En cuanto a la distribución de edades U-Pb, las vinculadas al ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano principalmente el Neoproterozoico, continúan siendo al igual que en el sector Norte las fuentes principales de detritos, con excepción de la muestra 16T63 que registra una gran contribución de edades ordovícicas, estas edades también presentes en importantes porcentajes en la muestra 16T64. Según Astini *et al*, (2005) se habría desarrollado hacia el sector occidental de la cuenca deformación penetrativa asociada a un bajo metamorfismo, como consecuencia de un mayor acoplamiento en el margen protopacífico con una eventual acreción de Chilenia, indicando que la cuña tectónica Precordillerana consecuencia del empuje habría penetrado hasta el límite entre la Precordillera Occidental y Central, exhumando a parte de las secuencias ordovícicas y limitando el espacio de acomodación de los sedimentos devónicos, los cuales habrían recibido sedimentos desde ambos márgenes aunque los del sector occidental habrían proporcionado sedimentos de una manera secundaria.

Las edades registradas en la muestra ubicada sobre el río San Juan (16T64), permitió calcular las edades de las fuentes más jóvenes que han aportado a este sector, las cuales son asignadas al Silúrico Inferior (Llandoveryano) mientras que un circón presente en la muestra 16T63 indica como fuente más joven a rocas del Pragiano. Por su parte, las edades mesoproterozoicas vinculadas al ciclo Grenvilliano comprenden un rango entre el 20 al 30% del total de los datos analizados, siendo el Steniano el lapso temporal más representado. Por últimos las edades asociadas a fuentes cratónicas están escasamente registradas en las muestras ubicadas sobre el río San Juan, mientras que en la localidad de quebrada de Talacasto alcanzan un valor cercano al 10%.

Las variaciones encontradas al analizar las edades obtenidas de los circones detríticos dentro de la Formación Talacasto, estarían vinculadas principalmente a variaciones paleogeográficas locales en donde habría un gran espectro de rocas de diferentes edades exhumadas actuando como fuentes de detritos, la llegada desde las rocas fuentes hasta los sitios de depositación final están estrechamente vinculados con las paleocorrientes del momento. Al estar la unidad constituida por más del 80% de facies asociadas a una plataforma fangosa sin acción de oleaje (Astini, 1991) las estructuras sedimentarias potencialmente medibles para determinar las paleocorrientes son escasas y de muy mala preservación siendo los únicos registros de dirección del flujo los aportados por Astini (1990a) donde indica para los afloramientos ubicados entre la quebrada de Talacasto y el río Jáchal, un diseño unidireccional hacia el SSO con vector del flujo de 215° y baja dispersión. Al contarse únicamente con 10 mediciones de direcciones de flujo es muy probable que los diferentes sectores de la cuenca hayan experimentado variaciones en las direcciones de paleocorrientes, al menos de carácter local que

consecuentemente transportaron sedimentos de diversas edades hasta su posición final dentro de la misma.

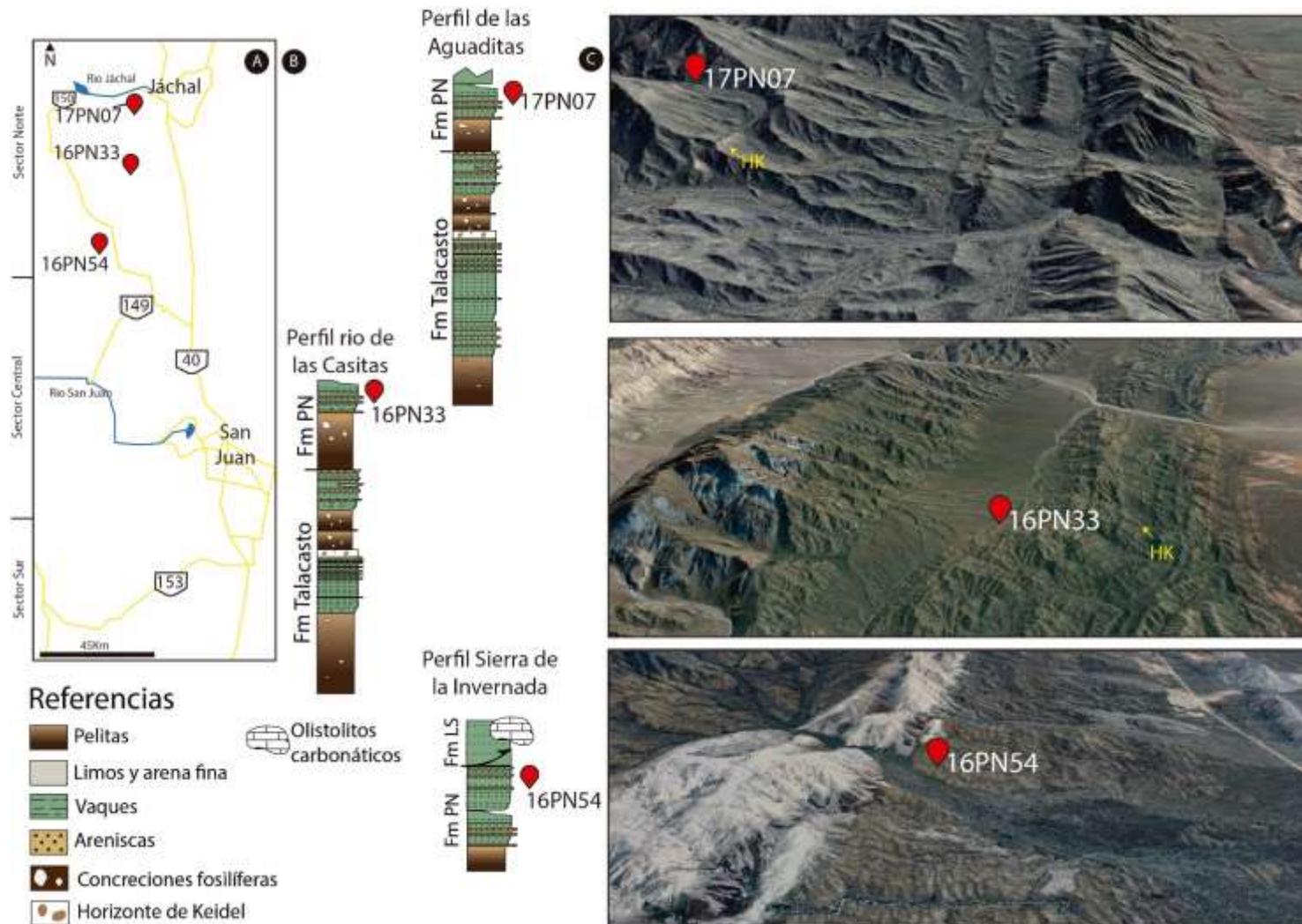
Para este mismo tiempo en la región austral de la cuenca llagaron sedimentos que conforman los depósitos más antiguos de la Formación Punta Negra, estos a diferencias de los sectores Central y Norte se encuentran fuertemente representados por las edades U-Pb en circones detríticos vinculados al ciclo orogénico Grenvilliano, con más del 75% del total de edades analizadas. Este cambio drástico en los aportes dentro de la cuenca para el mismo momento respondería a la configuración paleogeográfica locales de cada uno de los sectores. Particularmente, las elevadas tasas de aportes relacionadas a este lapso temporal, estarían vinculadas a una exhumación mayor en esta área de rocas mesoproterozoicas como consecuencia de la colisión entre Cuyania y Gondwana. La colisión entre ambos bloques según las contribuciones de edades aportadas por los circones detríticos para este sector y la región del Bloque de San Rafael sería diacrónica y habría tenido una mayor relevancia hacia la región sur de Cuyania, de esta manera quedaron a disposición rocas de basamento que contribuyen de manera significativa a las muestras ubicadas en este sector del terreno Cuyania, mientras que las edades vinculadas a los demás ciclos orogénicos se encuentran diluidas entre los altos porcentajes de edades mesoproterozoicas.

## **B2. Devónico Medio.**

### B2a. Sector Norte: Formación Punta Negra.

Para la unidad superior del Grupo Gualilán, se observa un marcado cambio en las contribuciones que participan en la colmatación de la cuenca respecto a la unidad infrayacente, tanto en el sector Norte como en el Central. Las muestras analizadas en la sección Norte (Figura VII-12) registran edades que abarcan desde el Devónico al Neoarqueano, participando con diferentes frecuencias de representatividad en cada una de las localidades analizadas. Al igual que para la Formación Talacasto, las edades registradas han sido reunidas en los ciclos Famatiniano (Devónico-Cámbrico Medio), Pampeano-Brasiliano (Cámbrico Inferior-Neoproterozoico), Grenvilliano (Steniano y Ectasiano), Transamazónico (Paleoproterozoico) y en escasa proporción edades que dan cuenta de fuentes del Neoarqueano.

Para la sección septentrional de este sector las muestras fueron tomadas próximas al límite con la Formación Talacasto en niveles estratigráficos equivalentes. La muestra 16PN54 de la Sierra de la Invernada corresponde a las facies distales de la unidad y al no contar con la presencia de la Formación Talacasto ni de un horizonte claro de comparación en este sector, no es posible establecer si los niveles son correlacionables. Ante esta problemática, el test estadístico *K-S test* fue la herramienta utilizada para determinar que las muestras presentan niveles de correlación altos y por lo tanto podrían ser comparables.



**Figura VII-12.** Muestras correspondientes a la Formación Punta Negra en el Sector Norte de la cuenca. **A:** Mapa de ubicación esquemático. **B:** Perfiles columnares con ubicación de los niveles muestreados para análisis U-Pb. **C:** Imágenes tomadas de Google Earth con ubicación de los niveles de muestreo. HK: Horizonte de Keidel.

#### *Ciclo Famatiniano.*

Las muestras analizadas en este sector de la cuenca exhiben una moderada representatividad de estas edades, en donde la participación de los aportes de estas varía desde un 14% hasta 32%. De esta manera, las edades de las contribuciones detríticas se hallan representadas con magnitudes diferentes en los distintos sectores de la cuenca (Figura VII-13). Para la sección del perfil de Las Aguaditas, dominan edades cámbricas medias, mientras que hacia el sur en el perfil de Las Casitas hay registro importante de edades ordovícicas superando el 25%. Finalmente, para la Sierra de la Invernada, la muestra 16PN54 arrojó un leve predominio de las edades cámbricas medias (Figura VII-13). Esto pone de manifiesto que las fuentes que proporcionaron detritos a la cuenca desde el Devónico Temprano, registradas en la Formación Talacasto, continuaron actuando como fuente de aporte, aunque ya no de manera tan significativa.

#### *Ciclo Pampeano-Brasiliano.*

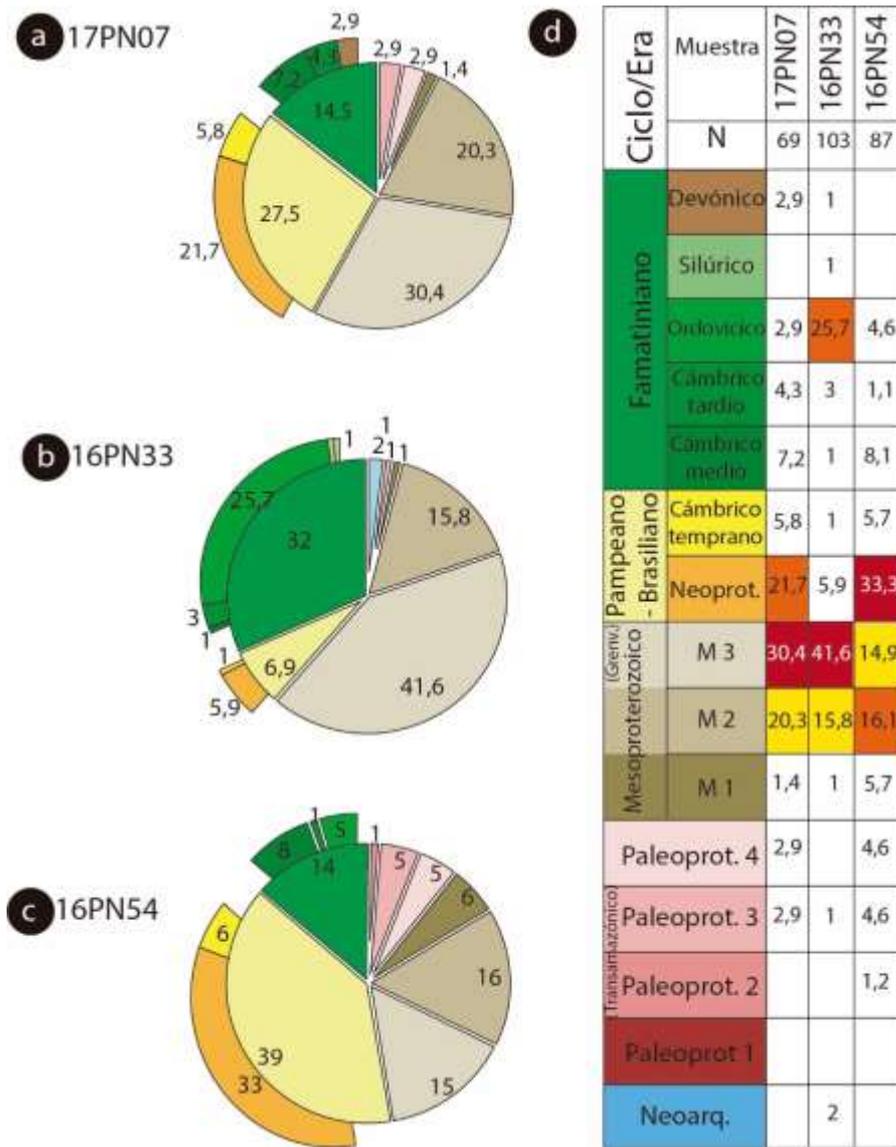
Al igual que en el caso de las fuentes con edades famatinianas, este ciclo orogénico está representado por una distribución heterogénea de los aportes, según el sector analizado, pero siempre con claro predominio de las edades neoproterozoicas por sobre las cámbricas tempranas. En la muestra 16PN54 la participación de circones con edades neoproterozoicas alcanza el 39%, constituyendo la moda principal, mientras que, en el resto de las muestras, se encuentra menos representado y consecuentemente, se aprecia un incremento de los aportes que caracterizan al ciclo Famatiniano (Figura VII-13).

#### *Ciclo Grenvilliano.*

Como fuera mencionado, los registros correspondientes a las edades mesoproterozoicas se destacan como fuente principal, con la particularidad que los circones derivados de fuentes stenianas participan de forma significativa, alcanzando un 30,4% para la muestra 17PN07, 41,6% para la 16PN33 y disminuyendo a 15% en la región de sierra de la Invernada, en la muestra 16PN54. Las fuentes de edades ectacianas resultan estar representadas con porcentajes considerables: 20,3%; 15,8% y 16% respectivamente (Figura VII-13), lo que sugiere la exhumación de rocas de basamentos de estas edades aportando a la cuenca.

#### *Circones con registro de edades cratónicas.*

En las tres localidades analizadas fue posible reconocer edades paleoproterozoicas, principalmente del Statheriano y Orosiriano. Para las muestras ubicadas en una posición más septentrional dentro de la cuenca (17PN07 y 16PN33), estas edades no se hallan representadas de manera significativa alcanzando un 5,8% y 1% respectivamente, mientras que para la muestra 16PN54 de la Sierra de la Invernada, con una posición más austral, estas edades representan poco más del 10% (Figura VII-13). Cabe mencionar que en la muestra ubicada en el perfil de Las Casitas se registraron dos valores del Neoarqueano (2562 y 2604 Ma).



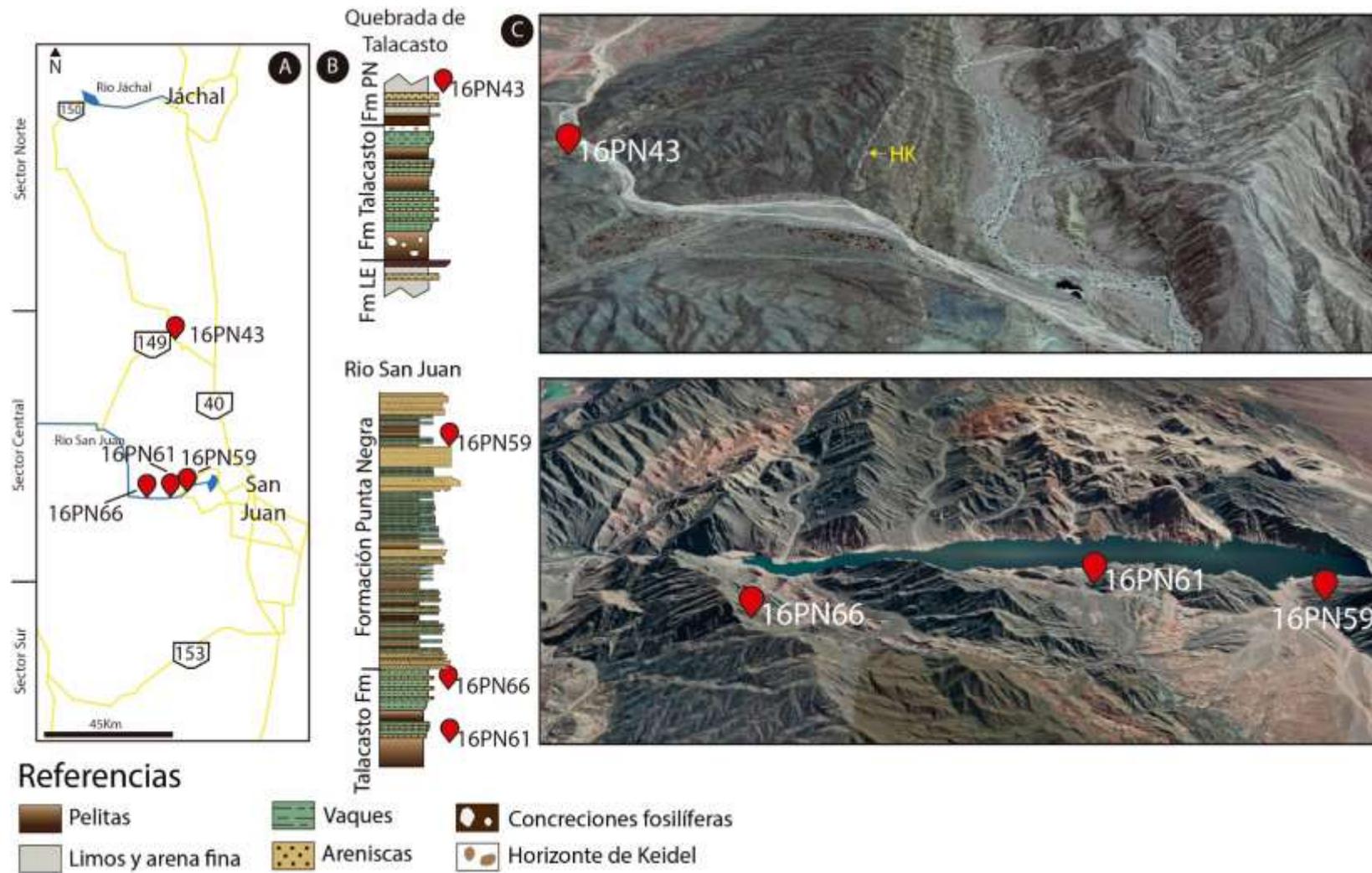
**Figura VII-13.** Muestras correspondientes a la Formación Punta Negra en el Sector Norte de la cuenca. **a-b-c:** Diagramas de tortas con los valores de porcentajes por edades. **d:** Tabla con valores en porcentaje de edades registradas para cada muestra.

B2b. Sector Central: Formación Punta Negra.

Las muestras de la Formación Punta Negra en la región Central de la cuenca (Figura VII-15) exhibieron importantes cambios en la proporción en que los aportes sedimentarios han participado, con un claro predominio de circones con edades mesoproterozoicas, y particularmente stenianas. Las demás fuentes de circones se encuentran muy relegadas o ausentes.

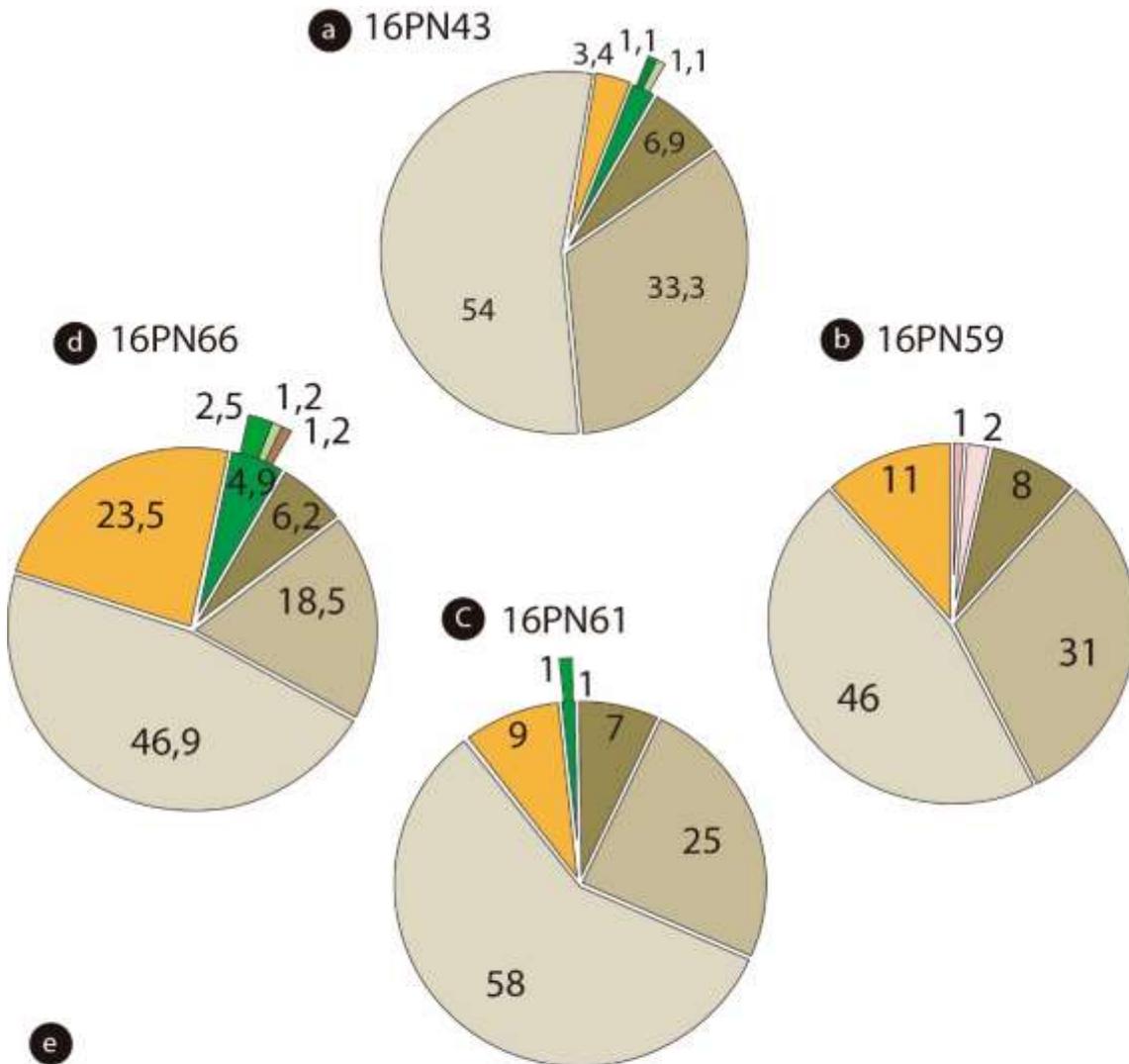
*Ciclo Famatiniano.*

Este ciclo se encuentra escasamente representado o está ausente en las muestras analizadas para esta sección, alcanzando en todos los casos valores de porcentajes que no superan



**Figura VII-15.** Muestras correspondientes a la Formación Punta Negra en el Sector Central de la cuenca. **A:** Mapa de ubicación esquemático. **B:** Perfiles columnares con ubicación de los niveles muestreados para análisis U-Pb. **C:** Imágenes tomadas de Google Earth con ubicación de los niveles de muestreo. HK: Horizonte de Keidel.

el 5% (Figura VII-16). Las edades de los circones que componen este ciclo, en comparación con las muestras ubicadas en la región Norte, indican fuertes cambios en la procedencia de las áreas de aportes.



Neoarq.	Transantazónico				(Grenv.) Mesoproterozoico			Pampeano - Brasiliano		Famatiniano					Ciclo/Era		
	Paleoprot. 1	Paleoprot. 2	Paleoprot. 3	Paleoprot. 4	M 1	M 2	M 3	Neoprot.	Cambrio temprano	Cambrio medio	Cambrio tardío	Cambrio temprano	Ordovicio	Silurico	Devónico	N	Muestra
						6,9	33,3	54	3,4		1,1			1,1			87
					6,2	18,8	46,9	23,5					2,5	1,2	1,2	82	16PN66
					7,2	24,6	58,1	8,7					1,4			69	16PN61
		1,2	2,3	5,3	8	31	46	11,5								87	16PN59

**Figura VII-16.** Muestras correspondientes a la Formación Punta Negra en el Sector Central de la cuenca. **a-b-c-d:** Diagramas de tortas con los valores de porcentajes por edades. **e:** Tabla con valores en porcentaje de edades representadas para cada muestra.

*Ciclo Pampeano-Brasiliano.*

Al igual que para el ciclo Famatiniano, estas edades se encuentran muy poco representadas comparado con la zona Norte, los porcentajes si bien son variables para las diferentes muestras no superan el 25% (Figura VII-16), siendo el valor promedio para las cuatro muestras analizadas de poco más del 11%. Esto indica que las fuentes correspondientes al Neoproterozoico continuaron aportando sedimentos a la cuenca de manera continua, aunque la representatividad se encuentra disminuida respecto a la sección Norte como resultado del notable incremento en los aportes procedentes desde áreas con basamento mesoproterozoico expuesto.

*Ciclo Grenvilliano.*

La marcada participación de circones con edades mesoproterozoicas revela que las rocas de estos valores jugaron un rol principal en el aporte sedimentario de detritos en esta región (Figura VII-16). Los porcentajes hallados superiores al 70% en todas las muestras analizadas indican que rocas de estas edades, se encontraban con grados de exhumación mayores respecto a otras unidades que componen los demás ciclos orogénicos, constituyendo posibles barreras paleogeográficas que limitaban la entrada de sedimentos de otras edades a la cuenca o porque si bien entraban detritos de otras fuentes, estos se veían muy diluidos debido a los abundantes aportes de circones de edades mesoproterozoicas de carácter local.

*Circones con registro de edades cratónicas.*

Circones con edades paleoproterozoicas correspondientes al ciclo Transamazónico fueron registrados únicamente en la muestra 16PN59, y representan el 3% del total analizado (Figura VII-16), estos podrían derivar del reciclaje de rocas sedimentarias previas, aunque no se descarta una posible fuente procedente de rocas de basamentos antiguos ubicados hacia el Este (ej. cratón del Rio de la Plata).

A modo de síntesis podemos considerar que durante el Devónico Medio la cuenca en sus sectores Norte, Central y probablemente Sur recibieron sedimentos que conforman la Formación Punta Negra. Al Norte la unidad se caracteriza por un registro de edades que abarca desde el Devónico al Neoarqueano. Para el sector más septentrional fue posible establecer una correlación entre las muestras 17PN07 y 16PN33 ubicadas en las localidades de Las Aguaditas y Las Casitas respectivamente, a partir de que en ambas localidades los niveles de muestreos resultaron equivalentes, esto fue posible debido a la presencia del horizonte de Keidel en la unidad inferior del Grupo Gualilán que permitió tener un control estratigráfico preciso al momento de la toma de muestras; por su parte la muestra 16PN54 ubicada en el flanco este de la Sierra de la Invernada no exhibe elementos que permitan correlacionarla con el resto de las muestras de este sector. Las

edades vinculadas al ciclo orogénico Famatiniano se encuentran presentes en las tres localidades analizadas, registrando su mayor participación en el perfil del río Las Casitas (32%), de este porcentaje más del 25% corresponden a edades ordovícicas. Por su parte las edades U-Pb relacionadas al ciclo Pampeano-Brasiliano constituyen la moda dominante en la muestra 16PN54, principalmente por el aporte del Neoproterozoico, mientras que en el resto de las muestras la participación es variable desde un 6,9% a 27,5%. Las edades cámbricas inferiores escasamente registradas no superan el 6% del total de las edades obtenidas. El Mesoproterozoico, es variable y constituye la moda principal en las muestras ubicadas más al norte con promedios superiores al 50%, donde se destacan particularmente las edades stenianas por constituir más del 30% de las registradas en ambas muestras. Finalmente, las edades asociadas a circones de fuentes cratónicas se encuentran poco representados alcanzando un porcentaje máximo de 11%.

El sector Central por su parte, abarca un registro de edades desde el Devónico al Paleoproterozoico. Se evidencia un cambio drástico en los aportes detríticos en comparación tanto con las muestras de la región Norte, como así también con las muestras de la unidad infrayacente ubicadas en niveles inferiores. La distribución de edades U-Pb registradas en circones detríticos, vinculadas al ciclo orogénico Famatiniano se encuentran escasamente representadas o directamente ausentes (16PN59) en las muestras analizadas, registrándose menos del 5% en todos los casos. Por otro lado, aquellas edades comprendidas en el ciclo Pampeano-Brasiliano, se encuentran pobremente representadas (menos del 11%) a excepción de la muestra 16PN66, donde estas alcanzan el 23,5 % del total de edades analizadas. Es de destacar que para las cuatro muestras dicho ciclo se encuentra íntegramente representado por edades neoproterozoicas, con nulo registro de edades cámbricas inferiores. La edad más joven registrada para esta región es asignada al Devónico temprano. Por su parte, las vinculadas al ciclo Grenvilliano comprenden porcentajes superiores al 70% constituyendo la contribución detrítica principal en todos los casos, donde más del 46% de las mismas corresponden al Steniano y más del 18% pertenecen al Ectasiano. Por último las edades asociadas a fuentes cratónicas están registradas únicamente en la muestra 16PN59 con un 3%.

Las variaciones encontradas al analizar las edades obtenidas de los circones detríticos en las muestras de la Formación Punta Negra durante el Devónico Medio, estarían vinculadas principalmente al acercamiento y consecuentemente acreción del terreno Chilenia al margen occidental de Gondwana, esto se vería reflejado en el aumento de detritos provenientes de las rocas de basamento, principalmente de edad mesoproterozoica. Esta hipótesis toma mayor peso si se considera una polaridad de la subducción hacia el este, donde la corteza oceánica asociada al margen de Chilenia se subductara por debajo de Cuyania ya acretada. La aproximación del terreno habría comenzado en la región Sur hacia el Devónico Temprano, evento que jugó un papel fundamental en la contribución de los aportes detríticos, dado que su acercamiento generó mayores tasas de exhumación de las rocas de basamento del margen occidental de Gondwana, lo

que favoreció su erosión y aporte de detritos a la cuenca y colmató los depocentros de la región sur (Formaciones Río Seco de los Castaños y La Horqueta) en estos tiempos, mientras que hacia el norte continuaba la sedimentación de la formación Punta Negra la cual alcanzaría su colmatación en el Devónico Medio. La escasa representación de edades vinculadas a los diferentes ciclos orogénicos, a excepción del Mesoproterozoico en la región Central, estaría vinculada a una dilución de los registros procedentes desde rocas de otras edades como consecuencia del gran aporte de esta fuente, las cuales por su cercanía paleogeográfica y elevada tasa de exhumación constituyeron las fuentes de detritos dominantes. Por su parte, en el sector Norte de la cuenca, las rocas de edades mesoproterozoicas constituyeron de igual modo la fuente principal de aportes detríticos. Sin embargo, rocas relacionadas a los ciclos Famatiniano y Pampeano-Brasiliano se encontraban expuestas y contribuyendo con sedimentos desde las regiones circundantes aportando detritos de manera heterogénea, como resultado de las particularidades paleogeográficas locales y variaciones en las paleocorrientes actuantes que transportaron sedimentos hacia la cuenca.

#### C. CONSIDERACIONES Y PROPUESTA PALEOGEOGRÁFICA.

A lo largo de los últimos años se ha llegado a un consenso respecto a la evolución paleogeográfica del SO de Gondwana durante el Silúrico-Devónico, para el cual se reconoce un mosaico de bloques, con áreas cratónicas y terrenos preservados, cuyas particularidades resultan claves para la comprensión del desarrollo de las cuencas sedimentarias. Sin embargo, aún quedan interrogantes en la dinámica de acreción de algunos de estos microcontinentes, como así también, determinar cuáles eran las áreas exhumadas que delimitaban las cuencas y que actuaban como potenciales áreas de aporte de detritos. Recientes trabajos presentados por Heredia *et al.* (2018); Dalquist *et al.* (2020); Boedo *et al.* (2020), entre otros, indican una polaridad de subducción entre los terrenos Chilenia y Cuyania hacia el oeste, con la generación de rocas con características de arco en el margen oriental de Chilenia (Cordillera Frontal). Este arco se habría desarrollado para latitudes más altas a las analizadas en este trabajo de tesis doctoral, indicando que no habría subducción entre estos terrenos para las latitudes bajo estudio, incluso estos últimos autores evalúan la posibilidad de la generación de un ambiente extensional que ayude a explicar la presencia de magmatismos de característica E-MORB hacia el Devónico analizando las rocas máficas y ultramáficas de la Precordillera Occidental.

De este modo, sobre la base de la Figura I-2, la cual representa la distribución de terrenos acrecionados al cratón del Río de la Plata, es posible reconstruir tentativamente, un modelo evolutivo para el margen occidental de Gondwana que involucre a la región de la Precordillera, para comprender cuales fueron los sectores principales que aportaron al relleno de los depocentros.

En el capítulo III se resumen los principales modelos interpretativos propuestos por numerosos autores, discutiéndose la posible autoctonía, para-autoctonía o aloctonía del terreno Cuyania. Actualmente, los modelos que sostienen el origen alóctono, cuentan con un mayor consenso y evidencias para respaldar esta hipótesis. Al encontrarse las secuencias bajo estudio ubicadas por encima del basamento y la cobertura sedimentaria del Paleozoico inferior de este terreno, resulta relevante entender la dinámica evolutiva del mismo, ya que el resultado de su acreción generó el contexto donde se desarrolló la cuenca devónica y la exposición de las rocas que se comportaron como las fuentes de sedimentos durante el relleno de la cuenca. De esta manera, entre los objetivos más importantes de este trabajo, ha sido esencial comprender los aspectos tales como cuál fue la configuración de la cuenca y las direcciones del flujo de detritos al momento de la depositación de las unidades estudiadas, su extensión en sentido Norte-Sur y la determinación de las áreas de aportes de los detritos, entre otros; condiciones que influyeron en el desarrollo del modelo interpretativo, como así también, en el reconocimiento de las particularidades que afectaron el aporte de sedimentos en los diferentes sectores de cuenca.

A partir de los datos e información recopilada que se basan fundamentalmente en el arreglo granulométrico de las unidades, las características petrográficas, y los aportes registrados a partir de las edades de circones detríticos, se ha podido establecer que las unidades del Grupo Gualilán, desde el punto de vista tectónico, se ajustan al modelo de cuenca de antepaís periférico propuesto por Astini *et al.* (2005), no obstante, el estudio de la morfología de la cuenca, a partir de los datos obtenidos de la aplicación de distintas metodologías, pero particularmente el análisis detallado de poblaciones de circones detríticos, se planteó la segmentación de la cuenca y el reconocimiento de diferentes depocentros con características particulares para cada región.

Como parte de la interpretación arribada, se propone en las figuras VII-19a-b, los modelos paleogeográficos que responden a dos momentos evolutivos diferentes; por un lado, el Devónico Temprano y por otro, el Devónico Medio.

Durante el Ordovícico terminal, Silúrico y Devónico, en la región bajo estudio se daba el desarrollo de potentes depósitos desarrollados en cuencas de antepaís. En este contexto se habría desarrollado la sedimentación devónica del Grupo Gualilán en una cuenca que se encontraría parcialmente dividida en al menos dos depocentros. La separación entre estos depocentros estaría dada por altos internos como por ejemplo el Alto Arenas (Baldis, 1975a), un alto topográfico generado tectónicamente que dejaría parcialmente exhumadas a rocas ordovícicas, las cuales pudieron ser erosionadas y habrían actuado como fuentes secundarias de detritos. De esta manera al norte de éste se desarrollaron los depósitos asociados a una plataforma fangosa con abundante fauna malvinocáfrica de la Formación Talacasto, mientras que al sur se encontrarían los primeros asomos de la sedimentación de la Formación Punta Negra, la cual compartiría depocentro con la Formación Villavicencio expuesta en la Precordillera Mendocina (Figura VII-19a).

A partir del esquema paleogeográfico propuesto y principalmente sobre la base de los resultados aquí obtenidos, especialmente referidos a las edades U-Pb en circones detríticos y datos de paleocorrientes conocidos para la Formación Talacasto (Astini 1991) y para la Formación Punta Negra, que indican una preponderancia de la dirección del flujo detrítico de sentido Este-Oeste, con vectores de movimiento entre  $260^{\circ}$  a  $275^{\circ}$  (González Bonorino, 1975; González Bonorino y Middleton, 1976; Bustos, 1995; de Luca y Basilici, 2013; Basilici *et al.*, 2012); es que se indicarán las áreas de procedencia propuestas.

En las Figuras VII-19a-b se indican las diversas áreas de procedencia reconocidas que actuaron como aportes de sedimentos para este período, representando en el primer caso las áreas fuentes que aportaron a la cuenca durante el Devónico Temprano y en un segundo caso, cuales lo hicieron durante el Devónico Medio.

### **C1. Áreas fuentes que contribuyeron a la cuenca durante el Devónico Temprano.**

#### C1a. Sector Norte.

Durante el Devónico Temprano se desarrolla en esta región la sedimentación de la Formación Talacasto. Esta unidad, de acuerdo al análisis petrográfico realizado (madurez textural elevada, con predominio de cuarzo y escasos feldespatos, matriz escasa o directamente nula, granulometría de tamaño arena fina) indica que los detritos derivarían desde áreas orogénicas recicladas. Por su parte el análisis geoquímico revela un predominio de fuentes félsicas como áreas de aporte. Los isotopos de Sm /Nd por su parte indican que los sedimentos presentarían características corticales de acuerdo a los valores del  $\epsilon Nd$  negativos, mientras que los magmas que habrán dado origen a esos detritos provendrían mayormente de cortezas mesoproterozoicas.

Por otro lado, el análisis de circones detríticos reveló tres fuentes dominantes dependiendo de la localidad analizada: famatinianas, pampeanas-brasilianas y mesoproterozoicas (Figura VII-19a), sugiriendo que los aportes detríticos variaron alternativamente desde distintas áreas fuentes a medida que transcurría el relleno de la cuenca. Las potenciales regiones que podrían considerarse como fuentes de detritos han sido detalladas en el capítulo VI de este trabajo y se encontrarían en el sector oriental de la cueca, las metodologías empleadas y los resultados obtenidos para este sector fundamentan esta hipótesis.

#### C1b. Sector Central.

Para esta parte de la cuenca, la sedimentación de la Formación Talacasto de acuerdo a su petrografía difiere respecto de la región norte, en la participación de sus componentes, además de abundante cuarzo, fragmentos de feldespatos y plagioclasas acompañados por líticos mayormente plutónicos y metamórficos; en muchas muestras suele encontrarse una matriz que contiene a los minerales mayores, por lo que la madurez textural para este sector es menor, en contraposición el

tamaño de grano aumenta respecto a la región norte por lo que puede reconocerse la presencia de filosilicatos.

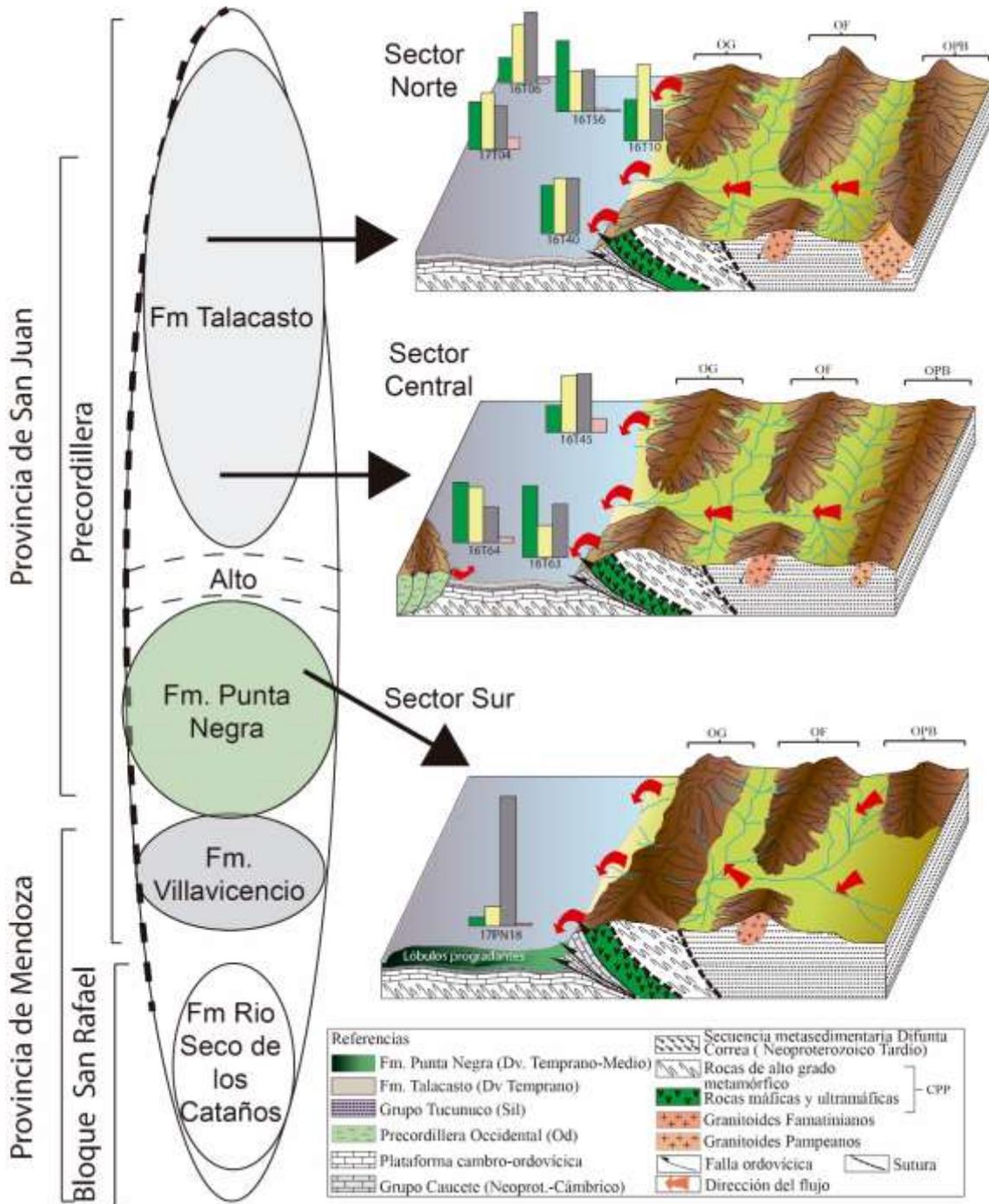
De acuerdo al análisis de circones detríticos, se encuentran algunas discrepancias respecto a la región Norte. Hay un predominio claro en las muestras de la región austral de las edades famatinianas, más específicamente ordovícicas, las cuales estarían estrechamente relacionadas al evento Famatiniano, el cual tuvo un papel preponderante en el margen occidental de Gondwana para este momento, siendo las rocas fuentes las actualmente ubicadas en el cordón del Famatina. Mientras que una fuente alternativa y considerada de carácter secundario podría encontrarse hacia el oeste, la cual conformaba la cuña precordillerana. Por su parte para la muestra ubicada en la porción septentrional la moda dominante está representada por las edades neoproterozoicas, acompañadas por porcentajes elevados de edades stenianas y ectasianas (Figura VII-19a).

El análisis integrado de todas estas metodologías indica fuentes cercanas, evidenciado por el escaso retrabajo de los sedimentos con aportes considerables de matriz, la abundancia de filosilicatos destacándose la muscovita, el moderado índice de alteración química, además los análisis de Sm/Nd indican edades modelos del Mesoproterozoico y un elevado aporte de estas edades registradas en los circones detríticos lo cual permite inferir como áreas fuente a las rocas del basamento de Cuyania ubicados al este de la cuenca.

Si bien, entre la región Norte y Central encontramos contribuciones heterogéneas en el conjunto de edades de acuerdo a las muestras analizadas, se observa que para ambas regiones las fuentes de detritos serían las mismas y los cambios registrados en los porcentajes se deberían a variaciones internas dentro de un mismo depocentro. Para esta unidad no se encuentra un claro predominio de edades correspondientes a un ciclo orogénico determinado, mientras que, si desglosamos a los ciclos orogénicos en los períodos de tiempo que los integran, sí se observa una dominante participación de las edades neoproterozoicas por encima de las demás, seguidas de las stenianas o grenvillianas.

#### C1c. Sector Sur.

En los afloramientos ubicados al sur del río San Juan encontramos la presencia de la Formación Punta Negra. En el capítulo III de este trabajo, se expusieron los motivos por el cual la unidad, en esta región debería ser considerada devónica inferior.



**Figura VII-19a.** Izquierda, esquema del desarrollo de los depocentros a lo largo de la Precordillera y Bloque de San Rafael durante el Devónico Temprano. Derecha, reconstrucción paleogeográfica esquemática para cada sector de la cuenca, diagramas de barras representando los porcentajes para cada uno de los ciclos orogénicos presentes, verde: Famatiniano, amarillo: Pampeano-Brasiliano, gris: Grenvilliano, rosa: Transamazónico, y celeste: Jequié. OG: orógeno Grenvilliano, OPB: orógeno Pampeano-Brasiliano, OF: orógeno Famatiniano. CPP: Complejo Pie de Palo (Mesoproterozoico).

Al analizar las contribuciones detríticas que llegaron a este sector se puede observar una gran disparidad con respecto al resto de la cuenca (Figura VII-19a); la región se caracteriza por un neto predominio de las edades mesoproterozoicas, esencialmente del Steniano y Ectasiano. La abundante representatividad de estas edades indica cambios significativos en las fuentes que aportaron a la cuenca, la cual puede ser interpretada como producto de una taza de exhumación mayor del orógeno Grenvilliano. Estas edades estarían directamente relacionadas con las rocas expuestas al Este de la cuenca que para ese momento constituirían un orógeno de mayor relevancia y continuidad que los remanentes que pueden verse hoy en día en las Sierras Pampeanas Occidentales y Bloque de San Rafael, minimizando el paso de detritos de otras fuentes, como consecuencia de la colisión del terreno Cuyania al margen occidental de Gondwana. Las edades correspondientes al Ectasiano por sus elevados porcentajes de representatividad y la cercanía de rocas de basamentos aflorantes en las actuales sierras Pampeanas Occidentales registrando esas edades, se interpretan a estas como las fuentes de detritos.

La marcada diferencia de los aportes detríticos entre las regiones Norte-Central y Sur, avalan la hipótesis de la existencia de al menos dos depocentros independientes durante Devónico Temprano, en donde se desarrollarían los depósitos de plataforma de la Formación Talacasto al Norte y Centro de cuenca y los depósitos proximales de la Formación Punta Negra al Sur. En donde estos dos sectores recibieron sedimentos de forma diferencial por las características de las rocas exhumadas que actuaron como respectivas rocas fuentes. Si bien este modelo de subducción hacia el este ayudaría a explicar la mayor exhumación de las rocas de basamento, evidenciando por el cambio en los aportes durante el Devónico Temprano y Medio y la deformación en el margen occidental de Gondwana, no queda del todo claro por qué no se da el desarrollo de un arco magmático devónico en el occidente gondwánico o como se explicaría que en latitudes más altas se estaría dando una subducción en sentido opuesto, aunque este tema sigue actualmente en discusión.

## **C2. Áreas fuentes que contribuyeron a la cuenca durante el Devónico Medio.**

El margen proto-andino de Gondwana fue un margen activo de larga duración desde el Paleozoico Temprano con una situación que ha continuado intermitentemente hasta el presente (Cawood, 2005; Nelson y Cottle, 2018), registrando una serie de eventos magmáticos y colisiones de microcontinentes (p. ej., Casquet *et al.*, 2008; Rapela *et al.*, 2018; 2021).

Durante el Devónico Temprano a Medio, la subducción hacia el oeste marcada por diferentes autores, del margen de Gondwana por debajo del terreno de Chileña desencadenó la formación de un incipiente arco magmático con el desarrollo de pequeños plutones espaciados en el margen oriental de Chileña, incluyendo, entre otros, la Granodiorita Pampa de los Avestruces, Los Granitos Menta y Borborán (393–413 Ma) en la Cordillera Frontal y región de Agua

Escondida a aproximadamente 36°S (Davis *et al.*, 1999; Tickyj *et al.*, 2015; Cingolani y Ramos, 2017 y referencias; Heredia *et al.*, 2018; Dahlquist *et al.*, 2020). El breve proceso de subducción habría cerrado el océano Chánico desarrollado entre ambos continentes. La colisión y acreción del terreno de Chilenia con el margen proto-andino de Gondwana durante el Devónico tardío, deformó las rocas sedimentarias del Silúrico-Devónico, evento también conocido como fase tectónica Chánica (Willner *et al.*, 2011; Heredia *et al.*, 2012; 2018; Cingolani y Ramos, 2017). Este escenario tendría relevancia para las latitudes de la actual Provincia de Mendoza, sin embargo, como fue mencionado anteriormente aún es tema de discusión.

Mientras otro grupo apoya la idea de una subducción en sentido inverso para las latitudes de la Provincia de San Juan, y mencionan la presencia de estructuración y deformación devónica la cual sería posible considerando esta polaridad en la subducción (Ramos *et al.*, 1998; Mulcahy *et al.*, 2011; entre otros). Nuevamente quedan interrogantes en esta postura, debido a que no existe registro de un arco de edad devónica para estas latitudes.

Sin embargo una subducción hacia el este ayudaría a explicar el cambio en los aportes de los detritos en el Grupo Gualilán durante el Devónico Inferior y Medio, donde la mayor tasa de exhumación de las rocas mesoproterozoicas del basamento serían llevadas hacia la superficie como consecuencia del acercamiento del Terreno Chilenia hacia el borde occidental de Gondwana.

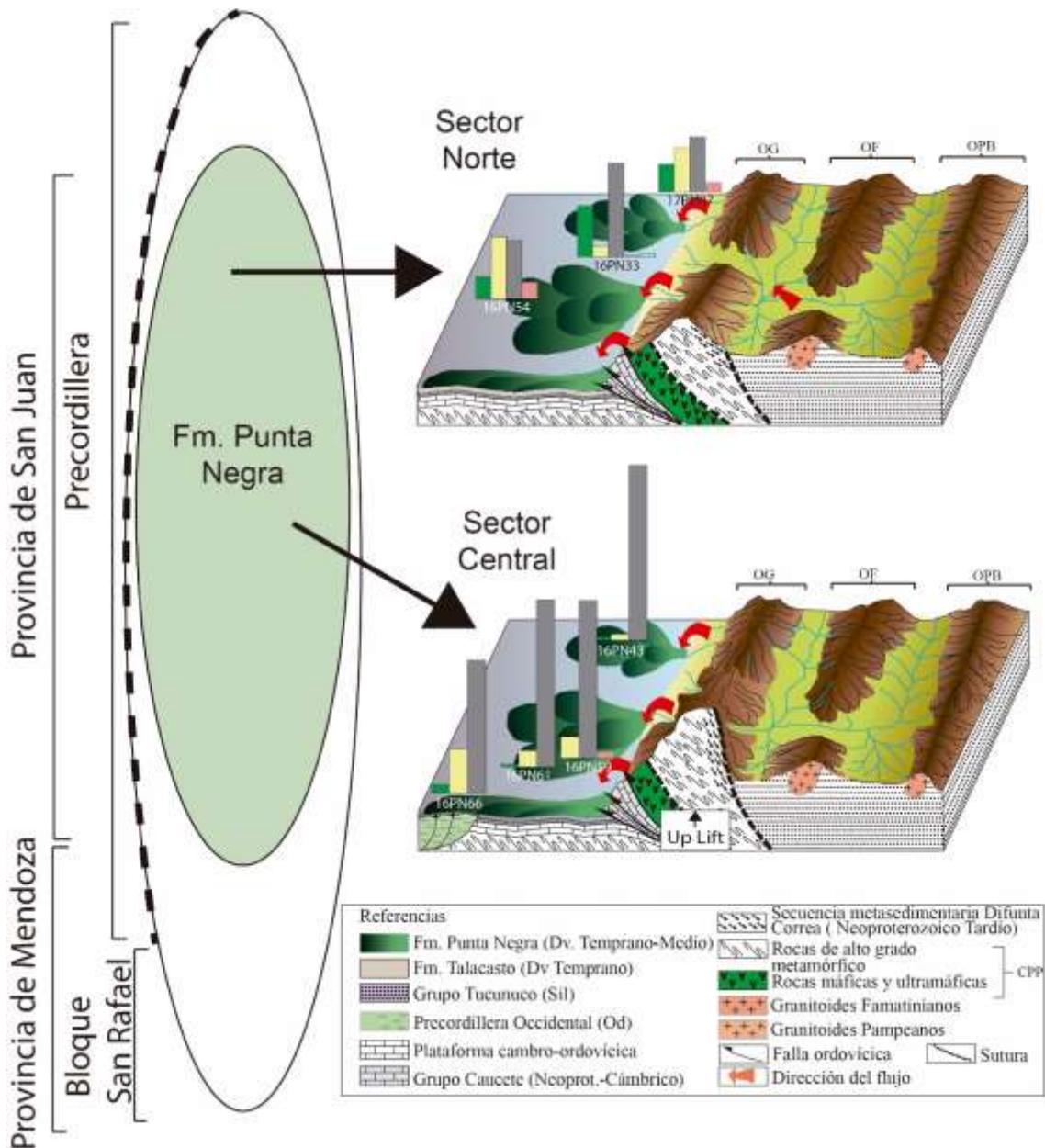
Los granos de circones detríticos devónicos no se registran en las rocas analizadas o hacen en muy escasos porcentajes para este trabajo, probablemente debido al incipiente desarrollo del arco magmático en estas latitudes que presenta mayores exposiciones entre los 34° y 43° de latitud sur, actuando como rocas fuentes a los depósitos ubicados en la Cordillera de Viento por ejemplo la Formación Guaraco Norte la cual presenta un conspicuo registro de circones de origen magmático y edad devónica comparables de acuerdo a sus edades y características geoquímicas con los circones encontrados en los plutones del Carrizalito y Pampa de los Avestruces, anulando la subducción hacia el Este propuesta por Willner *et al.* (2011).

En este contexto tectónico, sumado a una elevación generalizada del nivel del mar y las mayores tasas de exhumación del Orogénico Grenvilliano como consecuencia del acercamiento entre ambos continentes, es que se habría desarrollado la sedimentación devónica media de la Formación Punta Negra, siendo las barreras topográficas internas de la cuenca sobre pasadas para este momento, conformándose un único depocentro pero con cierta heterogeneidad de las fuentes que aportaron a cada sector (Figura VII- 19b).

#### C2a. Sector Norte.

Para este sector se reconocieron los mismos aportes de detritos identificados para la secuencia del Devónico Temprano, pero hallándose en proporciones diferentes respecto a la sucesión inferior. Las contribuciones desde unidades mesoproterozoicas pasan a ser las dominantes, donde las edades stenianas y ectasianas son las más características, sugiriendo una

exhumación mayor del orógeno Grenvilliano para este sector. Sin embargo, la notable presencia de circones con edades neoproterozoicas y famatinianas indicaría que este orógeno no constituiría una barrera que impediría el aporte de otras fuentes ubicadas el Este. Actualmente se reconocen exposiciones del basamento grenvilliano en las sierras Pampeanas Occidentales, mientras que las unidades/rocas con registros correspondientes a los ciclos Pampeano-Brasiliano y Famatiniano se encontrarían identificados principalmente en las sierras Pampeanas Orientales y en menor grado en las Occidentales. Una descripción detallada de estas posibles fuentes fue provista en el capítulo VI de este trabajo.



**Figura VII-19b.** Izquierda, esquema del desarrollo de los depocentros a lo largo de la Precordillera y Bloque de San Rafael durante el Devónico Medio. Derecha, reconstrucción paleogeográfica esquemática para cada sector de la cuenca, diagramas de barras representando los porcentajes para cada uno de los ciclos

orogénicos presentes, verde: Famatiniano, amarillo: Pampeano-Brasiliano, gris: Grenvilliano, rosa: Transamazónico, y celeste: Jequié. OG: orógeno Grenvilliano, OPB: orógeno Pampeano-Brasiliano, OF: orógeno Famatiniano. CPP: Complejo Pie de Palo (Mesoproterozoico).

### C2b. Sector Central.

Para este sector de la cuenca, la Formación Punta Negra registró casi exclusivamente aportes detríticos desde fuentes con edades del Mesoproterozoico, siendo los circones con edades grenvillianas la moda principal y secundariamente los circones con edades ectasianas. De esta manera, los aportes desde fuentes que representan a otros ciclos orogénicos se encuentran muy diluidos en sus registros o están ausentes, jugando un rol poco relevante en sus contribuciones.

Resulta evidente que la configuración imperante para este momento en este sector particular de la cuenca, fue diferente respecto a lo ocurrido al norte de la misma, en donde si bien se registra un predominio de fuentes aportadas desde rocas que caracterizan al orógeno Grenvilliano por sobre los demás ciclos orogénicos, esta zona continuó recibiendo sedimentos de diversas edades desde el Este. Por su parte, la región Central de acuerdo a las edades registradas expresadas en porcentajes, permite interpretar las características de este orógeno el cual habría presentado una mayor extensión y continuidad, posiblemente alcanzando a la región Sur de la cuenca y registrando las mayores tasas de exhumación para estos tiempos. La configuración paleogeográfica del orógeno Grenvilliano actuaría como una barrera la cual impediría el paso de los detritos desde otras áreas, siendo este la única fuente de sedimentos presente (Figura VII-19b).

Si bien resulta evidente el cambio en la configuración paleogeográfica de las áreas aflorantes y por consiguiente la existencia de heterogeneidades en los aportes para los diferentes sectores analizados, estos no resultan suficientes para establecer la posibilidad de que la cuenca experimente durante el Devónico Medio dos depocentros independientes, por lo que puede concluirse que para este momento la Formación Punta Negra se habría desarrollado en una única cuenca de gran extensión, con variabilidad de aportes y claro dominio de fuentes mesoproterozoicas hacia el centro-sur de la cuenca, esto podría estar relacionada a mayores tasas de alzamiento de estas rocas por la aproximación de Chilenia

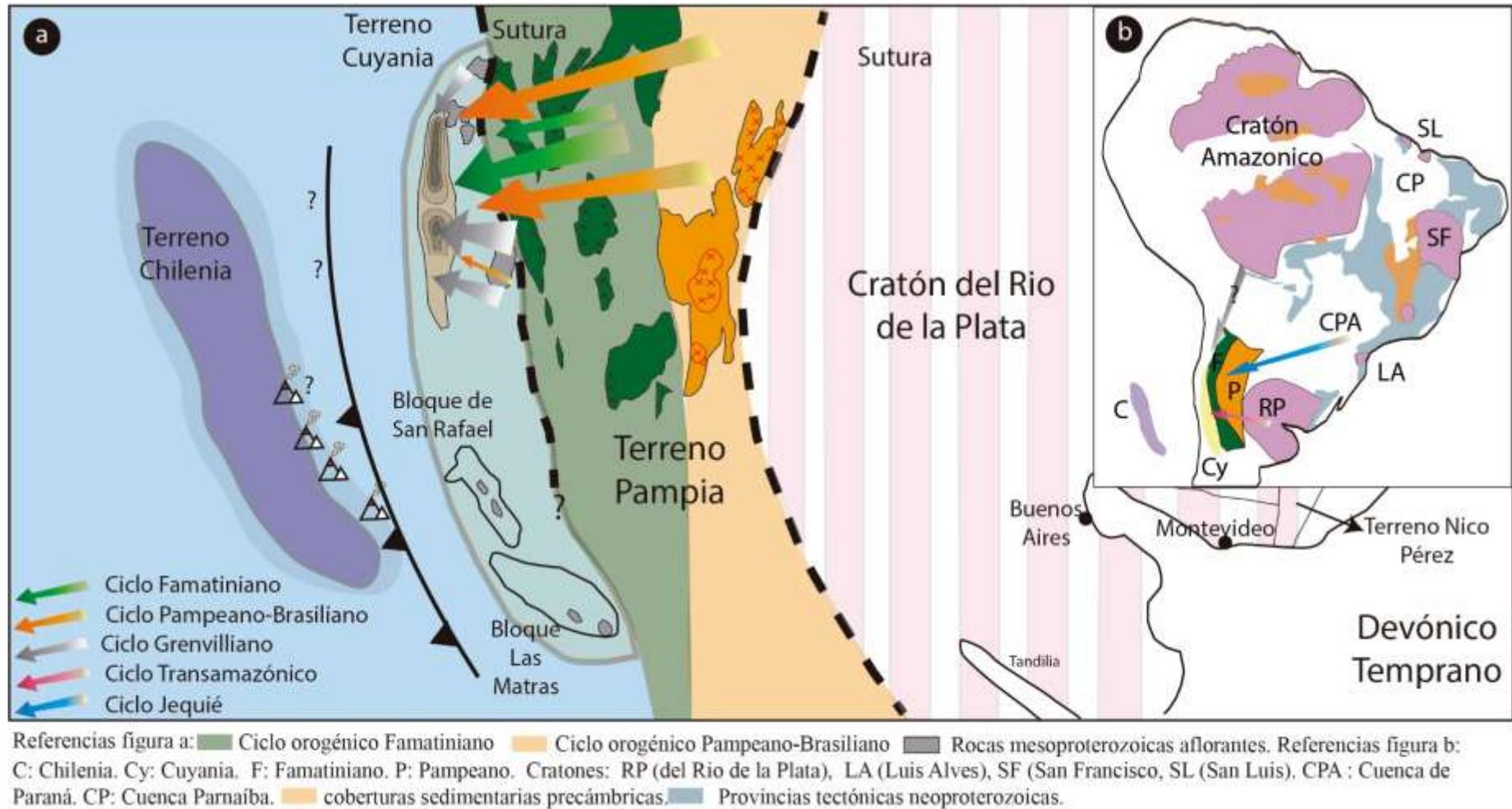
Finalmente, a partir del esquema paleogeográfico propuesto y sobre la base de los resultados aquí obtenidos, especialmente los referidos a las edades U-Pb en circones detríticos y datos de paleocorrientes aportados por Astini (1991) para la Formación Talacasto y González Bonorino (1975); González Bonorino y Middleton (1976); Bustos (1995); de Luca y Basilici (2013); Basilici *et al.* (2012) para la Formación Punta Negra que indican una preponderancia de la dirección del flujo detrítico de sentido Este-Oeste, con vectores de movimiento entre 260° a 275°, se representan en las figuras VII-20a-b el aporte detrítico de las principales regiones fuentes

que contribuyeron en el relleno de la cuenca devónica de Precordillera, teniendo en cuenta la situación geotectónica imperante durante la depositación.

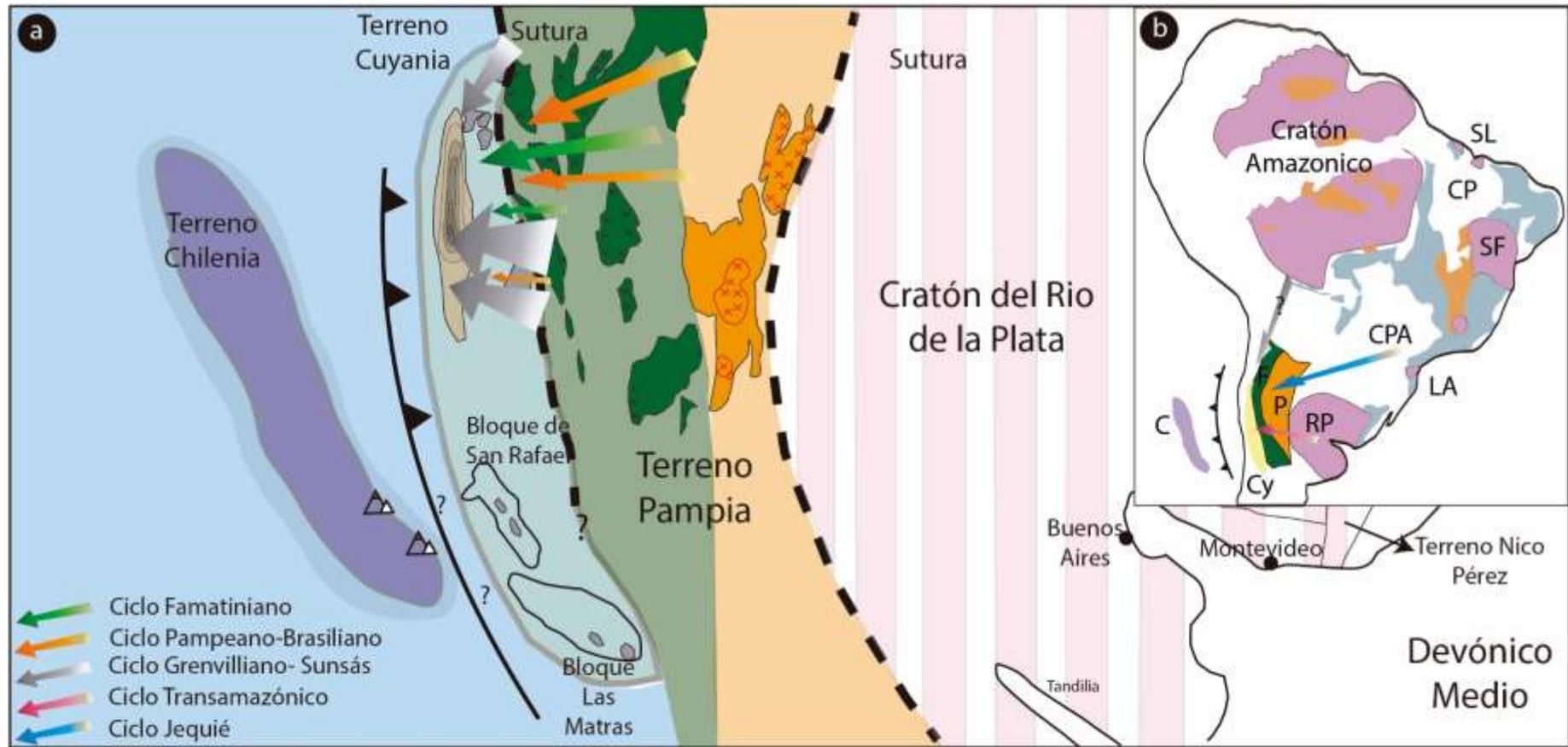
En las figuras VII-20a-b se indican las diversas áreas de procedencia reconocidas que actuaron como aporte de sedimentos durante el Devónico Temprano y Medio, representándose a los ciclos Famatiniano (Cámbrico Medio-Devónico), Pampeano-Brasiliano (Neoproterozoico-Cámbrico Inferior), Grenvilliano (Steniano-Ectasiano), Transamazónico (Paleoproterozoico) y Jequié (Neoarqueano).

De esta manera, se interpreta que la sedimentación durante el Devónico Temprano habría alcanzado al menos dos depocentros desarrollados en una cuenca de antepaís, con aportes sedimentarios que derivaron desde fuentes ubicadas principalmente al Este, aunque registrando variaciones en las fuentes de detritos para los diferentes sectores analizados, la polaridad de la subducción para este momento no es clara aún para la latitud del área estudiada, pero hay un cierto consenso que a latitudes más altas ésta estaría desarrollándose hacia el oeste (Figura VII-20a).

La evolución paleogeográfica continúa en el Devónico Medio con la aproximación entre Gondwana y Chilenia, a medida que ambos continentes se iban aproximando desde el sur hacia el norte, el orógeno de edad mesoproterozoica alcanzó las mayores tasas de exhumación aportando detritos hasta la colmatación de la cuenca devónica. Una subducción entre ambos continentes hacia este para el sector bajo estudio explicaría la importante tasa de exhumación de las rocas de basamentos evidenciada por los conspicuos aportes de edades mesoproterozoicas registradas y la deformación de esta edad en las Sierras Pampeanas Occidentales. (Figura VII-20b).



**Figura VII-20a.** Modelo de reconstrucción paleogeográfica del suroeste de Gondwana durante el Devónico Temprano, mostrando las procedencias de las fuentes detríticas que han participado en el relleno de la cuenca de Precordillera.



Referencias figura a: ■ Ciclo orogénico Famatiniano ■ Ciclo orogénico Pampeano-Brasiliano ■ Rocas mesoproterozoicas aflorantes. Referencias figura b: C: Chilena. Cy: Cuyania. F: Famatiniano. P: Pampeano. Cratones: RP (del Río de la Plata), LA (Luis Alves), SF (San Francisco), SL (San Luis). CPA : Cuenca de Paraná. CP: Cuenca Paranaíba. ■ coberturas sedimentarias precámbricas. ■ Provincias tectónicas neoproterozoicas.

**Figura VII-20b.** Modelo de reconstrucción paleogeográfica del suroeste de Gondwana durante el Devónico Medio, mostrando las procedencias de las fuentes detríticas que han participado en el relleno de la cuenca de Precordillera.

**VIII. CONSIDERACIONES FINALES.**

Seguidamente se expresarán las conclusiones arribadas luego de haber desarrollado las distintas metodologías de trabajo.

**A. ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y MORFOLOGÍA-TIPOLOGÍA DE CIRCONES DETRÍTICOS.**

- Se observó una similitud tanto mineralógica como textural entre las dos unidades que conforman el Grupo Gualilán, con disparidad en el tamaño de grano medio entre ambas: limos a arenas finas para la Formación Talacasto y arenas medianas para la Formación Punta Negra. La primera exhibió variaciones de madurez textural en sentido Norte-Sur. Al Norte, presentando una elevada madurez, mientras que hacia el Sur se registró un aumento de matriz tornando a esta con un grado de madurez menor. La segunda debido al aumento en el tamaño de grano, permite visualizar con mayor detalle los componentes donde son muy frecuentes los líticos plutónicos y metamórficos acompañados por filosilicatos. Para ambas unidades la presencia de clorita es significativa.

Localmente para la Formación Talacasto (localidades de Loma de los Piojos y quebrada de Talacasto) se reconocieron facies más gruesas con presencia de ooides chamosíticos y minerales asociados al grupo de las espinelas caracterizando a la capa guía conocida como horizonte de Keidel.

- Ambas formaciones pertenecientes al Grupo Gualilán, presentan similares patrones en las poblaciones de granos de circones analizados. Los grupos reconocidos corresponden a fuentes ígneas plutónicas (Grupo 1), metamórficas (Grupo 3), redondeados o retrabajados (Grupo 4) y únicamente en la Formación Talacasto pudieron reconocerse circones vinculados a fuentes ígneas-volcánicas (Grupo 2).
- Las proporciones de los diferentes grupos de circones reconocidos asociadas a las características morfológicas sugieren: heterogeneidad en las áreas de procedencia. Con neto predominio desde fuentes ígneas-plutónicas.

**B. GEOQUÍMICA.**

- Los diagramas triangulares A-CN-K ( $Al_2O_3/CaO+Na_2O/K_2O$ ) y CIA mostraron un comportamiento similar en casi todas las muestras, con moderada meteorización y rocas fuente félsicas.
- La implementación de los gráficos discriminantes para definir ambientes tectónicos a partir de los contenidos de los elementos mayoritarios, no resultaron precisos ya que se pudo encontrar gran disparidad de resultados dependiendo del diagrama que se utilice.

- El origen félsico de las fuentes quedó igualmente expuesto en el análisis de elementos trazas y tierras raras particularmente en las relaciones de Hf vs La/Th asociadas a arcos de islas continentales. Las relaciones de Th/Sc vs. Zr/Sc indican un escaso a nulo retrabajo.
- El contenido de las tierras raras en comparación respecto a los valores promedios de las PAAS y CCS, indica una composición de características corticales.
- Ambas unidades mostraron una anomalía negativa en Eu, debida probablemente a la participación de plagioclasa en el material detrítico. Esta particularidad refleja similares condiciones de depositación entre las dos formaciones integrantes del Grupo Gualilán.
- La-Th-Sc para ambas unidades indica una proyección en el campo de arco de isla continental, mientras que el diagrama ternario Th-Sc-Zr/10 revela una proveniencia dividida entre muestras procedentes desde arcos de isla continental y margen continental activo. Por su parte en los campos incorporados posteriormente por Bahlburg (1998) para este diagrama, las muestras procederían desde depósitos marinos turbidíticos recientes, derivados de un margen continental activo.
- La aplicación de los diagramas discriminantes de ambientes tectónicos a partir de los elementos trazas, mostraron ciertas discrepancias respecto a los resultados obtenidos con los análisis de los elementos mayoritarios.
- De los estudios geoquímicos realizados, se desprende que los resultados obtenidos no permitieron definir con suficiente certeza el ambiente tectónico de sedimentación. No obstante, fueron útiles para la comparación de los datos entre las dos unidades estudiadas indicando características semejantes entre ambas. Finalmente permitieron establecer que las procedencias sedimentarias de las rocas de ambas secuencias, no registran aportes de rocas de corteza oceánica, caracterizándose por la participación de fuentes que contribuyeron esencialmente desde los ámbitos continentales.

### C. GEOLOGÍA ISOTÓPICA.

A partir de los estudios isotópicos U-Pb en circones detríticos por la metodología LA-ICP-MS, se pudieron determinar las edades de las fuentes principales que contribuyeron al relleno de la cuenca de Precordillera durante el Devónico Temprano y Medio, para los diferentes sectores de la cuenca.

#### **C1. Devónico Temprano.**

##### C1a. Formación Talacasto (Sector Norte).

- Presentó picos dominantes con edades correspondientes a los ciclos Pampeano-Brasiliano y Famatiniano, y en menor medida, edades correspondientes al Mesoproterozoico con fuerte participación del Grenvilliano y localmente alta representatividad de edades ectasianas.

- Todas las muestras dan cuenta de la participación con contenidos variables del Neoproterozoico, definiéndose como la contribución más representativa en el relleno de la cuenca para este sector.
- La presencia de circones con edades antiguas, evidenció el posible aporte desde áreas cratónicas.
- Las edades más jóvenes registradas para la unidad en este sector de la cuenca, correspondieron a circones del Devónico temprano registrados en los niveles inferiores al horizonte de Keidel.

#### C1b. Formación Talacasto (Sector Central).

- Los principales aportes detríticos derivan de fuentes con edades correspondientes a los ciclos Pampeano-Brasiliano y Famatiniano. Con fuerte representatividad de edades neoproterozoicas y ordovícicas respectivamente.
- Los aportes de rocas de edades mesoproterozoicas aumentaron su representatividad en este sector, con claro dominio dentro de estas de las grenvillianas.
- La presencia de circones con edades antiguas se registra principalmente en el área de la quebrada de Talacasto.
- Las edades más jóvenes registradas corresponden al Pragiano.

#### C1c. Formación Punta Negra (Sector Sur).

- Se observó una clara diferenciación en la participación de fuentes detríticas para esta unidad en la región Sur de la cuenca. El ciclo Grenvilliano se manifiesta en forma relevante, incluyendo mayormente edades stenianas acompañadas por las ectasianas y de forma aislada circones con edades calymmianas. Los ciclos Pampeano-Brasiliano y Famatiniano se encuentran poco representados en comparación con las demás áreas analizadas.
- Las edades más jóvenes para este sector corresponden a circones con edades en el límite Cámbrico-Ordovícico.
- Las edades antiguas se encuentran escasamente representadas, continuando con la tendencia de las demás áreas analizadas.

### **C2. Devónico Medio.**

#### C2a. Formación Punta Negra (Sector Norte).

- Se observa un claro cambio en las contribuciones detríticas respecto a lo registrado para el Devónico Inferior en el mismo sector. El ciclo Grenvilliano constituye la fuente dominante de sedimentos, donde vuelven a destacarse dentro de este las edades stenianas, seguidas por contribuciones significativas de edades ectasianas.

- Localmente puede verse un dominio del ciclo Pampeano-Brasiliano como fuente principal de detritos en las facies más distales.
- Las edades famatinianas principalmente las cámbricas y ordovícicas, continúan aportando de manera constante a la cuenca, aunque se encuentran menos representadas.
- Las edades más jóvenes registradas dan cuenta de exposición y erosión de rocas emsianas.
- Las edades vinculadas a fuentes cratónicas alcanzan sus mayores registros en este sector.

#### C2b. Formación Punta Negra (Sector Central).

- Fuentes procedentes del ciclo Grenvilliano intervinieron de manera significativa en el aporte detrítico.
- Las edades comprendidas dentro de los demás ciclos orogénicos se encuentran escasamente representadas.
- La edad más joven para este sector corresponde a un circón Devónico Inferior, puntualmente del límite Pragiano-Emsiano.

#### **C3. Análisis comparativo de los resultados U-Pb en circones detríticos entre las formaciones del Grupo Gualilán.**

- Las formaciones Talacasto y Punta Negra comparten similares registros de edades U-Pb de circones detríticos, la diferencia entre ambas radica en la representatividad de los registros pertenecientes a los diferentes ciclos orogénicos, las cuales son variables dependiendo del sector analizado. La aplicación del test estadístico Kolmogorov-Smirnov (*K-S test*) indica de una manera objetiva una marcada correlación entre la mayor parte de las muestras de los sectores Norte y Central de la cuenca para ambas (Formación Talacasto y las muestras de la región Norte de la Formación Punta Negra). Esto sugiere que las secuencias fueron formadas por la acumulación de productos de erosión de regiones fuentes similares.
- Las muestras de la Formación Punta Negra depositadas en los Sectores Central y Sur de la cuenca, se diferenciaron sustancialmente del resto de las muestras ubicadas en la región Norte y de las muestras de la Formación Talacasto, tanto en la proporción que participan los circones de cada uno de los ciclos como en las edades registradas. Así, el ciclo Grenvilliano constituyó la moda principal y en forma menos relevante se registraron edades vinculadas a los ciclos Pampeano-Brasiliano y Famatiniano.

#### **C4. Comparación con otras unidades.**

##### C4a. Grupo Gualilán vs. Formación Los Espejos.

La Formación Los Espejos (Silúrico) exhibe elevados porcentajes desde fuentes de edades neoproterozoicas, por lo que al aplicar el (*K-S test*) se obtuvieron elevados valores de

correlación con las muestras de la Formación Talacasto, con excepción de aquellas las muestras ubicadas sobre el río San Juan. Por su parte la Formación Punta Negra, experimenta similitudes en cuanto a las proporciones de las edades de fuentes registradas únicamente en el sector Norte. Los aportes considerables desde fuentes neoproterozoicas en la región Norte para las muestras comparadas permite inferir que las fuentes de sedimentos durante el Silúrico Tardío y Devónico fueron las mismas. La significativa diferencia en la participación de fuentes cratónicas, indicaría para el Silúrico mayores tasas de exhumación desde áreas cratónicas, posiblemente relacionadas al Cratón del Río de la Plata que se encuentran de manera muy reducida o nula en la unidad superior del Grupo Gualilán.

#### C4b. Grupo Gualilán vs. Formación Los Sombreros.

La diferencia esencial del aporte detrítico entre estas unidades radica en la fuerte contribución de edades vinculadas a fuentes cratónicas del Paleoproterozoico respecto a la pobre presencia de similares registros en las muestras del Grupo Gualilán. A partir del test estadístico (K-S test) se corrobora la nula correlación entre estas unidades, esta disparidad en los aportes detríticos de las unidades comparadas, sumada a la ausencia de edades devónicas, no apoya la idea de que la unidad pueda ser considerada de edad devónica post-Punta Negra. Sugiriendo que los detritos que conforman estas unidades no procederían desde las mismas fuentes.

#### C4c. Grupo Gualilán vs. Formación Villavicencio.

Se encontraron registros equivalentes entre las muestras de la Formación Villavicencio y la Formación Punta Negra, principalmente las correspondientes a las regiones Central y Sur. La Formación Villavicencio mostró una marcada correspondencia debido a la elevada participación de circones con edades mesoproterozoicas. Probablemente por la cercanía geográfica y edad, la formación Villavicencio habría compartido las mismas fuentes de sedimentos que la Formación Punta Negra.

#### C4d. Grupo Gualilán vs. Formación Río Seco de los Castaños.

Se encontró una consistencia en la frecuencia y participación de circones ordovícicos entre esta secuencia y la Formación Talacasto. La diferencia más significativa entre en ambas es la presencia de granos con edades antiguas. Mediante la implementación del *K-S test* se determinó la nula posibilidad de correlación entre esta unidad aflorante en el Bloque de San Rafael y la Formación Punta Negra.

#### C4e. Grupo Gualilán vs. Formación La Horqueta.

La Formación La Horqueta expuesta también en el Bloque de San Rafael cuenta con cuatro poblaciones reconocidas, siendo la más representada aquella que incluye a las edades grenvillianas la cual podría vincularse con la Formación Punta Negra, sin embargo no hay relación

en cuanto al alto porcentaje de edades cratónicas ni tampoco en los porcentajes elevados de edades famatinianas, específicamente silúricas y devónicas las cuales resultan ser ínfimas para las muestras del Grupo Gualilán.

#### C4f. Grupo Gualilán vs. Formación Las Lagunitas.

Las edades reconocidas en la Formación Las Lagunitas (Cordillera Frontal) para su sección superior, permiten inferir que las fuentes que aportaron en su relleno podrían ser potencialmente similares a las que contribuyeron para la Formación Talacasto. Esto implicaría que ambos depocentros no se encontrarían a tanta distancia entre sí ni de las rocas fuentes. Sin embargo, aún se discute la edad de esta unidad, la cual cuenta en la sección basal con fósiles que indican una edad ordovícica.

#### **C5. Isótopos de Lu-Hf en circones detríticos.**

- La mayoría de los circones que integran las muestras del Grupo Gualilán presentan relaciones isotópicas y edades modelos  $T_{DM}$  similares.
- Se deduce que el 54,8% de los circones analizados han cristalizado de fuentes magmáticas juveniles, el 19,8% de fuentes corticales y el 25,4% han derivado de un significativo reciclaje cortical de una fuente esencialmente mesoproterozoica.
- Las características juveniles de los circones mesoproterozoicos analizados indican patrones idénticos a los encontrados en las Sierras Pampeanas Occidentales para la misma edad, reforzando esta área como fuente de detritos. Las características corticales o el manifiesto reciclaje de los circones neoproterozoicos y ordovícicos registrados en las muestras del Grupo Gualilán permite inferir que las rocas de estas edades ubicadas al este serían la fuente principal de sedimentos.

#### **C6. Isótopos de Sm-Nd, edades $T_{DM}$ y $\epsilon Nd$ .**

- Para las muestras del Grupo Gualilán se encontró una homogeneidad en las edades modelos  $T_{DM}$ , por lo que ambas unidades habrían recibido sedimentos desde fuentes semejantes, siempre de características corticales.
- El análisis global de todas las muestras para las regiones estudiadas, revela que las edades modelos  $T_{DM}$  obtenidas corresponden al Mesoproterozoico Inferior, expresando el espectro promedio de las edades modelos de las rocas fuentes.
- Debido a que ambas unidades guardan una estrecha correlación, puede interpretarse que ellas han compartido aportes detríticos de características similares durante el Devónico Inferior-Medio.
- Las conclusiones son coherentes con los resultados U-Pb obtenidos en circones detríticos para ambas regiones, registrando patrones de procedencia semejantes.

- Los parámetros de  $\epsilon_{Nd}$  evidencian una mezcla desde diferentes fuentes.

#### D. PRINCIPALES FUENTES RECONOCIDAS, ÁREAS DE PROCEDENCIA E IMPLICANCIAS PALEOGEOGRÁFICAS.

- *Mesoproterozoico.* Registro de edades mesoproterozoicas se encuentran en todo el oeste de Sudamérica. Las edades esencialmente grenvillianas (1,0-1,2 Ga) se vinculan a las rocas que conforman las Sierras Pampeanas Occidentales. Localmente los basamentos sobre los cuales se desarrollan estas secuencias debieron participar activamente en las contribuciones detríticas de estas edades.
- *Neoproterozoico y Cámbrico Inferior.* Son referidas a aportes sedimentarios derivados de terrenos correspondientes al ciclo Pampeano-Brasiliano. Las Sierras Pampeanas Orientales (terreno Pampia) constituyeron una de las áreas de aporte más significativas. Localmente las rocas de basamento ubicadas en las Sierras Pampeanas Occidentales habrían proporcionado importantes cantidades de detritos del Neoproterozoico. No se descarta la presencia de aportes del basamento de estas edades desde la región del Noroeste Argentino.
- *Cámbrico Medio-Superior a Devónico.* Estas edades están íntimamente relacionadas al evento famatiniano el cual jugó un rol preponderante en el margen occidental de Gondwana. Los intrusivos ordovícicos de las Sierras Pampeanas Orientales y Famatina, habrían sido la fuente principal de estos aportes en los diferentes niveles analizados, esto queda evidenciado por las características de  $\epsilon_{Hf}$  para los circones de estas edades. Las edades silúricas y devónicas en ambas secuencias podrían derivar de la fase final del arco magmático Famatiniano o del arco incipiente que se estaba generando en el borde oriental de Chileña.
- *Paleoproterozoico y Neoarqueano.* Los pequeños contenidos de circones de estas edades encontrados de manera constante en las unidades del Grupo Gualilán, sugieren la presencia de antiguos terrenos parcialmente exhumados, siendo probable que deriven de la erosión del cratón del Río de la Plata (terrenos como Piedra Alta y Nico Pérez, Uruguay), donde es posible reconocer rocas de edades paleoproterozoicas y arqueanas.
- Por último, el modelo de evolución tectónica que se interpretó en función del análisis de la procedencia sedimentaria, es consistente con la evolución geodinámica del margen suroeste de Gondwana para el lapso Devónico Temprano-Medio. El mismo se caracterizó durante una primera instancia por el desarrollo de una espesa cuenca de antepaís periférica donde tuvo lugar la sedimentación de la Formación Talacasto (sectores Norte y Central) y la Formación Punta Negra (sector Sur), para estos sectores las fuentes principales de sedimentos se relacionan con las rocas ubicadas al este, expuestas por la acreción del terreno Cuyania al borde occidental de Gondwana. Luego hacia el Devónico medio, se produce para las latitudes bajo estudio, la subducción de Chileña hacia el este por debajo de Gondwana con el consecuente acercamiento

entre ambos terrenos, esto sería la causa de la considerable exhumación del orógeno Grenvilliano, que queda manifestado en los sedimentos de la Formación Punta Negra con los altos porcentajes de detritos de edades mesoproterozoicas.

**IX. AGRADECIMIENTOS.**

Quiero agradecer especialmente a mis Directores, el Profesor Carlos Cingolani de quien he recibido su total apoyo y motivación desde un primer momento para llevar a cabo el trabajo de tesis. Quiero destacar la dedicación, el espíritu de investigación y principalmente la manera desinteresada al momento de transmitir todos sus conocimientos, pero sobre todo, el ánimo en mis momentos de no tanta claridad alentándome a dar pasos que por más pequeños que sean me iban a llevar a la meta propuesta.

Al Dr. Norberto Uriz, quien han sabido motivarme e incentivar me permanentemente. Ha logrado generar en mí más de un dolor de cabeza, sabiendo que lograría a partir del intercambio de ideas llegar a interpretaciones más sustanciosas y tener una mirada regional más abierta, que me acompañará según creo, el resto de mi carrera.

A mi familia (padres, hermanos, sobrinas y tíos) por el apoyo recibido siempre en las decisiones de todas las etapas de mi vida, especialmente a mi hermana Karen que siempre apostó por mí y festejó cada uno de los pequeños logros.

A su vez, agradecer de todo corazón, el aguante y comprensión que tuvo a través de esta etapa mi compañera Florencia, quien supo acompañarme y entender mi profesión. Este agradecimiento puntual se extiende a nuestra hermosa familia particularmente a lo más importante en nuestras vidas, Simón que como dije desde un primer momento llegó para ponernos la vida patas para arriba y nos encanta, gracias hijo por la alegría del día a día y por esa sonrisa gigante ni bien te despertás, ellos fueron uno de los grandes motores para poder llegar a finalizar esta etapa. No quiero olvidarme de las dos integrantes peludas de la familia, que siempre estuvieron dando vueltas a lo largo de estos años: Clotilde que me acompañó desde un primer momento y Roma que llegó un tiempo después demandando más dedicación que este propio trabajo.

A todo el grupo del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), autoridades, personal administrativos, de limpieza y técnico. Principalmente a mis compañeros de oficina por el aguante durante todo este tiempo. Especial agradecimiento dentro de la institución a la Dra. Ana María Sato la cual ha compartido desinteresadamente toda su experiencia en la separación de minerales pesados la cual fue la metodología más relevante para llevar a cabo esta tesis.

Quiero extender mi agradecimiento a mis compañeros de las cátedras de Geología Histórica y Geología Argentina de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP): Ailen, Micaela, Julieta, Natalia, Maximiliano, Federico, Marcos, Gustavo, destacando particularmente a Andrea Bidone por su apoyo y ánimo a lo largo de estos años, a Aron Siccardi por su colaboración en las tareas de campo y por su guía en temas bioestratigráficos, y Carlos Ballivian por su predisposición, discusión y aporte relacionados a la geología isotópica.

Quiero agradecer a todos aquellos que de manera directa o indirecta han contribuido aportando su tiempo, hospitalidad, opinión, apoyo, etc que permitieron concluir esta etapa:

- A la escuela Agrotécnica Belgrano del departamento de San José de Jáchal por la hospitalidad reiterada durante las tareas de campo.
- A la Lic. María Jose Gómez y familia para la hospitalidad durante las campañas. Por igual motivo agradezco la hospitalidad de Maximiliano Lucero y familia durante la última campaña.
- Al Dr. Silvio Peralta de la Universidad de San Juan por el apoyo logístico en los viajes a la Sierra de La Invernada.
- Al SEGEMAR, por el apoyo logístico durante las campañas al sector sur de la cuenca.
- Profundo agradecimiento a Mariana Waligora y familia (María Cristina Ferrari e Israel Henrique Waligora) por la hospitalidad durante mis estadias en San Pablo.
- Agradecer profundamente al personal técnico y administrativo en el CPGeo, donde me han permitido aprender y dejado utilizar el equipamiento LA-ICP-MS.
- Al Dr. Prof. Miguel Angelo Stipp Basei por el apoyo brindado en CPGeo.
- A el Dr. Werner Loske, quien proporcionara datos y sugerencias.
- A la Dra. Paulina Abre por el intercambio de opiniones principalmente relacionada a las interpretaciones geoquímicas.
- A la Dra. Eliana Coturel por su predisposición a trabajar con material fósil de escasa preservación con tanta dedicación.
- A todos aquellos con quienes e intercambiado opiniones de mayor o menos escala que han ayudado a madurar ideas: Carolina Tanjal, Esteban Arramón Cornejo, Alan Santamarina, Agustina Balsarini, Abril Cereceda, Julia Arrouy, entre muchos otros.
- Agradecimiento especial a los miembros del jurado de esta tesis doctoral (Dres. Limarino, Poiré y Naipauer) por sus valiosos comentarios que permitieron mejorar y ordenar el manuscrito, dejando líneas de interés para siguientes etapas de investigación.
- Por supuesto un profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo y al CONICET por permitirme llevar a cabo esta investigación. Este último permitió mediante el Proyecto Institucional de Unidad Ejecutora el financiamiento parcial de esta tesis.

**X. BIBLIOGRAFÍA.**

Abre, P., Cingolani, C.A., Cairncross, B., Chemale, F., (2012). Siliciclastic Ordovician to Silurian units of the Argentine Precordillera: Constraints on provenance and tectonic setting in the proto-Andean margin of Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 40, 1-22.

Abre, P., Cingolani, C.A., Chemale, F., Uriz, N.J., (2017). La Horqueta Formation: Geochemistry, Isotopic Data, and Provenance Analysis. In *Pre-carboniferous Evolution of the San Rafael Block, Argentina* (pp. 161-182). Springer, Cham.

Abruzzi, J.M., Kay, S.M., Bickford, M.E., (1993). Implication for the nature of the Precordilleran basement from the geochemistry and age of Precambrian xenoliths in Miocene volcanic rocks, San Juan province. *XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Mendoza. Actas*, 3, 331-339.

Aceñolaza, F.G., Toselli, A.J., (1976). Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del Noroeste Argentino. *II Congreso Latinoamericano de Geología 2: 755-764*. Buenos Aires.

Aceñolaza, F.G., Toselli, A.J., (1988). El Sistema de Famatina, Argentina: su interpretación como orógeno de margen continental activo. In *V Congreso Geológico Chileno (Vol. 1, pp. 55-67)*.

Aceñolaza, F.G., Toselli, A.J., (2000). Argentine Precordillera: allochthonous or autochthonous Gondwanic. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, 7(8), 743-756.

Aceñolaza, F.G., Miller, H., Toselli, A.J., (2002). Proterozoic–Early Paleozoic evolution in western South America—a discussion. *Tectonophysics*, 354(1-2), 121-137.

Adams, C.J., Miller, H., Aceñolaza, G.F., Toselli, A.J., (2008). Cambrian paleogeography at the western Gondwana margin: U-Pb ages and provenance areas of detrital zircons of the Mesón Group (Upper Cambrian), Northwest Argentina. In *VII International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts* (pp. 17-20).

Albanesi, G.L., Vaccari, N.E., (1994). Conodontos del Arenig en la Formación Suri, Sistema del Famatina, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, XXVI (2): 125-146.

Albariño, L., Farjat, A.D., Alvarez, L., Hernandez, R., Leyton, M.P., (2000). Las secuencias sedimentarias del Devónico en el subandino sur y el Chaco: Bolivia y Argentina. *5to Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Instituto Argentino del Petróleo y Gas (IAPG), Mar del Plata*, pp. 1–24.

Allégre, C.J., (2008). *Isotope geology*. Cambridge University Press.

Alonso, J.L., Rodríguez Fernández, L.R., García-Sanseguendo, J., Heredia, N., Farias, P., Gallastegui, J., (2005). Gondwanic and Andean structure in the Argentine central Precordillera: the Río San Juan section revisited. In 6th International Symposium on Andean Geodynamics. IRD Editions (Institut de Recherche pour le Développement), Extended Abstracts (pp. 36-39).

Alvarez Ramis, C., (1981). Devonian plants from Hornachos (Badajoz), Spain. *The Palaeobotanist* 28-29, 15-19.

Amos, A.J., (1954). Estructura de las formaciones paleozoicas de La Rinconada, pie oriental de la Sierra Chica de Zonda (San Juan). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 9(1), 5-38.

Amos, A., Boucot, A.J., (1963). A revision of the brachiopod family Leptocoeliidae. *Palaeontology*, 6 (pt 3), 440-457.

Andersen, T., Andersson, U.B., Graham, S., Åberg, G., Simonsen, S.L., (2009). Granitic magmatism by melting of juvenile continental crust: new constraints on the source of Palaeoproterozoic granitoids in Fennoscandia from Hf isotopes in zircon. *Journal of the Geological Society*, 166(2), 233-247.

Aristizábal, E., Roser, B., Yokota, S., (2009). Patrones e índices de meteorización química de los depósitos de vertiente y rocas fuentes en el Valle de Aburrá. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (25), 27-42.

Arnol, J.A., Coturel, E.P., (2017). Plantas de la Formación Punta Negra (Devónico) en la Precordillera de San Juan, Argentina. Reunión de comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina. Libro de resúmenes. Pag 11.

Arnol, J.A., Coturel, E.P., (En prensa). New land plants from the Devonian Punta Negra Formation (San Juan Province, Argentina), with comments about the age of the unit. *Journal of South American Earth Sciences*

Arnol, J.A., Uriz, N.J., Cingolani, C.A., Basei, M.A.S., (2018). Edades de circones detríticos como aporte a la interpretación de la procedencia de la Formación Punta Negra (Devónico), Precordillera Central Sanjuanina. XVI Reunión Argentina de Sedimentología 2018, T-S5: Petrología de rocas clásticas y carbonáticas. P: 40.

Arnol, J.A., Uriz, N.J., Cingolani, C.A., Basei, M.A.S., Abre, P., (2020). Provenance analysis of Devonian peripheral foreland basins in SW Gondwana, case of the Gualilán Group, Precordillera Argentina. *International Journal of Earth Sciences*, 109(7), 2467-2494.

Assine, M.L., (1996). Aspectos da Estratigrafia das Sequências Pré-Carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil. (Ph.D. thesis). Universidade de São Paulo, São Paulo 207 pp.

Astini, R.A., (1990a). Cuerpos de arena en la Formación Talacasto, plataforma fangosa del Devónico precordillerano, Provincia de San Juan. Actas III Reunión Argentina Sedimentología, San Juan, 13-18.

Astini, R.A., (1990b). Formación Punta Negra: ¿Un abanico submarino ó un complejo deltaico de plataforma?. San Juan, 3, 19-24.

Astini, R.A., (1991). Sedimentología de la Formación Talacasto: plataforma fangosa del Devónico precordillerano, provincia de San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 46 (3-4), 277-294.

Astini, R.A., (1996). Las fases diastóricas del Paleozoico medio en la Precordillera del oeste argentino: evidencias estratigráficas. XIII Congreso Geológico Argentino (pp. 509-526).

Astini, R.A., (1998). Stratigraphical evidence supporting the rifting, drifting and collision of the Laurentian Precordillera terrane of western Argentina. Geological Society, London, Special Publications, 142(1), 11-33.

Astini, R.A., (2003). The ordovician proto-Andean basins. J.L. Benedetto (Ed.), Ordovician fossils of Argentina, Secretaría de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Córdoba (2003), pp.1-74.

Astini, R.A., Marengo, L.F., (2006). Paleoambientes y estratigrafía secuencial de depósitos marinos marginales del Ordovícico de la sierra de Zapla (Sierras Subandinas, noroeste argentino) y su relación con la Cuenca Andina Central. *Revista geológica de Chile*, 33(2), 247-276.

Astini, R.A., Maretto, H.M., (1996). Análisis estratigráfico del Silúrico de la Precordillera Central de San Juan y consideraciones sobre la evolución de la cuenca. En 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Buenos Aires), Actas (Vol. 1, pp. 351-368).

Astini, R.A., Rapalini, A.E., (2003). Proterozoic Early Paleozoic evolution in western South America-a discussion in: *Tectonophysics*, 354: 121-137 (2002). *Tectonophysics*, 366(1), 143-148.

Astini, R.A., Benedetto, J.L., Vaccari, N.E., (1995). The early Paleozoic evolution of the Argentine Precordillera as a Laurentian rifted, drifted, and collided terrane: A geodynamic model. *Geological Society of America Bulletin*, 107(3), 253-273.

Astini, R.A., Dávila, F.M., López Gamundí, O., Gómez, F J., Collo, G., Ezpeleta, M., Ortiz, A., (2005). Cuencas de la región precordillerana. Frontera Exploratoria de La Argentina. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, Buenos Aires, Argentina, 115, 146.

Augustsson, C., Willner, A.P., Rüsing, T., Niemeyer, H., Gerdes, A., Adams, C.J., Miller, H., (2016). The crustal evolution of South America from a zircon Hf-isotope perspective. *Terra nova*, 28(2), 128-137.

Bachmann, G., Grauert, B., Kramm, U., Lork, P., Miller, H., (1987). El magmatismo del Cámbrico medio-Cámbrico superior en el basamento del Nordeste argentino: investigaciones isotópicas y geocronológicas sobre los granitoides de los complejos intrusivos de Santa Rosa de Tastil y Cañani. In X Congreso Geológico Argentino. (pp. 125-127).

Báez, M., Bellos, L., Grosse, P., Sardi, F.G., (2005). Caracterización petrológica de la sierra de Velasco. Geología de la provincia La Rioja (Precámbrico-Paleozoico inferior) (J. Dalhquist, E. Baldo, & P. Alasino, eds.). Asociación Geológica Argentina, Serie D: Publicación Especial, 8, 123-130.

Bahlburg, H., (1998). The geochemistry and provenance of Ordovician turbidites in the Argentine Puna. Geological Society, London, Special Publications, 142(1), 127-142.

Bahlburg, H., Hervé, F., (1997). Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of northwestern Argentina and northern Chile. Geological Society of America Bulletin, 109(7), 869-884.

Baldis, B.A., (1967). Some Devonian trilobites of the Argentine Precordillera., International Symposium of Devonian System, Calgary, 789-796.

Baldis, B.A., (1971). La posición estratigráfica de *Favosites argentina* Thomas. Ameghiniana 8: 77-82.

Baldis, B.A., (1973). Variaciones de facies en la Formación Punta Negra (Devónico) de la Precordillera sanjuanina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 28(2), 147-155.

Baldis, B.A., (1975a). El Devónico Inferior en la Precordillera Central. Parte I: Estratigrafía. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 30(1), 53-83.

Baldis, B.A., (1975b). Valoración de elementos faunísticos para una zonación y datación de edades en el Devónico Inferior de la Precordillera Argentina, 1º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Tucumán, 219-240.

Baldis, B.A., Chebli, G., (1969). Estructura profunda del área central de la Precordillera sanjuanina. Jornadas Geológicas Argentinas, 1(4), 47-65.

Baldis, B.A., Rossi de García, E., (1972). Ostracodes dévoniens argentins associés à la faune Malvinokafrique. Vème Congrès Africain de Micro-paléontologie (Addis Abeba), Proceedings: 57-92.

Baldis, B.A. y Sarudiansky, R., (1975). El Devónico del Noroeste de la Precordillera Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 30: 301-329.

Baldis, B. A., Bordonaro, O., (1981). Evolución de facies carbonáticas en la cuenca cámbrica de la Precordillera de San Juan. VIII Congreso Geológico Argentino, Actas II 385-397, San Luis.

Baldis, B.A., Bordonaro, O., (1984). Cámbrico y Ordovícico en la sierra Chica de Zonda y Cerro Pedernal, Provincia de San Juan: Génesis del margen continental en la Precordillera. En IX Congreso Geológico Argentino, Actas IV: 190-207, San Carlos de Bariloche.

Baldis, B.A., Peralta, S.H., (1991). El género *Reedops* Richter and Richter (Trilobita) en el Silúrico-Devónico de la Precordillera de San Juan. Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos 12: 129-131.

Baldis, B.A., Peralta, S.H., (1999). Silúrico y devónico de la Precordillera de Cuyo y bloque de San Rafael. Geología Argentina (Caminos, R.; editor). Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), 215-238.

Baldis, B.A., Baresi, M.S., Bordonaro O.L., Vaca, A., (1982). Síntesis evolutiva de la Precordillera Argentina. V Congreso Latinoamericano de Geología, Actas IV: 399-445.

Baldis, B. A., Peralta, S., Villegas, R., (1989). Esquematisaciones de una posible transcurrencia del terrane de Precordillera como fragmento continental procedente de áreas pampeano-bonaerenses. Serie Correlación Geológica, 5, 81-100.

Baldo, E., Casquet, C., Rapela, C.W., Pankhurst R.J., Galindo, C., Fanning, C.M., Saavedra, J., (2001). Ordovician metamorphism at the southwestern margin of Gondwana: P-T conditions and U-Pb shrimp ages from Loma de las Chacras, Sierras Pampeanas. 3° South American Symposium on Isotope Geology, S6 (2001), p. 4.

Baldo, E., Casquet, C., Pankhurst, R.J., Galindo, C., Rapela, C.W., Fanning, C.M., Murra, J., (2006). Neoproterozoic A-type magmatism in the Western Sierras Pampeanas (Argentina): evidence for Rodinia break-up along a proto-Iapetus rift?. Terra Nova, 18(6), 388-394.

Basilici, G., de Luca, P.H.V., Poiré, D.G., (2012). Hummocky cross-stratification-like structures and combined-flow ripples in the Punta Negra Formation (Lower-Middle Devonian, Argentine Precordillera): a turbiditic deep-water or storm-dominated prodelta inner-shelf system?. Sedimentary Geology, 267, 73-92.

Basu, A., Bickford, M.E., Deasy, R., (2016). Inferring tectonic provenance of siliciclastic rocks from their chemical compositions: A dissent. Sedimentary Geology, 336, 26-35.

Bellos, L.I., Castro, A., Díaz-Alvarado, J., Toselli, A., (2015). Multi-pulse cotectic evolution and in-situ fractionation of calc-alkaline tonalite–granodiorite rocks, Sierra de Velasco batholith, Famatinian belt, Argentina. Gondwana Research, 27(1), 258-280.

Benedetto, J.L., (1993). La hipótesis de la aloctonía de la Precordillera Argentina: un test estratigráfico y biogeográfico. Actas XII Congreso Geológico Argentino (Vol. 3, pp. 375-384).

Benedetto, J.L., (1998). Early Palaeozoic brachiopods and associated shelly faunas from western Gondwana: their bearing on the geodynamic history of the pre-Andean margin. Geological Society, London, Special Publications, 142(1), 57-83.

Benedetto, J.L., (2004). The allochthony of the Argentine Precordillera ten years later (1993–2003): a new paleobiogeographic test of the microcontinental model. Gondwana Research, 7(4), 1027-1039.

Benedetto, J.L., Vaccari, N.E., (1992). Significado estratigráfico y tectónico de los complejos de bloques resedimentados cambro-ordovicios de la Precordillera Occidental, Argentina. *Estudios Geológicos*, 48(5-6), 305-313.

Benedetto, J.L., Racheboeuf, P R., Herrera, Z., Brussa, E.D., Toro, B.A., (1992). Brachiopodes et biostratigraphie de la formation de Los Espejos, Siluro-Devonien de la Precordillere (NW Argentine). *Geobios*, 25(5), 599-637.

Benedetto, J.L., Peralta, P., Sánchez, T.M., (1996). Morfología y biometría de las especies de *Clarkeia kozlowski* (Brachiopoda, Rhynchonellida) en el Silúrico de la Precordillera argentina. *Ameghiniana*, 33(3), 279-299.

Benedetto, J.L., Sánchez, T.M., Carrera, M.G., Brussa, E.D., Salas, M.J., (1999). Paleontological constraints on successive paleogeographic positions of Precordillera terrane during the early Paleozoic. *Special Papers-Geological Society of America*, 21-42.

Bergamaschi, S., Pereira, E., (2001). Caracterização de Sequências deposicionais de 3ª ordem para o Siluro-Devoniano na sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil. *Ciência Técnica-Petróleo* 20, 63-72.

Bhatia, M.R., (1983). Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 91(6), 611-627.

Bhatia, M.R., (1985). Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: provenance and tectonic control. *Sedimentary geology*, 45(1-2), 97-113.

Bhatia, M.R., Crook, K.A., (1986). Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to mineralogy and petrology*, 92(2), 181-193.

Bercowski, F., Figueroa, G., (1987). Flujos piroclásticos en la Formación Albarracín, Terciario, Precordillera, San Juan, Argentina. In *Congreso Geológico Argentino. 10* (pp. 225-227).

Blasco, G., Ramos, V., (1976). Graptolitos caradocianos de la Formación Yerba Loca y del Cerro La Chilca- Departamento de Jáchal, Provincia de San Juan. *Ameghiniana*, 13(3-4), 312-329.

Boedo, F.L., Luján, S.P., Ariza, J.P., Vujovich, G.I., (2021). The mafic-ultramafic belt of the Argentine Precordillera: A geological synthesis. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103354.

Bodenbender, G., (1902). Contribución al conocimiento de la Precordillera de San Juan, de Mendoza y de las sierras centrales de la República Argentina. *Academia Nacional de Ciencias, Boletín* 18:203-262.

Bordonaro, O., (1980). El Cámbrico en la quebrada de Zonda, provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 35(1), 26-40.

Bordonaro, O.L., Banchig, A.L., (1996). Estratigrafía de los olistolitos cámbricos de la Precordillera Argentina. In XIII Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires. *Actas (Vol. 5, pp. 471-479)*.

Bordonaro, O.L., Fojo, C.F., (2011). *Bathyriscus mendozanus* (Rusconi, 1945), trilobites del Cámbrico medio de la Precordillera Argentina. *Spanish Journal of Palaeontology*, 26(1), 11-23.

Borghi, L., (1993). Caracterização e análise faciológicas da Formação Furnas (Pridoli-Eodevoniano) em afloramentos do flanco Sul do Arco Estrutural de Ponta Grossa, borda Leste da bacia do Paraná, Estado do Paraná. (Ph.D. thesis). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Borrello, A.V., (1962). Caliza La Laja, (Cámbrico medio, San Juan). *Notas. Comisión de Investigación Científicas de la Provincia de Buenos Aires*, 2: 3-8, La Plata, Argentina.

Borrello, A.V., (1969). Embriotectónica y tectónica tensional. Su importancia en la evolución estructural de la Precordillera. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 24(1), 5-13.

Bouvier, A., Vervoort, J.D., Patchett, P.J., (2008). The Lu–Hf and Sm–Nd isotopic composition of CHUR: constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets. *Earth and Planetary Science Letters*, 273(1-2), 48-57.

Braccacini, O.I., (1949). El perfil de Tambolar. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 4(3), 165-179.

Braccacini, O.I., (1950). Investigaciones tectónicas en la Precordillera sanjuanina. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 301, 1-36.

Buggisch, W., Bordonaro, O.L., Cañas, F.L., Von Gosen, W., Keller, M., Krumm, S., Loske, W., (2000). The sedimentary and structural evolution of the Argentine Precordillera—the key of the history of an exotic terrane. *Zeitschrift für Angewandte Geologie (Rio Sonderband)*, 1, 355-362.

Burmeister, H., (1876). *Description physique de la République Argentine, d'après des observations personnelles et étrangères*. F. Sav y I 1-395, París.

Bustos, U.D., (1995). Sedimentología y evolución paleoambiental de la Formación Punta Negra en el sector central de la Precordillera de San Juan. Trabajo Final, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 120 pp. (inédito).

Bustos, U.D., (1996). Modelo sedimentario alternativo para el Devónico de la Precordillera central sanjuanina: Formación Punta Negra. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 3(1), 17-30.

Bustos, U.D., Astini, R.A., (1997). Formación Punta Negra: análisis secuencial y evolución de la Cuenca Devónica Precordillerana. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 4(2), 97-109.

Caminos, R., (1979). Cordillera Frontal. En Turner, J.C.M. (coord.) Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias 1: 397-453, Córdoba.

Caminos, R., (1993). El basamento metamórfico Proterozoico-Paleozoico inferior. In *Geología y recursos naturales de Mendoza*. 12. Congreso Geológico Argentino y 2. Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires, Relatorio (Vol. 1, pp. 11-19).

Corfu, F., Hanchar, J.M., Hoskin, P.W., Kinny, P., (2003). Atlas of zircon textures. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 53(1), 469-500.

Carrera, M., Halpern, K., (2011). A post-glacial bryozoan fauna from the Upper Ordovician (Hirnantian) of the Argentine Precordillera. *Ordovician of the World*. Instituto Geológico y Minero de España, 89-94.

Carrera, M.G., Ernst, A., Rustán, J.J., (2019). Devonian bryozoans from Argentina: new cosmopolitan components of Southwestern Gondwanan basins. *Journal of Paleontology* 93, 232–243.

Casquet, C., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Galindo, C., Dahlquist, J., Baldo, E., Fanning, C.M. (2005). Grenvillian massif-type anorthosites in the Sierras Pampeanas. *Journal of the Geological Society*, 162(1), 9-12.

Casquet, C., Pankhurst, R.J., Fanning, C.M., Baldo, E., Galindo, C., Rapela, C.W., Dahlquist, J. A., (2006). U–Pb SHRIMP zircon dating of Grenvillian metamorphism in Western Sierras Pampeanas (Argentina): correlation with the Arequipa-Antofalla craton and constraints on the extent of the Precordillera Terrane. *Gondwana Research*, 9(4), 524-529.

Casquet, C., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Galindo, C., Fanning, C.M., Chiaradia, M., Dahlquist, J.A., (2008). The Mesoproterozoic Maz terrane in the Western Sierras Pampeanas, Argentina, equivalent to the Arequipa–Antofalla block of southern Peru? Implications for West Gondwana margin evolution. *Gondwana Research*, 13(2), 163-175.

Castellaro, H.A., (1966). Guía paleontológica Argentina Parte I: Paleozoico. Sección IV—Faunas Devónicas. Consejo Nacional de Investigaciones. Científicas y técnica. 86-115.

Castro de Machuca, B., Arancibia, G., Morata, D., Belmar, M., Previley, L., Pontoriero, S., (2008). P–T–t evolution of an Early Silurian medium-grade shear zone on the west side of the Famatinian magmatic arc, Argentina: Implications for the assembly of the Western Gondwana margin. *Gondwana Research*, 13(2), 216-226.

Cawood, P.A., (2005). Terra Australis Orogen: Rodinia breakup and development of the Pacific and Iapetus margins of Gondwana during the Neoproterozoic and Paleozoic. *Earth-Science Reviews*, 69(3-4), 249-279.

Cawood, P.A., Nemchin, A.A., (2001). Paleogeographic development of the east Laurentian margin: Constraints from U-Pb dating of detrital zircons in the Newfoundland Appalachians. *Geological Society of America Bulletin*, 113(9), 1234-1246.

Cawood, P.A., Johnson, M.R., Nemchin, A.A., (2007a). Early Palaeozoic orogenesis along the Indian margin of Gondwana: Tectonic response to Gondwana assembly. *Earth and Planetary Science Letters*, 255(1-2), 70-84.

Cawood, P.A., Nemchin, A.A., Strachan, R., Prave, T., Krabbendam, M., (2007b). Sedimentary basin and detrital zircon record along East Laurentia and Baltica during assembly and breakup of Rodinia. *Journal of the Geological Society*, 164 (2), 257-275.

Cawood, P.A., Hawkesworth, C.J., Dhuime, B., (2012). Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology*, 40 (10), 875-878.

Cingolani, C.A., (2011). The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: an overview. *International Journal of Earth Sciences*, 100 (2), 221-242.

Cingolani, C.A., Ramos, V.A., (2017). Pre-Carboniferous Tectonic Evolution of the San Rafael Block, Mendoza Province. In: Cingolani, CA (Ed) Pre-Carboniferous Evolution of the San Rafael Block, Argentina, Springer Earth System Sciences, Chapter 13. p.239-256. ISBN 978-3-319-50153-6.

Cingolani, C.A., Huff, W., Bergström, S., Kolata, D., (1997). Bentonitas potásicas ordovícicas en la Precordillera de San Juan y su significación tectomagmática. *Revista Asociación Geológica. Argentina*, 52, 47-55.

Cingolani, C.A., Llambías, E.J., Basei, M.A.S., Varela, R., Chemale Jr, F., Abre, P., (2005). Grenvillian and Famatinian age igneous events in the San Rafael block, Mendoza province, Argentina: geochemical and isotopic constraints. *Gondwana 12 Conference, Abstracts*: 103.

Cingolani, C.A., Tickyj, H., Chemale Jr, F., (2008). Procedencia sedimentaria de la Formación La Horqueta, Bloque de San Rafael, Mendoza (Argentina): primeras edades U-Pb en circones detríticos. XVII Congreso Geológico Argentino, San Salvador de Jujuy. Actas 3, 998-999.

Cingolani, C.A., Santos, J.O.S., Griffin, W., (2010). New insights of the Paleoproterozoic basement of Tandilia belt. In Río de la Plata craton, Argentina: first Hf isotope studies on zircon crystals. In: Symposium GEOSUR, Extended Abstract, Mar del Plata (pp. 21-24).

Cingolani, C.A., Manassero, M., Basei, M., Uriz, N., (2013). Provenance of the Villavicencio Formation (Lower Devonian) in the southern sector of the Precordillera, Mendoza, Argentina: new sedimentary and geochronological data. I Congreso de Minería y Geología del Cono Sur. Montevideo. Actas I, 191-196.

Cingolani, C.A., Uriz, N.J., Abre, P., Manassero, M.J., Basei M.A.S., (2017). Silurian-devonian land-sea interaction within the San Rafael Block, Argentina: Provenance of the Rio Seco de los Castanos Formation. In: Cingolani CA (ed) Pre-Carboniferous evolution of the San Rafael Block, Argentina, Chapter 10. Implications in the SW Gondwana margin. Springer, pp 183–208. ISBN 978-3-319-50153-6.

Cordani, U.G., Sato, K., Teixeira, W., Tassinari, C.C.G., Basei, M.A.S., (2000). Crustal evolution of the South American platform. *Tectonic Evolution of South America*, 31, 19-40.

Cornell, D.H., Pettersson, Å., Simonsen, S.L., (2012). Zircon U-Pb emplacement and Nd-Hf crustal residence ages of the Straussburg granite and Friersdale charnockite in the Namaqua-Natal Province, South Africa. *South African Journal of Geology*, 115 (4), 465-484.

Coutts, D.S., Matthews, W.A., Hubbard, S.M., (2019). Assessment of widely used methods to derive depositional ages from detrital zircon populations. *Geoscience Frontiers*, 10 (4), 1421-1435.

Coturel E, Arnol J (2018) Plant remains from the Devonian of San Juan, Argentina. 5<sup>th</sup> International Paleontological Congress. Paris 2018.

Cristallini, E.O., Ramos, V.A., (2000). Thick-skinned and thin-skinned thrusting in the La Ramada fold and thrust belt: crustal evolution of the High Andes of San Juan, Argentina (32 SL). *Tectonophysics*, 317(3-4), 205-235.

Cucchi, R., (1972) Geología y estructura de la Sierra de Cortaderas, San Juan - Mendoza, República Argentina, Asociación. Geoleológica. Argentina., Revista, 27, 229-248.

Cuerda, A.J., (1965). *Monograptus leintwardinensis* var. *incipiens* Wood en el Silúrico de la Precordillera. *Ameghiniana*, 4 (5): 171-177.

Cuerda, A.J., (1969). Sobre las graptofaunas del Silúrico de San Juan, Argentina. *Ameghiniana*, 6 (3), 223-235.

Cuerda, A.J., Baldis, B.A., (1971). Silúrico-Devónico de la Argentina. *Ameghiniana* 8: 128-164.

Cuerda, A., Cingolani, C.A., Varela, R., (1983). Las graptofaunas de la Formación Los Sombreros, Ordovícico inferior, de la vertiente oriental de la Sierra del Tontal, Precordillera de San Juan. *Ameghiniana*, 20 (3-4), 239-260.

Cuerda, A.J., Schauer, O., Varela, R., (1985). El Ordovícico de la Sierra del Tontal, Precordillera de San Juan, República Argentina. IV Congreso. Chileno, I: 109-132.

Cuerda, A.J., Rickards, R.B., Cingolani, C., (1988). A new Ordovician–Silurian boundary section in San Juan Province, Argentina, and its definitive graptolite fauna. *Journal of the Geological Society*, 145(5), 749-757.

Cuerda, A.J., Arrondo, O.G., Morel, E., Spalletti, L.A., (1990). Procesos de continentalización en el Devónico de la Precordillera. *Revista del Museo de La Plata*, 10 (89), 185-195.

Cullers, R., (1988). Mineralogical and chemical changes of soil and stream sediment formed by intense weathering of the Danburg granite, Georgia, USA. *Lithos*, 21(4), 301-314.

Cullers, R.L., (2000). The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51: 181-203.

Cullers, R.L., (2002). Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chemical geology*, 191(4), 305-327.

Cullers, R.L., Barrett, T., Carlson, R., Robinson, B., (1987). Rare-earth element and mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment: a case study in the Wet Mountains, Colorado, USA. *Chemical Geology*, 63: 275-297.

Cullers, R.L., Basu, A., Suttner, L.J., (1988). Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, USA. *Chemical Geology*, 70(4), 335-348.

Dahlquist, J.A., Morales Cámara, M.M., Alasino, P.H., Tickyj, H., Basei, M.A., Galindo, C., Rocher, S., (2020). Geochronology and geochemistry of Devonian magmatism in the Frontal cordillera (Argentina): geodynamic implications for the pre-Andean SW Gondwana margin. *International Geology Review*, 1-21.

Dalla Salda, L.A., (2005). The Appalachian-Famatinian orogenic belt. In: PANKHURST, R. J. & VEIGA, G. D. (eds) Gondwana 12: Geological and Biological Heritage of Gondwana, Abstracts. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina, 127.

Dalla Salda, L., Cingolani, C.A., Varela, R., (1992a). Early Paleozoic orogenic belt of the Andes in southwestern. *Geology* 20:617–620.

Dalla Salda, L., Dalziel, I.W., Cingolani, C.A., Varela, R., (1992b). Did the Taconic Appalachians continue into southern South America?. *Geology*, 20 (12), 1059-1062.

Dalla Salda, L., Varela, R., Cingolani, C.A., (1993). Sobre la colisión de Laurentia-Sudamérica y el Orógeno Famatiniano. XII Congreso Geológico Argentino. Mendoza, Actas3, pp 358-366.

Dalziel, I.W., (1993). Tectonic tracers and the origin of the proto-Andean margin. In XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Vol. 3, pp. 367-374).

Dalziel, I.W., (1997). Neoproterozoic-Paleozoic geography and tectonics: Review, hypothesis, environmental speculation. *Geological Society of America Bulletin*, 109 (1), 16-42.

Dalziel, I.W., Dalla Salda, L.H., Gahagan, L.M., (1994). Paleozoic Laurentia-Gondwana interaction and the origin of the Appalachian-Andean mountain system. *Geological Society of America Bulletin*, 106 (2), 243-252.

Davis, J.S., Roeske, S.M., McClelland, W.C., Snee, L.W., (1999). Closing the ocean between the Precordillera terrane and Chilenia: Early Devonian ophiolite emplacement and deformation in the southwest Precordillera. *Special Papers-Geological Society of America*, 115-138.

DeGraaff-Surpless, K., Mahoney, J.B., Wooden, J.L., McWilliams, M.O., (2003). Lithofacies control in detrital zircon provenance studies: Insights from the Cretaceous Methow basin, southern Canadian Cordillera. *Geological Society of America Bulletin*, 115 (8), 899-915.

de Luca, P.H.V., Basilici, G., (2013). A prodeltaic system controlled by hyperpycnal flows and storm waves: reinterpretation of the Punta Negra Formation (Lower-Middle Devonian, Argentine Precordillera). *Brazilian Journal of Geology*, 43(4), 673-694.

de Melo Milagres, I., Pereira, E., Bergamaschi, S., da Conceição Rodrigues, M.A., Gerrienne, P., (2018). Early Devonian taphoflora record in Ponta Grossa arch, Paraná Basin (southern Brazil) and its palaeogeographic implications. *Journal of Sedimentary Environments*, 3(2), 93-107.

DePaolo, D.J., (1981). Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust–mantle evolution in the Proterozoic. *Nature*, 291 (5812), 193-196.

DePaolo, D.J., Linn, A.M., Schubert, G., (1991). The continental crustal age distribution: Methods of determining mantle separation ages from Sm-Nd isotopic data and application to the southwestern United States. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 96(B2), 2071-2088.

D'eramo, F.J., Pinotti, L.P., Bonalumi, A., Sfragulla, J., Demartis, M., Coniglio, J.E., Baldo, E.G., (2014). El magmatismo ordovícico en las Sierras Pampeanas de Córdoba. Martino, R.D., Guerreschi, A.B., (Eds.), *Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la provincia de Córdoba*. Asociación Geológica Argentina, Part I pp. 233-254.

Dessanti, R.N., Caminos, R., (1967). Edades Potasio-Argón y posición estratigráfica de algunas rocas ígneas y metamórficas de la Precordillera, Cordillera Frontal y Sierras de San Rafael, Provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Tomo XXII, n°2, págs. 135-162.

de Vargas, M.R., da Silveira, A.S., Bressane, A., D'Avila, R.S.F., Faccion, J.E., Paim, P.S.G., (2020). The Devonian of the Paraná Basin, Brazil: Sequence stratigraphy, paleogeography, and SW Gondwana interregional correlations. *Sedimentary Geology*, 408, 105768.

Díaz-Martínez, E., Grahn, Y., (2007). Early Silurian glaciation along the western margin of Gondwana (Peru, Bolivia and northern Argentina): Palaeogeographic and geodynamic setting. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 245 (1-2), 62-81.

Dickin, A.P., (1997). *Radiogenic isotope geology*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Dickinson, W.R., Gehrels, G.E., (2003). U–Pb ages of detrital zircons from Permian and Jurassic eolian sandstones of the Colorado Plateau, USA: paleogeographic implications. *Sedimentary Geology*, 163 (1-2), 29-66.

Dickinson, W.R., Gehrels, G.E., (2009). Use of U–Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: a test against a Colorado Plateau Mesozoic database. *Earth and Planetary Science Letters*, 288 (1-2), 115-125.

Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Ryberg, P.T., (1983). Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94 (2), 222-235.

Dinelli, E., Lucchini, F., Mordenti, A., Paganelli, L., (1999). Geochemistry of Oligocene–Miocene sandstones of the northern Apennines (Italy) and evolution of chemical features in relation to provenance changes. *Sedimentary Geology*, 127 (3-4), 193-207.

do Santos, T.J.S., Fetter, A.H., Hackspacher, P.C., Van Schmus, W.R., Neto, J.N., (2008). Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 25(3), 271-284.

Dou, Y., Yang, S., Liu, Z., Clift, P., Shi, X., Yu, H., Berne, S., (2010). Provenance discrimination of siliciclastic sediments in the middle Okinawa Trough since 30 ka: constraints from rare earth element compositions. *Mar. Geology*. 275, 212-220.

Drobe, M., de Luchi, M.G.L., Steenken, A., Frei, R., Naumann, R., Siegesmund, S., Wemmer, K., (2009). Provenance of the late Proterozoic to early Cambrian metaclastic sediments of the Sierra de San Luis (Eastern Sierras Pampeanas) and cordillera Oriental, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 28 (3), 239-262.

Edgecombe, G.D., Vaccari, N.E., Waisfeld, B.G., (1994a). *Andinacaste* (Trilobita) from the earliest Devonian of Argentina. *Journal of Paleontology* 68: 837-841.

Edgecombe, G.D., Vaccari, N.E. Waisfeld, B.G., (1994b). Lower Devonian calmonioid trilobites from the Argentine Precordillera: new taxa of the *Bouleia* group, and remarks on the tempo of calmonioid radiation. *Geological Magazine* 131: 449-464.

Edwards, D., Morel, E., Poiré, D.G., Cingolani, C.A., (2001). Land plants in the Devonian Villavicencio Formation, Mendoza Province, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 116(1-2), 1-18.

Edwards, D., Poiré, D.G., Morel, E.M., Cingolani, C.A., (2009). Plant assemblages from SW Gondwana: further evidence for high-latitude vegetation in the Devonian of Argentina. *Geological Society, London, Special Publications*, 325(1), 233-255.

Ellis, J.R., (2005). LA-ICP-MS and SHRIMP-RG Detrital Zircon Geochronology from Within the Cuyania Suture Zone of Western Argentina, Evidence for a Gondwanan Or Peri-Gondwanan Affinity for Metamorphic Rocks East of the Precordillera (Doctoral dissertation, University of Idaho).

Escayola, M.P., Pimentel, M.M., Armstrong, R., (2007). Neoproterozoic backarc basin: Sensitive high-resolution ion microprobe U-Pb and Sm-Nd isotopic evidence from the Eastern Pampean Ranges, Argentina. *Geology*, 35 (6), 495-498.

Escayola, M.P., van Staal, C.R., Davis, W.J., (2011). The age and tectonic setting of the Puncoviscana Formation in northwestern Argentina: An accretionary complex related to Early Cambrian closure of the Puncoviscana Ocean and accretion of the Arequipa-Antofalla block. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4), 438-459.

Episúa, E., (1968). El Paleozoico inferior del Río de Las Chacritas, Dpto. de Jáchal, provincia de San Juan, con especial referencia al Silúrico. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 23 (4), 297-311.

Fanning, C.M., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Baldo, E.G., Casquet, C., Galindo, C., (2004). K-bentonites in the Argentine Precordillera contemporaneous with rhyolite volcanism in the Famatinian Arc. *Journal of the Geological Society*, 161 (5), 747-756.

Faure, G., (1986). *Principles of isotope Geology*. New York, 589 págs.

Fedo, C.M., Wayne Nesbitt, H., Young, G.M., (1995). Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 23 (10), 921-924.

Fernández-Martínez, E., Plusquellec, Y., Tourneur, F., Herrera, Z., (1999). Nueva especie de tabulado del Devónico Inferior de Argentina. *Revista Española de Paleontología* 14: 37-57.

Fernández-Martínez, E., Plusquellec, Y., Tourneur, F., (2002). Revisión de *Favosites argentina* Thomas, 1905, especie tipo de *Argentinella* nov. gen., coral tabulado del Devónico Inferior de Argentina. *Revista Española de Paleontología* 17: 101-116.

Fernández-Martínez, E., Plusquellec, Y., Castaño de Luis, R., (2007). Corales tabulados del Devónico inferior de Argentina y Bolivia: estado de la cuestión. En: E. DíazMartínez, Rábano I. (ed.), 4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America. Cuadernos del Museo Geominero. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 143-148.

Fielding, E.J., Jordan, T.E., (1988). Active deformation at the boundary between the Precordillera and Sierras Pampeanas, Argentina, and comparison with ancient Rocky Mountain deformation. *Interactions of the Rocky Mountain Foreland and the Cordilleran Thrust Belt*, 171, 143-163.

Finney, S., (2007). The parautochthonous Gondwanan origin of the Cuyania (greater Precordillera) terrane of Argentina: A re-evaluation of evidence used to support an allachthonous Laurentian origin. *Geologica Acta*, 5(2), 127-158.

Finney, S., Peralta, S., Gehrels, G., Marsaglia, K., (2005). The Early Paleozoic history of the Cuyania (greater Precordillera) terrane of western Argentina: evidence from geochronology of detrital zircons from Middle Cambrian sandstones. *Geologica Acta: an international earth science journal*, 3(4), 339-354.

Floyd, P.A., Leveridge, B.E., (1987). Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *Journal of the Geological Society*, 144 (4), 531-542.

Frenguelli, J., (1951). Floras devónicas de la Precordillera de San Juan. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 6 (2), 83-94.

Frenguelli, J., (1952). *Haplostigma furquei* n. sp. del Devónico de la Precordillera de San Juan. *Revista de la Asociación geológica Argentina*, 7 (1), 298-335.

Fujimaki, H., (1986). Partition coefficients of Hf, Zr, and REE between zircon, apatite, and liquid. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 94 (1), 42-45.

Furque, G., (1979). Descripción geológica de la Hoja 8c, Jáchal. Servicio Geológico Nacional. *Boletín* 164, 1-69.

Furque, G., (1983). Descripción geológica de la Hoja 19c, Ciénaga de Gualilán. Servicio Geológico Nacional. *Boletín* 193, 1-111.

Furque, G., Cuerda, A.J., (1979). Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza. II simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, (Vol. 1), 455-522.

Furque, G., Caballé, M.F., (1990). Depósitos marinos del Paleozoico Medio en la Precordillera Central de San Juan, Argentina. *Actas, XI Congreso Geológico Argentino* (Vol. 2, pp. 81-84).

Galindo, C., Casquet, C., Rapela, C., Pankhurst, R. J., Baldo, E., Saavedra, J., (2004). Sr, C and O isotope geochemistry and stratigraphy of Precambrian and lower Paleozoic carbonate sequences from the Western Sierras Pampeanas of Argentina: tectonic implications. *Precambrian Research*, 131(1-2), 55-71.

Gallien, F., Mogessie, A., Bjerg, E., Delpino, S., de Machuca, B. C., Thöni, M., Klötzli, U., (2010). Timing and rate of granulite facies metamorphism and cooling from multi-mineral chronology on migmatitic gneisses, Sierras de La Huerta and Valle Fértil, NW Argentina. *Lithos*, 114 (1-2), 229-252.

García-López, S., Fernández Martínez, E., (1995). The genus *Parastriatopora* Sokolov, 1949 (Tabulata) in the Lower Devonian of Argentina: Palaeobiogeographic implications. *Geobios* 28: 175-183.

García Muro, V.J., Rubinstein, C.V., Rustán, J.J., Steemans, P., (2018). Palynomorphs from the Devonian Talacasto and Punta Negra formations, Argentinean Precordillera: new biostratigraphic approach. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 110-126.

García Sansegundo, J., Farias, P., Rubio-Ordoñez, A., Heredia, N., (2012). Estructura del Paleozoico del Cordón del Carrizalito (sector meridional de la Cordillera Frontal de los Andes, Provincia de Mendoza, Argentina) Conference: VIII Congreso Geológico de España. Simposio: Geología de la Cordillera de los Andes y su antepaís, Volume: Geotemas 13, 1875-1878. ISSN: 1576-5712.

García Sansegundo, J., Farias, P., Rubio-Ordoñez, A., Heredia, N., (2014). The Palaeozoic basement of the Andean Frontal Cordillera at 34° S (Cordón del Carrizalito, Mendoza Province, Argentina): Geotectonic implications. *Journal of Iberian Geology*, 40 (2): 321-330.

Gärtner, A., (2011). Morphologische, geochronologische und isotopengeochemische Untersuchungen an rezenten Sedimenten der Elbe. Unpublished diploma thesis, University of Dresden.

Gärtner, A., Linnemann, U., Sagawe, A., Hofmann, M., Ullrich, B., Kleber, A., (2013). Morphology of zircon crystal grains in sediments—characteristics, classifications, definitions. *Geol Saxonica* 59:65-73.

Garzanti, E., Andó, S., France-Lanord, C., Censi, P., Vignola, P., Galy, V., Lupker, M., (2011). Mineralogical and chemical variability of fluvial sediments 2. Suspended-load silt (Ganga–Brahmaputra, Bangladesh). *Earth and Planetary Science Letters*, 302 (1-2), 107-120.

Gatewood, M.P., Stowell, H.H., (2012). Linking zircon U–Pb and garnet Sm–Nd ages to date loading and metamorphism in the lower crust of a Cretaceous magmatic arc, Swakane Gneiss, WA, USA. *Lithos*, 146, 128-142.

Gaucher, C., Sprechmann, P., Barnech, R.J., (1996). Contribución a la tafonomía, paleoecología y sedimentología de la Formación Cordobés (Devónico Inferior, Uruguay). In: Pilatti, F. (Ed.), *Anais Simposio Sul Americano do Siluro-Devoniano. Estratigrafia e Paleontologia*, pp. 147-165 (Ponta Grossa, Brasil).

Gerdes, A., Zeh, A., (2006). Combined U–Pb and Hf isotope LA-(MC-) ICP-MS analyses of detrital zircons: comparison with SHRIMP and new constraints for the provenance and age of an Armorican metasediment in Central Germany. *Earth and Planetary Science Letters*, 249(1-2), 47-61.

Gerdes, A., Zeh, A., (2009). Zircon formation versus zircon alteration—new insights from combined U–Pb and Lu–Hf in-situ LA-ICP-MS analyses, and consequences for the interpretation of Archean zircon from the Central Zone of the Limpopo Belt. *Chemical Geology*, 261 (3-4), 230-243.

Gerrienne, P., Bergamaschi, S., Pereira, E., Rodrigues, M.A.C., Steemans, P., (2001). An Early Devonian flora, including *Cooksonia*, from the Paraná Basin (Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 116(1-2), 19-38.

Girty, G.H., Ridge, D.L., Knaack, C., Johnson, D., Al-Riyami, R.K., (1996). Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite, Sierra Nevada, California. *Journal of Sedimentary Research*, 66 (1), 107-118.

Goldstein, S.L., Arndt, N.T., Stallard, R.F., (1997). The history of a continent from U–Pb ages of zircons from Orinoco River sand and Sm–Nd isotopes in Orinoco basin river sediments. *Chemical Geology*, 139 (1-4), 271-286.

González Bonorino, G., (1975). Sedimentología de la Formación Punta Negra y algunas consideraciones sobre la geología regional de la Precordillera de San Juan y Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina XXXIII* (3):271-276.

González Bonorino, G., Middleton, G.V., (1976). A Devonian submarine fan in western Argentina. *Journal of Sedimentary Research*, 46 (1), 56-69.

Gonzalez-Bonorino, G., Gonzalez-Bonorino F., (1991). Precordillera de Cuyo y Cordillera Frontal en el Paleozoico Temprano: terrenos bajo sospecha de ser autoctonos. *Andean Geology*, 18(2), 97-107.

Gómez, F.J., Foglia, D.R., Astini, R.A., (2002). Litofacies del perfil tipo de la Formación La Laja y su transición con la Formación Zonda, Precordillera Oriental de San Juan. In *Reunión Argentina de Sedimentología*, No. 9, Actas: p. 25. Córdoba.

Gordillo, D.E., (1996). Granitoides del sector sudeste de la Sierra de Ischilín. Departamento de Ischilín-Córdoba. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Grahn, Y., Mauller, P.M., Bergamaschi, S., Bosetti, E.P., (2013). Palynology and sequence stratigraphy of three Devonian rock units in the Apucarana Sub-basin (Paraná Basin, South Brazil): additional data and correlation. *Review of Palaeobotany and Palynology* 198, 27–44.

Gromet, L.P., Haskin, L.A., Korotev, R.L., Dymek, R.F., (1984). The “North American shale composite”: Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et cosmochimica acta*, 48 (12), 2469-2482.

Gromet, L.P., Simpson, C., (1999). Age of the Paso del Carmen pluton and implications for the duration of the Pampean Orogeny, Sierras de Córdoba, Argentina. In *XIV° Congreso Geológico Argentino*, Salta, Argentina: Salta, Argentina, Victor Manuel Hanne (Vol. 14, pp. 149-151).

Gu, X.X., Liu, J.M., Zheng, M.H., Tang, J.X., Qi, L., (2002). Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, South China: geochemical evidence. *Journal of sedimentary Research*, 72(3), 393-407.

Haller, M., Ramos, V.A., (1984). Las ofiolitas famatinianas (Eopaleozoico) de las provincias de San Juan y Mendoza. *IX Congreso Geológico Argentino* (Vol. 2, pp. 66-83).

Hanchar, J.M., Miller, C.F., (1993). Zircon zonation patterns as revealed by cathodoluminescence and backscattered electron images: implications for interpretation of complex crustal histories. *Chemical geology*, 110 (1-3), 1-13.

Haq, B.U., Schutter, S.R., (2008). A chronology of Paleozoic sea-level changes. *Science* 322, 64-68.

Harrington, H.J., (1941). Investigaciones geológicas en las Sierras de Villavicencio y Mal País. Provincia de Mendoza. Dirección de Minas y Geología. Boletín 49, 1-55.

Harrington, H.J., (1954). Descripción Geológica de la Hoja Ramblón 22c, provincias de Mendoza y San Juan. Dirección Nacional de Geología y Minería (Buenos Aires), Inédito, pp. 81.

Harrington, H.J., (1957). Ordovician trilobites of Argentina. University of Kansas Special Publication. 1: 1-259.

Harrington, H.J., (1971). Descripción Geológica de la Hoja Ramblón 22c, provincias de Mendoza y San Juan. Dirección Nacional de Geología y Minería (Buenos Aires), Boletín 114: 87 pp.

Harrison, T.M., Blichert-Toft, J., Müller, W., Albarede, F., Holden, P., Mojzsis, S.J., (2005). Heterogeneous Hadean hafnium: evidence of continental crust at 4.4 to 4.5 Ga. *Science*, 310 (5756), 1947-1950.

Haude, R., (1995). Echinodermen aus dem Unter-Devon der argentinischen Präkordillere. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 197: 37-86.

Haude, R., (2004). Morphology and palaeobiology of echinoderms in the Lower Devonian of the Argentine Precordillera. En: T. Heinzeller, Nebelsick, J.H. (ed.), *Echinoderms*. Volume 417-419. Taylor and Francis, London.

Haude, R., Sterren, A.F., (2006). Taphonomy and paleobiology of echinoderms in the Lower Devonian of the Argentine Precordillera. IX Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía (Córdoba): 251.

Haude, R., Brocke, R., Heinrichs, T., Riegel, W., (2007a). Silici-organische Objekte (Embryonen-Hüllen?/Grünalgen-Lamellen?) in unterdevonischen Echinodermen Lagerstätten der argentinischen Präkordillere *Wissenschaftliche Mitteilungen des Instituts für Geologie der TU Bergakademie* 36: 49-50.

Haude, R., Brocke, R., Heinrichs, T., Riegel, W., (2007b). Tempestitic Echinoderm Lagerstätten in the Lower Devonian of the Argentinian Precordillera and Implications on Associated, Presumably Near-Shore-Derived Silici-Organic Objects. Field meeting IGCP 499 (IUGS/UNESCO)-Devonian land-sea interaction: evolution of ecosystems and climate (San Juan, Argentina), *Guidebook and Abstracts*: 87-90.

Hauser, N., Matteini, M., Omarini, R.H., Pimentel, M.M., (2011). Combined U–Pb and Lu–Hf isotope data on turbidites of the Paleozoic basement of NW Argentina and petrology of associated igneous rocks: Implications for the tectonic evolution of western Gondwana between 560 and 460 Ma. *Gondwana Research*, 19 (1), 100-127.

Hawkesworth, C.J., Kemp, A.I.S., (2006). Using hafnium and oxygen isotopes in zircons to unravel the record of crustal evolution. *Chemical Geology*, 226 (3-4), 144-162.

Heaman, L.M., Bowins, R., Crocket, J., (1990). The chemical composition of igneous zircon suites: implications for geochemical tracer studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54 (6), 1597-1607.

Heim, A., (1948). Observaciones tectónicas en La Rinconada, Precordillera de San Juan. Dirección de Minas y Geología, Secretaría de Industria y Comercio de la Nación, Boletín 64:1-39. Buenos Aires.

Heim, A., (1952). Estudios tectónicos en la Precordillera de San Juan: Los Ríos San Juan, Jáchal y Huaco. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. VII (1): 11-70. Buenos Aires.

Henderson, P., (1984). General geochemical properties and abundances of the rare earth elements. In *Developments in geochemistry* (Vol. 2, pp. 1-32). Elsevier.

Heredia, N., Farias Arquer, P.J., García-Sanseguno, J., Giambiagi, L.B., (2012). The basement of the Andean Frontal Cordillera in the Cordón del Plata (Mendoza, Argentina): geodynamic evolution. *Andean Geology*.

Heredia, N., García-Sanseguno, J., Gallastegui, G., Farias, P., Giacosa, R.E., Giambiagi, L.B., Busquets, P., Colombo, F., Charrier, R., Cuesta, A., Rubio-Ordóñez, A., Ramos, V.A., (2018). Review of the geodynamic evolution of the SW margin of Gondwana preserved in the Central Andes of Argentina and Chile (28°-38° S latitude). *Journal of South American Earth Sciences* 87, 87–94.

Heredia, S., Mestre, A., Milana, J.P., (2007). Reappraisal of the Silurian stratigraphy at Cerro Del Fuerte Section (San Juan, Argentina). IV Congreso de Paleontología y Bioestratigrafía de Latinoamérica. Publicaciones del Instituto Geominero de España, Serie: Cuadernos del Museo Geominero (Vol. 8, pp. 195-200).

Herrera, Z.A., (1991). Taxonomía, Bioestratigrafía y Paleobiogeografía de los braquiópodos de la Formación Talacasto (Devónico) de Precordillera Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 283 pp. PhD thesis, Inédito.

Herrera, Z.A., (1993). Nuevas precisiones sobre la edad de la Formación Talacasto (Precordillera Argentina) en base a su fauna de braquiópodos. *Actas XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Mendoza (Vol. 2, pp. 289-295).

Herrera, Z.A., (1995a). The first notanoplid brachiopod from the South American Devonian sequence. *Geobios*, 28 (3), 337-342.

Herrera, Z.A., (1995b). The Lower Devonian chonetoid brachiopods from the Argentine Precordillera. *Documents des laboratoires de géologie* (Lyon), (136), 101-147.

Herrera, Z.A., Benedetto, J.L., (1991). Early Ordovician brachiopod faunas from the Precordillera basin, western Argentina: Biostratigraphy and paleobiogeographical affinities. *Brachiopods through Time: Rotterdam, The Netherlands, AA Balkema*, 283-301.

Herrera, Z.A., Bustos, U.D., (2001). Braquiópodos devónicos de la Formación Punta Negra, en el perfil del río de Las Chacritas, precordillera Argentina. *Ameghiniana* 38: 367-374.

Herron, M.M., (1988). Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Research*, 58(5), 820-829.

Hiscott, R., (1984) Ophiolitic source rocks for Taconic-age flysch: trace-element evidence. *Geological Society of America* 95:1261–1267.

Holloway, D.J., Rustán J.J., (2012). The trilobite *Reedops* in the Lower Devonian from Argentina (Malvinokaffric Realm). *Journal of Paleontology*. 86(2), 253-257.

Hongn, F.D., Tubía, J.M., Aranguren, A., Vegas, N., Mon, R., Dunning, G.R., (2010). Magmatism coeval with lower Paleozoic shelf basins in NW-Argentina (Tastil batholith): constraints on current stratigraphic and tectonic interpretations. *Journal of South American Earth Sciences*, 29 (2), 289-305.

Hoppe, G., (1962). Petrogenetisch auswertbare morphologische Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 98, 35-50.

Hoskin, P.W.O., Black, L.P., (2000). Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of metamorphic Geology*, 18(4), 423-439.

Hoskin, P.W., Schaltegger, U., (2003). The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 53 (1), 27-62.

Huff, W.D., Bergström, S.M., Kolata, D.R., Cingolani, C.A., Astini, R.A., (1998). Ordovician K-bentonites in the Argentine Precordillera: relations to Gondwana margin evolution. *Geological Society, London, Special Publications*, 142 (1), 107-126.

Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D., Sares, S.W., (1984). The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *J Sediment Res* 54(1):103–116.

Jordan, T.E., Isacks, B.L., Allmendinger, R.W., Brewer, J.A., Ramos, V.A., Ando, C.J., (1983). Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Geological Society of America Bulletin*, 94(3), 341-361.

Kay, S.M., Ramos, V.A., Kay, R., (1984). Elementos mayoritarios y trazas de las vulcanitas ordovícicas en la Precordillera Occidental: Basaltos de rift oceánicos tempranos (?) próximos al margen continental. IX Congreso Geológico Argentino. Actas, 2(9), 48-65. San Carlos de Bariloche.

Kay, S.M., Orrell, S., Abbruzzi, J.M., (1996). Zircon and whole rock Nd-Pb isotopic evidence for a Grenville age and a Laurentian origin for the basement of the Precordillera in Argentina. *The Journal of Geology*, 104(6), 637-648.

Kayser, E., (1897). Beiträge zur Kenntniss einiger paläozoischer Faunen Süd-Amerikas. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 274-317.

Keidel, J., (1921). Sobre la distribución de los depósitos glaciares del Pérmico conocidos en la Argentina y su significación para la estratigrafía de la serie del Gondwana y la paleogeografía del Hemisferio Austral. *Academia Nacional de Ciencias, Boletín* 25: 239-368, Córdoba.

Keller, M., (1999). Argentine Precordillera: Sedimentary and plate tectonic history of a Laurentian crustal fragment in South America (Vol. 341). *Geological Society of America*.

Keller, M., Cañas, F., Lehnert, O., Vaccari, N.E., (1994). The Upper Cambrian and Lower Ordovician of the Precordillera (western Argentina): some stratigraphic reconsiderations. *Newsletters on Stratigraphy*, 31(2), 115-132.

Kempe, U., Bombach, K., Matukov, D., Schlothauer, T., Hutschenreuter, J., Wolf, D., Sergeev, S., (2004). Pb/Pb and U/Pb zircon dating of subvolcanic rhyolite as a time marker for Hercynian granite magmatism and Sn mineralisation in the Eibenstock granite, Erzgebirge, Germany: Considering effects of zircon alteration. *Mineralium Deposita*, 39(5-6), 646-669.

Kinny, P.D., Maas, R., (2003). Lu-Hf and Sm-Nd isotope systems in zircon. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 53(1), 327-341.

Kury, W., (1993). Características composicionales de la Formación Villavicencio, Devónico, Precordillera de Mendoza. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Geología y Recursos Naturales de Mendoza. Ed. Ramos VA Actas (Vol. 50, pp. 321-328).

Lee, Y.I., (2002). Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea. *Sedimentary Geology*, 149(4), 219-235.

Le Hérisse, A., Gourvenec, R., Wicander, R., (1997). Biogeography of Late Silurian and Devonian acritarchs and prasinophytes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 98(1-2), 105-124.

Lenz, A., Cuerda, A., Peralta, S., (2003). Graptolites from the upper Llandovery of the Talacasto area, central Precordillera, San Juan, Argentina. *Journal of Paleontology*, 77(6), 1198-1202.

Leveratto, M.A., (1968). Geología de la zona al oeste de Ullun-Zonda, borde Oriental de la Precordillera de San Juan, eruptividad subvolcánica y estructura. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 31:53-58.

Levy, R., Nullo, F.E., (1970a). Terebratulidos Devónicos de Argentina I. Cranaena y Scaphiocelesia. *Ameghiniana*, 7(3), 264-274.

Levy, R., Nullo, F.E., (1970a). Terebratulidos Devonicos de Argentina II. Pleurothyrella. *Ameghiniana*, 7(4), 369-378.

Levy, R., Nullo, F.E., (1972a). Chonetidae devónicos de Argentina I. Chonostrophia. *Ameghiniana*, 9 (2), 138-144.

Levy, R., Nullo, F.E., (1972b). Spiriferidos Devónicos de Argentina I. Ambocoelia y Kozlowskiellina. *Ameghiniana*, 9 (1), 45-58.

Lira, R., Poklepovic, M.F., O'Leary, M.S., (2014). El magmatismo cámbrico en el batolito de Sierra Norte Ambargasta. In *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba* (Martino, R.; Guerreschi, A.; editors). Asociación Geológica Argentina: 183-216. Córdoba.

Loske, W.P., (1992) Sedimentologie, Herkunft und geo tektonische Entwicklung paläozoischer Gesteine der Präkordillere West-Argentinens. *Münch Geol H* 7:1–155 (Munche).

Loske, W.P., (1994). The West-Argentine Precordillera: a Palaeozoic back arc basin. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 379-391.

Loske, W.P., (1995). 1.1 Ga old zircons in W Argentina: implications for sedimentary provenance in the Palaeozoic of Western Gondwana. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Monatshefte*, 51-64.

Ludwig, K.R., (1998). On the treatment of concordant uranium-lead ages. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62 (4), 665-676.

Ludwig, K.R., (2003). *Isoplot 3.00: Special Publication 4*, Berkeley Geochronology Center, Berkeley, California.

Manassero, M.J., Cingolani, C.A., Abre, P., (2009). A Silurian-Devonian marine platform-deltaic system in the San Rafael Block, Argentine Precordillera-Cuyania terrane: lithofacies and provenance. *Geological Society, London, Special Publications*, 314 (1), 215-240.

Marshall, J.E.A., (2016). Palynological calibration of Devonian events at near-polar palaeolatitudes in the Falkland Islands, South Atlantic. In: Becker, R.T., Königshof, P., Brett, C.E. (Eds.),

Devonian Climate, Sea Level and Evolutionary Events. Special Publication vol. 423. Geological Society of London, London, pp. 25–44.

Martin, E.L., Collins, W.J., Kirkland, C.L., (2017). An Australian source for Pacific-Gondwanan zircons: Implications for the assembly of northeastern Gondwana. *Geology*, 45 (8), 699-702.

Martin, E.L., Collins, W.J., Spencer, C.J., (2020). Laurentian origin of the Cuyania suspect terrane, western Argentina, confirmed by Hf isotopes in zircon. *GSA Bulletin*, 132 (1-2), 273-290.

McClelland, W.C., Ellis, J.R., Roeske, S.M., Mulcahy, S.R., Vujovich, G.I., Naipauer, M., (2005). U-Pb SHRIMP igneous zircon ages and LA-ICPMS detrital zircon ages from metamorphic rocks between the Precordillera terrane and the Gondwana margin, Sierra de la Huerta to Pie de Palo, northwest Argentina. *Gondwana*, 12, 250.

McDaniel, D.K., McLennan, S.M., Hanson, G.N., (1997). Provenance of Amazon fan muds: constraints from Nd and Pb isotopes. In *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results (Vol. 155, pp. 169-176)*.

McLennan, S.M., (1989). Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary process. En: Lipin BR, McKay GA, (Eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*, Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, 21: 169-200.

McLennan, S.M., Taylor, S.R., (1991). Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. *The Journal of Geology*, 99(1), 1-21.

McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T., Maynard, J.B., (1990). Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(7), 2015-2050.

McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., (1993). Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. En: Johnsson MJ, Basu A, (Eds.). *Processes controlling the composition of clastic sediments*, Geological Society of America, *Special Papers* 285: 21-40.

McLennan, S.M., Bock, B., Hemming, S.R., Hurowitz, J.A., Lev, S.M., (2003). The Roles of Provenance Sedimentary Processes in the Geochemistry of Sedimentary Rocks. In *Geological Association of Canada, Short Course Notes*. Geological Association of Canada.

McLennan, S.M., Grotzinger, J.P., Hurowitz, J.A., Tosca, N.J., (2006). Sulfate geochemistry and the sedimentary rock record of Mars. In *Workshop on Martian Sulfates as Records of Atmospheric-fluid-Rock Interactions*, LPI Contribution No. 1331, The Lunar & Planetary Institute, Houston. p. 54.

Meinhold, G., Kostopoulos, D., Reischmann, T., (2007). Geochemical constraints on the provenance and depositional setting of sedimentary rocks from the islands of Chios, Inousses and Psara, Aegean Sea, Greece: implications for the evolution of Palaeotethys. *Journal of the Geological Society*, 164(6), 1145-1163.

Melo, J.H.G., (1988). The Malvinokaffric Realm in the Devonian of Brazil. In: McMillan, N., Embry, A.F., Glass, D. (Eds.), *Devonian of the World*. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir vol. 14. Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, pp. 669–976.

Méndez Alzola, R., Sprechmann, P., (1971). Algunas orbiculoideas devónicas de la Precordillera de San Juan, Rep. Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 26(4), 517-525.

Menéndez, C.A., (1967). *Guía Paleontológica Argentina*. Publicaciones Especiales CONICET Parte I: Paleozoico, Sección VII Floras Devónicas: 1-30.

Milani, E.J., (1997). Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese de Doutorado, Univ. do Porto Alegre IG-UFRGS, 2 vol., 255 e 142 p. (inédito).

Milani, E.J., De Wit, M.J., (2008). Correlations between the classic Paraná and Cape–Karoo sequences of South America and southern Africa and their basin infills flanking the Gondwanides: du Toit revisited. In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., de Brito Neves, B. B., de Wit, M.J. (Eds.), *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations across the South Atlantic Region*. Geological Society of London, London, pp. 319–342.

Milani, E.J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A., França, A.B., (2007). Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 15, 265–287.

Milodowski, A.E., Zalasiewicz, J.A., (1991). Redistribution of rare earth elements during diagenesis of turbidite/hemipelagite mudrock sequences of Llandovery age from central Wales. *Geological Society, London, Special Publications*, 57(1), 101-124.

Mingramm, A., (1985). Secciones estructurales de la Cuenca de Cuyo y extension palispastica. Escala 1:200000. 10 secciones, Buenos Aires (inédito).

Montero, A., Dieguez, C., (2010). Devonian floral assemblages and plant megafossils from the Iberian Peninsula: A review. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162(3), 231-238.

Morel, E.M., Cingolani, C.A., Ganuza, D.G., Uriz, N.J., (2006). El registro de Lycophytas primitivas en la Formación Río Seco de los Castaños, Bloque de San Rafael, Mendoza. 9º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. Resúmenes: 47 (Córdoba).

Morel, E.M., Cingolani, C.A., Ganuza, D., Uriz, N.J., Bodnar, J., (2017). Primitive Vascular Plants and Microfossils from the Río Seco de los Castaños Formation, San Rafael Block, Mendoza Province, Argentina. Pre-carboniferous Evolution of the San Rafael Block, Argentina (pp. 209-220).

Morton, A.C., (1979). Surface features of heavy mineral grains from Palaeocene sands of the central North Sea. *Scottish Journal of Geology*, 15(4), 293-300.

Morton, A.C., Hallsworth, C.R., (1999). Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary geology*, 124(1-4), 3-29.

Mpodozis, C., Ramos, V.A., (1989). The Andes of Chile and Argentina. In *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources*, Earth Sciences Series, 11: 59-90.

Mulcahy, S.R., Roeske, S.M., McClelland, W.C., Jourdan, F., Iriondo, A., Renne, P.R., Vujovich, G.I., (2011). Structural evolution of a composite middle to lower crustal section: The Sierra de Pie de Palo, northwest Argentina. *Tectonics*, 30(1).

Nance, R.D., Gutiérrez-Alonso, G., Keppie, J.D., Linnemann, U., Murphy, J.B., Quesada, C., Strachan, R.A., Woodcock, N.H., (2012). A brief history of the Rheic Ocean. *Geoscience Frontiers* 3, 125-135.

Nasdala, L., Zhang, M., Kempe, U., Panczer, G., Gaft, M., Andrut, M., Plötze, M., (2003). Spectroscopic methods applied to zircon. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1), 427-467.

Nebel, O., Nebel-Jacobsen, Y., Mezger, K., Berndt, J., (2007). Initial Hf isotope compositions in magmatic zircon from early Proterozoic rocks from the Gawler Craton, Australia: a test for zircon model ages. *Chemical Geology*, 241(1-2), 23-37.

Nelson, D.A., Cottle, J.M., (2018). The secular development of accretionary orogens: linking the Gondwana magmatic arc record of West Antarctica, Australia and South America. *Gondwana Research*, 63, 15-33.

Nelson, B.K., DePaolo, D.J., (1988). Comparison of isotopic and petrographic provenance indicators in sediments from Tertiary continental basins of New Mexico. *Journal of Sedimentary Research*, 58 (2), 348-357.

Nesbitt, H., Young, G.M., (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299(5885), 715-717.

Nesbitt, H.W., Young, G.M., (1989). Formation and diagenesis of weathering profiles. *The Journal of Geology*, 97(2), 129-147.

Noetinger, S., (2015). Spore diversity trends in the Middle Devonian of the Chaco-Salteño Plain, northwestern Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 417, 151–163.

Ortega, G.O., Brussa, E.D., Astini, R.A., (1991). Nuevos hallazgos de graptolitos en la Formación Yerba Loca y su implicancia estratigráfica, Precordillera de San Juan, Argentina. *Ameghiniana*, 28, 163-178.

Ortiz, A., Zambrano, J.J., (1981). La provincia geológica Precordillera oriental. VIII Congreso Geológico Argentino, Actas III: 59-74, San Luis.

Oyhantçabal, P., Cingolani, C.A., Wemmer, K., Siegesmund, S., (2018). The Río de la Plata craton of Argentina and Uruguay. In *Geology of Southwest Gondwana* (pp. 89-105). Springer, Cham.

Padula, E.L., Roller, E.O., Mingramm, A.R., Roque, P.C., Flores, M.A., Baldis, B.A., (1967). Devonian of Argentina. *International Symposium on the Devonian System* 2:165-199.

Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M., (2000). Age and origin of coeval TTG, I-and S-type granites in the Famatinian belt of NW Argentina. *Geological Society of America Special Papers*, 350, 151-168.

Patchett, P.J., Tatsumoto, M., (1981). A routine high-precision method for Lu-Hf isotope geochemistry and chronology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 75 (3), 263-267.

Penn-Clarke, C.R., Rubidge, B.S., Jinnah, Z.A., (2018). High-paleolatitude environmental change during the Early to Middle Devonian: insights from Emsian–Eifelian (Lower–Middle Devonian) Siliciclastic depositional systems of the ceres subgroup (Bokkeveld Group) of South Africa. *Journal of Sedimentary Research* 88, 1040–1075.

Penn-Clarke, C.R., Rubidge, B.S., Jinnah, Z.A., (2019). Eifelian–Givetian (Middle Devonian) high-paleolatitude storm and wave dominated shallow marine depositional systems from the Bidouw Subgroup (Bokkeveld Group) of South Africa. *Journal of Sedimentary Research* 89, 1140–1170.

Peralta, S.H., (1993). Estratigrafía y consideraciones paleoambientales de los depósitos marino-clásticos eopaleozoicos de la Precordillera Oriental de San Juan. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Vol. 1, pp. 128-37).

Peralta, S.H., (2005a). Extensional tectonic controlling the silurian and Lower Devonian basin of San Juan Precordillera, western argentina. *Gondwana*, 12: Geological and Biological Heritage of Gondwana Abstracts, 288.

Peralta, S.H., (2005b). The Lower Emsian?-Middle Devonian? Extensional basins of the Los Sombreros and Rinconada Formations: its tecto-sedimentary significance in the evolution of the Precordillera. Gondwana, 12, Geological and Biological Heritage of Gondwana Abstracts, 289.

Peralta, S.H., (2013). Devónico de la sierra de La Invernada, Precordillera de San Juan, Argentina: revisión estratigráfica e implicancias paleogeográficas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 70(2), 202-215.

Peralta, S.H., Aceñolaza, F.G., (1988). Paleo helminthoida ruckholz (traza fósil) en los estratos basales de la Formación Punta Negra (Devónico medio-superior?), en el perfil del Río San Juan, Precordillera Central del Oeste Argentino. Correlación Geológica, 5, 195-198.

Peralta, S.H., Heredia, S., (2005). Depósitos de olistostroma del Devónico (inferior?-medio?), Formación Los Sombreros, en la quebrada de San Isidro, Precordillera de Mendoza, Argentina. In 16° Congreso Geológico Argentino (pp. 326-331).

Peralta, S.H., Ruzycki, L.J., (1990). Icnofacies asociadas a facies turbidíticas de la Formación Punta Negra (Devónico Medio-Superior?), en el perfil de los Caracoles, Precordillera Central Sanjuanina, Argentina. Actas III Reunión Argentina de Sedimentología (pp. 334-338).

Peralta, S.H., León, L.I., Carter, C.H., (1995). Estratigrafía de las sedimentitas del Eopaleozoico-Terciario de Pachaco, Precordillera Central sanjuanina. Revista Ciencias, Facultad Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan 6, 41-56.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., (1973). Sand and Sandstones. Springer-Verlag, New York, 618 p.

Pietranik, A.B., Hawkesworth, C.J., Storey, C.D., Kemp, A.I.S., Sircombe, K.N., Whitehouse, M.J., Bleeker, W., (2008). Episodic, mafic crust formation from 4.5 to 2.8 Ga: New evidence from detrital zircons, Slave craton, Canada. Geology, 36 (11), 875-878.

Poiré, D., Morel, E., (1996). Procesos sedimentarios vinculados a la depositación de niveles con plantas en secuencias Siluro-Devónicas de la Precordillera, Argentina. VI Reunión Argentina de Sedimentología, Actas, 205-210.

Poiré, D.G., Edwards, D., Morel, E., Bassett, M. G., Cingolani, C.A., (2005). Depositional environments of Devonian land plants from Argentine Precordillera, South-West Gondwana. In Gondwana 12: Geologica and biological heritage of Gondwana (Mendoza), Abstracts: 296.

Porcher, C.C., Fernandes, L.A., Vujovich, G.I., Chernicoff, C.J., (2004). Thermobarometry, Sm/Nd ages and geophysical evidence for the location of the suture zone between Cuyania and the western proto-Andean margin of Gondwana. Gondwana Research, 7(4), 1057-1076.

Pupin, J.P., (1980). Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73 (3), 207-220.

Racheboeuf, P.R., Herrera, Z.A., (1994). On some new malvinokaffric Silurian and Devonian chonetacean brachiopods and reclassification of others. *Neues Jahrbuch Geol Paläontol* 9:541–560.

Racheboeuf, P.R., Dalenz Farjat, A., Lefebvre, B., (1998). The Devonian Gamoneda section of southern Bolivia: new biostratigraphical and palaeobiogeographical data. *Revista Española de Paleontología* 13:175-186.

Ramos, A., (1970). Aspectos Páleo-estruturais da Bacia do Paraná e sua Influência na sedimentação. *Boletim Técnico da Petrobrás* 13, 85–93.

Ramos, V.A., (1988). The tectonics of the Central Andes; 30 to 33 S latitude. Processes in continental lithospheric deformation. (edited by S. P. Clark, Jr., B. C. Burchfiel, and J. Suppe). *Geological Society of America, Special Paper* 218, 31-54.

Ramos, V.A., (1999). Las provincias geológicas del territorio argentino. En Caminos, R. (Ed.) *Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales* 29(3), 41-96. Buenos Aires.

Ramos, V.A., (1999). Los depósitos sinorogénicos terciarios de la región andina. *Geología Argentina*, 29(22), 651-682.

Ramos, V.A., (2004). Cuyania, an exotic block to Gondwana: review of historical success and the present problems. *Gondwana Research* 7(4):1009–1026.

Ramos, V.A., (2005). The Proterozoic-Early Palaeozoic margin of western Gondwana. In: Pankhurst, R.J., Veiga, G.D. (Eds.), *Gondwana 12: Geological and Biological Heritage of Gondwana. Abstracts, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba*, p. 304.

Ramos, V.A., (2009). Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. *Backbone of the Americas: Shallow subduction, plateau uplift, and ridge and terrane collision*, 204, 31-65.

Ramos, V.A., (2010). The Grenville-age basement of the Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 29 (1), 77-91.

Ramos, V.A., Basei, M.A., (1997). Gondwanan, Perigondwanan, and exotic terranes of southern South America. In *South-American Symposium on Isotope Geology, Actas* (Vol. 250, p. 252).

Ramos, V.A., Jordan, T.E., Allmendinger, R.W., Mpodozis, C., Kay, S.M., Cortés, J.M., Palma, M., (1986). Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, 5(6), 855-880.

Ramos, V.A., Vujovich, G., Kay, S.M., McDonough, M., (1993). La orogénesis de Grenville en las Sierras Pampeanas Occidentales: la Sierra de Pie de Palo y su integración al supercontinente proterozoico. XII Congreso Geológico Argentino. Actas, 3, 343-57.

Ramos, V.A., Cegarra, M., Cristallini, E., (1996). Cenozoic tectonics of the High Andes of west-central Argentina (30-36 S latitude). *Tectonophysics*, 259(1-3), 185-200.

Ramos, V.A., Dallmeyer, R.D., Vujovich, G., (1998). Time constraints on the Early Palaeozoic docking of the Precordillera, central Argentina. *Geological Society, London, Special Publications*, 142(1), 143-158.

Ramos, V.A., Cristallini, E., Pérez, D.J., (2002). The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78.

Ramos, V.A., Escayola, M., Leal, P., Pimentel, M.M., Santos, J.O., (2015). The late stages of the Pampean Orogeny, Córdoba (Argentina): Evidence of postcollisional Early Cambrian slab break-off magmatism. *Journal of South American Earth Sciences*, 64, 351-364.

Rapalini, A.E., (2005). The accretionary history of southern South America from the latest Proterozoic to the Late Palaeozoic: some palaeomagnetic constraints. *Geological Society, London, Special Publications*, 246(1), 305-328.

Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C., (1998). Early evolution of the Proto-Andean margin of South America. *Geology*, 26 (8), 707-710.

Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Baldo, E., Casquet, C., Galindo, C., Fanning, C.M. Saavedra, J., (2001) Ordovician metamorphism in the Sierras Pampeanas: New U-Pb shrimp ages in central-east Valle FCrtil and the Velasco batholith. 3° S. Amer. Symp. Isotope Geol., pp. 616-619.

Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Fanning, C.M., Galindo Francisco, M., Baldo, E.G., (2005). Datación U-Pb SHRIMP de circones detriticos en paránfibrolitas neoproterozoicas de la secuencia Difunta Correa (Sierras Pampeanas Occidentales, Argentina). *Geogaceta*, 38, 227-230.

Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Fanning, C.M., Baldo, E.G., González-Casado, J.M., Dahlquist, J., (2007). The Río de la Plata craton and the assembly of SW Gondwana. *Earth-Science Reviews*, 83 (1-2), 49-82.

Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Galindo, C., Fanning, C.M., Dahlquist, J. M., (2010). The Western Sierras Pampeanas: Protracted Grenville-age history (1330–1030 Ma) of intra-oceanic arcs, subduction-accretion at continental-edge and AMCG intraplate magmatism. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(1), 105-127.

Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Dahlquist, J.A., Fanning, C.M., Baldo, E.G., Basei, M.A., (2018). A review of the Famatinian Ordovician magmatism in southern South America: evidence of lithosphere reworking and continental subduction in the early proto-Andean margin of Gondwana. *Earth-science reviews*, 187, 259-285.

Rapela, C.W., Hervé, F., Pankhurst, R.J., Calderon, M., Fanning, C.M., Quezada, P., Reyes, T., (2021). The Devonian accretionary orogen of the North Patagonian Cordillera. *Gondwana Research*. 96, 1-21.

Rodríguez, S., Carrera, M.G., Fernández-Martínez, E., (2002). Corales de la transición siluro-devónica en la Precordillera argentina. *Ameghiniana* 39: 479-489.

Roser, B.P., Korsch, R.J., (1986). Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. *The Journal of Geology*, 94(5), 635-650.

Roser, B.P., Korsch, R.J., (1988). Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical geology*, 67(1-2), 119-139.

Rubatto, D., (2002). Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U–Pb ages and metamorphism. *Chemical geology*, 184 (1-2), 123-138.

Rubinstein, C.V., (1999). Primer registro palinológico de la Formación Punta Negra (Devónico medio-superior), de la Precordillera de San Juan, Argentina. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, 6 (1).

Rubinstein, C.V., (2000). Middle Devonian palynomorphs from the San Juan Precordillera, Argentina: biostratigraphy and paleobiogeography. *Congreso Ibérico de Paleontología, Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología y International Meeting of IGCP (Vol. 421, No. 1, p. 14)*.

Rubinstein, C.V., Steemans, P., (2007). New palynological data from the Devonian Villavencio Formation, Precordillera of Mendoza, Argentina. *Ameghiniana*, 44(1), 3-9.

Rubinstein, C.V., Monge, A.S., Rustán, J.J., Astini, R.A., (2010). Palinomorfos devónicos de la Sierra de Las Minitas, Provincia de La Rioja, Argentina. *Paleobotânica e palinología: Prospectando novas fronteiras*, 151-152.

Ruedemann, R., (1916). *Paleontologic contributions from the New York State Museum*. New York State Museum Bulletin 189: 1-225.

Rustán, J.J., (2011). *Trilobites devónicos de la Precordillera Argentina, sistemática, filogenia, paleobiogeografía y bioestratigrafía [Ph. D. thesis]: Córdoba*. Argentina, Universidad Nacional de Córdoba.

Rustán, J.J., (2016). Los trilobites devónicos de Precordillera Argentina: Sistemática, filogenia, bioestratigrafía y paleobiogeografía. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3 (2), 133-143.

Rustán, J.J., Vaccari, N.E., (2010a). The aulacopleurid trilobite *Maurotarion* Alberti, 1969 in the Silurian-Devonian of Argentina: systematic, phylogenetic and paleobiogeographic significance. *Journal of Paleontology* 84: 1082-1098.

Rustán, J.J., Vaccari, N.E., (2010b). Trilobites de la Formación Punta Negra (Devónico Medio) en la sección de Loma de los Piojos (Precordillera de San Juan, Argentina): nuevos elementos para la datación y correlación de los “estratos postdevónicos” de Keidel. X Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía y VII Congreso Latinoamericano de Paleontología, La Plata. Actas 54.

Rustán, J.J., Vaccari, N.E., (2012a). A revision of the Devonian Malvinokaffric dalmanitid trilobite *Dalmanitoides* Delo, 1935, on the basis of new data from Argentina. *Palaeontologia Electronica*. 15: pag. 21.

Rustán, J.J., Vaccari, N.E., (2012b). The trilobite *Maurotarion megacephalum* n. sp. (Aulacopleuridae) in the Lower Devonian of Argentina: phylogenetic and paleobiogeographic remarks. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*.

Rustán, J.J., Vaccari, N.E., Astini, R.A., (2011a). Early Devonian trilobites from the Sierra de las Minitas, northernmost Precordillera (La Rioja Province), Argentina. *Ameghiniana*, 48(2), 226-241.

Rustán, J.J., Balseiro, D., Waisfeld, B.G., Foglia, R.D. Vaccari, N.E., (2011b). Infaunal molting in Trilobita and escalatory responses against predation. *Geology* 39: 495- 498.

Salas, M.J., Rustán, J.J., Sterren, A.F., (2013). Lower and Middle Devonian Malvinokaffric ostracods from the Precordillera Basin of San Juan, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 45, 56-68.

Sánchez, T.M., Waisfeld, B.G., Toro, B.A., (1995). Silurian and Devonian molluscan bivalves from Precordillera region, western Argentina. *Journal of Paleontology* 69: 869-886.

Sato, A.M., Tickyj, H., Llambias, E.J., Sato, K., (2000). The Las Matras tonalitic-trondhjemitic pluton, central Argentina: Grenvillian-age constraints, geochemical characteristics, and regional implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 13(7), 587-610.

Sato, A.M., González, P.D., Llambias, E.J., (2003). Evolución del orógeno Famatiniano en la Sierra de San Luis: magmatismo de arco, deformación y metamorfismo de bajo a alto grado. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58 (4) 487-504.

Sato, A.M., Tickyj, H., Llambías, E.J., Basei, M.A.S., González, P.D., (2004). Las Matras Block, Central Argentina (37 S-67 W): the southernmost Cuyania terrane and its relationship with the Famatinian orogeny. *Gondwana Research*, 7(4), 1077-1087.

Sato, K., Basei, M.A.S., Ferreira, C.M., Vlach, S.R.F., Ivanuch, W., Siga Jr, O., Onoi, A.T. (2010). In situ U-Th-Pb isotopic analyses by excimer laser ablation/ICP-MS on Brazilian Xenotime Megacrystal: First U-Pb results at CPGeo-IG-USP. In 7th South American Symposium on Isotope Geology. Brasília, Brasil.

Sato, A.M., Llambías, E.J., Basei, M.A., Castro, C.E., (2015). Three stages in the Late Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana, and the relationships with the volcanogenic events in coeval basins. *Journal of South American Earth Sciences*, 63, 48-69.

Schönian, F., (2003). Ambiente sedimentario de las diamictitas de la Formación Cancañiri en el área de Sella, sur de Bolivia. *Revista Técnica de YPF*, 21(1), 131-146.

Schwartz, J.J., Gromet, L.P., (2004). Provenance of a late Proterozoic-early Cambrian basin, Sierras de Córdoba, Argentina. *Precambrian Research*, 129 (1-2), 1-21.

Sedorko, D., Netto, R.G., Savrda, C.E., (2018). Ichnology applied to sequence stratigraphic analysis of Siluro-Devonian mud-dominated shelf deposits, Paraná Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 83, 81-95.

Sims, J.P., Ireland, T.R., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P.E., Skirrow, R.G., Miró, R., (1998). U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Palaeozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. *Geological Society, London, Special Publications*, 142 (1), 259-281.

Spencer, C.J., Harris, R.A., Dorais, M.J., (2012). Depositional provenance of the Himalayan metamorphic core of Garhwal region, India: Constrained by U-Pb and Hf isotopes in zircons. *Gondwana Research*, 22 (1), 26-35.

Spencer, C.J., Kirkland, C.L., Roberts, N.M.W., Evans, N.J., Liebmann, J., (2020). Strategies towards robust interpretations of in situ zircon Lu-Hf isotope analyses. *Geoscience Frontiers*, 11 (3), 843-853.

Sprechmann, P., Montana, J., Gaucher, C., (1993). Devónico. En: *Geología y Recursos Minerales del Departamento de Durazno*. Intendencia Municipal de Durazno, pp. 25-55.

Stappenbeck, R., (1910). La Precordillera de San Juan y Mendoza. Ministerio de Agricultura de La Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minería, *Anales* 4(3): 1-187.

Steenken, A., Siegesmund, S., de Luchi, M.G.L., Frei, R., Wemmer, K., (2006). Neoproterozoic to Early Palaeozoic events in the Sierra de San Luis: implications for the Famatinian geodynamics in the Eastern Sierras Pampeanas (Argentina). *Journal of the Geological Society*, 163 (6), 965-982.

Stelzner, A., (1873). Ubre die argentinische Cordillere sw. 31° und 33°s. *Beitrage Neues Jarhbuch Mineralogie Geologie Paläontologie*: 724-744.

Streel, M., Caputo, M.V., Loboziak, S., Melo, J.H.G., (2000). Late Frasnian-Famennian climates based on palynomorph analyses and the question of Late Devonian glaciations. *Earth-Science Reviews* 52: 121-173.

Sun, S.S., McDonough, W.F., (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds) *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society Special Publication, vol 42, pp 313–345.

Tassinari, C.C.G., Bettencourt, J.S., Geraldés, M.C., Macambira, M.J.B., Lafon, J.M., (2000). The Amazonian Craton. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz Filho, A. and Campos, D. A., (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, pp. 41-96, (31st International Geological Congress, 2000).

Taylor, S.R., McLennan, S.M., (1985). *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific, Oxford, 312 pp. Londres.

Tibaldi, A.M., Otamendi, J.E., Gromet, L.P., Demichelis, A.H., (2008). Suya Taco and Sol de Mayo mafic complexes from eastern Sierras Pampeanas, Argentina: Evidence for the emplacement of primitive OIB-like magmas into deep crustal levels at a late stage of the Pampean orogeny. *Journal of South American Earth Sciences*, 26 (2), 172-187.

Tickyj, H.; Rodriguez Raising, M.; Cingolani, C.A.; Alfaro, M.; Uriz, N.J., (2009). Graptolitos ordovícicos en el Sur de la Cordillera Frontal de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 64 (2): 295-302.

Tickyj, H., Cingolani, C.A., Varela, R., Chemale, F., (2017). Low-grade metamorphic conditions and isotopic age constraints of the La Horqueta pre-Carboniferous sequence, Argentinian San Rafael Block. In *Pre-carboniferous Evolution of the San Rafael Block, Argentina* (pp. 137-159). Springer, Cham.

Thomas, I., (1906). Neue Beiträge zur Kenntniss der Devonischen Faunen Argentinien: *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, v. 57, p. 233–290.

Thomas, W.A., Astini, R.A., (1996). The Argentine precordillera: a traveler from the Ouachita embayment of North American Laurentia. *Science*, 273(5276), 752-757.

Thomas, W.A., Astini, R.A., (1999). Simple-shear conjugate rift margins of the Argentine Precordillera and the Ouachita embayment of Laurentia. *Geological Society of America Bulletin*, 111(7), 1069-1079.

Thomas, W.A., Astini, R.A., (2003). Ordovician accretion of the Argentine Precordillera terrane to Gondwana: a review. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(1), 67-79.

Thomas, W.A., Astini, R.A., Bayona, G., (2002). Ordovician collision of the Argentine Precordillera with Gondwana, independent of Laurentian Taconic orogeny. *Tectonophysics*, 345(1-4), 131-152.

Torsvik, T.H., Van der Voo, R., Preeden, U., Mac Niocaill, C., Steinberger, B., Doubrovine, P.V., Cocks, L.R.M., (2012). Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Science Reviews*, 114(3-4), 325-368.

Torsvik, T.H., Cocks, L.R.M., (2013). Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Research*, 24(3-4), 999-1030.

Tortello, M.F., Clarkson, E.N.K., Uriz, N.J., Alfaro, M.B., Galeano Inchausti, J.C., (2008a). Trilobites from the Vargas Peña Formation (Llandovery) of Itauguá, Eastern Paraguay. Four International Trilobite Conference. Toledo, Spain, June 16-24, 2008.

Tortello, M.F., Clarkson, E.N.K., Uriz, N.J., Alfaro, M.B., Galeano Inchausti, J.C., (2008b). Trilobites de la Formación Vargas Peña (Silúrico Inferior) de Itauguá, Paraguay Oriental. II Jornadas Geológicas de la Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina. 18 y 19 de Septiembre de 2008.

Tosdal, R.M., (1996). The Amazon-Laurentian connection as viewed from the Middle Proterozoic rocks in the central Andes, western Bolivia and northern Chile. *Tectonics*, 15(4), 827-842.

Tosdal, R.M., Munizaga, F., Williams, W.C., Bettencourt, J.S., (1994). Middle Proterozoic crystalline basement in the central Andes, western Bolivia, and northern Chile: A U-Pb and Pb-Pb perspective [abs.]. VII Congreso Geológico Chileno. Universidad de Concepción Actas II, pp. 1464-1467.

Um, I., Choi, M.S., Bahk, J.J., Song, Y.H., (2013). Discrimination of sediment provenance using rare earth elements in the Ulleung Basin, East/Japan Sea. *Marine Geology*, 346, 208-219.

Uriz, N.J., Alfaro, M.B., Galeano Inchausti, J.C., (2008). Graptolitos de la Formación Ausebio Ayala (Silúrico inferior) de la Cuenca de Paraná, Paraguay. XVII Congreso Geológico Argentino. San Salvador de Jujuy, Jujuy, Argentina. Octubre 7-10, 2008.

Uriz, N.J., Cingolani, C.A., Basei, M.A.S., Blanco, G., Abre, P., Portillo, N.S., Siccardi, A., (2016a). Provenance and paleogeography of the Devonian Durazno Group, southern Paraná Basin in Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*, 66, 248-267.

Uriz, N.J., Cingolani, C.A., Basei, M.A.S., (2016b). Edades U-Pb en circones detríticos del Paleozoico Inferior/Medio del sur de la Cordillera Frontal, Argentina: Implicancias tectono-estratigráficas en el margen Proto-Andino. VIII Congreso Uruguayo de Geología y I Simposio de Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata. Montevideo, República Oriental del Uruguay.

Vaccari, N.E., Bordonaro, O.L., (1993). Trilobites en los Olistolitos cámbricos de la Formación Los Sombreros (Ordovícico), Precordillera de San Juan, Argentina. *Ameghiniana*, 30(4), 383-393.

Vaccari, N.E., Waisfeld, B.G., Edgecombe, G.D., (1994). Calmonioid Trilobites of the Lower Devonian *Scaphiocoelia* zone in the Argentine Precordillera. *Geobios* 27: 591-608.

Valenti, G., (2018). Análisis de la procedencia sedimentaria de la Formación Las Lagunitas (Ordovícico Sup-Devónico?). Cordillera Frontal de Mendoza. Tesis Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata Argentina.

Van Loon, A.T., Mange, M.A., (2007). 'In situ' dissolution of heavy minerals through extreme weathering, and the application of the surviving assemblages and their dissolution characteristics to correlation of Dutch and German silver sands. *Developments in Sedimentology*, 58, 189-213.

Varela, R., (1973). Estudio geotectónico el extremo sudoeste de la precordillera de Mendoza República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 28(3).

Varela, R., Basei, M.A.S., Sato, A.M., González, P.D., Siga Jr, O., Campos Neto, M., da Costa, C.C., (2003). Grenvillian basement and Famatinian events of the Sierra de Umango (298S): a review and new geochronological data. In *Proc IV South American Symposium on Isotope Geology* (Vol. 1, pp. 304-306).

Varela, R., Basei, M.A., González, P.D., Sato, A.M., Naipauer, M., Neto, M. C., Meira, V.T., (2011). Accretion of Grenvillian terranes to the southwestern border of the Río de la Plata craton, western Argentina. *International Journal of Earth Sciences*, 100 (2), 243-272.

Veevers, J.J., Belousova, E.A., Saeed, A., Sircombe, K., Cooper, A.F., Read, S.E., (2006). Pan-Gondwanaland detrital zircons from Australia analysed for Hf-isotopes and trace elements reflect an ice-covered Antarctic provenance of 700–500 Ma age, TDM of 2.0–1.0 Ga, and alkaline affinity. *Earth-Science Reviews*, 76 (3-4), 135-174.

Vermeesch, P., (2020). On the treatment of discordant detrital zircon U–Pb data. *Geochronology Discussions*, 1-19.

Volkheimer, W., (1978). Descripción geológica de la Hoja 27b, Cerro Sosneado, Provincia de Mendoza. Secretaria de Estado de Minería, Buenos Aires, Boletín 151, 83 p.

Von Gosen, W., (1995). Polyphase structural evolution of the southwestern Argentine Precordillera. *Journal of South American Earth Sciences*, 8(3-4), 377-404.

Vujovich, G.I., Kay, S.M., (1998). A Laurentian? Grenville-age oceanic arc/back-arc terrane in the Sierra de Pie de Palo, Western Sierras Pampeanas, Argentina. *Geological Society, London, Special Publications*, 142(1), 159-179.

Vujovich, G.I., van Staal, C.R., Davis, W., (2004). Age constraints on the tectonic evolution and provenance of the Pie de Palo Complex, Cuyania composite terrane, and the Famatinian Orogeny in the Sierra de Pie de Palo, San Juan, Argentina. *Gondwana Research*, 7 (4), 1041-1056.

Vujovich, G.I., Porcher, C., Chernicoff, C.J., Fernandes, L.A., Pérez, D.J., (2005). Extremo norte del basamento del terreno Cuyania: nuevos aportes multidisciplinarios para su identificación. *Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial*, 8:15-41.

Waisfeld, B.G., (1988). Comunidad de Bridgerocrinus (Crinoidea: SCYTALOCRINIDAE) en la Formación Talacasto (Devónico) De La Precordillera de San Juan, Argentina. *Ameghiniana*, 25(3), 273-279.

Waisfeld, B.G., Edgecombe, G.D., Vaccari, N.E., (1994). *Tormesiscus*, a new blind calmoniid trilobite from the Lower Devonian, Argentine Precordillera. *Geologica et Palaeontologica* 28: 27-43.

Wendt, I., (1984). A three-dimensional U-Pb discordia plane to evaluate samples with common lead of unknown isotopic composition. *Chemical geology*, 46 (1), 1-12.

Wenger, F., (2019). Estudio de la Procedencia sedimentaria de la Formación Villavicencio, Devónico de la Precordillera de Mendoza, Argentina. Tesis Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, La Plata Argentina.

Wetherill, G.W., (1956). Discordant uranium-lead ages, I. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 37 (3), 320-326.

Williams, I.S., Claesson, S., (1987). Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 97 (2), 205-217.

Willner, A.P., Gerdes, A., Massonne, H.J., (2008). History of crustal growth and recycling at the Pacific convergent margin of South America at latitudes 29–36 S revealed by a U–Pb and Lu–Hf isotope study of detrital zircon from late Paleozoic accretionary systems. *Chemical Geology*, 253 (3-4), 114-129.

Willner, A.P., Gerdes, A., Massonne, H.J., Schmidt, A., Sudo, M., Thomson, S.N., Vujovich, G., (2011). The geodynamics of collision of a microplate (Chilenia) in Devonian times deduced by the pressure–temperature–time evolution within part of a collisional belt (Guarguaraz Complex, W-Argentina). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162(2), 303-327.

Wimmenauer, W., (1984). Das praevarisische Kristallin im Schwarzwald. *Forscht Miner Beih*, 62, 69-86.

Yang, J.H., Wu, F.Y., Wilde, S.A., Xie, L.W., Yang, Y.H., Liu, X.M., (2007). Tracing magma mixing in granite genesis: in situ U–Pb dating and Hf-isotope analysis of zircons. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 153 (2), 177-190.

16T10

RATIOS											AGES											
207/235	1 sigma	206/238	1 sigma	coef. corr.	238/206	1 sigma	207/206	1 sigma	208/206	1 sigma	Pb total conam	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1 sigma	T <sub>207/235</sub>	1 sigma	T <sub>207/206</sub>	1 sigma	Conc. 206/238 207/235
er Laser Ablation System, 6Hz, 6mJ, 20µm, 100%(0.89J/cm <sup>2</sup> ) Energia, Hélio: MFC1=0.300L/min, MFC2=0.300L/min.																						
0,4504	0,0373	0,0554	0,0010	0,57	18,0617	0,3127	0,0590	0,0032	0,0707	0,1325	4,95	209	16757	5118	3,27	347	6	378	20	567	58	92
0,4849	0,0108	0,0622	0,0009	0,91	16,0845	0,2366	0,0566	0,0019	-	-	0,00	34	112	516	0,22	389	6	401	8	475	74	96
0,5763	0,0214	0,0688	0,0010	0,83	14,5302	0,2119	0,0607	0,0017	0,1640	0,0403	0,00	26	396	146	2,71	429	6	462	11	630	60	92
0,5452	0,0370	0,0712	0,0016	0,52	14,0481	0,3250	0,0555	0,0046	0,2814	0,0536	2,22	40	760	427	1,78	443	10	442	24	434	170	100
0,6138	0,0363	0,0732	0,0018	0,54	13,6644	0,3274	0,0608	0,0045	0,2476	0,0347	7,66	17	233	176	1,33	455	11	486	23	633	165	93
0,5582	0,0330	0,0751	0,0014	0,74	13,3193	0,2475	0,0539	0,0035	-	-	7,16	33	170	427	0,40	467	8	450	22	368	137	103
0,6418	0,0389	0,0754	0,0019	0,01	13,2672	0,3322	0,0618	0,0045	-	-	7,71	9	115	94	1,22	468	11	503	24	665	159	93
0,6439	0,0264	0,0803	0,0017	0,63	12,4523	0,2690	0,0582	0,0030	-	-	0,00	25	697	266	2,62	498	10	505	16	536	106	98
0,8307	0,0425	0,0965	0,0012	0,28	10,3604	0,1326	0,0624	0,0032	0,3004	0,1676	6,92	23	256	195	1,31	594	7	614	24	689	113	96
0,8508	0,0170	0,0966	0,0011	0,86	10,1460	0,1117	0,0626	0,0018	-	-	1,60	76	557	637	0,88	606	6	625	9	695	63	96
0,9186	0,0431	0,1013	0,0019	0,77	9,8686	0,1822	0,0657	0,0034	0,5631	0,0360	9,82	13	312	88	3,55	622	11	662	23	798	113	94
0,8557	0,0319	0,1041	0,0018	0,41	9,6019	0,1636	0,0596	0,0025	0,5643	0,1063	0,00	11	-	133	-	639	10	628	17	589	88	101
0,9872	0,0269	0,1110	0,0013	0,95	9,0058	0,1039	0,0645	0,0018	-	-	2,08	170	6150	1901	3,24	679	7	697	13	758	48	97
1,0888	0,0357	0,1187	0,0020	0,01	8,4254	0,1388	0,0665	0,0025	0,1162	0,0787	1,77	78	469	607	0,77	723	11	748	18	823	72	96
1,3685	0,0320	0,1316	0,0014	0,99	7,6014	0,0794	0,0754	0,0016	0,0323	0,0576	1,82	202	1393	1744	0,80	797	8	876	13	1080	44	91
1,3844	0,0423	0,1378	0,0018	0,70	7,2566	0,0962	0,0728	0,0021	0,0896	0,0393	8,38	85	371	611	0,61	832	10	882	18	1010	61	94
1,4731	0,0421	0,1450	0,0016	0,70	6,8942	0,0758	0,0737	0,0022	-	-	0,00	47	315	164	1,92	873	9	919	16	1032	59	94
1,6632	0,0455	0,1525	0,0016	0,99	6,5574	0,0691	0,0791	0,0022	0,0661	0,0283	4,50	40	164	454	0,36	915	9	995	18	1175	59	91
1,6960	0,0407	0,1585	0,0015	0,01	6,3097	0,0589	0,0776	0,0019	0,0273	0,4170	0,00	86	300	467	0,62	948	8	1007	15	1137	48	94
1,6703	0,0467	0,1620	0,0016	0,92	6,1727	0,0615	0,0748	0,0020	-	-	0,78	87	435	487	0,89	968	9	997	18	1063	53	97
1,8011	0,0641	0,1677	0,0029	0,94	5,9613	0,1042	0,0779	0,0029	0,1328	0,0446	2,15	48	275	275	1,00	1000	16	1046	23	1144	76	95
2,0865	0,0633	0,1810	0,0029	0,74	5,5264	0,0882	0,0836	0,0029	-	-	3,60	66	93	352	0,26	1072	16	1144	20	1284	65	93
2,0337	0,0773	0,1831	0,0026	0,56	5,4616	0,0762	0,0806	0,0033	0,0265	0,7702	0,90	9	110	36	3,09	1084	14	1127	26	1211	82	96
2,1397	0,0242	0,1852	0,0016	0,99	5,3993	0,0468	0,0838	0,0013	0,1711	0,0487	0,00	24	2	66	0,03	1095	9	1162	9	1288	32	94
2,6604	0,1547	0,2434	0,0094	0,08	4,1080	0,1579	0,0793	0,0069	-	-	7,58	7	51	17	3,00	1404	48	1318	43	1179	173	106

RATIOS											AGES												
207/235	1sigma	206/238	1 sigma	coef. corr	238/206	1 sigma	207/206	1 sigma	208/206	1 sigma	Pb total concentr %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1 sigma	T <sub>207/235</sub>	1 sigma	T <sub>207/206</sub>	1 sigma	Conc. 206/238	Conc. 206/238
											207/235 206/238 207/206												
0,3832	0,0174	0,0504	0,0006	0,86	19,8275	0,2274	0,0551	0,0022	0,3346	0,0414	24,3	73,6	2207,1	735,2	3,00	0,317	0,00	0,33	0,01	0,42	0,09	96	76
0,5222	0,0334	0,0701	0,0011	0,49	14,2737	0,2299	0,0541	0,0034	0,3298	0,0366	17,7	36,3	1121,0	334,3	3,35	0,437	0,01	0,43	0,02	0,37	0,13	102	116
0,5221	0,0243	0,0704	0,0010	0,51	14,1963	0,1921	0,0538	0,0023	0,1393	0,0554	2,6	32,2	265,8	348,6	0,76	0,439	0,01	0,43	0,02	0,36	0,09	102	121
0,5544	0,0261	0,0706	0,0007	0,82	14,1549	0,1437	0,0569	0,0026	0,1909	0,0182	5,6	51,0	978,3	608,3	1,61	0,440	0,00	0,45	0,02	0,49	0,10	98	90
0,5591	0,0282	0,0713	0,0007	0,93	14,0239	0,1321	0,0569	0,0031	0,2089	0,0119	5,0	55,9	589,7	521,8	1,13	0,444	0,00	0,45	0,02	0,49	0,12	98	91
0,5647	0,0421	0,0722	0,0009	0,29	13,8441	0,1693	0,0567	0,0040	0,4564	0,0889	5,6	20,0	521,5	153,5	3,40	0,450	0,01	0,46	0,03	0,48	0,15	98	93
0,5481	0,0262	0,0732	0,0008	0,68	13,6643	0,1549	0,0543	0,0024	0,3126	0,0362	12,5	54,1	1302,5	494,8	2,63	0,455	0,01	0,44	0,02	0,38	0,09	102	118
0,5461	0,0398	0,0735	0,0008	0,31	13,6147	0,1560	0,0539	0,0036	0,1487	0,0694	35,3	16,8	134,5	127,4	1,06	0,457	0,01	0,44	0,03	0,37	0,15	103	124
0,5757	0,0264	0,0739	0,0008	0,51	13,5251	0,1416	0,0565	0,0026	0,1933	0,0210	2,2	34,4	485,3	356,5	1,36	0,460	0,01	0,46	0,02	0,47	0,10	99	97
0,6231	0,0535	0,0749	0,0009	0,01	13,3477	0,1593	0,0603	0,0050	0,2137	0,0375	13,0	8,5	83,8	77,1	1,09	0,466	0,01	0,49	0,03	0,62	0,17	94	75
0,5757	0,0343	0,0753	0,0008	0,51	13,2729	0,1411	0,0554	0,0032	0,2204	0,0236	12,9	18,9	103,9	170,5	0,61	0,468	0,01	0,46	0,02	0,43	0,12	101	109
0,5798	0,0277	0,0758	0,0008	0,57	13,1840	0,1458	0,0554	0,0026	0,2518	0,0142	5,8	40,3	1179,3	436,8	2,70	0,471	0,01	0,46	0,02	0,43	0,10	101	109
0,5715	0,0270	0,0759	0,0008	0,44	13,1805	0,1338	0,0546	0,0024	0,2014	0,0179	6,5	35,8	522,5	380,7	1,37	0,471	0,01	0,46	0,02	0,40	0,09	102	118
0,5978	0,0355	0,0764	0,0013	0,02	13,0845	0,2257	0,0567	0,0036	0,2087	0,0256	4,6	16,9	186,8	164,0	1,14	0,475	0,01	0,48	0,02	0,48	0,14	99	98
0,6045	0,0179	0,0764	0,0008	0,48	13,0818	0,1450	0,0574	0,0018	0,1916	0,0101	6,0	33,2	271,2	343,0	0,79	0,475	0,01	0,48	0,01	0,51	0,07	98	94
0,5792	0,0317	0,0768	0,0010	0,94	13,0211	0,1706	0,0547	0,0026	0,0384	0,0400	19,3	37,5	119,0	302,4	0,39	0,477	0,01	0,46	0,02	0,40	0,10	102	119
0,5545	0,0370	0,0770	0,0009	0,52	12,9877	0,1444	0,0522	0,0033	0,2315	0,0148	7,4	22,3	256,4	224,5	1,14	0,478	0,01	0,45	0,02	0,30	0,13	106	161
0,5837	0,0343	0,0771	0,0009	0,44	12,9662	0,1445	0,0549	0,0031	0,2129	0,0222	5,1	51,2	921,6	518,6	1,78	0,479	0,01	0,47	0,02	0,41	0,12	102	117
0,5969	0,0312	0,0775	0,0010	0,31	12,9057	0,1662	0,0559	0,0027	0,1890	0,0088	3,2	40,7	395,5	406,6	0,97	0,481	0,01	0,48	0,02	0,45	0,11	101	107
0,6228	0,0292	0,0775	0,0009	0,46	12,9069	0,1573	0,0583	0,0026	0,2091	0,0292	4,6	18,3	256,9	166,1	1,55	0,481	0,01	0,49	0,02	0,54	0,10	97	88
0,5955	0,0313	0,0776	0,0009	0,62	12,8883	0,1469	0,0557	0,0027	0,1713	0,0299	16,6	26,4	228,8	231,3	0,99	0,482	0,01	0,47	0,02	0,44	0,11	101	109
0,6643	0,0356	0,0778	0,0010	0,17	12,8583	0,1658	0,0619	0,0032	0,0184	0,0155	3,9	34,5	64,8	434,7	0,15	0,483	0,01	0,52	0,02	0,67	0,12	93	71
0,5932	0,0459	0,0783	0,0011	0,30	12,7634	0,1869	0,0549	0,0041	0,2602	0,0352	3,5	19,7	247,9	177,0	1,40	0,486	0,01	0,47	0,03	0,41	0,16	102	118
0,6171	0,0236	0,0790	0,0008	0,68	12,6582	0,1331	0,0567	0,0021	0,1581	0,0066	2,2	50,8	417,8	537,3	0,78	0,490	0,01	0,49	0,02	0,48	0,09	100	102
0,6147	0,0244	0,0791	0,0011	0,18	12,6399	0,1765	0,0563	0,0021	0,2171	0,0167	5,8	52,5	1108,6	496,1	2,24	0,491	0,01	0,49	0,02	0,47	0,08	100	105
0,6677	0,0653	0,0791	0,0008	0,40	12,6347	0,1346	0,0612	0,0056	0,2100	0,0661	12,3	14,6	336,9	129,8	2,60	0,491	0,01	0,52	0,04	0,65	0,20	94	76
0,5941	0,0528	0,0793	0,0010	0,95	12,6048	0,1594	0,0543	0,0042	0,1643	0,0761	4,7	42,9	430,6	243,6	1,77	0,492	0,01	0,47	0,03	0,38	0,15	103	128
0,6057	0,0365	0,0795	0,0011	0,56	12,5741	0,1681	0,0552	0,0033	0,4129	0,0577	5,4	30,0	584,2	223,6	2,61	0,493	0,01	0,48	0,02	0,42	0,13	102	116
0,6702	0,0360	0,0799	0,0010	0,38	12,5151	0,1520	0,0608	0,0034	0,2265	0,0441	22,8	26,1	150,6	218,1	0,69	0,496	0,01	0,52	0,02	0,63	0,13	95	78
0,6246	0,0474	0,0800	0,0010	0,54	12,4937	0,1549	0,0566	0,0040	0,1205	0,0364	19,7	30,7	544,9	294,0	1,85	0,496	0,01	0,49	0,03	0,48	0,15	100	104
0,6318	0,0297	0,0804	0,0009	0,76	12,4350	0,1414	0,0570	0,0024	0,0262	0,0075	4,1	47,4	63,0	505,2	0,13	0,499	0,01	0,50	0,02	0,49	0,09	100	101
0,6902	0,0387	0,0807	0,0011	0,20	12,3887	0,1740	0,0620	0,0034	0,1344	0,0358	17,8	15,1	178,3	134,7	1,32	0,500	0,01	0,53	0,02	0,68	0,12	93	74
0,6196	0,0342	0,0807	0,0010	0,49	12,3860	0,1577	0,0557	0,0033	0,2960	0,0352	14,5	13,2	71,4	107,5	0,67	0,501	0,01	0,49	0,02	0,44	0,14	102	114
0,6069	0,0421	0,0808	0,0009	0,05	12,3733	0,1304	0,0545	0,0038	0,2823	0,0394	17,7	18,6	179,4	147,3	1,22	0,501	0,01	0,48	0,03	0,39	0,13	104	128
0,6427	0,0288	0,0809	0,0008	0,33	12,3579	0,1197	0,0576	0,0023	0,0702	0,0208	2,5	46,3	202,9	505,0	0,40	0,502	0,01	0,50	0,02	0,52	0,09	99	97
0,6134	0,0290	0,0817	0,0011	0,81	12,2385	0,1598	0,0544	0,0025	0,1991	0,0135	5,0	74,2	1174,0	759,9	1,55	0,506	0,01	0,49	0,02	0,39	0,10	104	130
0,6505	0,0306	0,0820	0,0009	0,65	12,1954	0,1383	0,0575	0,0025	0,1508	0,0259	7,0	33,2	257,3	322,5	0,80	0,508	0,01	0,51	0,02	0,51	0,10	99	99
0,6477	0,0365	0,0821	0,0011	0,57	12,1825	0,1628	0,0572	0,0029	0,0479	0,0147	6,0	24,8	60,1	266,8	0,23	0,509	0,01	0,51	0,02	0,50	0,11	100	101
0,6042	0,0589	0,0831	0,0009	0,29	12,0371	0,1322	0,0527	0,0046	0,1744	0,0411	27,1	23,3	92,3	190,8	0,48	0,514	0,01	0,48	0,03	0,32	0,17	107	161
0,6520	0,0255	0,0832	0,0009	0,45	12,0240	0,1266	0,0569	0,0022	0,2335	0,0311	4,7	49,4	787,4	456,9	1,72	0,515	0,01	0,51	0,02	0,49	0,09	101	105
0,6774	0,0248	0,0840	0,0009	0,21	11,9018	0,1344	0,0585	0,0019	0,2042	0,0078	7,0	59,6	562,6	552,8	1,02	0,520	0,01	0,53	0,02	0,55	0,07	99	94
0,7055	0,0362	0,0840	0,0012	0,09	11,9064	0,1691	0,0609	0,0031	0,2455	0,0959	11,8	31,1	415,4	231,2	1,80	0,520	0,01	0,54	0,02	0,64	0,11	95	81
0,6439	0,0314	0,0842	0,0012	0,73	11,8787	0,1672	0,0555	0,0024	0,2115	0,0276	13,9	25,8	256,9	220,7	1,16	0,521	0,01	0,51	0,02	0,43	0,09	103	120
0,7396	0,0769	0,0853	0,0009	0,46	11,7270	0,1244	0,0629	0,0063	0,1182	0,0469	7,4	14,4	165,0	139,8	1,18	0,528	0,01	0,56	0,05	0,71	0,18	93	74
0,6468	0,0373	0,0854	0,0011	0,34	11,7059	0,1495	0,0549	0,0031	0,1248	0,0218	10,9	23,2	198,9	216,1	0,92	0,528	0,01	0,51	0,02	0,41	0,12	104	129
0,6402	0,0526	0,0868	0,0011	0,39	11,5245	0,1411	0,0535	0,0042	0,1247	0,0253	5,1	26,3	123,6	226,8	0,55	0,536	0,01	0,50	0,03	0,35	0,17	106	153

## 16T56 CONTINUACIÓN

0,6788	0,0332	0,0881	0,0009	0,73	11,3511	0,1175	0,0559	0,0026	0,1474	0,0139	6,7	33,9	355,6	305,1	1,17	0,544	0,01	0,53	0,02	0,45	0,10	103	121
0,7216	0,0489	0,0887	0,0010	0,45	11,2693	0,1320	0,0590	0,0037	0,1494	0,0459	8,3	14,1	107,7	111,4	0,97	0,548	0,01	0,55	0,03	0,57	0,13	99	96
0,7061	0,0584	0,0914	0,0013	0,09	10,9442	0,1498	0,0560	0,0045	0,0379	0,0256	7,8	14,6	12,3	139,7	0,09	0,564	0,01	0,54	0,04	0,45	0,17	103	124
0,7447	0,0334	0,0919	0,0008	0,51	10,8783	0,0979	0,0588	0,0028	0,4802	0,0336	9,1	34,8	430,2	235,8	1,82	0,567	0,01	0,57	0,02	0,56	0,11	100	101
0,8115	0,0315	0,0943	0,0009	0,88	10,6078	0,1019	0,0624	0,0022	0,4013	0,0431	0,3	59,2	860,5	390,5	2,20	0,581	0,01	0,60	0,02	0,69	0,07	96	84
0,7617	0,0748	0,0944	0,0012	0,47	10,5935	0,1386	0,0585	0,0058	0,3969	0,0593	19,9	21,8	310,1	134,3	2,31	0,581	0,01	0,58	0,05	0,55	0,20	101	105
0,7978	0,0339	0,0979	0,0011	0,64	10,2162	0,1132	0,0591	0,0024	0,3459	0,0133	4,0	62,5	1038,7	544,9	1,87	0,602	0,01	0,60	0,02	0,57	0,09	101	105
0,8028	0,0874	0,0980	0,0015	0,43	10,2074	0,1595	0,0594	0,0060	0,2758	0,0331	14,3	13,3	121,9	80,9	1,51	0,602	0,01	0,60	0,05	0,58	0,20	100	103
0,8251	0,0507	0,0993	0,0012	0,86	10,0698	0,1202	0,0603	0,0036	0,1327	0,0240	4,9	14,7	84,7	76,0	1,11	0,610	0,01	0,61	0,03	0,61	0,12	99	99
0,8669	0,0404	0,1053	0,0011	0,49	9,4945	0,0999	0,0597	0,0029	0,1007	0,0128	3,1	38,8	133,2	329,0	0,41	0,646	0,01	0,63	0,02	0,59	0,11	101	108
0,9334	0,0356	0,1091	0,0014	0,66	9,1622	0,1180	0,0620	0,0023	0,0876	0,0316	8,1	58,6	417,5	416,3	1,00	0,668	0,01	0,67	0,02	0,68	0,08	99	98
1,0502	0,0497	0,1169	0,0013	0,99	8,5547	0,0923	0,0652	0,0026	0,1194	0,0347	1,7	30,2	12,3	122,3	0,10	0,713	0,01	0,73	0,02	0,78	0,08	97	91
1,2255	0,0864	0,1260	0,0020	1,00	7,9379	0,1247	0,0706	0,0029	0,1867	0,0956	1,2	114,4	396,7	362,1	1,10	0,765	0,01	0,81	0,03	0,95	0,06	94	80
1,4223	0,0605	0,1449	0,0013	0,90	6,8994	0,0637	0,0712	0,0028	0,0608	0,0048	3,2	111,4	288,2	777,0	0,37	0,873	0,01	0,90	0,03	0,96	0,08	97	90
1,4866	0,0448	0,1502	0,0019	0,92	6,6595	0,0863	0,0718	0,0021	0,0966	0,0135	5,9	67,1	233,8	357,1	0,66	0,902	0,01	0,93	0,02	0,98	0,06	97	92
1,4286	0,0497	0,1515	0,0016	0,95	6,5994	0,0710	0,0684	0,0022	0,0957	0,0441	5,5	51,9	309,3	330,7	0,94	0,910	0,01	0,90	0,02	0,88	0,07	100	103
1,5857	0,0620	0,1587	0,0018	0,95	6,3013	0,0732	0,0725	0,0028	0,2470	0,0121	1,9	42,1	188,1	243,6	0,77	0,950	0,01	0,97	0,02	1,00	0,08	98	95
1,6444	0,0586	0,1621	0,0018	0,01	6,1681	0,0666	0,0736	0,0023	0,0580	0,0047	1,4	92,8	144,8	504,9	0,29	0,969	0,01	0,99	0,02	1,03	0,06	98	94
1,6478	0,0487	0,1626	0,0018	0,94	6,1509	0,0669	0,0735	0,0019	0,1902	0,0086	2,5	104,4	842,3	634,0	1,33	0,971	0,01	0,99	0,02	1,03	0,05	98	94
1,6996	0,0590	0,1678	0,0015	0,27	5,9604	0,0534	0,0735	0,0024	0,0693	0,0024	1,7	107,8	191,4	587,1	0,33	1,000	0,01	1,01	0,02	1,03	0,07	99	97
1,6272	0,0800	0,1682	0,0021	0,69	5,9436	0,0748	0,0701	0,0033	0,1158	0,0103	7,0	27,7	154,1	156,1	0,99	1,002	0,01	0,98	0,03	0,93	0,10	102	107
1,8340	0,0931	0,1772	0,0025	0,90	5,6449	0,0812	0,0751	0,0039	0,1630	0,0215	4,7	24,3	62,1	100,3	0,62	1,051	0,01	1,06	0,04	1,07	0,11	99	98
1,8186	0,0602	0,1782	0,0021	0,09	5,6120	0,0658	0,0740	0,0024	0,1430	0,0134	1,9	55,0	221,5	253,4	0,87	1,057	0,01	1,05	0,02	1,04	0,06	100	101
1,7881	0,0585	0,1785	0,0019	0,73	5,6028	0,0599	0,0727	0,0021	0,0232	0,0142	0,0	74,8	84,2	372,5	0,23	1,059	0,01	1,04	0,02	1,00	0,06	101	105
1,8771	0,0626	0,1825	0,0024	0,78	5,4780	0,0732	0,0746	0,0024	0,1595	0,0101	2,6	44,6	138,4	190,2	0,73	1,081	0,01	1,07	0,02	1,06	0,07	100	102
1,8441	0,1115	0,1851	0,0023	0,68	5,4023	0,0678	0,0723	0,0042	0,1283	0,0358	6,5	72,0	87,8	346,5	0,25	1,095	0,01	1,06	0,04	0,99	0,10	103	110
1,8455	0,1192	0,1863	0,0032	0,12	5,3669	0,0934	0,0718	0,0047	0,1640	0,0540	8,9	10,0	78,2	42,6	1,83	1,101	0,02	1,06	0,04	0,98	0,14	103	112
1,8949	0,0608	0,1868	0,0022	0,97	5,3537	0,0627	0,0736	0,0023	0,1154	0,0105	2,9	44,0	166,3	217,7	0,76	1,104	0,01	1,08	0,02	1,03	0,06	102	107
1,9017	0,0556	0,1869	0,0017	0,73	5,3496	0,0491	0,0738	0,0022	0,0875	0,0282	0,5	119,8	11,2	560,1	0,02	1,105	0,01	1,08	0,02	1,04	0,06	102	106
1,9671	0,0805	0,1899	0,0024	0,76	5,2663	0,0671	0,0751	0,0030	0,0592	0,0084	0,9	43,4	43,4	203,7	0,21	1,121	0,01	1,10	0,03	1,07	0,08	101	104
2,0207	0,0697	0,1917	0,0022	0,51	5,2165	0,0594	0,0765	0,0025	0,1184	0,0235	3,3	83,4	273,9	355,8	0,77	1,131	0,01	1,12	0,02	1,11	0,07	100	102
1,9562	0,0771	0,1922	0,0021	0,76	5,2024	0,0555	0,0738	0,0027	0,0903	0,0085	1,6	98,5	379,5	441,8	0,86	1,133	0,01	1,10	0,03	1,04	0,07	102	109
2,1736	0,1022	0,1932	0,0024	0,92	5,1768	0,0651	0,0816	0,0038	0,1944	0,0239	7,9	50,2	224,5	271,3	0,83	1,139	0,01	1,17	0,04	1,24	0,09	97	92
2,0449	0,0991	0,1975	0,0025	0,85	5,0622	0,0647	0,0751	0,0035	0,1332	0,0160	8,9	18,0	74,0	72,3	1,03	1,162	0,01	1,13	0,03	1,07	0,10	102	108
2,1772	0,0996	0,1983	0,0021	0,68	5,0429	0,0541	0,0796	0,0038	0,1691	0,0225	6,1	49,5	219,0	212,6	1,03	1,166	0,01	1,17	0,03	1,19	0,10	99	98
2,1329	0,0905	0,2025	0,0025	0,01	4,9386	0,0599	0,0764	0,0029	0,0666	0,0938	1,3	71,7	217,4	318,3	0,68	1,189	0,01	1,16	0,03	1,11	0,07	102	107
2,2391	0,0815	0,2044	0,0022	0,51	4,8912	0,0531	0,0794	0,0028	0,1684	0,0088	4,5	31,0	68,3	117,4	0,58	1,199	0,01	1,19	0,03	1,18	0,07	100	101
2,9208	0,0969	0,2386	0,0032	0,69	4,1908	0,0565	0,0888	0,0027	0,3432	0,1537	2,0	31,4	-29,8	117,2	-0,25	1,380	0,02	1,39	0,03	1,40	0,06	99	98
2,9377	0,0924	0,2397	0,0029	0,96	4,1720	0,0509	0,0889	0,0027	0,1284	0,0117	0,6	64,2	188,1	220,5	0,85	1,385	0,02	1,39	0,02	1,40	0,06	99	98
2,9272	0,1137	0,2495	0,0025	0,74	4,0082	0,0404	0,0851	0,0029	0,0743	0,0283	1,4	70,6	234,9	254,2	0,92	1,436	0,01	1,39	0,03	1,32	0,07	103	108
3,0649	0,1027	0,2506	0,0034	0,81	3,9903	0,0537	0,0887	0,0028	0,1621	0,0245	3,9	46,7	272,7	157,5	1,73	1,442	0,02	1,42	0,03	1,40	0,06	101	103
3,0592	0,1037	0,2517	0,0024	0,97	3,9737	0,0373	0,0882	0,0028	0,1338	0,0080	1,1	99,9	629,0	353,7	1,78	1,447	0,01	1,42	0,03	1,39	0,06	101	104
3,4026	0,1200	0,2609	0,0030	0,89	3,8335	0,0445	0,0946	0,0029	0,1104	0,0119	1,9	70,7	149,2	211,5	0,71	1,494	0,02	1,51	0,03	1,52	0,06	99	98
5,0936	0,1888	0,3231	0,0033	0,78	3,0949	0,0318	0,1143	0,0039	0,2654	0,0146	0,6	74,0	450,3	163,7	2,75	1,805	0,02	1,84	0,03	1,87	0,06	98	96
5,1029	0,1675	0,3333	0,0041	0,72	3,0006	0,0370	0,1110	0,0031	0,2181	0,0077	0,9	51,4	92,1	111,9	0,82	1,854	0,02	1,84	0,03	1,82	0,05	100	102
11,6814	0,2948	0,4522	0,0048	0,01	2,2115	0,0237	0,1874	0,0048	0,2132	0,0046	-30,5	-10,5	-59,4	-28,5	2,08	2,405	0,02	2,58	0,02	2,72	0,04	93	88

16T06

RATIOS										AGES										Conc.	Conc.		
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total	Pb rad	Th	U	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/238</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc.	Conc.
um, 6Hz, 7mJ, 32µm, ablation time - 40s.										common	ppm	ppm	ppm	ppm	%	206/238	207/235	207/206	207/235	207/206	207/235	207/206	
0.4611	0.0326	0.0601	0.0008	0.87	16.6479	0.2341	0.0557	0.0035	0.4588	0.0524	36.14	50.3	708.6	281.7	2.516	0.376	0.005	0.385	0.023	0.439	0.128	97	85
0.434	0.025	0.0607	0.0006	0.9	16.4669	0.1743	0.0518	0.0029	0.3408	0.0564	40.17	95.6	1479	679.3	2.177	0.38	0.004	0.366	0.018	0.278	0.122	103	136
0.5145	0.0109	0.0676	0.0005	0.96	14.8036	0.1149	0.0552	0.0012	0.1502	0.0087	2.97	51	261	532	0.49	0.421	0.003	0.421	0.007	0.422	0.049	99	99
0.5865	0.0491	0.0725	0.0011	0.67	13.791	0.2079	0.0587	0.0045	0.1887	0.0321	21.01	38.3	336.3	489.5	0.716	0.451	0.007	0.469	0.031	0.555	0.169	96	81
0.5912	0.011	0.0759	0.0005	0.73	13.1739	0.0929	0.0565	0.0012	0.0855	0.0084	0	44	90	485	0.185	0.472	0.003	0.472	0.007	0.472	0.046	99	99
0.6079	0.0136	0.0767	0.0006	0.81	13.0415	0.1029	0.0575	0.0015	0.0907	0.0107	0	35	88	391	0.225	0.476	0.004	0.482	0.009	0.511	0.056	98	93
0.5497	0.0534	0.077	0.001	0.81	12.9894	0.1682	0.0518	0.0051	0.2029	0.037	19.41	41.1	438.5	308.2	1.423	0.478	0.006	0.445	0.034	0.276	0.183	107	173
0.6517	0.0344	0.0771	0.0014	0.9	12.9741	0.2311	0.0613	0.003	0.289	0.0307	18.67	66.8	607.1	456.9	1.329	0.479	0.008	0.51	0.021	0.651	0.11	93	73
0.5732	0.0277	0.0784	0.0009	0.65	12.7625	0.1408	0.0531	0.0026	0.2562	0.0266	5.66	51.3	421.5	444.1	0.949	0.486	0.005	0.46	0.018	0.331	0.107	105	146
0.6235	0.0161	0.0788	0.0007	0.09	12.6947	0.1049	0.0574	0.0016	0.2818	0.0302	5.4	35	493	329	1.496	0.489	0.004	0.492	0.01	0.507	0.065	99	96
0.6252	0.0156	0.0792	0.0007	0.87	12.6245	0.1063	0.0572	0.0016	0.0632	0.0104	3.25	32	49	361	0.137	0.491	0.004	0.493	0.01	0.501	0.062	99	98
0.65	0.0324	0.0803	0.001	0.42	12.45	0.1561	0.0587	0.0028	0.2819	0.0407	16.44	16.2	173.3	130	1.332	0.496	0.006	0.509	0.02	0.556	0.109	97	89
0.6012	0.0389	0.0822	0.001	0.89	12.1624	0.1501	0.053	0.0033	0.2132	0.0308	17.01	90.6	1064	742.4	1.46	0.509	0.006	0.478	0.025	0.33	0.137	106	154
0.6521	0.0569	0.0837	0.0013	0.8	11.9454	0.1821	0.0565	0.0047	0.1595	0.0488	13.18	24.8	80.6	174.1	0.463	0.518	0.008	0.51	0.035	0.472	0.158	101	109
0.6242	0.0793	0.0842	0.0014	0.64	11.8696	0.1953	0.0537	0.0072	0.2082	0.0867	28.28	15.4	94.3	102.6	0.919	0.521	0.008	0.492	0.052	0.36	0.236	105	144
0.6776	0.0377	0.0871	0.0011	0.57	11.4747	0.1396	0.0564	0.003	0.1263	0.061	14.8	42.5	274.1	352.3	0.778	0.539	0.006	0.525	0.023	0.468	0.115	102	115
0.6603	0.0555	0.0877	0.0014	0.52	11.4009	0.1804	0.0546	0.0044	0.12	0.0307	14.18	54.2	286.2	473.4	0.605	0.542	0.008	0.515	0.035	0.396	0.18	105	136
0.6473	0.0352	0.0885	0.001	0.71	11.2945	0.1312	0.053	0.003	0.2889	0.0672	39.17	53.9	498.3	338.1	1.474	0.547	0.006	0.507	0.022	0.33	0.121	107	165
0.7085	0.0481	0.0902	0.0015	0.74	11.0855	0.1785	0.057	0.0039	0.3161	0.0442	7.85	50.8	498.6	362.9	1.374	0.557	0.009	0.544	0.029	0.49	0.149	102	113
0.6934	0.0402	0.0903	0.0014	0.48	11.0702	0.1661	0.0557	0.0037	0.0692	0.0493	17.77	33	123.7	272.6	0.454	0.558	0.008	0.535	0.024	0.439	0.139	104	126
0.6973	0.0476	0.0911	0.0013	0.63	10.9794	0.1541	0.0555	0.004	0.1067	0.0295	6.01	38.4	112.4	370.4	0.303	0.562	0.006	0.537	0.03	0.433	0.147	104	129
0.724	0.0863	0.0912	0.0021	0.73	10.9701	0.2586	0.0576	0.0059	0.2184	0.0501	17.1	22.3	220.2	177.9	1.238	0.562	0.013	0.553	0.047	0.515	0.207	101	109
0.7049	0.0429	0.0914	0.0012	0.58	10.9441	0.1459	0.056	0.0036	0.222	0.037	10.04	42.1	532.5	353.4	1.507	0.564	0.007	0.542	0.026	0.45	0.127	104	125
0.6907	0.0496	0.0918	0.0012	0.9	10.8906	0.1474	0.0546	0.0037	0.0958	0.0286	12.81	44.2	96.1	331.7	0.29	0.566	0.007	0.533	0.029	0.394	0.137	106	143
0.7095	0.0396	0.0934	0.0014	0.66	10.7016	0.1634	0.0551	0.0031	0.1718	0.0228	11.67	53.9	555.7	433.4	1.282	0.576	0.008	0.544	0.023	0.415	0.116	105	138
0.6904	0.0734	0.095	0.0014	0.76	10.5317	0.1523	0.0527	0.0055	0.2524	0.0564	18.33	27.3	255.6	204.6	1.25	0.585	0.008	0.533	0.042	0.317	0.19	109	184
0.7625	0.0514	0.0951	0.0012	0.88	10.5148	0.1334	0.0581	0.0039	0.1862	0.056	15.76	31.7	348	284.9	1.221	0.586	0.007	0.575	0.03	0.535	0.144	101	109
0.7149	0.0526	0.0969	0.0016	0.59	10.3234	0.1757	0.0535	0.0039	0.1623	0.0432	15.31	40.4	313.3	309.3	1.013	0.596	0.01	0.548	0.034	0.351	0.114	108	169
0.7665	0.0424	0.098	0.0013	0.81	10.2022	0.1353	0.0567	0.0032	0.2274	0.0472	13.73	61.9	1114	503.1	2.214	0.603	0.008	0.578	0.026	0.48	0.128	104	125
0.7485	0.0337	0.0986	0.0012	0.65	10.1412	0.1236	0.0551	0.0027	0.4198	0.0578	27.19	46.9	618	263.1	2.349	0.606	0.007	0.567	0.02	0.414	0.1	106	146
0.7652	0.0389	0.0987	0.0014	0.66	10.1297	0.1415	0.0577	0.0031	0.0701	0.0457	18.57	38.1	114.3	296.4	0.386	0.607	0.008	0.588	0.022	0.518	0.117	103	117
0.7649	0.0512	0.0989	0.001	0.49	10.1149	0.1021	0.0561	0.0039	0.1529	0.0408	15.96	48	215.8	370.8	0.582	0.608	0.006	0.577	0.03	0.457	0.15	105	132
0.7789	0.0601	0.0992	0.0013	0.39	10.0759	0.1311	0.0569	0.0046	0.1093	0.0629	21.93	30.2	120.4	222.1	0.542	0.61	0.008	0.585	0.035	0.488	0.149	104	124
0.8017	0.0689	0.1008	0.0021	0.43	9.9199	0.2023	0.0577	0.005	0.2455	0.0289	11.28	36.6	327.5	282.4	1.16	0.619	0.012	0.598	0.036	0.518	0.176	103	119
0.8369	0.0425	0.1047	0.0013	0.51	9.5535	0.1187	0.058	0.003	0.1022	0.0401	11.29	42.4	235.2	324	0.726	0.642	0.008	0.617	0.025	0.529	0.109	103	121
0.7921	0.0483	0.1066	0.0014	0.32	9.3777	0.1237	0.0539	0.003	0.2989	0.0742	36.8	53.4	544.7	293.6	1.855	0.653	0.008	0.592	0.027	0.366	0.118	110	178
0.8445	0.0489	0.1096	0.0014	0.81	9.1267	0.1201	0.0559	0.0037	0.1845	0.0378	17.32	58.3	511.8	361.3	1.417	0.67	0.008	0.622	0.028	0.448	0.149	107	149
0.928	0.0776	0.112	0.0016	0.88	8.9255	0.1298	0.0601	0.0051	0.1885	0.0885	13.03	26.4	141.3	138.6	1.019	0.685	0.009	0.667	0.042	0.606	0.177	102	112
1.1323	0.0625	0.1301	0.0021	0.81	7.6858	0.122	0.0631	0.0038	0.5726	0.0842	22.54	65.2	859.6	236.8	3.63	0.788	0.012	0.769	0.03	0.712	0.128	102	110
1.4972	0.0728	0.1488	0.0022	0.97	6.7222	0.1007	0.073	0.003	0.0889	0.0121	4.96	150	303.3	642.2	0.472	0.894	0.012	0.929	0.027	1.014	0.084	96	88
1.7814	0.0731	0.163	0.002	0.91	6.1347	0.0746	0.0793	0.0032	0.041	0.0158	8.18	104.2	277.2	548.1	0.506	0.973	0.011	1.039	0.028	1.179	0.081	93	82
1.6851	0.0221	0.1704	0.001	0.97	5.8675	0.0341	0.0717	0.001	0.0096	0.0024	0	98	13	516	0.026	1.014	0.005	1.003	0.009	0.978	0.03	101	103
1.8526	0.0654	0.172	0.0021	0.93	5.8152	0.0711	0.0781	0.0028	0.051	0.0142	7.68	129.3	962.4	731	1.316	1.023	0.012	1.064	0.024	1.15	0.072	96	88
1.8665	0.0267	0.1745	0.001	0.99	5.7316	0.0335	0.0776	0.0012	0.0546	0.0134	0.91	117	122	537	0.227	1.037	0.006	1.069	0.01	1.136	0.031	96	91
1.7727	0.0356	0.1769	0.0014	0.35	5.6543	0.0452	0.0727	0.0016	0.0814	0.0052	0.17	41	38	196	0.194	1.05	0.008	1.035	0.013	1.005	0.044	101	104
1.8077	0.0354	0.1781	0.0014	0.97	5.6157	0.0439	0.0736	0.0017	0.1336	0.0157	1.55	42	73	189	0.386	1.056	0.008	1.048	0.013	1.031	0.047	100	102

## 16T06 CONTINUACIÓN

1,7959	0,0252	0,1804	0,001	0,96	5,5431	0,0314	0,0722	0,0011	0,0041	0,0038	0,29	146	9	740	0,012	1,069	0,006	1,044	0,009	0,992	0,031	102	107
1,9099	0,0989	0,1874	0,0025	0,79	5,3375	0,0715	0,0739	0,0036	0,0888	0,027	9,8	53,3	207	253,4	0,817	1,107	0,014	1,085	0,034	1,04	0,094	102	106
1,9573	0,0427	0,1882	0,0017	0,84	5,3144	0,0468	0,0754	0,0018	0,1449	0,007	0,21	39	58	167	0,348	1,111	0,009	1,101	0,015	1,08	0,049	100	102
2,0043	0,0862	0,1897	0,0027	0,75	5,2727	0,0749	0,0766	0,0032	0,1888	0,0291	9,23	91,2	319,9	368,1	0,869	1,12	0,015	1,117	0,027	1,112	0,083	100	100
1,9922	0,0324	0,1899	0,0013	0,03	5,2662	0,0354	0,0761	0,0013	0,149	0,0039	0,45	52	93	222	0,421	1,121	0,007	1,113	0,011	1,097	0,035	100	102
2,0795	0,0485	0,1924	0,0016	0,69	5,1962	0,0441	0,0784	0,0021	0,076	0,0236	0,31	21	17	92	0,184	1,135	0,009	1,142	0,016	1,156	0,052	99	98
2,0443	0,0301	0,1951	0,0012	0,95	5,1267	0,0309	0,076	0,0012	0,0352	0,0206	0,86	92	103	402	0,255	1,149	0,006	1,13	0,01	1,095	0,032	101	104
2,1075	0,0849	0,198	0,0026	0,75	5,0507	0,0668	0,0772	0,0033	0,1179	0,0502	22,15	64,6	104,3	231,7	0,45	1,165	0,014	1,151	0,027	1,126	0,081	101	103
2,0756	0,1046	0,2001	0,0026	0,49	4,9985	0,0649	0,0752	0,0035	0,1457	0,0206	4,1	65,4	163	268,5	0,607	1,176	0,014	1,141	0,034	1,075	0,094	103	109
2,135	0,0369	0,2006	0,0015	0,99	4,9849	0,0365	0,0772	0,0015	0,1002	0,0096	0,59	58	64	239	0,268	1,179	0,008	1,16	0,012	1,126	0,039	101	104
2,1934	0,0328	0,2018	0,0013	0,36	4,9556	0,0317	0,0788	0,0013	0,1865	0,0181	0,23	81	146	316	0,462	1,185	0,007	1,179	0,01	1,168	0,032	100	101
2,6742	0,1327	0,2048	0,0031	0,91	4,8829	0,0734	0,0947	0,005	0,324	0,0882	28,78	78,8	382,5	211,2	1,812	1,201	0,017	1,321	0,043	1,522	0,106	90	78
2,2892	0,0557	0,2063	0,0018	0,77	4,8466	0,0431	0,0805	0,0022	0,0966	0,0087	5,71	17	18	71	0,251	1,209	0,01	1,209	0,017	1,208	0,056	100	100
2,2723	0,0502	0,2066	0,0019	0,5	4,84	0,0443	0,0798	0,002	0,1349	0,0052	0,57	27	42	109	0,383	1,211	0,01	1,204	0,016	1,191	0,051	100	101
2,2533	0,062	0,2075	0,0024	0,83	4,8186	0,0554	0,0787	0,0026	0,216	0,0186	4,89	20	44	73	0,609	1,216	0,013	1,198	0,02	1,166	0,068	101	104
2,4229	0,0348	0,2096	0,0014	0,99	4,7716	0,0318	0,0838	0,0013	0,0849	0,0049	0,21	109	95	389	0,245	1,227	0,007	1,249	0,01	1,289	0,029	98	95
2,2975	0,12	0,2157	0,0033	0,92	4,6355	0,071	0,0772	0,0034	0,1482	0,0127	4,32	88,4	259	344,5	0,752	1,259	0,017	1,212	0,034	1,127	0,088	103	111
2,3536	0,0316	0,2158	0,0013	0,98	4,6332	0,0275	0,0791	0,0011	0,0684	0,0029	0,27	107	99	433	0,228	1,26	0,007	1,229	0,01	1,174	0,029	102	107
2,8414	0,0722	0,2359	0,0022	0,73	4,2391	0,0402	0,0874	0,0026	0,1767	0,0237	0,72	28	32	101	0,313	1,365	0,012	1,367	0,019	1,368	0,058	99	99
2,8638	0,1013	0,2369	0,0027	0,96	4,2217	0,0474	0,0877	0,0028	0,1939	0,0254	4,92	152,3	347	395,8	0,877	1,37	0,014	1,372	0,025	1,376	0,064	99	99
2,8823	0,0479	0,2432	0,0017	0,62	4,1123	0,0288	0,086	0,0016	0,1567	0,0031	0,48	66	101	216	0,467	1,403	0,009	1,377	0,013	1,337	0,035	101	104
2,9962	0,1375	0,2448	0,0034	0,7	4,085	0,0572	0,0888	0,0042	0,1552	0,0142	12,2	40,8	73,1	127,8	0,572	1,412	0,018	1,407	0,035	1,399	0,092	100	100
2,9177	0,0534	0,2456	0,0019	0,08	4,0712	0,0315	0,0862	0,0018	0,2687	0,0054	0,24	43	90	128	0,706	1,416	0,01	1,387	0,014	1,342	0,039	102	105
2,7992	0,109	0,2498	0,0034	0,91	4,0028	0,0538	0,0813	0,0032	0,1391	0,0123	2,92	97,2	431,5	349,5	1,234	1,438	0,017	1,355	0,029	1,228	0,079	106	117
2,7159	0,0837	0,2519	0,0029	0,82	3,97	0,0455	0,0782	0,0025	0,099	0,0226	3,59	131,2	307,2	484,3	0,634	1,448	0,015	1,333	0,023	1,152	0,066	108	125
2,8269	0,1235	0,2536	0,0037	0,75	3,9436	0,0569	0,0809	0,0032	0,1728	0,0198	3,88	96,2	302,9	308,4	0,962	1,457	0,019	1,363	0,033	1,218	0,079	106	119
3,2417	0,071	0,2557	0,0026	0,95	3,9101	0,0399	0,0919	0,002	0,2017	0,0361	0,01	113	205	306	0,671	1,468	0,013	1,467	0,016	1,466	0,046	100	100
4,0968	0,1343	0,2601	0,0025	0,98	3,8445	0,0373	0,1142	0,0041	0,1434	0,0085	3,06	193,6	505	585,6	0,862	1,49	0,013	1,654	0,028	1,868	0,066	90	79
3,0638	0,1249	0,2678	0,0036	0,58	3,7348	0,0507	0,083	0,0029	0,1778	0,0241	9,83	44,3	169,4	140,9	1,203	1,529	0,018	1,424	0,031	1,269	0,07	107	120
3,1321	0,1539	0,2766	0,0049	0,88	3,6148	0,0636	0,0821	0,0041	0,1445	0,0464	16,36	38,7	147,6	124,9	1,182	1,574	0,025	1,441	0,04	1,248	0,098	109	126
7,2466	0,3348	0,4319	0,0055	0,98	2,3155	0,0294	0,1217	0,0059	0,1168	0,0241	6,12	96,1	440,4	192,7	2,285	2,314	0,025	2,142	0,044	1,981	0,088	108	116

RATIOS											AGES					Conc.	Conc.						
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total	Pb rad	Th	U	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	206/238	206/238
um, 6H	mJ, 3s	n, ablat	n time	s.							%	ppm	ppm	ppm		-1						207/25	207/20
0.5458	0.036	0.0685	0.0011	0.84	14.5973	0.242	0.0578	0.0036	0.2994	0.0281	19.68	69.2	678.6	552.9	1.227	0.427	0.007	0.442	0.024	0.521	0.137	96	81
0.555	0.0257	0.0737	0.0009	0.11	13.5643	0.1736	0.0546	0.0024	0.1756	0.0269	14.29	48.1	502	483	1.039	0.459	0.006	0.448	0.017	0.396	0.093	102	115
0.5606	0.0399	0.0749	0.001	0.23	13.3476	0.1765	0.0543	0.0037	0.2177	0.0489	15.98	28.2	311.2	250.4	1.243	0.466	0.006	0.452	0.026	0.382	0.133	103	121
0.5923	0.0329	0.0761	0.0011	0.31	13.1439	0.1907	0.0565	0.0028	0.0195	0.0091	2.73	30.8	34.1	367.6	0.093	0.473	0.007	0.472	0.021	0.47	0.116	100	100
0.5484	0.0431	0.0768	0.0009	0.52	13.0149	0.1536	0.0518	0.0038	0.3339	0.0376	9.42	28.4	347.2	254.1	1.367	0.477	0.005	0.444	0.027	0.275	0.146	107	173
0.6319	0.0441	0.0769	0.001	0.67	12.999	0.1674	0.0596	0.0041	0.2365	0.0598	20.19	21.9	156.7	173.5	0.903	0.478	0.006	0.497	0.028	0.588	0.146	96	81
0.6094	0.032	0.0783	0.0011	0.83	12.772	0.1827	0.0564	0.0028	0.2018	0.0165	3.44	50.5	436.8	439	0.995	0.486	0.007	0.483	0.02	0.47	0.106	100	103
0.6395	0.0324	0.0789	0.0012	0.72	12.6668	0.192	0.0588	0.0029	0.3036	0.048	12.28	54.9	405.2	482.6	0.84	0.49	0.007	0.502	0.02	0.558	0.108	97	87
0.6195	0.0246	0.08	0.001	0.84	12.4924	0.1557	0.0561	0.0021	0.1886	0.0102	3.58	57.6	522	618.5	0.844	0.496	0.006	0.49	0.015	0.457	0.085	101	108
0.6489	0.0686	0.08	0.0011	0.49	12.5062	0.1707	0.0589	0.0059	0.2244	0.072	28.06	24.5	196.7	175	1.124	0.496	0.007	0.508	0.041	0.562	0.187	97	88
0.6322	0.0568	0.0799	0.0011	0.59	12.5142	0.1703	0.0574	0.0048	0.2469	0.0497	9.47	21.9	206.2	195.5	1.054	0.496	0.006	0.497	0.036	0.506	0.188	99	97
0.6183	0.0344	0.0806	0.0011	0.51	12.4041	0.1694	0.0556	0.0031	0.0701	0.0299	7.03	34.5	47.7	375	0.127	0.5	0.007	0.489	0.022	0.438	0.121	102	114
0.6064	0.0659	0.0808	0.0011	0.4	12.3692	0.1726	0.0544	0.0055	0.3689	0.0468	24.76	15.5	140.3	105.9	1.324	0.501	0.007	0.481	0.04	0.388	0.189	104	129
0.652	0.0392	0.0813	0.0011	0.47	12.3018	0.1606	0.0582	0.0036	0.1685	0.0212	11.91	27.8	116.6	230.9	0.505	0.504	0.006	0.51	0.024	0.536	0.134	98	93
0.6436	0.0341	0.0815	0.0014	0.51	12.2719	0.2038	0.0573	0.0029	0.2269	0.0204	6.93	43.8	445.9	408.2	1.092	0.505	0.008	0.505	0.021	0.502	0.108	100	100
0.6229	0.0354	0.0815	0.0014	0.75	12.2645	0.2074	0.0554	0.0028	0.1628	0.055	20.89	37	222.9	312.8	0.713	0.505	0.008	0.492	0.021	0.429	0.112	102	117
0.6124	0.0312	0.0815	0.0011	0.46	12.2687	0.1612	0.0545	0.0026	0.2295	0.0258	20.23	59.7	346.9	463.4	0.749	0.505	0.006	0.485	0.019	0.392	0.106	104	129
0.6289	0.0296	0.0822	0.0012	0.34	12.1722	0.1744	0.0555	0.0025	0.2287	0.0452	14.11	46.6	392.9	388.5	1.011	0.509	0.007	0.495	0.018	0.433	0.1	102	117
0.6523	0.0484	0.0825	0.0012	0.2	12.1271	0.1815	0.0574	0.0039	0.1911	0.0535	14.82	26.4	136.9	237.9	0.576	0.511	0.007	0.51	0.029	0.506	0.15	100	100
0.6374	0.0248	0.0827	0.0009	0.37	12.0964	0.1362	0.0559	0.002	0.1709	0.031	16.53	72.5	439.1	645.7	0.68	0.512	0.006	0.501	0.015	0.449	0.077	102	113
0.5954	0.0299	0.0827	0.0011	0.44	12.0954	0.1656	0.0522	0.0027	0.0767	0.0516	25.17	34.6	62.8	294.1	0.213	0.512	0.007	0.474	0.019	0.295	0.112	107	173
0.6566	0.0356	0.0826	0.0014	0.43	12.1004	0.2088	0.0576	0.0029	0.17	0.0443	8.77	62.3	679.4	583.6	1.164	0.512	0.008	0.513	0.022	0.516	0.11	99	99
0.6593	0.0407	0.0828	0.0014	0.2	12.0837	0.1997	0.0578	0.0033	0.1987	0.0333	9.47	33.9	280.2	290.6	0.964	0.513	0.008	0.514	0.024	0.522	0.121	99	98
0.6624	0.0294	0.0831	0.0012	0.26	12.0384	0.1703	0.0578	0.0026	0.2088	0.0083	5.2	77.9	530.9	745.5	0.712	0.514	0.007	0.516	0.018	0.523	0.099	99	98
0.6201	0.0399	0.0834	0.001	0.75	11.9861	0.1429	0.0539	0.0032	0.1465	0.016	5.74	92.3	698.5	1028	0.68	0.517	0.006	0.49	0.025	0.367	0.13	105	140
0.644	0.0309	0.0838	0.0013	0.9	11.9288	0.18	0.0557	0.0025	0.1654	0.0131	5.26	125.9	843.4	1206	0.699	0.519	0.008	0.505	0.019	0.441	0.097	102	117
0.6476	0.0491	0.084	0.0011	0.48	11.9047	0.1568	0.0559	0.0043	0.2214	0.0396	13.47	35.3	274.7	291.4	0.943	0.52	0.007	0.507	0.031	0.449	0.164	102	115
0.6519	0.0306	0.0842	0.001	0.71	11.8792	0.1353	0.0562	0.0026	0.2169	0.0346	18.45	56.4	389.5	522.1	0.746	0.521	0.006	0.51	0.018	0.459	0.099	102	113
0.6306	0.0314	0.0848	0.0012	0.73	11.7974	0.1661	0.054	0.0023	0.1457	0.0073	2.83	86.5	505.4	952.4	0.531	0.524	0.007	0.496	0.019	0.369	0.097	105	142
0.6699	0.0546	0.0847	0.0017	0.24	11.8084	0.2343	0.0574	0.0044	0.0918	0.0336	8.29	30.6	193.2	307.6	0.628	0.524	0.01	0.521	0.032	0.506	0.136	100	103
0.6582	0.0462	0.0852	0.0016	0.16	11.7383	0.2242	0.056	0.0039	0.1593	0.0334	6.06	25.8	257.2	233.9	1.099	0.527	0.01	0.513	0.029	0.454	0.15	102	116
0.6412	0.0258	0.0853	0.0012	0.88	11.7291	0.1667	0.0545	0.002	0.2415	0.0951	24.25	96.6	895.1	798.6	1.121	0.527	0.007	0.503	0.016	0.393	0.078	104	134
0.6299	0.0415	0.0853	0.0014	0.37	11.7181	0.1944	0.0535	0.0033	0.1521	0.0223	5.7	44.6	370.1	467.2	0.792	0.528	0.008	0.496	0.026	0.351	0.139	106	150
0.6696	0.0363	0.0855	0.0013	0.62	11.6929	0.1737	0.0568	0.0028	0.2996	0.0209	2.6	61.3	691.6	589.4	1.173	0.529	0.008	0.52	0.022	0.483	0.108	101	109
0.7065	0.0666	0.0864	0.0016	0.48	11.5749	0.2187	0.0593	0.0055	0.2818	0.0504	9.31	37.2	359.4	291.4	1.233	0.534	0.01	0.543	0.042	0.578	0.176	98	92
0.69	0.0448	0.0865	0.0013	0.29	11.5618	0.1747	0.0579	0.0037	0.1747	0.0226	9.24	47.4	483.9	410.5	1.179	0.535	0.008	0.533	0.028	0.524	0.141	100	101
0.6873	0.0384	0.0866	0.0015	0.51	11.5479	0.1964	0.0576	0.0028	0.1009	0.0362	15.26	35.2	120.4	315.8	0.381	0.535	0.009	0.531	0.022	0.513	0.103	100	104
0.675	0.0417	0.087	0.0013	0.81	11.4973	0.1775	0.0563	0.0033	0.168	0.0189	8.7	86.6	761.8	767.4	0.993	0.538	0.008	0.524	0.026	0.464	0.127	102	115
0.6684	0.0417	0.0874	0.0012	0.35	11.4478	0.1515	0.0555	0.0033	0.2491	0.0415	10.12	36.7	638.6	301.6	2.117	0.54	0.007	0.52	0.025	0.432	0.125	103	124
0.6751	0.0441	0.088	0.0014	0.47	11.3616	0.1758	0.0556	0.0038	0.2728	0.0386	13.49	46.6	412.4	365.8	1.127	0.544	0.008	0.524	0.028	0.438	0.146	103	124
0.632	0.0722	0.0888	0.0021	0.54	11.2583	0.2607	0.0516	0.006	0.1737	0.066	24.8	14.9	114.1	113.9	1.002	0.549	0.012	0.497	0.041	0.268	0.172	110	204
0.7194	0.0364	0.0896	0.0012	0.83	11.162	0.1452	0.0582	0.0029	0.1812	0.0255	4.4	43.8	253.9	406.1	0.625	0.553	0.007	0.55	0.021	0.539	0.114	100	102
0.6856	0.0336	0.0896	0.0011	0.64	11.162	0.1372	0.0555	0.0028	0.1562	0.0099	8.14	42.3	214.9	419.7	0.512	0.553	0.007	0.53	0.02	0.432	0.105	104	127
0.6883	0.0623	0.0899	0.0011	0.01	11.1263	0.1359	0.0555	0.0051	0.0502	0.035	11.7	39.9	46.1	363.5	0.127	0.555	0.007	0.532	0.038	0.434	0.167	104	127
0.7933	0.0463	0.092	0.0015	0.62	10.8702	0.1744	0.0625	0.0036	0.2185	0.0424	15.69	20.8	187.1	162.7	1.15	0.567	0.009	0.593	0.027	0.693	0.125	95	81
0.6945	0.0398	0.0922	0.0016	0.55	10.844	0.192	0.0546	0.003	0.2134	0.0327	11.73	50.5	434	461.3	0.941	0.569	0.01	0.536	0.024	0.397	0.11	106	143

## 17T04 CONTINUACIÓN

0,6856	0,0381	0,0925	0,001	0,54	10,8118	0,1132	0,0538	0,0028	0,163	0,0136	6,03	35,3	273,9	334,1	0,82	0,57	0,006	0,53	0,022	0,361	0,113	107	157
0,7547	0,0681	0,0928	0,0019	0,3	10,7723	0,2223	0,059	0,0055	0,1381	0,0296	8,6	32,9	160,3	333,4	0,481	0,572	0,011	0,571	0,04	0,566	0,193	100	101
0,7652	0,0442	0,0931	0,0013	0,49	10,7423	0,153	0,0596	0,0032	0,2566	0,0357	10,82	36,6	350,3	269,1	1,302	0,574	0,008	0,577	0,025	0,59	0,11	99	97
0,7122	0,0772	0,094	0,0016	0,06	10,6386	0,1812	0,055	0,0056	0,2396	0,0736	24,57	23,8	186,3	143,4	1,299	0,579	0,009	0,546	0,046	0,41	0,185	106	141
0,7694	0,0527	0,0966	0,0018	0,31	10,3535	0,1901	0,0578	0,0039	0,0582	0,0377	11,72	36,1	142,8	332,1	0,43	0,594	0,01	0,579	0,031	0,521	0,14	102	114
0,7979	0,0429	0,0967	0,002	0,99	10,339	0,2124	0,0598	0,0023	0,1021	0,0355	7,34	43,8	45,3	499,7	0,091	0,595	0,011	0,596	0,02	0,597	0,069	99	99
0,8159	0,0426	0,1013	0,0015	0,88	9,8754	0,148	0,0584	0,0029	0,257	0,0151	7,12	101,3	926,6	771,7	1,201	0,622	0,009	0,606	0,025	0,546	0,113	102	113
0,9046	0,0377	0,106	0,0014	0,15	9,4317	0,1227	0,0619	0,0024	0,2835	0,0098	2,47	49,3	299,4	346,4	0,864	0,65	0,008	0,654	0,02	0,67	0,081	99	96
0,9973	0,0633	0,1154	0,0014	0,17	8,6644	0,1053	0,0627	0,0037	0,0507	0,0235	8,81	35,9	53,4	269,5	0,198	0,704	0,008	0,702	0,031	0,697	0,125	100	100
0,9832	0,1222	0,1196	0,0025	0,36	8,3588	0,1724	0,0596	0,0081	0,2962	0,1258	31,67	18,8	84,6	79,8	1,061	0,728	0,014	0,695	0,064	0,589	0,255	104	123
1,3942	0,0632	0,1493	0,0025	0,25	6,6977	0,1099	0,0677	0,0027	0,2086	0,0164	4,8	37,2	167,4	197,5	0,848	0,897	0,014	0,886	0,027	0,86	0,085	101	104
1,4373	0,0531	0,1507	0,0018	0,99	6,6372	0,0801	0,0692	0,0024	0,2403	0,0527	2,85	22	73,5	274	0,268	0,905	0,01	0,905	0,022	0,904	0,077	100	100
1,4324	0,108	0,1523	0,0025	0,73	6,5646	0,1078	0,0682	0,0053	0,1207	0,024	9,11	31,4	52,5	239,1	0,22	0,914	0,014	0,903	0,048	0,875	0,176	101	104
1,7013	0,1063	0,1597	0,0025	0,9	6,2611	0,0989	0,0773	0,0042	0,259	0,0204	5,96	24,9	97,6	112	0,872	0,955	0,014	1,009	0,036	1,128	0,1	94	84
1,4867	0,0917	0,1633	0,0026	0,44	6,1226	0,0986	0,066	0,0036	0,0908	0,0236	8,38	28,5	102	164,2	0,621	0,975	0,014	0,925	0,035	0,807	0,107	105	120
1,9838	0,1695	0,1778	0,0037	0,52	5,6244	0,1165	0,0809	0,0068	0,379	0,1675	20,9	25,1	135,6	49,7	2,73	1,055	0,02	1,11	0,056	1,22	0,171	95	86
1,9277	0,0885	0,1794	0,0029	0,57	5,5753	0,0916	0,0779	0,0036	0,1536	0,0436	19,51	42,9	211,7	177,9	1,19	1,063	0,016	1,091	0,031	1,146	0,091	97	92
1,8292	0,0715	0,1817	0,0025	0,67	5,5032	0,0769	0,073	0,0024	0,1187	0,0061	1,5	114,4	249	526,5	0,473	1,076	0,014	1,056	0,026	1,014	0,069	101	106
2,0707	0,0808	0,1824	0,0025	0,82	5,4826	0,0748	0,0823	0,0028	0,1943	0,0182	3,43	98,6	425,9	439,8	0,968	1,08	0,014	1,139	0,026	1,254	0,066	94	86
1,9899	0,0937	0,1921	0,0033	0,9	5,2053	0,0882	0,0751	0,0029	0,1188	0,0167	2,2	92,9	171,3	388,5	0,441	1,133	0,017	1,112	0,03	1,072	0,079	101	105
2,0153	0,1024	0,1938	0,0025	0,2	5,161	0,067	0,0754	0,0035	0,0921	0,0193	6,61	42,4	125,2	180	0,696	1,142	0,014	1,121	0,034	1,08	0,095	101	105
2,1286	0,1997	0,1995	0,0039	0,52	5,0116	0,0986	0,0774	0,0081	0,2775	0,068	22,87	21,5	72,8	61,4	1,185	1,173	0,021	1,158	0,065	1,131	0,184	101	103
2,0639	0,1192	0,2004	0,0028	0,52	4,9899	0,0705	0,0747	0,0042	0,1158	0,0286	12,22	27,1	67,3	126,2	0,533	1,177	0,015	1,137	0,038	1,06	0,105	103	111
2,2413	0,135	0,2024	0,0031	0,55	4,9399	0,075	0,0803	0,0045	0,2714	0,0599	28,58	34,3	112,7	102,2	1,103	1,188	0,016	1,194	0,042	1,204	0,123	99	98
2,3761	0,1124	0,2094	0,0027	0,77	4,7764	0,0609	0,0823	0,0036	0,1996	0,0124	4,05	49,5	101,7	181,5	0,56	1,225	0,014	1,235	0,034	1,253	0,087	99	97
2,5436	0,1001	0,2129	0,003	0,98	4,6981	0,0669	0,0867	0,0033	0,172	0,0525	13	31,2	-64,4	215,5	-0,299	1,244	0,016	1,285	0,031	1,353	0,079	96	91
2,3699	0,129	0,2136	0,0027	0,61	4,6817	0,0586	0,0805	0,0043	0,2198	0,018	6,63	33,5	118,1	113,7	1,038	1,248	0,014	1,234	0,038	1,208	0,103	101	103
2,4487	0,1232	0,2169	0,0032	0,06	4,6094	0,0675	0,0819	0,0037	0,0959	0,0155	6,7	20,2	29,8	76,3	0,391	1,266	0,017	1,257	0,036	1,242	0,088	100	101
2,2786	0,0839	0,2202	0,0031	0,7	4,5404	0,0633	0,075	0,0028	0,0548	0,0143	3,77	91,3	89,4	344,1	0,26	1,283	0,016	1,206	0,026	1,069	0,075	106	119
2,4182	0,0934	0,2236	0,0036	0,93	4,4714	0,0728	0,0784	0,0028	0,1922	0,0126	2,05	93,9	495,2	368,8	1,343	1,301	0,019	1,248	0,028	1,158	0,07	104	112
2,3858	0,0988	0,2252	0,0034	0,9	4,4405	0,0664	0,0768	0,0027	0,0736	0,0108	3,96	83,8	216,5	387,2	0,559	1,309	0,018	1,238	0,03	1,117	0,071	105	117
2,5216	0,0983	0,2302	0,0032	0,82	4,3444	0,0608	0,0795	0,0025	0,1258	0,0072	2,48	149,6	368,6	599,3	0,615	1,335	0,017	1,278	0,028	1,183	0,062	104	112
2,6517	0,123	0,2305	0,0029	0,44	4,3381	0,0549	0,0834	0,0036	0,1386	0,0376	16,77	41	129,8	136,8	0,949	1,337	0,015	1,315	0,035	1,279	0,086	101	104
2,4644	0,0869	0,2321	0,0023	0,96	4,3088	0,0426	0,077	0,0026	0,0375	0,0258	8,83	45,1	57,4	204,2	0,281	1,345	0,012	1,262	0,026	1,122	0,066	106	119
2,4919	0,1097	0,2324	0,0036	0,94	4,3021	0,0663	0,0778	0,0031	0,1007	0,0252	10,17	55,8	148,3	222,2	0,667	1,347	0,019	1,27	0,032	1,141	0,081	106	118
2,9715	0,1105	0,2409	0,0034	0,34	4,151	0,0589	0,0895	0,0029	0,11	0,0049	1,18	68,9	78,3	235,9	0,332	1,391	0,018	1,4	0,029	1,414	0,063	99	98
2,8196	0,0942	0,2465	0,0029	0,87	4,0565	0,0479	0,083	0,0025	0,1634	0,0125	1,06	172,1	495,1	600	0,825	1,42	0,015	1,361	0,025	1,268	0,057	104	112
3,1141	0,12	0,2487	0,0034	0,86	4,0217	0,0547	0,0908	0,0031	0,2535	0,0138	8,84	59,5	186,5	188,7	0,989	1,432	0,017	1,436	0,03	1,443	0,065	99	99
2,9191	0,0977	0,252	0,0037	0,97	3,9675	0,0582	0,084	0,0031	0,0483	0,0175	5,34	87,2	246,1	347,8	0,707	1,449	0,019	1,387	0,027	1,292	0,069	104	112
3,3675	0,5123	0,2618	0,0067	0,26	3,8201	0,098	0,0933	0,0148	0,3803	0,2137	10,58	17,3	124,8	49,3	2,531	1,499	0,034	1,497	0,13	1,494	0,323	100	100
3,0821	0,0984	0,266	0,0036	0,86	3,7596	0,051	0,084	0,0027	0,1158	0,0101	4,38	165,3	410,4	522,8	0,785	1,52	0,018	1,428	0,025	1,293	0,063	106	117
3,9205	0,126	0,2802	0,004	0,97	3,5686	0,0506	0,1015	0,0031	0,2194	0,0187	1,63	131,3	305,9	421,2	0,726	1,592	0,02	1,618	0,025	1,651	0,056	98	96
3,9648	0,1617	0,2867	0,0041	0,6	3,4879	0,0496	0,1003	0,0037	0,2516	0,013	2,61	60,9	134,5	156,5	0,86	1,625	0,02	1,627	0,033	1,63	0,071	99	99
4,1417	0,1304	0,303	0,0041	0,99	3,3004	0,0448	0,0991	0,0031	0,145	0,0128	5,63	123,4	415,9	344,9	1,206	1,706	0,021	1,663	0,029	1,608	0,058	102	106
4,6716	0,217	0,3094	0,0046	0,75	3,2324	0,0484	0,1095	0,0044	0,2692	0,035	13,93	45	202,6	108,4	1,869	1,738	0,023	1,762	0,039	1,791	0,074	98	96
5,0192	0,2281	0,3243	0,0047	0,54	3,0838	0,0447	0,1123	0,0048	0,2514	0,0266	2,05	28,2	48,1	63,7	0,755	1,811	0,023	1,823	0,038	1,836	0,078	99	98
5,4714	0,225	0,3578	0,0057	0,64	2,7951	0,0444	0,1109	0,0043	0,2431	0,0241	7,88	67,2	175,1	125,5	1,395	1,972	0,027	1,896	0,036	1,815	0,07	103	108
5,2272	0,2116	0,3592	0,0049	0,96	2,7839	0,0377	0,1055	0,004	0,1881	0,0094	0,71	155,9	262,5	340,6	0,771	1,978	0,023	1,857	0,036	1,724	0,067	106	114

16T40

RATIOS											AGES												
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total conum %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc. 206/238 207/235	Conc. 206/238 207/206
0,4693	0,0256	0,0635	0,0008	0,16	15,7454	0,1981	0,0536	0,0028	0,372	0,0797	45,8	126,1	552,9	713,1	0,775	0,397	0,005	0,391	0,017	0,354	0,119	101	112
0,5595	0,0488	0,0758	0,0012	0,68	13,1973	0,2091	0,0536	0,0046	0,0746	0,0294	13,02	33,3	34,4	301,3	0,114	0,471	0,007	0,451	0,032	0,352	0,158	104	133
0,5634	0,032	0,077	0,0012	0,84	12,98	0,205	0,053	0,0032	0,3472	0,0785	18,57	44,1	246,9	318,7	0,775	0,478	0,007	0,454	0,021	0,33	0,123	105	144
0,6262	0,0343	0,0783	0,0011	0,67	12,7789	0,175	0,058	0,0031	0,2182	0,0265	8,43	47,3	378,3	418,7	0,903	0,486	0,006	0,494	0,022	0,531	0,117	98	91
0,5954	0,0257	0,0823	0,001	0,79	12,1448	0,1442	0,0524	0,0028	0,4818	0,155	11,33	126,7	473,3	1029,8	0,46	0,51	0,006	0,474	0,018	0,305	0,102	107	167
0,6241	0,0637	0,0832	0,0021	0,46	12,0171	0,3053	0,0544	0,0056	0,2066	0,1217	28,28	16,7	70,7	102,9	0,687	0,515	0,013	0,492	0,04	0,387	0,192	104	133
0,7006	0,068	0,088	0,0009	0,49	11,3658	0,1129	0,0578	0,0054	0,0937	0,0433	17,37	27,8	76,7	212	0,362	0,544	0,005	0,539	0,04	0,52	0,194	100	104
0,7349	0,0661	0,0935	0,0022	0,13	10,6991	0,2502	0,057	0,0058	0,3744	0,1124	36,25	40,1	360,6	204,7	1,762	0,576	0,013	0,559	0,038	0,493	0,187	102	116
0,7176	0,1046	0,0973	0,0013	0,49	10,2825	0,1406	0,0535	0,0077	0,3127	0,0868	26,84	11,8	65,9	72,6	0,907	0,598	0,008	0,549	0,06	0,351	0,212	108	170
1,0085	0,1092	0,1224	0,0022	0,21	8,1682	0,1487	0,0597	0,0062	0,4205	0,0713	15,7	23,8	136,4	115,6	1,179	0,745	0,013	0,708	0,054	0,594	0,2	105	125
1,2767	0,0596	0,1488	0,0024	0,69	6,7186	0,1104	0,0622	0,003	0,1968	0,0349	9,51	40,9	238,4	222,7	1,07	0,894	0,014	0,835	0,028	0,681	0,105	107	131
1,3929	0,0513	0,157	0,0027	0,71	6,3712	0,1092	0,0644	0,0023	0,0975	0,0159	5,68	165,5	576,3	872,3	0,661	0,94	0,015	0,886	0,022	0,754	0,075	106	124
1,4359	0,0683	0,1593	0,0032	0,28	6,2783	0,1268	0,0654	0,003	0,1082	0,0306	15,97	58,2	199,5	277,5	0,719	0,953	0,018	0,904	0,028	0,787	0,095	105	121
1,7307	0,1252	0,1834	0,0027	0,66	5,452	0,0812	0,0684	0,0048	0,4092	0,0385	16,05	15,6	64,3	51,7	1,244	1,086	0,015	1,02	0,044	0,882	0,135	106	123
2,2545	0,1341	0,2147	0,0044	0,71	4,6586	0,096	0,0762	0,0044	0,1791	0,0297	9,19	28,1	99,3	109,6	0,906	1,254	0,024	1,198	0,041	1,1	0,114	104	113
2,3439	0,1562	0,2188	0,0045	0,44	4,5699	0,0947	0,0777	0,0051	0,1164	0,0283	5,76	28,9	30,3	109,5	0,277	1,276	0,024	1,226	0,048	1,139	0,132	104	112
2,5175	0,1175	0,2258	0,0041	0,29	4,4286	0,0804	0,0809	0,0035	0,0734	0,0303	4,56	69,3	127	258,5	0,491	1,312	0,022	1,277	0,035	1,218	0,09	102	107
2,6132	0,124	0,2358	0,0049	0,8	4,2412	0,0889	0,0804	0,0039	0,1279	0,0255	5,91	32,6	80,9	107,5	0,753	1,365	0,026	1,304	0,035	1,206	0,096	104	113
2,9043	0,1682	0,2446	0,0028	0,24	4,0877	0,0469	0,0861	0,0049	0,3669	0,0166	3,31	29	92,1	80,6	1,143	1,411	0,014	1,383	0,043	1,341	0,104	102	105
2,7676	0,3304	0,2462	0,0067	0,48	4,0622	0,1114	0,0815	0,009	0,3188	0,0933	12,12	13,2	34,9	32,8	1,066	1,419	0,035	1,347	0,093	1,234	0,243	105	114

16T45

RATIOS											AGES												
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. coe	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total comun %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc. 206/238 207/235	Conc. 206/238 207/206
0,5982	0,023	0,0752	0,0006	0,84	13,3028	0,1028	0,0577	0,0023	0,1588	0,0181	10,31	75,9	1130	861,3	1,312	0,467	0,003	0,476	0,015	0,519	0,089	98	90
0,617	0,0255	0,0763	0,0007	0,26	13,1034	0,1166	0,0586	0,0024	0,2145	0,0159	1,21	27,3	145,7	281	0,519	0,474	0,004	0,488	0,016	0,554	0,091	97	85
0,6184	0,0268	0,0765	0,0007	0,19	13,0771	0,1196	0,0586	0,0026	0,0986	0,0204	4,72	35,4	190,4	372,8	0,511	0,475	0,004	0,489	0,017	0,554	0,097	97	85
0,609	0,0247	0,0764	0,0007	0,84	13,0863	0,1281	0,0578	0,0021	0,0919	0,0188	14,21	64,6	162,6	628,3	0,259	0,475	0,004	0,483	0,015	0,522	0,081	98	90
0,5805	0,0344	0,0773	0,0008	0,71	12,9378	0,127	0,0545	0,003	0,248	0,0402	13,98	30,2	440,2	294,7	1,494	0,48	0,005	0,465	0,022	0,39	0,122	103	122
0,6226	0,023	0,0792	0,0007	0,4	12,6285	0,1072	0,057	0,0021	0,1798	0,0639	3,84	73,4	1125,5	691,3	1,628	0,491	0,004	0,491	0,014	0,493	0,08	99	99
0,6289	0,0269	0,0802	0,0009	0,53	12,4668	0,1475	0,0569	0,0024	0,2924	0,0106	7,49	46,4	475	400,5	1,186	0,497	0,006	0,495	0,017	0,486	0,091	100	102
0,6275	0,0235	0,0806	0,0011	0,41	12,4135	0,1664	0,0565	0,0023	0,0423	0,0085	2,3	22,3	31,4	242,3	0,13	0,499	0,006	0,495	0,015	0,472	0,087	100	105
0,6386	0,0233	0,0808	0,0007	0,65	12,374	0,111	0,0573	0,0021	0,1752	0,0285	5,04	60,1	445,6	560,3	0,795	0,501	0,004	0,501	0,014	0,503	0,08	99	99
0,5975	0,027	0,0809	0,0008	0,8	12,3563	0,1199	0,0535	0,0023	0,3025	0,0512	11,58	65,1	479,5	612,2	0,783	0,502	0,005	0,476	0,017	0,352	0,088	105	142
0,6128	0,0289	0,0824	0,0009	0,91	12,1319	0,1304	0,0539	0,0025	0,384	0,0508	19,49	57,7	1592,4	448,8	3,548	0,511	0,005	0,485	0,018	0,368	0,102	105	138
0,6671	0,028	0,0828	0,0008	0,45	12,0803	0,1232	0,0584	0,0024	0,1728	0,0185	1,33	31,1	179,6	297,8	0,603	0,513	0,005	0,519	0,017	0,546	0,093	98	93
0,6633	0,0238	0,0839	0,0008	0,61	11,9224	0,1087	0,0574	0,0019	0,2021	0,013	3,45	60,9	680,6	612	1,112	0,519	0,005	0,517	0,015	0,505	0,072	100	102
0,6272	0,03	0,0842	0,0007	0,32	11,883	0,1057	0,0541	0,0025	0,1959	0,0212	8,33	32,6	412,8	288	1,433	0,521	0,004	0,494	0,019	0,373	0,102	105	139
0,6548	0,0236	0,0843	0,0007	0,94	11,8649	0,1013	0,0564	0,0024	0,1858	0,015	8,75	87,1	712,7	801,9	0,889	0,522	0,004	0,511	0,015	0,466	0,094	101	111
0,6786	0,0366	0,0851	0,0007	0,8	11,7576	0,1005	0,0579	0,003	0,2196	0,011	1,85	26,4	137,1	207,8	0,66	0,526	0,004	0,526	0,022	0,525	0,111	100	100
0,6549	0,0324	0,0858	0,0009	0,26	11,6508	0,1242	0,0553	0,0028	0,248	0,0258	12,73	18,3	216,7	150	1,445	0,531	0,005	0,512	0,02	0,426	0,105	103	124
0,7167	0,0386	0,0861	0,0012	0,54	11,6136	0,1552	0,0604	0,0034	0,2164	0,0185	9,03	20,5	188,6	180,6	1,044	0,532	0,007	0,549	0,023	0,617	0,125	97	86
0,6125	0,0315	0,0861	0,0009	0,88	11,6106	0,1174	0,0516	0,0031	0,3913	0,0348	18,65	52,9	678,6	387,6	1,751	0,533	0,005	0,485	0,021	0,267	0,095	109	199
0,6688	0,0252	0,0863	0,0008	0,69	11,5849	0,1048	0,0562	0,0021	0,0913	0,0331	13,89	28,8	363,2	286,6	1,267	0,534	0,005	0,52	0,016	0,46	0,087	102	116
0,6962	0,0276	0,0871	0,0011	0,62	11,4797	0,1428	0,058	0,0023	0,1859	0,0208	11,73	40,1	370,5	353,7	1,048	0,538	0,006	0,537	0,016	0,529	0,084	100	101
0,6771	0,0398	0,0874	0,0008	0,49	11,4451	0,1037	0,0562	0,0032	0,0458	0,0211	13,31	27,9	55,3	256,7	0,215	0,54	0,005	0,525	0,024	0,46	0,122	102	117
0,7191	0,0389	0,0881	0,0007	0,81	11,3563	0,0946	0,0592	0,0032	0,3258	0,0515	2,85	27,2	420,3	226,7	1,854	0,544	0,004	0,55	0,023	0,576	0,118	98	94
0,6949	0,0259	0,0884	0,0009	0,82	11,3128	0,1147	0,057	0,0021	0,1669	0,0199	4,05	41,6	260,8	413,9	0,63	0,546	0,005	0,536	0,016	0,492	0,08	101	110
0,7058	0,0262	0,0893	0,001	0,38	11,2034	0,1279	0,0574	0,0021	0,149	0,0074	3,37	33,2	134,7	290	0,465	0,551	0,006	0,542	0,015	0,505	0,08	101	109
0,6685	0,0538	0,0907	0,0011	0,14	11,0227	0,1329	0,0534	0,004	0,2118	0,0262	8,81	44,8	464,9	381,8	1,218	0,56	0,007	0,52	0,031	0,348	0,162	107	160
0,7151	0,0358	0,0915	0,0009	0,51	10,9321	0,1106	0,0567	0,0025	0,2826	0,0126	5,42	51,5	608,4	429,5	1,416	0,564	0,005	0,548	0,021	0,48	0,101	103	117
0,7259	0,0328	0,0937	0,0013	0,39	10,6677	0,1457	0,0562	0,0024	0,0857	0,0106	4,61	24,4	73,8	221	0,334	0,578	0,008	0,554	0,019	0,459	0,097	104	125
0,7319	0,045	0,0944	0,001	0,01	10,5902	0,1082	0,0562	0,0033	0,3948	0,0262	16,21	31,9	567,3	208,1	2,727	0,582	0,006	0,558	0,026	0,461	0,121	104	126
0,75	0,0497	0,0949	0,0009	0,42	10,5428	0,1003	0,0573	0,0036	0,2259	0,0389	8,61	20,8	167,3	152,4	1,098	0,584	0,005	0,568	0,029	0,505	0,128	102	115
0,8407	0,0464	0,099	0,001	0,52	10,1004	0,1008	0,0616	0,0034	0,249	0,0295	0	27	286,6	203	1,412	0,609	0,006	0,62	0,025	0,66	0,121	98	92
0,8653	0,0411	0,1036	0,0014	0,69	9,6536	0,1322	0,0606	0,003	0,3281	0,0275	9,69	18,3	180,7	107,3	1,685	0,635	0,008	0,633	0,022	0,624	0,108	100	101
0,8899	0,0521	0,1047	0,0012	0,12	9,5523	0,1086	0,0617	0,0038	0,2038	0,023	7,76	13	77,2	93,3	0,827	0,642	0,007	0,646	0,029	0,662	0,136	99	96
0,9307	0,0315	0,1086	0,0011	0,43	9,2052	0,0929	0,0621	0,0019	0,1475	0,0079	3,07	47,9	341,1	368,9	0,925	0,665	0,006	0,668	0,017	0,679	0,066	99	97
0,8648	0,0272	0,1098	0,001	0,97	9,108	0,0863	0,0571	0,0021	0,3493	0,2282	20,18	67,7	-343,4	489,7	-0,701	0,672	0,006	0,633	0,016	0,496	0,076	106	135
0,8434	0,1176	0,1113	0,0014	0,45	8,9842	0,1113	0,055	0,0075	0,2737	0,0661	22,46	9,7	39,5	48,6	0,813	0,68	0,008	0,621	0,062	0,41	0,234	109	165
0,9706	0,0392	0,1117	0,0012	0,19	8,9502	0,0926	0,063	0,0024	0,1564	0,0191	9,4	26,1	139,4	185,9	0,75	0,683	0,007	0,689	0,02	0,708	0,084	99	96
0,9137	0,0546	0,1139	0,0011	0,08	8,7801	0,0875	0,0582	0,0034	0,2717	0,0281	11,93	18,9	181,2	110,7	1,638	0,695	0,007	0,659	0,028	0,537	0,12	105	129
1,0269	0,0568	0,1142	0,001	0,12	8,7568	0,0789	0,0652	0,0037	0,3939	0,0269	2,37	31,4	271,3	187,3	1,448	0,697	0,006	0,717	0,028	0,781	0,118	97	89
1,2345	0,0715	0,1261	0,0014	0,76	7,9279	0,0886	0,071	0,0039	0,1829	0,0326	17,21	20,2	64,8	112	0,579	0,766	0,008	0,816	0,031	0,957	0,107	93	80
1,0585	0,0439	0,1276	0,0015	0,49	7,8342	0,0931	0,0601	0,0025	0,3111	0,04	21,77	32,3	251,2	160,4	1,567	0,774	0,009	0,733	0,022	0,609	0,087	105	127
1,139	0,0772	0,1317	0,0018	0,7	7,5907	0,1042	0,0627	0,004	0,1919	0,0214	9,11	17,6	60,6	111	0,546	0,798	0,01	0,772	0,034	0,698	0,133	103	114
1,3875	0,0426	0,1406	0,0013	0,68	7,1136	0,067	0,0716	0,0022	0,0591	0,0059	3,15	52	49,4	312,4	0,158	0,848	0,007	0,884	0,018	0,974	0,064	95	87
1,88	0,0716	0,1789	0,0015	0,35	5,5892	0,0483	0,0762	0,0029	0,2753	0,0109	1,62	31,8	128,4	132,7	0,967	1,061	0,008	1,074	0,025	1,101	0,076	98	96
1,8941	0,0609	0,183	0,0016	0,99	5,4634	0,0476	0,0751	0,0025	0,1112	0,0293	2,14	32,3	60,4	157,9	0,383	1,084	0,009	1,079	0,023	1,07	0,07	100	101
1,8723	0,0619	0,1836	0,0017	0,82	5,4481	0,0493	0,074	0,0026	0,1159	0,0154	9,38	24,6	65	122,6	0,53	1,086	0,009	1,071	0,023	1,041	0,071	101	104

## 16T45 CONTINUACIÓN

2.0815	0,0697	0,1872	0,0017	0,87	5,3431	0,0475	0,0807	0,0027	0,1812	0,0101	2,37	49,2	101,4	183,9	0,552	1,106	0,009	1,143	0,022	1,213	0,066	96	91
2.1039	0,0771	0,1889	0,0018	0,12	5,2952	0,0508	0,0808	0,003	0,1067	0,0134	2,68	49	104,2	209,6	0,497	1,115	0,01	1,15	0,025	1,217	0,074	96	91
2.0321	0,078	0,1908	0,0027	0,79	5,2418	0,0735	0,0773	0,0029	0,0357	0,0107	1,77	34,7	15,7	145	0,109	1,126	0,014	1,126	0,026	1,128	0,075	99	99
2.0989	0,0778	0,1955	0,0027	0,48	5,1145	0,0707	0,0779	0,0029	0,3119	0,018	3,24	24,2	127,3	87,3	1,458	1,151	0,015	1,148	0,025	1,143	0,075	100	100
1.9961	0,0815	0,1958	0,002	0,7	5,1083	0,0515	0,074	0,0029	0,3396	0,0117	2,79	47,5	232,3	167,2	1,389	1,153	0,011	1,114	0,028	1,04	0,08	103	110
1,95	0,0903	0,197	0,0021	0,56	5,0771	0,0548	0,0718	0,0034	0,1856	0,0323	16,21	19,4	51,7	70,9	0,729	1,159	0,011	1,098	0,031	0,98	0,093	105	118
2.2832	0,0732	0,1971	0,0016	0,99	5,0728	0,0409	0,084	0,0026	0,1804	0,0075	5,93	80,4	247,3	370,9	0,667	1,16	0,009	1,207	0,023	1,293	0,059	96	89
1,9553	0,1252	0,1981	0,002	0,54	5,0481	0,0518	0,0716	0,0043	0,0689	0,0294	4,07	8,8	8,7	34,6	0,252	1,165	0,011	1,1	0,042	0,974	0,118	105	119
2,128	0,0771	0,1982	0,0026	0,92	5,045	0,0655	0,0779	0,0027	0,1621	0,0292	2,37	33,2	87,4	121,7	0,718	1,166	0,014	1,158	0,024	1,143	0,07	100	101
2,0197	0,0719	0,1992	0,0018	0,98	5,021	0,0466	0,0735	0,0025	0,0931	0,0226	2,7	41,3	87,7	184,7	0,475	1,171	0,01	1,122	0,024	1,029	0,067	104	113
2,0422	0,0734	0,2004	0,002	0,89	4,9893	0,0505	0,0739	0,0024	0,1185	0,0036	1,7	77,8	222,1	317,4	0,7	1,178	0,011	1,13	0,025	1,039	0,068	104	113
2,1071	0,0682	0,2015	0,002	0,96	4,9627	0,0502	0,0758	0,0022	0,1193	0,0196	6,91	77,8	195	296,2	0,658	1,183	0,011	1,151	0,022	1,091	0,058	102	108
2,0799	0,1543	0,2074	0,0028	0,54	4,8214	0,0646	0,0727	0,0053	0,1532	0,0477	1,83	25	82,4	89,7	0,919	1,215	0,015	1,142	0,053	1,006	0,146	106	120
2,3556	0,0912	0,2123	0,0024	0,41	4,7111	0,0538	0,0805	0,0031	0,3877	0,0192	12,9	35,6	215,8	109,5	1,97	1,241	0,013	1,229	0,027	1,209	0,077	100	102
2,3338	0,0704	0,214	0,0021	0,61	4,673	0,0453	0,0791	0,0024	0,0085	0,002	0,54	93,5	13,9	396,4	0,035	1,25	0,011	1,223	0,021	1,175	0,06	102	106
2,2642	0,0578	0,2149	0,0023	0,62	4,6531	0,0504	0,0764	0,002	0,1829	0,0166	5,44	107,9	274	398	0,688	1,255	0,012	1,201	0,018	1,106	0,051	104	113
2,4232	0,0864	0,2164	0,0021	0,82	4,6207	0,0442	0,0812	0,0026	0,1788	0,0079	1,7	46,6	113,1	162,7	0,695	1,263	0,011	1,25	0,025	1,226	0,063	101	102
2,4503	0,091	0,2192	0,0025	0,75	4,5619	0,0517	0,0811	0,003	0,146	0,0101	2,25	35,1	70,5	119,3	0,591	1,278	0,013	1,258	0,026	1,223	0,071	101	104
2,5051	0,1195	0,2239	0,003	0,46	4,4658	0,0598	0,0811	0,0039	0,3982	0,02	13,01	18,4	112,6	55,6	2,023	1,303	0,016	1,274	0,036	1,225	0,099	102	106
2,513	0,0662	0,2263	0,0029	0,61	4,4195	0,0571	0,0805	0,0022	0,1101	0,0147	5,91	50,9	61,7	179,4	0,344	1,315	0,015	1,276	0,019	1,21	0,055	103	108
3,0295	0,1426	0,2413	0,0039	0,77	4,145	0,0671	0,0911	0,0047	0,3638	0,0565	25,88	16,6	118,4	42	2,818	1,393	0,02	1,415	0,036	1,448	0,095	98	96
2,9615	0,1209	0,2429	0,0026	0,71	4,1166	0,0434	0,0884	0,0034	0,1348	0,0166	7,99	31,8	50,6	88,6	0,571	1,402	0,013	1,398	0,031	1,392	0,072	100	100
3,1429	0,0893	0,2458	0,0028	0,99	4,0675	0,0465	0,0927	0,0025	0,31	0,1487	3,73	49,6	75,1	189,1	0,397	1,417	0,014	1,443	0,021	1,482	0,05	98	95
3,7542	0,1355	0,253	0,0026	0,98	3,9521	0,0411	0,1076	0,0036	0,0547	0,012	5,18	54,4	174,7	220	0,794	1,454	0,014	1,583	0,03	1,759	0,062	91	82
3,2533	0,2399	0,2595	0,0084	0,37	3,853	0,1248	0,0909	0,0084	0,2881	0,0758	23,79	7,8	55	19,2	2,856	1,487	0,044	1,47	0,064	1,445	0,2	101	102
3,3348	0,1108	0,2644	0,0027	0,55	3,7825	0,0383	0,0915	0,0028	0,5306	0,3607	3,1	49,2	-211,9	217,4	-0,974	1,512	0,014	1,489	0,026	1,457	0,058	101	103
3,5729	0,1448	0,282	0,0035	0,92	3,5462	0,044	0,0919	0,0035	0,2084	0,0352	3,02	50,9	143,4	134,2	1,068	1,601	0,018	1,544	0,03	1,465	0,069	103	109
4,0614	0,1492	0,2946	0,0028	0,05	3,3945	0,0325	0,1	0,0036	0,2194	0,0267	1,39	51,3	120,1	127,8	0,94	1,664	0,014	1,647	0,03	1,624	0,067	101	102
4,2496	0,1021	0,3157	0,0031	0,96	3,1677	0,0315	0,0976	0,0024	0,0432	0,012	1,08	118,8	47,9	312,9	0,153	1,769	0,015	1,684	0,02	1,579	0,046	105	111
4,9074	0,1542	0,3364	0,0036	0,9	2,973	0,0321	0,1058	0,0031	0,2453	0,0148	5,28	65,4	181	156,6	1,156	1,869	0,018	1,804	0,026	1,729	0,053	103	108
5,5327	0,1749	0,341	0,0043	0,63	2,9323	0,0368	0,1177	0,0035	0,2392	0,0129	2,27	41,2	80,1	88,6	0,905	1,892	0,021	1,906	0,027	1,921	0,053	99	98
6,1776	0,1722	0,374	0,0043	0,74	2,6737	0,0311	0,1198	0,0031	0,2395	0,1006	0,69	99,1	416,3	182,6	2,28	2,048	0,02	2,001	0,024	1,953	0,046	102	104
6,9264	0,1615	0,382	0,0043	0,79	2,6177	0,0296	0,1315	0,0029	0,2333	0,0716	7,67	146,6	5,3	378,9	0,014	2,086	0,02	2,102	0,021	2,118	0,04	99	98
7,1686	0,1663	0,4216	0,0047	0,87	2,3722	0,0265	0,1233	0,0029	0,0637	0,007	2,21	175,1	158,2	348,2	0,454	2,268	0,021	2,133	0,021	2,005	0,042	106	113

16T63

RATIOS											AGES																						
207/235	1 sigma	206/238	1 sigma	coef. corr	238/206	1 sigma	207/206	1 sigma	208/206	1 sigma	Pb total	Pb rad	Th	U	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1 sigma	T <sub>207/235</sub>	1 sigma	T <sub>207/206</sub>	1 sigma	Conc.											
207/235											comun	ppm	ppm	ppm		206/238		207/235		207/206		206/238											
1 sigma											%					207/235		207/235		207/206		207/235											
er Laser Ablation System, 6Hz, 6m, 20µm, 100%(0.89)/cm <sup>2</sup> Energia, Hélio: MFC1=0.300L/min, MFC2=0.300L/min.																																	
0,5117	0,0161	0,0652	0,0008	0,75	15,3391	0,1912	0,0569	0,0016	0,1975	0,0130	7,16	46	650	684	0,95	407	5	420	11	488	67	97											
0,5184	0,0122	0,0699	0,0010	0,28	14,3088	0,1992	0,0538	0,0016	0,0238	0,0136	5,77	13	29	200	0,14	435	6	424	8	363	67	102											
0,5404	0,0152	0,0701	0,0007	0,60	14,2603	0,1344	0,0559	0,0015	0,1503	0,0162	8,05	24	102	309	0,33	437	4	439	10	448	60	99											
0,5445	0,0299	0,0711	0,0011	0,36	14,0743	0,2126	0,0556	0,0034	0,2106	0,0423	3,01	17	373	200	1,87	442	6	441	19	436	129	100											
0,5654	0,0179	0,0711	0,0008	0,44	14,0729	0,1635	0,0577	0,0019	0,0223	0,0083	3,87	22	11	339	0,03	443	5	455	12	519	72	97											
0,5442	0,0143	0,0714	0,0006	0,71	13,9958	0,1158	0,0552	0,0015	0,1622	0,0077	6,66	24	314	312	1,01	445	4	441	9	422	62	100											
0,5518	0,0125	0,0717	0,0008	0,77	13,9455	0,1496	0,0558	0,0013	0,1846	0,0152	2,08	23	282	303	0,93	446	5	446	8	445	51	100											
0,5824	0,0102	0,0718	0,0007	0,95	13,9265	0,1314	0,0588	0,0012	0,1264	0,0744	0,00	40	61	597	0,10	447	4	466	7	561	43	95											
0,5756	0,0146	0,0723	0,0009	0,79	13,8279	0,1701	0,0577	0,0017	0,0582	0,0221	0,00	22	15	329	0,05	450	5	462	9	519	65	97											
0,5809	0,0171	0,0727	0,0010	0,01	13,7555	0,1870	0,0580	0,0021	0,1464	0,0180	5,77	14	229	177	1,30	452	6	465	11	528	78	97											
0,5798	0,0203	0,0730	0,0010	0,32	13,7001	0,1912	0,0576	0,0023	0,0836	0,0261	8,46	14	187	181	1,04	454	6	464	13	515	91	97											
0,5967	0,0117	0,0739	0,0007	0,78	13,5325	0,1191	0,0586	0,0014	0,1959	0,0281	4,88	35	417	436	0,96	460	4	475	8	551	55	96											
0,5695	0,0149	0,0739	0,0008	0,61	13,5294	0,1503	0,0559	0,0013	0,0115	0,0062	0,00	35	25	543	0,05	460	5	458	10	448	53	100											
0,5755	0,0176	0,0741	0,0007	0,87	13,4905	0,1338	0,0563	0,0016	0,2403	0,0187	0,90	34	438	420	1,04	461	4	462	11	465	63	99											
0,5887	0,0166	0,0744	0,0007	0,38	13,4497	0,1317	0,0574	0,0018	0,4245	0,0382	0,39	15	353	160	2,21	462	4	470	11	508	71	98											
0,5615	0,0180	0,0745	0,0010	0,47	13,4165	0,1722	0,0546	0,0017	0,1923	0,0143	3,10	35	437	453	0,96	463	6	453	12	397	67	102											
0,5933	0,0160	0,0748	0,0009	0,72	13,3612	0,1519	0,0575	0,0016	0,0362	0,0103	2,23	22	88	299	0,29	465	5	473	10	510	59	98											
0,5728	0,0121	0,0750	0,0009	0,82	13,3393	0,1690	0,0554	0,0011	0,0458	0,0084	1,82	35	77	508	0,15	466	6	460	8	429	45	101											
0,5773	0,0210	0,0752	0,0007	0,76	13,2987	0,1221	0,0567	0,0020	0,2328	0,0327	9,20	50	825	600	1,37	467	4	463	13	440	75	101											
0,5695	0,0145	0,0753	0,0009	0,75	13,2871	0,1621	0,0549	0,0013	0,2001	0,0150	2,92	53	678	718	0,95	468	6	458	9	407	54	102											
0,5527	0,0221	0,0753	0,0008	0,23	13,2852	0,1386	0,0533	0,0022	0,2091	0,0152	0,00	10	110	133	0,83	468	5	447	14	340	86	104											
0,5809	0,0141	0,0753	0,0009	0,66	13,2776	0,1569	0,0559	0,0012	0,0231	0,0029	1,17	63	109	960	0,11	468	5	465	9	450	48	100											
0,5868	0,0202	0,0754	0,0007	0,89	13,2546	0,1176	0,0564	0,0025	0,1969	0,0332	0,00	15	219	186	1,18	469	4	469	14	469	95	100											
0,5747	0,0151	0,0762	0,0007	0,45	13,1202	0,1245	0,0547	0,0017	0,1414	0,1086	2,63	23	102	299	0,34	474	4	461	10	400	69	102											
0,5797	0,0161	0,0763	0,0010	0,68	13,1036	0,1634	0,0551	0,0019	0,1062	0,0411	1,16	23	165	294	0,56	474	6	464	10	416	76	102											
0,6131	0,0201	0,0768	0,0012	0,01	13,0270	0,2078	0,0579	0,0023	0,1769	0,0646	5,01	12	108	148	0,73	477	7	486	13	527	92	98											
0,5829	0,0156	0,0768	0,0009	0,70	13,0176	0,1577	0,0550	0,0016	0,0604	0,0082	0,71	19	98	272	0,36	477	6	466	10	414	63	102											
0,5905	0,0186	0,0773	0,0008	0,75	12,9285	0,1336	0,0554	0,0018	0,1747	0,0095	5,11	27	285	349	0,82	480	5	471	12	427	73	101											
0,6712	0,0265	0,0782	0,0016	0,99	12,7935	0,2657	0,0623	0,0024	0,2050	0,1144	0,00	6	78	10	8,08	485	10	521	14	684	72	93											
0,6065	0,0220	0,0782	0,0006	0,62	12,7876	0,1031	0,0562	0,0021	0,2412	0,0210	2,01	20	182	248	0,73	485	4	481	14	462	82	100											
0,5926	0,0237	0,0787	0,0008	0,11	12,7069	0,1256	0,0546	0,0024	0,1907	0,1448	8,97	23	140	286	0,49	488	5	473	15	397	82	103											
0,5980	0,0254	0,0788	0,0008	0,61	12,6832	0,1234	0,0550	0,0025	0,1159	0,0093	0,34	16	104	212	0,49	489	5	476	16	413	100	102											
0,6573	0,0240	0,0793	0,0017	0,27	12,6039	0,2735	0,0601	0,0027	0,2744	0,0534	0,00	12	62	158	0,39	492	10	513	15	607	101	95											
0,6159	0,0144	0,0797	0,0008	0,86	12,5519	0,1322	0,0561	0,0014	0,1727	0,0147	1,21	20	237	268	0,89	494	5	487	9	455	55	101											
0,6087	0,0171	0,0801	0,0014	0,23	12,4865	0,2119	0,0551	0,0020	0,1679	0,0203	6,05	19	194	220	0,88	497	8	483	11	417	81	102											
0,6196	0,0185	0,0814	0,0008	0,76	12,2901	0,1272	0,0552	0,0019	0,0897	0,0338	0,09	22	231	286	0,81	504	5	490	11	421	74	103											
0,7023	0,0233	0,0857	0,0010	0,84	11,6728	0,1407	0,0595	0,0023	0,1999	0,0128	0,97	19	237	221	1,08	530	6	540	14	584	85	98											
0,6960	0,0229	0,0883	0,0010	0,58	11,3211	0,1318	0,0571	0,0021	0,1740	0,0094	1,95	12	96	146	0,66	546	6	536	14	497	79	101											
0,7224	0,0267	0,0927	0,0019	0,82	10,7818	0,2211	0,0565	0,0026	0,1710	0,0188	6,89	26	280	317	0,88	572	11	552	16	472	103	103											
0,7759	0,0284	0,0933	0,0013	0,74	10,7216	0,1501	0,0603	0,0023	0,1969	0,0167	1,20	27	301	266	1,13	575	8	583	16	615	84	98											
0,7303	0,0351	0,0953	0,0010	0,46	10,4953	0,1109	0,0556	0,0027	0,1180	0,0189	3,09	11	102	113	0,90	587	6	557	20	436	106	105											
0,8235	0,0197	0,0976	0,0014	0,27	10,2507	0,1495	0,0612	0,0018	0,1225	0,0101	5,07	15	109	154	0,71	600	8	610	11	647	64	98											
0,8264	0,0368	0,0980	0,0013	0,23	10,2060	0,1346	0,0612	0,0030	0,3545	0,0290	0,00	20	348	162	2,15	603	8	612	21	645	108	98											
0,8283	0,0360	0,0984	0,0014	0,70	10,1610	0,1419	0,0610	0,0029	0,1829	0,0159	2,49	7	73	80	0,91	605	8	613	20	641	102	98											
0,8898	0,0395	0,1110	0,0015	0,50	9,0086	0,1195	0,0581	0,0030	0,1227	0,0239	3,47	8	65	67	0,97	679	9	646	20	535	98	105											
1,0937	0,0253	0,1142	0,0011	0,98	8,7553	0,0858	0,0694	0,0016	0,0980	0,0199	6,37	31	125	262	0,48	697	6	750	12	912	49	92											

## 16T63 CONTINUACIÓN

1,0812	0,0282	0,1189	0,0013	0,98	8,4124	0,0910	0,0660	0,0018	0,2095	0,0299	5,74	45	334	469	0,71	724	7	744	14	805	55	97
1,2066	0,0171	0,1227	0,0012	0,98	8,1526	0,0779	0,0713	0,0010	0,0752	0,0089	1,69	81	242	541	0,45	746	7	804	8	967	29	92
1,4586	0,0271	0,1415	0,0010	0,99	7,0661	0,0512	0,0747	0,0016	0,1127	0,0095	6,61	71	354	447	0,79	853	6	913	11	1062	41	93
1,5569	0,0287	0,1599	0,0011	0,99	6,2520	0,0441	0,0706	0,0016	0,0512	0,0142	0,00	124	250	658	0,38	956	6	953	13	946	51	100
1,6745	0,0513	0,1645	0,0016	0,98	6,0802	0,0578	0,0738	0,0029	0,2344	0,0208	0,94	18	127	99	1,28	982	9	999	22	1037	78	98
1,8986	0,0377	0,1649	0,0025	0,89	6,0857	0,0914	0,0835	0,0022	0,2171	0,0300	2,71	20	134	83	1,62	984	14	1081	13	1281	50	91
1,7196	0,0462	0,1697	0,0015	0,77	5,8925	0,0532	0,0735	0,0020	0,0886	0,0152	1,07	45	186	271	0,69	1010	8	1016	17	1028	53	99
1,7776	0,0271	0,1706	0,0013	0,99	5,8616	0,0444	0,0756	0,0012	0,1311	0,0397	1,82	75	1270	434	2,93	1015	7	1037	10	1084	31	97
1,7560	0,0482	0,1728	0,0032	0,48	5,7861	0,1063	0,0737	0,0029	0,1306	0,0107	0,00	8	29	49	0,59	1028	18	1029	18	1033	78	99
1,7534	0,0758	0,1739	0,0027	0,82	5,7498	0,0901	0,0731	0,0037	0,1589	0,0532	3,12	29	277	150	1,85	1034	15	1028	29	1017	100	100
1,8832	0,0549	0,1820	0,0018	0,62	5,4933	0,0534	0,0750	0,0024	0,0918	0,0133	1,56	26	85	142	0,60	1078	10	1075	19	1069	64	100
1,9185	0,0353	0,1834	0,0020	0,92	5,4539	0,0581	0,0759	0,0017	0,0976	0,0079	1,35	20	69	122	0,57	1085	11	1088	12	1092	46	99
1,9289	0,0625	0,1835	0,0014	0,80	5,4506	0,0406	0,0763	0,0025	0,1106	0,0062	0,00	28	78	158	0,50	1086	7	1091	22	1102	64	99
1,9504	0,0340	0,1857	0,0017	0,90	5,3847	0,0480	0,0762	0,0015	0,0534	0,0086	2,80	32	78	190	0,41	1098	9	1099	12	1100	40	99
1,9549	0,0780	0,1890	0,0026	0,44	5,2915	0,0736	0,0750	0,0035	0,1634	0,0352	0,58	5	7	29	0,26	1116	14	1100	27	1069	92	101
1,9488	0,0749	0,1901	0,0024	0,54	5,2604	0,0666	0,0744	0,0031	0,1797	0,0112	1,69	20	70	95	0,73	1122	13	1098	25	1051	79	102
1,9703	0,0497	0,1913	0,0020	0,85	5,2262	0,0550	0,0747	0,0020	0,1266	0,0365	0,86	30	83	161	0,52	1129	11	1105	17	1060	54	102
2,1018	0,0664	0,1918	0,0021	0,70	5,2147	0,0568	0,0795	0,0026	0,3739	0,0106	0,39	18	146	80	1,84	1131	11	1149	22	1184	65	98
2,0511	0,0438	0,1930	0,0016	0,93	5,1803	0,0443	0,0771	0,0015	0,0332	0,0047	1,24	49	44	286	0,15	1138	9	1133	14	1123	40	100
2,0927	0,0371	0,1958	0,0014	0,92	5,1076	0,0377	0,0775	0,0015	0,1424	0,0155	0,00	46	158	250	0,63	1153	8	1146	12	1135	39	100
2,2127	0,0338	0,2018	0,0016	0,93	4,9543	0,0394	0,0795	0,0014	0,0300	0,0157	0,22	49	26	255	0,10	1185	9	1185	11	1185	36	100
2,2477	0,0430	0,2054	0,0017	0,80	4,8688	0,0399	0,0794	0,0016	0,1184	0,0047	0,19	21	59	107	0,55	1204	9	1196	14	1181	39	100
2,2950	0,0453	0,2069	0,0019	0,90	4,8327	0,0441	0,0804	0,0014	0,1262	0,0030	0,60	53	156	263	0,59	1212	10	1211	14	1208	35	100
2,2482	0,0565	0,2076	0,0016	0,98	4,8164	0,0362	0,0785	0,0020	0,0986	0,0117	1,83	88	291	532	0,55	1216	8	1196	18	1160	51	101
2,4078	0,0395	0,2092	0,0019	0,78	4,7812	0,0429	0,0835	0,0016	0,1927	0,0239	0,57	37	147	178	0,83	1224	10	1245	12	1281	38	98
2,3840	0,0429	0,2096	0,0017	0,90	4,7708	0,0376	0,0825	0,0018	0,1289	0,0064	0,66	30	91	143	0,64	1227	9	1238	13	1257	41	99
2,3964	0,0396	0,2120	0,0023	0,81	4,7175	0,0516	0,0820	0,0015	0,1102	0,0047	0,00	17	30	66	0,34	1239	12	1242	12	1245	36	99
2,3166	0,0503	0,2134	0,0015	0,94	4,6853	0,0337	0,0787	0,0017	0,1582	0,0216	0,22	84	399	390	1,02	1247	8	1217	15	1165	42	102
2,4812	0,0499	0,2136	0,0023	0,87	4,6820	0,0511	0,0843	0,0019	0,1781	0,0216	0,00	13	52	63	0,82	1248	12	1267	15	1298	45	96
2,5018	0,0626	0,2201	0,0020	0,92	4,5433	0,0420	0,0824	0,0019	0,1492	0,0364	0,00	42	127	192	0,66	1282	11	1273	18	1256	46	100
2,5375	0,0484	0,2202	0,0023	0,66	4,5409	0,0467	0,0836	0,0018	0,1169	0,0035	0,53	34	90	155	0,58	1283	12	1283	14	1283	43	100
2,8164	0,0523	0,2353	0,0019	0,82	4,2493	0,0339	0,0868	0,0017	0,1731	0,0057	0,55	41	144	171	0,84	1362	10	1360	14	1356	38	100
3,8190	0,0499	0,2850	0,0022	0,98	3,5089	0,0276	0,0972	0,0016	0,0982	0,0078	0,41	61	106	251	0,42	1616	11	1597	11	1571	32	101

16T64

RATIOS											AGES								Conc.					
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total	Pb rad	Th	U	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc.	Conc.	
um, 6Hz, 7mj, 32µm, ablation time - 40s.											comm	ppm	ppm	ppm	ppm								206/238	206/238
											%												207/235	207/206
0,455	0,0256	0,058	0,0009	0,89	17,2381	0,2645	0,0569	0,0029	0,2556	0,0316	16,96	96	565,4	949,8	0,595	0,364	0,005	0,381	0,018	0,487	0,113	95	74	
0,5343	0,0321	0,0694	0,0017	0,92	14,4115	0,3497	0,0559	0,0033	0,1574	0,0221	14,8	88,5	560,8	826,3	0,679	0,432	0,01	0,435	0,022	0,446	0,134	99	96	
0,5306	0,038	0,0715	0,002	0,45	13,9908	0,3911	0,0538	0,0036	0,1328	0,0175	2,64	17	63,3	175,7	0,36	0,445	0,012	0,432	0,025	0,364	0,147	102	122	
0,59	0,0496	0,0719	0,0013	0,47	13,9027	0,2477	0,0595	0,0046	0,2843	0,0278	14	50,6	617,7	452,4	1,365	0,448	0,008	0,471	0,032	0,585	0,17	95	76	
0,5923	0,0372	0,0728	0,0012	0,59	13,742	0,2297	0,059	0,0037	0,4637	0,0629	6,1	12,2	200,8	88	2,281	0,453	0,007	0,472	0,024	0,568	0,137	95	79	
0,5719	0,0424	0,0743	0,0011	0,27	13,4556	0,2022	0,0558	0,0042	0,1722	0,0153	0,34	16,7	83,7	173,9	0,481	0,462	0,007	0,459	0,027	0,445	0,155	100	103	
0,5416	0,0358	0,0745	0,0009	0,91	13,4188	0,1651	0,0527	0,003	0,2257	0,0306	22,48	65,5	528	528	1	0,463	0,005	0,44	0,023	0,317	0,125	105	146	
0,5805	0,0269	0,0759	0,001	0,49	13,1829	0,1706	0,0555	0,0023	0,2321	0,0128	3,19	34,3	383,5	325,6	1,178	0,471	0,006	0,465	0,017	0,433	0,094	101	108	
0,6515	0,0397	0,0758	0,0012	0,23	13,1968	0,2077	0,0624	0,0038	0,1518	0,0185	3,57	21	162,9	199,2	0,818	0,471	0,007	0,509	0,024	0,686	0,122	92	68	
0,6016	0,024	0,0766	0,0012	0,7	13,0503	0,2087	0,0569	0,0023	0,0465	0,0114	2,69	21,4	13,9	225,6	0,061	0,476	0,007	0,478	0,015	0,489	0,088	99	97	
0,6129	0,0406	0,0767	0,001	0,3	13,0352	0,1674	0,0579	0,0036	0,2599	0,0646	20,48	27,6	224	217,1	1,032	0,476	0,006	0,485	0,026	0,528	0,132	98	90	
0,5419	0,039	0,0767	0,0015	0,27	13,0309	0,2598	0,0512	0,0033	0,1811	0,0164	3,6	17,6	99,6	170,7	0,584	0,477	0,009	0,44	0,025	0,25	0,134	108	190	
0,5883	0,0244	0,0771	0,0009	0,54	12,9729	0,1557	0,0554	0,0021	0,1675	0,0338	21,29	56,7	242,3	537,2	0,451	0,479	0,006	0,47	0,015	0,427	0,082	101	112	
0,5789	0,0603	0,0773	0,0012	0,56	12,9373	0,1955	0,0543	0,0057	0,2164	0,0299	1,96	7,6	60,5	69,3	0,874	0,48	0,007	0,464	0,038	0,384	0,212	103	124	
0,6069	0,0276	0,0774	0,001	0,71	12,9206	0,159	0,0569	0,0023	0,1408	0,0167	11,02	39,4	142,9	359,7	0,397	0,481	0,006	0,482	0,017	0,487	0,085	99	98	
0,6143	0,0249	0,0776	0,0009	0,4	12,8786	0,148	0,0574	0,0022	0,105	0,0167	6,09	43,7	223,8	443,1	0,505	0,482	0,005	0,486	0,015	0,506	0,085	99	95	
0,612	0,0255	0,078	0,0009	0,19	12,8211	0,1508	0,0569	0,0021	0,0235	0,0058	1,73	37,3	57,9	437,6	0,132	0,484	0,005	0,485	0,016	0,488	0,083	99	99	
0,6053	0,0273	0,0781	0,0009	0,15	12,8012	0,1455	0,0562	0,0024	0,2952	0,0107	7,64	36,2	322,8	330	0,978	0,485	0,005	0,481	0,017	0,46	0,097	100	105	
0,5733	0,0306	0,0781	0,0016	0,56	12,8038	0,2558	0,0532	0,0024	0,0642	0,0144	7,91	38,1	158,1	427,8	0,37	0,485	0,009	0,46	0,019	0,339	0,1	105	142	
0,6594	0,0323	0,0784	0,0012	0,35	12,7623	0,1992	0,061	0,003	0,201	0,024	2,06	18	125	170,7	0,732	0,486	0,007	0,514	0,021	0,64	0,11	94	75	
0,5689	0,0462	0,0784	0,0016	0,52	12,7543	0,2629	0,0526	0,0042	0,1748	0,0178	0,85	28,9	178	286,9	0,621	0,487	0,01	0,457	0,03	0,313	0,168	106	155	
0,6017	0,0467	0,0785	0,0012	0,58	12,7325	0,1911	0,0556	0,0044	0,1931	0,0634	6,45	16,3	260,4	148,9	1,749	0,487	0,007	0,478	0,029	0,435	0,157	101	112	
0,6314	0,0286	0,0787	0,0014	0,8	12,7054	0,2226	0,0582	0,0022	0,2877	0,017	1,45	29,3	212,5	296,8	0,716	0,488	0,008	0,497	0,018	0,537	0,083	98	90	
0,6106	0,0507	0,0789	0,0015	0,24	12,682	0,2413	0,0562	0,0042	0,2738	0,0211	4,15	15,5	140,5	142,6	0,986	0,489	0,009	0,484	0,032	0,459	0,163	101	106	
0,5897	0,03	0,0791	0,001	0,66	12,6478	0,1562	0,0541	0,0025	0,2217	0,0142	1,57	35,6	235,4	327	0,72	0,491	0,006	0,471	0,019	0,375	0,1	104	130	
0,5849	0,0247	0,0791	0,001	0,01	12,6348	0,1576	0,0536	0,0021	0,2016	0,0064	2,97	48,9	435,4	492,9	0,883	0,491	0,006	0,468	0,016	0,354	0,085	105	138	
0,5585	0,0279	0,0791	0,0011	0,08	12,6429	0,1813	0,0512	0,0023	0,2416	0,0428	22,22	76,6	822,4	658,5	1,249	0,491	0,007	0,451	0,018	0,25	0,093	108	195	
0,6062	0,025	0,0793	0,001	0,64	12,6115	0,1665	0,0554	0,0022	0,0664	0,0061	0,59	54,7	172,3	595,7	0,289	0,492	0,006	0,481	0,016	0,43	0,089	102	114	
0,6391	0,0317	0,0796	0,001	0,47	12,5383	0,1543	0,0581	0,0027	0,0465	0,0076	0	30,3	46,3	345,5	0,134	0,495	0,006	0,502	0,02	0,534	0,104	98	92	
0,6046	0,0342	0,08	0,0015	0,27	12,5	0,2358	0,0548	0,003	0,1696	0,0236	2,22	19,3	95,6	200,5	0,477	0,496	0,009	0,48	0,022	0,405	0,117	103	122	
0,6043	0,0226	0,0808	0,0011	0,38	12,3729	0,1686	0,0542	0,002	0,172	0,0084	4,56	28	169,9	265,9	0,639	0,501	0,007	0,48	0,014	0,38	0,084	104	131	
0,6243	0,0267	0,0809	0,0009	0,96	12,3553	0,1309	0,0559	0,0025	0,2759	0,0706	5,08	79,7	465,9	756,2	0,616	0,502	0,005	0,493	0,017	0,45	0,094	101	111	
0,6516	0,0289	0,0814	0,001	0,63	12,2923	0,1477	0,0581	0,0025	0,0362	0,0193	5,17	23,7	63,2	242	0,261	0,504	0,006	0,509	0,018	0,533	0,1	98	94	
0,6296	0,0361	0,0824	0,0021	0,67	12,1414	0,3083	0,0554	0,0031	0,0463	0,0296	0	21,9	15,6	203	0,077	0,51	0,012	0,496	0,022	0,43	0,118	102	118	
0,5898	0,0249	0,0826	0,0013	0,21	12,1061	0,1871	0,0518	0,0022	0,1359	0,0239	7,88	41,4	314,5	385,2	0,816	0,512	0,008	0,471	0,016	0,276	0,087	108	185	
0,643	0,0318	0,0832	0,0011	0,7	12,021	0,1633	0,0561	0,0026	0,0778	0,0157	2,54	35,2	103,2	398,1	0,259	0,515	0,007	0,504	0,019	0,455	0,097	102	113	
0,6182	0,0265	0,0834	0,001	0,48	11,9852	0,1407	0,0537	0,0025	0,2181	0,0156	1,25	24,3	112,5	224	0,502	0,517	0,006	0,489	0,016	0,36	0,097	105	143	
0,6202	0,1323	0,0847	0,0022	0,17	11,7998	0,3029	0,0531	0,0114	0,285	0,069	17,29	6,2	34,7	44,5	0,78	0,524	0,013	0,49	0,079	0,332	0,293	107	157	
0,6119	0,0486	0,0848	0,0012	0,52	11,7883	0,1644	0,0523	0,0041	0,1191	0,0431	16,33	21,1	96	175,3	0,548	0,525	0,007	0,485	0,03	0,299	0,153	108	175	
0,6724	0,0485	0,0855	0,0016	0,35	11,7004	0,2205	0,0571	0,0038	0,1628	0,022	3,17	15	48	143,7	0,334	0,529	0,01	0,522	0,029	0,494	0,147	101	107	
0,6405	0,0342	0,0858	0,0012	0,5	11,6497	0,1575	0,0541	0,0027	0,1695	0,0221	6,42	22,7	104,4	226,9	0,46	0,531	0,007	0,503	0,02	0,376	0,105	105	141	
0,6185	0,0502	0,0858	0,0018	0,45	11,6486	0,2422	0,0523	0,0039	0,2604	0,0312	11,54	17,9	161	142,6	1,129	0,531	0,011	0,489	0,031	0,296	0,143	108	179	
0,6436	0,0322	0,0862	0,0009	0,6	11,605	0,1217	0,0542	0,0026	0,3138	0,0537	19,4	90,2	371,7	716	0,519	0,533	0,005	0,505	0,02	0,378	0,109	105	140	
0,6122	0,0794	0,0863	0,0012	0,71	11,5909	0,1652	0,0515	0,0069	0,2554	0,2025	30,2	11,8	906	89,5	10,13	0,533	0,007	0,485	0,051	0,262	0,25	110	203	
0,6355	0,1342	0,0871	0,0023	0,48	11,4764	0,306	0,0529	0,0113	0,2689	0,0837	13,21	6,1	77,8	42,4	1,835	0,539	0,014	0,5	0,082	0,324	0,313	107	166	
0,675	0,0588	0,0875	0,0012	0,29	11,4351	0,162	0,056	0,0052	0,1526	0,0335	5,07	14,8	79,6	138,8	0,573	0,54	0,007	0,524	0,038	0,452	0,176	103	119	

## 16T64 CONTINUACION

0,7011	0,0456	0,0888	0,0016	0,46	11,2659	0,2048	0,0573	0,0034	0,2054	0,037	17,82	46,7	247,2	377,5	0,655	0,548	0,01	0,539	0,028	0,503	0,134	101	109
0,7041	0,0361	0,0892	0,0012	0,44	11,2163	0,1472	0,0573	0,003	0,0725	0,0285	15,54	33,8	124,9	289	0,432	0,551	0,007	0,541	0,022	0,502	0,115	101	109
0,7092	0,0534	0,0892	0,0015	0,32	11,2153	0,1843	0,0577	0,0039	0,1206	0,0207	11,15	40,6	127,3	360,1	0,353	0,551	0,009	0,544	0,031	0,518	0,136	101	106
0,6982	0,0379	0,0901	0,0014	0,66	11,0998	0,1762	0,0562	0,0028	0,1613	0,0105	5,51	53,6	194,8	469,8	0,415	0,556	0,008	0,538	0,023	0,461	0,118	103	120
0,738	0,0399	0,0909	0,0016	0,56	10,9954	0,1951	0,0589	0,0028	0,3024	0,0303	11,67	41,4	340,3	281,5	1,209	0,561	0,01	0,561	0,023	0,562	0,112	99	99
0,7164	0,0582	0,091	0,0018	0,39	10,9855	0,2145	0,0571	0,0044	0,2073	0,0223	0,3	15,7	109	129,9	0,839	0,562	0,01	0,549	0,034	0,495	0,159	102	113
0,7173	0,0488	0,0913	0,001	0,34	10,956	0,1215	0,057	0,0039	0,0541	0,0124	3,94	20,1	38,2	191,9	0,199	0,563	0,006	0,549	0,028	0,491	0,144	102	114
0,7354	0,0347	0,0915	0,0016	0,83	10,9317	0,1872	0,0583	0,0024	0,1611	0,0199	10	50,3	285	406,3	0,701	0,564	0,009	0,56	0,02	0,541	0,091	100	104
0,7157	0,0412	0,0916	0,0018	0,24	10,9115	0,2185	0,0566	0,0032	0,2255	0,0162	5,43	34,8	375,6	281,7	1,333	0,565	0,011	0,548	0,025	0,477	0,133	103	118
0,6978	0,0468	0,093	0,0011	0,76	10,7578	0,1226	0,0544	0,0038	0,3149	0,039	20,03	61,6	597,6	470,8	1,289	0,573	0,006	0,537	0,029	0,389	0,149	106	147
0,751	0,0769	0,0941	0,0022	0,28	10,6289	0,2491	0,0579	0,0056	0,3461	0,0444	19,52	12,1	100,1	72,8	1,376	0,58	0,013	0,569	0,041	0,526	0,173	101	110
0,7207	0,0805	0,0959	0,0012	0,42	10,4271	0,1313	0,0545	0,0056	0,6245	0,1177	30,67	28	278,2	112,6	2,472	0,59	0,007	0,551	0,044	0,392	0,186	107	150
0,7362	0,0315	0,0961	0,0013	0,61	10,4007	0,1387	0,0555	0,002	0,1046	0,0159	1,85	79,9	242,4	780,9	0,319	0,592	0,008	0,56	0,018	0,434	0,082	105	136
0,7911	0,0292	0,0963	0,0012	0,38	10,3795	0,1321	0,0596	0,002	0,0051	0,0033	0,03	50,8	9	506	0,018	0,593	0,007	0,592	0,017	0,587	0,075	100	100
0,7838	0,0431	0,0976	0,0018	0,36	10,2504	0,1908	0,0583	0,0029	0,0578	0,0133	1,6	39,2	67,9	379,4	0,179	0,6	0,011	0,588	0,024	0,54	0,11	102	111
0,7644	0,0458	0,0976	0,0014	0,81	10,2479	0,1514	0,0568	0,0035	0,0775	0,0339	20,22	51,5	111,5	446,1	0,25	0,6	0,008	0,577	0,027	0,484	0,134	104	123
0,8284	0,0474	0,1011	0,0026	0,66	9,8934	0,2546	0,0594	0,003	0,2638	0,0184	0,78	35,2	168,1	261,9	0,642	0,621	0,015	0,613	0,026	0,583	0,105	101	106
0,9483	0,0509	0,1084	0,0024	0,01	9,2277	0,2055	0,0635	0,0032	0,7339	0,3329	30,43	35,2	172,5	138,2	1,249	0,663	0,014	0,677	0,028	0,724	0,119	97	91
0,9489	0,0528	0,1119	0,0023	0,47	8,9397	0,1816	0,0615	0,003	0,0523	0,0174	0,64	24,3	19,2	188,1	0,102	0,684	0,013	0,678	0,027	0,658	0,101	100	103
0,9718	0,0478	0,1127	0,0024	0,53	8,8732	0,1888	0,0625	0,0028	0,1265	0,0093	2,44	32,6	66,2	222,8	0,297	0,688	0,014	0,689	0,025	0,693	0,095	99	99
0,9962	0,0485	0,1197	0,0013	0,42	8,3552	0,0889	0,0604	0,003	0,1387	0,0143	4,16	45,6	148,3	293,5	0,505	0,729	0,007	0,702	0,025	0,617	0,105	103	118
1,1078	0,0443	0,1236	0,0033	0,88	8,0936	0,2144	0,065	0,0025	0,0917	0,0179	7,1	52,1	141,1	326,4	0,432	0,751	0,019	0,757	0,022	0,775	0,078	99	96
1,668	0,0948	0,1656	0,0033	0,32	6,0385	0,1213	0,0731	0,0037	0,1958	0,0175	4,06	25	46,5	109,2	0,426	0,988	0,018	0,996	0,035	1,015	0,103	99	97
1,6966	0,0864	0,1669	0,0022	0,54	5,9922	0,0802	0,0737	0,0035	0,221	0,011	3,87	23,8	107,8	101,7	1,06	0,995	0,012	1,007	0,033	1,034	0,095	98	96
1,8349	0,1056	0,1723	0,0038	0,34	5,8046	0,1284	0,0772	0,0042	0,1513	0,0157	0,29	16,8	25,2	80	0,315	1,025	0,021	1,058	0,038	1,128	0,108	96	90
1,8901	0,1371	0,1744	0,0026	0,81	5,7334	0,0844	0,0786	0,0053	0,1278	0,0177	10,73	25,2	54,3	134,6	0,403	1,036	0,014	1,078	0,05	1,162	0,143	96	89
1,8581	0,0959	0,177	0,003	0,4	5,6504	0,0967	0,0761	0,0033	0,0962	0,009	2,15	30,9	38,9	138,5	0,281	1,05	0,017	1,066	0,034	1,099	0,09	98	95
1,7904	0,0658	0,1796	0,0021	0,7	5,5668	0,0664	0,0723	0,0024	0,1664	0,0238	11,13	35,8	111,8	136	0,822	1,065	0,012	1,042	0,024	0,994	0,069	102	107
1,8201	0,1043	0,1808	0,0047	0,7	5,5313	0,1441	0,073	0,004	0,1341	0,0132	1,75	20,4	37,4	86,7	0,431	1,071	0,026	1,053	0,038	1,014	0,107	101	105
1,8044	0,0458	0,1822	0,002	0,69	5,4885	0,06	0,0718	0,0016	0,0681	0,0035	1,03	105	158,2	475,3	0,333	1,079	0,011	1,047	0,016	0,981	0,045	103	109
1,9986	0,0891	0,1864	0,002	0,43	5,3659	0,0583	0,0778	0,0031	0,4242	0,0294	0,45	34,9	144	128,4	1,122	1,102	0,011	1,115	0,03	1,141	0,079	98	96
2,0168	0,111	0,1904	0,0026	0,01	5,2513	0,0722	0,0768	0,0038	0,3045	0,017	4,34	24,1	84,6	87	0,973	1,124	0,014	1,121	0,036	1,116	0,098	100	100
1,8971	0,1437	0,1922	0,0051	0,3	5,2036	0,1384	0,0716	0,0052	0,1081	0,0356	5,98	11	9,3	48,2	0,192	1,133	0,028	1,08	0,05	0,974	0,148	104	116
1,9809	0,1103	0,1946	0,0026	0,33	5,1378	0,0684	0,0738	0,0039	0,1732	0,0401	2,32	23,2	65,5	91,9	0,713	1,146	0,014	1,109	0,038	1,036	0,11	103	110
2,2927	0,0809	0,206	0,0028	0,76	4,8546	0,065	0,0807	0,0027	0,0933	0,0062	2,01	56,7	80,5	220,1	0,366	1,207	0,015	1,21	0,025	1,215	0,068	99	99
2,3461	0,085	0,215	0,0041	0,66	4,6521	0,089	0,0792	0,0025	0,1114	0,0089	1,09	54,5	90,7	205,3	0,442	1,255	0,022	1,226	0,026	1,176	0,062	102	106
2,3227	0,0816	0,2151	0,0029	0,69	4,6489	0,0626	0,0783	0,0025	0,1765	0,0311	0,26	63,3	71,5	247,3	0,289	1,256	0,015	1,219	0,025	1,155	0,062	103	108
2,4299	0,1424	0,2186	0,0045	0,34	4,5755	0,0951	0,0806	0,0039	0,1759	0,0239	1,01	23,6	33,6	79,7	0,421	1,274	0,024	1,251	0,042	1,213	0,093	101	105
2,5047	0,1039	0,221	0,0039	0,82	4,5242	0,0803	0,0822	0,003	0,0163	0,0077	1,26	51,5	20,3	210,5	0,096	1,287	0,021	1,273	0,03	1,25	0,071	101	102
2,509	0,0821	0,2273	0,0025	0,85	4,3989	0,0478	0,08	0,0027	0,1199	0,0065	0,43	63,2	99	228,1	0,434	1,32	0,013	1,275	0,024	1,198	0,066	103	110
2,787	0,1064	0,2359	0,0033	0,4	4,2397	0,059	0,0857	0,0032	0,1693	0,0252	5,62	30,5	76,6	93,8	0,817	1,365	0,017	1,352	0,028	1,331	0,073	100	102
2,9704	0,0978	0,2431	0,0028	0,8	4,1129	0,0471	0,0886	0,0028	0,1314	0,007	3,67	80,6	192	261,9	0,733	1,403	0,014	1,4	0,025	1,396	0,06	100	100
3,3879	0,2632	0,2645	0,0083	0,36	3,7808	0,1181	0,0929	0,0064	0,0887	0,0325	0	7,9	4,1	23	0,178	1,513	0,042	1,502	0,065	1,486	0,146	100	101
3,3571	0,115	0,2649	0,0033	0,81	3,7748	0,0465	0,0919	0,003	0,1214	0,0129	0,61	62,1	41,9	191,1	0,219	1,515	0,017	1,494	0,026	1,466	0,061	101	103
3,4683	0,1466	0,2744	0,0068	0,8	3,6439	0,0901	0,0917	0,0032	0,1442	0,0194	7,53	57,2	133,3	143,7	0,928	1,563	0,034	1,52	0,032	1,46	0,067	102	107
4,989	0,1742	0,3162	0,0066	0,83	3,1624	0,0658	0,1144	0,0034	0,0759	0,0098	0,04	102,9	59,9	255,5	0,234	1,771	0,032	1,817	0,029	1,871	0,053	97	94
5,3198	0,1192	0,3456	0,0041	0,91	2,8932	0,0341	0,1116	0,0023	0,0621	0,0245	10,47	121,1	106,8	304,9	0,35	1,914	0,02	1,872	0,019	1,826	0,037	102	104
5,4649	0,2568	0,3775	0,0098	0,84	2,6487	0,0688	0,105	0,0046	0,2206	0,0161	1,3	23,8	61,6	48,9	1,259	2,065	0,047	1,895	0,042	1,714	0,083	108	120

RATIOS											AGES					Conc.	Conc.						
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total comam %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	206/238 207/235	206/238 207/206
0,4933	0,0253	0,064	0,0007	0,91	15,6137	0,1635	0,0559	0,0027	0,2674	0,049	35,9	104,8	775,2	876,3	0,885	0,4	0,004	0,407	0,017	0,447	0,105	98	89
0,4795	0,0353	0,0661	0,0009	0,86	15,1176	0,1958	0,0526	0,0035	0,3749	0,0749	33,22	90,4	419,6	637,1	0,659	0,413	0,005	0,398	0,024	0,31	0,122	103	133
0,5475	0,0439	0,0783	0,0013	0,2	12,7777	0,2146	0,0507	0,004	0,2052	0,0213	7,9	17,5	98,7	174,7	0,565	0,486	0,008	0,443	0,028	0,229	0,138	109	212
0,6641	0,0596	0,079	0,0009	0,5	12,6641	0,1373	0,061	0,0056	0,3841	0,1056	27,46	17,9	270,3	92,6	2,921	0,49	0,005	0,517	0,039	0,639	0,187	94	76
0,5961	0,03	0,0797	0,0012	0,78	12,5527	0,1844	0,0543	0,0023	0,0987	0,0197	1,99	25	76,9	304,5	0,253	0,494	0,007	0,475	0,018	0,382	0,086	104	129
0,6125	0,027	0,0807	0,0012	0,89	12,3916	0,183	0,055	0,0024	0,1786	0,0126	3,59	53,8	290,5	505,9	0,574	0,5	0,007	0,485	0,018	0,414	0,102	103	120
0,6379	0,028	0,0821	0,0014	0,75	12,1767	0,2103	0,0563	0,0027	0,2221	0,0418	1	54,3	386,5	499,8	0,773	0,509	0,008	0,501	0,018	0,465	0,111	101	109
0,6424	0,0406	0,0825	0,001	0,55	12,118	0,1432	0,0565	0,0033	0,1952	0,0263	8,91	37,9	268,6	378,6	0,71	0,511	0,006	0,504	0,025	0,47	0,119	101	108
0,6537	0,0274	0,0834	0,001	0,34	11,9843	0,1507	0,0568	0,0024	0,1875	0,0189	6,12	37,4	449,1	341,6	1,315	0,517	0,006	0,511	0,017	0,485	0,098	101	106
0,6601	0,0238	0,0842	0,0013	0,89	11,8782	0,1876	0,0569	0,0021	0,1087	0,0076	1,23	59,5	194,7	652	0,299	0,521	0,008	0,515	0,015	0,486	0,087	101	107
0,7292	0,0432	0,0861	0,0012	0,37	11,6138	0,1609	0,0614	0,0033	0,1375	0,0367	13,83	51,3	219	450,1	0,486	0,532	0,007	0,556	0,024	0,654	0,12	95	81
0,6987	0,0349	0,0867	0,0014	0,9	11,5389	0,1904	0,0585	0,0029	0,0545	0,0142	3,63	41,2	92,6	439,3	0,211	0,536	0,009	0,538	0,021	0,547	0,106	99	97
0,6767	0,0335	0,0876	0,0014	0,87	11,412	0,1765	0,056	0,0028	0,3386	0,0561	5,06	72,2	434,8	666,7	0,652	0,541	0,008	0,525	0,021	0,453	0,116	103	119
0,6749	0,0571	0,0876	0,0012	0,78	11,4127	0,1544	0,0559	0,0041	0,2441	0,0472	23,85	27,1	308,1	198,9	1,549	0,541	0,007	0,524	0,033	0,447	0,14	103	121
0,5909	0,0518	0,0881	0,001	0,35	11,3471	0,1342	0,0486	0,0042	0,469	0,0443	17,04	41,1	928,1	298,5	3,109	0,544	0,006	0,471	0,033	0,13	0,131	115	419
0,7303	0,0474	0,0883	0,0017	0,17	11,331	0,2202	0,06	0,0041	0,1908	0,0367	13,44	28,3	181,3	258,1	0,703	0,545	0,01	0,557	0,028	0,604	0,14	97	90
0,7692	0,0343	0,0908	0,0011	0,44	11,0142	0,1394	0,0614	0,0027	0,2741	0,0344	12,73	26,1	173,3	208,3	0,832	0,56	0,007	0,579	0,02	0,655	0,095	96	85
0,7637	0,0788	0,0936	0,002	0,38	10,6893	0,2275	0,0592	0,0061	0,1735	0,0561	10,76	24,5	209,5	224,9	0,931	0,577	0,012	0,576	0,045	0,575	0,187	100	100
0,7608	0,0332	0,0958	0,0011	0,8	10,4398	0,1172	0,0576	0,0025	0,1577	0,0185	14,16	21,1	142,2	206,4	0,689	0,59	0,006	0,574	0,019	0,515	0,095	102	114
0,754	0,0428	0,0977	0,0015	0,67	10,2351	0,1604	0,056	0,0031	0,0377	0,0191	7,85	45,7	64	429,6	0,149	0,601	0,009	0,571	0,026	0,451	0,115	105	133
0,9484	0,0536	0,1146	0,0017	0,57	8,725	0,1261	0,06	0,0033	0,2386	0,0295	3,44	60,7	533,1	413,4	1,29	0,699	0,01	0,677	0,028	0,604	0,12	103	115
1,4112	0,065	0,1329	0,0022	0,96	7,5236	0,1251	0,077	0,0032	0,1739	0,0243	9,97	141,5	398,7	758,6	0,526	0,804	0,012	0,894	0,026	1,121	0,083	90	71
1,2929	0,0603	0,1435	0,0021	0,72	6,9699	0,1021	0,0654	0,0032	0,0792	0,0389	7,36	41,3	181,2	235,9	0,768	0,864	0,012	0,843	0,027	0,786	0,102	102	109
1,3235	0,0511	0,1453	0,0016	0,84	6,8804	0,0738	0,066	0,0025	0,1394	0,011	4,6	38,6	140	210,3	0,666	0,875	0,009	0,856	0,023	0,808	0,078	102	108
1,2887	0,1035	0,1495	0,0026	0,31	6,6906	0,1149	0,0625	0,0047	0,2121	0,0268	8,69	27,9	129,4	152,6	0,848	0,898	0,014	0,841	0,045	0,692	0,154	106	129
1,4816	0,0741	0,1524	0,0022	0,89	6,5618	0,0956	0,0705	0,0033	0,1971	0,0342	5,18	46,4	115,3	334,9	0,344	0,914	0,012	0,923	0,032	0,943	0,101	99	96
1,537	0,067	0,1576	0,0017	0,78	6,3458	0,0694	0,0707	0,0034	0,0974	0,0292	6,18	91,4	257,7	491	0,525	0,943	0,01	0,945	0,029	0,95	0,108	99	99
1,49	0,113	0,1577	0,0026	0,31	6,343	0,1057	0,0685	0,0055	0,2496	0,0499	13,86	22,3	190,9	105,9	1,802	0,944	0,015	0,926	0,053	0,885	0,143	101	106
1,6593	0,0808	0,1671	0,0032	0,42	5,9827	0,1148	0,072	0,0038	0,1186	0,0217	8,48	21,4	48,9	116,8	0,418	0,996	0,018	0,993	0,031	0,986	0,108	100	101
1,6582	0,1315	0,1703	0,0024	0,77	5,8732	0,0835	0,0706	0,005	0,1492	0,0494	14,51	17,7	96,3	80,2	1,201	1,014	0,013	0,993	0,049	0,947	0,14	102	107
1,954	0,0662	0,1781	0,0021	0,94	5,6134	0,0648	0,0796	0,0027	0,2107	0,0287	4,3	112,3	821,2	507,8	1,617	1,057	0,011	1,1	0,024	1,186	0,07	96	89
1,9592	0,0676	0,1843	0,0022	0,94	5,4266	0,0638	0,0771	0,0026	0,118	0,0121	4,56	89,2	320,9	469,7	0,683	1,09	0,012	1,102	0,024	1,124	0,068	98	97
1,9002	0,0975	0,1842	0,0025	0,94	5,4285	0,0745	0,0748	0,0037	0,0819	0,0551	10,16	25,2	112,1	116,9	0,959	1,09	0,014	1,081	0,035	1,063	0,099	100	102
1,8766	0,0712	0,1845	0,0019	0,94	5,4199	0,057	0,0738	0,003	0,0798	0,0183	4,04	70,3	142,7	333,6	0,428	1,092	0,011	1,073	0,028	1,035	0,082	101	105
1,8128	0,0806	0,1852	0,003	0,65	5,3995	0,0876	0,071	0,0031	0,1028	0,0247	10,11	57,5	161	267	0,603	1,095	0,016	1,05	0,029	0,957	0,089	104	114
1,9114	0,0857	0,1869	0,0024	0,89	5,3492	0,07	0,0742	0,0034	0,0849	0,0226	10,64	43,1	74,5	189,6	0,393	1,105	0,013	1,085	0,029	1,046	0,091	101	105
2,0579	0,0964	0,1951	0,0026	0,81	5,1265	0,068	0,0765	0,0032	0,3164	0,0312	2,48	109,4	485,3	321,5	1,509	1,149	0,014	1,135	0,031	1,109	0,089	101	103
2,0941	0,1113	0,1958	0,0043	0,25	5,1082	0,1118	0,0776	0,0043	0,1692	0,0285	9,34	30,3	98,2	118,9	0,826	1,153	0,023	1,147	0,036	1,136	0,113	100	101
1,9925	0,1366	0,1972	0,0023	0,68	5,0718	0,0584	0,0733	0,0054	0,1313	0,0376	10,69	30,1	62,3	117,2	0,531	1,16	0,012	1,113	0,046	1,022	0,126	104	113
1,9468	0,0841	0,1997	0,0025	0,9	5,0077	0,0621	0,0707	0,0028	0,1374	0,0398	22,9	21,4	75,2	82,9	0,907	1,174	0,013	1,097	0,03	0,949	0,083	106	123
2,1356	0,0829	0,2004	0,0023	0,91	4,9896	0,0571	0,0773	0,0027	0,1162	0,016	4,85	79,9	241,1	344,8	0,699	1,178	0,012	1,16	0,027	1,129	0,068	101	104
2,1654	0,1015	0,2012	0,0026	0,11	4,9704	0,0652	0,0781	0,0036	0,146	0,0281	11,27	22,4	62,5	82,9	0,754	1,182	0,014	1,17	0,033	1,148	0,094	100	102
1,9961	0,0955	0,2016	0,0031	0,69	4,9603	0,0768	0,0718	0,0038	0,1888	0,0529	17,28	20,6	48,7	68,7	0,708	1,184	0,017	1,114	0,032	0,981	0,107	106	120
2,1878	0,1121	0,2033	0,0025	0,61	4,9199	0,0594	0,0781	0,0039	0,1851	0,096	18,1	14,1	64,1	40,6	1,577	1,193	0,013	1,177	0,036	1,149	0,101	101	103
2,3387	0,1099	0,2064	0,0036	0,41	4,8452	0,0856	0,0822	0,0041	0,2843	0,0181	11,92	32,4	132,3	114,4	1,157	1,21	0,019	1,224	0,033	1,25	0,098	98	96
2,281	0,0936	0,209	0,003	0,52	4,7854	0,0686	0,0792	0,0031	0,1249	0,0112	3,09	51,3	110,1	220	0,5	1,223	0,016	1,206	0,029	1,176	0,079	101	103

## 17PN07 CONTINUACIÓN

2,0452	0,1139	0,2095	0,0029	0,69	4,7737	0,0651	0,0708	0,0043	0,1141	0,0416	14,84	34,7	72,1	141,4	0,51	1,226	0,015	1,131	0,04	0,952	0,122	108	128
2,3019	0,0834	0,2099	0,0027	0,45	4,7649	0,061	0,0796	0,0025	0,1507	0,0184	3,68	63,2	133,6	250,8	0,533	1,228	0,014	1,213	0,025	1,186	0,06	101	103
2,1625	0,117	0,2137	0,0026	0,78	4,6797	0,0571	0,0741	0,0037	0,078	0,026	12,37	44,9	100,6	191,5	0,525	1,248	0,014	1,175	0,038	1,044	0,099	106	119
2,2818	0,1152	0,2195	0,0026	0,49	4,5564	0,0544	0,0754	0,0036	0,0864	0,0235	7,18	27,3	60,6	96,9	0,626	1,279	0,014	1,207	0,036	1,079	0,096	106	118
2,3416	0,1206	0,2201	0,0029	0,67	4,5439	0,0608	0,0772	0,0039	0,1133	0,02	8,18	61,9	115,5	233,9	0,494	1,282	0,016	1,225	0,036	1,126	0,099	104	113
2,3863	0,0908	0,2216	0,0032	0,95	4,5128	0,0645	0,0781	0,0025	0,0343	0,0111	5,65	89,2	37,9	344,5	0,11	1,29	0,017	1,239	0,027	1,15	0,062	104	112
2,6835	0,1125	0,2229	0,0028	0,91	4,4862	0,0567	0,0873	0,0039	0,1596	0,0807	32,29	31,9	73,8	106,7	0,692	1,297	0,015	1,324	0,031	1,367	0,085	97	94
2,483	0,0835	0,2268	0,0026	0,9	4,4097	0,0505	0,0794	0,0022	0,0772	0,0096	4,3	132,3	201,3	562,7	0,358	1,318	0,014	1,267	0,024	1,182	0,053	103	111
2,5387	0,1186	0,2285	0,0027	0,94	4,3765	0,0517	0,0806	0,0032	0,1001	0,0115	6,35	109,5	276,7	468,4	0,591	1,327	0,014	1,283	0,033	1,211	0,077	103	109
2,4894	0,0855	0,2308	0,0028	0,72	4,332	0,052	0,0782	0,0026	0,1096	0,0122	6,18	100,7	252,1	386	0,653	1,339	0,015	1,269	0,025	1,152	0,067	105	116
2,6728	0,0954	0,2313	0,0028	0,91	4,3233	0,0515	0,0838	0,0029	0,1054	0,0122	7,11	63,1	156,7	257,7	0,608	1,341	0,015	1,321	0,027	1,288	0,069	101	104
2,6125	0,1198	0,2348	0,0032	0,66	4,2584	0,0574	0,0807	0,0037	0,1244	0,01	4,55	40,5	90,6	160,8	0,563	1,36	0,017	1,304	0,035	1,214	0,094	104	112
2,596	0,11	0,2369	0,0036	0,81	4,2205	0,0645	0,0795	0,0029	0,1196	0,0232	3,33	82,7	181,6	293,9	0,618	1,371	0,019	1,3	0,03	1,184	0,073	105	115
2,5574	0,1078	0,237	0,0022	0,98	4,2202	0,039	0,0783	0,0036	0,1152	0,0188	5,1	85	123,5	300,3	0,411	1,371	0,012	1,289	0,033	1,154	0,087	106	118
2,8298	0,1018	0,2409	0,0026	0,99	4,1516	0,0441	0,0852	0,0027	0,1508	0,0093	0,83	192,9	379,4	562,5	0,675	1,391	0,013	1,363	0,025	1,32	0,062	102	105
2,8742	0,1408	0,2416	0,0033	0,43	4,1387	0,0557	0,0863	0,0037	0,1884	0,0122	8,85	44,4	158,5	136,1	1,165	1,395	0,017	1,375	0,037	1,344	0,084	101	103
2,621	0,1327	0,2437	0,0044	0,58	4,1029	0,074	0,078	0,0036	0,165	0,0359	13,51	23,7	60,6	74,2	0,817	1,406	0,023	1,307	0,036	1,147	0,091	107	122
2,6035	0,0869	0,2439	0,0029	0,8	4,1001	0,0488	0,0774	0,0023	0,0407	0,023	5,48	84,3	37,6	331,3	0,113	1,407	0,015	1,302	0,025	1,132	0,062	108	124
3,484	0,1271	0,274	0,0051	0,92	3,6491	0,0678	0,0922	0,0035	0,1509	0,0115	4,51	44,6	102,1	146,3	0,698	1,561	0,026	1,524	0,029	1,472	0,071	102	106
4,6017	0,186	0,3351	0,0059	0,89	2,9841	0,0524	0,0996	0,0041	0,1199	0,0123	2,59	136,7	240,3	381,7	0,63	1,863	0,028	1,75	0,034	1,617	0,076	106	115
4,9205	0,1514	0,3351	0,0036	0,84	2,984	0,0324	0,1065	0,003	0,1785	0,0226	4,97	43,9	124,2	97,4	1,275	1,863	0,018	1,806	0,026	1,74	0,051	103	107
5,575	0,1795	0,3556	0,005	0,71	2,8118	0,0395	0,1137	0,0032	0,2465	0,0272	1,76	81,1	223,3	161,6	1,382	1,961	0,024	1,912	0,028	1,859	0,051	102	105
6,2041	0,1826	0,3757	0,0049	0,79	2,6619	0,035	0,1198	0,0033	0,2289	0,0197	6	37,9	143,2	76,1	1,882	2,056	0,023	2,005	0,026	1,953	0,049	102	105

RATIOS											AGES										Conc.		
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. coe	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total consum %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc. 206/238 207/235	Conc. 206/238 207/206
0,5199	0,012	0,0668	0,0006	0,99	14,9737	0,124	0,0565	0,0014	0,2152	0,0166	3,66	59	464	673	0,689	0,417	0,003	0,425	0,008	0,47	0,056	98	88
0,5256	0,0205	0,0687	0,001	0,88	14,546	0,2151	0,0554	0,0024	0,0824	0,0243	2,87	63	199	780	0,255	0,429	0,006	0,429	0,014	0,43	0,097	99	99
0,5676	0,0241	0,0728	0,0011	0,85	13,7349	0,2039	0,0565	0,0027	0,3972	0,1071	0,09	36	371	312	1,191	0,453	0,006	0,456	0,016	0,474	0,106	99	95
0,5668	0,016	0,0729	0,0006	0,87	13,7195	0,1052	0,0564	0,0017	0,2908	0,0212	0,08	44	328	466	0,704	0,454	0,003	0,456	0,01	0,468	0,067	99	96
0,6007	0,0272	0,0734	0,0009	0,32	13,6275	0,1581	0,0594	0,003	0,2817	0,0223	0,28	21	175	212	0,828	0,456	0,005	0,478	0,017	0,581	0,115	95	78
0,5696	0,0177	0,0737	0,0006	0,14	13,5768	0,11	0,0561	0,0019	0,2265	0,0063	0,6	36	231	378	0,611	0,458	0,004	0,458	0,011	0,456	0,075	100	100
0,5798	0,0273	0,0738	0,0008	0,55	13,545	0,1435	0,057	0,0029	0,3581	0,1451	0,69	9	48	92	0,522	0,459	0,005	0,464	0,018	0,49	0,115	98	93
0,5784	0,0224	0,0737	0,0007	0,52	13,5657	0,1349	0,0569	0,0025	0,1823	0,0086	0,39	23	100	246	0,408	0,459	0,004	0,463	0,014	0,488	0,096	98	93
0,5707	0,0151	0,0739	0,0006	0,17	13,5244	0,1088	0,056	0,0016	0,2491	0,024	0,33	41	244	422	0,577	0,46	0,004	0,458	0,01	0,452	0,064	100	101
0,5691	0,0249	0,0743	0,0011	0,37	13,4621	0,2013	0,0556	0,0028	0,1644	0,0144	0,5	19	74	200	0,368	0,462	0,007	0,457	0,016	0,435	0,111	100	106
0,5847	0,0302	0,0743	0,0009	0,47	13,4655	0,1678	0,0571	0,0033	0,2685	0,0261	1,3	16	102	163	0,626	0,462	0,006	0,467	0,019	0,495	0,126	98	93
0,5677	0,0365	0,0747	0,0011	0,01	13,3946	0,1957	0,0552	0,004	0,2616	0,0111	0,55	14	97	134	0,727	0,464	0,007	0,457	0,023	0,418	0,154	101	110
0,5798	0,0595	0,0751	0,0014	0,54	13,3079	0,2566	0,056	0,0061	0,2307	0,0177	0,59	8	52	82	0,643	0,467	0,009	0,464	0,038	0,451	0,229	100	103
0,59	0,0288	0,0754	0,0009	0,58	13,2676	0,1616	0,0568	0,0029	0,1475	0,0564	0,45	21	141	214	0,661	0,468	0,005	0,471	0,018	0,483	0,109	99	97
0,5801	0,0191	0,0753	0,0008	0,87	13,2741	0,1331	0,0559	0,0018	0,1585	0,0095	2,13	43	244	468	0,521	0,468	0,005	0,465	0,012	0,446	0,071	100	104
0,5924	0,0177	0,0757	0,0007	0,02	13,2102	0,1244	0,0568	0,0018	0,1115	0,0067	0,57	27	107	300	0,358	0,47	0,004	0,472	0,011	0,482	0,071	99	97
0,5888	0,013	0,0757	0,0006	0,68	13,2131	0,1091	0,0564	0,0014	0,172	0,0089	0,12	44	207	476	0,435	0,47	0,004	0,47	0,008	0,469	0,056	100	100
0,5891	0,0165	0,0759	0,0006	0,64	13,1695	0,1036	0,0563	0,0017	0,1922	0,0109	0,35	48	246	504	0,489	0,472	0,004	0,47	0,011	0,463	0,066	100	101
0,5979	0,0161	0,0763	0,0006	0,89	13,1126	0,0978	0,0569	0,0016	0,2973	0,0125	3,6	57	444	611	0,726	0,474	0,003	0,476	0,01	0,486	0,064	99	97
0,5915	0,015	0,0764	0,0007	0,59	13,0891	0,116	0,0562	0,0015	0,0913	0,0118	1,11	32	111	359	0,31	0,475	0,004	0,472	0,009	0,458	0,058	100	103
0,594	0,0231	0,0767	0,0008	0,71	13,0449	0,1294	0,0562	0,0024	0,2048	0,0127	0,13	21	101	216	0,469	0,476	0,005	0,473	0,015	0,46	0,095	100	103
0,6103	0,0236	0,0767	0,0008	0,01	13,0401	0,1285	0,0577	0,0024	0,1162	0,0086	0,33	20	69	223	0,308	0,476	0,005	0,484	0,015	0,519	0,091	98	91
0,6047	0,022	0,077	0,001	0,35	12,9791	0,1733	0,0569	0,0024	0,144	0,0725	0,34	39	206	377	0,545	0,478	0,006	0,48	0,014	0,489	0,087	99	97
0,6047	0,0221	0,0773	0,0009	0,01	12,9378	0,1453	0,0567	0,0023	0,1439	0,0218	0,16	26	128	269	0,475	0,48	0,005	0,48	0,014	0,482	0,096	99	99
0,6053	0,0207	0,0777	0,0008	0,89	12,8638	0,1286	0,0565	0,0021	0,0295	0,0107	0,71	24	26	276	0,094	0,483	0,005	0,481	0,013	0,471	0,083	100	102
0,612	0,017	0,0777	0,0007	0,01	12,8624	0,108	0,0571	0,0017	0,1679	0,021	0,15	42	189	440	0,429	0,483	0,004	0,485	0,011	0,495	0,065	99	97
0,6252	0,0181	0,078	0,0008	0,23	12,8209	0,1246	0,0581	0,0019	0,0387	0,0047	1,99	27	38	303	0,127	0,484	0,005	0,493	0,011	0,535	0,074	98	90
0,6182	0,0334	0,0781	0,001	0,45	12,8105	0,1655	0,0574	0,0033	0,2598	0,0208	0,45	15	109	143	0,759	0,485	0,006	0,489	0,021	0,508	0,127	99	95
0,6161	0,0336	0,0783	0,0009	0,31	12,7748	0,1498	0,0571	0,0034	0,1921	0,0144	0,36	16	74	156	0,476	0,486	0,005	0,487	0,021	0,495	0,129	99	98
0,6148	0,0165	0,0786	0,0006	0,68	12,7206	0,105	0,0567	0,0017	0,1776	0,012	0,18	33	149	350	0,426	0,488	0,004	0,487	0,01	0,481	0,065	100	101
0,6218	0,0337	0,0786	0,0009	0,23	12,7259	0,1492	0,0574	0,0034	0,2857	0,02	0,31	16	104	151	0,692	0,488	0,006	0,491	0,021	0,507	0,129	99	96
0,655	0,0207	0,0837	0,001	0,88	11,9412	0,1494	0,0567	0,002	0,3783	0,0103	0,76	39	433	308	1,406	0,518	0,006	0,512	0,013	0,481	0,08	101	107
0,6758	0,04	0,0849	0,0012	0,96	11,7821	0,1717	0,0578	0,0018	0,1469	0,0932	1,8	71	88	264	0,334	0,525	0,007	0,524	0,012	0,52	0,038	100	100
0,7151	0,0199	0,0889	0,0007	0,91	11,2518	0,0869	0,0584	0,0017	0,1764	0,0078	0	65	289	596	0,484	0,549	0,004	0,548	0,012	0,543	0,063	100	101
0,7269	0,0167	0,0895	0,0007	0,8	11,1673	0,0868	0,0589	0,0015	0,2196	0,0124	0,11	53	277	479	0,578	0,553	0,004	0,555	0,01	0,562	0,054	99	98
0,8604	0,0297	0,1027	0,0014	0,56	9,7364	0,1374	0,0608	0,0023	0,0326	0,0081	0,18	42	22	370	0,061	0,63	0,008	0,63	0,016	0,631	0,081	99	99
0,9656	0,0613	0,11	0,0023	0,39	9,0905	0,1894	0,0637	0,0045	0,0907	0,0132	1,14	12	22	92	0,234	0,673	0,013	0,686	0,032	0,73	0,155	98	92
0,9622	0,0211	0,1127	0,0012	0,92	8,8694	0,0965	0,0619	0,0015	0,1488	0,0109	0	91	222	608	0,365	0,689	0,007	0,684	0,011	0,67	0,052	100	102
1,6949	0,1978	0,1581	0,0044	0,35	6,3258	0,1774	0,0778	0,0097	0,3272	0,0445	1,34	6	24	25	0,973	0,946	0,024	1,007	0,074	1,141	0,264	93	82
1,7195	0,061	0,1703	0,0018	0,09	5,873	0,0625	0,0732	0,0028	0,2325	0,0119	0,2	22	65	96	0,68	1,014	0,01	1,016	0,022	1,021	0,077	99	99
1,736	0,0525	0,1727	0,0017	0,29	5,7897	0,0558	0,0729	0,0024	0,0691	0,0069	0,25	23	20	116	0,17	1,027	0,009	1,022	0,019	1,011	0,066	100	101
1,7382	0,0578	0,1739	0,002	0,48	5,7512	0,0673	0,0725	0,0026	0,1404	0,0095	4,29	17	39	84	0,462	1,033	0,011	1,023	0,021	1	0,07	101	103
1,8205	0,1095	0,1747	0,0035	0,31	5,723	0,1132	0,0756	0,0054	0,1727	0,012	1,03	10	21	42	0,512	1,038	0,019	1,053	0,039	1,084	0,145	98	95
1,7932	0,0721	0,1757	0,0024	0,16	5,692	0,0778	0,074	0,0033	0,1319	0,0166	0,55	13	21	57	0,364	1,043	0,013	1,043	0,026	1,042	0,089	100	100
2,0228	0,0488	0,1775	0,0017	0,99	5,6341	0,0525	0,0827	0,002	0,0775	0,0163	0	32	32	114	0,284	1,053	0,009	1,123	0,016	1,261	0,047	93	83
1,8519	0,0379	0,1782	0,0016	0,84	5,6105	0,049	0,0754	0,0018	0,106	0,0047	0,4	41	61	201	0,303	1,057	0,009	1,064	0,014	1,078	0,047	99	98

## 16PN33 CONTINUACIÓN

1.8519	0,0379	0,1782	0,0016	0,84	5.6105	0,049	0,0754	0,0018	0,106	0,0047	0,4	41	61	201	0,303	1,057	0,009	1,064	0,014	1,078	0,047	99	98
1.84	0,0537	0,1783	0,0018	0,92	5.6085	0,0576	0,0748	0,0023	0,1556	0,0053	0,42	30	67	137	0,49	1,058	0,01	1,06	0,019	1,064	0,061	99	99
1.92	0,1738	0,1784	0,0053	0,52	5.606	0,1668	0,0781	0,0079	0,149	0,0177	1,52	6	9	25	0,355	1,058	0,029	1,088	0,06	1,149	0,205	97	92
1.8242	0,0278	0,1794	0,0013	0,7	5.5741	0,0405	0,0737	0,0011	0,0975	0,0032	0,73	92	125	420	0,297	1,064	0,007	1,054	0,01	1,035	0,031	100	102
1.8687	0,07	0,18	0,0021	0,46	5.5568	0,0633	0,0753	0,0032	0,106	0,0087	0,4	19	28	81	0,34	1,067	0,011	1,07	0,025	1,077	0,085	99	99
1.8243	0,1115	0,1811	0,0028	0,12	5.5212	0,085	0,0731	0,0051	0,137	0,0158	0,78	9	13	39	0,345	1,073	0,015	1,054	0,04	1,015	0,138	101	105
1.8739	0,0523	0,1814	0,0019	0,55	5.5123	0,0576	0,0749	0,0022	0,1063	0,0072	0,45	19	26	87	0,293	1,075	0,01	1,072	0,018	1,066	0,058	100	100
1.8352	0,0927	0,1823	0,0026	0,7	5.4853	0,0781	0,073	0,0039	0,2267	0,01	5,86	15	47	63	0,738	1,08	0,014	1,058	0,033	1,014	0,104	102	106
1.8826	0,0391	0,1823	0,0012	0,56	5.4856	0,0375	0,0749	0,0016	0,0078	0,0017	0,07	92	11	452	0,024	1,08	0,007	1,075	0,014	1,066	0,043	100	101
1.8907	0,0397	0,1829	0,0021	0,05	5.4675	0,0637	0,075	0,0017	0,134	0,005	0,05	131	198	589	0,336	1,083	0,012	1,078	0,014	1,068	0,046	100	101
1.8712	0,0429	0,1844	0,0014	0,81	5.4243	0,0401	0,0736	0,0018	0,0984	0,0036	0,27	61	77	279	0,276	1,091	0,007	1,071	0,015	1,031	0,049	101	105
1.8954	0,0961	0,1849	0,0026	0,16	5.4089	0,0747	0,0744	0,004	0,4121	0,0639	0,78	23	107	75	1,428	1,094	0,014	1,079	0,034	1,051	0,114	101	104
1.95	0,0464	0,1858	0,0018	0,41	5.3817	0,0516	0,0761	0,0019	0,2311	0,0161	0,54	37	135	144	0,935	1,099	0,01	1,098	0,016	1,098	0,051	100	100
2.0899	0,1226	0,1863	0,0041	0,93	5.3679	0,1177	0,0814	0,0054	0,2633	0,164	1,59	13	32	44	0,729	1,101	0,022	1,145	0,04	1,23	0,132	96	89
1.9674	0,0574	0,1862	0,0019	0,67	5.371	0,0558	0,0766	0,0023	0,1209	0,0068	0,65	24	37	105	0,351	1,101	0,01	1,104	0,019	1,112	0,061	99	99
1.9754	0,0476	0,1866	0,0017	0,7	5.3605	0,0484	0,0768	0,0019	0,1693	0,0049	0,5	38	69	160	0,43	1,103	0,009	1,107	0,016	1,116	0,051	99	98
1.9566	0,0578	0,1868	0,0021	0,07	5.3529	0,0592	0,076	0,0024	0,4592	0,058	0,3	22	97	75	1,291	1,104	0,011	1,101	0,019	1,094	0,062	100	100
1.8894	0,0831	0,188	0,0033	0,26	5.3186	0,0941	0,0729	0,0037	0,1669	0,0158	0,63	23	40	95	0,422	1,111	0,018	1,077	0,03	1,011	0,101	103	109
1.9991	0,1382	0,1892	0,0038	0,13	5.2854	0,1059	0,0766	0,0059	0,1321	0,0306	2,14	7	13	30	0,425	1,117	0,021	1,115	0,047	1,112	0,157	100	100
1.9543	0,0585	0,1898	0,0018	0,99	5.2694	0,0504	0,0747	0,0029	0,0846	0,0427	2,08	25	47	109	0,433	1,12	0,01	1,1	0,023	1,06	0,083	101	105
2.2083	0,1031	0,1897	0,0036	0,46	5.2702	0,1004	0,0844	0,0046	0,2094	0,0145	2,67	14	38	51	0,741	1,12	0,02	1,184	0,034	1,302	0,112	94	86
2.015	0,0642	0,1912	0,0023	0,56	5.229	0,0632	0,0764	0,0028	0,181	0,0072	0,47	22	49	93	0,528	1,128	0,012	1,121	0,021	1,106	0,073	100	101
2.0658	0,0761	0,1927	0,0022	0,96	5.1883	0,0584	0,0777	0,0031	0,0567	0,016	3,73	15	14	62	0,223	1,136	0,012	1,138	0,025	1,14	0,08	99	99
1.9361	0,0301	0,1927	0,0013	0,98	5.1899	0,035	0,0729	0,0012	0,0681	0,0096	0,17	124	154	557	0,276	1,136	0,007	1,094	0,011	1,01	0,034	103	112
2.0363	0,0284	0,1947	0,0013	0,99	5.1352	0,0333	0,0758	0,0012	0,1527	0,004	0,25	195	322	804	0,4	1,147	0,007	1,128	0,01	1,091	0,032	101	105
2.0305	0,1397	0,1956	0,0033	0,24	5.1114	0,0854	0,0753	0,0058	0,1155	0,0182	0,5	10	14	42	0,325	1,152	0,018	1,126	0,045	1,076	0,143	102	107
2.124	0,0532	0,1959	0,0018	0,4	5.1047	0,0459	0,0786	0,0022	0,0861	0,005	0,17	30	33	124	0,267	1,153	0,009	1,157	0,018	1,163	0,055	99	99
2.103	0,0603	0,1982	0,002	0,88	5.0447	0,0515	0,0769	0,0023	0,149	0,0072	2,01	32	61	136	0,445	1,166	0,011	1,15	0,019	1,12	0,06	101	104
2.1308	0,0338	0,1986	0,0014	0,93	5.0356	0,0363	0,0778	0,0013	0,0945	0,0029	0,05	124	155	489	0,316	1,168	0,008	1,159	0,011	1,142	0,033	100	102
2.1831	0,0652	0,1993	0,002	0,96	5.0178	0,0496	0,0794	0,0027	0,1182	0,011	0,53	32	46	145	0,319	1,172	0,011	1,176	0,021	1,183	0,066	99	99
2.1925	0,0968	0,2002	0,0027	0,45	4.9941	0,0675	0,0794	0,004	0,1629	0,011	0,71	12	18	46	0,39	1,177	0,015	1,179	0,031	1,182	0,1	99	99
2.1987	0,0453	0,2014	0,0018	0,96	4.9645	0,0442	0,0792	0,0017	0,1477	0,0474	0,32	46	90	196	0,46	1,183	0,01	1,181	0,014	1,176	0,044	100	100
2.1825	0,0638	0,2022	0,0029	0,96	4.945	0,0699	0,0783	0,0025	0,0678	0,0045	0,19	43	31	185	0,167	1,187	0,015	1,175	0,02	1,154	0,062	101	102
2.1834	0,0476	0,2036	0,0024	0,54	4.9111	0,0581	0,0778	0,0018	0,1367	0,0064	0,03	135	204	544	0,375	1,195	0,013	1,176	0,015	1,141	0,047	101	104
2.2588	0,0454	0,2043	0,0022	0,99	4.895	0,0524	0,0802	0,0018	0,1288	0,0135	1,71	87	124	327	0,38	1,198	0,012	1,2	0,014	1,202	0,044	99	99
2.3822	0,0616	0,2126	0,0028	0,51	4.7047	0,0621	0,0813	0,0023	0,294	0,0244	0,29	55	154	186	0,83	1,242	0,015	1,237	0,019	1,228	0,055	100	101
2.3424	0,0525	0,2127	0,0016	0,98	4.7022	0,0346	0,0799	0,002	0,0836	0,0029	0,17	60	61	255	0,24	1,243	0,008	1,225	0,016	1,194	0,049	101	104
2.4275	0,0909	0,2131	0,0026	0,83	4.6923	0,0583	0,0826	0,0035	0,1715	0,0456	1,07	8	-1	40	-0,024	1,245	0,014	1,251	0,028	1,26	0,083	99	98
2.4482	0,0824	0,2152	0,0025	0,7	4.6462	0,0539	0,0825	0,003	0,2015	0,0171	0,52	22	51	78	0,647	1,257	0,013	1,257	0,024	1,257	0,07	99	99
2.3357	0,0353	0,2158	0,0015	0,99	4.6334	0,0322	0,0785	0,0013	0,0906	0,02	0,2	107	110	420	0,261	1,26	0,008	1,223	0,011	1,159	0,032	102	108
2.437	0,0432	0,2168	0,0016	0,99	4.6116	0,0348	0,0815	0,0015	0,108	0,0148	0	45	58	184	0,313	1,265	0,009	1,254	0,013	1,234	0,039	100	102

## 16PN33 CONTINUACIÓN 2

2,5514	0,0685	0,2182	0,0023	0,78	4,5832	0,0476	0,0848	0,0024	0,1045	0,0032	0,45	25	27	96	0,284	1,272	0,012	1,287	0,02	1,311	0,054	98	97
2,4741	0,074	0,2197	0,002	0,93	4,5508	0,041	0,0817	0,0027	0,1101	0,0064	0,26	34	40	132	0,306	1,281	0,01	1,264	0,022	1,237	0,064	101	103
2,5411	0,0675	0,2203	0,0024	0,26	4,5396	0,0486	0,0837	0,0024	0,1076	0,0069	0,22	18	23	65	0,359	1,283	0,012	1,284	0,02	1,285	0,057	99	99
2,5677	0,069	0,2243	0,0019	0,61	4,459	0,0373	0,083	0,0024	0,1635	0,0095	0,2	35	50	124	0,399	1,304	0,01	1,291	0,02	1,27	0,057	100	102
2,7354	0,1017	0,2269	0,0039	0,38	4,4079	0,076	0,0875	0,0035	0,1298	0,0056	0,37	22	27	75	0,362	1,318	0,021	1,338	0,028	1,37	0,079	98	96
2,7293	0,0582	0,2272	0,0021	0,41	4,4015	0,0416	0,0871	0,0022	0,214	0,012	5,31	5	10	18	0,566	1,32	0,011	1,336	0,016	1,363	0,047	98	96
2,6637	0,1101	0,2294	0,0042	0,05	4,3591	0,0795	0,0842	0,0038	0,1755	0,098	0,99	15	19	54	0,353	1,331	0,022	1,318	0,031	1,298	0,088	100	102
2,7311	0,0603	0,233	0,0027	0,79	4,2925	0,0493	0,085	0,002	0,2037	0,0149	0,4	77	134	240	0,557	1,35	0,014	1,337	0,016	1,316	0,046	100	102
2,828	0,0665	0,2366	0,0024	0,72	4,2258	0,043	0,0867	0,0024	0,136	0,0068	0,22	32	38	105	0,362	1,369	0,013	1,363	0,017	1,353	0,052	100	101
2,8833	0,0549	0,2391	0,0021	0,99	4,1825	0,036	0,0875	0,0018	0,0897	0,0376	0,79	35	41	125	0,328	1,382	0,011	1,378	0,014	1,371	0,039	100	100
3,005	0,1027	0,2448	0,0035	0,64	4,0854	0,0577	0,089	0,0035	0,1945	0,0093	0,42	18	30	56	0,533	1,411	0,018	1,409	0,026	1,405	0,077	100	100
3,0926	0,0693	0,2463	0,0024	0,86	4,0604	0,0401	0,0911	0,0022	0,153	0,0108	0,36	33	52	103	0,507	1,419	0,013	1,431	0,017	1,448	0,045	99	98
3,0447	0,0784	0,2507	0,0025	0,54	3,9889	0,0405	0,0881	0,0023	0,1272	0,0141	2,15	29	40	93	0,428	1,442	0,013	1,419	0,019	1,384	0,052	101	104
3,8267	0,0522	0,2508	0,0018	0,95	3,9874	0,0288	0,1107	0,0015	0,3073	0,0161	0,17	81	148	166	0,891	1,443	0,009	1,598	0,011	1,81	0,024	90	79
3,2405	0,0637	0,252	0,0027	0,45	3,9685	0,0432	0,0933	0,0019	0,107	0,0114	0,07	62	54	217	0,247	1,449	0,014	1,467	0,015	1,493	0,039	98	97
3,2734	0,088	0,2587	0,0024	0,94	3,8652	0,0359	0,0918	0,0027	0,0887	0,0043	0,36	37	34	130	0,258	1,483	0,012	1,475	0,021	1,462	0,056	100	101
3,4259	0,1345	0,2647	0,0031	0,52	3,7777	0,0448	0,0939	0,0041	0,1976	0,0129	1,04	18	29	51	0,559	1,514	0,016	1,51	0,03	1,505	0,081	100	100
9,2682	0,1305	0,3944	0,003	0,94	2,5357	0,019	0,1704	0,0025	0,1987	0,0148	0,23	55	48	88	0,542	2,143	0,014	2,365	0,013	2,562	0,024	90	83
11,7185	0,2954	0,4863	0,0076	0,12	2,0563	0,0322	0,1748	0,0046	0,0873	0,0039	0,07	40	16	64	0,255	2,555	0,033	2,582	0,024	2,604	0,044	98	98

RATIOS											AGES									Conc.	Conc.			
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total	Pb rad	Th	U	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	206/238	206/238	
um, 6Hz, 7mJ, 32um, ablation time - 40s.											contam	ppm	ppm	ppm									207/235	207/206
0,5047	0,0683	0,0716	0,0016	0,26	13,9722	0,3035	0,0511	0,0068	0,1934	0,033	6,19	12,5	114,4	128,3	0,892	0,446	0,009	0,415	0,048	0,247	0,22	107	180	
0,5589	0,0299	0,0747	0,001	0,49	13,3917	0,1742	0,0543	0,0028	0,245	0,0193	9,19	19,7	226,5	178,1	1,272	0,464	0,006	0,451	0,019	0,383	0,112	102	121	
0,6115	0,0291	0,0758	0,001	0,3	13,201	0,1712	0,0585	0,0028	0,1797	0,0089	2,19	30	241,1	313,6	0,769	0,471	0,006	0,484	0,018	0,55	0,108	97	85	
0,5837	0,0354	0,0775	0,0013	0,17	12,9031	0,2185	0,0546	0,0032	0,164	0,0382	0,86	54,6	539	540,3	0,998	0,481	0,008	0,467	0,023	0,397	0,124	103	121	
0,5712	0,0306	0,0797	0,0009	0,55	12,5531	0,1408	0,052	0,0027	0,1772	0,0261	8,03	39,9	321,5	387,5	0,83	0,494	0,005	0,459	0,02	0,285	0,108	107	173	
0,5697	0,0435	0,0803	0,0009	0,22	12,4477	0,139	0,0514	0,0041	0,3544	0,0175	11,28	16,1	239,1	125,5	1,905	0,498	0,005	0,458	0,028	0,26	0,166	108	191	
0,6251	0,03	0,0805	0,0014	0,64	12,4249	0,2185	0,0563	0,0023	0,2454	0,016	4,02	56,2	487,7	480,1	1,016	0,499	0,008	0,493	0,019	0,466	0,085	101	107	
0,6439	0,0229	0,0809	0,0009	0,45	12,3561	0,1342	0,0577	0,002	0,1914	0,0062	3,89	44,4	435,4	447,3	0,974	0,502	0,005	0,505	0,014	0,519	0,076	99	96	
0,6017	0,0474	0,0817	0,0016	0,57	12,2376	0,2332	0,0534	0,0038	0,393	0,1415	32,51	29,4	191,4	162,5	1,178	0,506	0,009	0,478	0,03	0,346	0,15	105	146	
0,6594	0,0416	0,0823	0,0016	0,28	12,146	0,2363	0,0581	0,0034	0,1844	0,0388	4,52	18	71,6	165,7	0,432	0,51	0,01	0,514	0,025	0,533	0,132	99	95	
0,6448	0,0278	0,0829	0,0009	0,51	12,0674	0,1303	0,0564	0,0024	0,0439	0,0237	2,25	43,9	10,4	481,5	0,022	0,513	0,005	0,505	0,017	0,469	0,092	101	109	
0,6121	0,0335	0,0841	0,0011	0,48	11,8874	0,1588	0,0528	0,0032	0,1575	0,028	13,76	15,6	139,3	138,7	1,005	0,521	0,007	0,485	0,021	0,319	0,126	107	163	
0,6566	0,0251	0,0843	0,0009	0,74	11,8595	0,1295	0,0565	0,0021	0,0216	0,0055	1,95	116,2	103,3	1315	0,079	0,522	0,005	0,513	0,016	0,471	0,086	101	110	
0,6712	0,0223	0,0853	0,0009	0,96	11,7176	0,1291	0,057	0,0018	0,1711	0,0167	2,58	156,9	1787,7	1578	1,133	0,528	0,006	0,521	0,014	0,493	0,069	101	107	
0,6722	0,0183	0,0858	0,0005	0,99	11,6584	0,072	0,0568	0,002	0,164	0,1453	0	109,8	-10500	863,5	-12,16	0,531	0,003	0,522	0,012	0,485	0,083	101	109	
0,7074	0,0466	0,0865	0,0019	0,01	11,5647	0,2537	0,0593	0,0036	0,2254	0,0361	23,64	16,3	130,6	130,9	0,998	0,535	0,011	0,543	0,029	0,579	0,143	98	92	
0,7058	0,0658	0,0875	0,0019	0,62	11,4278	0,2449	0,0585	0,0057	0,4769	0,13	5,45	26,8	762,5	201,1	3,792	0,541	0,011	0,542	0,041	0,548	0,164	99	98	
0,7121	0,0317	0,0882	0,0015	0,35	11,336	0,1936	0,0585	0,0026	0,1699	0,0088	1,12	32,7	246,8	307,6	0,802	0,545	0,009	0,546	0,019	0,55	0,102	99	99	
0,6966	0,0246	0,0882	0,001	0,52	11,3399	0,1244	0,0575	0,002	0,0456	0,0176	1,53	41,3	80,4	440,6	0,182	0,545	0,006	0,538	0,015	0,509	0,076	101	106	
0,6152	0,0445	0,0886	0,0021	0,08	11,2855	0,2693	0,0504	0,0033	0,2623	0,0273	7,22	18,2	293	155,6	1,883	0,547	0,013	0,487	0,027	0,211	0,133	112	259	
0,7174	0,0467	0,0891	0,0018	0,23	11,2279	0,2223	0,0584	0,0033	0,2609	0,0406	11,33	43,2	534,5	312,4	1,711	0,55	0,01	0,549	0,028	0,546	0,114	100	100	
0,759	0,0445	0,0898	0,0016	0,74	11,1357	0,2015	0,0613	0,0032	0,141	0,0248	6,33	31,9	272,9	259,7	1,051	0,554	0,01	0,573	0,026	0,65	0,119	96	85	
0,6924	0,0303	0,0903	0,0011	0,77	11,071	0,1332	0,0556	0,0022	0,0914	0,0409	13,7	24,5	86,3	233,8	0,377	0,557	0,006	0,534	0,018	0,438	0,087	104	127	
0,7444	0,0657	0,0903	0,0014	0,39	11,0697	0,174	0,0598	0,0048	0,1815	0,0551	9,5	23,2	302,2	188,1	1,797	0,558	0,008	0,565	0,038	0,595	0,163	98	93	
0,7105	0,0277	0,0912	0,001	0,09	10,9623	0,1206	0,0565	0,0024	0,1652	0,0283	10,71	45,5	494,9	377,5	1,311	0,563	0,006	0,545	0,016	0,472	0,092	103	119	
0,7052	0,0427	0,0931	0,0019	0,09	10,7459	0,2188	0,055	0,0033	0,1699	0,026	4,29	30,2	211,1	262,2	0,805	0,574	0,011	0,542	0,024	0,411	0,11	105	139	
0,7527	0,0408	0,094	0,0019	0,28	10,6424	0,2106	0,0581	0,0028	0,0652	0,0221	22,46	27,9	21,7	237,8	0,091	0,579	0,011	0,57	0,023	0,534	0,105	101	108	
0,7311	0,0457	0,0959	0,0021	0,73	10,4289	0,2333	0,0553	0,0034	0,309	0,0994	7,68	41,3	315,1	362,3	0,87	0,59	0,013	0,557	0,026	0,424	0,123	105	139	
0,7214	0,0587	0,0962	0,0016	0,45	10,3912	0,1688	0,0544	0,0041	0,1308	0,1102	51,53	28,9	32,2	150,2	0,215	0,592	0,009	0,552	0,035	0,386	0,161	107	153	
0,8107	0,024	0,0965	0,001	0,58	10,3636	0,1049	0,0609	0,002	0,0036	0,0044	0	47,7	11,1	480,2	0,023	0,594	0,006	0,603	0,013	0,637	0,07	98	93	
0,8309	0,0298	0,0973	0,001	0,58	10,2769	0,1061	0,0619	0,002	0,0034	0,0039	0	47,3	11,8	467,6	0,025	0,599	0,006	0,614	0,017	0,672	0,071	97	89	
0,8452	0,0802	0,0973	0,0022	0,41	10,2747	0,2303	0,063	0,0063	0,1652	0,035	25,43	9,7	6,9	64,9	0,106	0,599	0,013	0,622	0,045	0,708	0,217	96	84	
0,8119	0,0428	0,0981	0,0017	0,64	10,192	0,1755	0,06	0,0028	0,0625	0,0117	2,37	70,4	130,9	718,6	0,182	0,603	0,01	0,604	0,024	0,604	0,104	99	99	
0,8463	0,067	0,1003	0,0014	0,61	9,9864	0,1429	0,0612	0,0043	0,1844	0,0203	7,14	12,5	31,2	95,3	0,327	0,616	0,008	0,623	0,037	0,645	0,148	98	95	
0,816	0,0816	0,1017	0,0022	0,56	9,8344	0,2085	0,0582	0,0057	0,7285	0,0631	12,69	15,1	374,9	106,9	3,506	0,624	0,013	0,606	0,044	0,537	0,2	103	116	
0,8285	0,0537	0,1018	0,0019	0,22	9,8193	0,1866	0,059	0,0032	0,2357	0,0553	10,57	47,7	994,7	312,1	3,187	0,625	0,011	0,613	0,029	0,567	0,113	102	110	
0,9542	0,1309	0,1052	0,0022	0,25	9,5042	0,1967	0,0658	0,0083	0,315	0,0407	10,54	11,1	110,3	64,4	1,714	0,645	0,013	0,68	0,067	0,799	0,258	94	80	
0,8957	0,0521	0,1067	0,0019	0,68	9,3688	0,1685	0,0609	0,0031	0,2844	0,0132	1,66	36,4	271,9	228,7	1,189	0,654	0,011	0,649	0,028	0,634	0,106	100	103	
0,9541	0,0327	0,1121	0,0012	0,47	8,9226	0,0927	0,0617	0,0023	0,192	0,0165	7,68	35,5	251,8	236,7	1,064	0,685	0,007	0,68	0,017	0,665	0,08	100	102	
0,677	0,1645	0,1144	0,0044	0,35	8,7411	0,3349	0,0429	0,0107	0,3653	0,2017	52,21	12,3	62,3	30,1	2,071	0,698	0,025	0,525	0,099	0	0,232	133	68324212	
0,9676	0,0545	0,1155	0,0018	0,56	8,656	0,1321	0,0607	0,0029	0,2511	0,0138	3,25	40,1	296,5	259,4	1,143	0,705	0,01	0,687	0,029	0,63	0,104	102	111	
0,956	0,0523	0,1188	0,0022	0,75	8,42	0,1593	0,0584	0,0029	0,0124	0,0112	3,54	57,9	30,9	512,9	0,06	0,723	0,013	0,681	0,027	0,544	0,109	106	132	
1,1381	0,0363	0,1284	0,0014	0,39	7,7883	0,0845	0,0643	0,002	0,1125	0,0607	0	65,5	113,5	498,4	0,228	0,779	0,008	0,772	0,017	0,751	0,065	100	103	
1,3576	0,0509	0,1421	0,0015	0,59	7,0382	0,0766	0,0693	0,0024	0,1443	0,0123	3,7	75,2	263,1	431,2	0,61	0,856	0,009	0,871	0,022	0,908	0,071	98	94	
1,2486	0,0746	0,1441	0,003	0,81	6,9401	0,1439	0,0628	0,0034	0,1585	0,0616	1,31	43,8	21,6	239,8	0,09	0,868	0,017	0,823	0,033	0,703	0,112	105	123	
1,3444	0,0654	0,1543	0,0025	0,13	6,4815	0,1062	0,0632	0,0026	0,1267	0,0273	9,94	99,9	172,1	593,9	0,29	0,925	0,014	0,865	0,028	0,715	0,088	106	129	

## 16PN54 CONTINUACIÓN

1.8521	0,0767	0,1792	0,002	0,31	5,5811	0,0638	0,075	0,003	0,1374	0,0141	4,65	26,5	71,3	117	0,61	1,062	0,011	1,064	0,027	1,068	0,078	99	99
1.8951	0,0792	0,1834	0,0031	0,46	5,4521	0,0931	0,0749	0,0027	0,0927	0,0063	0,8	86,7	97,7	412,9	0,237	1,086	0,017	1,079	0,028	1,067	0,072	100	101
1.8723	0,1463	0,1892	0,0041	0,33	5,2863	0,1141	0,0718	0,0046	0,1116	0,0253	8,08	16,1	34	68,3	0,498	1,117	0,022	1,071	0,051	0,98	0,132	104	113
1.9036	0,0808	0,1944	0,0026	0,69	5,1449	0,0701	0,071	0,0028	0,2284	0,0541	11,58	40,1	142,3	165,4	0,86	1,145	0,014	1,082	0,028	0,958	0,08	105	119
2.0152	0,0695	0,1974	0,0022	0,89	5,0663	0,0566	0,074	0,0024	0,0644	0,0119	6,92	116,4	155,7	539,2	0,289	1,161	0,012	1,121	0,023	1,043	0,065	103	111
1.9837	0,0983	0,1978	0,0025	0,88	5,0544	0,0632	0,0727	0,0035	0,1708	0,0335	5,21	82	177,3	307,8	0,576	1,164	0,013	1,11	0,034	1,006	0,097	104	115
2.0012	0,1307	0,2032	0,0055	0,4	4,9217	0,1321	0,0714	0,0045	0,1507	0,0255	6,88	16,4	42,4	62,8	0,675	1,192	0,029	1,116	0,046	0,97	0,135	106	122
2.2346	0,0729	0,2039	0,0021	0,96	4,9048	0,0517	0,0795	0,0022	0,1467	0,0083	4,57	89,1	408,8	427,9	0,955	1,196	0,012	1,192	0,022	1,184	0,055	100	100
2.3269	0,0798	0,2053	0,0024	0,64	4,8699	0,0571	0,0822	0,0031	0,0954	0,0137	5,33	37,6	56,8	130,5	0,436	1,204	0,013	1,221	0,024	1,25	0,073	98	96
2.2229	0,0697	0,2068	0,0023	0,39	4,8346	0,0533	0,0779	0,0028	0,1427	0,0158	9,66	34,9	94,4	131,7	0,717	1,212	0,012	1,188	0,022	1,145	0,069	101	105
2.1712	0,0875	0,2087	0,0035	0,77	4,7922	0,0804	0,0755	0,003	0,0513	0,0149	1,55	99,1	156,9	393,8	0,399	1,222	0,019	1,172	0,028	1,081	0,079	104	113
2.2716	0,1406	0,2101	0,0051	0,4	4,7586	0,116	0,0784	0,0048	0,1578	0,0338	2,99	18,5	89,1	67,2	1,326	1,23	0,027	1,204	0,044	1,157	0,124	102	106
2.293	0,0859	0,2111	0,0025	0,71	4,7364	0,0557	0,0788	0,0028	0,1261	0,0231	3,51	88,9	283	334,6	0,846	1,235	0,013	1,21	0,027	1,166	0,072	102	105
2.3098	0,0752	0,2154	0,0025	0,85	4,6421	0,0536	0,0778	0,0023	0,2857	0,0269	2,61	85,5	493,9	310,9	1,589	1,258	0,013	1,215	0,023	1,141	0,06	103	110
2.399	0,096	0,2181	0,0028	0,83	4,5861	0,0584	0,0798	0,0031	0,1046	0,0104	3,01	44,3	62,4	151,1	0,413	1,272	0,015	1,242	0,028	1,192	0,075	102	106
2.4156	0,0877	0,22	0,0025	0,49	4,5448	0,0514	0,0796	0,0027	0,1299	0,0069	2,85	46	107,5	164,2	0,655	1,282	0,013	1,247	0,026	1,188	0,066	102	107
2.7473	0,0931	0,223	0,0024	0,97	4,4842	0,0481	0,0893	0,0028	0,1254	0,038	3,85	58,1	181,9	216,7	0,839	1,298	0,013	1,341	0,027	1,412	0,066	96	91
2.4158	0,1412	0,2236	0,0058	0,65	4,4719	0,1163	0,0784	0,0049	0,1396	0,0511	14,76	30,1	222	107,6	2,064	1,301	0,031	1,247	0,043	1,156	0,123	104	112
2.4161	0,0866	0,2265	0,0042	0,71	4,4144	0,0822	0,0774	0,0022	0,0369	0,006	1,31	129,1	145,2	510,7	0,284	1,316	0,022	1,247	0,026	1,13	0,058	105	116
2.636	0,1226	0,2273	0,0045	0,78	4,3998	0,0875	0,0841	0,0038	0,1509	0,0086	0,92	59,2	217,4	198,8	1,094	1,32	0,024	1,311	0,034	1,295	0,088	100	101
2.7755	0,1563	0,2324	0,0042	0,38	4,3029	0,077	0,0866	0,0039	0,2162	0,0295	2,46	28	119,7	89,4	1,339	1,347	0,022	1,349	0,041	1,352	0,086	99	99
2.9644	0,1358	0,2353	0,0044	0,49	4,2493	0,0796	0,0914	0,0034	0,242	0,0142	3,45	36,2	79,9	109,3	0,731	1,362	0,023	1,399	0,035	1,454	0,071	97	93
2.7591	0,1005	0,2361	0,0028	0,84	4,2355	0,0505	0,0848	0,0028	0,2884	0,0527	1,26	113,4	482,4	328,4	1,469	1,366	0,015	1,345	0,026	1,31	0,064	101	104
2.4955	0,1468	0,2421	0,0052	0,78	4,1299	0,0891	0,0747	0,0037	0,228	0,0385	3,79	51,6	331,2	177,6	1,865	1,398	0,027	1,271	0,042	1,062	0,094	109	131
2.8015	0,1498	0,245	0,0048	0,18	4,082	0,08	0,0829	0,0041	0,1657	0,0177	3,56	28,4	55,7	96,8	0,575	1,413	0,025	1,356	0,04	1,268	0,097	104	111
3.0199	0,1908	0,2494	0,0068	0,36	4,0091	0,1088	0,0878	0,0061	0,3031	0,1073	2,77	16,1	38,4	47,5	0,807	1,436	0,035	1,413	0,051	1,378	0,131	101	104
3.3591	0,1401	0,2548	0,0031	0,51	3,9239	0,0481	0,0956	0,0036	0,1659	0,0106	2,66	28,1	105,1	93,2	1,128	1,463	0,016	1,495	0,033	1,54	0,072	97	95
2.7732	0,1034	0,2564	0,0049	0,73	3,9006	0,075	0,0785	0,0024	0,0886	0,0162	1,89	77,3	186,3	246,7	0,755	1,471	0,025	1,348	0,028	1,158	0,059	109	127
3.8852	0,1243	0,2736	0,0032	0,97	3,6546	0,0427	0,103	0,0031	0,0684	0,012	0,41	257,6	237,5	679,8	0,349	1,559	0,016	1,611	0,026	1,679	0,055	96	92
3.6386	0,1497	0,2747	0,0049	0,93	3,6399	0,0648	0,0961	0,0039	0,1889	0,0162	12,02	115,1	854,6	370,5	2,307	1,565	0,025	1,558	0,034	1,549	0,077	100	101
4.0893	0,1669	0,2765	0,0037	0,98	3,6172	0,0486	0,1073	0,0031	0,0401	0,0182	2,76	72,2	52,7	248,2	0,212	1,573	0,018	1,652	0,027	1,754	0,049	95	89
3.5864	0,1498	0,29	0,0044	0,71	3,4486	0,0523	0,0897	0,0033	0,1793	0,0185	2,13	57,9	168	156,8	1,071	1,641	0,022	1,547	0,035	1,419	0,073	106	115
3.9411	0,1721	0,3081	0,007	0,59	3,2461	0,0741	0,0928	0,0044	0,2204	0,0302	5,03	26,5	114,9	65,8	1,748	1,731	0,035	1,622	0,035	1,483	0,09	106	116
4.8894	0,2564	0,3093	0,0086	0,91	3,2333	0,0904	0,1147	0,0051	0,098	0,0298	6,81	28	109,1	70,3	1,553	1,737	0,042	1,8	0,044	1,875	0,079	96	92
4.727	0,212	0,3298	0,0069	0,88	3,0318	0,0631	0,1039	0,0041	0,0803	0,0076	1,74	104,9	130,2	283,2	0,46	1,838	0,033	1,772	0,036	1,696	0,071	103	108
4.7327	0,145	0,3354	0,0037	0,95	2,9812	0,0332	0,1023	0,003	0,1512	0,0089	2,27	158,9	355	424,5	0,836	1,865	0,018	1,773	0,026	1,667	0,053	105	111
5.7811	0,2187	0,35	0,0066	0,97	2,8574	0,0536	0,1198	0,0037	0,0852	0,0239	3,21	41,6	35,1	104,8	0,335	1,934	0,032	1,944	0,033	1,953	0,055	99	99
5.4145	0,2591	0,3506	0,0078	0,86	2,8522	0,0632	0,112	0,0046	0,3435	0,0142	0,67	43,1	73,7	73,9	0,997	1,938	0,037	1,887	0,04	1,832	0,073	102	105
7.2062	0,2534	0,4137	0,0079	0,41	2,417	0,0459	0,1263	0,0034	0,1701	0,0116	0,18	198	224,2	350,5	0,64	2,232	0,035	2,137	0,031	2,047	0,048	104	109
7.6916	0,2388	0,4329	0,0048	0,86	2,3097	0,0256	0,1288	0,0036	0,0721	0,0048	2,23	108,3	78	222,1	0,351	2,319	0,021	2,196	0,028	2,082	0,049	105	111

RATIOS											AGES									Conc.	Conc.			
207/235	1sigma	206/238	1 sigma	coef. corr	238/206	1 sigma	207/206	1 sigma	208/206	1 sigma	Pb total	Pb rad	Th	U	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1 sigma	T <sub>207/235</sub>	1 sigma	T <sub>207/206</sub>	1 sigma	Conc.	Conc.	
um, 6Hz, 7mJ, 32µm, ablation time - 40s.											comant	ppm	ppm	ppm	ppm	%							206/238	206/238
																							207/235	207/206
0,4584	0,0067	0,0598	0,0003	1,00	16,7337	0,0931	0,0556	0,0009	0,0177	0,0043	4,69	137	196	2154	0,09	374	2	383	5	438	38	97	85	
0,6331	0,0183	0,0800	0,0007	0,88	12,5016	0,1057	0,0574	0,0019	0,0999	0,0052	0,25	32	82	355	0,23	496	4	498	12	507	73	99	97	
1,3406	0,0354	0,1494	0,0013	0,88	6,6956	0,0579	0,0651	0,0016	0,1208	0,0231	0,00	79	103	328	0,31	897	7	864	14	778	49	103	115	
1,6270	0,0629	0,1595	0,0021	0,90	6,2681	0,0817	0,0740	0,0035	0,1012	0,0101	7,12	19	35	105	0,33	954	12	981	25	1041	96	97	91	
1,6635	0,0887	0,1670	0,0025	0,26	5,9868	0,0887	0,0722	0,0043	0,2101	0,0150	1,18	14	38	69	0,55	996	14	995	34	993	124	100	100	
1,8080	0,0316	0,1689	0,0011	0,97	5,9210	0,0398	0,0776	0,0014	0,0878	0,0160	3,02	207	346	889	0,39	1006	6	1048	11	1138	35	95	88	
1,6931	0,0994	0,1689	0,0030	0,49	5,9194	0,1055	0,0727	0,0048	0,2300	0,0220	0,49	13	45	62	0,71	1006	17	1006	38	1005	136	100	100	
1,7097	0,0274	0,1706	0,0011	0,98	5,8610	0,0361	0,0727	0,0012	0,0998	0,0424	1,06	137	143	898	0,21	1016	6	1012	10	1005	35	100	101	
1,7290	0,0278	0,1715	0,0012	0,80	5,8314	0,0404	0,0731	0,0012	0,0347	0,0021	0,82	143	66	753	0,09	1020	7	1019	10	1017	32	100	100	
1,7984	0,0344	0,1736	0,0012	0,85	5,7619	0,0401	0,0752	0,0015	0,0311	0,0034	0,10	82	31	448	0,07	1032	7	1045	13	1073	41	98	96	
1,7118	0,0277	0,1736	0,0010	0,88	5,7610	0,0343	0,0715	0,0011	0,0897	0,0118	0,23	209	268	1016	0,26	1032	6	1013	10	973	32	101	106	
1,7724	0,0353	0,1748	0,0012	0,45	5,7222	0,0393	0,0736	0,0015	0,1591	0,0060	0,19	74	139	335	0,41	1038	7	1035	13	1029	41	100	100	
1,8098	0,0431	0,1759	0,0015	0,56	5,6847	0,0485	0,0746	0,0018	0,1007	0,0070	0,10	29	37	142	0,26	1045	8	1049	16	1058	50	99	98	
1,7678	0,0263	0,1765	0,0013	0,64	5,6668	0,0412	0,0727	0,0012	0,0626	0,0018	0,34	129	106	642	0,17	1048	7	1034	10	1004	35	101	104	
1,7973	0,0822	0,1768	0,0028	0,19	5,6565	0,0910	0,0737	0,0041	0,2061	0,0183	0,43	17	37	73	0,51	1049	16	1045	30	1034	113	100	101	
1,7932	0,0352	0,1768	0,0013	0,58	5,6552	0,0424	0,0735	0,0015	0,1165	0,0028	0,08	74	106	353	0,30	1050	7	1043	13	1029	41	100	101	
1,8082	0,0523	0,1772	0,0019	0,01	5,6423	0,0613	0,0740	0,0024	0,0997	0,0086	0,22	32	35	150	0,23	1052	11	1048	19	1041	64	100	101	
1,9728	0,1257	0,1785	0,0041	0,38	5,6026	0,1288	0,0802	0,0065	0,0807	0,0153	18,04	8	9	35	0,25	1059	23	1106	45	1201	169	95	88	
1,8421	0,0388	0,1799	0,0015	0,82	5,5586	0,0469	0,0743	0,0017	0,1302	0,0239	0,35	68	59	322	0,18	1066	8	1061	14	1049	47	100	101	
1,8648	0,0596	0,1802	0,0018	0,18	5,5497	0,0558	0,0751	0,0027	0,1056	0,0067	0,30	26	29	121	0,24	1068	10	1069	21	1070	70	99	99	
1,8622	0,0529	0,1802	0,0017	0,44	5,5481	0,0511	0,0749	0,0023	0,0548	0,0039	0,57	26	20	128	0,16	1068	9	1068	19	1067	62	100	100	
1,9649	0,0322	0,1842	0,0013	0,87	5,4283	0,0381	0,0774	0,0013	0,1993	0,0301	0,15	122	202	531	0,38	1090	7	1104	11	1130	34	98	96	
1,9261	0,0505	0,1859	0,0017	0,99	5,3796	0,0481	0,0752	0,0021	0,1337	0,0103	0,36	40	65	184	0,35	1099	9	1090	18	1073	57	100	102	
1,9562	0,0412	0,1861	0,0016	0,82	5,3726	0,0452	0,0762	0,0018	0,1910	0,0433	0,40	42	40	203	0,20	1100	9	1101	14	1101	48	99	99	
1,9145	0,0569	0,1871	0,0020	0,55	5,3442	0,0585	0,0742	0,0026	0,1450	0,0084	0,71	39	60	176	0,34	1106	11	1086	20	1047	69	101	105	
1,9170	0,0296	0,1877	0,0011	0,01	5,3264	0,0320	0,0741	0,0012	0,1346	0,0035	0,52	218	317	976	0,33	1109	6	1087	10	1043	32	102	106	
1,9717	0,0602	0,1884	0,0019	0,83	5,3073	0,0545	0,0759	0,0024	0,2121	0,0804	0,18	61	52	314	0,17	1113	10	1106	20	1092	64	100	101	
1,9811	0,0384	0,1887	0,0017	0,71	5,3000	0,0464	0,0761	0,0015	0,1721	0,0349	0,14	81	113	355	0,32	1114	9	1109	13	1099	40	100	101	
1,9341	0,0685	0,1892	0,0021	0,47	5,2859	0,0577	0,0741	0,0029	0,1700	0,0077	0,35	28	54	120	0,45	1117	11	1093	24	1046	79	102	106	
2,0268	0,0303	0,1899	0,0014	0,98	5,2652	0,0399	0,0774	0,0012	0,0884	0,0126	0,46	198	276	933	0,30	1121	8	1125	10	1131	31	99	99	
1,9546	0,0284	0,1902	0,0014	0,98	5,2587	0,0376	0,0745	0,0012	0,1071	0,0045	0,98	136	214	662	0,32	1122	7	1100	10	1056	34	102	106	
2,0423	0,0518	0,1921	0,0017	0,43	5,2045	0,0459	0,0771	0,0020	0,0717	0,0086	0,56	37	36	163	0,22	1133	9	1130	17	1124	53	100	100	
1,9752	0,0716	0,1923	0,0020	0,71	5,1995	0,0547	0,0745	0,0030	0,0935	0,0122	0,67	19	20	87	0,24	1134	11	1107	24	1055	78	102	107	
2,1107	0,0327	0,1925	0,0013	0,88	5,1938	0,0349	0,0795	0,0013	0,0371	0,0176	3,31	102	112	484	0,23	1135	7	1152	11	1185	34	98	95	
2,0110	0,0315	0,1927	0,0013	0,73	5,1905	0,0355	0,0757	0,0012	0,0552	0,0018	0,11	125	83	583	0,14	1136	7	1119	11	1087	32	101	104	
1,9867	0,0372	0,1929	0,0017	0,95	5,1845	0,0446	0,0747	0,0014	0,0445	0,0036	1,91	100	59	496	0,12	1137	9	1111	12	1061	38	102	107	
2,0239	0,0513	0,1932	0,0020	0,99	5,1765	0,0524	0,0760	0,0022	0,1587	0,0080	18,15	40	83	167	0,50	1139	11	1124	18	1095	58	101	104	
2,0724	0,0641	0,1939	0,0020	0,54	5,1581	0,0526	0,0775	0,0026	0,2152	0,0064	1,40	32	70	128	0,55	1142	11	1140	21	1135	68	100	100	
2,1216	0,0710	0,1941	0,0020	0,53	5,1526	0,0542	0,0793	0,0029	0,1047	0,0098	0,00	23	27	100	0,27	1143	11	1156	24	1179	77	98	96	
2,1338	0,0448	0,1967	0,0015	0,96	5,0844	0,0396	0,0787	0,0018	0,1240	0,0188	0,43	60	82	248	0,33	1158	8	1160	14	1164	44	99	99	
2,1430	0,0484	0,1975	0,0018	0,41	5,0621	0,0456	0,0787	0,0020	0,1005	0,0047	0,53	55	67	234	0,29	1162	10	1163	16	1164	50	99	99	
2,1592	0,0743	0,1980	0,0026	0,92	5,0511	0,0655	0,0791	0,0031	0,1227	0,0268	0,44	22	31	87	0,36	1164	14	1168	23	1175	76	99	99	
2,2074	0,0875	0,1983	0,0030	0,58	5,0425	0,0770	0,0807	0,0039	0,0992	0,0085	0,69	22	25	93	0,26	1166	16	1183	27	1215	92	98	96	
2,1600	0,0454	0,2000	0,0015	0,36	5,0001	0,0387	0,0783	0,0018	0,1120	0,0025	0,18	65	81	273	0,30	1175	8	1168	15	1155	45	100	101	
2,1974	0,0820	0,2003	0,0027	0,64	4,9917	0,0683	0,0796	0,0033	0,3418	0,0198	15,31	27	98	83	1,17	1177	15	1180	28	1186	87	99	99	
2,1313	0,0352	0,2004	0,0016	0,99	4,9910	0,0402	0,0771	0,0014	0,1547	0,0135	1,01	211	422	838	0,50	1177	9	1159	11	1125	34	101	104	

## 16PN43 CONTINUACIÓN

2.1884	0,0453	0,2011	0,0014	0,86	4,9718	0,0358	0,0789	0,0017	0,2005	0,0409	0,40	72	161	266	0,61	1181	8	1177	14	1170	42	100	100
2.2059	0,0633	0,2012	0,0023	0,57	4,9694	0,0556	0,0795	0,0025	0,1349	0,0089	0,32	32	46	132	0,35	1182	12	1183	20	1185	63	99	99
2.2167	0,0661	0,2022	0,0025	0,82	4,9461	0,0600	0,0795	0,0029	0,1934	0,0411	0,00	34	82	122	0,67	1187	13	1186	21	1185	72	100	100
2.1967	0,0376	0,2031	0,0014	0,98	4,9243	0,0328	0,0785	0,0014	0,0600	0,0087	0,08	112	84	485	0,17	1192	7	1180	12	1158	36	101	102
2.1527	0,0348	0,2042	0,0014	0,99	4,8973	0,0343	0,0765	0,0011	0,0934	0,0074	0,50	95	118	417	0,28	1198	8	1166	11	1107	30	102	108
2.2258	0,0421	0,2052	0,0016	0,29	4,8730	0,0383	0,0787	0,0016	0,0676	0,0087	0,05	65	57	273	0,21	1203	9	1189	13	1164	41	101	103
2.2631	0,0992	0,2067	0,0033	0,55	4,8373	0,0771	0,0794	0,0041	0,0869	0,0102	0,41	17	15	71	0,21	1211	18	1201	30	1182	101	100	102
2.2503	0,0335	0,2072	0,0015	0,96	4,8255	0,0354	0,0788	0,0014	0,0644	0,0056	1,07	79	82	335	0,24	1214	8	1197	11	1166	37	101	104
2.2797	0,0517	0,2081	0,0021	0,84	4,8054	0,0474	0,0795	0,0022	0,1068	0,0089	0,02	62	72	257	0,28	1219	11	1206	16	1183	54	101	102
2.2197	0,0744	0,2103	0,0023	0,70	4,7540	0,0512	0,0765	0,0029	0,1387	0,0125	7,29	37	68	148	0,46	1231	12	1187	23	1109	73	103	110
2.5160	0,0486	0,2108	0,0015	0,99	4,7432	0,0345	0,0866	0,0018	0,0398	0,0206	0,47	54	38	180	0,21	1233	8	1277	14	1351	39	96	91
2.3547	0,1407	0,2114	0,0035	0,01	4,7297	0,0773	0,0808	0,0050	0,0896	0,0145	0,61	12	11	51	0,21	1236	18	1229	43	1216	128	100	101
2.2948	0,0395	0,2124	0,0014	0,81	4,7088	0,0309	0,0784	0,0014	0,0623	0,0017	0,10	128	84	538	0,16	1241	7	1211	12	1156	36	102	107
2.3947	0,0420	0,2133	0,0018	0,91	4,6881	0,0390	0,0814	0,0016	0,1235	0,0087	0,38	40	49	159	0,31	1246	9	1241	12	1232	39	100	101
2.3511	0,0481	0,2140	0,0017	0,60	4,6731	0,0370	0,0797	0,0017	0,1468	0,0199	1,01	63	93	247	0,38	1250	9	1228	15	1189	42	101	105
2.3576	0,0365	0,2143	0,0017	0,56	4,6658	0,0366	0,0798	0,0013	0,1360	0,0198	0,07	154	264	570	0,46	1252	9	1230	11	1192	32	101	105
2.4249	0,0646	0,2151	0,0020	0,44	4,6499	0,0429	0,0818	0,0023	0,1248	0,0055	0,29	27	35	106	0,33	1256	11	1250	19	1240	55	100	101
2.3918	0,0532	0,2152	0,0017	0,89	4,6467	0,0371	0,0806	0,0020	0,0768	0,0124	4,89	53	59	209	0,28	1257	9	1240	16	1212	49	101	103
2.3164	0,0714	0,2163	0,0021	0,94	4,6225	0,0454	0,0777	0,0026	0,0969	0,0267	0,47	66	93	260	0,36	1263	11	1217	22	1138	65	103	110
2.4786	0,0421	0,2207	0,0016	0,92	4,5317	0,0330	0,0815	0,0014	0,0877	0,0162	0,09	126	144	478	0,30	1285	9	1266	12	1233	33	101	104
2.5667	0,0519	0,2243	0,0019	0,84	4,4576	0,0380	0,0830	0,0019	0,0727	0,0134	0,16	58	45	212	0,21	1305	10	1291	15	1269	45	101	102
2.3939	0,0745	0,2245	0,0023	0,49	4,4551	0,0455	0,0774	0,0026	0,0923	0,0240	0,73	20	25	80	0,31	1305	12	1241	22	1130	68	105	115
2.6466	0,0977	0,2245	0,0026	0,94	4,4534	0,0515	0,0855	0,0035	0,1163	0,0090	1,43	20	20	83	0,25	1306	14	1314	28	1327	79	99	98
2.6590	0,0553	0,2253	0,0018	0,90	4,4388	0,0357	0,0856	0,0019	0,1592	0,0150	0,25	46	61	171	0,36	1310	10	1317	16	1329	45	99	98
2.6052	0,0430	0,2272	0,0018	0,74	4,4022	0,0354	0,0832	0,0016	0,1473	0,0176	0,20	97	154	353	0,44	1320	10	1302	12	1273	38	101	103
2.6336	0,0498	0,2286	0,0016	1,00	4,3739	0,0310	0,0835	0,0019	0,0816	0,0389	1,31	44	55	185	0,30	1327	9	1310	16	1282	48	101	103
2.6765	0,0623	0,2295	0,0019	0,76	4,3581	0,0369	0,0846	0,0021	0,0942	0,0129	0,43	75	70	290	0,24	1332	10	1322	17	1306	50	100	101
2.8009	0,0754	0,2322	0,0026	0,34	4,3065	0,0486	0,0875	0,0026	0,1394	0,0095	0,11	49	68	172	0,40	1346	14	1356	20	1371	59	99	98
2.7569	0,0644	0,2349	0,0020	0,89	4,2573	0,0363	0,0851	0,0022	0,0702	0,0056	1,39	46	35	182	0,19	1360	11	1344	18	1318	50	101	103
2.7997	0,0725	0,2376	0,0027	0,82	4,2086	0,0475	0,0855	0,0027	0,1293	0,0083	0,14	47	67	166	0,40	1374	14	1356	20	1326	61	101	103
2.8330	0,1260	0,2378	0,0035	0,04	4,2044	0,0612	0,0864	0,0044	0,0998	0,0120	1,47	13	14	46	0,30	1376	18	1364	34	1347	100	100	102
2.8346	0,1006	0,2388	0,0029	0,76	4,1873	0,0510	0,0861	0,0035	0,3418	0,0222	0,21	28	77	83	0,94	1381	15	1365	27	1340	77	101	103
3.0869	0,1622	0,2438	0,0043	0,66	4,1017	0,0718	0,0918	0,0055	0,1692	0,0227	1,20	11	17	38	0,44	1406	22	1429	42	1464	121	98	96
2.9513	0,0393	0,2494	0,0015	0,99	4,0097	0,0244	0,0858	0,0012	0,2172	0,0176	0,78	255	534	776	0,69	1435	8	1395	10	1334	28	102	107
3.0392	0,0714	0,2514	0,0022	0,87	3,9781	0,0351	0,0877	0,0022	0,1574	0,0054	1,84	41	59	128	0,46	1446	11	1418	18	1376	49	101	105
3.1961	0,0712	0,2522	0,0022	0,25	3,9644	0,0340	0,0919	0,0022	0,3411	0,0140	0,12	53	124	148	0,84	1450	11	1456	17	1465	47	99	98
3.2640	0,0930	0,2531	0,0030	0,67	3,9503	0,0471	0,0935	0,0030	0,1122	0,0064	0,29	31	28	101	0,28	1455	16	1473	22	1498	59	98	97
3.1581	0,0623	0,2547	0,0019	0,97	3,9268	0,0299	0,0899	0,0019	0,3313	0,2736	0,14	62	195	181	1,08	1463	10	1447	16	1424	42	101	102
3.2125	0,0803	0,2553	0,0022	0,73	3,9174	0,0341	0,0913	0,0025	0,2106	0,0183	0,96	40	61	122	0,50	1466	11	1460	19	1452	51	100	100
3.2139	0,0731	0,2560	0,0022	0,36	3,9069	0,0340	0,0911	0,0022	0,2008	0,0045	0,41	53	88	160	0,55	1469	11	1461	17	1448	45	100	101
3.1508	0,5484	0,2579	0,0169	0,60	3,8777	0,2548	0,0886	0,0198	0,0670	0,0521	6,33	2	2	6	0,38	1479	87	1445	135	1396	434	102	105

RATIOS											AGES												
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total commu %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc. 206/238 207/235	Conc. 206/238 207/206
0,9551	0,0507	0,1131	0,0017	0,01	8,8379	0,135	0,0612	0,0037	0,1852	0,0162	1,63	18,7	70,4	132,3	0,532	0,691	0,01	0,681	0,025	0,647	0,126	101	106
1,4826	0,0591	0,1551	0,002	0,69	6,4465	0,084	0,0693	0,0028	0,0698	0,0216	10,86	40,7	42,1	211,4	0,199	0,93	0,011	0,923	0,024	0,908	0,082	100	102
1,4908	0,0638	0,1555	0,0019	0,61	6,4318	0,0767	0,0695	0,0029	0,1383	0,0074	1,76	22,3	68,8	117,3	0,586	0,932	0,01	0,927	0,025	0,915	0,081	100	101
1,6581	0,2023	0,1576	0,0028	0,36	6,3464	0,1114	0,0763	0,0098	0,2715	0,0835	36,81	6,2	20,7	23,5	0,882	0,943	0,016	0,993	0,083	1,103	0,257	95	85
1,6611	0,047	0,1581	0,0018	0,95	6,3265	0,0708	0,0762	0,0019	0,0831	0,0061	4,19	120,2	291,3	665,9	0,437	0,946	0,01	0,994	0,018	1,101	0,052	95	85
1,5847	0,1211	0,1598	0,0016	0,32	6,2585	0,0626	0,0719	0,0054	0,3305	0,022	3,47	11	78,1	46,4	1,684	0,956	0,009	0,964	0,046	0,984	0,152	99	97
1,6517	0,0583	0,1599	0,0018	0,94	6,2553	0,072	0,0749	0,0026	0,1136	0,0352	13,26	51,8	105,6	357,5	0,295	0,956	0,01	0,99	0,023	1,067	0,069	96	89
1,5654	0,0715	0,1605	0,0021	0,42	6,2305	0,0829	0,0707	0,0035	0,1749	0,0199	0,54	16,3	31,4	83,2	0,377	0,96	0,012	0,957	0,028	0,95	0,102	100	101
1,6791	0,1182	0,1626	0,0037	0,85	6,151	0,1383	0,0749	0,0063	0,1726	0,0259	3,34	9,3	27,3	56,6	0,481	0,971	0,02	1,001	0,046	1,066	0,177	97	91
1,8312	0,0642	0,1628	0,0015	0,97	6,1422	0,0571	0,0816	0,0029	0,1333	0,0109	9,74	62,4	355,2	455,1	0,78	0,972	0,008	1,057	0,023	1,235	0,068	92	78
1,7491	0,0661	0,1697	0,0018	0,88	5,8915	0,0638	0,0747	0,0031	0,2002	0,0376	0,31	16,4	45,4	71,1	0,639	1,011	0,01	1,027	0,024	1,062	0,083	98	95
1,7332	0,0562	0,1721	0,0016	0,65	5,8112	0,0547	0,073	0,0026	0,1499	0,0117	0,17	26	60	124,3	0,483	1,024	0,009	1,021	0,021	1,015	0,073	100	100
1,7166	0,0301	0,1725	0,001	0,89	5,7977	0,0353	0,0722	0,0014	0,1189	0,002	0,06	100,9	156,8	482,1	0,325	1,026	0,006	1,015	0,011	0,991	0,038	101	103
1,7868	0,0367	0,1729	0,0012	0,99	5,7837	0,0402	0,075	0,0016	0,0618	0,0096	1,06	93,4	111,3	459,7	0,242	1,028	0,007	1,041	0,013	1,067	0,044	98	96
1,7965	0,0409	0,1739	0,0017	0,7	5,7506	0,0547	0,0749	0,0018	0,079	0,0038	0,27	36,8	37,9	180,1	0,21	1,034	0,009	1,044	0,015	1,067	0,049	98	96
1,7495	0,039	0,1743	0,0012	0,78	5,7373	0,0386	0,0728	0,0017	0,0788	0,0086	0,16	68,1	80,9	333,6	0,242	1,036	0,006	1,027	0,014	1,008	0,046	100	102
1,8496	0,0341	0,1749	0,0011	0,98	5,7165	0,0349	0,0767	0,0013	0,0273	0,0167	1,37	133,2	24,4	689,4	0,035	1,039	0,006	1,063	0,011	1,113	0,034	97	93
1,7979	0,0382	0,1762	0,0016	0,72	5,676	0,0514	0,074	0,0017	0,1558	0,0064	0,09	46,6	88,1	209,8	0,42	1,046	0,009	1,045	0,014	1,042	0,047	100	100
1,8213	0,0638	0,1762	0,0019	0,65	5,6751	0,0614	0,075	0,0028	0,2532	0,009	2,1	37	160,3	149,7	1,071	1,046	0,01	1,053	0,023	1,068	0,074	99	98
1,8081	0,0656	0,1768	0,0018	0,74	5,6552	0,059	0,0742	0,003	0,0699	0,0068	0,26	28,7	29,1	144,8	0,201	1,05	0,01	1,048	0,024	1,046	0,083	100	100
1,7738	0,0602	0,1774	0,002	0,93	5,6355	0,0622	0,0725	0,0022	0,0675	0,0052	2,81	79,6	181,8	468,4	0,388	1,053	0,011	1,036	0,022	1	0,063	101	105
1,8326	0,0556	0,1787	0,0019	0,95	5,5949	0,0581	0,0744	0,0022	0,1296	0,1801	63,65	130,1	39,4	309,3	0,127	1,06	0,01	1,057	0,019	1,051	0,059	100	100
1,8361	0,0356	0,1792	0,0012	0,52	5,5788	0,0367	0,0743	0,0016	0,067	0,0023	0,2	56,4	52,6	274,5	0,191	1,063	0,006	1,058	0,013	1,049	0,043	100	101
1,8299	0,0551	0,1805	0,0017	0,92	5,5403	0,0532	0,0735	0,0023	0,1227	0,0071	0,41	41,6	74,9	195,5	0,383	1,07	0,009	1,056	0,02	1,029	0,064	101	103
2,0554	0,1062	0,1806	0,0024	0,4	5,5362	0,0735	0,0825	0,0042	0,2386	0,0322	7	14,1	49,7	52,1	0,953	1,07	0,013	1,134	0,038	1,258	0,113	94	85
1,9531	0,0762	0,1824	0,0019	0,41	5,4832	0,0577	0,0777	0,0032	0,2804	0,0125	0,21	25,2	86,5	97,8	0,885	1,08	0,01	1,1	0,026	1,139	0,084	98	94
1,9111	0,0698	0,1847	0,002	0,46	5,4127	0,0597	0,075	0,0026	0,0636	0,0056	2,72	57,8	122,5	282,5	0,434	1,093	0,011	1,085	0,024	1,069	0,069	100	102
1,935	0,1047	0,1861	0,0017	0,44	5,3722	0,0499	0,0754	0,0041	0,3176	0,0188	5,85	18,2	106,5	66,6	1,6	1,1	0,009	1,093	0,035	1,079	0,109	100	101
1,9645	0,0779	0,1869	0,0028	0,61	5,3516	0,0791	0,0762	0,0035	0,1431	0,0095	0,52	15,7	27,8	69,7	0,398	1,104	0,015	1,103	0,027	1,102	0,09	100	100
1,972	0,0503	0,1885	0,0016	0,63	5,3045	0,0449	0,0759	0,002	0,1406	0,0049	0,09	47,7	77,8	205,7	0,378	1,113	0,009	1,106	0,017	1,092	0,052	100	101
2,0085	0,0699	0,1894	0,0019	0,09	5,2796	0,0542	0,0769	0,003	0,2039	0,018	0,23	26,4	61,5	106,2	0,579	1,118	0,011	1,118	0,024	1,119	0,079	99	99
1,9641	0,0911	0,1917	0,0032	0,81	5,2166	0,0877	0,0743	0,0039	0,1109	0,0142	1,08	23,6	21	94,1	0,223	1,131	0,017	1,103	0,032	1,05	0,108	102	107
2,0426	0,0701	0,1917	0,0021	0,9	5,2165	0,0569	0,0773	0,0028	0,0845	0,0201	0,49	20,8	25,3	88,7	0,285	1,131	0,011	1,13	0,023	1,128	0,07	100	100
2,0428	0,0669	0,1926	0,0018	0,79	5,1909	0,0487	0,0769	0,0025	0,1907	0,0065	2,06	78,1	259,2	302,8	0,856	1,136	0,01	1,13	0,022	1,119	0,064	100	101
2,0114	0,0438	0,1933	0,0016	0,8	5,1727	0,0436	0,0755	0,0018	0,0773	0,0055	0,25	53,9	44	247,6	0,178	1,139	0,009	1,119	0,015	1,081	0,048	101	105
2,0024	0,1179	0,1932	0,0028	0,32	5,1761	0,0747	0,0752	0,004	0,0918	0,0196	8,34	12,8	16,5	48,3	0,342	1,139	0,015	1,116	0,038	1,073	0,099	102	106
2,1297	0,0747	0,1949	0,0022	0,47	5,1317	0,0592	0,0793	0,0026	0,1321	0,009	1,47	43,5	105	178,4	0,589	1,148	0,012	1,158	0,024	1,179	0,066	99	97
2,136	0,073	0,1951	0,0021	0,62	5,1267	0,0545	0,0794	0,0025	0,1696	0,006	2,17	60	170,7	231,2	0,739	1,149	0,011	1,161	0,024	1,183	0,061	98	97
2,0271	0,0703	0,1952	0,0021	0,8	5,1223	0,0556	0,0753	0,0024	0,1671	0,0284	0,63	104,1	458,4	462,2	0,992	1,15	0,011	1,125	0,024	1,077	0,065	102	106
2,1064	0,032	0,1961	0,0014	0,97	5,1004	0,0368	0,0779	0,0012	0,1048	0,0062	0,34	112,8	150,4	485,9	0,31	1,154	0,008	1,151	0,011	1,145	0,03	100	100
2,1496	0,0913	0,196	0,0017	0,72	5,1022	0,0444	0,0795	0,0034	0,0784	0,0131	2,46	43	67,2	205,3	0,327	1,154	0,009	1,165	0,03	1,186	0,086	99	97
2,0639	0,0467	0,1966	0,0015	0,78	5,0872	0,0389	0,0761	0,0017	0,1398	0,0027	0,11	65,6	108,1	278,2	0,389	1,157	0,008	1,137	0,015	1,099	0,045	101	105
2,1314	0,049	0,1972	0,0015	0,95	5,0699	0,0395	0,0784	0,0018	0,147	0,0088	0,41	55,3	89,7	228	0,393	1,16	0,008	1,159	0,016	1,156	0,046	100	100
2,2026	0,0773	0,1977	0,0021	0,12	5,0575	0,0547	0,0808	0,0031	0,1612	0,019	0,32	16,6	34,3	67,3	0,509	1,163	0,011	1,182	0,025	1,216	0,079	98	95
2,157	0,0354	0,1988	0,0015	0,93	5,0313	0,0387	0,0787	0,0013	0,0801	0,002	0,11	81,7	78,4	365,5	0,214	1,169	0,008	1,167	0,011	1,165	0,033	100	100
2,3433	0,1777	0,1998	0,0035	0,01	5,0045	0,087	0,0851	0,0061	0,2593	0,1766	71,45	13,8	14	18,7	0,749	1,174	0,019	1,226	0,054	1,317	0,147	95	89

## 16PN59 CONTINUACIÓN

2,1617	0,0531	0,2007	0,0015	0,9	4,9819	0,037	0,0781	0,002	0,1343	0,0238	0,45	39,5	54,3	165,2	0,329	1,179	0,008	1,169	0,017	1,15	0,051	100	102
2,1905	0,0681	0,2013	0,0025	0,65	4,967	0,0616	0,0789	0,0027	0,1189	0,0102	0,24	29,4	35,3	121,1	0,291	1,182	0,013	1,178	0,021	1,17	0,066	100	101
2,2011	0,0398	0,2035	0,0012	0,84	4,9133	0,0295	0,0784	0,0015	0,1032	0,0018	0,07	98,5	114,5	405,1	0,283	1,194	0,007	1,181	0,013	1,158	0,037	101	103
2,3161	0,0404	0,2041	0,0017	0,95	4,8985	0,0399	0,0823	0,0014	0,0541	0,0031	0,01	80,2	70,9	357,4	0,199	1,198	0,009	1,217	0,012	1,252	0,033	98	95
2,2713	0,0886	0,2053	0,0024	0,5	4,871	0,0578	0,0802	0,003	0,1304	0,0123	0,68	57	93,9	235,1	0,399	1,204	0,013	1,203	0,027	1,203	0,073	100	100
2,2646	0,0861	0,2067	0,003	0,62	4,837	0,0701	0,0794	0,003	0,0821	0,0207	3,45	28,2	54,2	105,5	0,514	1,211	0,016	1,201	0,027	1,183	0,074	100	102
2,4532	0,0458	0,2071	0,0013	1	4,8287	0,0295	0,0859	0,0017	0,1504	0,0031	0,82	90,5	196,6	363,7	0,541	1,213	0,007	1,258	0,014	1,336	0,037	96	90
2,3569	0,0814	0,212	0,0021	0,86	4,7168	0,0478	0,0806	0,0028	0,1021	0,0111	1,41	44,7	78,1	175,7	0,444	1,24	0,011	1,23	0,024	1,212	0,064	100	102
2,4094	0,2714	0,2137	0,0045	0,13	4,6799	0,0984	0,0818	0,0084	0,1874	0,0514	13,21	10,3	27	37,9	0,713	1,248	0,024	1,245	0,08	1,24	0,208	100	100
2,4463	0,0703	0,2144	0,002	0,88	4,6643	0,0429	0,0828	0,0026	0,0967	0,0072	0,66	24,2	24,9	95,2	0,261	1,252	0,01	1,256	0,021	1,263	0,063	99	99
2,4249	0,0522	0,2161	0,002	0,48	4,6279	0,0431	0,0814	0,0019	0,0522	0,0034	0,12	42,1	24	167,3	0,143	1,261	0,011	1,25	0,015	1,231	0,044	100	102
2,4582	0,0504	0,2164	0,0016	0,97	4,6205	0,0333	0,0824	0,0017	0,3024	0,0464	0,52	107,1	306,3	382,8	0,8	1,263	0,008	1,26	0,015	1,255	0,04	100	100
2,6767	0,0832	0,2204	0,0016	0,62	4,5373	0,0333	0,0881	0,0027	0,1835	0,0148	3,85	51,8	128,2	197,1	0,651	1,284	0,009	1,322	0,023	1,384	0,059	97	92
2,5005	0,0824	0,2213	0,0024	0,69	4,5189	0,0488	0,082	0,0025	0,1357	0,0147	0,94	84,6	116	326,8	0,355	1,289	0,013	1,272	0,024	1,244	0,059	101	103
2,4818	0,0432	0,2217	0,0013	0,99	4,51	0,0258	0,0812	0,0016	0,0444	0,0067	1,11	114,7	54,1	570,5	0,095	1,291	0,007	1,267	0,014	1,226	0,038	101	105
2,4832	0,0609	0,2222	0,0021	0,22	4,5002	0,0432	0,081	0,0022	0,0823	0,0053	0,41	27,6	21,9	107,2	0,204	1,294	0,011	1,267	0,018	1,223	0,054	102	105
2,7096	0,1673	0,2224	0,0054	0,78	4,4956	0,109	0,0883	0,0064	0,0957	0,0202	0,51	9	9,1	31,3	0,29	1,295	0,028	1,331	0,046	1,39	0,14	97	93
2,7688	0,0472	0,2266	0,0013	0,99	4,4135	0,0261	0,0886	0,0015	0,0987	0,0063	0,53	144,2	119,3	526,6	0,227	1,317	0,007	1,347	0,013	1,396	0,033	97	94
2,6589	0,0621	0,2282	0,0021	0,07	4,3825	0,0408	0,0845	0,0022	0,143	0,0079	0,2	26,9	32,4	94,4	0,343	1,325	0,011	1,317	0,017	1,304	0,05	100	101
2,7513	0,1161	0,2287	0,0025	0,77	4,3729	0,0481	0,0873	0,0035	0,2867	0,0445	2,3	36,4	158,6	105,4	1,504	1,328	0,013	1,342	0,033	1,366	0,081	98	97
2,6991	0,0717	0,229	0,0019	0,7	4,3662	0,0354	0,0855	0,0024	0,0671	0,0055	0,19	40,2	30,1	148,1	0,203	1,329	0,01	1,328	0,02	1,326	0,056	100	100
2,7017	0,045	0,23	0,0017	0,75	4,3483	0,0312	0,0852	0,0015	0,1395	0,0041	0,08	75,7	107,5	269,4	0,399	1,334	0,009	1,329	0,012	1,32	0,035	100	101
2,7336	0,0762	0,2301	0,0022	0,65	4,3466	0,0416	0,0862	0,0025	0,1288	0,0106	0,59	26,2	33,3	96,2	0,346	1,335	0,012	1,338	0,021	1,342	0,056	99	99
2,6465	0,0547	0,2313	0,0017	0,51	4,3233	0,0311	0,083	0,0017	0,0879	0,0253	0,21	94,1	49,2	360,7	0,136	1,341	0,009	1,314	0,015	1,269	0,039	102	105
2,6822	0,1605	0,2332	0,0027	0,39	4,2876	0,0501	0,0834	0,0046	0,1472	0,0166	2,5	20,5	43,5	64,9	0,67	1,351	0,014	1,324	0,043	1,279	0,105	102	105
2,779	0,0708	0,2367	0,0026	0,76	4,2239	0,0463	0,0851	0,0024	0,1062	0,0057	0,18	27,7	28,4	97,6	0,291	1,37	0,014	1,35	0,019	1,319	0,052	101	103
2,8734	0,0503	0,2386	0,0018	0,66	4,1919	0,0314	0,0874	0,0017	0,1971	0,0249	0,32	61,4	89	203,8	0,437	1,379	0,009	1,375	0,013	1,368	0,036	100	100
2,8089	0,0644	0,2388	0,0019	0,92	4,1873	0,0329	0,0853	0,0021	0,2503	0,03	0,3	50,7	84,9	182,7	0,465	1,381	0,01	1,358	0,017	1,322	0,049	101	104
2,8913	0,052	0,2409	0,0016	0,67	4,1504	0,027	0,087	0,0017	0,2223	0,0121	0,69	75	157,9	239,8	0,658	1,392	0,008	1,38	0,014	1,361	0,038	100	102
2,896	0,1421	0,2458	0,002	0,69	4,0676	0,0329	0,0854	0,0041	0,1625	0,0136	0	41,6	188,4	146,7	1,284	1,417	0,01	1,381	0,036	1,325	0,089	102	106
2,9606	0,105	0,2462	0,0025	0,37	4,0623	0,0406	0,0872	0,0031	0,2009	0,0442	2,31	27,9	87,8	84,6	1,038	1,419	0,013	1,398	0,027	1,366	0,067	101	103
3,0422	0,0553	0,2478	0,0016	0,96	4,0352	0,0262	0,089	0,0016	0,1799	0,053	0,2	121	227,6	375,5	0,606	1,427	0,008	1,418	0,014	1,405	0,034	100	101
3,1226	0,0671	0,2493	0,0019	0,77	4,0105	0,0306	0,0908	0,0022	0,1413	0,0113	0,12	53,5	64,2	172,6	0,372	1,435	0,01	1,438	0,017	1,443	0,046	99	99
3,0569	0,0534	0,2495	0,0015	0,9	4,0085	0,0241	0,0889	0,0016	0,154	0,0048	0,77	107,5	142,6	332	0,43	1,436	0,008	1,422	0,013	1,401	0,034	100	102
3,0643	0,0804	0,25	0,0027	0,93	4,0007	0,0437	0,0889	0,0022	0,0402	0,009	3,59	86,5	109,5	352,5	0,311	1,438	0,014	1,424	0,02	1,402	0,046	101	102
3,1213	0,0677	0,2524	0,0019	1	3,9623	0,0305	0,0897	0,0022	0,1102	0,0127	0,05	62,9	68,1	202,7	0,336	1,451	0,01	1,438	0,017	1,419	0,045	100	102
3,3747	0,0573	0,2554	0,0019	0,92	3,916	0,0293	0,0958	0,0017	0,1472	0,0299	0,95	85,3	82,2	320,8	0,256	1,466	0,01	1,499	0,013	1,545	0,034	97	94
3,3453	0,1155	0,2639	0,0036	0,6	3,7898	0,0514	0,0919	0,0032	0,1161	0,0085	3,7	25,2	52,2	78	0,669	1,51	0,018	1,492	0,027	1,466	0,065	101	102
4,4417	0,1383	0,3004	0,0031	0,65	3,3291	0,034	0,1072	0,003	0,2347	0,0097	0,44	115,5	369,5	286	1,292	1,693	0,015	1,72	0,026	1,753	0,051	98	96
4,2755	0,0623	0,3031	0,002	0,64	3,2997	0,0218	0,1023	0,0015	0,1466	0,0126	0,12	139,4	152,1	391,1	0,389	1,706	0,01	1,689	0,012	1,667	0,027	101	102
6,2675	0,1735	0,3752	0,004	0,62	2,665	0,0287	0,1211	0,0031	0,1732	0,0172	1,09	66,4	76,5	133,8	0,572	2,054	0,019	2,014	0,024	1,973	0,046	101	104

RATIOS											AGES												
207/235	1sigma	206/238	1 sigma	coef. corr	238/206	1 sigma	207/206	1 sigma	208/206	1 sigma	Pb total	Pb rad	Th	U	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1 sigma	T <sub>207/235</sub>	1 sigma	T <sub>207/206</sub>	1 sigma	Conc.	
ner Laser Ablation System, 6Hz, 6mJ, 20µm, 100%(0.89J/cm <sup>2</sup> ) Energia, Hélio: MFC1=0.300L/min, MFC2=0.300L/min.											comun	ppm	ppm	ppm		206/238							206/238
											%												207/235
0.6547	0.0182	0.0773	0.0010	0.04	12.9418	0.1718	0.0614	0.0022	0.2200	0.0242	4,22	9	87	111	0,78	480	6	511	11	655	78	93	
0.7251	0.0753	0.0882	0.0011	0.01	11,3364	0.1376	0.0596	0.0064	0.1809	0.0551	6,20	9	141	84	1,68	545	6	554	44	590	203	98	
0.8904	0.0696	0.1004	0.0022	0.30	9.9593	0.2222	0.0643	0.0061	0.2737	0.0367	6,40	5	52	37	1,40	617	13	647	38	752	208	95	
1.4668	0.0328	0.1404	0.0010	0.95	7.1224	0.0496	0.0758	0.0017	0.1193	0.0115	7,20	27	337	187	1,81	847	5	917	13	1089	43	92	
1.4974	0.0212	0.1476	0.0012	0.99	6.7758	0.0536	0.0736	0.0011	0.0898	0.0087	3,00	106	539	804	0,67	887	7	929	9	1030	31	95	
1.5190	0.0533	0.1516	0.0025	0.71	6.5958	0.1085	0.0727	0.0030	0.0907	0.0227	4,37	26	110	177	0,62	910	14	938	22	1005	87	97	
1.5632	0.0326	0.1533	0.0013	0.99	6.5248	0.0568	0.0740	0.0017	0.0215	0.0127	6,90	56	519	604	0,86	919	7	956	13	1041	46	96	
1.6411	0.0336	0.1559	0.0013	0.97	6.4145	0.0535	0.0763	0.0017	0.0404	0.0080	6,59	51	168	412	0,41	934	7	986	13	1104	44	94	
1.6143	0.0501	0.1569	0.0019	0.86	6.3716	0.0754	0.0746	0.0022	0.1846	0.0147	3,68	10	51	68	0,75	940	10	976	19	1058	58	96	
1.6207	0.0838	0.1622	0.0022	0.67	6.1657	0.0832	0.0725	0.0042	0.1408	0.0249	8,91	6	27	32	0,84	969	12	978	32	999	114	99	
1.5640	0.0554	0.1636	0.0025	0.31	6.1111	0.0928	0.0693	0.0030	0.1124	0.0173	3,88	9	37	51	0,72	977	14	956	22	908	91	102	
1.7678	0.0402	0.1688	0.0013	1.00	5.9252	0.0447	0.0760	0.0018	0.1335	0.0135	6,87	43	804	442	1,82	1005	7	1034	15	1094	48	97	
1.6638	0.0943	0.1713	0.0032	0.76	5.8385	0.1103	0.0705	0.0044	0.1460	0.0433	7,24	16	168	106	1,58	1019	18	995	37	942	131	102	
1.7614	0.0401	0.1718	0.0010	0.81	5.8208	0.0355	0.0744	0.0016	0.0259	0.0086	1,06	35	83	195	0,43	1022	6	1031	15	1051	44	99	
1.5867	0.1238	0.1729	0.0032	0.34	5.7824	0.1082	0.0665	0.0054	0.2625	0.0572	5,87	5	34	24	1,44	1028	18	965	48	824	160	106	
1.7764	0.0349	0.1731	0.0013	0.97	5.7763	0.0420	0.0744	0.0014	0.0366	0.0054	4,85	38	164	293	0,56	1029	7	1037	13	1053	39	99	
1.7553	0.0774	0.1734	0.0020	0.26	5.7686	0.0649	0.0734	0.0033	0.1243	0.0164	1,66	13	44	73	0,61	1031	11	1029	29	1026	92	100	
1.7581	0.0428	0.1738	0.0018	0.96	5.7535	0.0596	0.0734	0.0019	0.0658	0.0267	6,15	16	30	95	0,32	1033	10	1030	15	1024	49	100	
1.7775	0.0791	0.1743	0.0039	0.69	5.7367	0.1276	0.0740	0.0040	0.2206	0.0386	9,03	7	48	33	1,44	1036	21	1037	29	1040	112	99	
1.7467	0.0422	0.1757	0.0015	0.95	5.6922	0.0486	0.0721	0.0016	0.1269	0.0022	0,33	59	288	352	0,82	1043	8	1026	16	989	46	101	
1.7453	0.0452	0.1758	0.0017	0.32	5.6880	0.0549	0.0720	0.0017	0.1480	0.0085	2,46	25	132	139	0,96	1044	9	1025	17	986	49	101	
1.8025	0.0270	0.1777	0.0011	0.92	5.6298	0.0360	0.0736	0.0012	0.0569	0.0031	1,09	72	161	427	0,38	1054	6	1046	10	1030	32	100	
1.8396	0.0276	0.1779	0.0016	0.71	5.6213	0.0521	0.0750	0.0013	0.0952	0.0042	0,79	24	75	141	0,53	1055	9	1060	10	1069	35	99	
1.9914	0.0972	0.1787	0.0023	0.19	5.5952	0.0706	0.0808	0.0041	0.3817	0.0644	4,46	7	39	32	1,22	1060	12	1113	34	1217	110	95	
1.7840	0.0609	0.1796	0.0032	0.53	5.5682	0.1007	0.0720	0.0028	0.1040	0.0478	3,47	12	77	81	0,95	1065	18	1040	21	987	75	102	
1.8663	0.0548	0.1797	0.0020	0.81	5.5649	0.0619	0.0753	0.0026	0.1915	0.0135	1,26	17	109	87	1,25	1065	11	1069	19	1077	69	99	
1.9171	0.0477	0.1809	0.0015	0.77	5.5271	0.0467	0.0768	0.0019	0.1039	0.0099	4,19	27	190	153	1,24	1072	8	1087	17	1117	49	98	
1.9179	0.0477	0.1815	0.0018	0.75	5.5083	0.0546	0.0766	0.0021	0.1843	0.0147	2,80	20	126	111	1,13	1075	10	1087	17	1111	57	98	
1.8774	0.0449	0.1820	0.0016	0.32	5.4935	0.0487	0.0748	0.0019	0.1546	0.0077	0,77	22	110	114	0,97	1078	9	1073	16	1063	50	100	
1.8605	0.0650	0.1823	0.0019	0.73	5.4844	0.0566	0.0740	0.0027	0.1813	0.0116	1,53	11	50	63	0,79	1080	10	1067	23	1042	75	101	
1.9110	0.0494	0.1825	0.0025	0.26	5.4789	0.0746	0.0759	0.0023	0.2298	0.0189	1,63	10	60	54	1,11	1081	14	1085	17	1093	60	99	
1.8542	0.0463	0.1827	0.0019	0.78	5.4724	0.0575	0.0736	0.0022	0.1810	0.0071	2,74	29	144	151	0,95	1082	10	1065	16	1030	58	101	
1.8181	0.0566	0.1837	0.0019	0.62	5.4451	0.0550	0.0718	0.0024	0.0795	0.0114	1,88	10	27	60	0,45	1087	10	1052	21	980	72	103	
1.9038	0.1455	0.1849	0.0021	0.51	5.4079	0.0624	0.0747	0.0056	0.1649	0.0255	1,30	8	43	46	0,93	1094	12	1082	51	1060	145	101	
1.8953	0.0584	0.1861	0.0016	0.81	5.3736	0.0464	0.0739	0.0023	0.2094	0.0262	3,37	16	50	81	0,61	1100	9	1079	20	1038	63	101	
1.9399	0.0395	0.1862	0.0014	0.77	5.3698	0.0406	0.0756	0.0016	0.2017	0.0051	0,01	42	227	207	1,10	1101	8	1095	14	1083	44	100	
1.8789	0.0530	0.1876	0.0013	0.43	5.3297	0.0374	0.0726	0.0020	0.1239	0.0147	0,00	12	24	62	0,39	1109	7	1074	19	1004	57	103	
1.9247	0.1048	0.1880	0.0033	0.20	5.3202	0.0924	0.0743	0.0046	0.1604	0.0328	2,42	4	20	23	0,91	1110	18	1090	36	1049	126	101	
2.0005	0.0771	0.1902	0.0023	0.50	5.2563	0.0637	0.0763	0.0031	0.3009	0.0585	2,73	37	351	152	2,31	1123	12	1116	25	1102	78	100	
2.1409	0.0685	0.1908	0.0023	0.66	5.2420	0.0637	0.0814	0.0030	0.1240	0.0121	1,22	13	45	65	0,89	1126	13	1162	23	1231	74	96	
2.1088	0.0372	0.1924	0.0013	1.00	5.1982	0.0352	0.0795	0.0013	0.0501	0.0046	3,29	58	423	474	0,89	1134	7	1152	12	1185	32	98	
2.1461	0.0295	0.1949	0.0017	0.99	5.1311	0.0441	0.0799	0.0014	0.0380	0.0115	6,15	19	163	143	1,14	1148	9	1164	10	1194	36	98	
2.0411	0.0496	0.1950	0.0019	0.84	5.1290	0.0498	0.0759	0.0017	0.1367	0.0118	0,17	42	177	220	0,81	1148	10	1148	16	1093	45	101	
2.1791	0.0372	0.1954	0.0016	0.97	5.1172	0.0410	0.0809	0.0014	0.1300	0.0145	0,85	42	162	201	0,81	1151	8	1174	12	1218	35	97	
2.0888	0.0827	0.1955	0.0015	0.43	5.1141	0.0400	0.0775	0.0029	0.2179	0.0200	1,01	9	56	45	1,25	1151	8	1145	28	1133	77	100	
2.1156	0.0427	0.1956	0.0017	0.17	5.1128	0.0432	0.0785	0.0019	0.1240	0.0138	7,18	16	75	76	0,99	1152	9	1154	14	1158	48	99	

## 16PN61 CONTINUACIÓN

2,2820	0,0823	0,1973	0,0033	0,86	5,0678	0,0839	0,0839	0,0034	0,0933	0,0468	7,96	6	87	44	1,99	1161	18	1207	26	1290	82	96
2,2141	0,0648	0,1987	0,0017	0,50	5,0320	0,0432	0,0808	0,0025	0,1144	0,0090	1,65	13	42	63	0,66	1168	9	1186	20	1217	62	98
2,2039	0,0705	0,1990	0,0028	0,70	5,0250	0,0699	0,0803	0,0025	0,1221	0,0250	0,30	18	46	92	0,50	1170	15	1182	23	1205	63	98
2,1706	0,0482	0,1991	0,0025	0,62	5,0215	0,0633	0,0791	0,0022	0,1702	0,0093	0,25	14	86	73	1,18	1171	14	1172	16	1173	54	99
2,1548	0,0573	0,1994	0,0029	0,46	5,0156	0,0734	0,0784	0,0024	0,1109	0,0200	2,44	14	41	73	0,57	1172	16	1167	19	1157	62	100
2,1003	0,0710	0,2016	0,0022	0,01	4,9602	0,0529	0,0756	0,0028	0,1003	0,0213	4,68	10	26	49	0,52	1184	12	1149	23	1083	73	103
2,1904	0,0690	0,2016	0,0016	0,10	4,9593	0,0403	0,0788	0,0024	0,2176	0,0247	0,00	16	110	72	1,53	1184	9	1178	22	1167	59	100
2,2069	0,0702	0,2036	0,0022	0,19	4,9107	0,0535	0,0786	0,0026	0,2431	0,0136	1,76	10	76	46	1,65	1195	12	1183	23	1162	68	100
2,2989	0,0669	0,2042	0,0019	0,29	4,8966	0,0461	0,0816	0,0026	0,1101	0,0089	0,74	15	45	72	0,63	1198	10	1212	21	1237	62	98
2,2489	0,0507	0,2048	0,0016	0,99	4,8833	0,0374	0,0796	0,0022	0,0760	0,0067	8,21	61	352	689	0,51	1201	9	1196	18	1188	58	100
2,4518	0,1227	0,2064	0,0031	0,58	4,8457	0,0717	0,0862	0,0046	0,1080	0,0210	0,93	8	24	38	0,63	1209	16	1258	36	1342	105	96
2,3968	0,0562	0,2103	0,0019	0,94	4,7552	0,0421	0,0827	0,0021	0,1462	0,0129	2,72	29	140	143	0,96	1230	10	1242	17	1261	50	99
2,4103	0,0760	0,2114	0,0026	0,71	4,7313	0,0583	0,0827	0,0029	0,1232	0,0149	1,03	11	43	56	0,78	1236	14	1246	22	1262	68	99
2,3678	0,0449	0,2132	0,0022	0,97	4,6903	0,0492	0,0805	0,0016	0,1775	0,0315	1,85	33	256	162	1,58	1246	12	1233	14	1210	40	101
2,3606	0,1286	0,2154	0,0042	0,28	4,6417	0,0900	0,0795	0,0049	0,2148	0,0202	2,94	6	29	27	1,09	1258	22	1231	40	1184	122	102
2,5018	0,0956	0,2162	0,0021	0,67	4,6259	0,0458	0,0839	0,0029	0,0768	0,0132	2,68	15	47	69	0,68	1262	11	1273	27	1291	69	99
2,4573	0,0990	0,2168	0,0018	0,53	4,6121	0,0391	0,0822	0,0033	0,1412	0,0129	0,86	18	73	80	0,92	1265	10	1260	29	1250	77	100
2,3664	0,0452	0,2175	0,0017	1,00	4,5973	0,0350	0,0789	0,0016	0,1635	0,0054	3,76	45	243	357	0,68	1269	9	1233	14	1170	39	102
2,5499	0,1445	0,2198	0,0032	0,44	4,5502	0,0664	0,0841	0,0046	0,0903	0,0195	0,00	11	34	53	0,65	1281	17	1286	41	1296	104	99
2,6309	0,1143	0,2214	0,0050	0,72	4,5163	0,1027	0,0862	0,0049	0,1547	0,0264	0,85	11	47	48	0,99	1289	27	1309	32	1342	109	98
2,5963	0,0813	0,2253	0,0014	0,99	4,4380	0,0269	0,0836	0,0026	0,0841	0,0103	3,01	22	73	174	0,42	1310	7	1300	25	1282	65	100
2,7475	0,0729	0,2266	0,0025	0,97	4,4123	0,0486	0,0879	0,0025	0,0801	0,0077	1,67	16	73	84	0,87	1317	13	1341	19	1381	54	98
2,6917	0,0483	0,2271	0,0020	0,97	4,4038	0,0380	0,0860	0,0018	0,2072	0,0342	5,83	22	97	115	0,84	1319	10	1326	13	1338	41	99
2,7082	0,1272	0,2274	0,0026	0,53	4,3972	0,0499	0,0864	0,0040	0,0520	0,0266	1,72	10	29	47	0,61	1321	13	1331	35	1346	93	99
3,0632	0,1862	0,2316	0,0055	0,59	4,3170	0,1032	0,0959	0,0066	0,3423	0,0323	0,49	6	52	22	2,36	1343	29	1424	48	1546	137	94
2,8695	0,1642	0,2377	0,0051	0,38	4,2078	0,0901	0,0876	0,0055	0,0666	0,0299	0,34	4	7	16	0,46	1375	26	1374	44	1373	128	100
2,8073	0,0533	0,2396	0,0024	0,93	4,1743	0,0419	0,0850	0,0018	0,0953	0,0158	0,41	46	169	190	0,89	1384	12	1357	14	1315	40	101
2,8800	0,0987	0,2411	0,0029	0,74	4,1477	0,0496	0,0866	0,0030	0,1152	0,0238	0,29	36	145	146	0,99	1392	15	1377	25	1352	68	101
3,2968	0,0553	0,2617	0,0017	0,91	3,8212	0,0243	0,0914	0,0015	0,1401	0,0293	0,00	62	287	219	1,31	1499	8	1480	13	1454	31	101
3,2865	0,1315	0,2648	0,0043	0,40	3,7768	0,0619	0,0900	0,0044	0,1190	0,0215	1,79	8	25	29	0,86	1514	22	1478	32	1426	95	102
3,5226	0,0814	0,2838	0,0025	0,96	3,5242	0,0307	0,0900	0,0021	0,1654	0,0101	0,00	42	165	154	1,07	1610	12	1532	18	1426	43	105
3,9866	0,0791	0,2931	0,0024	0,99	3,4121	0,0276	0,0987	0,0019	0,4817	0,0915	0,00	54	314	159	1,98	1657	12	1631	17	1599	36	101

RATIOS											AGES															
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total	Pb rad	Th	U	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc.				
er Laser Ablation System, 6Hz, 6mJ, 20µm, 100%(0.891/cm <sup>2</sup> ) Energia, Hélio: MFC1=0.300L/min, MFC2=0.300L/min.											%	ppm	ppm	ppm												
0,5011	0,0105	0,0652	0,0006	0,98	15,3379	0,1330	0,0557	0,0012	0,2766	0,0964	0,00	31	159	444	0,36	407	3	412	7	442	47	98				
0,5148	0,0177	0,0704	0,0014	0,60	14,2129	0,2731	0,0531	0,0023	0,1406	0,0165	8,88	9	107	124	0,86	438	8	422	12	332	94	103				
0,6202	0,0742	0,0735	0,0013	0,32	13,6099	0,2341	0,0612	0,0083	0,1296	0,0426	0,00	3	28	43	0,65	457	8	490	48	647	256	93				
0,5666	0,0189	0,0736	0,0010	0,58	13,5830	0,1786	0,0558	0,0020	0,0993	0,0177	3,09	21	98	281	0,35	458	6	456	12	445	78	100				
1,4094	0,0152	0,1357	0,0009	0,99	7,3682	0,0506	0,0753	0,0017	0,1518	0,0657	2,04	55	743	502	1,48	820	6	893	9	1077	46	91				
1,5420	0,0294	0,1529	0,0016	0,98	6,5412	0,0700	0,0732	0,0014	0,0522	0,0046	1,95	85	264	743	0,36	917	9	947	11	1018	40	96				
1,6444	0,0266	0,1581	0,0014	0,77	6,3236	0,0561	0,0754	0,0012	0,0868	0,0043	1,00	21	65	128	0,51	946	8	987	10	1080	31	95				
1,6018	0,0620	0,1583	0,0028	0,19	6,3181	0,1133	0,0734	0,0034	0,0000	0,0126	2,35	7	2	46	0,03	947	16	971	24	1025	95	97				
1,6093	0,0379	0,1595	0,0020	0,80	6,2679	0,0774	0,0732	0,0018	0,0700	0,0094	4,52	11	38	74	0,52	954	11	974	15	1018	48	97				
1,5394	0,0466	0,1600	0,0015	0,52	6,2507	0,0584	0,0698	0,0022	0,1119	0,0100	0,51	14	48	84	0,57	957	8	946	19	922	66	101				
1,5599	0,0453	0,1603	0,0019	0,79	6,2366	0,0724	0,0706	0,0017	0,1223	0,0057	1,37	45	181	298	0,61	959	10	954	18	945	50	100				
1,6165	0,0892	0,1611	0,0031	0,38	6,2087	0,1177	0,0728	0,0045	0,1487	0,0270	0,58	7	27	38	0,71	963	17	977	36	1008	130	98				
1,6194	0,0484	0,1619	0,0019	0,52	6,1774	0,0734	0,0726	0,0025	0,1090	0,0091	0,00	13	45	74	0,60	967	11	978	19	1002	69	98				
1,6815	0,0760	0,1632	0,0027	0,01	6,1290	0,1010	0,0747	0,0037	0,3629	0,0195	0,00	11	87	55	1,57	974	15	1002	29	1062	100	97				
1,6498	0,0455	0,1633	0,0015	0,94	6,1226	0,0574	0,0733	0,0017	0,1927	0,0211	1,86	9	22	58	0,37	975	8	989	17	1021	45	98				
1,6057	0,0656	0,1640	0,0015	0,14	6,0980	0,0558	0,0710	0,0027	0,1027	0,0149	1,36	10	36	59	0,60	979	8	972	26	958	76	100				
1,6694	0,0748	0,1650	0,0048	0,35	6,0594	0,1769	0,0734	0,0042	0,1991	0,0575	1,73	18	103	105	0,98	985	27	997	28	1024	117	98				
1,6389	0,0595	0,1654	0,0021	0,13	6,0468	0,0755	0,0719	0,0023	0,1071	0,0089	1,16	13	43	74	0,58	987	11	985	22	982	63	100				
1,7405	0,0363	0,1657	0,0023	0,94	6,0364	0,0836	0,0762	0,0014	0,1668	0,0074	9,59	72	650	420	1,55	988	13	1024	13	1100	38	96				
1,6774	0,0419	0,1658	0,0023	0,77	6,0319	0,0821	0,0734	0,0021	0,0952	0,0100	0,07	47	147	282	0,52	989	12	1000	16	1025	58	98				
1,7132	0,0432	0,1672	0,0024	0,64	5,9800	0,0859	0,0743	0,0021	0,1120	0,0038	0,23	24	84	143	0,59	997	13	1013	16	1050	58	98				
1,6984	0,0476	0,1674	0,0032	0,01	5,9735	0,1156	0,0736	0,0025	0,2069	0,0182	0,00	8	55	46	1,19	998	18	1008	17	1030	65	98				
1,7257	0,0345	0,1676	0,0016	0,61	5,9650	0,0555	0,0747	0,0014	0,0605	0,0033	0,08	67	132	402	0,33	999	9	1018	13	1059	37	98				
1,6872	0,0547	0,1688	0,0024	0,06	5,9229	0,0855	0,0725	0,0029	0,0731	0,0104	4,91	18	27	106	0,26	1006	13	1004	20	999	78	100				
1,6818	0,0481	0,1688	0,0017	0,90	5,9227	0,0609	0,0722	0,0017	0,0621	0,0088	0,22	68	108	425	0,25	1006	10	1002	18	993	47	100				
1,6734	0,0391	0,1695	0,0018	0,77	5,9012	0,0628	0,0716	0,0018	0,1215	0,0030	0,82	42	155	238	0,65	1009	10	998	15	975	50	101				
1,7227	0,0462	0,1698	0,0018	0,31	5,8880	0,0634	0,0736	0,0020	0,1031	0,0109	1,45	18	65	100	0,66	1011	10	1017	18	1030	56	99				
1,7476	0,0530	0,1704	0,0018	0,64	5,8677	0,0636	0,0744	0,0019	0,1377	0,0078	0,92	18	67	101	0,66	1014	10	1026	20	1052	52	98				
1,7319	0,0609	0,1707	0,0019	0,33	5,8590	0,0659	0,0736	0,0025	0,1324	0,0170	0,00	42	161	238	0,67	1016	11	1020	23	1030	75	99				
1,7655	0,0483	0,1716	0,0018	0,28	5,8292	0,0623	0,0746	0,0020	0,1828	0,0078	0,49	28	142	151	0,94	1021	10	1033	18	1059	54	98				
1,7264	0,0436	0,1716	0,0019	0,59	5,8259	0,0655	0,0729	0,0019	0,1298	0,0025	0,47	50	182	279	0,65	1021	11	1018	16	1012	53	100				
1,8414	0,0486	0,1728	0,0028	0,37	5,7866	0,0938	0,0773	0,0023	0,0892	0,0098	1,25	17	39	91	0,43	1028	15	1060	18	1128	62	96				
1,8278	0,0501	0,1728	0,0015	0,43	5,7856	0,0492	0,0767	0,0023	0,1448	0,0078	1,96	17	93	94	0,98	1028	8	1056	18	1113	60	97				
1,7466	0,0442	0,1735	0,0026	0,80	5,7638	0,0874	0,0730	0,0021	0,2593	0,0185	0,00	19	134	88	1,53	1031	14	1026	16	1014	56	100				
1,8001	0,0260	0,1757	0,0015	0,45	5,6922	0,0489	0,0743	0,0010	0,1847	0,0029	0,00	75	381	394	0,97	1043	8	1045	9	1050	26	99				
1,8363	0,0495	0,1757	0,0025	0,46	5,6900	0,0814	0,0758	0,0021	0,1025	0,0091	0,96	13	43	71	0,60	1044	14	1059	18	1089	57	98				
1,8555	0,0414	0,1767	0,0020	0,82	5,6607	0,0640	0,0762	0,0017	0,1346	0,0062	0,64	28	83	157	0,53	1049	11	1065	15	1100	45	98				
1,8899	0,0479	0,1772	0,0022	0,87	5,6437	0,0704	0,0774	0,0025	0,1344	0,0062	0,42	13	49	69	0,72	1052	12	1078	17	1130	64	97				
1,8852	0,0567	0,1774	0,0024	0,01	5,6354	0,0758	0,0771	0,0022	0,1059	0,0091	0,00	16	55	88	0,62	1053	13	1076	20	1123	58	97				
1,8355	0,0394	0,1776	0,0012	0,73	5,6312	0,0387	0,0750	0,0017	0,0708	0,0027	0,00	54	90	307	0,29	1054	7	1058	14	1068	45	99				
1,8789	0,0396	0,1776	0,0022	0,60	5,6295	0,0693	0,0767	0,0017	0,1239	0,0037	0,22	41	123	222	0,56	1054	12	1074	14	1114	45	98				
1,8330	0,0417	0,1781	0,0022	0,04	5,6143	0,0690	0,0746	0,0018	0,1297	0,0080	4,87	14	54	78	0,70	1057	12	1057	15	1059	48	99				
1,7372	0,0635	0,1793	0,0024	0,53	5,5785	0,0733	0,0703	0,0028	0,1263	0,0746	4,75	18	36	90	0,40	1063	13	1022	23	937	75	103				
1,7504	0,0817	0,1793	0,0029	0,76	5,5774	0,0888	0,0708	0,0039	0,1801	0,0265	2,61	8	37	40	0,92	1063	16	1027	31	952	116	103				
1,8608	0,0349	0,1811	0,0020	0,93	5,5214	0,0605	0,0745	0,0014	0,0637	0,0121	0,05	116	55	718	0,08	1073	11	1067	12	1056	39	100				
1,9230	0,0513	0,1831	0,0017	0,46	5,4621	0,0509	0,0762	0,0018	0,0593	0,0400	0,00	33	40	186	0,22	1084	9	1089	18	1100	47	99				

## 16PN66 CONTINUACIÓN

1.8706	0,0437	0,1842	0,0022	0,83	5,4279	0,0646	0,0736	0,0019	0,0567	0,0047	0,59	42	68	256	0,26	1090	12	1071	15	1032	51	101
1.9916	0,0246	0,1865	0,0015	0,95	5,3609	0,0437	0,0774	0,0009	0,0671	0,0167	1,84	75	-25	525	-0,05	1103	8	1113	8	1132	23	99
1.9459	0,0348	0,1866	0,0020	0,95	5,3589	0,0581	0,0756	0,0016	0,0831	0,0062	0,69	83	195	485	0,40	1103	11	1097	12	1085	42	100
2.0203	0,0731	0,1869	0,0034	0,75	5,3511	0,0974	0,0784	0,0036	0,1295	0,0087	0,00	21	76	117	0,65	1104	18	1122	24	1157	89	98
2.0404	0,0466	0,1880	0,0030	0,73	5,3188	0,0840	0,0787	0,0021	0,1500	0,0051	0,45	22	84	107	0,78	1111	16	1129	15	1165	51	98
2.2430	0,1081	0,1886	0,0034	0,04	5,3011	0,0942	0,0862	0,0050	0,1205	0,0185	0,00	7	22	34	0,64	1114	18	1195	36	1344	121	93
2.0362	0,0668	0,1906	0,0035	0,56	5,2473	0,0865	0,0775	0,0030	0,1639	0,0297	0,00	12	42	61	0,70	1124	19	1128	21	1134	76	99
2.0416	0,1030	0,1923	0,0043	0,75	5,1991	0,1158	0,0770	0,0047	0,1181	0,0316	5,26	10	33	54	0,60	1134	23	1130	34	1121	123	100
2.0513	0,0432	0,1926	0,0022	0,88	5,1910	0,0589	0,0772	0,0019	0,1461	0,0079	2,35	46	186	245	0,76	1136	12	1133	15	1127	50	100
2.1845	0,0597	0,1975	0,0021	0,54	5,0641	0,0545	0,0802	0,0018	0,1672	0,0174	0,00	20	48	102	0,47	1162	11	1176	19	1203	44	98
2.0917	0,0535	0,1981	0,0041	0,62	5,0488	0,1051	0,0766	0,0023	0,1237	0,0144	0,55	23	102	119	0,85	1165	22	1146	18	1111	64	101
2.1593	0,2233	0,1990	0,0072	0,07	5,0250	0,1815	0,0787	0,0106	0,0927	0,0567	1,19	3	7	13	0,50	1170	39	1168	76	1165	256	100
2.2415	0,1037	0,2000	0,0062	0,64	4,9998	0,1547	0,0813	0,0046	0,1697	0,0196	7,20	6	24	32	0,74	1175	33	1194	32	1228	109	98
2.2471	0,0522	0,2016	0,0035	0,73	4,9595	0,0861	0,0808	0,0023	0,0660	0,0060	0,00	22	38	106	0,36	1184	19	1196	16	1217	57	99
2.2806	0,0950	0,2040	0,0035	0,30	4,9026	0,0850	0,0811	0,0031	0,1316	0,0214	1,35	11	41	49	0,83	1197	19	1206	30	1224	78	99
2.4392	0,0593	0,2066	0,0033	0,09	4,8412	0,0767	0,0856	0,0024	0,1299	0,0144	0,00	13	53	60	0,88	1210	17	1254	17	1330	54	96
2.4487	0,0595	0,2147	0,0019	0,88	4,6585	0,0423	0,0827	0,0022	0,1733	0,0116	0,00	25	87	104	0,84	1254	10	1257	17	1263	52	99
2.5582	0,0889	0,2152	0,0047	0,60	4,6472	0,1011	0,0862	0,0037	0,1850	0,0173	2,03	10	40	45	0,88	1256	25	1289	25	1343	82	97
2.5550	0,0571	0,2174	0,0023	0,91	4,5999	0,0487	0,0852	0,0020	0,1337	0,0072	0,69	77	174	348	0,50	1268	12	1288	16	1321	46	98
2.5449	0,0590	0,2184	0,0021	0,88	4,5797	0,0441	0,0845	0,0023	0,1222	0,0055	0,32	48	147	218	0,67	1273	11	1285	17	1305	52	99
2.5318	0,0857	0,2201	0,0037	0,29	4,5435	0,0764	0,0834	0,0035	0,2137	0,0197	0,00	6	27	28	0,96	1282	20	1281	25	1279	79	100
2.6621	0,0544	0,2223	0,0022	0,40	4,4974	0,0439	0,0868	0,0015	0,3170	0,0043	0,62	51	457	187	2,44	1294	11	1318	15	1357	33	98
2.5635	0,0588	0,2224	0,0016	0,68	4,4972	0,0323	0,0836	0,0020	0,1176	0,0073	0,42	33	76	154	0,49	1294	8	1290	17	1284	46	100
2.7901	0,0656	0,2237	0,0026	0,64	4,4708	0,0510	0,0905	0,0020	0,1404	0,0201	0,58	24	66	94	0,70	1301	13	1353	17	1435	42	96
2.6938	0,0861	0,2249	0,0022	0,62	4,4466	0,0445	0,0869	0,0023	0,2054	0,0051	1,13	27	128	104	1,23	1308	12	1327	24	1358	49	98
2.6670	0,0634	0,2271	0,0023	0,79	4,4040	0,0439	0,0852	0,0023	0,0906	0,0039	0,00	22	39	91	0,43	1319	12	1319	17	1320	52	99
2.7247	0,0692	0,2273	0,0027	0,37	4,3995	0,0531	0,0869	0,0022	0,1524	0,0086	0,00	16	51	71	0,72	1320	14	1335	19	1359	50	98
2.6927	0,0587	0,2275	0,0037	0,66	4,3951	0,0714	0,0858	0,0020	0,1464	0,0058	4,11	18	50	81	0,62	1322	19	1326	16	1334	46	99
2.8036	0,0631	0,2291	0,0035	0,51	4,3656	0,0665	0,0888	0,0023	0,2137	0,0094	0,15	31	148	118	1,26	1330	18	1357	17	1399	49	98
2.8761	0,0694	0,2299	0,0029	0,89	4,3501	0,0553	0,0907	0,0025	0,2044	0,0356	0,00	30	82	121	0,68	1334	15	1376	18	1441	53	96
2.8465	0,0734	0,2323	0,0029	0,73	4,3042	0,0531	0,0889	0,0024	0,1179	0,0079	1,29	32	94	137	0,69	1347	15	1368	19	1401	54	98
2.7852	0,0749	0,2337	0,0040	0,83	4,2782	0,0728	0,0864	0,0027	0,1658	0,0239	0,63	19	56	80	0,70	1354	21	1352	20	1348	60	100
2.9825	0,0866	0,2412	0,0033	0,67	4,1456	0,0567	0,0897	0,0030	0,1017	0,0063	1,89	19	43	77	0,56	1393	17	1403	22	1419	63	99
2.9598	0,0625	0,2436	0,0034	0,96	4,1045	0,0568	0,0881	0,0021	0,1003	0,0110	1,03	30	47	142	0,33	1406	18	1397	16	1385	47	100
3.1547	0,0987	0,2474	0,0042	0,83	4,0428	0,0691	0,0925	0,0033	0,0856	0,0084	1,27	26	41	98	0,42	1425	22	1446	24	1478	68	98
3.0045	0,0624	0,2501	0,0025	0,94	3,9981	0,0394	0,0871	0,0019	0,1073	0,0105	0,17	29	71	132	0,54	1439	13	1409	17	1363	42	102

RATIOS											AGES												
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. cor	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total	Pb rad	Th	U	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc.	Conc.
											comm	ppm	ppm	ppm		206/238						206/238	206/238
											%					207/235						207/235	207/206
0,5912	0,0306	0,0775	0,0011	0,61	12,901	0,1758	0,0553	0,0027	0,128	0,0231	11,62	52,9	252,4	534,5	0,472	0,481	0,006	0,472	0,019	0,425	0,102	102	113
0,6207	0,0317	0,0792	0,0015	0,74	12,6238	0,2415	0,0568	0,0023	0,1199	0,0131	2,73	34,5	141,7	332,5	0,426	0,491	0,009	0,49	0,02	0,485	0,094	100	101
0,6152	0,0655	0,0797	0,0024	0,22	12,5433	0,3833	0,056	0,0059	0,1667	0,0428	16,69	9,6	42,9	82,1	0,522	0,494	0,015	0,487	0,041	0,451	0,219	101	109
0,6624	0,0329	0,0828	0,0011	0,31	12,0702	0,1656	0,058	0,0029	0,193	0,0151	4,08	71,9	457,3	673,7	0,679	0,513	0,007	0,516	0,02	0,529	0,106	99	96
0,6286	0,0537	0,0831	0,0016	0,48	12,038	0,2261	0,0549	0,0048	0,126	0,0455	6,58	18,1	316,7	178,3	1,776	0,514	0,009	0,495	0,036	0,407	0,182	103	126
0,6916	0,0398	0,0848	0,0017	0,59	11,7959	0,242	0,0592	0,0034	0,1648	0,0329	15,97	17,3	169,6	161,8	1,048	0,525	0,01	0,534	0,025	0,573	0,133	98	91
0,7399	0,0448	0,0852	0,0016	0,61	11,7332	0,2232	0,063	0,0036	0,1563	0,0308	8,6	28	122,5	301	0,407	0,527	0,01	0,562	0,027	0,707	0,152	93	74
0,7101	0,0297	0,089	0,0017	0,54	11,2419	0,2204	0,0579	0,0025	0,1476	0,0297	10,15	31,3	209,5	283	0,74	0,549	0,01	0,545	0,018	0,526	0,095	100	104
0,7689	0,0588	0,0967	0,0017	0,51	10,3452	0,1868	0,0577	0,004	0,055	0,0187	5,32	31,3	217,6	307,8	0,707	0,595	0,01	0,579	0,033	0,518	0,152	102	114
0,8706	0,0479	0,1009	0,0012	0,83	9,9073	0,116	0,0626	0,0034	0,4194	0,0299	6,45	42,9	705	264,1	2,67	0,62	0,007	0,636	0,027	0,693	0,12	97	89
0,7681	0,0869	0,1044	0,004	0,28	9,5755	0,3677	0,0533	0,0068	0,2332	0,0854	31,56	8,6	44,6	49,3	0,905	0,64	0,023	0,579	0,051	0,343	0,212	110	186
0,9796	0,0739	0,1238	0,0035	0,31	8,0776	0,2288	0,0574	0,0049	0,1261	0,0298	7,52	22,6	75,5	146,2	0,517	0,752	0,02	0,693	0,037	0,507	0,166	108	148
1,4338	0,1342	0,1489	0,0049	0,68	6,7153	0,2204	0,0698	0,0063	0,1963	0,0909	62,94	10	15,4	36,1	0,426	0,895	0,027	0,903	0,053	0,923	0,175	99	96
1,6244	0,1432	0,1532	0,0038	0,54	6,5268	0,1606	0,0769	0,0069	0,1372	0,0493	3,87	10,7	27,5	53,8	0,512	0,919	0,021	0,98	0,056	1,118	0,193	93	82
1,3951	0,1019	0,1555	0,0023	0,61	6,4313	0,0971	0,0651	0,0047	0,1149	0,035	13,75	13,4	37,2	67,4	0,551	0,932	0,013	0,887	0,043	0,777	0,151	105	119
1,481	0,1296	0,1565	0,0036	0,53	6,3885	0,1477	0,0686	0,0057	0,1829	0,0471	8,57	14,2	51,4	62	0,83	0,937	0,02	0,923	0,054	0,887	0,182	101	105
1,6417	0,0828	0,1709	0,0033	0,5	5,8513	0,1143	0,0697	0,0028	0,1788	0,012	1,83	28,4	91,8	128,8	0,713	1,017	0,018	0,986	0,031	0,919	0,082	103	110
1,5882	0,1092	0,1711	0,0039	0,23	5,8431	0,1326	0,0673	0,0043	0,1813	0,0291	5,93	16,6	41,3	69	0,599	1,018	0,021	0,966	0,043	0,847	0,13	105	120
1,7816	0,1039	0,1711	0,0033	0,24	5,8433	0,1138	0,0755	0,004	0,0747	0,0155	1,87	20	23,2	97,3	0,238	1,018	0,018	1,039	0,037	1,082	0,104	98	94
1,8622	0,1152	0,174	0,0042	0,37	5,7457	0,1389	0,0776	0,0042	0,0837	0,0267	1,45	11,9	21,3	60	0,356	1,034	0,023	1,068	0,042	1,137	0,114	96	90
1,7887	0,1282	0,175	0,0038	0,08	5,7139	0,1242	0,0741	0,0047	0,1645	0,025	2,72	18	46,7	75,9	0,616	1,04	0,021	1,041	0,047	1,045	0,129	99	99
1,7999	0,0773	0,1763	0,0032	0,45	5,6713	0,1032	0,074	0,0026	0,0567	0,0097	3,11	63,8	104,5	330,1	0,317	1,047	0,018	1,045	0,028	1,042	0,071	100	100
1,7388	0,0833	0,1789	0,0023	0,45	5,5894	0,0724	0,0705	0,0034	0,1188	0,0253	9,22	19,2	29,2	82,5	0,353	1,061	0,013	1,023	0,031	0,943	0,102	103	112
1,84	0,1493	0,1792	0,0041	0,52	5,5798	0,1275	0,0745	0,0057	0,229	0,0286	10,14	17,5	63,3	63,2	1,001	1,063	0,022	1,06	0,053	1,054	0,16	100	100
1,8296	0,0838	0,18	0,0033	0,56	5,5543	0,1031	0,0737	0,0028	0,109	0,0068	0,31	41,9	62,2	192,3	0,323	1,067	0,018	1,056	0,03	1,033	0,076	101	103
1,932	0,0901	0,181	0,0029	0,41	5,524	0,0884	0,0774	0,0035	0,1099	0,0164	1,83	16,6	28,3	75,3	0,376	1,073	0,016	1,092	0,032	1,132	0,096	98	94
1,8772	0,0786	0,1822	0,004	0,43	5,4898	0,1211	0,0747	0,003	0,0983	0,0096	0,97	33,8	35,8	153,5	0,233	1,079	0,022	1,073	0,028	1,062	0,081	100	101
1,7871	0,095	0,1822	0,0037	0,66	5,4876	0,1104	0,0711	0,0035	0,1983	0,0238	9,73	26	65,3	83,9	0,779	1,079	0,02	1,041	0,034	0,961	0,095	103	112
1,7899	0,2101	0,1822	0,0041	0,53	5,4891	0,1245	0,0713	0,0074	0,1307	0,0882	128,13	11,5	21,8	38,7	0,563	1,079	0,022	1,042	0,075	0,965	0,207	103	111
1,8545	0,1236	0,1828	0,0044	0,08	5,4707	0,1327	0,0736	0,0051	0,0806	0,0301	7,06	21,9	57,8	95,5	0,606	1,082	0,024	1,065	0,043	1,03	0,136	101	105
2,0328	0,1286	0,1831	0,003	0,01	5,4619	0,0905	0,0805	0,005	0,4055	0,0379	1,3	22,4	113,3	79	1,433	1,084	0,016	1,127	0,044	1,21	0,126	96	89
1,848	0,0886	0,1838	0,0034	0,82	5,4405	0,1015	0,0729	0,0034	0,068	0,0068	0,96	58	100,3	286,7	0,35	1,088	0,019	1,063	0,03	1,012	0,094	102	107
2,0524	0,1868	0,1843	0,0061	0,41	5,4268	0,1793	0,0808	0,0071	0,1871	0,0413	6,61	30,3	97,5	120,3	0,81	1,09	0,033	1,133	0,062	1,216	0,157	96	89
1,8934	0,0989	0,1856	0,0046	0,57	5,3877	0,1349	0,074	0,0037	0,2929	0,0198	3,05	19,5	51,1	69,3	0,737	1,098	0,025	1,079	0,033	1,041	0,096	101	105
1,9064	0,0954	0,1861	0,0037	0,12	5,3727	0,1079	0,0743	0,0034	0,2171	0,0144	2,02	22,8	61,5	94,6	0,65	1,1	0,02	1,083	0,033	1,049	0,092	101	104
1,9798	0,1174	0,1889	0,0031	0,52	5,294	0,0881	0,076	0,0047	0,1352	0,055	14,89	13,9	45,7	56	0,816	1,115	0,017	1,109	0,041	1,095	0,137	100	101
2,0299	0,1116	0,1918	0,0035	0,44	5,2126	0,0942	0,0767	0,0038	0,1333	0,0264	2,65	27,8	42,7	122,1	0,35	1,131	0,019	1,126	0,037	1,114	0,102	100	101
1,978	0,068	0,1919	0,0029	0,65	5,2102	0,0774	0,0747	0,0023	0,0859	0,0092	1,58	50,4	84,9	224	0,379	1,132	0,015	1,108	0,023	1,062	0,061	102	106
2,0043	0,1398	0,1922	0,0047	0,31	5,2029	0,1282	0,0756	0,0049	0,222	0,0202	2,44	15,2	39,7	62,3	0,637	1,133	0,026	1,117	0,048	1,085	0,134	101	104
2,0547	0,0884	0,1929	0,0038	0,91	5,1845	0,1018	0,0773	0,0033	0,0408	0,021	0,86	35,1	10,7	168	0,064	1,137	0,02	1,134	0,028	1,128	0,084	100	100
2,0337	0,1149	0,193	0,0034	0,63	5,18	0,0907	0,0764	0,0039	0,0985	0,0093	2,19	45,7	61,8	203,4	0,304	1,138	0,018	1,127	0,038	1,106	0,101	100	102
2,0754	0,1088	0,1934	0,0034	0,75	5,1713	0,0911	0,0778	0,0037	0,3054	0,0248	4,05	61,9	403,8	245,9	1,642	1,14	0,018	1,141	0,036	1,143	0,095	99	99
2,0911	0,1059	0,1949	0,0037	0,52	5,13	0,0971	0,0778	0,0035	0,1384	0,0118	4,85	29,3	56,1	116,8	0,481	1,148	0,02	1,146	0,035	1,142	0,091	100	100
2,1219	0,0994	0,1996	0,0038	0,57	5,01	0,0951	0,0771	0,0033	0,1087	0,0198	3,4	34,6	54,6	147,4	0,37	1,173	0,02	1,156	0,031	1,124	0,087	101	104
2,1924	0,1021	0,2	0,0028	0,74	5,0003	0,0707	0,0795	0,0035	0,1077	0,0112	1,26	34,6	68,3	144,3	0,474	1,175	0,015	1,179	0,032	1,185	0,087	99	99
2,2537	0,1468	0,201	0,0039	0,44	4,9756	0,0964	0,0813	0,0045	0,0995	0,0224	2,83	19,6	26,5	77,4	0,342	1,181	0,021	1,198	0,047	1,229	0,114	98	96

## 17PN18 CONTINUACIÓN

2,0434	0,0948	0,2013	0,0031	0,87	4,9683	0,0761	0,0736	0,0032	0,1454	0,0079	1,88	55,6	112,6	253,2	0,445	1,182	0,017	1,13	0,032	1,031	0,087	104	114
2,0343	0,0882	0,2029	0,0029	0,72	4,9291	0,0705	0,0727	0,003	0,1152	0,0168	8,37	70,8	171	289	0,592	1,191	0,016	1,127	0,029	1,006	0,081	105	118
1,9779	0,1851	0,2031	0,0049	0,23	4,9244	0,1193	0,0706	0,0069	0,1731	0,0799	0	10,7	23,7	32,9	0,72	1,192	0,026	1,108	0,06	0,947	0,182	107	125
2,1398	0,1269	0,2042	0,0043	0,31	4,8975	0,1022	0,076	0,0047	0,119	0,0282	7,74	27,1	87,1	104,5	0,833	1,198	0,023	1,162	0,042	1,095	0,13	103	109
2,1607	0,142	0,2055	0,0043	0,68	4,8662	0,1007	0,0763	0,0044	0,2816	0,0219	4,05	23,5	129,2	92,8	1,392	1,205	0,022	1,168	0,043	1,102	0,116	103	109
2,3677	0,094	0,2076	0,0039	0,35	4,8173	0,0915	0,0827	0,003	0,1138	0,0179	3,93	26,6	41,1	105,3	0,39	1,216	0,021	1,233	0,029	1,263	0,076	98	96
2,2403	0,0983	0,2098	0,0031	0,75	4,7661	0,0703	0,0774	0,003	0,0771	0,0168	4,75	36,9	59,2	173,7	0,341	1,228	0,016	1,194	0,032	1,133	0,084	102	108
2,195	0,1231	0,21	0,0035	0,53	4,7626	0,0792	0,0758	0,0045	0,0657	0,0228	6,47	16,4	13,2	64,2	0,205	1,229	0,018	1,179	0,038	1,09	0,116	104	112
2,2515	0,0722	0,2111	0,003	0,87	4,7373	0,0675	0,0774	0,0021	0,1066	0,0088	0,87	64,6	121,4	279,7	0,434	1,235	0,016	1,197	0,022	1,13	0,055	103	109
2,3271	0,1493	0,2137	0,0039	0,44	4,6798	0,0859	0,079	0,0051	0,112	0,0244	12,44	15,8	24,7	57,8	0,427	1,248	0,021	1,221	0,044	1,172	0,126	102	106
2,3451	0,1008	0,2138	0,0038	0,91	4,6782	0,0826	0,0796	0,0028	0,0936	0,0072	0,36	80,9	93,1	332,6	0,28	1,249	0,02	1,226	0,028	1,186	0,071	101	105
2,5629	0,0977	0,2143	0,0034	0,97	4,6667	0,0746	0,0867	0,0028	0,121	0,009	0,97	206,1	330,9	682,9	0,485	1,252	0,018	1,29	0,026	1,355	0,064	97	92
2,3248	0,1191	0,2159	0,0041	0,89	4,6316	0,0876	0,0781	0,0035	0,1358	0,0174	1,13	37,2	56	156,4	0,358	1,26	0,021	1,22	0,035	1,149	0,091	103	109
2,2738	0,1492	0,2176	0,0054	0,79	4,596	0,1143	0,0758	0,0039	0,1725	0,0206	5,77	24,3	50,4	80,7	0,624	1,269	0,028	1,204	0,043	1,09	0,103	105	116
2,3322	0,0874	0,2185	0,0045	0,6	4,5776	0,0933	0,0774	0,003	0,2265	0,032	6,18	65,4	331,3	226,1	1,465	1,274	0,024	1,222	0,027	1,132	0,077	104	112
2,4922	0,1616	0,2199	0,0041	0,45	4,5482	0,0847	0,0822	0,005	0,4229	0,0267	2,41	22,9	69,2	74,8	0,925	1,281	0,022	1,27	0,045	1,25	0,113	100	102
2,3927	0,152	0,2222	0,0043	0,82	4,5014	0,0877	0,0781	0,0041	0,1196	0,0169	2,53	80,5	318,1	319	0,997	1,293	0,022	1,24	0,042	1,15	0,104	104	112
2,2893	0,1018	0,2224	0,0044	0,94	4,4972	0,0896	0,0747	0,0034	0,1263	0,0102	0,14	74,1	209,7	346,2	0,606	1,294	0,023	1,209	0,031	1,06	0,094	107	122
2,4884	0,1065	0,224	0,0045	0,55	4,4645	0,0892	0,0806	0,0028	0,1594	0,0151	0,87	44,2	63,4	159,5	0,398	1,303	0,024	1,269	0,03	1,211	0,067	102	107
2,4876	0,1428	0,2244	0,0044	0,86	4,4559	0,0865	0,0804	0,0035	0,1195	0,0149	4,72	56,1	119,5	219,4	0,545	1,305	0,023	1,268	0,04	1,207	0,085	102	108
2,5683	0,1117	0,2249	0,0041	0,83	4,4466	0,0808	0,0828	0,0031	0,153	0,0261	7,27	37	75,5	134,1	0,563	1,308	0,021	1,292	0,031	1,265	0,075	101	103
2,7646	0,1149	0,2259	0,0032	0,94	4,426	0,0631	0,0887	0,0037	0,1786	0,0152	2,81	94,6	115,2	332,5	0,346	1,313	0,017	1,346	0,032	1,399	0,078	97	93
2,3578	0,1802	0,2268	0,0052	0,85	4,41	0,1003	0,0754	0,006	0,0986	0,0287	4,3	40,1	49,4	162,8	0,304	1,317	0,028	1,23	0,06	1,08	0,165	107	122
2,4807	0,1861	0,2271	0,0048	0,81	4,4029	0,0927	0,0792	0,0065	0,1059	0,0344	2,41	32,3	43,8	131,7	0,333	1,319	0,026	1,266	0,059	1,177	0,149	104	112
2,3983	0,1802	0,2279	0,0045	0,67	4,3869	0,087	0,0763	0,0055	0,1516	0,0323	10,14	34,1	196,8	127,1	1,548	1,324	0,024	1,242	0,056	1,103	0,142	106	119
2,6551	0,122	0,2291	0,0049	0,58	4,3656	0,094	0,0841	0,0035	0,1685	0,0084	1,85	46,5	90,4	157,1	0,575	1,33	0,026	1,316	0,033	1,294	0,081	101	102
2,45	0,1112	0,2327	0,0043	0,85	4,2979	0,0787	0,0764	0,0034	0,1291	0,0122	1,28	78,1	188,8	308,9	0,611	1,348	0,023	1,257	0,034	1,105	0,089	107	122
2,5329	0,1172	0,2332	0,0034	0,88	4,2886	0,0631	0,0788	0,0033	0,1391	0,0142	2,88	124,8	281,5	480,1	0,586	1,351	0,018	1,282	0,033	1,167	0,083	105	115
2,7232	0,1213	0,2355	0,0028	0,64	4,2463	0,0507	0,0839	0,0035	0,0187	0,0141	2,44	29,8	5	115,1	0,043	1,363	0,015	1,335	0,032	1,289	0,084	102	105
2,7735	0,1396	0,2357	0,0033	0,22	4,2426	0,0593	0,0853	0,0047	0,1158	0,0143	3,39	21,4	30,8	77,7	0,397	1,364	0,017	1,348	0,037	1,323	0,101	101	103
2,9888	0,1389	0,2422	0,0033	0,61	4,1293	0,0565	0,0895	0,0039	0,1262	0,0075	0,75	46,9	76,1	165,4	0,46	1,398	0,017	1,405	0,035	1,415	0,083	99	98
2,9466	0,1513	0,2422	0,0042	0,98	4,1288	0,0715	0,0882	0,0043	0,2273	0,0123	1	172,4	333,9	506,8	0,659	1,398	0,022	1,394	0,039	1,388	0,092	100	100
2,9288	0,1806	0,2446	0,0056	0,26	4,0877	0,0933	0,0868	0,0046	0,0918	0,0256	0,49	17,4	19,3	56,8	0,34	1,411	0,029	1,389	0,046	1,357	0,104	101	103
3,017	0,1149	0,2523	0,0048	0,39	3,9634	0,0751	0,0867	0,0029	0,2197	0,0176	3,47	21	95,8	59,8	1,603	1,45	0,025	1,412	0,029	1,354	0,067	102	107
3,0667	0,1272	0,2524	0,0046	0,73	3,9625	0,0721	0,0881	0,0032	0,2124	0,0099	1,22	82,1	252,5	250,5	1,008	1,451	0,024	1,424	0,032	1,385	0,07	101	104
3,1259	0,138	0,2577	0,0062	0,48	3,8798	0,0931	0,088	0,0036	0,2017	0,0147	3,66	29,6	69	87,5	0,789	1,478	0,032	1,439	0,033	1,382	0,077	102	106
3,2597	0,1417	0,2594	0,0048	0,91	3,8548	0,0719	0,0911	0,0037	0,2512	0,0144	3,19	36,9	103,1	128,2	0,805	1,487	0,025	1,471	0,034	1,449	0,075	101	102
3,0817	0,1036	0,2611	0,005	0,85	3,8304	0,0739	0,0856	0,0031	0,1933	0,0129	6,43	34,1	91,9	117,7	0,781	1,495	0,026	1,428	0,026	1,329	0,071	104	112
3,2121	0,0973	0,2652	0,0045	0,86	3,7714	0,0639	0,0879	0,0023	0,1073	0,0054	2,03	134,1	190,7	467,1	0,408	1,516	0,023	1,46	0,024	1,379	0,051	103	109
3,1789	0,1456	0,2664	0,0054	0,83	3,7533	0,0757	0,0865	0,0037	0,18	0,0162	0,72	108,2	210,5	358,9	0,587	1,523	0,027	1,452	0,036	1,35	0,083	104	112
3,2765	0,1987	0,2668	0,0059	0,72	3,7482	0,0826	0,0891	0,0053	0,1545	0,0196	2,5	42,1	85,5	131,6	0,649	1,525	0,03	1,475	0,048	1,406	0,116	103	108
3,0935	0,1051	0,2704	0,0047	0,92	3,6979	0,0637	0,083	0,0025	0,1389	0,0137	1,59	107	192,6	384,5	0,501	1,543	0,024	1,431	0,027	1,268	0,059	107	121
3,2207	0,1117	0,2729	0,005	0,91	3,6637	0,0676	0,0856	0,0029	0,1937	0,0087	2,43	54,7	110,1	179,7	0,613	1,556	0,026	1,462	0,027	1,329	0,067	106	117
3,1981	0,2393	0,2738	0,005	0,86	3,6519	0,067	0,0847	0,0063	0,0825	0,0231	0	31,7	20,7	106,9	0,194	1,56	0,026	1,457	0,06	1,309	0,144	107	119
7,0187	0,3601	0,3851	0,0072	0,89	2,597	0,0488	0,1322	0,0063	0,1497	0,0074	0,4	70,1	70,4	146,7	0,48	2,1	0,034	2,114	0,045	2,127	0,084	99	98
8,3114	0,2837	0,4337	0,0054	0,95	2,3057	0,0286	0,139	0,0052	0,0578	0,0226	1,94	67,7	65,7	204	0,322	2,322	0,025	2,266	0,037	2,215	0,068	102	104

RATIOS											AGES												
207/235	1sigma	206/238	1sigma	cof. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb total comm	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>208/206</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc. 208/238 207/235	Conc. 208/238 207/206
0,4425	0,0464	0,0639	0,001	0,12	15,6391	0,2396	0,0502	0,0048	0,2207	0,0611	37,47	31,7	877,6	300,3	2,922	0,4	0,006	0,372	0,033	0,204	0,135	107	195
0,5812	0,0275	0,0763	0,001	0,96	13,1024	0,1763	0,0552	0,0025	0,1307	0,027	7,2	61,2	561,7	748,8	0,75	0,474	0,006	0,465	0,018	0,422	0,102	101	112
0,5954	0,0311	0,0767	0,0009	0,22	13,0312	0,1523	0,0563	0,003	0,1703	0,0121	4,5	22,4	136,4	220,3	0,619	0,477	0,005	0,474	0,02	0,463	0,115	100	102
0,5854	0,0252	0,077	0,0008	0,49	12,9919	0,1343	0,0552	0,0026	0,1584	0,0086	3,52	38,4	147,6	394,7	0,374	0,478	0,005	0,468	0,016	0,419	0,104	102	114
0,6188	0,0397	0,0772	0,001	0,55	12,9617	0,1737	0,0582	0,0036	0,2347	0,0282	3,47	42,1	428,5	392	1,093	0,479	0,006	0,489	0,025	0,536	0,141	97	89
0,677	0,0761	0,0774	0,0009	0,39	12,9137	0,1508	0,0634	0,0071	0,2426	0,0604	7,51	12,8	217,4	106,2	2,047	0,481	0,005	0,525	0,048	0,722	0,2	91	66
0,5522	0,0263	0,0776	0,001	0,44	12,8888	0,1617	0,0516	0,0023	0,0975	0,0153	7,03	42,3	287,3	451,1	0,637	0,482	0,006	0,446	0,017	0,269	0,099	107	179
0,5953	0,0294	0,0788	0,0008	0,53	12,6857	0,1362	0,0548	0,0026	0,1658	0,0173	2,51	26,3	162,2	248,6	0,652	0,489	0,005	0,474	0,019	0,403	0,111	103	121
0,5784	0,0394	0,0796	0,0009	0,6	12,5577	0,1494	0,0527	0,0036	0,2382	0,024	5,8	40,6	246,3	346,5	0,711	0,494	0,006	0,463	0,026	0,315	0,129	106	156
0,635	0,0282	0,0797	0,0008	0,84	12,5489	0,1277	0,0578	0,0025	0,2346	0,01	0,51	35,6	231,1	366,6	0,63	0,494	0,005	0,499	0,017	0,522	0,093	99	94
0,6545	0,0316	0,0796	0,0009	0,23	12,5656	0,1477	0,0597	0,0032	0,0552	0,0361	13,2	6,5	36,5	54,4	0,672	0,494	0,006	0,511	0,02	0,591	0,127	96	83
0,6346	0,0239	0,08	0,0009	0,9	12,4933	0,1404	0,0575	0,0022	0,1521	0,0175	1,87	53,1	399,6	543,1	0,736	0,496	0,005	0,499	0,015	0,511	0,081	99	97
0,596	0,0204	0,0803	0,0008	0,12	12,4599	0,1305	0,0539	0,002	0,0962	0,0069	3,5	63,9	310,1	697,5	0,445	0,498	0,005	0,475	0,013	0,365	0,081	104	136
0,6197	0,0304	0,0814	0,001	0,56	12,2782	0,1513	0,0552	0,0026	0,0978	0,1228	6,86	68,6	866,5	546,6	1,585	0,505	0,006	0,49	0,019	0,42	0,102	103	120
0,6381	0,0401	0,0818	0,0012	0,52	12,2218	0,1753	0,0566	0,0033	0,1288	0,0242	3,14	61,5	574	616	0,932	0,507	0,007	0,501	0,025	0,474	0,132	101	106
0,6449	0,0363	0,0825	0,0013	0,36	12,1255	0,188	0,0567	0,0032	0,1908	0,0329	17,33	37,7	258,6	314,2	0,823	0,511	0,008	0,505	0,023	0,481	0,125	101	106
0,6631	0,0274	0,0831	0,0009	0,95	12,0288	0,1311	0,0578	0,0024	0,0612	0,0155	1,5	34,7	37,2	399,2	0,093	0,515	0,005	0,517	0,016	0,524	0,09	99	98
0,6371	0,0366	0,0832	0,0011	0,6	12,0136	0,1624	0,0555	0,003	0,4445	0,0453	5,35	45,3	1505,2	332,5	4,526	0,515	0,007	0,501	0,023	0,433	0,121	102	119
0,5867	0,0433	0,0838	0,0013	0,24	11,937	0,1817	0,0508	0,0037	0,0944	0,0124	7,77	23,7	123,1	233,9	0,526	0,519	0,008	0,469	0,027	0,232	0,157	110	223
0,652	0,0309	0,0847	0,0011	0,43	11,8125	0,1504	0,0559	0,0026	0,1698	0,0163	3,52	54	627,3	533,3	1,176	0,524	0,006	0,51	0,019	0,447	0,107	102	117
0,6658	0,041	0,0848	0,0009	0,45	11,7972	0,1276	0,057	0,0035	0,258	0,0377	13,31	19	248,4	131,9	1,883	0,525	0,005	0,518	0,025	0,49	0,131	101	106
0,6008	0,0484	0,0849	0,0009	0,09	11,7775	0,1245	0,0513	0,0043	0,251	0,0606	14,74	34,8	467,2	266	1,756	0,525	0,005	0,478	0,033	0,255	0,14	109	205
0,6394	0,0523	0,0851	0,0011	0,18	11,7549	0,1463	0,0545	0,0042	0,191	0,0411	15,75	18,1	113,6	135,1	0,841	0,526	0,006	0,502	0,032	0,392	0,165	104	134
0,6354	0,0277	0,0852	0,0011	0,66	11,7365	0,1513	0,0541	0,0024	0,2502	0,0521	18,26	76,1	1554,2	627,7	2,476	0,527	0,007	0,499	0,017	0,375	0,096	105	140
0,6901	0,044	0,0853	0,001	0,55	11,7194	0,1366	0,0587	0,0038	0,2671	0,0301	7,7	17,6	152,3	139,7	1,091	0,528	0,006	0,533	0,027	0,554	0,144	99	95
0,6698	0,0225	0,0856	0,0012	0,81	11,6769	0,1584	0,0567	0,002	0,1389	0,0163	4,73	66,9	445,9	618	0,722	0,53	0,007	0,521	0,014	0,481	0,078	101	110
0,5927	0,0594	0,0868	0,0014	0,45	11,5164	0,1842	0,0495	0,005	0,4432	0,4592	0	2,1	72,1	73,1	0,986	0,537	0,008	0,473	0,037	0,172	0,107	113	312
0,6968	0,0356	0,087	0,0009	0,33	11,491	0,1188	0,0581	0,0032	0,0785	0,0114	6,35	47,7	73,4	478,6	0,153	0,538	0,005	0,537	0,021	0,533	0,118	100	100
0,6673	0,044	0,0872	0,0012	0,34	11,4689	0,1634	0,0555	0,0036	0,0596	0,0274	4,37	28,6	168,1	272,9	0,616	0,539	0,007	0,519	0,028	0,433	0,145	103	124
0,6418	0,0236	0,0877	0,001	0,34	11,3967	0,131	0,0531	0,0018	0,2227	0,0181	12,54	83,8	510,1	728,5	0,7	0,542	0,006	0,503	0,015	0,331	0,08	107	163
0,7084	0,0322	0,0877	0,001	0,16	11,4032	0,1247	0,0586	0,0029	0,2444	0,026	15,27	27,5	162,5	203,1	0,8	0,542	0,006	0,544	0,019	0,552	0,108	99	98
0,6521	0,0341	0,0884	0,0013	0,4	11,3159	0,1688	0,0535	0,0028	0,1149	0,0278	13,56	21,7	147,9	182,9	0,809	0,546	0,008	0,51	0,021	0,351	0,119	107	155
0,676	0,029	0,0886	0,001	0,55	11,2903	0,1297	0,0554	0,0024	0,2499	0,0592	23,25	86,4	952,5	589,5	1,616	0,547	0,006	0,524	0,018	0,427	0,099	104	128
0,7063	0,0569	0,0908	0,0015	0,37	11,0121	0,1772	0,0564	0,0046	0,155	0,022	8,12	16,8	111,4	144,8	0,769	0,56	0,009	0,543	0,034	0,469	0,175	103	119
0,6734	0,0574	0,093	0,0015	0,41	10,7538	0,1735	0,0525	0,0044	0,3287	0,1032	38,89	28	199,4	137,9	1,446	0,573	0,009	0,523	0,034	0,308	0,167	109	186
0,7526	0,0294	0,0946	0,001	0,47	10,5699	0,1159	0,0577	0,0023	0,0607	0,0129	5,25	51,1	112,1	491,1	0,228	0,583	0,006	0,57	0,017	0,518	0,087	102	112
0,7753	0,0429	0,097	0,001	0,84	10,3134	0,1014	0,058	0,0033	0,1123	0,0296	14,26	24	177,4	204,9	0,866	0,597	0,006	0,583	0,025	0,529	0,121	102	112
0,7977	0,0446	0,0977	0,0014	0,59	10,2362	0,1456	0,0592	0,0036	0,2416	0,0219	11,98	14	163,1	107,6	1,515	0,601	0,008	0,596	0,025	0,575	0,129	100	104
0,8605	0,0623	0,1026	0,0013	0,6	9,7449	0,1276	0,0608	0,0042	0,1605	0,0138	5,83	21,9	119,4	169,6	0,704	0,63	0,008	0,63	0,034	0,633	0,144	99	99
0,844	0,0422	0,1037	0,0011	0,86	9,6443	0,1038	0,059	0,0029	0,1221	0,0217	12,93	54,4	273,2	425,8	0,642	0,636	0,007	0,621	0,023	0,568	0,105	102	111
0,87	0,0328	0,1071	0,0012	0,34	9,3361	0,1035	0,0589	0,0022	0,177	0,02	4,19	163,3	482,9	1251,9	0,386	0,656	0,007	0,636	0,018	0,564	0,085	103	116
0,84	0,0246	0,1074	0,0011	0,87	9,3103	0,0992	0,0567	0,0018	0,0599	0,0117	1,31	73,6	135,5	697,7	0,194	0,658	0,007	0,619	0,014	0,481	0,069	106	136
0,9243	0,0447	0,1094	0,0012	0,62	9,1385	0,0985	0,0613	0,0026	0,0248	0,0091	2,78	74	117,3	624,8	0,188	0,669	0,007	0,665	0,023	0,648	0,094	100	103
0,8996	0,0455	0,1101	0,0014	0,94	9,0836	0,1149	0,0593	0,0029	0,1264	0,0848	0,98	130,4	389,3	1043,4	0,373	0,673	0,008	0,652	0,025	0,577	0,107	103	116
1,0396	0,0379	0,1112	0,0013	0,83	8,9895	0,1079	0,0678	0,0027	0,1459	0,0444	26,3	98,2	377,6	461,7	0,818	0,68	0,008	0,724	0,018	0,862	0,08	93	78
0,9575	0,0365	0,1127	0,0011	0,92	8,8738	0,0859	0,0616	0,0025	0,1553	0,0238	2,79	66,4	321,5	500,4	0,643	0,688	0,006	0,682	0,019	0,661	0,083	100	104

## 16LE29 CONTINUACION

0,9127	0,0472	0,1164	0,0015	0,73	8,5937	0,1088	0,0569	0,0028	0,0975	0,0206	6,32	37,3	140	282,1	0,496	0,71	0,008	0,658	0,024	0,487	0,108	107	145
1,042	0,0778	0,1273	0,0024	0,56	7,8561	0,1482	0,0594	0,0044	0,1371	0,032	13,6	15	44,5	85,2	0,522	0,772	0,014	0,725	0,039	0,581	0,152	106	132
1,0474	0,0693	0,1293	0,0019	0,66	7,7356	0,1131	0,0588	0,0041	0,2601	0,0961	4,36	32,3	390	165,1	2,362	0,784	0,011	0,728	0,035	0,558	0,153	107	140
1,0746	0,0505	0,131	0,0014	0,67	7,6342	0,0827	0,0595	0,0028	0,1121	0,0361	21,51	37	158,8	208,4	0,762	0,794	0,008	0,741	0,024	0,585	0,099	107	135
1,2109	0,0528	0,1341	0,0017	0,73	7,4587	0,0962	0,0655	0,0028	0,0628	0,0266	12,07	60,5	197,5	403,4	0,49	0,811	0,01	0,806	0,024	0,791	0,088	100	102
1,2214	0,0789	0,1349	0,0018	0,52	7,4143	0,1015	0,0657	0,0043	0,169	0,0251	11,84	25,1	91	141,3	0,644	0,816	0,011	0,81	0,035	0,796	0,145	100	102
1,7254	0,051	0,1704	0,0019	0,97	5,8679	0,064	0,0734	0,0024	0,0727	0,0091	1,22	56,3	51,2	330,3	0,155	1,014	0,01	1,018	0,021	1,026	0,068	99	98
1,5242	0,0809	0,1707	0,002	0,77	5,8576	0,0686	0,0648	0,0034	0,1113	0,0181	6,68	28,5	69	121,3	0,568	1,016	0,011	0,94	0,032	0,766	0,106	108	132
1,7898	0,0613	0,1785	0,0023	0,98	5,6029	0,073	0,0727	0,0026	0,0439	0,0164	2,3	138,7	308,3	658,8	0,468	1,059	0,013	1,042	0,024	1,006	0,074	101	105
1,8434	0,0612	0,1791	0,0015	0,98	5,5834	0,0474	0,0746	0,0028	0,1778	0,04	16,08	221,8	788,3	861,8	0,915	1,062	0,009	1,061	0,024	1,059	0,079	100	100
1,8991	0,1004	0,1797	0,003	0,77	5,5634	0,0937	0,0766	0,0043	0,113	0,0202	3,61	22,4	39,1	98	0,399	1,066	0,017	1,081	0,037	1,111	0,117	98	95
1,8335	0,0701	0,181	0,0022	0,94	5,5249	0,0686	0,0735	0,0024	0,1271	0,01	2,66	60,5	211,1	219,8	0,96	1,072	0,012	1,058	0,024	1,027	0,067	101	104
1,8157	0,0751	0,1809	0,0018	0,93	5,5278	0,0543	0,0728	0,0029	0,1139	0,0361	9,2	198,9	251	945,4	0,266	1,072	0,01	1,051	0,027	1,008	0,081	101	106
1,9911	0,0964	0,1853	0,003	0,24	5,3972	0,0868	0,0779	0,0036	0,1752	0,023	4,67	17,4	56,1	68,6	0,817	1,096	0,016	1,113	0,034	1,145	0,097	98	95
1,8511	0,0753	0,1891	0,0019	0,45	5,2884	0,0536	0,071	0,003	0,1089	0,0061	2,18	143,9	240,4	633,9	0,379	1,116	0,01	1,064	0,027	0,957	0,083	104	116
2,0164	0,0815	0,1909	0,0019	0,13	5,2377	0,0535	0,0766	0,0033	0,1924	0,0073	1,56	52,6	133,2	223,5	0,596	1,126	0,011	1,121	0,027	1,111	0,088	100	101
2,0093	0,07	0,1914	0,0018	0,36	5,2238	0,0495	0,0761	0,0027	0,1793	0,0077	4,05	44,3	112,1	174,8	0,641	1,129	0,01	1,119	0,024	1,098	0,072	100	102
2,0454	0,068	0,1958	0,0019	0,73	5,1074	0,0497	0,0758	0,0025	0,1308	0,0104	3,55	92,5	320,1	387,3	0,826	1,153	0,01	1,131	0,022	1,089	0,065	101	105
2,3005	0,1949	0,1999	0,0029	0,44	5,0016	0,072	0,0834	0,0065	0,2357	0,0335	9,15	17,6	88,5	62,6	1,414	1,175	0,015	1,212	0,056	1,28	0,141	96	91
2,1767	0,1112	0,2013	0,0027	0,47	4,9686	0,0673	0,0784	0,0037	0,1114	0,0232	4,89	35,6	128,4	146,3	0,878	1,182	0,015	1,174	0,036	1,158	0,099	100	102
2,0727	0,0786	0,2017	0,0024	0,73	4,9584	0,0588	0,0745	0,0025	0,0579	0,0043	2,22	73,4	101,8	327,1	0,311	1,184	0,013	1,14	0,025	1,056	0,067	103	112
2,4138	0,1099	0,2087	0,002	0,97	4,792	0,0468	0,0839	0,0038	0,1569	0,0205	19,17	33,8	46,1	155,2	0,297	1,222	0,011	1,247	0,034	1,29	0,093	98	94
2,3023	0,0927	0,2116	0,0022	0,83	4,7261	0,0485	0,0789	0,003	0,0964	0,0077	2,53	135,6	336,9	505,2	0,667	1,237	0,011	1,213	0,028	1,17	0,076	102	105
2,2609	0,0741	0,2115	0,0022	0,75	4,7286	0,0484	0,0775	0,0026	0,1737	0,0074	1,36	104,5	258,2	422,2	0,612	1,237	0,012	1,2	0,023	1,135	0,066	103	108
2,5494	0,1051	0,2214	0,0024	0,52	4,5174	0,0484	0,0835	0,0033	0,1524	0,007	2,08	90,9	235,2	314	0,749	1,289	0,012	1,286	0,03	1,282	0,077	100	100
3,2121	0,1406	0,2329	0,003	1	4,2932	0,0562	0,1	0,0041	0,1621	0,0135	5	133,7	999,4	562,1	1,778	1,35	0,016	1,46	0,034	1,624	0,077	92	83
2,7601	0,1155	0,2365	0,0028	0,36	4,2287	0,05	0,0847	0,0036	0,1623	0,0076	1,76	45	64,1	144,2	0,445	1,368	0,014	1,345	0,031	1,308	0,082	101	104
2,7566	0,0853	0,2365	0,0027	0,86	4,229	0,0481	0,0845	0,0025	0,2449	0,01	7,42	45,5	83,8	127,3	0,658	1,368	0,014	1,344	0,023	1,305	0,058	101	104
2,8175	0,0948	0,238	0,0028	0,88	4,2022	0,0487	0,0859	0,0027	0,1342	0,0213	10,31	77,9	200,7	257,1	0,781	1,376	0,015	1,36	0,026	1,335	0,063	101	103
2,674	0,1388	0,2449	0,0036	0,07	4,0838	0,0599	0,0792	0,004	0,2896	0,0153	4,72	48,4	261,7	147,2	1,778	1,412	0,019	1,321	0,038	1,177	0,099	106	119
3,0311	0,1105	0,2535	0,0027	0,55	3,9447	0,0414	0,0867	0,0033	0,1551	0,0147	3,51	51,3	169,1	165,2	1,023	1,457	0,014	1,415	0,028	1,354	0,073	102	107
3,7411	0,1369	0,2542	0,0023	0,99	3,9341	0,0352	0,1067	0,0047	0,359	0,0224	6,66	31	65,8	67,3	0,977	1,46	0,012	1,58	0,034	1,745	0,083	92	83
5,3577	0,1926	0,3222	0,0041	0,98	3,1039	0,0391	0,1206	0,0038	0,2183	0,006	3,83	65,2	229,4	199,1	1,152	1,8	0,02	1,878	0,031	1,965	0,056	95	91
5,0176	0,1524	0,3308	0,0033	0,84	3,0231	0,0301	0,11	0,0034	0,2243	0,0175	0,78	107,5	270,7	250,2	1,082	1,842	0,016	1,822	0,025	1,8	0,055	101	102
5,7675	0,1488	0,3362	0,0037	0,97	2,9744	0,0328	0,1244	0,003	0,1221	0,0093	1,97	132,2	175,7	364,6	0,482	1,868	0,018	1,942	0,023	2,021	0,043	96	92
5,5337	0,1518	0,3581	0,0039	0,69	2,7923	0,0307	0,1121	0,003	0,2299	0,0476	0,7	141,9	304,1	279	1,09	1,973	0,019	1,906	0,023	1,833	0,049	103	107
5,8855	0,2753	0,3608	0,0045	0,79	2,7712	0,0347	0,1183	0,0054	0,3275	0,0329	4,62	55,1	182,5	101,2	1,804	1,986	0,021	1,959	0,04	1,931	0,081	101	102
5,5174	0,1401	0,3654	0,0043	0,79	2,7368	0,0319	0,1095	0,0026	0,2778	0,0237	1,76	212,8	888,8	443,7	2,003	2,008	0,02	1,903	0,022	1,791	0,043	105	112
6,4798	0,264	0,3723	0,0048	0,68	2,686	0,0347	0,1262	0,0049	0,1599	0,0099	2,92	80,2	151	168,7	0,895	2,04	0,023	2,043	0,036	2,046	0,068	99	99
7,1344	0,2293	0,4025	0,0052	0,85	2,4843	0,032	0,1285	0,004	0,0984	0,0175	2,67	130,2	161,6	248,9	0,649	2,181	0,024	2,128	0,029	2,078	0,054	102	104
10,4203	0,2945	0,4539	0,0042	0,41	2,203	0,0206	0,1665	0,0048	0,1347	0,0037	0	128,6	228,6	286,9	0,797	2,413	0,019	2,473	0,026	2,523	0,047	97	95
11,3599	0,3545	0,4609	0,0055	0,01	2,1698	0,0259	0,1788	0,005	0,1675	0,0077	3,11	84,2	109,8	150,6	0,729	2,443	0,024	2,553	0,028	2,642	0,046	95	92

## 17CAR

RATIOS											AGES					Conc.	Conc.						
207/235	1 sigma	206/238	1 sigma	coef. corr	238/206	1 sigma	207/206	1 sigma	208/206	1 sigma	Pb total comum %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1 sigma	T <sub>207/235</sub>	1 sigma	T <sub>207/206</sub>	1 sigma	206/238 207/235	206/238 207/206
0,3977	0,0178	0,0539	0,0007	0,58	18,546	0,2367	0,0535	0,0025	0,0706	0,0088	6,66	116,4	529,2	1999,8	0,265	0,339	0,004	0,34	0,013	0,35	0,1	99	96
0,5557	0,0333	0,0706	0,0009	0,89	14,1587	0,1737	0,0571	0,0033	0,2345	0,0346	7,22	70,7	1010,9	568,8	1,777	0,44	0,005	0,449	0,022	0,494	0,129	98	89
0,5841	0,0303	0,0755	0,0008	0,84	13,2408	0,1397	0,0561	0,0028	0,1382	0,0172	9,11	99,1	1276,2	1151,3	1,108	0,469	0,005	0,467	0,02	0,456	0,108	100	102
0,6367	0,0819	0,0827	0,0011	0,39	12,0871	0,1541	0,0558	0,0067	0,2916	0,0563	20,06	21,9	241,5	163,7	1,475	0,512	0,006	0,5	0,047	0,445	0,21	102	115
0,7453	0,0527	0,0831	0,0015	0,52	12,0292	0,2134	0,065	0,0045	0,1074	0,0383	13,27	22,6	137,1	217,4	0,63	0,515	0,009	0,565	0,031	0,775	0,156	91	66
0,6627	0,069	0,0874	0,0014	0,43	11,4454	0,1774	0,055	0,0059	0,2069	0,0502	16,81	33,5	399	257,7	1,549	0,54	0,008	0,516	0,042	0,413	0,178	104	130
0,7149	0,0358	0,0882	0,0011	0,6	11,3319	0,144	0,0588	0,0029	0,1661	0,042	14,04	38,1	231,6	308,9	0,75	0,545	0,007	0,548	0,022	0,558	0,109	99	97
0,7395	0,0529	0,0913	0,001	0,72	10,95	0,118	0,0587	0,0042	0,2403	0,0207	4,57	71,3	790	561	1,408	0,563	0,006	0,562	0,032	0,557	0,147	100	101
0,7352	0,0748	0,095	0,001	0,34	10,5232	0,1151	0,0561	0,0061	0,3981	0,047	18,42	28	317,7	168,6	1,884	0,585	0,006	0,56	0,045	0,457	0,201	104	128
0,7743	0,0553	0,0959	0,0013	0,56	10,4226	0,1408	0,0585	0,0039	0,2442	0,0292	6,88	54,1	607	420,1	1,445	0,591	0,008	0,582	0,03	0,55	0,134	101	107
0,7499	0,0463	0,0961	0,0012	0,65	10,4023	0,133	0,0566	0,0034	0,1585	0,0208	6,01	82,3	546,2	658,2	0,83	0,592	0,007	0,568	0,027	0,475	0,132	104	124
0,773	0,0361	0,0981	0,0011	0,9	10,1917	0,1189	0,0571	0,0026	0,1451	0,0084	4,33	127	855,9	983,3	0,87	0,603	0,007	0,581	0,02	0,497	0,099	103	121
0,7819	0,0382	0,0981	0,0013	0,64	10,1885	0,1366	0,0578	0,0028	0,1594	0,0351	15,47	57,6	432	472	0,915	0,604	0,008	0,587	0,022	0,521	0,106	102	115
0,7322	0,0544	0,1	0,0011	0,51	10,0018	0,1104	0,0531	0,0039	0,1837	0,032	10,94	33,4	221,7	236,2	0,939	0,614	0,006	0,558	0,031	0,334	0,114	110	184
0,8111	0,0787	0,1	0,0016	0,54	9,9952	0,1583	0,0588	0,0059	0,2292	0,0545	17,19	36,2	457,8	246,5	1,857	0,615	0,009	0,603	0,043	0,56	0,203	101	109
0,8316	0,0427	0,1031	0,0012	0,62	9,7029	0,1108	0,0585	0,0031	0,1777	0,0835	10,76	54,9	554,5	355,2	1,561	0,632	0,007	0,614	0,024	0,549	0,109	102	115
0,85	0,0541	0,1065	0,0013	0,69	9,3881	0,1137	0,0579	0,0037	0,1217	0,025	10,14	70	176,8	511,7	0,345	0,652	0,008	0,625	0,031	0,525	0,138	104	124
0,8662	0,0583	0,1076	0,0014	0,25	9,2941	0,1246	0,0584	0,0035	0,186	0,0725	27,77	41	268,9	228,1	1,179	0,659	0,008	0,633	0,031	0,544	0,125	103	121
0,956	0,0583	0,1097	0,0015	0,88	9,117	0,1219	0,0632	0,0032	0,0649	0,0156	4,75	58,2	92,8	490	0,189	0,671	0,009	0,681	0,028	0,715	0,105	98	93
1,2152	0,0599	0,1247	0,0015	0,98	8,0214	0,0982	0,0707	0,0029	0,0561	0,0143	4,07	239,1	455,4	1347,8	0,338	0,757	0,009	0,808	0,026	0,949	0,084	93	79
1,1856	0,0829	0,1453	0,0026	0,38	6,8835	0,1244	0,0592	0,0045	0,2022	0,0645	21,67	32,4	174,5	140,3	1,244	0,874	0,015	0,794	0,042	0,574	0,135	110	152
1,6094	0,0862	0,1491	0,0019	0,97	6,7072	0,0845	0,0783	0,0038	0,1564	0,0341	9,33	95,7	238,8	357,1	0,669	0,896	0,01	0,974	0,032	1,154	0,094	91	77
1,3397	0,076	0,1495	0,0021	0,34	6,6905	0,092	0,065	0,0035	0,1286	0,03	10,75	77	318,1	397,3	0,801	0,898	0,011	0,863	0,033	0,775	0,114	104	115
1,783	0,1223	0,1816	0,0028	0,88	5,5066	0,0837	0,0712	0,0045	0,2719	0,0251	7,04	55	455,8	227,7	2,002	1,076	0,015	1,039	0,043	0,963	0,13	103	111
1,9751	0,1719	0,1997	0,0031	0,65	5,0073	0,0781	0,0717	0,0061	0,1038	0,0655	19,41	24	61,2	88,9	0,688	1,174	0,017	1,107	0,06	0,978	0,172	106	119
2,1363	0,0972	0,2121	0,0028	0,82	4,7138	0,0612	0,073	0,0032	0,0866	0,015	6,94	56	148,1	234,4	0,632	1,24	0,015	1,161	0,032	1,015	0,09	106	122
2,2034	0,1001	0,213	0,0026	0,89	4,6947	0,0575	0,075	0,0035	0,1314	0,0458	8,96	81,6	294,2	283,4	1,038	1,245	0,014	1,182	0,034	1,069	0,097	105	116
2,5974	0,287	0,2213	0,0035	0,24	4,5194	0,0721	0,0851	0,0093	0,2514	0,1012	26,07	20,2	82,9	53,6	1,547	1,289	0,018	1,3	0,076	1,319	0,188	99	97
2,3972	0,2112	0,225	0,0037	0,81	4,4441	0,0729	0,0773	0,0057	0,2024	0,039	14,11	33	135,3	107,4	1,26	1,308	0,019	1,242	0,056	1,128	0,149	105	115
2,2799	0,13	0,2273	0,0034	0,29	4,3999	0,0666	0,0728	0,0049	0,1444	0,0604	10,52	43,2	75,2	142,3	0,529	1,32	0,018	1,206	0,042	1,007	0,112	109	131
2,5482	0,1049	0,2292	0,0027	0,95	4,3625	0,0522	0,0806	0,0032	0,1499	0,0557	7,88	57,6	247,3	180,8	1,368	1,33	0,014	1,286	0,03	1,212	0,08	103	109
2,6606	0,0834	0,2355	0,0023	0,99	4,2461	0,0408	0,0819	0,0026	0,1978	0,0472	2,08	162,1	769,7	543	1,417	1,363	0,012	1,318	0,024	1,244	0,064	103	109
2,5927	0,0951	0,2354	0,003	0,81	4,2473	0,0544	0,0799	0,0029	0,1414	0,0309	13,62	91	186,2	299,7	0,621	1,363	0,016	1,299	0,027	1,194	0,072	104	114
2,5019	0,1063	0,2364	0,0029	0,9	4,2301	0,0527	0,0768	0,0033	0,1284	0,0198	6,35	81	142,3	275,6	0,516	1,368	0,015	1,273	0,032	1,115	0,086	107	122
2,5556	0,1491	0,2437	0,0044	0,74	4,103	0,0745	0,076	0,0043	0,139	0,0911	36,33	35,6	101,7	92,8	1,096	1,406	0,023	1,288	0,039	1,096	0,107	109	128
3,762	0,1787	0,2803	0,0035	0,89	3,5677	0,0451	0,0973	0,0042	0,111	0,0311	5,76	70,9	169,3	181,4	0,933	1,593	0,018	1,585	0,037	1,574	0,081	100	101
3,6921	0,1751	0,2893	0,0032	0,89	3,4571	0,0381	0,0926	0,004	0,2313	0,0337	9,62	82,6	386,3	186,1	2,076	1,638	0,016	1,57	0,037	1,479	0,084	104	110
5,2609	0,1764	0,342	0,0042	0,88	2,9243	0,0355	0,1116	0,0033	0,3077	0,0098	1,91	180,3	417,1	380,1	1,097	1,896	0,02	1,863	0,027	1,825	0,052	101	103
7,7571	0,3687	0,446	0,006	0,83	2,2421	0,0301	0,1261	0,0057	0,2256	0,0273	8,36	59,6	92,7	100,8	0,92	2,377	0,027	2,203	0,043	2,045	0,082	107	116

RATIOS											AGES										Conc.	Conc.	
207/235	1sigma	206/238	1sigma	coef. corr	238/206	1sigma	207/206	1sigma	208/206	1sigma	Pb-total comun %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	T <sub>206/238</sub>	1sigma	T <sub>207/235</sub>	1sigma	T <sub>207/206</sub>	1sigma	Conc. 206/238 207/235	Conc. 206/238 207/206
0,5533	0,0161	0,0686	0,0006	0,97	14,5864	0,1276	0,0585	0,0017	0,2004	0,0109	26,41	42	553	447	1,238	0,427	0,004	0,447	0,01	0,55	0,064	95	77
0,7033	0,0444	0,0837	0,0014	0,01	11,9442	0,1992	0,0609	0,0044	0,1966	0,0141	0,56	14	71	121	0,591	0,518	0,008	0,541	0,027	0,637	0,162	95	81
0,7149	0,0228	0,0854	0,0007	0,94	11,7131	0,1009	0,0607	0,002	0,2286	0,0072	17,69	59	356	438	0,813	0,528	0,004	0,548	0,013	0,63	0,072	96	83
0,7225	0,0377	0,088	0,0013	0,8	11,3577	0,1727	0,0595	0,0033	0,5675	0,0387	0,38	16	122	99	1,23	0,544	0,008	0,552	0,021	0,586	0,119	98	92
0,7575	0,0436	0,0896	0,0013	0,61	11,1616	0,1559	0,0613	0,0041	0,2195	0,0142	0,43	19	119	165	0,717	0,553	0,007	0,573	0,026	0,65	0,15	96	85
0,795	0,0298	0,0962	0,0011	0,7	10,3966	0,1136	0,0599	0,0024	0,197	0,0113	2,09	24	107	208	0,515	0,592	0,006	0,594	0,016	0,602	0,085	99	98
0,8111	0,0492	0,0984	0,0014	0,27	10,1609	0,145	0,0598	0,0042	0,3119	0,0185	0,66	14	82	94	0,871	0,605	0,008	0,603	0,027	0,595	0,145	100	101
0,8568	0,0391	0,1006	0,0012	0,05	9,9364	0,1144	0,0617	0,0032	0,1147	0,0102	0,54	18	44	145	0,304	0,618	0,007	0,628	0,022	0,665	0,114	98	92
0,8648	0,0312	0,1021	0,0011	0,01	9,799	0,1031	0,0615	0,0024	0,3122	0,0355	0,12	26	168	172	0,975	0,626	0,006	0,633	0,017	0,655	0,086	99	95
0,8471	0,0249	0,1021	0,0008	0,55	9,7959	0,0749	0,0602	0,0018	0,3847	0,0213	0,45	26	168	175	0,961	0,627	0,005	0,623	0,014	0,61	0,066	100	102
0,8451	0,0346	0,1029	0,0015	0,3	9,7198	0,1424	0,0596	0,0028	0,2141	0,013	1,12	16	79	116	0,683	0,631	0,009	0,622	0,019	0,588	0,104	101	107
0,8642	0,042	0,103	0,0015	0,01	9,712	0,1403	0,0609	0,0035	0,2414	0,0133	0,46	17	76	122	0,621	0,632	0,009	0,632	0,023	0,635	0,121	99	99
0,877	0,0264	0,1037	0,0008	0,29	9,6393	0,0783	0,0613	0,002	0,166	0,0107	1,64	49	176	366	0,48	0,636	0,005	0,639	0,014	0,65	0,071	99	97
0,8719	0,0232	0,1038	0,001	0,45	9,6336	0,0955	0,0609	0,0018	0,2452	0,0049	0,09	28	119	196	0,607	0,637	0,006	0,637	0,013	0,636	0,066	100	100
0,9224	0,0331	0,1047	0,0014	0,07	9,5527	0,1296	0,0639	0,0027	0,381	0,0273	0,37	16	102	98	1,038	0,642	0,008	0,664	0,018	0,738	0,092	96	86
0,916	0,0331	0,1075	0,0015	0,01	9,3021	0,1321	0,0618	0,0023	0,3699	0,0121	0,31	31	181	196	0,922	0,658	0,009	0,66	0,017	0,667	0,079	99	98
0,9334	0,0448	0,1103	0,0013	0,48	9,0676	0,1063	0,0614	0,0034	0,2999	0,1303	0,87	16	63	115	0,548	0,674	0,008	0,669	0,023	0,653	0,116	100	103
0,9389	0,0305	0,1116	0,001	0,18	8,9622	0,0774	0,061	0,0022	0,1302	0,0073	0,17	31	95	221	0,427	0,682	0,006	0,672	0,016	0,64	0,079	101	106
1,0274	0,1229	0,1126	0,0035	0,28	8,8809	0,279	0,0662	0,0095	0,4533	0,042	1,01	6	42	34	1,209	0,688	0,021	0,718	0,062	0,812	0,3	95	84
1,2273	0,0475	0,1316	0,0016	0,01	7,6012	0,0901	0,0677	0,0029	0,2315	0,0116	0,28	20	66	112	0,595	0,797	0,009	0,813	0,022	0,858	0,091	97	92
1,4186	0,0257	0,1393	0,001	0,99	7,1776	0,051	0,0738	0,0013	0,0327	0,0027	7,75	101	220	532	0,413	0,841	0,006	0,897	0,011	1,037	0,037	93	81
1,9699	0,387	0,17	0,011	0,01	5,8819	0,3804	0,084	0,02	0,6796	0,0732	1,77	4	23	11	2,016	1,012	0,061	1,105	0,135	1,293	0,476	91	78
1,7538	0,0446	0,1732	0,0018	0,66	5,7728	0,0586	0,0734	0,002	0,1203	0,0177	0,27	33	58	151	0,383	1,03	0,01	1,029	0,016	1,026	0,054	100	100
2,0306	0,0539	0,1762	0,0014	0,72	5,676	0,0441	0,0836	0,0024	0,0972	0,0399	0,32	40	33	191	0,175	1,046	0,007	1,126	0,018	1,283	0,057	92	81
1,9509	0,0372	0,1875	0,0013	0,32	5,3329	0,0372	0,0755	0,0015	0,0287	0,0022	0,21	61	20	280	0,073	1,108	0,007	1,099	0,013	1,081	0,039	100	102
1,9812	0,0425	0,1884	0,0016	0,02	5,309	0,0458	0,0763	0,0017	0,4363	0,0385	0,22	48	197	157	1,256	1,112	0,009	1,109	0,014	1,103	0,044	100	100
2,0803	0,1322	0,1885	0,0043	0,24	5,3062	0,122	0,0801	0,0061	0,2861	0,0173	1,5	7	20	28	0,732	1,113	0,023	1,142	0,044	1,198	0,151	97	92
1,984	0,0548	0,1888	0,0019	0,77	5,2977	0,0521	0,0762	0,0023	0,1543	0,0441	0,21	33	40	145	0,279	1,115	0,01	1,11	0,019	1,101	0,061	100	101
1,9994	0,0503	0,1895	0,0015	0,8	5,2777	0,0405	0,0765	0,002	0,1162	0,0074	0,23	25	34	109	0,314	1,119	0,008	1,115	0,017	1,109	0,051	100	100
2,0002	0,0926	0,1895	0,0029	0,49	5,2764	0,0804	0,0765	0,0041	0,2019	0,0096	0,49	15	37	62	0,596	1,119	0,016	1,116	0,031	1,109	0,106	100	100
1,9735	0,0576	0,19	0,0017	0,27	5,2637	0,046	0,0753	0,0025	0,2491	0,0221	0,17	31	84	124	0,68	1,121	0,009	1,107	0,02	1,078	0,066	101	104
2,2019	0,0567	0,1907	0,0014	0,94	5,2434	0,0392	0,0837	0,0023	0,1312	0,0032	2,25	59	173	241	0,717	1,125	0,008	1,182	0,018	1,286	0,055	95	87
2,0666	0,0535	0,1924	0,0017	0,62	5,1979	0,0471	0,0779	0,0022	0,2073	0,0047	0,18	37	79	148	0,533	1,134	0,009	1,138	0,018	1,145	0,055	99	99
2,0766	0,1042	0,1942	0,0032	0,01	5,15	0,085	0,0776	0,0045	0,1451	0,0253	1,78	19	30	77	0,383	1,144	0,017	1,141	0,034	1,136	0,114	100	100
2,037	0,073	0,1947	0,0024	0,01	5,1353	0,0636	0,0759	0,0031	0,2188	0,0436	0,15	25	66	91	0,729	1,147	0,013	1,128	0,024	1,092	0,08	101	105
2,5752	0,193	0,2014	0,0059	0,08	4,9651	0,1465	0,0927	0,0081	0,5637	0,0381	1,1	12	47	33	1,403	1,183	0,032	1,294	0,059	1,482	0,187	91	79
2,1874	0,047	0,2035	0,0023	0,93	4,9151	0,0561	0,078	0,0015	0,098	0,0074	0,12	96	107	378	0,283	1,194	0,012	1,177	0,015	1,146	0,038	101	104
2,2058	0,0516	0,2043	0,0015	0,65	4,8947	0,036	0,0783	0,002	0,2002	0,0069	0,14	46	103	174	0,593	1,198	0,008	1,183	0,016	1,155	0,052	101	103
2,2483	0,0562	0,205	0,0015	0,44	4,8783	0,0348	0,0795	0,0021	0,1205	0,0024	0,07	85	118	334	0,352	1,202	0,008	1,196	0,018	1,186	0,053	100	101
2,2565	0,0471	0,2052	0,0018	0,82	4,8734	0,0423	0,0798	0,0017	0,1843	0,0277	0,09	53	81	200	0,403	1,203	0,009	1,199	0,015	1,191	0,044	100	101
2,3274	0,0524	0,2057	0,002	0,36	4,8614	0,0465	0,0821	0,002	0,2576	0,0164	0,45	32	97	111	0,879	1,206	0,011	1,221	0,016	1,247	0,048	98	96
2,3435	0,082	0,2059	0,0027	0,01	4,8577	0,063	0,0826	0,0033	0,287	0,0078	0,44	19	59	64	0,912	1,207	0,014	1,226	0,025	1,259	0,081	98	95
2,298	0,0573	0,2069	0,0026	0,56	4,833	0,0602	0,0806	0,0019	0,1426	0,0215	0,45	51	92	185	0,494	1,212	0,014	1,212	0,018	1,21	0,048	100	100
2,696	0,2701	0,2077	0,0069	0,17	4,8154	0,1595	0,0942	0,0109	0,2118	0,0292	2,88	4	9	14	0,639	1,216	0,037	1,327	0,077	1,511	0,241	91	80
2,3392	0,0624	0,2078	0,002	0,59	4,8124	0,0459	0,0816	0,0023	0,1191	0,0052	0,16	32	43	126	0,343	1,217	0,011	1,224	0,019	1,237	0,054	99	98
2,3174	0,0672	0,2097	0,0022	0,12	4,7697	0,0502	0,0802	0,0026	0,1378	0,0076	0,26	24	35	93	0,376	1,227	0,012	1,218	0,021	1,201	0,065	100	102

## 16LS55 CONTINUACIÓN

2,3375	0,0532	0,2114	0,0018	0,52	4,7303	0,0404	0,0802	0,002	0,1428	0,0203	0,29	51	114	180	0,633	1,236	0,01	1,224	0,016	1,202	0,049	101	102
2,3911	0,098	0,2128	0,0038	0,67	4,6982	0,0843	0,0815	0,004	0,4457	0,055	0,47	14	51	45	1,141	1,244	0,02	1,24	0,029	1,233	0,095	100	100
2,3804	0,0492	0,2136	0,0024	0,97	4,6814	0,0519	0,0808	0,0016	0,1552	0,028	3,72	82	151	291	0,519	1,248	0,013	1,237	0,015	1,217	0,039	100	102
2,4112	0,042	0,2138	0,0014	1	4,6779	0,0316	0,0818	0,0018	0,2473	0,046	4,55	66	151	225	0,67	1,249	0,008	1,246	0,013	1,241	0,044	100	100
2,4387	0,0513	0,2148	0,0025	0,78	4,6549	0,0532	0,0823	0,0015	0,011	0,0032	0,23	76	10	305	0,034	1,254	0,013	1,254	0,015	1,253	0,037	100	100
2,4168	0,0419	0,2149	0,0013	0,84	4,6529	0,0274	0,0816	0,0014	0,1626	0,0037	0,2	60	97	216	0,447	1,255	0,007	1,248	0,013	1,235	0,034	100	101
2,4039	0,0448	0,2153	0,0013	0,59	4,6449	0,029	0,081	0,0015	0,1375	0,0086	0,05	44	62	155	0,401	1,257	0,007	1,244	0,013	1,221	0,036	101	102
2,4598	0,076	0,2153	0,0024	0,07	4,6437	0,0525	0,0828	0,0028	0,1025	0,0135	0,51	23	24	85	0,28	1,257	0,013	1,26	0,022	1,266	0,068	99	99
2,4001	0,0811	0,2163	0,0023	0,59	4,6236	0,0486	0,0805	0,0031	0,1559	0,0067	0,29	27	47	98	0,48	1,262	0,012	1,243	0,024	1,209	0,075	101	104
2,4611	0,0429	0,2164	0,0015	0,96	4,6219	0,0329	0,0825	0,0015	0,1559	0,0031	0,23	77	126	284	0,442	1,263	0,008	1,261	0,013	1,257	0,035	100	100
2,4718	0,0554	0,2165	0,0016	0,01	4,6182	0,0339	0,0828	0,0019	0,1285	0,0119	0,22	33	50	121	0,411	1,264	0,008	1,264	0,016	1,264	0,045	99	99
2,4911	0,0615	0,218	0,0028	0,46	4,5882	0,0582	0,0829	0,0019	0,0841	0,0096	0,27	65	51	246	0,205	1,271	0,015	1,269	0,018	1,267	0,045	100	100
2,4907	0,0728	0,2202	0,0019	0,79	4,5423	0,0399	0,0821	0,0027	0,4744	0,0496	0,09	48	217	133	1,635	1,283	0,01	1,269	0,021	1,247	0,064	101	102
2,5472	0,0394	0,2209	0,0012	0,96	4,527	0,0247	0,0836	0,0012	0,1978	0,0205	0,04	106	155	376	0,412	1,287	0,006	1,286	0,011	1,284	0,029	100	100
2,728	0,1434	0,2321	0,0043	0,53	4,3091	0,0807	0,0853	0,0053	0,2558	0,0127	0,54	10	27	35	0,776	1,345	0,023	1,336	0,04	1,321	0,121	100	101
2,7589	0,0574	0,2333	0,0016	0,7	4,2868	0,0296	0,0858	0,0018	0,156	0,0048	0,33	36	60	121	0,494	1,352	0,008	1,344	0,015	1,333	0,041	100	101
2,8516	0,0892	0,2382	0,0035	0,56	4,1984	0,0613	0,0868	0,0027	0,1348	0,0045	0,11	25	31	82	0,382	1,377	0,018	1,369	0,024	1,357	0,061	100	101
2,8549	0,0512	0,2389	0,0018	0,96	4,1865	0,031	0,0867	0,0016	0,1819	0,012	0,65	62	92	204	0,449	1,381	0,009	1,37	0,013	1,353	0,035	100	102
2,9	0,0677	0,2406	0,003	0,79	4,1554	0,0511	0,0874	0,0019	0,1432	0,0033	0,15	58	71	182	0,393	1,39	0,015	1,382	0,018	1,369	0,041	100	101
2,8399	0,0559	0,2423	0,0016	0,78	4,1276	0,0266	0,085	0,0018	0,0983	0,002	0,16	80	85	279	0,305	1,398	0,008	1,366	0,015	1,316	0,042	102	106
2,9188	0,0643	0,2426	0,0029	0,96	4,1216	0,0489	0,0872	0,0017	0,1263	0,0026	0,15	78	88	249	0,354	1,4	0,015	1,387	0,017	1,366	0,038	100	102
2,9607	0,0821	0,243	0,0022	0,73	4,1158	0,0371	0,0884	0,0026	0,1643	0,0144	0,86	17	28	55	0,511	1,402	0,011	1,398	0,021	1,391	0,057	100	100
3,1172	0,0515	0,2507	0,0017	0,37	3,9882	0,0276	0,0902	0,0016	0,1771	0,0086	0,26	76	133	234	0,569	1,442	0,009	1,437	0,013	1,429	0,034	100	100
3,176	0,0701	0,254	0,003	0,88	3,9376	0,0467	0,0907	0,0018	0,1419	0,0024	0,19	60	73	180	0,406	1,459	0,015	1,451	0,017	1,44	0,038	100	101
3,3431	0,0601	0,2608	0,0018	0,75	3,8341	0,0269	0,093	0,0017	0,0699	0,0031	0,08	70	46	225	0,204	1,494	0,009	1,491	0,014	1,487	0,034	100	100
3,2835	0,0882	0,2627	0,0027	0,93	3,8062	0,0393	0,0906	0,0027	0,136	0,0166	0,24	32	35	98	0,355	1,504	0,014	1,477	0,021	1,439	0,056	101	104
3,3226	0,08	0,2627	0,0024	0,59	3,8066	0,0341	0,0917	0,0024	0,213	0,004	0,13	49	85	140	0,604	1,504	0,012	1,486	0,019	1,462	0,049	101	102
3,5779	0,0529	0,263	0,0014	1	3,802	0,0207	0,0987	0,0014	0,0723	0,0243	0,07	81	18	327	0,054	1,505	0,007	1,545	0,012	1,599	0,028	97	94
4,0994	0,0889	0,2713	0,0017	0,99	3,6853	0,0229	0,1096	0,0025	0,0653	0,0013	0,18	124	97	425	0,229	1,548	0,009	1,654	0,018	1,792	0,043	93	86
3,9375	0,2995	0,2731	0,0075	0,71	3,6619	0,1007	0,1046	0,0098	0,4311	0,05	1,42	4	8	10	0,759	1,556	0,038	1,621	0,061	1,707	0,169	95	91
4,391	0,065	0,3044	0,0017	0,72	3,2855	0,018	0,1046	0,0015	0,1601	0,0022	0,05	116	126	287	0,439	1,713	0,008	1,711	0,012	1,708	0,026	100	100
4,4382	0,0959	0,308	0,0025	0,96	3,2464	0,0267	0,1045	0,0023	0,1964	0,0213	0,04	64	83	159	0,519	1,731	0,012	1,72	0,018	1,706	0,041	100	101
4,7943	0,0936	0,3177	0,0028	0,69	3,1478	0,0279	0,1095	0,0022	0,3364	0,0269	0,17	61	147	117	1,26	1,778	0,014	1,784	0,016	1,79	0,037	99	99
4,795	0,0768	0,3222	0,0023	0,91	3,1036	0,022	0,1079	0,0018	0,2881	0,052	0,26	66	109	152	0,715	1,801	0,011	1,784	0,014	1,765	0,031	100	102
5,4666	0,1294	0,3325	0,0024	0,89	3,0078	0,0216	0,1193	0,003	0,0464	0,005	0,09	59	22	140	0,159	1,85	0,011	1,895	0,02	1,945	0,045	97	95
5,2436	0,1376	0,3336	0,0047	0,83	2,9975	0,0425	0,114	0,0028	0,2839	0,0054	0,11	41	67	82	0,816	1,856	0,023	1,86	0,022	1,864	0,045	99	99
5,5279	0,0814	0,3511	0,0019	0,87	2,848	0,0158	0,1142	0,0016	0,3649	0,0201	0,04	124	279	230	1,211	1,94	0,009	1,905	0,013	1,867	0,026	101	103
6,0222	0,1322	0,3642	0,0025	0,99	2,7458	0,0187	0,1199	0,0032	0,1796	0,0131	0,67	89	141	195	0,726	2,002	0,012	1,979	0,021	1,955	0,047	101	102
6,7805	0,1685	0,3834	0,0031	0,95	2,6081	0,0208	0,1283	0,0034	0,0779	0,0065	0,11	58	27	119	0,225	2,092	0,014	2,083	0,022	2,074	0,047	100	100
6,9024	0,1864	0,3851	0,0037	0,17	2,597	0,025	0,13	0,004	0,2855	0,0406	0,28	21	31	38	0,799	2,1	0,017	2,099	0,024	2,098	0,054	100	100
7,3107	0,1583	0,3955	0,0041	0,6	2,5284	0,0261	0,1341	0,0032	0,1324	0,007	0,97	37	28	71	0,399	2,148	0,019	2,15	0,019	2,152	0,04	99	99
8,3209	0,1388	0,4011	0,0031	0,98	2,4934	0,0191	0,1505	0,0027	0,1171	0,0042	0,55	54	37	99	0,374	2,174	0,014	2,267	0,016	2,351	0,031	95	92
7,7954	0,1824	0,4093	0,0042	0,42	2,4429	0,0251	0,1381	0,0035	0,1437	0,005	0,43	34	26	63	0,42	2,212	0,019	2,208	0,021	2,204	0,045	100	100
7,7324	0,1266	0,4129	0,0029	0,54	2,422	0,0172	0,1358	0,0022	0,2257	0,0047	0,09	96	118	166	0,712	2,228	0,013	2,2	0,015	2,175	0,029	101	102
8,9652	0,2328	0,4317	0,0046	0,76	2,3163	0,0247	0,1506	0,0044	0,0696	0,027	0,29	12	9	21	0,45	2,313	0,021	2,334	0,024	2,353	0,051	99	98
9,5739	0,1371	0,4503	0,0025	0,32	2,2209	0,0124	0,1542	0,0021	0,016	0,0025	0,08	87	6	159	0,037	2,396	0,011	2,395	0,013	2,393	0,023	100	100
12,6675	0,2054	0,5195	0,0038	0,13	1,925	0,0141	0,1769	0,0029	0,162	0,0241	0,09	104	82	145	0,561	2,697	0,016	2,655	0,015	2,624	0,026	101	102
13,376	0,2517	0,5286	0,004	0,14	1,8916	0,0144	0,1835	0,0035	0,2133	0,0035	0,1	89	76	118	0,644	2,736	0,017	2,707	0,018	2,685	0,032	101	101
14,2496	0,2851	0,5455	0,0052	0,99	1,8333	0,0174	0,1895	0,0041	0,1891	0,0171	1,19	66	71	153	0,462	2,806	0,022	2,766	0,02	2,738	0,037	101	102

16T06

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(t)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3040_1.1	0.2826	0.0001	0.003421	0.000007	0.13299	0.00003	1.4668	0.0004	-6	4	0.28256	5	4	610	6	3.1	4872	1100	200	13	1
SPL_3040_9.1	0.28228	0.00008	0.0024	0.0002	0.1	0.01	1.467	0.0004	-17	3	0.28225	-5	3	566	6	4.29	3531	1700	200	10.7	0.8
SPL_3040_10.1	0.28224	0.00008	0.0017	0.0002	0.05742	0.00002	1.4669	0.0004	-18	3	0.28223	-7	3	518	5	3.37	2112	1800	200	10.5	0.8
SPL_3040_12.1	0.28217	0.00008	0.001182	0.000004	0.05	0.003	1.467	0.0004	-21	3	0.28214	5	3	1260	10	3.58	1838	1600	200	11	0.8
SPL_3040_16.1	0.28243	0.00008	0.001617	0.000005	0.055	0.006	1.4669	0.0004	-12	3	0.28241	0	3	593	6	4.1	2018	1400	200	11.8	0.8
SPL_3040_17.1	0.28247	0.00009	0.0028	0.0001	0.12033	0.00003	1.467	0.0004	-10	3	0.28244	0	3	557	6	3.64	4396	1400	200	11.9	0.9
SPL_3040_20.1	0.2824	0.00008	0.000831	0.000007	0.0324	0.0009	1.467	0.0004	-13	3	0.2824	-3	3	451	5	3.72	1188	1500	200	11.5	0.8
SPL_3040_23.1	0.2824	0.00008	0.00294	0.00005	0.117	0.004	1.467	0.0004	-13	3	0.28237	-1	3	562	6	4.18	4271	1500	200	11.5	0.8
SPL_3040_26.1	0.2824	0.00008	0.0009	0.0003	0.027	0.007	1.4668	0.0004	-13	3	0.28238	10	3	1110	10	4.29	999	1200	200	12.3	0.9
SPL_3040_29.1	0.2825	0.0001	0.00364	0.00003	0.12	0.006	1.4667	0.0005	-9	4	0.28246	3	4	653	7	1.82	4400	1300	200	12	1
SPL_3040_37.1	0.28254	0.00009	0.003	0.0006	0.097	0.006	1.4669	0.0005	-8	3	0.28251	1	3	486	5	2.9	3581	1300	200	12.3	0.9
SPL_3040_50.1	0.28231	0.00008	0.003434	0.000007	0.1376	0.0008	1.4671	0.0004	-16	3	0.28227	-5	3	539	5	3.89	5037	1700	200	10.8	0.8

16T56

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(0)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3029_3.1	0.2826	0.00008	0.0044	0.0003	0.15277	0.00003	1.467	0.0004	-6	3	0.28255	6	3	646	6	2.56	5615	1100	200	12.7	0.8
SPL_3029_15.1	0.28241	0.00009	0.0029	0.0004	0.086	0.009	1.4668	0.0004	-12	3	0.28238	1	3	713	7	2.41	3166	1400	200	11.7	0.9
SPL_3029_17.1	0.28249	0.00009	0.002358	0.000006	0.067	0.003	1.467	0.0004	-10	3	0.28247	0	3	444	4	3.02	2489	1400	200	12	0.9
SPL_3029_20.1	0.28242	0.00009	0.002198	0.000006	0.06844	0.00002	1.4668	0.0004	-12	3	0.2824	0	3	581	6	2.76	2523	1400	200	11.7	0.8
SPL_3029_21.1	0.28254	0.00009	0.0039	0.0005	0.13	0.03	1.4668	0.0004	-8	4	0.2825	1	3	502	5	3.4	4803	1300	200	12	1
SPL_3029_22.1	0.28234	0.00009	0.001739	0.000007	0.05588	0.00002	1.4669	0.0004	-15	3	0.2823	12	3	1320	10	2.23	2058	1300	200	12.1	0.8
SPL_3029_23.1	0.28208	0.00009	0.0019	0.0005	0.058	0.006	1.467	0.0004	-24	3	0.28202	7	2	1520	20	3.1	2123	1800	200	10.6	0.9
SPL_3029_24.1	0.28247	0.00008	0.0017	0.000005	0.05739	0.00002	1.4669	0.0004	-10	3	0.28244	9	3	970	10	3.14	2110	1200	200	12.5	0.8
SPL_3029_26.1	0.28246	0.00009	0.0016	0.0001	0.042	0.002	1.4668	0.0004	-11	3	0.28244	0	3	490	5	2.51	1573	1400	200	11.9	0.9
SPL_3029_29.1	0.28235	0.00009	0.001	0.0001	0.03435	0.00001	1.467	0.0004	-15	3	0.28234	-5	3	460	5	3.72	1262	1600	200	11.1	0.8
SPL_3029_34.1	0.28257	0.00009	0.0022	0.0003	0.06	0.005	1.4669	0.0005	-7	3	0.28255	1	3	440	4	2.48	2232	1200	200	12.5	0.9
SPL_3029_40.1	0.28172	0.00009	0.00113	0.00008	0.0396	0.0004	1.4669	0.0004	-37	3	0.28168	2	3	1820	20	3.21	1453	2300	200	8.9	0.8
SPL_3029_44.1	0.28237	0.00009	0.00252	0.00007	0.076	0.002	1.4669	0.0004	-14	3	0.28234	-4	3	486	5	2.04	2790	1600	200	11.2	0.8
SPL_3029_59.1	0.28248	0.00008	0.0013	0.0001	0.04139	0.00001	1.4669	0.0004	-10	3	0.28247	0	3	481	5	3.43	1525	1300	200	12	0.8
SPL_3029_66.1	0.2824	0.0001	0.0026	0.0006	0.074	0.006	1.4667	0.0006	-11	4	0.28242	-1	4	481	5	3.2	2727	1400	200	12	1
SPL_3029_68.1	0.28261	0.00008	0.00066	0.00006	0.02222	0.00001	1.4668	0.0004	-6	3	0.2826	3	3	444	4	3.24	817	1100	200	12.8	0.8
SPL_3029_73.1	0.2824	0.00008	0.00239	0.00005	0.086	0.0006	1.4669	0.0004	-13	3	0.28236	6	3	970	10	3.76	2442	1300	200	12	0.8
SPL_3029_81.1	0.282	0.00009	0.0024	0.0002	0.074	0.005	1.4669	0.0004	-27	3	0.28194	1	3	1400	10	1.22	2736	2000	200	9.9	0.9
SPL_3029_85.1	0.28249	0.00009	0.000864	0.000006	0.02625	0.00001	1.4668	0.0004	-10	3	0.28248	13	3	1080	10	3.1	969	1100	200	12.9	0.9
SPL_3029_86.1	0.28215	0.00008	0.0014	0.0001	0.046	0.009	1.467	0.0004	-22	3	0.28211	8	3	1400	10	3.62	1708	1600	200	11	0.9
SPL_3029_87.1	0.28241	0.00008	0.0018	0.0002	0.062	0.001	1.467	0.0004	-13	3	0.28239	-3	3	475	5	3.69	2265	1500	200	11.5	0.8
SPL_3029_88.1	0.28237	0.00009	0.0016	0.0002	0.05	0.01	1.4668	0.0004	-14	3	0.28234	6	3	1060	10	1.58	1795	1300	200	12	0.9
SPL_3029_93.1	0.2826	0.00009	0.002	0.0006	0.055	0.008	1.4668	0.0004	-6	3	0.28258	3	3	471	5	2.62	2041	1100	200	13	1
SPL_3029_95.1	0.2818	0.0001	0.00171	0.00002	0.05014	0.00002	1.4668	0.0005	-35	4	0.28172	4	4	1870	20	2.53	1852	2200	200	9	1

17T04

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(0)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3035_2.1	0,28239	0,00008	0,00213	0,00005	0,1	0,01	1,467	0,0004	-13	3	0,28237	-3	3	473	5	4,41	3651	1500	200	11,4	0,8
SPL_3035_4.1	0,28252	0,00008	0,00169	0,00001	0,08	0,01	1,467	0,0004	-9	3	0,2825	1	3	519	5	3,82	2778	1300	200	12,3	0,8
SPL_3035_5.1	0,28227	0,00009	0,00058	0,00001	0,028	0,001	1,4671	0,0004	-17	3	0,28226	5	3	1080	10	4,28	1029	1500	200	11,5	0,8
SPL_3035_1_10.1	0,28207	0,00008	0,00078	0,00002	0,02481	0,00001	1,467	0,0004	-24	3	0,28205	1	3	1230	10	4,05	914	1800	200	10,4	0,8
SPL_3035_1_11.1	0,28243	0,00008	0,00142	0,00005	0,0587	0,0008	1,467	0,0004	-12	3	0,28242	-1	3	486	5	3,5	2149	1400	200	11,7	0,8
SPL_3035_1_23.1	0,28245	0,00008	0,001476	0,000005	0,05483	0,00001	1,4669	0,0004	-11	3	0,28243	0	3	517	5	4,08	2011	1400	200	11,8	0,8
SPL_3035_1_29.1	0,2825	0,00009	0,00112	0,00006	0,04807	0,00001	1,4671	0,0004	-9	3	0,28249	1	3	514	5	3,53	1757	1300	200	12,2	0,9
SPL_3035_1_30.1	0,28241	0,00009	0,0027	0,0002	0,13677	0,00003	1,4671	0,0004	-13	3	0,28238	-2	3	500	5	4,27	4983	1500	200	11,5	0,9
SPL_3035_1_31.1	0,28239	0,00008	0,001218	0,000005	0,049	0,002	1,4669	0,0004	-13	3	0,28237	-1	3	553	6	4,38	1782	1500	200	11,5	0,8
SPL_3035_1_42.1	0,28172	0,00008	0,001113	0,000007	0,052	0,003	1,467	0,0004	-37	3	0,28168	2	3	1820	20	3,36	1893	2300	200	8,9	0,8
SPL_3035_1_44.1	0,28171	0,00008	0,00068	0,00004	0,03039	0,00001	1,467	0,0004	-37	3	0,28168	2	2	1840	20	4,14	1110	2300	200	8,9	0,8
SPL_3035_1_49.1	0,28234	0,00008	0,00198	0,00002	0,08	0,006	1,4671	0,0004	-15	3	0,28229	11	2	1280	10	4,46	2917	1300	200	12	0,8
SPL_3035_1_50.1	0,2822	0,00008	0,001526	0,000004	0,05742	0,00001	1,467	0,0004	-20	3	0,28216	7	3	1290	10	5,08	2105	1600	200	11,2	0,8
SPL_3035_1_52.1	0,28185	0,00008	0,001242	0,000004	0,06	0,005	1,4669	0,0004	-32	3	0,28181	3	2	1650	20	4,81	2176	2100	200	9,5	0,7
SPL_3035_1_64.1	0,2825	0,00008	0,00167	0,00001	0,069	0,004	1,467	0,0004	-9	3	0,28248	0	3	496	5	3,67	2508	1300	200	12,1	0,8
SPL_3035_1_68.1	0,28226	0,00008	0,00091	0,00009	0,03811	0,00001	1,4671	0,0004	-18	3	0,28224	-4	3	650	7	4,3	1394	1700	200	10,8	0,8
SPL_3035_1_69.1	0,28226	0,00008	0,0016	0,0005	0,08	0,03	1,467	0,0004	-18	3	0,28223	4	2	1080	10	3,05	2909	1600	200	11,3	0,9
SPL_3035_1_70.1	0,28247	0,00008	0,0023	0,0001	0,11	0,02	1,4671	0,0004	-10	3	0,28245	0	3	496	5	3,05	3925	1400	200	11,9	0,8
SPL_3035_1_77.1	0,28186	0,00008	0,000608	0,000006	0,029	0,002	1,467	0,0004	-32	3	0,28185	-1	3	1410	10	3,8	1080	2200	200	9,3	0,8
SPL_3035_1_83.1	0,2822	0,00008	0,0024	0,0005	0,1	0,03	1,467	0,0004	-20	3	0,28214	6	2	1270	10	4,16	3619	1600	200	11	0,9
SPL_3035_1_84.1	0,28235	0,00008	0,001549	0,000005	0,063	0,002	1,467	0,0004	-15	3	0,28233	-4	3	477	5	4,22	2308	1600	200	11,1	0,8
SPL_3035_1_88.1	0,28241	0,00008	0,001264	0,000005	0,05744	0,00002	1,467	0,0004	-13	3	0,28239	-1	3	528	5	3,92	2097	1500	200	11,6	0,8
SPL_3035_1_91.1	0,28238	0,00008	0,0006	0,00002	0,02514	0,00001	1,467	0,0004	-14	3	0,28236	10	3	1120	10	3,98	919	1300	200	12,2	0,8
SPL_3035_1_92.1	0,28234	0,00008	0,00102	0,00002	0,044	0,007	1,467	0,0004	-15	3	0,28233	-3	3	529	5	4,18	1624	1600	200	11,2	0,9
SPL_3035_1_95.1	0,2825	0,00008	0,0018	0,0004	0,06712	0,00002	1,4669	0,0004	-9	3	0,28247	9	2	897	9	3,42	2460	1200	200	12,6	0,9

16T40

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(0)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3038_4.1	0,28236	0,00009	0,0016	0,0002	0,06117	0,00002	1,4668	0,0004	-14	3	0,28232	11	3	1210	10	3,01	2244	1300	200	12,1	0,9
SPL_3038_5.1	0,2823	0,00009	0,002312	0,000007	0,08525	0,00002	1,4669	0,0004	-16	3	0,28226	3	3	950	10	3,32	3127	1500	200	11,3	0,9
SPL_3038_8.1	0,28227	0,00006	0,00055	0,00002	0,025	0,003	1,467	0,0004	-18	3	0,28226	-1	3	745	7	3,26	904	1600	200	11	0,6
SPL_3038_9.1	0,28231	0,00009	0,0017	0,0003	0,06335	0,00002	1,467	0,0004	-16	4	0,28227	10	3	1290	10	2,57	2323	1400	200	12	1
SPL_3038_12.1	0,28225	0,00009	0,0015	0,0001	0,05	0,01	1,467	0,0004	-18	3	0,28222	7	3	1230	10	2,03	1756	1500	200	11,5	0,9
SPL_3038_16.1	0,2825	0,00008	0,00215	0,00007	0,091	0,008	1,4669	0,0004	-9	3	0,28248	-1	3	397	4	3,21	3316	1300	200	12	0,8
SPL_3038_17.1	0,28183	0,00006	0,00133	0,00006	0,06006	0,00002	1,467	0,0004	-33	3	0,28181	-9	3	1090	10	3,52	2192	2400	200	8,6	0,7
SPL_3038_18.1	0,28217	0,00006	0,001334	0,000007	0,062	0,007	1,4671	0,0004	-21	3	0,28213	7	3	1340	10	3,05	2277	1600	200	11,1	0,8
SPL_3038_19.1	0,28232	0,00006	0,0021	0,0002	0,091	0,006	1,4669	0,0004	-16	3	0,2823	-4	3	544	5	4,24	3341	1600	200	11	0,8
SPL_3038_20.1	0,28233	0,00006	0,0012	0,0001	0,047	0,002	1,4669	0,0004	-15	3	0,28231	-3	3	598	6	3,52	1716	1600	200	11,2	0,8
SPL_3038_21.1	0,2825	0,0001	0,00117	0,00007	0,0477	0,0005	1,4667	0,0005	-11	4	0,28245	0	4	486	5	3,6	1747	1400	200	11,9	0,9

16T45

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(0)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3033_4.1	0.28244	0.00008	0.001256	0.000004	0.0414	0.0005	1.467	0.0004	-11	3	0.28243	0	3	578	6	3.26	1523	1400	200	11.9	0.8
SPL_3033_5.1	0.28239	0.00008	0.00096	0.00005	0.026	0.003	1.4671	0.0004	-13	3	0.28237	12	3	1180	10	2.45	942	1200	200	12.4	0.8
SPL_3033_8.1	0.28232	0.00008	0.00068	0.00004	0.031	0.004	1.4669	0.0004	-16	3	0.28231	9	3	1170	10	1.8	1125	1400	200	11.9	0.8
SPL_3033_9.1	0.28251	0.00009	0.0015	0.0001	0.04411	0.00001	1.467	0.0004	-9	3	0.28248	13	3	1080	10	2.18	1629	1100	200	12.9	0.9
SPL_3033_10.1	0.28231	0.00008	0.001439	0.000005	0.05	0.005	1.4671	0.0004	-16	3	0.2823	-4	3	546	5	2.63	1823	1600	200	11	0.8
SPL_3033_12.1	0.2824	0.0001	0.0026	0.0003	0.1	0.02	1.4671	0.0004	-14	4	0.28233	-4	3	513	5	2.54	3503	1600	200	11	1
SPL_3033_14.1	0.28221	0.00008	0.001652	0.000005	0.068	0.002	1.4671	0.0004	-20	3	0.28216	11	2	1470	10	3.46	2472	1500	200	11.4	0.8
SPL_3033_16.1	0.28242	0.00009	0.00136	0.00006	0.056	0.001	1.467	0.0004	-12	3	0.28241	0	3	551	6	2.31	2043	1400	200	11.7	0.8
SPL_3033_18.1	0.2823	0.00008	0.0018	0.0001	0.09	0.01	1.467	0.0004	-16	3	0.28229	-6	3	499	5	2.47	3106	1700	200	10.9	0.8
SPL_3033_35.1	0.2822	0.0001	0.00264	0.00008	0.101	0.007	1.4669	0.0004	-20	4	0.28212	9	3	1460	10	2.09	3694	1600	200	11	1
SPL_3033_36.1	0.28246	0.00008	0.00181	0.00003	0.061	0.006	1.4671	0.0004	-11	3	0.28245	0	3	519	5	3.03	2245	1400	200	11.9	0.8
SPL_3033_38.1	0.28168	0.00008	0.001662	0.000007	0.073	0.005	1.467	0.0004	-36	3	0.28162	2	2	1920	20	2.72	2683	2400	200	8.6	0.8
SPL_3033_46.1	0.28159	0.00009	0.00051	0.00004	0.02	0.001	1.467	0.0004	-41	4	0.28159	-28	4	609	6	2.74	737	3000	200	6.6	0.9
SPL_3033_48.1	0.28177	0.00008	0.00187	0.00007	0.08	0.01	1.467	0.0004	-35	3	0.28172	-9	3	1250	10	4.64	2829	2500	200	8.3	0.7
SPL_3033_57.1	0.28238	0.00009	0.0013	0.0004	0.04	0.01	1.4671	0.0004	-14	3	0.28236	-3	3	475	5	2.82	1478	1500	200	11.3	0.9
SPL_3033_58.1	0.28226	0.00009	0.0018	0.0001	0.09	0.01	1.467	0.0004	-18	3	0.28224	-3	3	697	7	2.04	3183	1700	200	10.8	0.9
SPL_3033_60.1	0.28254	0.00008	0.001766	0.000008	0.07831	0.00002	1.4668	0.0004	-8	3	0.28252	2	3	501	5	2.74	2860	1200	200	12.4	0.8
SPL_3033_64.1	0.28236	0.00008	0.00077	0.00008	0.0366	0.0005	1.4669	0.0004	-14	3	0.28235	3	3	848	8	2.89	1336	1400	200	11.7	0.8
SPL_3033_78.1	0.28241	0.00008	0.0016	0.0002	0.067	0.003	1.467	0.0004	-12	3	0.2824	-1	3	526	5	3.21	2447	1500	200	11.6	0.8
SPL_3033_75.1	0.28219	0.00008	0.00222	0.00005	0.0898	0.0009	1.467	0.0004	-20	3	0.28214	3	3	1160	10	2.94	3288	1700	200	10.9	0.8
SPL_3033_82.1	0.28244	0.00008	0.00125	0.00009	0.046	0.003	1.467	0.0004	-11	3	0.28243	-1	3	474	5	3.63	1698	1400	200	11.7	0.8

16T64

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(0)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3031_1.1	0,28222	0,00008	0,0005	0,000006	0,023	0,002	1,4669	0,0004	-19	3	0,28221	4	3	1070	10	1,96	825	1600	200	11,2	0,8
SPL_3031_5.1	0,28191	0,00009	0,00125	0,00007	0,05618	0,00002	1,4671	0,0004	-30	3	0,2819	-17	3	621	6	1,76	2051	2400	200	8,6	0,9
SPL_3031_8.1	0,28213	0,00008	0,001	0,0003	0,04	0,01	1,467	0,0004	-22	3	0,2821	4	2	1260	10	2,58	1599	1700	200	10,8	0,8
SPL_3031_10.1	0,28235	0,00008	0,00122	0,00005	0,04913	0,00001	1,467	0,0004	-15	3	0,28234	-2	3	592	6	3,11	1798	1600	200	11,3	0,8
SPL_3031_11.1	0,28242	0,00008	0,0022	0,00002	0,09332	0,00002	1,467	0,0004	-12	3	0,2824	-1	3	515	5	2,75	3411	1500	200	11,6	0,8
SPL_3031_17.1	0,28246	0,00008	0,0042	0,0002	0,16	0,02	1,4671	0,0004	-11	3	0,28242	-1	3	492	5	2,8	5924	1400	200	11,7	0,8
SPL_3031_18.1	0,28244	0,00008	0,00096	0,00002	0,03803	0,00002	1,4671	0,0004	-11	3	0,28243	-1	3	462	5	2,54	1393	1400	200	11,7	0,8
SPL_3031_24.1	0,28214	0,00008	0,00113	0,00006	0,049	0,004	1,467	0,0004	-22	3	0,28211	9	3	1470	10	2,66	1786	1600	200	11,1	0,8
SPL_3031_26.1	0,28228	0,00008	0,0008	0,0003	0,04	0,02	1,467	0,0004	-17	3	0,28226	7	2	1150	10	2,47	1381	1500	200	11,6	0,8
SPL_3031_27.1	0,28236	0,00008	0,0012	0,0002	0,055	0,004	1,467	0,0004	-14	3	0,28234	9	3	1100	10	2,11	2008	1300	200	12	0,9
SPL_3031_33.1	0,28214	0,00008	0,000837	0,000005	0,037	0,002	1,4669	0,0004	-22	3	0,28212	3	3	1200	10	2,36	1360	1700	200	10,8	0,8
SPL_3031_36.1	0,28246	0,00009	0,00118	0,00004	0,042	0,006	1,467	0,0004	-11	3	0,28245	0	3	563	6	2,4	1531	1300	200	12	0,9
SPL_3031_40.1	0,28227	0,00009	0,0011	0,0002	0,045	0,005	1,467	0,0004	-17	3	0,28226	-7	3	491	5	2,4	1635	1700	200	10,7	0,9
SPL_3031_41.1	0,28259	0,00008	0,00129	0,00007	0,055	0,006	1,4671	0,0004	-8	3	0,28258	3	3	491	5	2,46	1998	1100	200	12,7	0,8
SPL_3031_42.1	0,28194	0,00008	0,000465	0,000009	0,02	0,001	1,4671	0,0004	-29	3	0,28194	-7	3	1000	10	1,78	717	2200	200	9,3	0,7
SPL_3031_47.1	0,28226	0,00009	0,00065	0,00004	0,023	0,001	1,4671	0,0004	-16	3	0,28224	5	3	1080	10	2,21	859	1500	200	11,4	0,9
SPL_3031_62.1	0,28242	0,00009	0,00081	0,00004	0,036	0,005	1,4673	0,0004	-12	3	0,2824	10	3	1050	10	2,12	1311	1200	200	12,4	0,9
SPL_3031_68.1	0,28221	0,00008	0,0013	0,000005	0,045	0,002	1,4669	0,0004	-20	3	0,28218	7	3	1270	10	2,72	1638	1600	200	11,3	0,8
SPL_3031_69.1	0,28214	0,00008	0,0009	0,0002	0,039	0,006	1,467	0,0004	-22	3	0,28213	-7	3	684	7	2,62	1439	1900	200	10,1	0,8
SPL_3031_73.1	0,28238	0,00008	0,0011	0,0001	0,039	0,005	1,467	0,0004	-14	3	0,28237	-2	3	529	5	2,97	1428	1500	200	11,4	0,8
SPL_3031_76.1	0,28246	0,00009	0,001534	0,000006	0,075	0,003	1,4672	0,0004	-11	3	0,28244	1	3	600	6	2,32	2721	1300	200	12	0,8
SPL_3031_77.1	0,28241	0,00008	0,002317	0,000005	0,084	0,009	1,467	0,0004	-12	3	0,28239	-2	3	498	5	2,67	3084	1500	200	11,5	0,8
SPL_3031_83.1	0,28242	0,00008	0,00139	0,00001	0,06046	0,00002	1,4671	0,0004	-12	3	0,28241	-1	3	510	5	2,64	2209	1500	200	11,6	0,8
SPL_3031_84.1	0,2819	0,0001	0,00485	0,00002	0,13574	0,00004	1,4671	0,0004	-32	4	0,28168	3	3	1870	20	1,04	5021	2300	200	8,9	0,9
SPL_3031_88.1	0,2815	0,0001	0,00063	0,00003	0,04	0,004	1,4673	0,0005	-46	4	0,28144	-8	4	1710	20	2,01	1451	2800	200	7	1
SPL_3031_91.1	0,28183	0,00009	0,0006	0,000005	0,019	0,001	1,4672	0,0004	-33	3	0,28182	-5	3	1290	10	2,59	690	2300	200	9	0,8
SPL_3031_94.1	0,2824	0,0001	0,0016	0,0001	0,047	0,005	1,467	0,0005	-13	3	0,28239	-1	3	562	6	2,02	1735	1500	200	11,6	0,9

## 17PN07

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(t)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3036_4.1	0,28254	0,00008	0,00258	0,00008	0,11	0,01	1,4671	0,0004	-8	3	0,28251	2	3	541	5	3,64	3974	1200	200	12,4	0,8
SPL_3036_9.1	0,2824	0,00009	0,0008	0,0001	0,038	0,009	1,4671	0,0004	-13	3	0,28238	10	3	1090	10	4,12	1376	1300	200	12,3	0,9
SPL_3036_12.1	0,28234	0,00008	0,00219	0,00005	0,071	0,004	1,4668	0,0004	-15	3	0,28229	10	3	1210	10	3,61	2625	1400	200	11,9	0,8
SPL_3036_14.1	0,28247	0,00008	0,00094	0,00003	0,045	0,003	1,467	0,0004	-10	3	0,28246	1	3	577	6	3,65	1657	1300	200	12,1	0,8
SPL_3036_17.1	0,28237	0,00008	0,00127	0,00005	0,05528	0,00002	1,467	0,0004	-14	3	0,28235	5	3	914	9	3,93	2020	1400	200	11,9	0,9
SPL_3036_19.1	0,28239	0,00008	0,000975	0,000006	0,04	0,002	1,4671	0,0004	-13	3	0,28238	-1	3	545	5	3,66	1464	1500	200	11,5	0,8
SPL_3036_20.1	0,28237	0,00008	0,001174	0,000005	0,0438	0,00001	1,467	0,0004	-14	3	0,28236	-2	3	532	5	3,9	1608	1500	200	11,4	0,8
SPL_3036_21.1	0,28238	0,00008	0,00099	0,00009	0,04489	0,00002	1,467	0,0004	-14	3	0,28235	12	3	1220	10	3,49	1639	1200	200	12,3	0,8
SPL_3036_22.1	0,28236	0,00008	0,00134	0,00008	0,067	0,008	1,467	0,0004	-14	3	0,28233	8	3	1090	10	3,23	2441	1300	200	12	0,8
SPL_3036_24.1	0,28227	0,00008	0,00147	0,00004	0,06	0,006	1,467	0,0004	-17	3	0,28223	9	3	1290	10	3,74	2202	1500	200	11,6	0,8
SPL_3036_25.1	0,28238	0,00008	0,002191	0,000004	0,112	0,004	1,467	0,0004	-13	3	0,28236	-2	3	536	5	5,03	4075	1500	200	11,4	0,8
SPL_3036_26.1	0,28196	0,00009	0,001171	0,000009	0,053	0,002	1,4669	0,0004	-28	3	0,28193	-2	3	1210	10	3,03	1920	2100	200	9,6	0,8
SPL_3036_29.1	0,28253	0,00008	0,00105	0,000006	0,04556	0,00002	1,467	0,0004	-8	3	0,28252	2	3	509	5	3,42	1665	1200	200	12,3	0,8
SPL_3036_30.1	0,28246	0,00008	0,0015	0,0001	0,059	0,006	1,4671	0,0004	-11	3	0,28245	0	3	521	5	3,75	2164	1400	200	11,9	0,8
SPL_3036_31.1	0,28242	0,00008	0,00061	0,00002	0,026	0,002	1,4671	0,0004	-12	3	0,28241	-1	3	500	5	5,31	944	1400	200	11,7	0,8
SPL_3036_32.1	0,2824	0,00008	0,00111	0,00008	0,0436	0,0003	1,4669	0,0004	-13	3	0,28239	-2	3	494	5	3,72	1597	1500	200	11,5	0,8
SPL_3036_33.1	0,28228	0,00008	0,00095	0,00002	0,045	0,003	1,467	0,0004	-17	3	0,28226	7	3	1150	10	2,86	1637	1500	200	11,6	0,8
SPL_3036_35.1	0,28167	0,00008	0,00088	0,00005	0,0316	0,0003	1,467	0,0004	-39	3	0,28164	1	2	1860	20	4,39	1160	2400	200	8,6	0,8
SPL_3036_47.1	0,28149	0,00009	0,001011	0,000006	0,037	0,003	1,4669	0,0004	-45	3	0,28145	-2	3	1950	20	3,27	1369	2700	200	7,6	0,9
SPL_3036_55.1	0,28253	0,00009	0,002	0,0002	0,09	0,02	1,4669	0,0004	-8	3	0,28251	2	3	560	6	2,38	3423	1200	200	12,3	0,9
SPL_3036_57.1	0,28207	0,00008	0,00099	0,00006	0,047	0,005	1,4671	0,0004	-24	3	0,28205	1	3	1210	10	2,93	1705	1800	200	10,4	0,8

## 16PN33

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(t)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3027_49.1	0,28229	0,00008	0,0031	0,0002	0,14	0,02	1,467	0,0004	-17	3	0,28223	6	3	1150	10	2,36	5119	1500	200	11,4	0,8
SPL_3027_58.1	0,28257	0,00008	0,000804	0,000003	0,033	0,001	1,4669	0,0004	-7	3	0,28256	2	3	454	5	3,57	1217	1200	200	12,5	0,8
SPL_3027_60.1	0,2823	0,00008	0,00073	0,00006	0,0326	0,0001	1,467	0,0004	-16	3	0,28228	8	3	1150	10	2,19	1192	1400	200	11,8	0,8
SPL_3027_62.1	0,28205	0,00008	0,000975	0,000004	0,03276	0,00001	1,4671	0,0004	-25	3	0,28202	7	3	1510	20	3,46	1205	1800	200	10,6	0,9
SPL_3027_64.1	0,28247	0,00008	0,0009	0,0003	0,04	0,02	1,4671	0,0004	-10	3	0,28247	0	3	459	5	3,08	1325	1400	200	12	0,8
SPL_3027_65.1	0,28246	0,00008	0,0007	0,0001	0,03	0,006	1,467	0,0004	-11	3	0,28245	-1	3	458	5	3,34	1110	1400	200	11,9	0,8
SPL_3027_71.1	0,28215	0,00008	0,00079	0,00009	0,0355	0,0004	1,4671	0,0004	-22	3	0,28213	3	3	1180	10	2,6	1297	1700	200	10,8	0,8
SPL_3027_74.1	0,28249	0,00008	0,001085	0,000004	0,04	0,001	1,467	0,0004	-10	3	0,28248	0	3	459	5	3,42	1469	1300	200	12	0,8
SPL_3027_75.1	0,28238	0,00008	0,0014	0,0001	0,049	0,008	1,467	0,0004	-13	3	0,28237	-3	3	462	5	3,31	1802	1500	200	11,4	0,8
SPL_3027_77.1	0,28212	0,00008	0,000886	0,000003	0,03681	0,00001	1,4671	0,0004	-23	3	0,28209	8	2	1460	10	3,71	1346	1700	200	11	0,8
SPL_3027_88.1	0,28208	0,00008	0,00207	0,00007	0,08529	0,00002	1,4671	0,0004	-24	3	0,28203	3	3	1350	10	2,55	3120	1800	200	10,4	0,8
SPL_3027_95.1	0,28231	0,00008	0,00063	0,00007	0,027	0,005	1,4671	0,0004	-16	3	0,2823	7	3	1100	10	2,48	986	1400	200	11,8	0,8
SPL_3027_99.1	0,28239	0,00008	0,003	0,0008	0,13	0,05	1,467	0,0004	-13	3	0,28236	-4	2	468	5	3,41	4848	1600	200	11,3	0,8
SPL_3027_103.1	0,28242	0,00008	0,001538	0,000004	0,06225	0,00001	1,467	0,0004	-12	3	0,28241	-2	3	468	5	3,2	2278	1500	200	11,6	0,8
SPL_3027_106.1	0,28195	0,00008	0,0012	0,0001	0,048	0,009	1,4671	0,0004	-29	3	0,28193	-5	2	1100	10	3,14	1745	2100	200	9,4	0,8
SPL_3027_110.1	0,28213	0,00008	0,001482	0,000004	0,06815	0,00002	1,4671	0,0004	-22	3	0,28209	8	3	1450	10	2,93	2487	1700	200	11	0,8
SPL_3027_111.1	0,28218	0,00008	0,001	0,0001	0,041	0,009	1,467	0,0004	-20	3	0,28216	8	3	1370	10	3,09	1511	1600	200	11,3	0,9
SPL_3027_113.1	0,2822	0,00008	0,00028	0,00003	0,012	0,002	1,467	0,0004	-20	3	0,28219	5	3	1180	10	3,2	426	1600	200	11,2	0,8
SPL_3027_114.1	0,28162	0,00008	0,0001	0,00006	0,004	0,003	1,467	0,0004	-40	3	0,28162	-36	3	181	2	3,76	164	3100	100	6,2	0,6
SPL_3027_1.1	0,2823	0,00008	0,00066	0,00007	0,031	0,006	1,467	0,0004	-16	3	0,28228	7	3	1110	10	1,78	1139	1400	200	11,7	0,8
SPL_3027_3.1	0,28263	0,00008	0,00141	0,00007	0,06478	0,00002	1,4669	0,0004	-5	3	0,28262	3	3	429	4	2,16	2364	1100	200	12,9	0,8
SPL_3027_7.1	0,28221	0,00008	0,0013	0,0001	0,05806	0,00002	1,4671	0,0004	-20	3	0,28218	6	3	1240	10	2,01	2122	1600	200	11,2	0,9
SPL_3027_13.1	0,2825	0,00008	0,00102	0,00005	0,042	0,002	1,467	0,0004	-9	3	0,28249	0	3	453	5	2,43	1554	1300	200	12,1	0,8
SPL_3027_14.1	0,28216	0,00008	0,0014	0,0007	0,05	0,01	1,4668	0,0004	-21	3	0,28213	2	2	1120	10	2,14	1770	1700	200	10,7	0,9
SPL_3027_16.1	0,2823	0,00008	0,00182	0,00002	0,079	0,007	1,4671	0,0004	-16	3	0,28225	11	3	1320	10	2,12	2877	1400	200	11,8	0,8

16PN54

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(t)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3032_1.1	0.2822	0.0001	0.0016	0.000009	0.05552	0.00002	1.4672	0.0005	-20	4	0.28216	6	4	1270	10	1.54	2040	1600	200	11	1
SPL_3032_7.1	0.28253	0.00008	0.001202	0.000006	0.054	0.005	1.4671	0.0004	-8	3	0.28252	2	3	510	5	2.09	1960	1200	200	12.4	0.8
SPL_3032_8.1	0.28245	0.00008	0.0045	0.0004	0.20208	0.00004	1.467	0.0004	-11	3	0.2824	0	3	603	6	2.55	7379	1400	200	11.7	0.8
SPL_3032_10.1	0.28179	0.00009	0.000642	0.000005	0.0252	0.0004	1.4671	0.0004	-35	3	0.28176	5	3	1830	20	2.64	922	2100	200	9.4	0.9
SPL_3032_11.1	0.28243	0.00008	0.00116	0.00004	0.05	0.008	1.467	0.0004	-12	3	0.28241	11	3	1090	10	2.23	1832	1200	200	12.4	0.8
SPL_3032_16.1	0.28244	0.00008	0.00207	0.00009	0.087	0.004	1.467	0.0004	-11	3	0.28242	0	3	541	5	2.52	3172	1400	200	11.8	0.8
SPL_3032_17.1	0.28236	0.00008	0.002811	0.000006	0.1153	0.00003	1.467	0.0004	-14	3	0.28233	-5	3	481	5	1.93	4218	1600	200	11.1	0.8
SPL_3032_18.1	0.28231	0.00009	0.00118	0.00003	0.043	0.005	1.4671	0.0004	-16	3	0.28229	10	3	1230	10	2.25	1566	1400	200	11.9	0.9
SPL_3032_19.1	0.28249	0.00009	0.0007	0.0002	0.026	0.004	1.4672	0.0004	-10	3	0.28249	1	3	545	5	3.17	955	1300	200	12.2	0.8
SPL_3032_20.1	0.2824	0.0001	0.00068	0.00004	0.025	0.005	1.4673	0.0005	-14	4	0.28235	-2	4	574	6	2.28	916	1500	200	11	1
SPL_3032_21.1	0.28186	0.00008	0.00134	0.00005	0.05695	0.00002	1.467	0.0004	-32	3	0.28182	0	3	1480	10	2.23	2081	2200	200	9.3	0.8
SPL_3032_23.1	0.28239	0.00008	0.001553	0.000007	0.065	0.008	1.467	0.0004	-13	3	0.28237	0	3	645	6	2.41	2384	1500	200	11.6	0.8
SPL_3032_24.1	0.28242	0.00008	0.001937	0.000006	0.079	0.002	1.4671	0.0004	-12	3	0.2824	0	3	590	6	2.65	2885	1400	200	11.7	0.8
SPL_3032_25.1	0.28223	0.00008	0.00084	0.00002	0.03	0.004	1.4671	0.0004	-19	3	0.28221	10	2	1350	10	2.68	1104	1500	200	11.6	0.8
SPL_3032_31.1	0.28192	0.00009	0.00067	0.00002	0.02	0.001	1.4672	0.0004	-30	3	0.28192	-15	3	654	7	2.74	750	2300	200	8.7	0.8
SPL_3032_33.1	0.28204	0.00008	0.00115	0.00004	0.03967	0.00001	1.4671	0.0004	-25	3	0.28202	0	3	1160	10	3.31	1458	1900	200	10.1	0.8
SPL_3032_50.1	0.28224	0.00009	0.001441	0.000005	0.057	0.008	1.4672	0.0005	-19	3	0.2822	10	3	1360	10	2.38	2102	1500	200	11.5	0.9
SPL_3032_55.1	0.28182	0.00008	0.003206	0.000006	0.14173	0.00003	1.467	0.0004	-33	3	0.2817	9	3	2080	20	2.86	5176	2100	200	9.4	0.8
SPL_3032_58.1	0.28247	0.00008	0.002385	0.000004	0.096	0.003	1.467	0.0004	-10	3	0.28243	6	3	856	9	2.81	3530	1300	200	12.3	0.8
SPL_3032_59.1	0.282	0.0001	0.0022	0.0002	0.09	0.02	1.4672	0.0004	-26	4	0.28197	0	3	1310	10	2.6	3461	2000	200	10	1
SPL_3032_66.1	0.28221	0.00008	0.000945	0.000006	0.0394	0.0002	1.4671	0.0004	-20	3	0.28218	5	3	1200	10	2.36	1443	1600	200	11.2	0.8
SPL_3032_68.1	0.2821	0.0001	0.0033	0.0002	0.102	0.002	1.4672	0.0005	-22	3	0.28208	-7	3	779	8	1.78	3744	2000	200	10	0.9
SPL_3032_69.1	0.28241	0.00009	0.001	0.0002	0.05	0.01	1.4672	0.0005	-12	3	0.2824	-2	3	471	5	2.58	1659	1500	200	11.6	0.8
SPL_3032_70.1	0.2825	0.0001	0.00082	0.00004	0.0401	0.0003	1.4671	0.0005	-8	3	0.28252	1	3	464	5	2.16	1460	1200	200	12.3	0.9
SPL_3032_71.1	0.28247	0.00009	0.0015	0.0003	0.045	0.001	1.467	0.0004	-10	3	0.28246	0	3	502	5	2.55	1674	1400	200	11.9	0.9
SPL_3032_72.1	0.28242	0.00009	0.00098	0.00005	0.05	0.01	1.4672	0.0005	-12	3	0.2824	10	3	1060	10	2.37	1679	1200	200	12.4	0.9
SPL_3032_84.1	0.28258	0.00008	0.001218	0.000005	0.054	0.004	1.4671	0.0004	-6	3	0.28257	3	3	494	5	2.35	1982	1100	200	12.7	0.8
SPL_3032_85.1	0.28236	0.00008	0.00106	0.00008	0.042	0.005	1.467	0.0004	-14	3	0.28233	12	3	1260	10	2.34	1526	1300	200	12.2	0.8

## 16PN43

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(0)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3030_1.1	0,28225	0,00008	0,0007	0,0002	0,04	0,01	1,4671	0,0004	-18	3	0,28225	6	3	1110	10	1,73	1304	1500	200	11,5	0,8
SPL_3030_3.1	0,28224	0,00008	0,00123	0,00005	0,057	0,006	1,467	0,0004	-19	3	0,28221	10	3	1380	10	2,17	2095	1500	200	11,6	0,8
SPL_3030_4.1	0,28214	0,00009	0,00137	0,00001	0,063	0,004	1,4672	0,0005	-22	3	0,28211	8	3	1450	10	2,02	2291	1600	200	11,1	0,9
SPL_3030_5.1	0,28231	0,00008	0,00075	0,00002	0,03581	0,00001	1,467	0,0004	-16	3	0,28229	12	3	1330	10	1,56	1306	1300	200	12,1	0,8
SPL_3030_6.1	0,28233	0,00009	0,00042	0,00003	0,01991	0,00001	1,4673	0,0004	-15	3	0,28232	8	3	1100	10	2,13	726	1400	200	11,9	0,9
SPL_3030_7.1	0,2822	0,00008	0,000406	0,000007	0,0185	0,0007	1,4671	0,0004	-20	3	0,28219	2	3	1050	10	2,46	674	1600	200	11	0,8
SPL_3030_10.1	0,28228	0,00009	0,000535	0,000008	0,025	0,001	1,4671	0,0004	-17	3	0,28227	4	3	1000	10	1,99	927	1500	200	11,4	0,9
SPL_3030_12.1	0,2823	0,00009	0,00093	0,00006	0,04	0,004	1,4672	0,0004	-16	3	0,28229	5	3	1020	10	1,81	1457	1500	200	11,6	0,9
SPL_3030_17.1	0,28234	0,00008	0,001694	0,000009	0,074	0,004	1,4671	0,0004	-15	3	0,28231	8	3	1130	10	1,7	2709	1400	200	11,9	0,8
SPL_3030_20.1	0,28217	0,00008	0,0007	0,0001	0,034	0,006	1,467	0,0004	-21	3	0,28216	3	3	1140	10	1,99	1231	1700	200	10,9	0,8
SPL_3030_21.1	0,28234	0,00009	0,0011	0,0001	0,0517	0,0002	1,467	0,0004	-15	3	0,28232	11	3	1240	10	1,35	1885	1300	200	12,1	0,8
SPL_3030_24.1	0,28238	0,00009	0,001393	0,000006	0,0542	0,00002	1,4671	0,0004	-14	3	0,28236	-3	3	496	5	2,26	1986	1500	200	11,4	0,9
SPL_3030_29.1	0,28227	0,00008	0,00164	0,00002	0,072	0,004	1,4671	0,0004	-17	3	0,28223	10	3	1340	10	1,62	2627	1400	200	11,7	0,8
SPL_3030_43.1	0,28232	0,00009	0,00127	0,00002	0,0606	0,00002	1,467	0,0004	-16	3	0,28229	7	3	1100	10	1,89	2209	1400	200	11,7	0,9

16PN59

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(0)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3028_1.1	0.28224	0.00008	0.00063	0.00001	0.025	0.002	1.467	0.0004	-19	3	0.28222	6	3	1180	10	3.18	927	1500	200	11.4	0.9
SPL_3028_2.1	0.28242	0.00008	0.0008	0.0002	0.035	0.002	1.467	0.0004	-12	3	0.2824	11	2	1100	10	2.79	1277	1200	200	12.4	0.8
SPL_3028_6.1	0.28241	0.00008	0.0012	0.00006	0.046	0.002	1.467	0.0004	-13	3	0.28238	11	3	1150	10	3.15	1694	1200	200	12.4	0.8
SPL_3028_10.1	0.28224	0.00008	0.0005	0.0002	0.02	0.01	1.467	0.0004	-18	3	0.28223	9	2	1280	10	3.4	852	1500	200	11.6	0.9
SPL_3028_12.1	0.28227	0.00008	0.0028	0.0001	0.11	0.01	1.4671	0.0004	-17	3	0.2822	9	2	1320	10	2.49	4127	1500	200	11.5	0.8
SPL_3028_14.1	0.2822	0.00008	0.00162	0.00006	0.068	0.008	1.467	0.0004	-20	3	0.28215	8	3	1370	10	2.65	2495	1600	200	11.3	0.8
SPL_3028_16.1	0.28192	0.00008	0.0015	0.0001	0.0617	0.0001	1.4669	0.0004	-30	3	0.28187	2	3	1550	20	2.96	2259	2000	200	9.7	0.9
SPL_3028_21.1	0.28232	0.00008	0.00073	0.00005	0.031	0.005	1.4669	0.0004	-16	3	0.28231	-1	3	691	7	2.46	1143	1600	200	11.3	0.8
SPL_3028_23.1	0.28238	0.00008	0.00102	0.00003	0.047	0.003	1.467	0.0004	-13	3	0.28237	7	3	970	10	3.31	1700	1300	200	12	0.8
SPL_3028_30.1	0.28212	0.00008	0.002643	0.000005	0.12	0.01	1.467	0.0004	-23	3	0.28206	3	3	1270	10	2.85	4324	1800	200	10.5	0.8
SPL_3028_31.1	0.28226	0.00008	0.0012	0.00006	0.05358	0.00002	1.467	0.0004	-18	3	0.28223	6	3	1160	10	3.2	1956	1500	200	11.5	0.8
SPL_3028_32.1	0.28248	0.00008	0.000539	0.000004	0.025	0.002	1.4671	0.0004	-10	3	0.28247	10	3	960	10	3.43	915	1100	200	12.7	0.9
SPL_3028_33.1	0.28211	0.00008	0.00086	0.00007	0.036	0.005	1.467	0.0004	-23	3	0.28209	5	2	1340	10	3.05	1303	1700	200	10.8	0.8
SPL_3028_35.1	0.28218	0.00008	0.0011	0.0003	0.05	0.01	1.467	0.0004	-21	3	0.28215	9	2	1410	10	3.46	1652	1600	200	11.3	0.9
SPL_3028_49.1	0.28229	0.00008	0.001105	0.000004	0.03928	0.00001	1.4669	0.0004	-17	3	0.28226	11	3	1320	10	3.46	1442	1400	200	11.9	0.8
SPL_3028_64.1	0.2819	0.0001	0.00171	0.00008	0.05471	0.00002	1.4667	0.0007	-30	5	0.28185	6	4	1750	20	2.61	2015	2000	300	10	1
SPL_3028_65.1	0.28236	0.00008	0.0024	0.0004	0.08	0.004	1.4669	0.0004	-14	3	0.2823	12	3	1290	10	3.41	2938	1300	200	12	1
SPL_3028_66.1	0.28228	0.00008	0.0015	0.0005	0.07	0.02	1.467	0.0004	-17	3	0.28224	9	2	1280	10	3.23	2386	1400	200	12	1
SPL_3028_71.1	0.28211	0.00008	0.0018	0.0001	0.07	0.01	1.4669	0.0004	-23	3	0.28207	2	2	1240	10	3.16	2595	1800	200	10.5	0.8
SPL_3028_73.1	0.28246	0.00009	0.00061	0.00004	0.01775	0.00002	1.4669	0.0004	-11	3	0.28245	9	3	943	9	1.92	656	1200	200	12.5	0.8
SPL_3028_75.1	0.28226	0.00008	0.00091	0.00001	0.04221	0.00001	1.4671	0.0004	-18	3	0.28224	1	3	930	9	3.48	1540	1600	200	11.2	0.8
SPL_3028_77.1	0.28236	0.00009	0.003074	0.000006	0.14294	0.00003	1.4671	0.0004	-14	4	0.28229	9	3	1200	10	2.71	5215	1400	200	12	1
SPL_3028_78.1	0.28223	0.00008	0.0018	0.0001	0.06252	0.00001	1.467	0.0004	-19	3	0.2822	1	2	960	10	3.29	2296	1700	200	11	0.8
SPL_3028_82.1	0.28214	0.00008	0.0016	0.0003	0.06	0.01	1.4669	0.0004	-22	3	0.2821	8	3	1470	10	2.48	2324	1600	200	11	0.9
SPL_3028_86.1	0.28234	0.00008	0.0023	0.0003	0.09	0.02	1.4671	0.0004	-15	3	0.2823	4	2	950	10	3.28	3264	1500	200	11.6	0.8
SPL_3028_94.1	0.28239	0.00009	0.001	0.0001	0.04	0.01	1.4669	0.0004	-13	3	0.28237	7	3	960	10	2.98	1325	1300	200	12	0.8
SPL_3028_96.1	0.28225	0.00009	0.0019	0.0004	0.07	0.002	1.4669	0.0004	-18	4	0.2822	9	3	1330	10	2.5	2575	1500	200	11	1

17PN18

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(t)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	tDM	2SE	Eps_Hf(tDM)	2SE
SPL_3037_1.1	0,28225	0,00008	0,001879	0,000006	0,093	0,006	1,4671	0,0004	-16	3	0,2822	7	3	1250	10	3,25	3389	1500	200	11,4	0,8
SPL_3037_12.1	0,28235	0,00008	0,00067	0,00006	0,032	0,003	1,467	0,0004	-15	3	0,28234	-1	3	620	6	2,94	1182	1500	200	11,4	0,8
SPL_3037_19.1	0,28234	0,00009	0,00184	0,00003	0,096	0,008	1,4671	0,0004	-15	3	0,2823	11	3	1260	10	2,16	3488	1300	200	12	0,9
SPL_3037_20.1	0,28221	0,00008	0,000733	0,000006	0,03271	0,00001	1,4671	0,0004	-19	3	0,2822	5	3	1170	10	3,29	1194	1600	200	11,2	0,8
SPL_3037_21.1	0,28212	0,00009	0,000519	0,000006	0,02442	0,00001	1,4669	0,0004	-23	3	0,28211	4	3	1250	10	3,43	891	1700	200	10,8	0,8
SPL_3037_23.1	0,28229	0,00008	0,000755	0,000005	0,034	0,002	1,467	0,0004	-17	3	0,28227	6	3	1100	10	3,49	1250	1500	200	11,6	0,8
SPL_3037_32.1	0,28249	0,00009	0,00152	0,000006	0,05963	0,00002	1,4669	0,0004	-10	3	0,28248	0	3	513	5	3,88	2148	1300	200	12,1	0,9
SPL_3037_34.1	0,28227	0,00008	0,000438	0,000005	0,0176	0,0005	1,467	0,0004	-18	3	0,28226	5	3	1080	10	3,58	643	1500	200	11,5	0,8
SPL_3037_35.1	0,28211	0,00008	0,000843	0,000005	0,041	0,002	1,467	0,0004	-23	3	0,28209	2	3	1180	10	3,56	1478	1800	200	10,6	0,8
SPL_3037_36.1	0,2821	0,00008	0,00098	0,00003	0,046	0,002	1,467	0,0004	-23	3	0,28208	7	3	1420	10	2,79	1678	1700	200	10,8	0,8
SPL_3037_37.1	0,28231	0,00009	0,0019	0,0001	0,11	0,02	1,467	0,0004	-16	3	0,28227	8	3	1180	10	2,27	3823	1400	200	11,7	0,8
SPL_3037_38.1	0,28231	0,00008	0,00045	0,00001	0,0216	0,0007	1,467	0,0004	-16	3	0,2823	6	3	1030	10	3,3	788	1400	200	11,7	0,8
SPL_3037_39.1	0,28238	0,00008	0,00093	0,00007	0,042	0,002	1,4669	0,0004	-14	3	0,28236	8	3	1020	10	4,16	1528	1300	200	12,1	0,8
SPL_3037_40.1	0,28221	0,00008	0,00049	0,00002	0,022	0,001	1,4669	0,0004	-19	3	0,2822	10	3	1360	10	3,26	800	1500	200	11,5	0,8
SPL_3037_41.1	0,28228	0,00008	0,00059	0,000005	0,021	0,003	1,467	0,0004	-17	3	0,28227	5	3	1040	10	3,7	781	1500	200	11,5	0,8
SPL_3037_42.1	0,28236	0,00008	0,0005	0,0001	0,022	0,003	1,4671	0,0004	-14	3	0,28235	12	3	1210	10	3,58	795	1300	200	12,3	0,9
SPL_3037_48.1	0,28235	0,00008	0,00132	0,00006	0,063	0,009	1,4669	0,0004	-15	3	0,28232	11	3	1240	10	3,44	2312	1300	200	12,1	0,9
SPL_3037_60.1	0,28228	0,00009	0,00112	0,00007	0,047	0,006	1,4671	0,0004	-17	3	0,28226	7	3	1130	10	2,82	1724	1500	200	11,6	0,9
SPL_3037_67.1	0,28227	0,00008	0,00078	0,00006	0,02736	0,00006	1,467	0,0004	-18	3	0,28225	4	3	1020	10	3,27	1005	1500	200	11,4	0,8
SPL_3037_69.1	0,28229	0,00008	0,00131	0,00008	0,06111	0,00002	1,467	0,0004	-17	3	0,28226	12	3	1380	10	3,89	2229	1400	200	12	0,8
SPL_3037_72.1	0,28215	0,00008	0,00159	0,00009	0,08	0,01	1,467	0,0004	-22	3	0,28211	6	3	1350	10	3,1	2896	1700	200	10,9	0,8
SPL_3037_77.1	0,28216	0,00008	0,00066	0,00003	0,0307	0,0005	1,467	0,0004	-21	3	0,28214	10	2	1450	10	3,74	1120	1800	200	11,3	0,8
SPL_3037_79.1	0,28125	0,00008	0,0026	0,0001	0,12477	0,00003	1,4671	0,0004	-53	3	0,28114	-7	2	2220	20	3,58	4548	3200	200	6	0,7
SPL_3037_80.1	0,28236	0,00008	0,00086	0,00006	0,03003	0,00001	1,467	0,0004	-14	3	0,28234	10	3	1130	10	3,51	1103	1300	200	12,1	0,8
SPL_3037_86.1	0,28213	0,00008	0,000675	0,000005	0,025	0,001	1,467	0,0004	-22	3	0,28211	8	3	1410	10	3,59	933	1600	200	11	0,8
SPL_3037_87.1	0,28248	0,00008	0,0014	0,0001	0,0574	0,0007	1,467	0,0004	-10	3	0,28245	13	3	1140	10	3,01	2100	1100	200	12,8	0,8
SPL_3037_93.1	0,28227	0,00008	0,001214	0,000006	0,055	0,004	1,467	0,0004	-17	3	0,28224	10	3	1290	10	3,4	2009	1400	200	11,7	0,8
SPL_3037_96.1	0,2824	0,00008	0,000827	0,000004	0,0253	0,0004	1,4671	0,0004	-13	3	0,28239	0	3	595	6	4,26	934	1500	200	11,6	0,8

## 16LE29

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(0)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	IDM	2SE	Eps_Hf(IDM)	2SE
SPL_3034_8.1	0.28124	0.00008	0.00083	0.00005	0.03781	0.00001	1.467	0.0004	-54	3	0.2812	1	2	2520	30	3,76	1380	2900	200	6,8	0,8
SPL_3034_9.1	0.28231	0.00008	0.0017	0.0001	0.0841	0.00002	1.467	0.0004	-16	3	0.28227	7	3	1130	10	3,11	3064	1400	200	11,7	0,8
SPL_3034_10.1	0.28225	0.00008	0.001602	0.000008	0.072	0.005	1.4671	0.0004	-18	3	0.28221	10	3	1350	10	3,74	2626	1500	200	11,6	0,8
SPL_3034_12.1	0.2817	0.0001	0.0011	0.0001	0.0434	0.00001	1.467	0.0004	-37	4	0.28169	2	4	1800	20	4,01	1588	2300	200	9	1
SPL_3034_16.1	0.2825	0.00008	0.001468	0.000005	0.065	0.002	1.467	0.0004	-9	3	0.28249	0	3	498	5	4,47	2368	1300	200	12,1	0,8
SPL_3034_19.1	0.28236	0.00008	0.0013	0.0002	0.05	0.02	1.467	0.0004	-14	3	0.28234	-4	3	477	5	4,36	1860	1600	200	11,2	0,8
SPL_3034_21.1	0.28243	0.00008	0.000756	0.000005	0.031	0.002	1.467	0.0004	-12	3	0.28242	10	3	1020	10	4,31	1119	1200	200	12,4	0,9
SPL_3034_22.1	0.28242	0.00008	0.0015	0.0001	0.06	0.01	1.4671	0.0004	-12	3	0.28241	-2	3	481	5	4,65	2351	1500	200	11,6	0,8
SPL_3034_23.1	0.28234	0.00008	0.0033	0.0004	0.157	0.006	1.467	0.0004	-15	3	0.2823	-2	3	658	7	4,36	5719	1600	200	11,2	0,8
SPL_3034_25.1	0.28247	0.00008	0.001362	0.000005	0.049	0.007	1.4669	0.0004	-10	3	0.28245	0	3	478	5	3,69	1790	1400	200	11,9	0,8
SPL_3034_28.1	0.28245	0.00008	0.002471	0.000008	0.12	0.01	1.467	0.0004	-11	3	0.28242	0	3	538	5	3,31	4216	1400	200	11,8	0,8
SPL_3034_29.1	0.28232	0.00008	0.001371	0.000005	0.056	0.002	1.467	0.0004	-16	3	0.2823	-5	3	494	5	3,73	2047	1700	200	11	0,8
SPL_3034_30.1	0.28231	0.00008	0.001912	0.000008	0.088	0.003	1.467	0.0004	-16	3	0.28227	7	3	1130	10	3,22	3219	1500	200	11,6	0,8
SPL_3034_32.1	0.2812	0.00008	0.001012	0.000008	0.039	0.007	1.467	0.0004	-55	3	0.28117	-31	3	1130	10	3,52	1418	3600	200	4,6	0,7
SPL_3034_37.1	0.28242	0.00008	0.0018	0.0002	0.075	0.009	1.4671	0.0004	-12	3	0.2824	-2	3	494	5	3,93	2736	1500	200	11,6	0,8
SPL_3034_38.1	0.28236	0.00008	0.0021	0.0001	0.096	0.007	1.467	0.0004	-14	3	0.28233	-2	3	583	6	5,02	3493	1600	200	11,3	0,8
SPL_3034_40.1	0.2823	0.00009	0.0012	0.0001	0.03879	0.00001	1.4668	0.0004	-16	3	0.28228	-2	3	656	7	3,05	1430	1600	200	11,1	0,8
SPL_3034_41.1	0.2825	0.0001	0.0021	0.0004	0.06	0.01	1.4669	0.0005	-8	4	0.28253	2	4	496	5	2,94	2267	1200	200	12	1
SPL_3034_42.1	0.28244	0.00008	0.002926	0.000005	0.143	0.002	1.467	0.0004	-12	3	0.28241	-1	3	515	5	5,12	5207	1400	200	11,7	0,8
SPL_3034_50.1	0.28252	0.00008	0.0018	0.00009	0.07599	0.00002	1.4671	0.0004	-8	3	0.2825	2	3	530	5	3,79	2778	1300	200	12,3	0,9
SPL_3034_77.1	0.28246	0.00009	0.004121	0.000005	0.13423	0.00003	1.467	0.0005	-11	3	0.28242	0	3	539	5	4,77	4941	1400	200	11,8	0,8
SPL_3034_78.1	0.2824	0.00008	0.0018	0.0002	0.07	0.02	1.467	0.0004	-13	3	0.28238	-3	3	479	5	4,06	2471	1500	200	11,4	0,8
SPL_3034_90.1	0.28241	0.00008	0.001785	0.000009	0.08	0.003	1.4671	0.0004	-13	3	0.28237	10	3	1120	10	4,37	2912	1300	200	12,3	0,8
SPL_3034_5.1	0.28231	0.00008	0.00059	0.00002	0.0298	0.0008	1.467	0.0004	-16	3	0.2823	7	3	1080	10	3,75	1087	1400	200	11,8	0,8

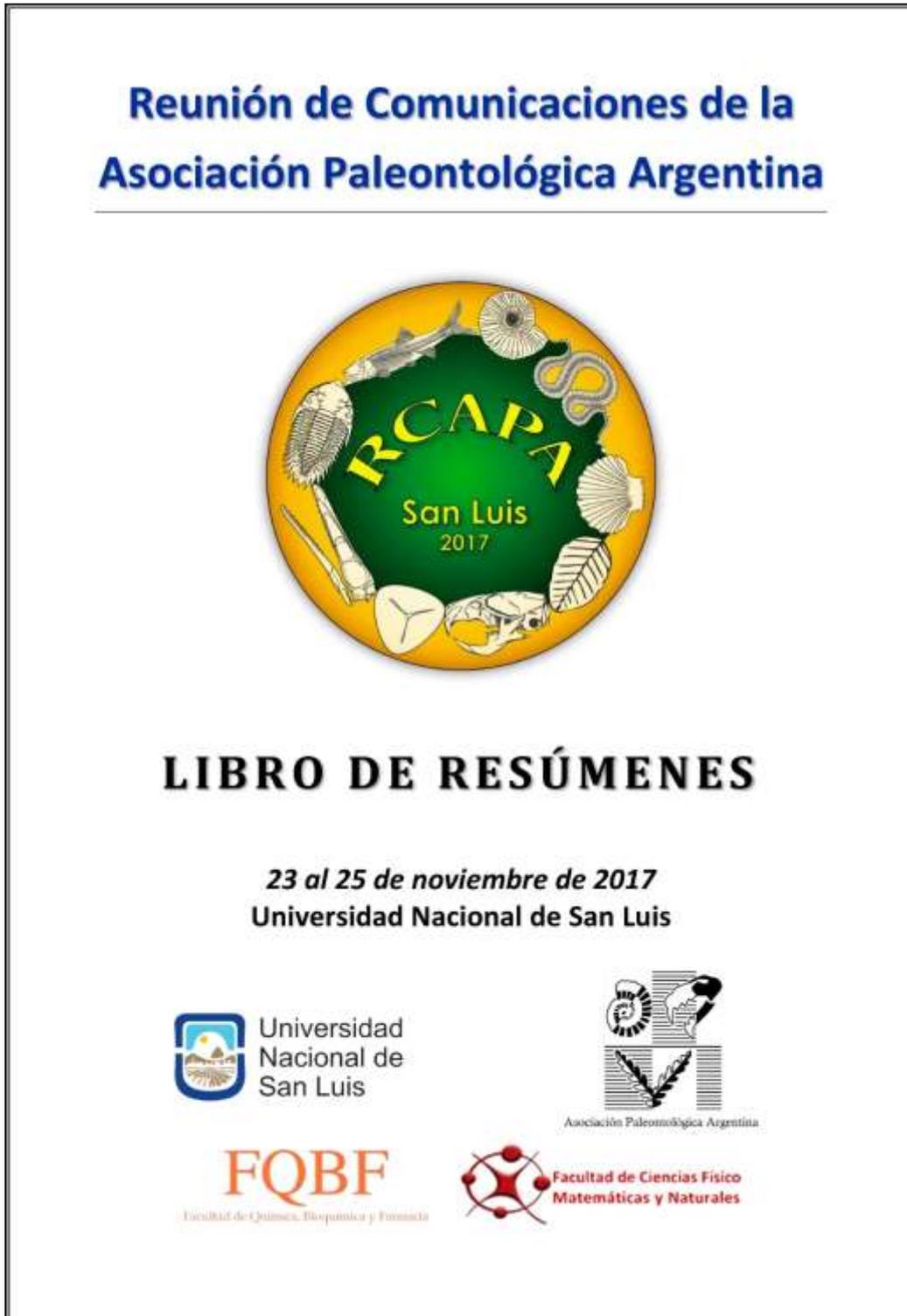
## 17CAR

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(t)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	tDM	2SE	Eps_Hf(tDM)	2SE
SPL_3039_2.1	0,28243	0,00008	0,0017	0,0003	0,078	0,004	1,4669	0,0004	-12	3	0,28239	11	3	1120	10	3,27	2841	1200	200	12,4	0,9
SPL_3039_4.1	0,28244	0,00008	0,0014	0,0002	0,054	0,002	1,4669	0,0004	-11	3	0,28242	0	3	604	6	3,58	1973	1400	200	11,9	0,9
SPL_3039_7.1	0,28238	0,00008	0,002126	0,000008	0,0721	0,00002	1,4669	0,0004	-13	3	0,28236	-1	3	585	6	2,98	2651	1500	200	11,5	0,8
SPL_3039_8.1	0,2824	0,0001	0,0021	0,0008	0,08	0,02	1,4666	0,0004	-12	4	0,28239	11	3	1130	10	3,58	3092	1200	300	12	1
SPL_3039_9.1	0,28254	0,00008	0,0016	0,0002	0,069	0,001	1,467	0,0004	-8	3	0,28253	2	3	512	5	3,7	2509	1200	200	12,4	0,8
SPL_3039_10.1	0,28235	0,00008	0,001422	0,000005	0,06686	0,00002	1,4668	0,0004	-15	3	0,28233	-1	3	652	7	3,75	2438	1500	200	11,3	0,8
SPL_3039_13.1	0,28241	0,00008	0,0024	0,0002	0,09811	0,00002	1,4668	0,0004	-12	3	0,28238	0	3	671	7	3,41	3590	1400	200	11,7	0,8
SPL_3039_14.1	0,28248	0,00008	0,00165	0,000006	0,056	0,004	1,467	0,0004	-10	3	0,28246	1	3	591	6	3,65	2052	1300	200	12,1	0,8
SPL_3039_15.1	0,28235	0,00008	0,001377	0,000008	0,05758	0,00002	1,467	0,0004	-15	3	0,28233	-1	3	614	6	3,59	2105	1500	200	11,3	0,8

16LS55

Sample	176Hf/177Hf	2SE	176Lu/177Hf	2SE	176Yb/177Hf	2SE	178Hf/177Hf	2SE	Eps_Hf(t)	2SE	176Hf/177Hf(t)	Eps_Hf(t)	2SE	U/Pb_age	2SE	Hf_volts	Interf_corr	tDM	2SE	Eps_Hf(tDM)	2SE
SPL_3026_1.1	0.28219	0.00008	0.0013	0.0001	0.06	0.01	1.467	0.0004	-20	3	0.28218	-7	3	626	6	2.46	2182	1800	200	10.4	0.8
SPL_3026_4.1	0.28226	0.00008	0.000666	0.000003	0.03	0.001	1.467	0.0004	-18	3	0.28225	6	3	1110	10	3.41	1086	1500	200	11.5	0.8
SPL_3026_10.1	0.28223	0.00008	0.000717	0.000005	0.032	0.002	1.467	0.0004	-19	3	0.28222	7	3	1220	10	3.05	1180	1500	200	11.4	0.8
SPL_3026_11.1	0.28108	0.00008	0.0009	0.0001	0.039	0.008	1.4669	0.0004	-60	3	0.28103	-1	2	2620	30	2.65	1411	3200	200	5.9	0.8
SPL_3026_19.1	0.28219	0.00008	0.000892	0.000006	0.0382	0.0009	1.467	0.0004	-20	3	0.28217	9	3	1360	10	2.94	1430	1500	200	11.3	0.8
SPL_3026_22.1	0.28213	0.00008	0.0006	0.00005	0.026	0.003	1.4671	0.0004	-22	3	0.28212	4	3	1250	10	2.76	942	1700	200	10.8	0.8
SPL_3026_29.1	0.28241	0.00008	0.00127	0.000008	0.06136	0.00002	1.4671	0.0004	-12	3	0.28239	11	3	1110	10	2.35	2237	1200	200	12.4	0.8
SPL_3026_30.1	0.28239	0.00008	0.000416	0.000005	0.016802	0.000009	1.467	0.0004	-13	3	0.28238	0	3	631	6	2.55	608	1400	200	11.7	0.8
SPL_3026_44.1	0.28235	0.00008	0.001221	0.000005	0.04094	0.00001	1.4671	0.0004	-14	3	0.28233	9	3	1120	10	2.75	1506	1300	200	12	0.8
SPL_3026_40.1	0.28224	0.00008	0.001475	0.000005	0.064	0.002	1.467	0.0004	-18	3	0.2822	9	3	1330	10	2.32	2355	1500	200	11.5	0.8
SPL_3026_48.1	0.2815	0.00008	0.0005	0.00003	0.019	0.003	1.467	0.0004	-45	3	0.28148	4	2	2200	20	2.69	683	2500	200	8.1	0.8
SPL_3026_50.1	0.28115	0.00008	0.0011	0.0001	0.05441	0.00001	1.467	0.0004	-57	3	0.2811	1	2	2690	30	2.48	1984	3000	200	6.4	0.8
SPL_3026_53.1	0.28242	0.00008	0.00095	0.00001	0.0402	0.00001	1.467	0.0004	-12	3	0.2824	11	3	1110	10	2.67	1469	1200	200	12.5	0.8
SPL_3026_56.1	0.28115	0.00008	0.0012	0.0002	0.052	0.005	1.467	0.0004	-57	3	0.28108	2	2	2740	30	3.27	1883	3000	200	6.4	0.8
SPL_3026_58.1	0.28211	0.00009	0.00065	0.00004	0.020157	0.000009	1.4671	0.0004	-23	3	0.2821	-11	3	544	5	2.94	743	2000	200	9.8	0.9
SPL_3026_59.1	0.28156	0.00008	0.001459	0.000005	0.06458	0.00002	1.467	0.0004	-43	3	0.2815	1	2	2070	20	3.4	2358	2500	200	8.1	0.7
SPL_3026_65.1	0.2816	0.00008	0.00191	0.00001	0.082	0.004	1.4669	0.0004	-41	3	0.28153	0	2	1960	20	3.39	2983	2500	200	8.1	0.8
SPL_3026_67.1	0.28136	0.00009	0.0008	0.0004	0.03	0.01	1.4669	0.0004	-50	3	0.28133	-3	2	2100	20	2.52	975	2900	200	7	0.9
SPL_3026_70.1	0.28209	0.00009	0.0009	0.0001	0.0228	0.0008	1.4669	0.0004	-24	3	0.28208	-11	3	605	6	1.58	846	2000	200	9.7	0.8
SPL_3026_75.1	0.28219	0.00008	0.001354	0.000006	0.04832	0.00002	1.467	0.0004	-20	3	0.28217	-7	3	618	6	2.24	1774	1900	200	10.3	0.8
SPL_3026_78.1	0.28234	0.00008	0.0018	0.0002	0.08	0.01	1.4671	0.0004	-15	3	0.2823	8	3	1120	10	2.68	2932	1400	200	11.8	0.8
SPL_3026_80.1	0.28237	0.00008	0.00122	0.00004	0.05	0.007	1.4671	0.0004	-14	3	0.28236	-2	3	553	6	2.98	1813	1500	200	11.4	0.8
SPL_3026_81.1	0.2822	0.00008	0.001195	0.000004	0.057	0.004	1.4671	0.0004	-20	3	0.28217	7	3	1320	10	3.06	2082	1600	200	11.2	0.8
SPL_3026_82.1	0.28208	0.00008	0.001357	0.000005	0.06036	0.00002	1.4671	0.0004	-24	3	0.28204	1	3	1240	10	2.56	2204	1800	200	10.3	0.8
SPL_3026_83.1	0.28236	0.00008	0.001213	0.000005	0.056	0.003	1.467	0.0004	-14	3	0.28233	9	3	1120	10	2.5	2032	1300	200	12	0.8
SPL_3026_86.1	0.28233	0.00008	0.0021	0.0002	0.093	0.002	1.4671	0.0004	-15	3	0.28228	7	3	1120	10	3.04	3387	1400	200	11.7	0.8
SPL_3026_88.1	0.2822	0.00008	0.001191	0.000005	0.056	0.003	1.4669	0.0004	-20	3	0.28218	-7	3	582	6	2.88	2040	1900	200	10.3	0.8

- Arnol, J.A., Coturel, E.P. 2017. **Plantas de la Formación Punta Negra (Devónico) en la Precordillera de San Juan, Argentina.** Reunión de comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina. Libro de resúmenes. Pag 11.



Los Ursidae son un grupo monofilético que comprende tres subfamilias: Tremarctinae, Ursinae y Ailuropodinae. Sus relaciones filogenéticas han sido poco exploradas, especialmente con base en caracteres morfológicos. Una fuente de información utilizada por algunos autores es el basicráneo. El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre la variación de la forma del basicráneo y la historia evolutiva de los Ursidae, cuantificada por medio de la señal filogenética. Ésta fue estimada utilizando el método de descomposición ortonormal de la varianza de Ollier, y el método de Abouheif C-mean. Los métodos fueron aplicados sobre un Análisis de Componentes Principales realizado a partir de datos morfogeométricos del basicráneo de 170 ejemplares de úrsidos. Se testearon dos superárboles con hipótesis filogenéticas diferentes. Se analizó la señal filogenética en la forma, considerando los primeros 5 Componentes Principales (CP; 81,2% de la variación de forma de la muestra), y el tamaño, considerando el tamaño de centroide del basicráneo. Los resultados fueron muy similares para ambas hipótesis filogenéticas. Según ambos métodos la señal fue significativa en los CP1 y CP2 (la mayor señal filogenética se encuentra en los nodos más basales), y no en el CS, ni en los CP3, CP4 y CP5. Se observó que la forma del basicráneo está correlacionada con filogenia, ya que los CPs con mayor proporción de variación explicada son también los que presentan mayor señal filogenética, pero no así con el tamaño. Se considera que en Ursidae el basicráneo es informativo y debe ser incluido en futuros análisis filogenéticos.

#### **Plantas fósiles de la Formación Punta Negra (Devónico) en la Precordillera de San Juan, Argentina**

J.A. ARNOL<sup>1,2</sup> y E.P. COTUREL<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Geológicas (CIG), Universidad Nacional de La Plata, Diagonal 113 n° 275, B1904DPK, La Plata, Buenos Aires, Argentina. [jarnol@cig.museo.fcnym.unlp.edu.ar](mailto:jarnol@cig.museo.fcnym.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

<sup>3</sup> División Paleobotánica, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque s/n, B1900FWA La Plata, Buenos Aires, Argentina. [ecoturel@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:ecoturel@fcnym.unlp.edu.ar)

En esta contribución presentamos ejemplares provenientes de la Formación Punta Negra, en la provincia de San Juan. La unidad apoya sobre las sedimentitas marinas de la Formación Talacasto con un límite transicional, y está caracterizada como una sucesión monótona de areniscas, vaques, arcosas y subgrauvacas, que gradan a areniscas de grano fino, lutitas y muy escasos conglomerados polimícticos. Los espesores medidos entre la localidad de Sasso, sobre el Río San Juan y la sección del río de las Casitas sobre las Sierra de la Trampa, al norte, alcanzan 1000 m. De las facies de areniscas medias de la base del Cerro Negro en el Río San Juan se describen ejes alargados asociados a restos carbonizados no determinables (LPPB 12400) y una compresión de licófitas con micrófilos aparentemente peciolados y con un par de proyecciones basales de la lámina (LPPB 12399), comparable a *Haskinsia* Grierson y Banks, 1983. Del afloramiento del margen izquierdo del río de las Casitas, de la base de la formación, se describen un eje rígido con una expansión terminal ovalada (LPPB 12401), y un eje dicotómico flexuoso con una terminación circular fragmentada (LPPB 12402). La taflorea es congruente en sus elementos y escasa diversidad con los registros previos del Devónico de Precordillera, pero el hallazgo de una licófitas con micrófilos preservados es significativo para clarificar su asignación sistemática y permitir, con mayor evidencia, una comparación con otras localidades coetáneas.

\*Proyecto subsidiado por PIP N° 11220120100199CO.

- Coturel and Arnol 2018. **Plant remains from the Devonian of San Juan, Argentina.** 5<sup>th</sup> International Paleontological Congress. 9 al 13 de julio, París, Francia.

---

## Plant remains from the Devonian of San Juan, Argentina.

Eliana Coturel\*<sup>1</sup> and Jonatan Arnol<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Museo de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) – División Paleobotánica - Museo de La Plata Facultad de Ciencias Naturales y Museo UNLP  
Paseo del Bosque s/n CP 1900 La Plata, Argentina

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Geológicas, Universidad Nacional de La Plata (CIG) – Argentina

### Abstract

Throughout the Devonian occurred the most important stages of plant propagation on land and their subsequent evolution, yet the extent of this process is far from being completely understood, mainly by the scarcity of the register. The fossiliferous localities of the Devonian of Precordillera, in Argentina, have provided sterile or poorly preserved remains of fossil plants and, very rarely, palynomorphs. Associations of low diversity have been described, composed of primitive vascular plants and herbaceous lycophytes. Here we present new samples from the Punta Negra Formation, collected from the Precordillera of San Juan province. Punta Negra Formation lays over the marine sediments of the Lower Devonian Talacasto Formation with a transitional limit and reaches 1000 m thick. The lower limit of the Punta Negra Formation is diachronic, being older in the southern localities. Plants come from four localities. Sandstones from the Río San Juan locality yielded a compression of stem with petiolate, divided microphylls, assignable to *Haskinsia* Grierson and Banks 1983. It is noteworthy that this is the first record of a lycopsid with preserved leaves from this unit. Southern, nearby Puesto Bachongo fossil remains were found comparable with the bryophyte *Sporogonites* Halle 1916. These samples consist in an ovoid-globose capsule which shows longitudinal costae in the middle sector, which resembles *Sporogonites excellens* Frenguelli 1951. Sterile lycophyte stems were found in both localities. Plant debris, consisting in smooth and ridged sterile axes, putative sporangia and isotomous bifurcated stems, was also found. The association is in general consistent with the previously described for the unit, and the discovery of better preserved taxa allow us a more detailed comparison to elucidate the age of the deposits. *Sporogonites* was found in the Lower Devonian of Argentina, Australia, Belgium, and Brazil, and younger strata from Spain. The lycophyte *Haskinsia*, on the other hand, was widespread in the Middle Devonian, with a species also found in Sierra de la Ventana (Buenos Aires Province, Argentina). The presence of both taxa is coherent with the age given to Punta Negra Formation and the diachronic nature of its base, could help in the stratigraphic correlation between localities. Lastly, the finding of these new material encourages us to continue the research in this large unit, which could lead to a better understanding of the expansion of the early land plants.

---

\*Speaker



# Plant remains from the Devonian of San Juan, Argentina

Eliana P. Coturel<sup>1</sup> & Jonatan Arno<sup>2</sup> <sup>1</sup>Palaeobotany Division, Museo de La Plata, UNLP <sup>2</sup>Geological Research Center (CIG), UNLP, CONICET

## Introduction

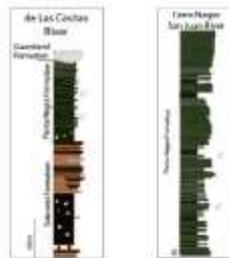
Throughout the Devonian occurred the most important stages of plant propagation on land and their subsequent evolution, yet the extent of this process is far from being completely understood, mainly by the scarcity of the register.

The fossiliferous localities of the Devonian of Precordillera, in Argentina, have provided sterile or poorly preserved remains of fossil plants and, very rarely, palynomorphs. Associations of low diversity have been described, composed of primitive vascular plants and herbaceous lycophytes. Here we present new samples from the Punta Negra Formation, collected from the Precordillera of San Juan province.



1 Up: Location of the Punta Negra Formation and the outcrops below sedimentological logs of the fossiliferous localities.

References	
■	Shales and siltstones
■	Siltstones and fine sandstones
■	Wedges
■	Limestone
■	Marls
■	Claystone
■	Blocky fraction of Gualal (TST)
■	Blocky fraction of Gualal (TST)
■	Platflood



## Results

Punta Negra Formation lays over the marine sediments of the Lower Devonian Talacasto Formation with a transitional limit and reaches 1000 m thick. The lower limit of the Punta Negra Formation is diachronic, being older in the southern localities. Plants come from four localities.

- 1 Sandstones from the Rio San Juan locality yielded a compression of stem with petiole, divided microphylls, assignable to *Haskinsia* Grierson and Banks 1983. It is noteworthy that this is the first record of a lycopsid with preserved leaves from this unit.
- 2 Southern, nearby Puesto Bachongo fossil remains were found comparable with the bryophyte *Sporogonites* Halle 1916. These samples consist in an ovoid-globose capsule which shows longitudinal costae in the middle sector, which resembles *Sporogonites excellens* Frenguelli 1951.
- 3 Sterile lycophyte stems were found in both localities. Plant debris, consisting in smooth and ridged sterile axes, putative sporangia and isotomous bifurcated stems, was also found.



References: Grierson and Banks 1983, Frenguelli 1951, Halle 1916, Grierson and Banks 1983, Frenguelli 1951, Frenguelli 1951.

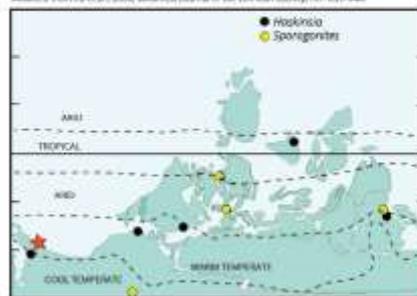
## Conclusions

Punta Negra Fm. still yields an early land plants -flora:  
 - *Sporogonites* was found in the Lower Devonian of Argentina, Australia, Belgium, and Brazil, and younger strata from Spain.  
 - *Haskinsia* was widespread in the Middle Devonian. There were sterile stems described for Punta Negra, this finding helps solving their allegiance.

The presence of both taxa is coherent with the age given to Punta Negra Formation and, given the diachronic nature of its base, the resolution in the taxa could help in the stratigraphic correlation between localities.

The finding of these new material encourages us to continue the research in this large unit, which could lead to a better understanding of the expansion of the early land plants.

The figure below (left) was the record of *Haskinsia* and *Sporogonites* in the Lower Devonian. Modified from Yu et al., 2008, Botanical Journal of the Linnean Society, 157: 633-646.



mail: ecoturel@fcnym.unlp.edu.ar



- Arnol Jonatan Ariel, Uriz Norberto Javier, Cingolani Carlos Alberto y Basei Miguel 2018. **Edades de circones detríticos como aporte a la interpretación de la procedencia de la Formación Punta Negra (Devónico), Precordillera Central Sanjuanina.** XVI Reunión Argentina de Sedimentología, General Roca, Río Negro, Argentina

## EDADES DE CIRCONES DETRÍTICOS COMO APOORTE A LA INTERPRETACIÓN DE LA PROCEDENCIA DE LA FORMACIÓN PUNTA NEGRA (DEVÓNICO), PRECORDILLERA CENTRAL SANJUANINA

**Jonatan A. Arnol<sup>1,2</sup>, Norberto J. Uriz<sup>2,3</sup>, Carlos A. Cingolani<sup>2,3</sup> y Miguel Basei<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencias Naturales y Museo. [jamol@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:jamol@cig.museo.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), Diag. 113 n. 275, CP1904, La Plata, Argentina. [carloscingolani@yahoo.com](mailto:carloscingolani@yahoo.com)

<sup>3</sup>División Científica de Geología, Museo de La Plata, UNLP, Paseo del Bosque s/n, B1900FWA, La Plata, Argentina. [norjuz@gmail.com](mailto:norjuz@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidade de Sao Paulo, Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo), Sao Paulo, Brasil. [baseimas@usp.br](mailto:baseimas@usp.br)

La Formación Punta Negra aflora en extensos cordones montañosos a lo largo de la Precordillera Central Sanjuanina. Su edad estratigráfica fue referida al Devónico medio con dudas. Los primeros registros U-Pb en circones detríticos por dilución isotópica obtenidos en la década del '90, han sugerido como fuente principal a las unidades grenvillianas expuestas en el área de la Sierra de Pie de Palo. El presente trabajo aporta nuevos datos U-Pb (LA-ICP-MS) en circones detríticos para tres muestras de esta unidad (17PN07, 16PN33 y 16PN43). Así, la muestra 17PN07 arrojó mayormente edades mesoproterozoicas (55.9%), donde M2+M3 compone el 90% de estas edades; seguidas por las pampeanas (26.5%) integradas por el Cámbrico inferior (521-536Ma) y Neoproterozoico (577-996Ma). El Paleoproterozoico y Famatiniano cada uno con 8.8% comparten el tercer lugar. La muestra 16PN33 registró como moda principal a circones mesoproterozoicos (61.9%), siendo M3 dominante (82%). El Famatiniano ocupa la moda secundaria (30.9%), compuesto por circones del Ordovícico (484-453Ma; 82%), Cámbrico superior y medio (485-518Ma), y Silúrico (429Ma) y finalmente se presenta el Pampeano (6.2%). La muestra 16PN43 presentó conspicuas fuentes del Mesoproterozoico (97.4%), donde el intervalo M3 representa más del 50%. Los registros famatinianos (496Ma) y pampeanos (996Ma) componen el 1.3% respectivamente. Todas las muestras exhiben aportes principales vinculados a una fuente común a pesar de encontrarse ubicadas en distintos sectores de la cuenca. Las diferencias observadas en los registros de las modas secundarias podrían indicar variaciones locales, donde hacia el norte hay un mayor aporte de los orógenos Famatiniano y Pampeano.

- Arnol, J.A., Uriz, N.J., Cingolani, C.A., Basei, M.A.S., Abre, P., (2020). Provenance analysis of Devonian peripheral foreland basins in SW Gondwana, case of the Gualilán Group, Precordillera Argentina. *International Journal of Earth Sciences*, 109(7), 2467-2494.

International Journal of Earth Sciences  
<https://doi.org/10.1007/s00531-020-01914-9>

ORIGINAL PAPER



## Provenance analysis of Devonian peripheral foreland basins in SW Gondwana, case of the Gualilán Group, Precordillera Argentina

Jonatan Ariel Arnol<sup>1</sup> · Norberto Javier Uriz<sup>2</sup> · Carlos Alberto Cingolani<sup>1,2</sup> · Miguel Angelo Stipp Basei<sup>3</sup> · Paulina Abre<sup>4</sup>

Received: 24 October 2019 / Accepted: 15 July 2020  
© Geologische Vereinigung e.V. (GV) 2020

### Abstract

We carried out a sedimentary provenance analysis of the Devonian Gualilán Group, Central Precordillera of western Argentina, focusing on the siliciclastic record of the Talacasto (Lower Devonian) and the Punta Negra (Lower-Middle Devonian) formations. Provenance is determined based on petrography, heavy minerals, whole-rock geochemistry, Sm–Nd isotopes, and U–Pb detrital zircon dating. Sandstones are composed of quartz, feldspar, and metamorphic and plutonic lithoclasts. The Gualilán Group underwent moderate weathering indicated by CIA values and Th/U ratios below 76 and 4.9, respectively. Th/Sc, Zr/Sc, Cr/V and La/Th ratios, negative Eu-anomalies and REE patterns point to felsic source compositions. The heavy minerals and zircon morphologies indicate that high-grade metamorphic and igneous rocks provided the bulk of detritus.  $T_{DM}$  ages between 1.40 and 1.46 Ga and  $e_{Nd(t)}$  values ranging from  $-9.21$  to  $-11.13$  constrain the signature of the sources. U–Pb detrital zircon ages for the Talacasto Formation are equally distributed between the Famatinian (Late Cambrian–Late Devonian), Pampean–Brazilian (Neoproterozoic–Early Cambrian) and Grenvillian–Sunsas (Mesoproterozoic) orogenic cycles. Detrital zircon ages of the Punta Negra Formation were dominantly supplied from Mesoproterozoic rocks, linked to the Grenvillian–Sunsas orogeny. The data indicate a provenance from rocks located eastwards of the basin represented by the basement of the Pampean Ranges. The peripheral foreland basin developed during the post-collisional regime that followed the accretion of Cuyania against Gondwana. Whereas eastern and western Pampean Ranges provided detritus to the Talacasto Formation, the Punta Negra Formation was sourced by the western Pampean Ranges, implying exhumation and erosion of such basement during the Devonian.

**Keywords** Provenance · Devonian Gualilán Group · Detrital zircon ages · Precordillera · SW Gondwana

**Electronic supplementary material** The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s00531-020-01914-9>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

✉ Norberto Javier Uriz  
[norjuz@gmail.com](mailto:norjuz@gmail.com)

Jonatan Ariel Arnol  
[arnoljonatan@gmail.com](mailto:arnoljonatan@gmail.com)

Carlos Alberto Cingolani  
[carloscingolani@yahoo.com](mailto:carloscingolani@yahoo.com)

Miguel Angelo Stipp Basei  
[baseimas@usp.br](mailto:baseimas@usp.br)

Paulina Abre  
[paulinabre@yahoo.com.ar](mailto:paulinabre@yahoo.com.ar)

Universidad Nacional de La Plata, Diag. 113 N° 275,  
La Plata, Argentina

<sup>2</sup> División Científica de Geología-Facultad de Ciencias  
Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata  
(UNLP), Paseo del Bosque s/n, 1900, La Plata, Argentina

<sup>3</sup> Instituto de Geociencias, Centro de Pesquisas  
Geocronológicas (CPGeo), Universidade de São Paulo,  
São Paulo, Brazil

<sup>4</sup> Geología y Recursos Minerales, Centro Universitario  
Regional Este, Universidad de la República, Rota 8,  
Treinta y Tres, Uruguay

<sup>1</sup> CIG (UNLP-CONICET) Centro de Investigaciones  
Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo,



## Introduction

Eastward of the present-day Andes lies the Laurentian derived Cuyania terrane (Ramos et al. 1986; Ramos 2004), which is a constituent of the SW margin of Gondwana (Fig. 1) since the Late Cambrian–Late Devonian Famatinian orogenic cycle (Rapela et al. 1992, 1998; Ramos 1999). The Precordillera thin (and partially thick) skinned fold and thrust belt generated by Tertiary shallow east-dipping flat-slab subduction of the Nazca plate expose part of the sedimentary cover of the Cuyania terrane. It encompasses a 500 km north–south elongated belt with a maximum width of 110 km (from 28°30' to 33° S and 68°15' to 69°45' W), along the provinces of La Rioja, San Juan and Mendoza of western Argentina (Fig. 1). The Cuyania terrane is stratigraphically and faunally unique to South America mainly for the Lower Paleozoic carbonate and siliciclastic successions overlying an unexposed igneous–metamorphic continental crust of Mesoproterozoic age (Ramos et al. 1998). In attempts to constrain its allochthonous or para-autochthonous origin with respect to Gondwana, researchers from several standpoints studied it during the last decades (Dalla Salda et al. 1992; Acefola et al. 2002; Finney et al. 2003; Thomas and Astini 2003; and references therein). An array of geological and biostratigraphical evidence constrain the time of docking of the Cuyania terrane to the Middle Ordovician (Ramos 2004 and references therein). Subsequently, and until the Early–Middle Devonian, a time of certain tectonic stability linked to post-collisional regime allowed the development of important peripheral foreland basins.

The Cuyania terrane is bounded to the west by the Chilena suspect terrane and, although its origin is still a matter of debate, its existence is supported by the occurrence of ophiolitic belts and P–T–t constraints indicating a collisional event at ca. 390 Ma, recorded in the Guarguaraz Complex (Willner et al. 2011; Massonne and Calderón 2008).

During the Devonian, the westward subduction of the Gondwana margin below the Chilena terrain triggered the formation of an incipient magmatic arc with the development of small spaced plutons in the eastern margin of Chilena, including, among others, the Pampa de los Avestruces granodiorite, La Menta and Borboran granites (375–390 Ma) in the Frontal Cordillera at approximately 36° S, (Davis et al. 1999; Ticktyj et al. 2015; Cingolani and Ramos 2017 and references; Heredia et al. 2018). The brief subduction process closed the Chanic ocean developed between both continents. The collision and accretion of the Chilena terrane against the proto-Andean margin of Gondwana during the Late Devonian, deformed the Silurian–Devonian sedimentary rocks, event also known as the Chanic tectonic phase (Ramos et al. 1986; Ramos 1999; Davis et al. 1999; Willner et al. 2011; Heredia et al. 2012; 2018; Cingolani

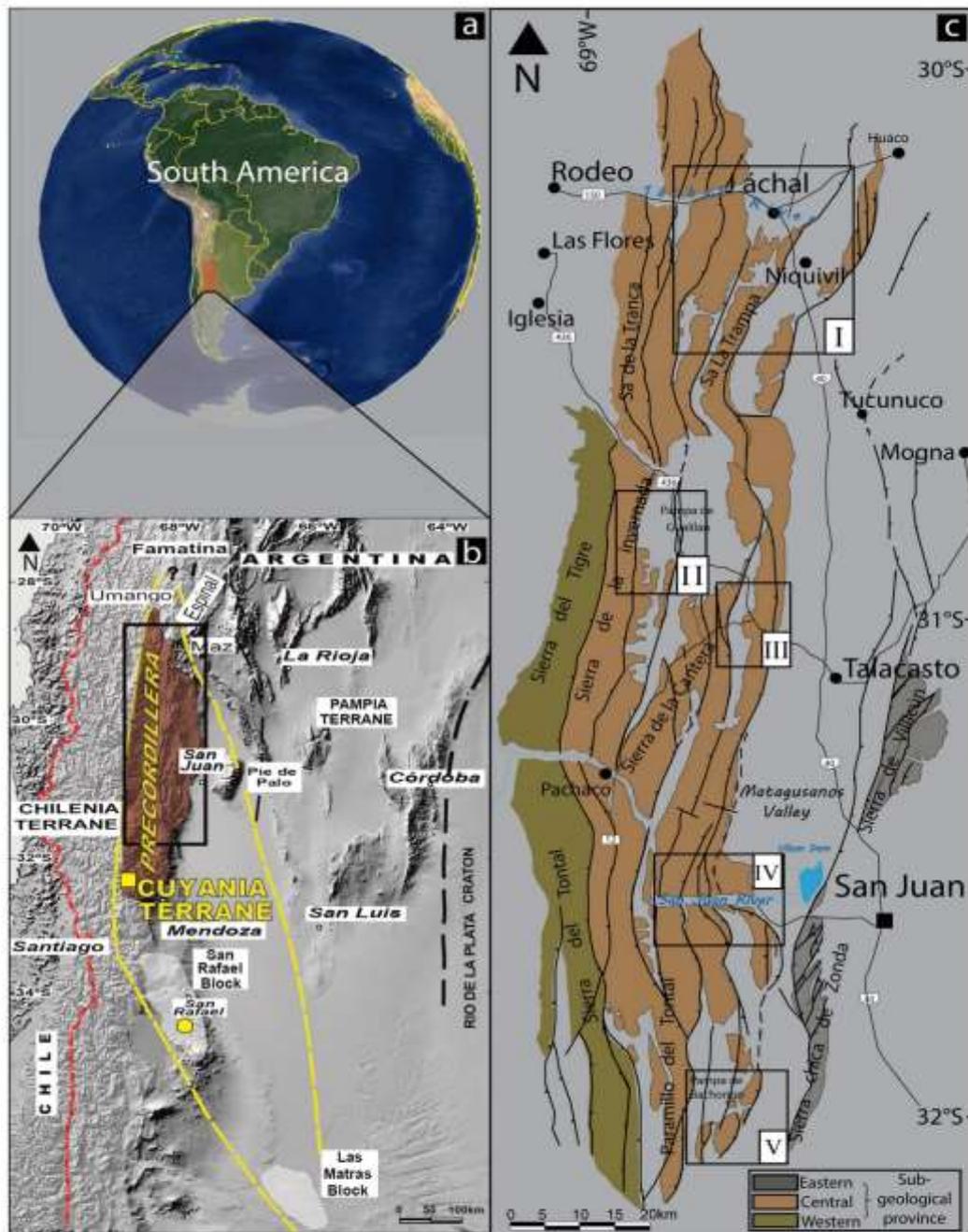
**Fig. 1** **a** Regional location of the study area in South America. **b** Extension of the Precordillera as part of Cuyania terrane. Green square and yellow circle denote outcrops of the Villavicencio and Río Seco de los Castaños formations, respectively. **c** Tectonic subdivisions of the Precordillera. Eastern Precordillera is distinguished by Cambrian–Ordovician carbonate rocks; Central Precordillera shows a predominance of Ordovician carbonate rocks and Silurian–Devonian siliciclastic rocks, and Western Precordillera is characterized by Ordovician siliciclastic rocks. I–IV: studied sections in this work [modified from Ortiz and Zambrano (1981); Astini (1992); Ragona et al. (1995)]

and Ramos 2017). Devonian detrital zircon grains are not recorded in the rocks analysed for this work, probably due to the poor development of the arc, but they are found in the sedimentary rocks deposited in the active margin of southern Chile, overruling a subduction towards east proposed by Willner et al. (2011).

In this tectonic setting, peripheral foreland basins developed in the western margin of the Cuyania terrane during the Devonian. An outstanding depocenter at the Central Precordillera of San Juan province preserves a siliciclastic record known as the Gualilán Group (Baldis 1975), comprising from base to top the Talacasto and Punta Negra formations (Cuerda and Baldis 1971; González Bonorino 1975; González Bonorino and Middleton 1976; Mingramm 1985; Astini 1991a; Peralta 1991; Bustos 1995, 1996; Bustos and Astini 1997; Herrera and Bustos 2001; Basilici et al. 2012; Vieira de Luca and Basilici 2013; Sterren et al. 2015). Deposition within a context of an extensional regime during the Devonian (Peralta 2005a, b, 2013; Peralta et al. 2008, 2010), is not supported by our data. Loske (1992, 1994 and 1995) acquired the first U–Pb detrital zircon ages of the Gualilán Group using the isotope dilution method and already linked main records to a Mesoproterozoic source exposed along the Pie de Palo Range (Fig. 1). This paper focuses on sedimentological features, mineralogical composition, litho geochemistry, and U–Pb detrital zircon dating of the Gualilán Group to unravel its provenance. We assess the tectonic setting of the Devonian peripheral foreland basin in the context of the paleogeography of the SW Gondwana margin. Comparison to other Silurian–Devonian successions within the Cuyania terrane (i.e., Villavicencio and Río Seco de los Castaños formations) is also achieved, to constrain the paleogeographical evolution of depocentres.

## Geological setting and stratigraphy

The Gualilán Group constitutes the principal Devonian succession of the Central Precordillera (Ortiz and Zambrano 1981) which integrates part of the so-called Eastern tectofacies (Astini 1992) of San Juan Province, Argentina. Its outcrops extend mainly throughout north–south ranges such as Trampa, Durazno, Talacasto, Las Crucécitas, Cerro Negro,



La Chilca, Del Fuerte, among others. The Gualilán Group is in paraconcordance onto Silurian successions, either Tambolar Formation in the southern part of the basin or Los Espejos Formation in its central-northern area (Astini 1996; Astini and Mareto 1996). The Gualilán Group comprises the Talacasto (Padula et al. 1967) and the Punta Negra formations (Braccacini 1949). Both units conform a Devonian sedimentary cycle (Baldis 1975) with main outcrops distributed in between the Jáchal River towards the north (30° S) and the San Juan River to the south (32° 31' S) along the Central Precordillera (Fig. 2).

The *Talacasto Formation* was deposited on a marine shelf and is characterized by a transition from shale-dominated deposits at the base, towards bioturbated sandstones near the top of the unit (Baldis 1975; Astini 1991b; Keller 1999) with intercalated fine-grained sandstones and carbonate nodules (Astini 1990a). At Loma de los Piojos (Fig. 3f–h), the succession is 1145 m thick, whereas at the San Juan River area, it has a thickness of only ca. 100 m. The paleobiological content includes a rich association of

marine invertebrates, largely brachiopods (Fig. 3i) linked to the Malvinokaffric fauna (Baldis and Rossi de García 1972; Amos and Boucot 1963; Herrera 1993, 1995a, b; Levy and Nullo 1970a, b; Racheboeuf and Herrera 1994; Racheboeuf et al. 1998; Sánchez et al. 1991; Rustán and Vaccari 2010; Carrera and Rustán 2015; Salas et al. 2013). Based on brachiopods Sánchez et al. (1991) and Herrera (1993) assigned an early Lochkovian age to the base of the unit (Fig. 2). A relevant ochre layer of approximately 10 m thick that can be traced more than 100 km in horizontal direction occurs in the central and northern sectors of the basin (Fig. 3g); the age of this bed is around the Pragian-Emsian boundary (Rustán 2011), as determined by its fossil record (essentially trilobites and brachiopods). This so-called “*Pleurotomaria* horizon” (Keidel 1921), is an excellent guide level within the Precordillera, demonstrating the diachronism of these units, which become younger towards the north (Herrera 1993; Rustán 2011).

The *Punta Negra Formation* paraconformably overlays the Talacasto Formation, and it is a thick succession of turbidite (flysch-like) deposits (Borrello 1969; González Bonorino 1975; Keller 1999) interpreted by Bustos and Astini (1997) as deposited in a fan-delta environment. It is composed of well-sorted sandstones, green greywackes, arkoses and shales and few conglomerates. Several sedimentary facies associations have been differentiated throughout the Punta Negra Formation (Edwards et al. 2009; Basilici et al. 2012) from which sandy beds with massive and amalgamated structures and heterolithic facies are dominant (Fig. 3a–c), some of them interpreted as a product of storm events on a shallow shelf (Bustos and Astini 1997; Poiré and Morel 1996). Trace fossils (Fig. 3d) of the *Nereites-Cruziana-Skolithos* ichnofacies are frequent (Peralta and Aceñolaza 1988; Peralta and Ruzicky 1990; Bustos 1996). Throughout the Devonian Punta Negra Formation, fragmentary plant debris are found (Fig. 3e). Species of plants described are *Sporogonites*, *Isidrophyton*, *Salopella*, *Haplostigma* (Edwards et al. 2009) and, more recently, *Haskinsia* (Arnol and Coturel 2017; Coturel and Arnol 2018). The paleoflora would have been transported from their presumed coastal and riverbank environment; the Lower-Middle Devonian assemblage gives further evidence of high-latitude vegetation (Edwards et al. 2001, 2009), and the age coincides with that previously defined by brachiopod fauna according to Herrera and Bustos (2001).

Paleocurrent studies in this unit show a predominance of east–west flow direction (González Bonorino 1975; González Bonorino and Middleton 1976; Bustos 1995; Vieira de Luca and Basilici 2008, 2013; Basilici et al. 2012), with an average movement vector of the flow between 260° and 275° and standard deviations below 38° in all cases (Bustos 1995).

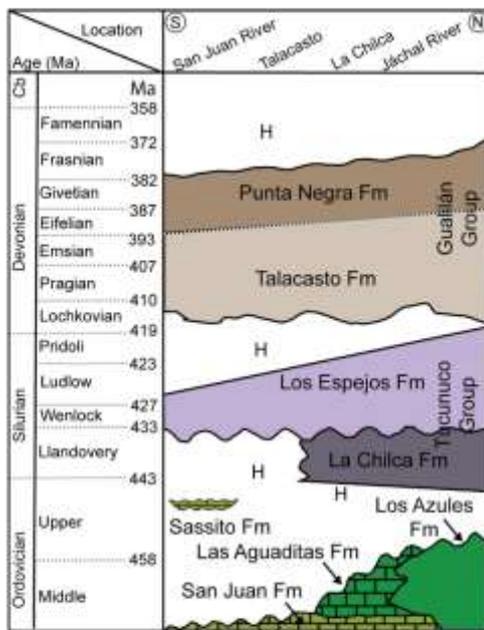


Fig. 2 Stratigraphic column with the different units showing the S to N diachronism of the Central Precordillera. H hiatus [modified from Astini (1996)]

### Sampling and methodology

The Gualilán Group was studied in five different sections covering all the areal development of the basin, both in a north–south and east–west directions (Figs. 4, 5). Descriptions of the selected sedimentological sections were made during fieldworks. All lithological types of the Gualilán Group were sampled. To obtain relevant information regarding each succession, we carried out studies of petrography, heavy minerals, whole-rock geochemistry, Sm–Nd isotopic ratios and U–Pb detrital zircon dating (Table 1).

### Sandstone petrography

A total of 11 thin sections of sandstones were studied under the microscope and quantitatively analysed with a Swift-type point counter. 400 points were counted using the traditional method of Gazzi–Dickinson (Ingersoll et al. 1984) and accordingly, plutonic rock fragments were counted as such, rather than as mineral components. The results were plotted in Q–F–L ternary diagrams (Dickinson et al. 1983). The populations represented in each triangle include detrital grains, except for micas, opaque minerals, chlorite, heavy minerals and carbonate grains. Chert was counted as a sedimentary rock fragment.

### Heavy mineral analysis

Heavy mineral concentrates were obtained from psammitic samples weighing approximately 5 kg, following conventional crushing, milling and sieving; identification and final separation by hand-picking was achieved using a binocular microscope. An electron microscope with EDAX (Philips SEM 505) at Centro de Investigación y Desarrollo de Ciencias Aplicadas (CINDECA, La Plata) helped with the identification of heavy mineral species. One sample from each unit taken at the Talacasto Creek section (16T45 and 16PN43) provided the detrital zircon grains for morphological studies following Pupin (1980):  $n = 37$  for the Talacasto Formation and  $n = 40$  for the Punta Negra Formation. Multiple parameters such as crystal habit (shape), size, elongation, roundness and surface features were examined under the scanning electron microscope (JEOL JSM 6360 LV) at the Museo de La Plata, to determine their morphological and typological parameters to infer source rock types (Gärtner et al. 2013).

### Litho geochemistry

Whole-rock geochemistry of sedimentary rocks reflects the average composition of the crust that shed detritus to a

certain basin (Taylor and McLennan 1985). However, weathering, hydraulic sorting and diagenesis acting from initial erosion of a source rock(s) to the final burial of detritus may modify the signatures of the source rock(s), and therefore, these factors require evaluation to constrain the provenance of a sedimentary succession (Nesbitt and Young 1982; Nesbitt et al. 1996). Fine-grained rocks are the most appropriate for provenance studies because of the sensibility on the mobility of some elements to particle sizes during deposition and diagenesis (Cullers 1995). Ten pulp samples of shales and mudstones were prepared and analysed at ACME Labs, Canada (Table 1). Major elements were obtained by inductively coupled plasma emission spectroscopy (ICP-ES) on fusion beads (Table 2). Loss on ignition (LOI) was determined by igniting a sample split and measuring the weight loss. Rare earth elements (REE) and certain trace elements were analysed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS; Tables 3 and 5).

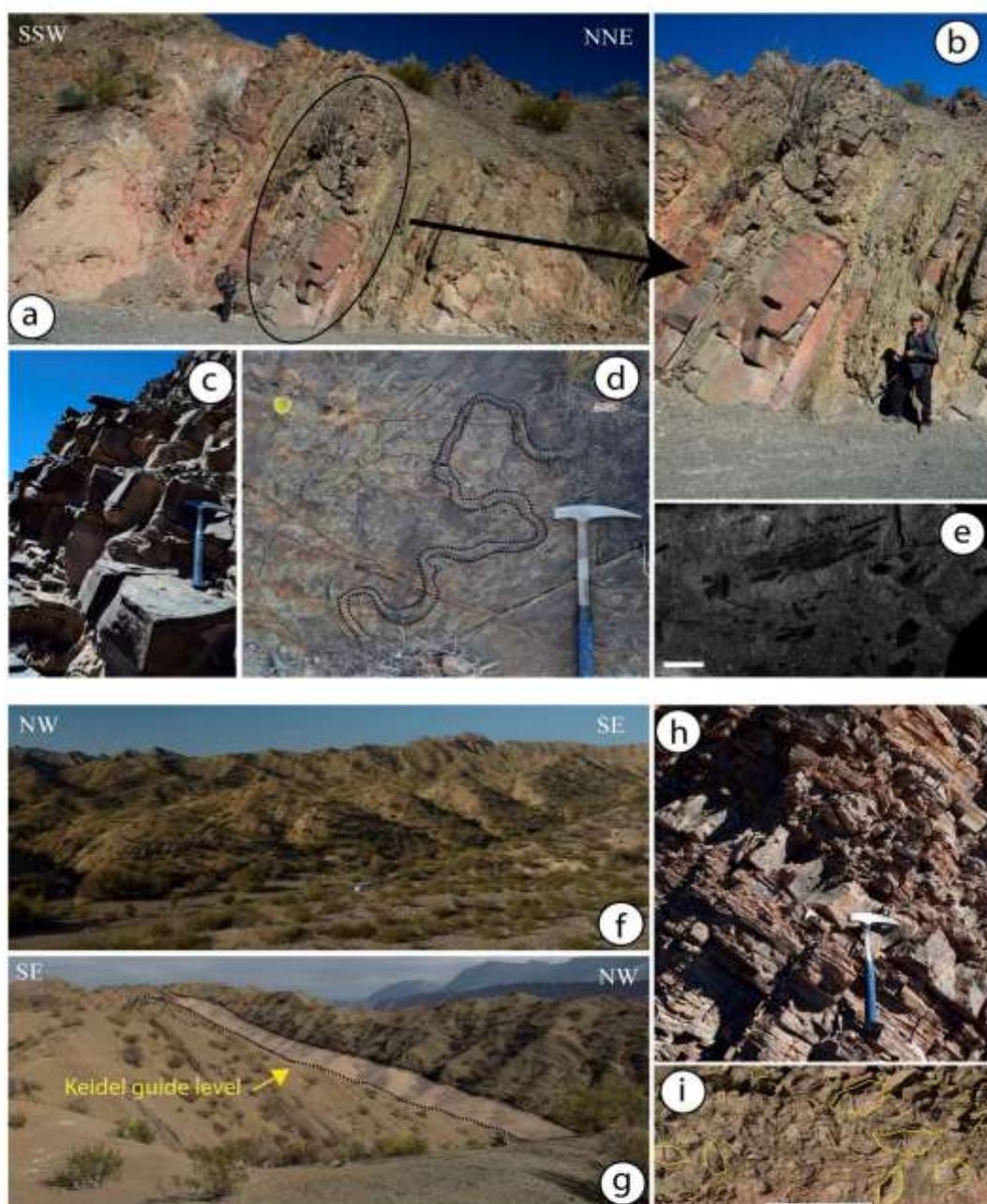
### Whole-rock Sm–Nd isotopes

Sm–Nd isotopes are widely used as provenance indicators (e.g., McLennan et al. 1990, 1993). Nd isotopic signatures of terrigenous sedimentary rocks are the average of the signatures of the various sources from which the sediments were derived (McLennan 1989). Since the Sm/Nd ratio is modified during processes of mantle–crust differentiation it is possible to estimate the time at which the initial magma was separated from the upper mantle, also called the depleted mantle model age or  $T_{DM}$  (DePaolo 1981). The model age of sedimentary rocks should be interpreted as the model ages of those rocks which have contributed to a higher degree to the Sm–Nd ratio of that sediment.

Whole-rock powders were spiked with a tracer and completely dissolved using acids, followed by column procedures using cationic and anionic resins to obtain the Sm and Nd. The isotopic determinations were performed using static mode on a VG sector 54 multi-collector TIMS at the Laboratory of Isotope Geology CPGeo-USP, Brazil (Table 1). The  $\epsilon_{Nd(t)}$  indicates the deviation of the  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  value of the sample from that of CHUR or Chondritic Uniform Reservoir (DePaolo 1981). All Sm/Nd data are shown in the supplementary material.

### U–Pb detrital zircon analyses

Three samples from each formation of the Gualilán Group as depicted in Table 1 were analysed by U–Pb geochronology



**Fig. 3** Field photographs of the studied units. Punta Negra Formation: **a, b, c** Outcrops with the psammitic facies above the pelitic facies in San Juan River. **d** Trace fossil. **e** Plant debris, scale bar=1 cm. Talacasto Formation: **f, g** Regional photographs of the outcrops near Jáchal. **h** Sedimentary succession with the predominance of the pelitic over the psammitic facies. **i** Brachiopods of the *Malvinokaffric* fauna, scale bar=10 cm

using a laser ablation (LA) system coupled to an ICP-MS (Neptune), following the methodology after Sato et al. (2010). Zircon grains were mounted in 2.5 cm-diameter circular epoxy mounts and polished down until they were revealed. The internal texture of each grain was observed using cathodoluminescence (CL) images. The percentage of common Pb was dismissed during data processing;  $^{206}\text{Pb}/^{268}\text{U}$  and  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  ratios were established, and zircons with  $100 \pm 10\%$  degree of concordance were used. The data are portrayed in Concordia or Tera-Wasserburg diagrams generated with the programme Isoplot/Ex (Ludwing 2001). All these procedures were performed at the Centro de Pesquisas Geocronológicas, Universidade de Sao Paulo, Brazil. All LA-ICP-MS zircon data are shown in the supplementary material.

## Results

### Sandstone petrography

Petrographical analysis of sedimentary rocks is useful as a first approach to provenance studies (Dickinson et al. 1983). Results can be enhanced by geochemical and isotope analyses, considering that only the more stable minerals survive weathering and diagenesis.

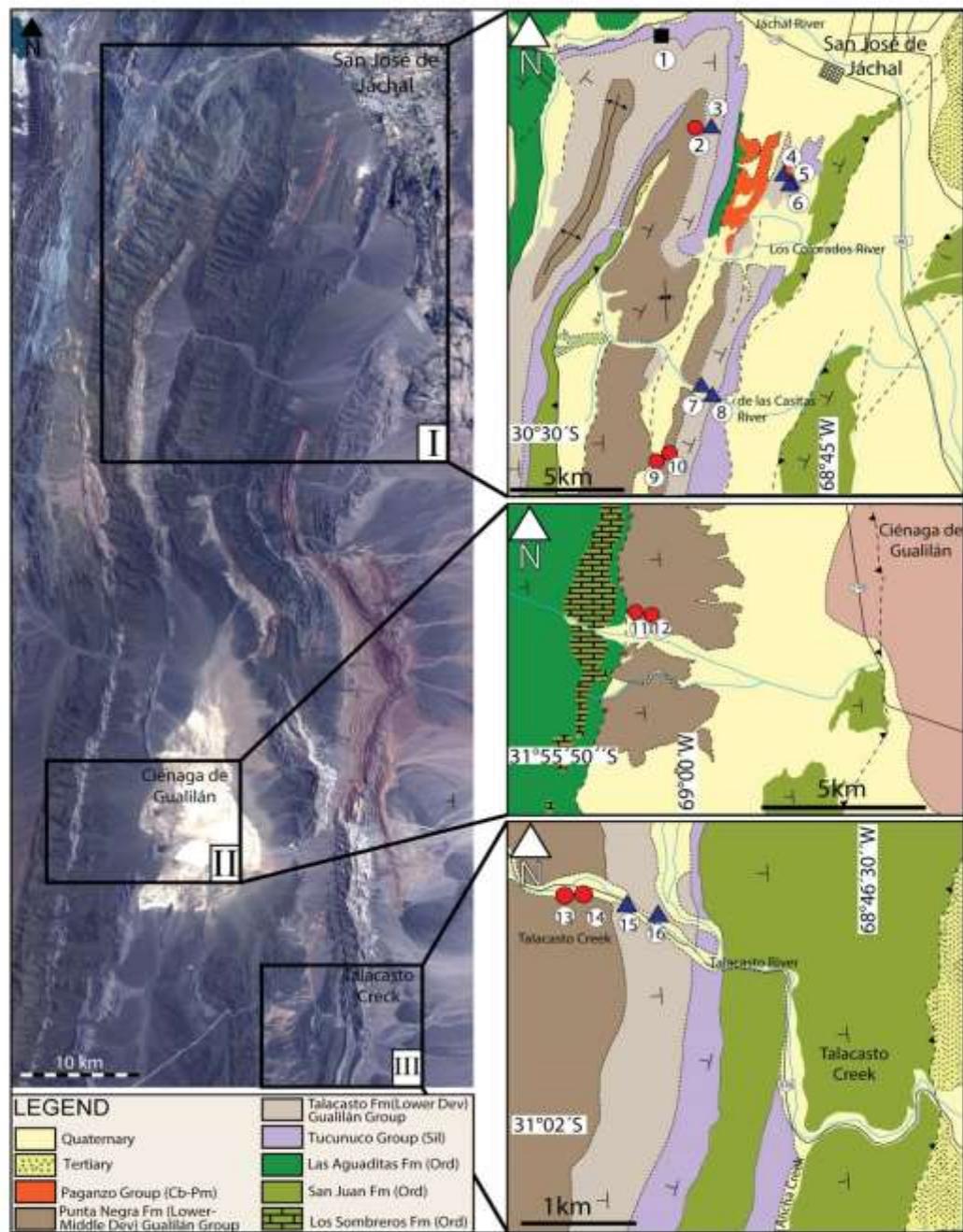
*Talacasto Formation* the five samples analysed are well-sorted, fine-grained sandstones with angular to subangular clasts. Sandstones from the southern sector of the basin show a pervasively altered pseudomatrix and hence a sub-mature texture. Sandstones from the northern sector instead are texturally mature because of the absence (or very scarce) matrix content. Monocrystalline quartz is dominant with normal or undulose extinction and corroded edges. Inclusions of different minerals are occasionally found in quartz, being acicular rutile the commonest. Grain size decreases from south to north, and so the abundance of polycrystalline quartz.

Feldspar is a minor elastic constituent in samples from the central and northern parts of the basin. Plagioclase (around 3%) is present in all samples, showing polysynthetic twinning and slightly altered edges; numerous crystals have a

deformed twinning pattern (Fig. 6). Alteration of Potassium feldspar is strong, and carbonate completely replaced some grains. Lithoclasts become more abundant towards the south of the basin; they are mostly of metamorphic origin and contain sparse feldspar. Among the accessory minerals, phyllosilicates are abundant: detrital biotite is squeezed in between resistant minerals and muscovite is finer and less deformed. Very fine-grained white mica and chlorite are present as cement or disseminated crystals. Translucent heavy minerals include zircon, apatite, tourmaline, rutile, epidote among others. An exception is sample 16T56, because it is a medium-grained sandstone predominantly composed of mono- and polycrystalline quartz, and metamorphic lithoclasts. Euhedral reddish crystals, often in aggregates, were preliminarily identified as spinel. Brachiopod shells of *Australospirifer?* and *Australocoelia palmate* of calcitic composition were determined. Palynomorphs are also recognized, but to further determine them is beyond the scope of this work (Fig. 6).

*Punta Negra Formation* six samples of medium to fine-grained, moderately well-sorted sandstones were analysed (Fig. 6). Detrital grains are subangular to subrounded, and the matrix is less than 15% in all samples. Monocrystalline quartz prevails, showing undulose extinction, slightly dissolved edges, and sometimes displaying mineral inclusions. Polycrystalline quartz is considerably abundant, reaching 25% in some samples. Metamorphic lithoclasts derived from schists are the second component in order of abundance, and less common are felsic lithoclasts sourced from volcanic and plutonic rocks. The third component in order of abundance is potassium feldspar showing edges altered to sericite; microcline and exsolved perthitic feldspar are present. As set out for the Talacasto Formation, plagioclase show distorted twin lamellae and, in some cases, they are altered at edges or inside the crystal (Fig. 6). Detrital biotite and muscovite are common. Biotite is very deformed, whereas muscovite tends to be shorter, tabular and preserves its original shape. Detrital and authigenic chlorite is markedly present. Muscovite, chlorite and feldspars define banded microstructures. Translucent heavy minerals include zircon, tourmaline, rutile, garnet, epidote, monazite and spinel. Hematite and magnetite are also present. The matrix is predominantly composed of quartz, K-feldspar and plagioclase. The cement is rich in clay minerals with occasional carbonate.

In the Q-F-L ternary diagram the samples from both units plot in the recycled orogen field. In the Qm-F-Lt diagram samples from the Talacasto Formation indicate a mixed provenance, whereas those from the Punta Negra Formation plot in the transitional recycled field (Fig. 7).



**Fig. 4** Northern Precordillera studied areas, San Juan province. Samples: "blue coloured triangle" Talacasto Formation; "red coloured circle" Punta Negra Formation; "black coloured square" Los Espejos Formation

### Heavy mineral analysis

The morphology of zircon can be greatly affected as a result of long transport and reworking during a sedimentary cycle (Dickinson and Gehrels 2003), morphological studies are useful as broad indicators of source rock types (Pupin 1980). The occurrence of zircon with different morphologies in sandstones is usually indicative of source mixing.

The detrital heavy mineral assemblage of the Talacasto Formation comprises zircon, tourmaline, rutile, epidote, apatite, garnet, staurolite, chromian spinel and magnetite (Fig. 8). Samples of the Punta Negra Formation comprise the aforementioned minerals accompanied by monazite and titanite; unlike the Talacasto Formation, spinel are rather absent.

### Zircon morphology

Zircon is widely used in provenance studies, and it is the most abundant accessory mineral of the Gualilán Group. From the same samples used for U–Pb zircon dating of both formations, we randomly selected crystals to analysed their morphology.

Zircon crystals classify in three main morphological groups and several families. Group 1 comprises 30 and 35% of the crystals (from the Punta Negra and Talacasto formations, respectively), showing short prismatic shapes with bipyramidal faces and simple facets indicating derivation from plutonic sources. Group 2 includes 60 to 62% of the crystals (from the Talacasto and Punta Negra formations, respectively), showing short prismatic, multifaceted shapes and correspond to grains associated with a probable metamorphic event. Rounded crystals not ascribed to a particular morphology evidencing long history of transport and recycling from a craton interior sum up 2.7% for the Talacasto, and 10% for the Punta Negra formations (Fig. 9).

### Litho geochemistry

The geochemical composition of sedimentary rocks depends fundamentally on the nature of the sources from which they derive, and on the processes they experienced, such as weathering, transport, and subsequent deposition and diagenesis.

The low mobility of some trace elements and REE during deposition and diagenesis make the fine-grained sandstone and claystone the most appropriate rocks for provenance analysis based on geochemistry (Cullers 1995); it is a valuable tool to decipher the provenance of matrix-rich sandstones and wackes. Because ratios of certain trace elements and REE remain largely unchanged from source to sink they are used in numerous diagrams to determine, for instance, the average chemical composition of the set of source rocks that provided debris to the sedimentary rocks under study. Particularly useful are the ratios between compatible and incompatible elements (i.e., Zr/Sc, Th/Sc), although ratios between elements of the same compatibility (i.e., Cr/V, La/Th) are also helpful (McLennan et al. 1993). Specific ratios such as Th/Sc and the type of the Eu-anomaly (positive, negative or absent), are also important indicators of the composition of the source rocks, particularly when compared to the Upper Continental Crust (UCC) average values (McLennan et al. 1993).

### Sorting and weathering

Both units of the Gualilán Group display a similar distribution of major elements (Table 2). A sample from the Silurian Los Espejos Formation is used for comparison, and it is noteworthy that it shows similar values, except for a lower concentration of SiO<sub>2</sub>, a higher concentration of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and a notable amount of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (2 wt%).

The chemical index of alteration (CIA) helps to evaluate the degree of weathering of the analysed rocks. Samples from the Gualilán Group (Talacasto and Punta Negra formations) show CIA values between 71.1 and 75.9 (Table 2), implying a moderate weathering. The sample 16LE29 (Los Espejos Formation) has a CIA value of 67.9 (Table 2), therefore, in the same range of weathering.

In the A-CN-K diagram (Fig. 10a; Fedo et al. 1995), both units studied show a normal weathering trend from average granite composition (more felsic than average UCC).

During weathering and recycling, there is a tendency for an elevation of the Th/U ratio above upper crustal igneous values of 3.8–4.0. This is because under oxidizing conditions U<sup>+4</sup> oxides to the more soluble U<sup>+6</sup> becoming more easily removed from sediments than Th (McLennan et al. 1993). Samples from the Talacasto Formation show Th and U averages of 14.04 ppm and 3.06 ppm, whereas the Punta Negra Formation display average values of 14.1 ppm and 3.4 ppm, respectively (Table 3), being, therefore, essentially similar to Post-Archaean Australian Shales (PAAS) averages (Th = 14.6 ppm and U = 3.1 ppm). In the Th/U vs.

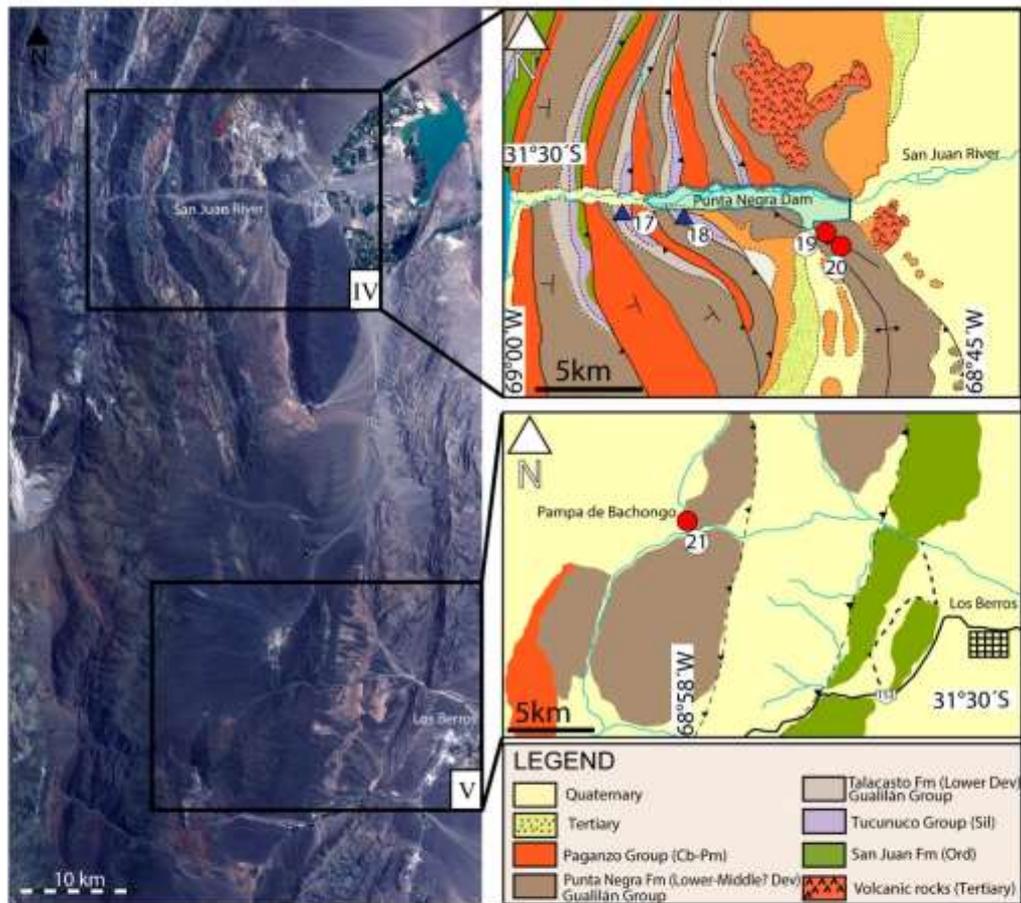


Fig. 5 Southern Precordillera studied areas, San Juan province. Samples: "blue coloured triangle" Talacasto Formation; "red coloured circle" Punta Negra Formation

Th diagram, the samples analysed from the Gualilán Group show a derivation from average UCC (Fig. 10b1) and, therefore, in coincidence with CIA values indicate moderate weathering (Table 1).

#### Source composition

Due to the immobile behaviour of the trace elements (particularly high field strength elements), they are useful for provenance analysis, since they preserve characteristics of

the source rocks and, therefore, reflect provenance compositions. Ratios such as Th/Sc, Zr/Sc and Cr/V, along with the REE distribution pattern, provide some of the most useful data for provenance determination (Taylor and McLennan 1985).

Zr/Sc vs Th/Sc are useful for provenance analyses. Samples from the Gualilán Group show Th/Sc ratios ranging from 0.68 to 0.83, whereas the Zr/Sc ratios vary between 8.58 and 18.23 (Table 4). In the Zr/Sc vs Th/Sc diagram (Fig. 10b2) it is evident that reworking was insignificant and

**Table 1** Number, rock type, analyses and geographical coordinates of samples

Units	Number	Rock type	Sample	Geographic coordinates	Methodologies
Punta Negra Fm (Lower-Middle Devonian)	9	Sandstone	16PN33	30°31'07.00"S 68°52'39.00"W	Petrography, U/Pb
	10	Shale/Mudstone	16PN34	30°31'07.00"S 68°52'39.10"W	Geochemistry, Sm/Nd
	13	Sandstone	16PN43	30°0.1'00"S 68°47'38.00"W	Petrography, U/Pb, Zr Morphology
	14	Shale/Mudstone	16PN44	30°0.05'00"S 68°43'34.00"W	Geochemistry, Sm/Nd
	11	Shale/Mudstone	16PN52	30°50'48.68"S 69°0'46.54"W	Geochemistry
	12	Sandstone	16PN54	30°50'50.79"S 69°0'55.23"W	Petrography
	19	Shale/Mudstone	16PN58	31°32'54.53"S 68°49'58.29"W	Geochemistry
	20	Sandstone	16PN59	31°32'0.49"S 68°49'42.74"W	Petrography
	2	Sandstone	17PN07	30°17'50.28"S 68°50'53.64"W	Petrography, U/Pb
	21	Sandstone	17PN18	31°53'45.18"S 68°49'35.46"W	Petrography
Talacasto Fm (Lower Devonian)	3	Sandstone	17T04	30°18'11.88"S 68°50.4'80"W	Petrography, U/Pb
	4	Shale/Mudstone	16T08	30°17'04"S 68°46'51.00"W	Geochemistry, Sm/Nd
	6	Shale/Mudstone	16T11	30°31'32"S 68°54'11.00"W	Geochemistry, Sm/Nd
	7	Shale/Mudstone	16T38	30°17'47.00"S 68°46'33.00"W	Geochemistry, Sm/Nd
	8	Sandstone	16T40	30°28'4.35"S 68°50'10.00"W	Petrography, U/Pb
	15	Sandstone	16T45	31°09.99"S 68°46'50.00"W	Petrography, U/Pb, Zr Morphology
	16	Shale/Mudstone	16T46	31°0'10.00"S 68°46'50.00"W	Geochemistry, Sm/Nd
	5	Sandstone	16T56	31°17'39.10"S 68°46'42.56"W	Petrography
	17	Sandstone	16T64	31°31'54.63"S 68°54'53.29"W	Petrography
18	Shale/Mudstone	16T65	31°31'54.63"S 68°54'53.15"W	Geochemistry	
Los Espejos Fm (Silurian)	1	Shale/Mudstone	16LE29	30°12'35.25"S 68°53'7.90"W	Geochemistry, Sm/Nd

The number is related to Figs. 4, 5

**Table 2** Major elements (expressed in wt%) of shales and mudstone samples from the Gualilán Group, including CIA values

Formation	Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	LOI	Sum	CIA
Punta Negra	16PN34	57.92	19.08	7.57	2.59	0.53	1.15	4.39	0.99	0.15	0.06	5.3	99.81	75.9
	16PN44	54.12	18.92	9.26	3.78	1.56	1.99	4.15	1.07	0.18	0.09	4.5	99.77	71.1
	16PN52	54.28	19.58	8.32	2.61	1.27	1.25	4.56	1.08	0.21	0.07	6.5	99.80	73.4
	16PN58	55.82	19.05	8.67	3.23	0.70	1.79	4.59	1.01	0.26	0.09	4.5	99.79	72.9
Talacasto	16T08	59.14	18.64	7.29	2.12	0.84	1.31	4.04	0.85	0.13	0.07	5.3	99.83	75.1
	16T11	61.86	16.60	7.08	2.24	1.03	1.67	3.32	0.92	0.18	0.06	4.8	99.84	73.4
	16T38	58.24	18.41	8.34	2.52	0.81	1.46	3.81	0.94	0.17	0.07	5.0	99.82	75.2
	16T46	65.74	14.86	6.56	1.98	0.88	1.80	3.05	0.90	0.16	0.05	3.8	99.81	72.2
	16T65	59.28	18.55	7.93	2.59	0.39	1.43	4.19	0.96	0.10	0.12	4.2	99.80	75.5
Los Espejos	16LE29	51.01	20.45	7.85	2.74	3.35	1.60	4.71	0.88	2.1	0.09	4.9	99.75	67.9
	UCC	65.89	15.17	4.49	2.2	4.19	3.89	3.39	0.5	0.2	0.07		99.98	56.9

that the lack of Th and Zr enrichments suggest derivation from unrecycled average UCC; in Fig. 10b2 the fine-grained samples (shales and mudstones) plot towards the UCC line. The Los Espejos Formation shows a pattern similar to the Gualilán Group, with Th/U of 3.95, Zr/Sc of 7.9 and Th/Sc of 0.69.

Cr/V vs Y/Ni (Fig. 10c1) and La/Th vs Hf (Fig. 10c2) diagrams help to strengthen a derivation from felsic unrecycled

sources for the sediments that filled the Devonian basin in the Precordillera region. La/Th ratios varying between 1.91 and 3.25 (Table 5) are similar to UCC (red square). The Silurian Los Espejos Formation was probably also fed by a felsic source; the high Y/Ni ratio of 2.55 is presumably linked to the presence of apatite.

The shape of the REE patterns can provide information about both, bulk compositions and nature of the source

**Table 3** Trace elements (expressed in ppm) of shales and mudstone samples from the Gualilán Group and the Silurian Los Espejos Formation for comparison

Formation	Sample	Ba	Ni	Sc	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sa	Sr	Ta
Punta Negra	16PN34	578	50	20	4	15.2	9.1	23.2	5.1	16.2	190.9	4	63.6	1.3
	16PN44	763	56	19	4	23.9	3.8	25.6	6.4	17.2	156.7	3	154.8	1.3
	16PN52	648	61	22	4	18.7	9.3	24.7	5.5	17.3	196.1	4	87.3	1.3
	16PN58	705	44	19	4	19.3	5.0	25.4	6.2	17.0	176.1	4	91.1	1.2
Talacasto	16T08	693	34	19	3	17.0	8.8	23.7	4.6	16.6	179.6	4	71.1	1.3
	16T11	455	53	18	4	17.5	6.7	20.3	6.2	16.3	141.5	4	73.9	1.5
	16T38	501	42	20	3	15.6	7.5	22.9	4.8	16.3	168.5	4	66.7	1.5
	16T46	411	41	15	3	16.5	5.9	16.0	7.1	14.9	131.2	3	84.5	1.4
Los Espejos	16T65	436	48	20	3	20.1	9.1	22.2	5.6	16.8	186.1	4	59.0	1.2
	16T29	625	45	23	5	17.3	11.1	26.8	5.0	15.8	209.6	4	101.8	1.2
Formation	Sample	Th	U	V	W	Zr	Y	Mo	Cu	Pb	Zn	As	Bi	Cr
Punta Negra	16PN34	14.3	3.3	168	14.6	177.4	29.3	0.6	48.2	17.7	134	1.8	0.4	115.9
	16PN44	13.0	3.3	152	27.8	230.7	38.7	0.4	51.7	15.1	152	5.0	0.3	109.4
	16PN52	14.9	3.6	185	1.8	192.9	38.7	0.9	51.4	18.5	146	6.7	0.5	123.9
	16PN58	14.2	3.5	145	1.8	215.9	46.8	0.5	58.4	17.0	166	2.3	0.3	88.4
Talacasto	16T08	15.8	3.4	164	29.9	163.1	32.1	1.2	37.0	23.2	119	14.2	0.7	82.0
	16T11	13.3	2.9	139	73.4	223.1	32.5	0.8	31.3	15.7	112	6.1	0.4	82.0
	16T38	13.6	2.8	159	29.4	179.3	34.4	0.6	35.2	17.6	135	3.3	0.5	95.4
	16T46	12.4	3.1	131	81.6	273.5	32.6	1.1	22.8	12.7	100	10.0	0.2	82.5
Los Espejos	16T65	15.1	3.1	201	2.5	197.1	32.6	bdl	30.5	16.9	147	1.4	0.5	96.4
	16T29	15.8	4.0	204	25.6	181.7	114.6	1.3	34.0	19.8	119	5.7	0.6	95.8

bdl below detection limit

(McLennan and Taylor 1991). The chondrite-normalized REE diagram for the Gualilán Group shows a moderately enriched light rare earth elements (LREE) pattern, a negative Eu-anomaly, and a rather flat heavy rare earth elements (HREE) distribution (Fig. 10d), being, therefore, essentially similar to the PAAS (Nance and Taylor 1977) and to the UCC (Rudnick and Gao 2003). As depicted in Fig. 10d, the sample 16LE29 from the Silurian Los Espejos Formation shows enrichment in REE compared to the Gualilán Group.

### Isotope geochemistry

The Sm–Nd isotope system is a good provenance indicator, since it aids in the determination of the grade of fractionation and the average crustal residence time of the detrital mix (McLennan et al. 1990). This is because the system is usually not reset by processes operating during erosion, sedimentation and metamorphism (DePaolo 1981; McDaniel et al. 1997; Goldstein et al. 1997).

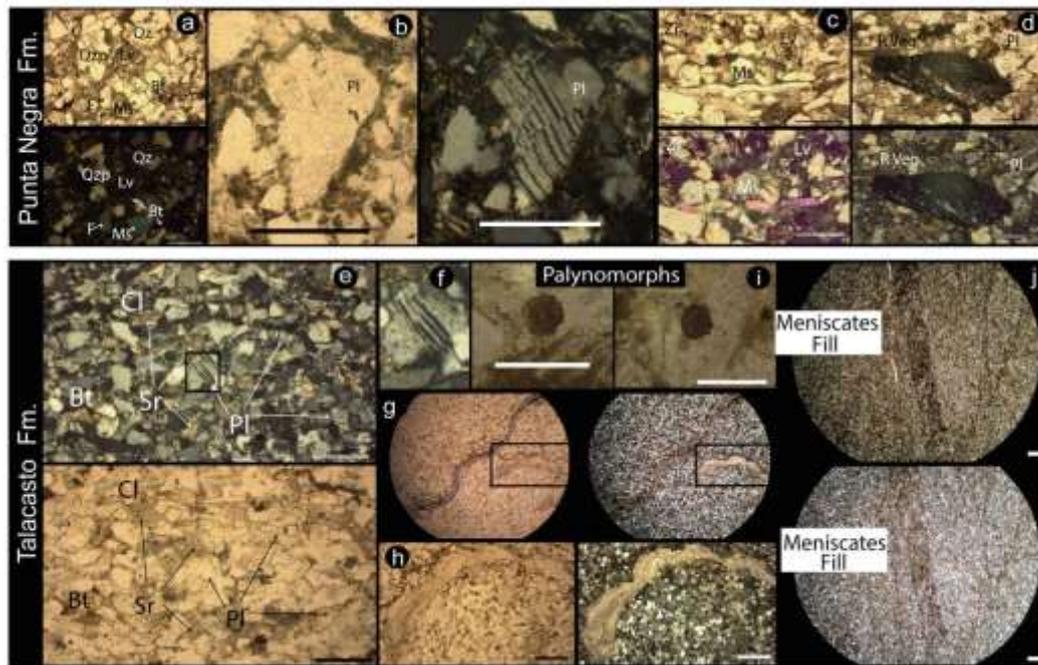
Samples of the Talacasto Formation ( $t = ca. 410$  Ma, biostratigraphic age) show  $T_{DM}$  ages between 1.40 and 1.46 Ga (Early Mesoproterozoic) and  $\epsilon_{Nd(t)}$  values ranging from  $-9.83$  to  $-10.36$  (Fig. 11). The Punta Negra

Formation ( $t = ca. 390$  Ma, biostratigraphic age) displays  $T_{DM}$  ages between 1.45 and 1.5 Ga (Early Mesoproterozoic), whereas  $\epsilon_{Nd(t)}$  values range from  $-9.21$  to  $-11.13$  (Fig. 11). A single data from Los Espejos Formation ( $t = ca. 423$  Ma), has a model age of 2.2 Ga (Paleoproterozoic) and  $\epsilon_{Nd(t)}$  of  $-7.65$ , but isotopic fractionation cannot be completely ruled out based on a single data (Fig. 11).

### U/Pb detrital zircon ages

Detrital zircon dating gives insights regarding felsic source rocks ages, and guide the understanding of continental crust growth and recycling (Fedó et al. 2003). We sampled both formations of the Gualilán Group at each locality of the study area (Fig. 12).

At the section of Las Aguaditas Creek (Fig. 13), the sample from the Talacasto Formation (17T04;  $N = 94$ ) is characterized by a dominance (37.2%) of detrital zircon grains with ages ranging from 975 to 520 Ma (Neoproterozoic–Early Cambrian), derived from rocks of the Pampean–Brazilian orogenic cycle. The Famatinian (Middle/Late Cambrian–Devonian) and Grenvillian–Sunsas (Mesoproterozoic) orogenic cycles are represented by 27.7% of the detrital zircon each, with an age range between 519–427 and



**Fig. 6** Microphotographs of rock samples from the Punta Negra (**a, b, c, d**) and Talacasto (**e, f, g, h, i, j**) formations. *Qtz* quartz, *Qzp* polycrystalline quartz, *Pl* plagioclase, *F* K-feldspar, *L* lithoclasts, *Lv* volcanic lithoclasts, *Ma* muscovite, *Bt* biotite, *Zr* zircon, *Cl* chlorite, *Sr* sericite, *R* veg plant debris. Scale bar = 100  $\mu$ m

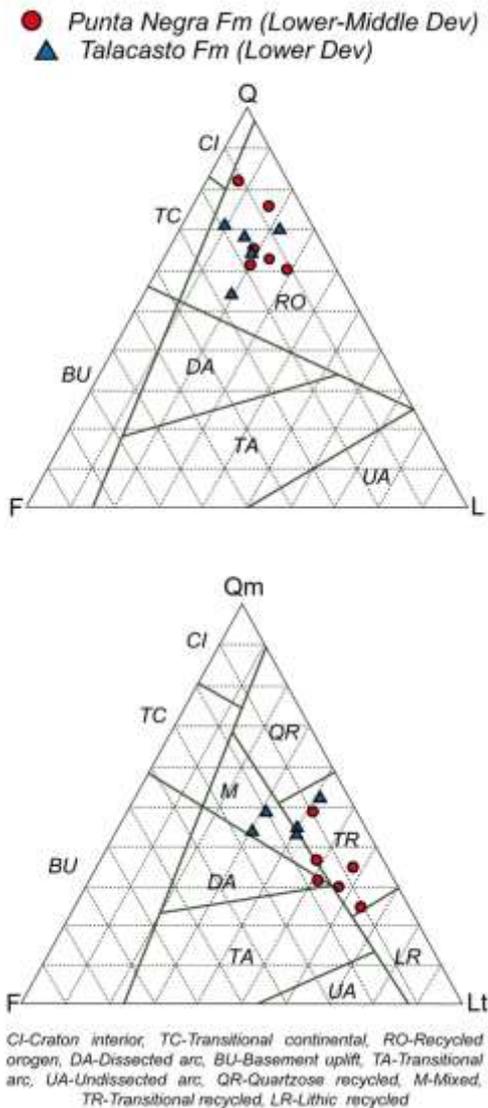
1494–1055 Ma, respectively. The oldest zircons are from the Transamazonian (Paleoproterozoic) orogenic cycle, with 7.4% of the ages between 1896 and 1608 Ma.

The main peak of detrital zircon ages of the Punta Negra Formation (17PN07;  $N=69$ ) is Mesoproterozoic (53.5%), with ages ranging from 1472 to 1014 Ma, 56.7% are Stenian (1193–1014 Ma). The second peak in order of abundance (28.2%) comprises ages of Pampean–Brazilian orogenic cycle, including Early Cambrian (521–536 Ma) and Neoproterozoic ages (577–996 Ma). A third cluster (12.7%), with an age range from 517 to 400 Ma records the Famatinian (Middle/Late Cambrian–Devonian) orogenic cycle. The oldest detrital zircon ages are Paleoproterozoic (5.6%; 1953–1617 Ma).

At the Río de las Casitas section (Fig. 14), the Talacasto Formation (16T40;  $N=20$ ), shows 38.1% of detrital

zircon with Mesoproterozoic ages ranging from 1383 to 1018 Ma. The Pampean–Brazilian orogenic cycle (Neoproterozoic–Early Cambrian) records 33.3% of ages between 953 and 544 Ma, whereas Famatinian ages (28.6%) cluster between 515 and 397 Ma.

The Punta Negra Formation, represented by sample 16PN33 ( $N=105$ ), is characterized by 60% of Mesoproterozoic zircon grains. This population comprises 66.6% of Stenian ages (1194–1010 Ma), 25.4% of Ectasian ages (1348–1202 Ma), and 8% of Calymmian ages (1505–1405 Ma). Famatinian ages (30.5%) are dominated by Ordovician detrital zircon grains (484–453 Ma, 82%), and minor Middle and Late Cambrian (485–518 Ma), Silurian (429 Ma) and Devonian (417 Ma) zircon dates. The Pampean–Brazilian orogenic cycle (Neoproterozoic–Early Cambrian) is represented by 6.2% of the analysed zircon,



**Fig. 7** Provenance ternary diagrams after Dickinson et al. (1983) showing distribution of the sandstone samples from the Gualilán Group. F feldspar, Qf total quartz, Lt total lithoclasts (including polycrystalline quartz), Qm monocrystalline quartz, L lithoclasts

with ages between 946 and 525 Ma. The age of 1810 Ma is assigned to the Transamazonian orogenic cycle, whereas detrital zircon grains in the age range of 2588–2564 Ma are derived from Archean sources.

At the Talacasto Creek (Fig. 15), the Talacasto Formation (sample 16T45;  $N=80$ ) displays two main populations represented by 37.5% of detrital zircon grains. One population is Mesoproterozoic with ages between 1579–1061 Ma (Grenvillian-Sunsas orogenic cycles), whereas the other one records the Pampean–Brazilian orogenic cycle (Neoproterozoic–Early Cambrian), with ages between 848–521 Ma. The Famatinian orogenic cycle (Middle/Late Cambrian–Devonian) with 16.3% of the total grains, comprises Late Cambrian (519–491 Ma) and Ordovician (480–467 Ma) ages. The Paleoproterozoic ages (8.8%) range between 2133 and 1624 Ma.

The Punta Negra Formation is represented by sample 16PN43 ( $N=87$ ) and shows conspicuous Mesoproterozoic sources (94.3%), where the Stenian (1000–1200 Ma) interval comprises more than 50% of the zircon grains analysed. Neoproterozoic ages (897–996 Ma) are subordinate (3.4%). Famatinian (374–496 Ma) zircon ages represent 2.2% of the total.

In summary, the Talacasto Formation displays equally distributed ages of the Grenvillian-Sunsas, Pampean–Brazilian and Famatinian orogenic cycles (Fig. 16). The age of the youngest zircon is  $397 \pm 43$  Ma, and the oldest is  $2133 \pm 21$  Ma. The Punta Negra Formation instead, exhibits a major contribution from source rocks of the Grenvillian-Sunsas orogenic cycle. The age of the youngest zircon is  $374 \pm 2$  Ma, whereas the oldest is  $2588 \pm 24$  Ma. The two formations share a common Mesoproterozoic provenance, although the distribution of such source within the basin is uneven. Detrital contributions derived from Famatinian and Pampean–Brazilian source rocks are greater towards the north (Fig. 16).

## Discussion

Following the classification of Folk et al. (1970), the rocks are sandstones (litharenites), as formerly established by Bustos (1995), instead of wackes as proposed by other authors (e.g., Loske 1994). Q-F-L diagram indicates a depositional basin linked to an orogen for the Gualilán Group, and the Qm-F-Lt diagram further shows an increase, towards younger ages, of the input of detritus derived from

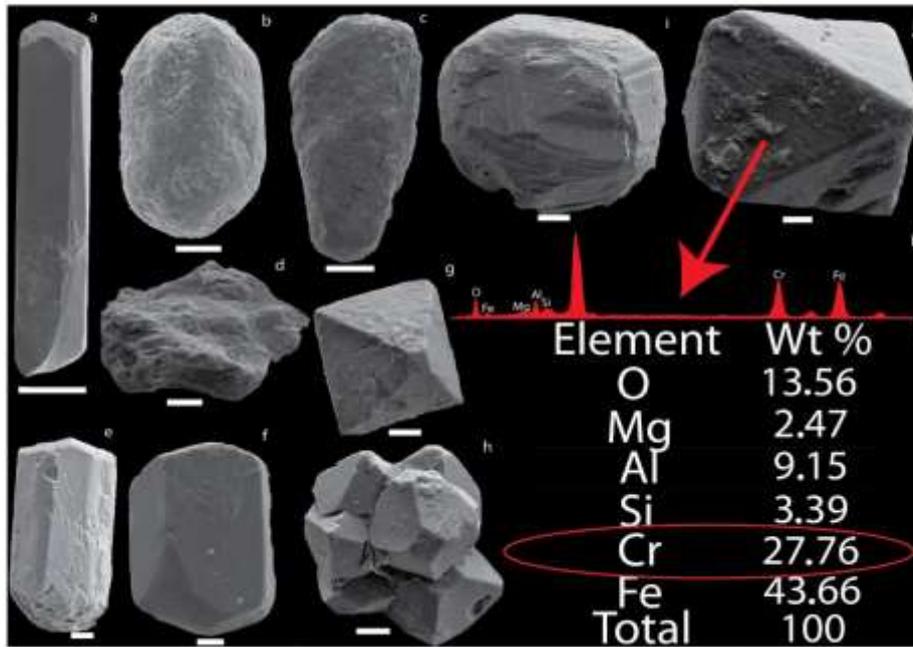
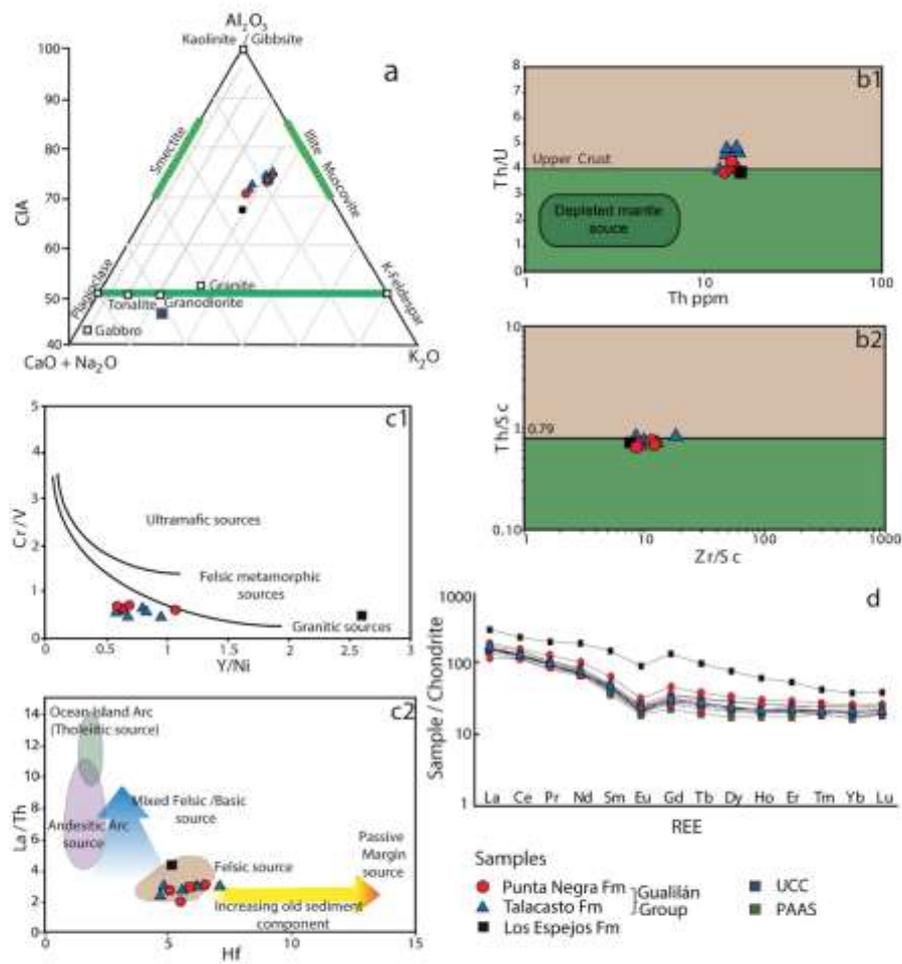


Fig. 8 Association of heavy minerals of the Guallán Group. **a, b, e** Rutile. **d** Epidote. **e, f** Tourmaline. **g, h** Spinel. **i** Garnet. **j** Chromian Spinel. **k** Elements recognized by EDAX. **l** Semi-quantification of elements in EDAX. Scale bar = 100  $\mu$ m

Unit	Group	Morphology	Families	Elongation (E)	Dimensions	Typology	Image
Guallián Group	Punta Negra Formation Plutonic	Short prismatic crystals, bipyramidal faces and simple facets	F1	< 0.60-0.40	Width: 90.8 $\mu$ m-120.3 $\mu$ m Length: 156.1 $\mu$ m-200.3 $\mu$ m	P2, P4, J5 P1, P2	
			F2	< 0.40-0.33	Width: 58.8 $\mu$ m-108.5 $\mu$ m Length: 166.6 $\mu$ m-210.6 $\mu$ m		
	Metamorphic	Short prismatic crystals, multifaceted	F1	1-0.67	Width: 102.5 $\mu$ m-125.6 $\mu$ m Length: 126.9 $\mu$ m-152.7 $\mu$ m		
			F2	<0.67-0.40	Width: 60.3 $\mu$ m-101.5 $\mu$ m Length: 124.1 $\mu$ m-158.4 $\mu$ m		
	Recycled	Rounded crystals		$\cong$ 1			
	Devonian (Guallián Group) Talacasto Formation	Plutonic	Short prismatic crystals, bipyramidal faces and simple facets	F1	< 0.60-0.40	Width: 47.6 $\mu$ m-50.1 $\mu$ m Length: 78.9 $\mu$ m-121.4 $\mu$ m	P2, P5, L5, R3 P1, P2
F2				< 0.40-0.33	Width: 47.1 $\mu$ m-52.3 $\mu$ m Length: 120.0 $\mu$ m-131.35 $\mu$ m		
Metamorphic		Short prismatic crystals, multifaceted	F1	<0.67-0.40	Width: 51.1 $\mu$ m-55 $\mu$ m Length: 89.3 $\mu$ m-116.2 $\mu$ m		
Recycled		Rounded crystals		$\cong$ 1			

Fig. 9 Zircon morphology according to Gärtner et al. (2013); typology according to Pupin (1980) only for plutonic zircons



**Fig. 10** **a** A-CN-K diagram for the Gualilán Group. Idealized mineral compositions and crystalline rocks values are according to Taylor and McLennan (1985). Dotted lines indicate the predicted weathering trend for the average parental rock compositions (Nesbitt and Young 1984, 1989). Note that the lower part of the diagram with  $A < 40$  is not shown. The left side of the figure shows the range of CIA values. **b1** Th/U vs Th diagram (after McLennan et al. 1993). **b2** Th/Sc vs Zr/Sc diagram (after McLennan et al. 2003). **c1** Cr/V vs. Y/Ni diagram (after Hiscock 1984). Upper and lower curves represent the mixing lines of ultramafic (Cr/V=45; Y/Ni=0.001), felsic metamorphic (Cr/V=1.23; Y/Ni=1.02), and granitic (Cr/V=0.25; Y/Ni=2.33)

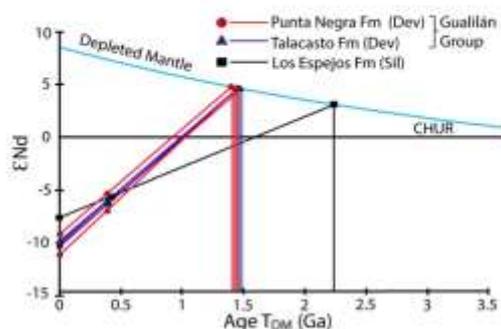
rocks (Dinelli et al. 1999). **c2** La/Th vs. Hf diagram (after Floyd and Leveridge 1987). Fields indicate the compositions of sedimentary rocks deposited in different tectonic settings. Samples from the Gualilán Group plot into the field of felsic source. **d** Chondrite-normalized REE patterns from the Gualilán Group. PAAS: Post-Archean Australian Shales (Nance and Taylor 1976); UCC: upper continental crust (Rudnick and Gao 2003). Chondrite normalization values are from Sun and McDonough (1989). "Red coloured circle" Punta Negra Formation. "Blue coloured triangle" Talacasto Formation. "Black coloured square" Los Espejos Formation

**Table 4** Selected element ratios of the Gualilán Group and Los Espejos Formation

Formation	Sample	Th/Sc	Zr/Sc	Cr/V	Y/Ni	La/Th	Th/U
Punta Negra	16PN34	0.72	8.87	0.69	0.59	2.83	4.33
	16PN44	0.68	12.14	0.72	0.69	3.07	3.94
	16PN52	0.68	8.77	0.67	0.63	1.91	4.14
	16PN58	0.75	11.36	0.61	1.06	3.25	4.06
Talacasto	16T08	0.83	8.58	0.50	0.94	2.44	4.65
	16T11	0.74	12.39	0.59	0.61	2.92	4.59
	16T38	0.68	8.97	0.60	0.82	2.96	4.86
	16T46	0.83	18.23	0.63	0.80	2.98	4.0
	16T65	0.76	9.86	0.48	0.68	2.77	4.87
Los Espejos	16LE29	0.69	7.90	0.47	2.55	4.49	3.95

**Table 5** Rare Earth elements (expressed in ppm)

Formation	Sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE
Punta Negra	16PN34	40.4	80.2	9.33	33.5	6.11	1.19	5.48	0.86	5.25	1.13	3.38	0.51	3.62	0.54	191.50
	16PN44	39.9	83.2	10.44	40.2	7.87	1.54	7.52	1.20	7.49	1.50	4.10	0.63	4.21	0.65	210.45
	16PN52	28.4	71.4	8.30	32.9	7.30	1.29	7.25	1.18	7.26	1.48	4.27	0.62	4.08	0.60	176.33
	16PN58	46.2	97.4	12.32	48.4	9.98	1.86	9.55	1.44	8.66	1.73	4.88	0.70	4.37	0.67	248.16
Talacasto	16T08	38.5	77.3	9.09	32.9	6.45	1.23	6.05	0.99	6.02	1.23	3.57	0.54	3.55	0.56	187.98
	16T11	38.9	80.0	9.29	35.1	6.98	1.36	6.49	1.03	6.2	1.26	3.74	0.53	3.46	0.52	194.86
	16T38	40.2	80.3	9.66	37.3	7.51	1.42	6.64	1.05	6.28	1.24	3.75	0.54	3.61	0.54	200.04
	16T46	36.9	74.3	9.11	34.2	6.87	1.24	6.29	0.96	5.61	1.16	3.50	0.53	3.41	0.52	184.60
	16T65	41.9	92.8	10.16	37.6	6.97	1.31	6.02	0.99	5.97	1.28	3.74	0.56	3.57	0.56	213.43
Los Espejos	16LE29	71.0	143.5	19.22	89.3	23.05	5.34	28.12	3.73	19.68	3.52	9.01	1.09	6.49	0.99	424.04
	PAAS	38.0	80.0	8.90	32.0	5.60	1.10	4.70	0.77	4.40	1.0	2.90	0.50	2.80	0.50	183.17
	UCC	31.0	63.0	7.10	27.0	4.70	1.0	4.0	0.70	3.90	0.83	2.30	0.30	2.0	0.31	148.14



**Fig. 11**  $\epsilon_{Nd}$  vs. age. Samples were compared to CHUR (Chondritic Uniform Reservoir)

metamorphic sources. Heavy mineral assemblages of Devonian units of the Precordillera dominated by zircon, rutile and tourmaline indicate provenance from areas with mature rocks showing very low-grade metamorphism (Loske 1992, 1994). However, rutile and tourmaline derived from

high-grade metamorphic rocks are known in several regions (e.g., Mange and Maurer 1992; Konzett et al. 2012; Broska and Petrik 2015). Furthermore, Loske (1992) recognized the same low diverse heavy mineral assemblage throughout the Cambrian to Silurian units of the Precordillera. More recently, other minerals were recognized in Ordovician to Silurian units of the Cuyania terrane (Pavón, Don Braulio and Ponón Trehué formations), such as chromium spinel and apatite (Abre et al. 2009, 2011).

The heavy mineral assemblage of the Devonian Gualilán Group comprises garnet, staurolite, apatite, epidote, monazite, and titanite, indicating that high-grade metamorphic and igneous rocks were exhumed and exposed to erosion. Chromium-rich spinel of the Talacasto Formation (Fig. 8) derived from mafic rocks probably located at the Pic de Palo Range. Morphological studies of detrital zircon following Pupin (1980) and Gärtner et al. (2013) give a broad estimation regarding the nature of the felsic source rocks. Within the Gualilán Group, prevail the zircon grains originally crystallized in a plutonic environment which underwent posterior metamorphism before deposition within the Gualilán Group, followed in order of abundance by those crystallized

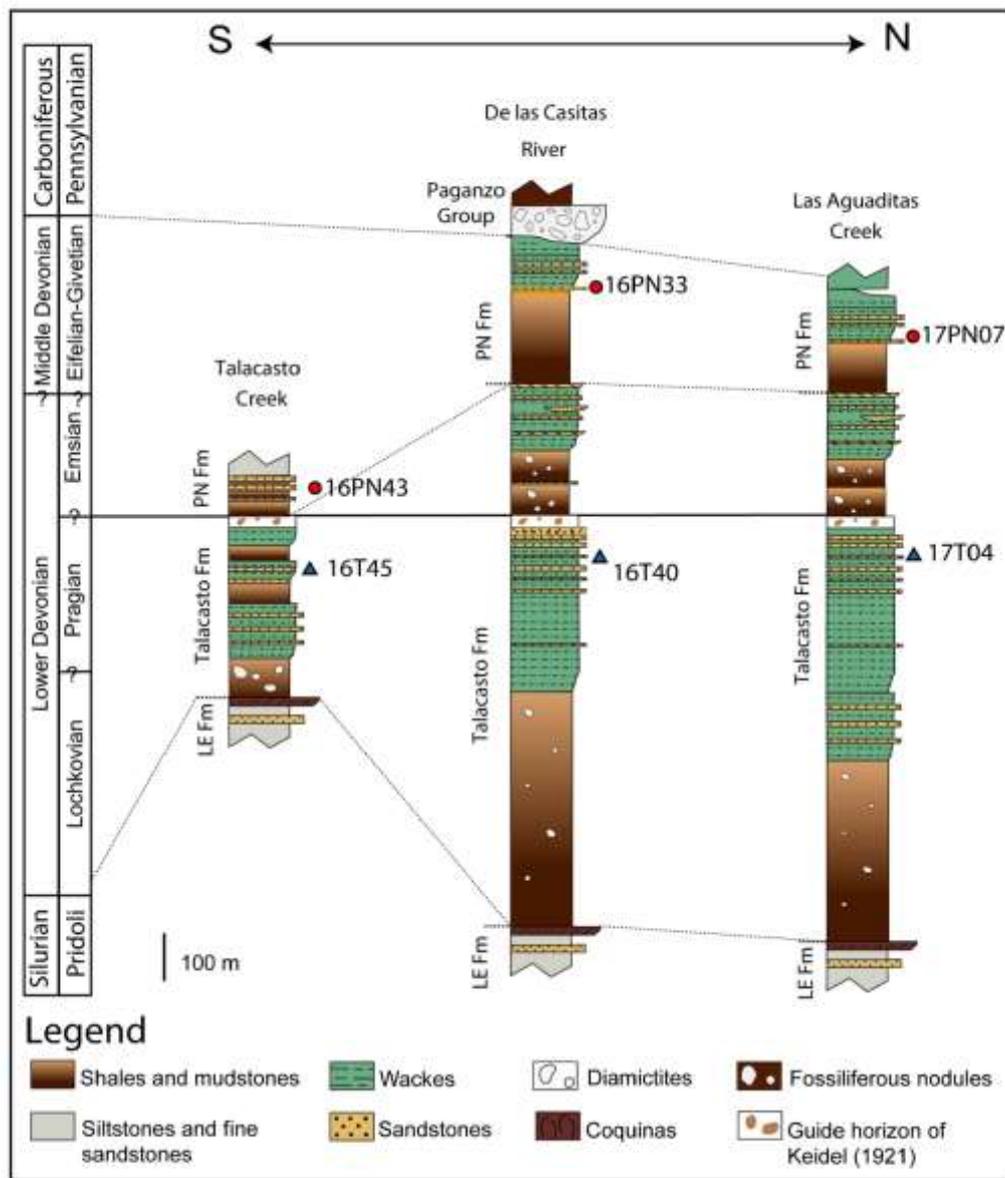
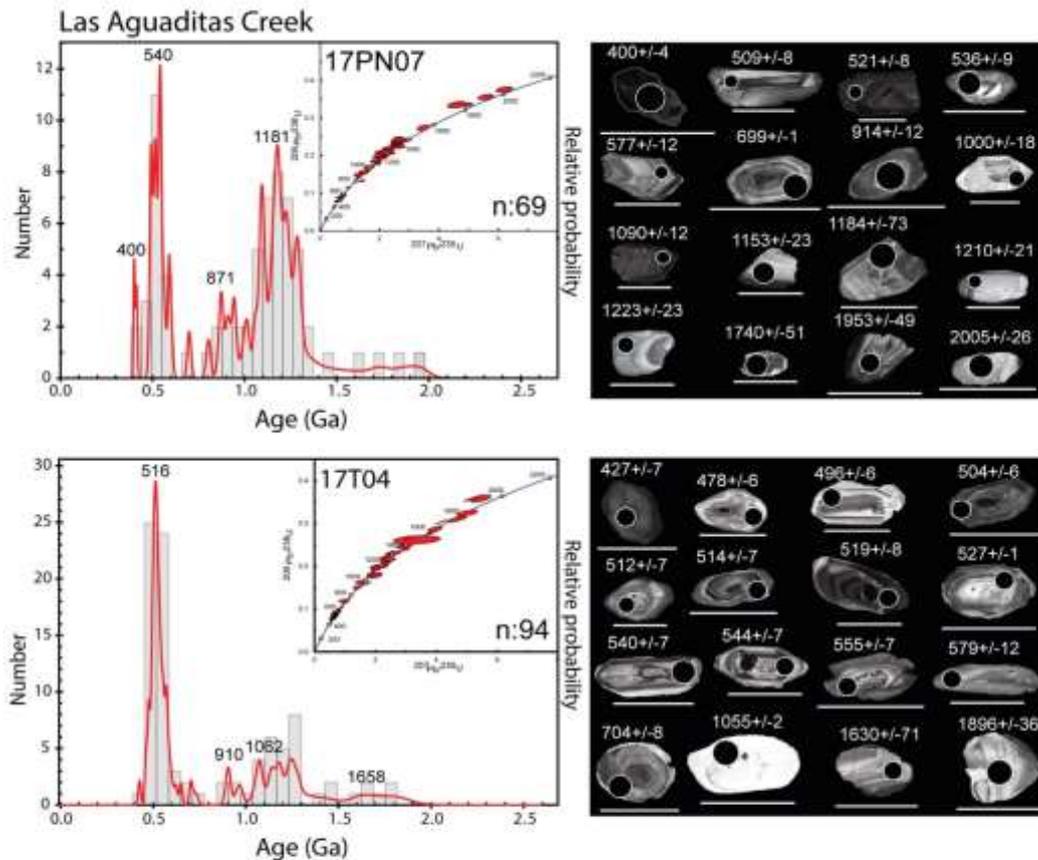


Fig. 12 Stratigraphic columns showing the different studied sections with location of the samples analysed by U-Pb geochronology. *PN Fm* Punta Negra Formation, *LE Fm* Los Espejos Formation



**Fig. 13** Frequency histograms and probability curves of detrital zircon ages from the sampled levels of the Gualilán Group in the Las Aguaditas Creek. Lower: (17T04) Talacasto Formation, Upper:

(17PN07) Punta Negra Formation, with Concordia diagrams. Right: cathodoluminescence images of selected zircon grains. Scale bar = 100  $\mu$ m; ages and errors in Ma

in plutonic environments. This is in agreement with Th/U ratios indicative of plutonic sources. Geochemical provenance proxies support derivation from a felsic provenance component that underwent moderate weathering and very scarce reworking.

The narrow range of negative  $\epsilon_{Nd}$  values of the Gualilán Group points to restricted variation in the detrital mix of crustal sources. Nd data from the Umango, Maz and Pie de Palo ranges, and the San Rafael and Las Matras

blocks show  $\epsilon_{Nd}$  values in the range of variation of data calculated to the time of deposition of the Gualilán Group (Sato et al. 2004; Cingolani et al. 2005; Vujovich et al. 2005; Rapela et al. 2010; Varela et al. 2011). The  $T_{DM}$  ages of the Gualilán Group in between 1.4 and 1.5 Ga are comparable to  $T_{DM}$  ages for Mesoproterozoic basement rocks of the Cuyania terrane (Kay et al. 1996; Sato et al. 2004; Vujovich et al. 2005; Rapela et al. 2010; Varela et al. 2011).

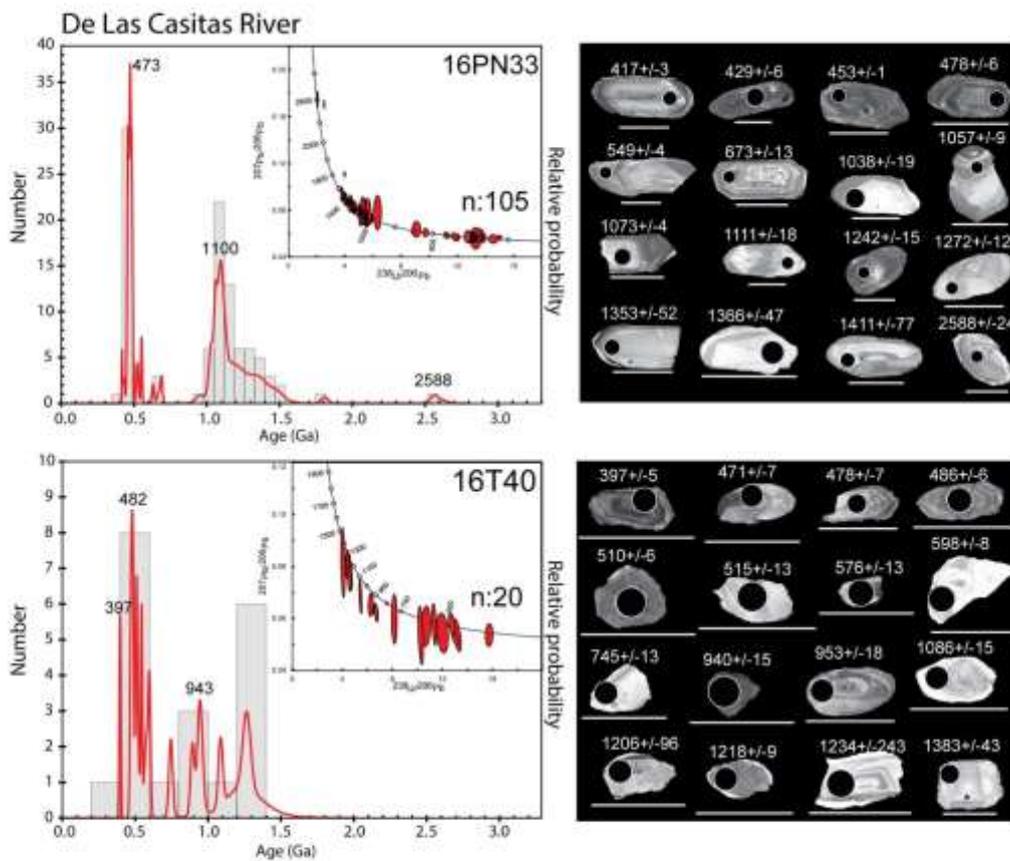
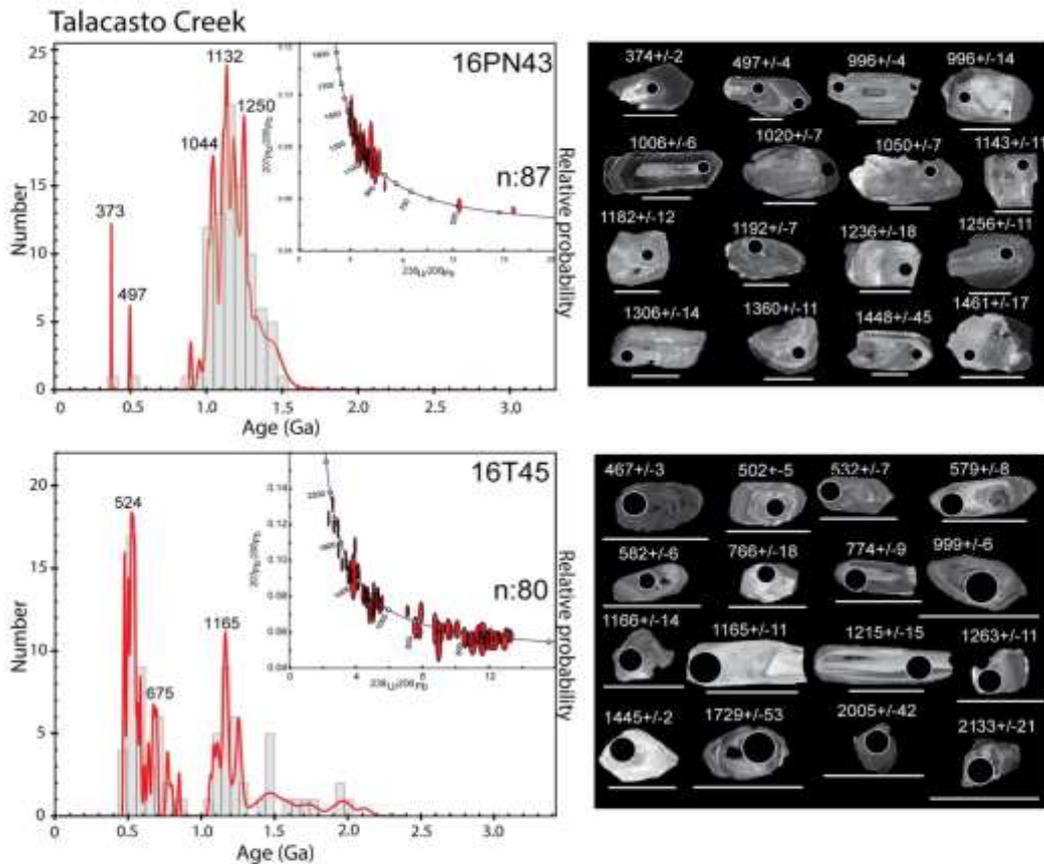


Fig. 14 Frequency histograms and probability curves of detrital zircon ages from the sampled levels of the Gualilán Group in the Las Casitas River. Lower: (16T40) Talacasto Formation, Upper:

(16PN33) Punta Negra Formation, with Tern-Wasserberg diagrams. Right: cathodoluminescence images of selected zircon grains. Scale bar = 100  $\mu\text{m}$ ; ages and errors in Ma

The detrital zircon ages of the Talacasto Formation reveal a provenance from rocks formed during two orogenic cycles: Pampean–Brazilian and Grenvillian–Sunsas. Outcrops of these rocks are presently located eastwards of the Gualilán basin, at the so-called eastern and western Pampean Ranges, respectively. Famatinian detrital zircon ages are more abundant towards the north of the basin (at Las

Aguaditas Creek and de las Casitas River). The main zircon population of the Punta Negra Formation is Mesoproterozoic in age (1000–1200 Ma). Grenvillian-aged rocks that could account for this provenance are found in the western Pampean Ranges (Pie de Palo, Umango, Espinal and Maz ranges). The oldest ages corresponding also to the Grenvillian–Sunsas orogenic cycle could have been derived from the



**Fig. 15** Frequency histograms and probability curves of detrital zircon ages from the sampled levels of the Gualilán Group in the Talacasto Creek. Lower: (16T45) Talacasto Formation, Upper:

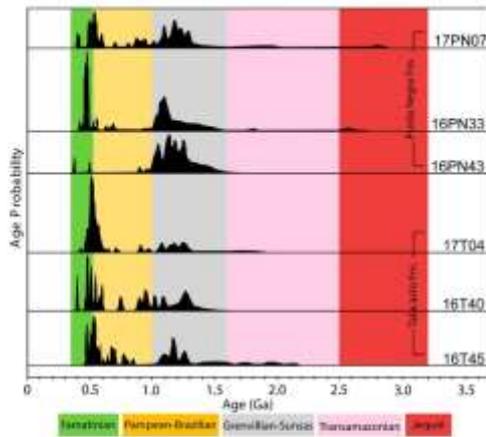
(16PN43) Punta Negra Formation, with Teri-Wasserburg diagrams. Right: cathodoluminescence images of selected zircon grains. Scale bar = 100  $\mu$ m; ages and errors in Ma

Maz-Umango Complexes located to the east of the Gualilán basin (Mingramm 1985; Galindo et al. 2004; Rapela et al. 2010; Varela et al. 2011; Ramacciotti et al. 2015).

The visual comparison of the U–Pb probability distribution diagrams (Fig. 17a), can be enhanced by statistical analysis. The Kolmogorov–Smirnov (K–S) two-sample test was applied to assess the heterogeneity of the age distributions (Berry et al. 2001; Fig. 17a; Table 6). This test provides a means to mathematically compare two detrital zircon age

distributions to determine if there is a statistically significant difference between them. The method is independent of any assumptions about the probability distribution of a sample and allows comparison of both, age values (peak locations) and distributions (peak shapes), using the P-parameter (DeGraaff-Surplus et al. 2003).

Samples of the Gualilán Group show a good correlation between each other (Table 6), except for sample 16PN43, that displays a *P* value of 0 with respect to all

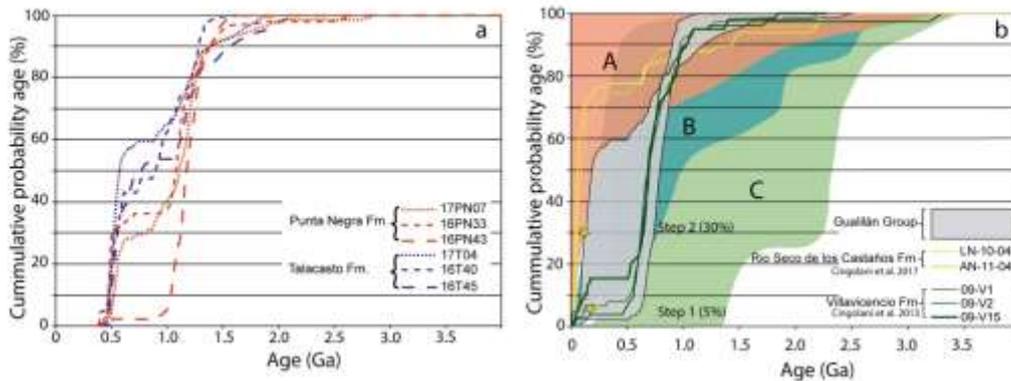


**Fig. 16** Overview of the main detrital zircon populations found in the Gualilán Group, indicating that three main sources are responsible for the vast majority of the observed ages. The probability density distribution diagram for each sample is shown. Different colours are from recognized South American orogenic cycles: Jequié (Archean) to Transamazonian (Paleoproterozoic), Grenvillian-Sunsas (Mesoproterozoic), Pampean-Brazilian (Neoproterozoic–Early Cambrian) and Famatinian (Middle/Late Cambrian–Devonian)

other samples analysed. This disparity is due to a domain of almost 95% of Mesoproterozoic ages (Fig. 17a).

Analogous methodologies to those used in the present work were applied to Devonian successions of the Cuyania terrane by several authors. The comparison with our data comes in handy to give further insights into the paleogeography of the SW margin of Gondwana. One of those successions is the Villavicencio Formation, cropping out in the Mendoza province, showing more than 70% of Mesoproterozoic detrital zircon ages followed by Pampean–Brazilian ages (Cingolani et al. 2013). Detrital zircon patterns of the Villavicencio and Punta Negra formations are very similar, pointing to comparable sources for both units (Fig. 17b). Another Devonian succession is the Río Seco de los Castaños Formation, exposed in the San Rafael Block which comprises prominent populations of Pampean–Brazilian and Famatinian detrital zircon ages (Cingolani et al. 2017), being different to all studied samples of the Gualilán Group. The sedimentary rocks of the Gualilán Group and Villavicencio Formation were deposited in a post-collisional setting, whereas the Río Seco de los Castaños Formation was deposited in a convergent setting, probably in an isolated depocentre (Fig. 17b).

Deposition of the Gualilán Group occurred within a peripheral foreland basin developed as a result of the post-collision of Cuyania against the SW margin of Gondwana.



**Fig. 17 a** Kolmogorov–Smirnov (K–S) sample test. **b** Tectonic discrimination diagram after Curwood et al. (2012). Fields: **a** convergent, **b** collisional, **c** extensional

**Table 6** Results of Kolmogorov–Smirnov test (with error CDF) for all samples analysed

	Sample	17T04	17PN07	16T40	16PN33	16T45	16PN43
KS <i>P</i> values using error in the CDF	17T04		0.001	<i>0.784</i>	0.001	<i>0.156</i>	0.000
	17PN07	0.001		<i>0.266</i>	0.024	<i>0.049</i>	0.000
	16T40	<i>0.784</i>	0.266		<i>0.185</i>	<i>0.843</i>	0.000
	16PN33	0.001	0.024	<i>0.185</i>		0.040	0.000
	16T45	<i>0.156</i>	0.049	<i>0.843</i>	0.040		0.000
	16PN43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
<i>D</i> values using error in the CDF	17T04		0.300	0.158	0.272	0.172	0.596
	17PN07	0.300		0.249	0.228	0.222	0.348
	16T40	0.158	0.249		0.261	0.151	0.574
	16PN33	0.272	0.228	0.261		0.207	0.338
	16T45	0.172	0.222	0.151	0.207		0.513
	16PN43	0.596	0.348	0.574	0.338	0.513	

<sup>a</sup>*P* values. "Blank indicates" *P* < 0.05; "italics indicates" *P* > 0.05

<sup>b</sup>*D* values

The bulk of the detritus derived from plutonic and metamorphic felsic rocks with compositions and isotopic signatures pointing to Famatinian, Pampean–Brazilian and Grenvillian–Sunsas aged rocks. During the Early Devonian, the Talacasto Formation received an input from both, the eastern and western Pampean Ranges. The uplift of the Western Pampeanas Ranges before deposition of the Middle Devonian Punta Negra Formation explains the restriction to Mesoproterozoic sources within its sedimentary record (Fig. 18).

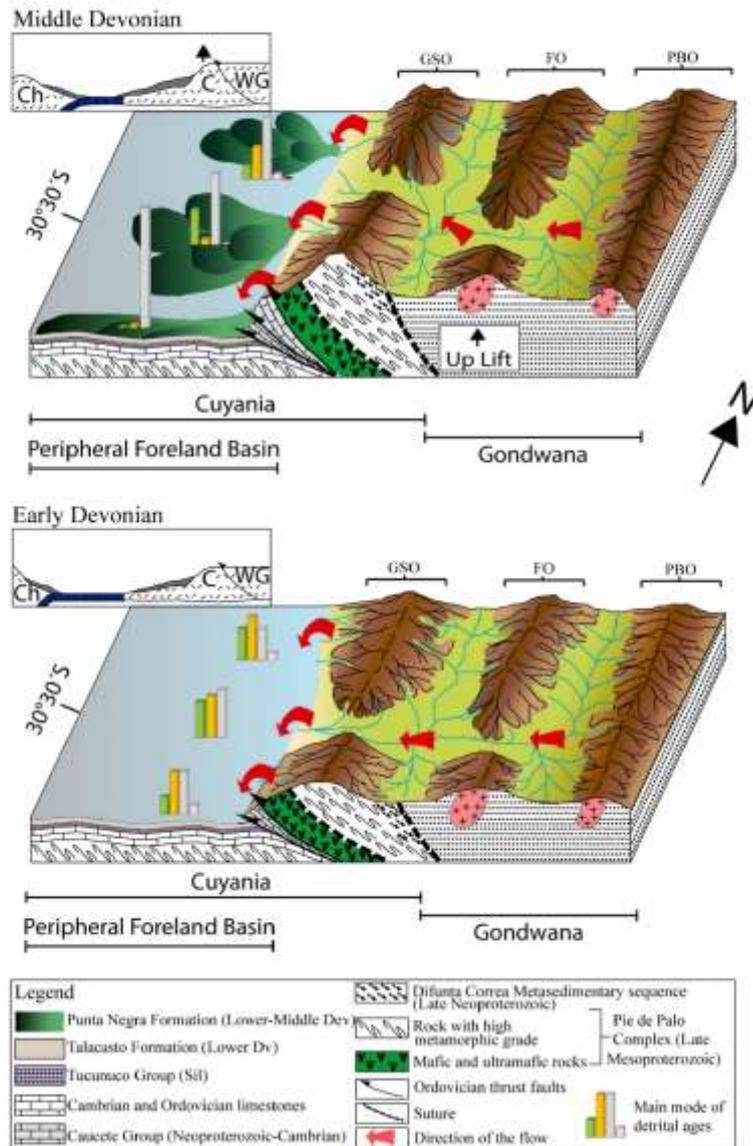
#### Final remarks

- Petrographical and geochemical data show that both units studied of the Gualilán Group underwent moderate weathering and point to an average source composition similar to UCC, or slightly more felsic. Both Devonian successions were fed by igneous and metamorphic sources, as demonstrated by lithoclast types, heavy mineral assemblages and detrital zircon morphological families. The presence of chromium-rich mineral grains

(likely chromium spinel) in the so-called 'Keidel's guide level', found within the Talacasto Formation, evidence that a mafic source provided detritus during Pragian–Emsian times.

- Sm–Nd isotope data and particularly U–Pb detrital zircon data indicate a contribution from felsic crustal rocks of Famatinian, Pampean–Brazilian and Grenvillian–Sunsas aged sources for the Talacasto Formation, whereas the bulk of the detritus derived mostly from Mesoproterozoic sources for the Punta Negra Formation. The scarce contributions of Archean and Paleoproterozoic sources indicate that the Río de la Plata Craton was not an important source for the Devonian basin.
- Probable source rocks are located towards the east of the peripheral foreland Gualilán basin, within the eastern and western Pampean Ranges. In the context of the paleogeography of SW Gondwana, these provenance patterns indicate high exhumation and erosion rates of the Grenvillian Orogen for Devonian time and, on the contrary, a low exhumation/erosion rate of the cratonic areas during the Middle Devonian.

**Fig. 18** Block diagram showing the Devonian distribution for the Guallán Group, a peripheral foreland basin located westwards of the western margin of Gondwana developed in the vicinity of the Grenvillian-Sunsas orogen which is the most likely source of detritus. The highlands located in the East comprise the Grenvillian-Sunsas (GSO), Pampean-Brazilian (PBO) and Famatinian (FO) orogens. The colours of the histograms are related to the orogenic cycle from which the detrital zircon derived (see Fig. 16), whereas the height is proportional to the percentage of each of them. *Ch* Chileña Terrane, *C* Cuyania Terrane, *WG* Western Gondwana. Top left insets show the subduction between western Gondwana (with Cuyania already accreted) and Chileña terrane



**Acknowledgements** This research was partially financed by CONICET (Grant PUE-CIG). The Centro de Investigaciones Geológicas (CIG, La Plata, Argentina) provide the laboratory facilities for sample preparations. We wish to especially thank W. Loske (Germany) for his very relevant comments. Appreciation is extended to CPGeo and technical staff of the University of Sao Paulo, Brazil. To Dr Silvio Peralta from San Juan University, for helped and guided us during field

trips along the Central Precordillera. To Dr Victor A. Ramos from the University of Buenos Aires for his helpful comments. Contribution to Project PPID/N031 (2018–2020), La Plata University. The careful and insightful reviews of Guido Meinhold, Mauricio Calderón and the comments of the journal editor have benefited this article and are gratefully acknowledged.

## References

- Abre P, Cingolani C, Zimmermann U, Cairncross B (2009) Detrital chromian spinels from upper Ordovician deposits in the Precordillera terrane, Argentina: a mafic crust input. *J S Am Earth Sci* 28(4):407–418
- Abre P, Cingolani C, Zimmermann U, Cairncross B, Chemale F Jr (2011) Provenance of Ordovician clastic sequences of the San Rafael block (central Argentina), with emphasis on the Ponón Trehué Formation. *Gondwana Res* 19(1):275–290
- Aceñolaza FG, Miller H, Toselli AJ (2002) Proterozoic–early paleozoic evolution in western South America—a discussion. *Tectonophysics* 354(1–2):121–137
- Amos AJ, Boucot AJ (1963) A revision of the brachiopod family Lepitocelidae. *Palaentology* 6:440–457
- Arnol JA, Coturel EP (2017) Plantas de la Formación Punta Negra (Devónico) en la Precordillera de San Juan, Argentina. Reunión de comunicaciones de la Asociación Paleontológica Argentina. San Luis, Argentina. Libro de resúmenes 11
- Astini RA (1990) Cuerpos de arenas en la Formación Talacasto, Plataforma fangosa del Devónico Precordillerano, Provincia de San Juan. Tercera reunión Argentina Sedimentología. San Juan, pp 13–18
- Astini RA (1991a) Paleoambientes sedimentarios y secuencias deposicionales del Ordovícico clástico de la Precordillera Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, 851 pp (Unpublished)
- Astini RA (1991b) Sedimentología de la Formación Talacasto: plataforma fangosa del Devónico precordillerano, provincia de San Juan. *Rev Asoc Geol Argent* 44:277–294
- Astini RA (1992) Tectofacies ordovícicas y evolución de la cuenca copaleozoica de la Precordillera Argentina. *Estud Geol* 48(5–6):315–327
- Astini RA (1996) Las Fases Diastóricas del Paleozoico medio en la Precordillera del Oeste Argentino -Evidencias Estratigráficas. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas V, pp 509–526. Buenos Aires
- Astini RA, Mareto HM (1996) Análisis estratigráfico del Silúrico de la Precordillera Central de San Juan y consideraciones sobre la evolución de la cuenca. XIII Congreso Geológico Argentino, pp 351–368
- Baldis BA (1975) El Devónico Inferior en la Precordillera Central. Parte I: Estratigrafía: Revista de la Asociación Geológica Argent 30:53–83
- Baldis BA, Rossi de García E (1972) Ostracodes devonniens argentins associés à l'faune Malvinokafrique Verne Congrès Africain de Micro-paléontologie (Addis Abeba), pp 57–92
- Basilici G, de Luca PHV, Poiré DG (2012) Hummocky cross-stratification-like structures and combined-flow ripples in the Punta Negra Formation (Lower-Middle Devonian, Argentine Precordillera): a turbiditic deep-water or storm-dominated prodelta inner-shelf system? *Sediment Geol* 267:73–92
- Berry RF, Jenner GA, Meffre S, Tubrett MN (2001) A North American provenance for Neoproterozoic to Cambrian sandstones in Tasmania? *Earth Planet Sci Lett* 192(2):207–222
- Borrello AV (1969) Los geosinclinales de la Argentina. Dirección Nacional de Geología y Minería, Anales 14: 188. Buenos Aires
- Braccacini OI (1949) El perfil de Tambolar. *Rev Asoc Geol Argent* 4:165–179
- Broška I, Petrík I (2015) Variscan thrusting in I- and S-type granitic rocks of the Tribeč Mountains, Western Carpathians (Slovakia): evidence from mineral compositions and monazite dating. *Geol Carpath* 66(6):455–471
- Bustos UD (1995) Sedimentología y evolución paleoambiental de la Formación Punta Negra en el sector central de la Precordillera de San Juan. Trabajo Final, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 120 pp (Unpublished)
- Bustos UD (1996) Modelo sedimentario alternativo para el Devónico de la Precordillera central sanjuanina: formación Punta Negra. *Rev Asoc Argent Sedimentol* 3:17–30
- Bustos UD, Astini RA (1997) Formación Punta Negra: Análisis secuencial y evolución de la Cuenca Devónica Precordillerana. *Rev Asoc Argent Sedimentol* 4:97–111
- Carrera MG, Rustán JJ (2015) The new genus *Talacastospongia*: insights on the first record of a Devonian sponge from South America. *J Paleontol* 89(6):912–919
- Carwood PA, Hawkesworth CJ, Dhruve B (2012) Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology* 40(10):875–878
- Cingolani CA, Ramos VA (2017) Pre-carboniferous tectonic evolution of the San Rafael block, Mendoza Province. In: Cingolani CA (ed) Pre-carboniferous evolution of the San Rafael block, Argentina, Chapter 13. Springer earth system sciences, pp 239–256. ISBN 978-3-319-50153-6
- Cingolani CA, Llambías EJ, Basei MAS, Varela R, Chemale Junior F, Abre P (2005) Greenwillian and Famatinian-age igneous events in the San Rafael block, Mendoza Province, Argentina: geochemical and isotopic constraints. *Gondwana* 12, p 250
- Cingolani CA, Manassero MJ, Basei MAS, Uriz NJ (2013) Provenance of the Villavicencio Fm, Lower Devonian, Mendoza, Argentina. VII Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo, Sociedad Geológica del Uruguay, Actas, pp 191–196
- Cingolani CA, Uriz NJ, Abre P, Manassero MJ, Basei Mas (2017) Silurian-devonian land-sea interaction within the San Rafael Block, Argentina: Provenance of the Río Seco de los Castaños Formation. In: Cingolani CA (ed) Pre-Carboniferous evolution of the San Rafael Block, Argentina, Chapter 10. Implications in the SW Gondwana margin. Springer, pp 183–208. ISBN 978-3-319-50153-6
- Coturel E, Arnol J (2018) Plant remains from the Devonian of San Juan, Argentina. In: 5th International Paleontological Congress, Paris, France, p 818
- Cuerda AJ, Baldis BA (1971) Silúrico-Devónico de la Argentina. *Ameghiniana* 8:128–164
- Cullers RL (1995) The controls on the major-and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, USA. *Chem Geol* 123(1–4):107–131
- Dalla Saldia L, Cingolani CA, Varela R (1992) Early Paleozoic orogenic belt of the Andes in southwestern. *Geology* 20:617–620
- Davis JS, Roeske SM, McClelland WC, Snee LW (1999) Closing the ocean between the Precordillera terrane and Chileña: early Devonian ophiolite emplacement and deformation in the southwest Precordillera. *Special Papers-Geological Society of America*, pp 115–138
- DeGraaff-Surpless K, Mahoney B, Wooden J, McWilliams M (2003) Lithofacies control in detrital zircon provenance studies: insights from the Cretaceous Methow Basin, southern Canadian Cordillera. *Geol Soc Am Bull* 115:899–915
- DePaolo DJ (1981) Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust–mantle evolution in the Proterozoic. *Nature* 291(5812):193
- Dickinson WR, Gehrels GE (2003) U–Pb ages of detrital zircons from Permian and Jurassic eolian sandstones of the Colorado Plateau, USA: paleogeographic implications. *Sediment Geol* 163(1–2):29–66
- Dickinson WR, Beard LS, Brakenridge GR, Erjavec JL, Ferguson RC, Inman KF, Ryberg PT (1983) Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geol Soc Am Bull* 94(2):222–235

- Dinelli E, Lacchini F, Mordenti A, Paganelli L (1999) Geochemistry of Oligocene-Miocene sandstones of the northern Apennines (Italy) and evolution of chemical features in relation to provenance changes. *Sediment Geol* 127(3–4):193–207
- Edwards D, Morel E, Poiré DG, Cingolani CA (2001) Land plants in the Devonian Villavicencio Formation, Mendoza Province. *Argent Rev Palaeobot Palynol* 116(1–2):1–18
- Edwards D, Poiré DG, Morel EM, Cingolani CA (2009) Plant assemblages from SW Gondwana: further evidence for high-latitude vegetation in the Devonian of Argentina. *Geol Soc London Spec Publ* 325(1):233–255
- Fedo CM, Nesbitt HW, Young GM (1995) Unraveling the effects of potassium metasomatism in the sedimentary rocks and paleosols with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23:921–924
- Fedo CM, Sirocombe KN, Rainbird RH (2003) Detrital zircon analysis of the sedimentary record. *Rev Mineral Geochem* 53(1):277–303
- Finney S, Gleason J, Gehrels G, Peralta S, Acefola G (2003) Early Gondwanan connection for the Argentine Precordillera terrane. *Earth Planet Sci Lett* 205(3–4):349–359
- Floyd P, Leveridge B (1987) Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *J Geol Soc London* 144:531–542
- Folk RL, Andrews PB, Lewis D (1970) Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *N Z J Geol Geophys* 13(4):937–968
- Galindo C, Casquet C, Rapela C, Pankhurst RJ, Baldo E, Saavedra J (2004) Sr, C and O isotope geochemistry and stratigraphy of Precambrian and lower Paleozoic carbonate sequences from the Western Sierras Pampeanas of Argentina: tectonic implications. *Precamb Res* 131(1–2):55–71
- Gärner A, Linnenmann U, Sagawe A, Hofmann M, Ullrich B, Kleber A (2013) Morphology of zircon crystal grains in sediments: characteristics, classifications, definitions. *Geol Saxonica* 59:65–73
- Goldstein SL, Arndt NT, Stallard RF (1997) The history of a continent from U-Pb ages of zircons from Orinoco River sand and Sm-Nd isotopes in Orinoco basin river sediments. *Chem Geol* 139(1–4):271–286
- González Bonorino G (1975) Sedimentología de la Formación Punta Negra y algunas consideraciones sobre la geología regional de la Precordillera de San Juan y Mendoza. *Rev Asoc Geol Argent* 30:223–246
- González Bonorino G, Middleton GN (1976) A Devonian submarine fan in western. *Argent J Sediment Petrol* 46:56–69
- Heredia N, Farias P, García-Sansegundo J, Giambiagi L (2012) The basement of the Andean Frontal Cordillera in the Cordón del Plata (Mendoza, Argentina): geodynamic evolution. *Andean Geol* 39(2):242–257
- Heredia N, García-Sansegundo J, Gallastegui G, Farias P, Giacosa RE, Giambiagi LB, Rubio-Ordóñez Á (2018) Review of the geodynamic evolution of the SW margin of Gondwana preserved in the Central Andes of Argentina and Chile (28°–38° S latitude). *J S Am Earth Sci* 87:87–94
- Herrera ZA (1993) Nueva precisiones sobre la edad de la Formación Talacasto (Precordillera Argentina) en base a su fauna de braquiópodos. XII Congreso Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires, pp 289–295
- Herrera ZA (1995a) The first notanoplíid brachiopod from the South American Devonian sequence. *Geobios* 28:337–342
- Herrera ZA (1995b) The Lower Devonian chonetoidan brachiopods from Argentine Precordillera. In: Racheboeuf P (ed) Four contributions to the study of chonetoidan brachiopods, vol 136. Centre des Sciences de la Terre, Université Claude-Bernard-Lyon I, Lyon, pp 101–147
- Herrera ZA, Bustos UD (2001) Braquiópodos devónicos de la Formación Punta Negra, en el perfil del Río de las Chacritas. *Precordillera Argent Ameghiniana* 38(4):367–374
- Hiscott R (1984) Ophiolitic source rocks for Taconic-age flysch: trace-element evidence. *Geol Soc Am* 95:1261–1267
- Ingersoll RV, Bullard TF, Ford RL, Grimm JP, Pickle JD, Sares SW (1984) The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *J Sediment Res* 54(1):103–116
- Kay SM, Orrell S, Abbezzu JM (1996) Zircon and whole rock Nd-Pb isotopic evidence for a Grenville age and a Laurentian origin for the basement of the Precordillera in Argentina. *J Geol* 104(6):637–648
- Keidel J (1921) Observaciones geológicas en la Precordillera de San Juan y Mendoza. *Anal Minist Agric Secc Geol Mineral Miner* 15:7–102
- Keller M (1999) Argentine Precordillera. Sedimentary and plate tectonic history of a Laurentian Crustal fragment in South America. *Geo Soc Am Spec Paper* 341:131
- Konzett J, Rhede D, Frost DJ (2012) The high PT stability of apatite and Cl partitioning between apatite and hydrous potassic phases in peridotite: an experimental study to 19 GPa with implications for the transport of P, Cl and K in the upper mantle. *Contrib Miner Petrol* 163(2):277–296
- Levy R, Nullo FE (1970a) Terebratulidos Devonicos de Argentina-I Cranaena y Scaphiocoelia. *Ameghiniana* 7(3):264–274
- Levy R, Nullo FE (1970b) Terebratulidos Devonicos de Argentina II Pleurothyrella. *Ameghiniana* 7(4):369–378
- Loske WP (1992) Sedimentologie, Herkunft und geo tektonische Entwicklung paläozoischer Gesteine der Präkordillere West-Argentinens. *Münch Geol H* 7:1–155 (München)
- Loske WP (1994) The West-Argentine Precordillera: a Paleozoic Back arc Basin. *Z Dt. Geol Ges* 145:379–391
- Loske WP (1995) 1.1Ga old zircons in W Argentina: implications for sedimentary provenance in the Paleozoic of Western Gondwana: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte*, pp 51–64
- Ludwing KR (2001) Users manual for Isoplot/EX (Rev. 2.49): a geochronological toolkit for microsoft excel. Berkeley Geochronol Center Spec Publ 1:55
- Mange MA, Maurer HF (1992) Heavy minerals in colour. Chapman and Hall, London, UK
- Massonne HJ, Calderón M (2008) PT evolution of metapelites from the Guarguaraz Complex, Argentina: evidence for Devonian crustal thickening close to the western Gondwana margin. *Rev Geol Chile* 35:1–17
- McDaniel DK, McLennan SM, Hanson GN (1997) Provenance of Amazon fan muds: constraints from Nd and Pb isotopes. In: Proceedings of the ocean drilling program. Scientific results, vol 155, pp 169–176
- McLennan SM (1989) Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin BR, McKay GA (eds) Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. *Reviews in Mineralogy*, vol 21, pp 169–200
- McLennan SM, Taylor S (1991) Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. *J Geol* 99:1–21
- McLennan SM, Taylor SR, McCulloch MT, Maynard JB (1990) Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites. *Geochim Cosmochim Acta* 54:2015–2050
- McLennan SM, Hemming S, McDaniel DK, Hanson GN (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnson MJ, Basu A (eds) Processes controlling the composition of clastic sediments. Geological Society of America. Special paper, vol 285, pp 21–40

- McLennan SM, Bock B, Hemming SR, Hurowitz JA, Lev SM, McDaniell DK (2003) The roles of provenance and sedimentary processes in the geochemistry of sedimentary rocks. In: Lentz DR (ed) *Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit-forming environments*, vol 4. Geological Association of Canada, pp 7–38
- Mingramm A (1985) Secciones estructurales de la Cuaeca de Cuyo y extension paleogeográfica. Escala 1:200000, 10 secciones. Buenos Aires (Unpublished)
- Nance WB, Taylor SR (1976) Rare earth element patterns and crustal evolution—I. Australian Post-Archean sedimentary rocks. *Geochim Cosmochim Acta* 40:1539–1551
- Nance WB, Taylor SR (1977) Rare earth element patterns and crustal evolution—II. Archean sedimentary rocks from Kalgoorlie Australia. *Geochim Cosmochim Acta* 41(2):225–231
- Nesbitt HW, Young YM (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of latices. *Nature* 299:715–717
- Nesbitt HW, Young GM (1984) Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochim Cosmochim Acta* 48:1523–1534
- Nesbitt HW, Young GM (1989) Formation and diagenesis of weathering profiles. *J Geol* 97:129–147
- Nesbitt HW, Young GM, McLennan SM, Keays RR (1996) Effects of chemical weathering and sorting on the petrogenesis of siliciclastic sediments, with implications for provenance studies. *J Geol* 104:525–542
- Ortiz A, Zambrano JJ (1981) La provincia geológica Precordillera oriental: VIII Congreso Geológico Argentino, vol 3, pp 59–74
- Padula E, Rolleri E, Mingramm AR, Criado Roque P, Flores M, Baldi BA (1967) Devonian of Argentina: International symposium on the Devonian system. Canadian society of petroleum geologists, Calgary, Canada, vol 2, pp 165–199
- Peralta SH (1991) La comunidad de *Pleurothyrella* en la Formación Talacasto (Devónico inferior), Precordillera Central Sanjuanina, Argentina. *Rev Yacimientos Pet Físic Bolív* 12:139–143
- Peralta SH (2005a) The lower emsian?–Middle Devonian? Extensional basins of the Los Sombreros and Rinconada Formations: its tectono-sedimentary significance in the evolution of the Precordillera. *Gondwana* 12:289
- Peralta SH (2005b) Formación Los Sombreros: un evento diastrófico extensional del Devónico (inferior?–medio?) en la Precordillera Argentina. XVI Congreso Geológico Argentino, vol 4, pp 322–326. La Plata
- Peralta SH (2013) Devónico de la sierra de la Invernada, Precordillera de San Juan, Argentina: revisión estratigráfica e implicancias paleogeográficas. *Rev Asoc Geol Argent* 70(2):202–215
- Peralta SH, Aceñolaza FG (1988) *Paleo helminthoida ruschholz* (traza fósil) en los estratos basales de la Formación Punta Negra (Devónico medio–superior?), en el perfil del Río San Juan, Precordillera Central del Oeste Argentino. *Correl Geol* 5:195–198
- Peralta SH, y Ruzycki de Behrenstein LJ (1990) Icnofacies asociadas a facies turbidíticas de la Formación Punta Negra (Devónico medio–superior?), en el perfil de los Caracoles, Precordillera Central sanjuanina, Argentina. *Reun Argent Sediment III*:334–338
- Peralta SH, Chávez JF, Cuadra JF y Ortiz MJ (2008) Estratigrafía del Silúrico Devónico de la sierra de la Invernada Precordillera Central de San Juan: significado tecto-sedimentario. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas tomo 1, pp 370–371. San Salvador de Jujuy, Argentina
- Peralta SH, Pereyra ME, León LI, Villegas CR (2010) Olistostromas del Devónico en la Precordillera de San Juan: Significado estratigráfico y tectosedimentario. Jornada de Ciencia y Técnica en la UNSJ 2010
- Poiré D, Morel E (1996) Procesos sedimentarios vinculados a la deposición de niveles con plantas en secuencias Siluro–Devónicas de la Precordillera Argentina, vol VI. Reunión Argentina de Sedimentología, Actas, pp 205–210
- Pupin JP (1980) Zircon and granite petrology. *Contrib Mineral Petrol* 73:207–220
- Racheboeuf PR, Herrera ZA (1994) On some new malvinokaffric Silurian and Devonian chonetacean brachiopods and reclassification of others. *Neues Jahrbuch Geol Paläontol* 9:541–560
- Racheboeuf PR, Dalenz Farjat A, Lefebvre B (1998) The Devonian Gamoneda section of southern Bolivia: new biostratigraphical and palaeobiogeographical data. *Rev Esp Paleontol* 13:175–186
- Ragona D, Anselmi G, González P y Vujovich G (1995) Mapa Geológico de la provincia de San Juan (República Argentina) a Escala 1:500.000. Servicio Geológico y Minero Argentino
- Ramacciotti CD, Baldo EG, Casquet C (2015) U–Pb SHRIMP detrital zircon ages from the Neoproterozoic Difunta Correa Metasedimentary Sequence (Western Sierras Pampeanas, Argentina): Provenance and paleogeographic implications. *Precamb Res* 270:39–49
- Ramos VA (1999) Rasgos estructurales del territorio argentino. *Geol Argenti* 29(24):15–75
- Ramos VA (2004) Cuyania, an exotic block to Gondwana: review of a historical success and the present problems. *Gondwana Res* 7(4):1009–1026
- Ramos VA, Jordan TE, Allmendinger RW, Mporozis C, Kay SM, Cortés JM, Palma M (1986) Paleozoic Terranes of the Central Argentine Chilean Andes. *Tectonics* 5:855–880
- Ramos VA, Dullmeyer RD, Vujovich G (1998) Time constraints on the Early Paleozoic docking of the Precordillera, central Argentina. *Geol Soc Lond Spec Pub* 142(1):143–158
- Rapela CW, Coira B, Toselli A, Saavedra J (1992) The lower Paleozoic magmatism of southwestern Gondwana and the evolution of the Famatinian Orogen. *Int Geol Rev* 34(11):1081–1142
- Rapela CW, Pankhurst RJ, Casquet C, Baldo E, Saavedra J, Galindo C (1998) Early evolution of the Proto-Andean margin of South America. *Geology* 26(8):707–710
- Rapela CW, Pankhurst RJ, Casquet C, Baldo E, Galindo C, Fanning CM, Dahlquist JM (2010) The Western Sierras Pampeanas: protracted Grenville-age history (1330–1030 Ma) of intra-oceanic arcs, subduction–accretion at continental-edge and AMCG intraplate magmatism. *J South Am Earth Sci* 29(1):105–127
- Rudnick RL, Gao S (2003) Composition of the continental crust. In: Rudnick RL (ed) *The crust: Holland HD, Turekian KK (eds) Treatise on geochemistry*, vol 3, Elsevier–Pergamon, Oxford, pp 1–64
- Rustán JJ (2011) Los trilobites devónicos de Precordillera Argentina: sistemática, ilogenia, paleobiogeografía y bioestratigrafía. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 352 p (Unpublished)
- Rustán JJ, Vaccari NE (2010) The Aulacopleurid trilobite *Maurotarion-Alberti*, 1969, in the Silurian–Devonian of Argentina: systematic, phylogenetic and paleobiogeographic significance. *J Paleontol* 84(6):1082–1098
- Saías MJ, Rustán JJ, Starren AF (2013) Lower and Middle Devonian Malvinokaffricostracods from the Precordillera Basin of San Juan, Argentina. *J South Am Earth Sci* 45:56–68
- Sánchez TM, Waisfeld B, Benedetto JL (1991) Lithofacies, taphonomy, and brachiopod assemblages in the Silurian of western Argentina. A review of Malvinokaffric Realm communities. *J South Am Earth Sci* 4:307–329
- Sato AM, Ticktyj H, Llambías EJ, Basei MAS, González PD (2004) Las Matras Block, Central Argentina (37 S–67 W): the southernmost Cuyania terrane and its relationship with the Famatinian orogeny. *Gondwana Res* 7(4):1077–1087



## MINERALOGÍA, PETROGRAFÍA Y EDADES U-Pb EN CIRCONES DETRÍTICOS DEL HORIZONTE GUÍA DE KEIDEL (FORMACIÓN TALACASTO) DEL DEVÓNICO DE LA PRECORDILLERA CENTRAL DE SAN JUAN

Jonatan A. Arnol<sup>(1,2)</sup>, Julian Rolan<sup>(2)</sup>, Norberto J. Uriz<sup>(2,3)</sup>, Carlos A. Cingolani<sup>(1,2,3)</sup>

<sup>1)</sup> Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), Diag. 113 n. 275, CP1904, La Plata, Argentina  
arnoljonatan@gmail.com

<sup>2)</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Museo - UNLP, calle 60 y 122, La Plata.

<sup>3)</sup> División Científica de Geología, Museo de La Plata, UNLP, Paseo del Bosque s/n, La Plata, Argentina.

En la Precordillera Central sanjuanina afloran sedimentitas marinas de edad devónica correspondientes al Grupo Gualilán (Baldís 1975), integrado de base a techo por las Formaciones Talacasto (Padula, 1967) asignada al Lochkoviano no basal- Emsiano temprano y Punta Negra (Braccacini, 1949) del Emsiano temprano- Frasniano temprano? (Fig. 1a). La primera unidad, a comprende fangolitas y vaques bioturbados con intercalaciones de areniscas finas y cuerpos subordinados de arena de mayor jerarquía, su coloración es predominantemente verde-grisácea con alteración a colores ocre y morados a escala local (Astini 1990; 1991), aflorando casi ininterrumpidamente entr el Río Jáchal (30° LS) donde alcanza sus máximos espesores (ca. 1000m) y el Río San Juan (30°30' LS) donde se acuña y no supera los 100 m de potencia. Originalmente fueron reconocidos cuatro miembros (Espisúa 1968 y Baldís 1975), en el superior (Miembro de Areniscas Azules), se identifica una capa de 10 a 15m de potencia, de coloración ocre que destaca entre los tonos verdes clásicos de la unidad y que se extiende de manera continua a lo largo de la cuenca, características que la convierten en una excelente capa u horizonte guía (Fig. 1b, c). Keidel (1921) hizo referencia por primera vez a este designándolo como "Horizonte de *Pleurotomaria*". Astini (1991) por su parte lo incluyó dentro de la asociación de facies "C". El horizonte ha sido estudiado en los últimos años intensamente a partir de su contenido fósil asociado a la Fauna Malvinokáfrica (Rustán 2012 y sus referencias), que permitió asignarle una edad pragiana-emsiana. Sin embargo, aún se son escasas o ausentes las contribuciones referidas a sus aspectos mineralógicos, petrográficos e isotópicos. En este sentido, el presente trabajo aporta nueva información relacionada a las características liticas y mineralógicas, como así también, las edades U-Pb en circones detríticos que posibilitan realizar consideraciones acerca de las fuentes detríticas que contribuyeron a su génesis. El estudio comprendió la realización de cinco perfiles sedimentológicos de detalle (escala 1:100), en dos localidades clásicas donde aflora la Formación Talacasto. Uno de ellos se llevó a cabo en la localidad tipo de esta unidad (Quebrada de Talacasto), donde el horizonte fue definido formando parte del techo de la formación. Los otros perfiles fueron levantados en la parte norte de la cuenca, en la localidad de Loma de los Piojos, próxima a la ciudad de San José de Jáchal, donde el horizonte se ubica hacia la parte media-superior de la unidad, evidenciando un claro diaconismo respecto a la localidad tipo. En cada perfil se muestrearon los cambios litológicos reconocibles, identificando cuando fuera posible la base, la sección media y el techo del horizonte. A partir de los cortes petrográficos de cada nivel (Fig. 1e, f, g), se reconocieron las siguientes composiciones: la sección basal se halla formada por areniscas finas matriz sostén, compuestas por cuarzo monocristalino (32%), cuarzo policristalino (9%), feldespatos (21%) de los cuales el potásico suele estar alterado a carbonatos, matriz (14%), líticos (8%) predominando los de naturaleza plutónica asociados a granitoides y menos frecuentes los metamórficos. Los filosilicatos son escasos, biotita (3 a 5%); muscovita (1%) y clorita (1%). La petrografía de la sección media, definida como la "capa ocre" en este trabajo, está caracterizada de acuerdo a las observaciones petrográficas por fangolitas y areniscas finas muy bioturbadas, cuya composición es similar a la registrada en la sección basal. Este nivel presenta un importante contenido fósil (trilobites, braquiópodos, cefalópodos, bivalvos, entre otros grupos). En la matriz son abundantes las concreciones de composición silicoelástica, con frecuente contenido fósil y de pocos centímetros de diámetro y otras con mayor proporción de carbonato, carentes de fósiles, que alcanzan hasta medio metro de diámetro (Fig 1d). La sección superior es granulométricamente heterogénea, involucra desde areniscas medianas hasta fangolitas altamente bioturbadas. La composición petrográfica ha resultado semejante a las secciones infrayacentes, sin embargo, las areniscas medianas presentan un mayor contenido de fragmentos líticos, principalmente plutónicos por sobre los metamórficos. En la Quebrada de Talacasto, hacia la parte superior del horizonte, se observan ooides de posible composición chamosítica, similares a los descriptos para la base de la secuencia silúrica cuya depositación se vincula a medios litorales someros relacionados a mares fríos a templados, como resultado de las variaciones del nivel eustático (Astini, 1992). Una muestra tomada en la localidad de Loma de los Piojos, correspondiente a la sección media (16T56) del horizonte, se procesó y extrajo circones detríticos que fueron analizados mediante la metodología U-Pb (LA-MC-ICP-MS) para obtener los

Simposio/Sesión técnica XX



patrones de edades que caracterizan el aporte sedimentario que generó esta capa. Se obtuvo el análisis de 91 circones detríticos (Fig. 1h), cuyos resultados revelan un predominio de edades que caracterizan al Ciclo Famatiniano (46,2%); de los cuales el 19,8% corresponden a edades ordovícicas con valores entre 444-483Ma, el 14,3% a edades cámbricas medias entre 499-521Ma, el 8,8% a edades cámbricas superiores entre 486-496Ma y finalmente, constituyen el 3,3% las edades silúricas entre 437-440Ma. Los circones con edades relacionadas a los ciclos Mesoproterozoico y Pampeano-Brasiliano se encuentran presentes con similares proporciones, 26,4% y 24,2% respectivamente. Entre las edades mesoproterozoicas se identificó un 19,8% de circones con edades stenianas entre 1000-1199Ma, 4,4% de edades ectasianas entre 1318-1398Ma y 2,2% con registros del Calymmiano entre 1402-1520 Ma. Para el ciclo Pampeano-Brasiliano, el 20,9% corresponden a circones con edades neoproterozoicas entre 544-971 Ma. y 3,3% de circones con edades cámbricas inferiores entre 528-536Ma. Las edades antiguas están representadas por circones relacionados a fuentes derivadas de rocas del paleoproterozoico, presentes en 2,2% con edades del Orosiriano entre 1817-1869 Ma y por un grano del Neorquiano con 2719 Ma que representa el 1%. A partir de la relación isotópica Th/U registrada en cada circón analizado, el 90% de los cristales presentan valores >0.03, lo cual sugiere un origen de los detritos derivados de una fuente plutónica, siendo consistente con los estudios de las morfologías de los circones (Fig. 1i). De los 35 circones analizados bajo microscopio electrónico de barrido (MEB) predominan las formas prismáticas largas con facetas simples que se relacionan con una naturaleza plutónica (71,5%) de acuerdo a Pupin (1980). Mientras que las morfologías relacionadas a otros tipos de fuentes se encontraron menos representadas: metamórficos (11%), volcánicos (5%) y reciclados (12,9%). A modo de conclusión, el horizonte guía de Keidel exhibe dominancia de areniscas finas y fangolitas cuarzosas con un fuerte aporte de fuentes plutónicas y claro predominio de edades correspondientes al ciclo Famatiniano, muy probablemente podrían estar relacionadas con el aporte detrítico de las sierras Pampeanas orientales y el sistema de Famatina ubicados al este

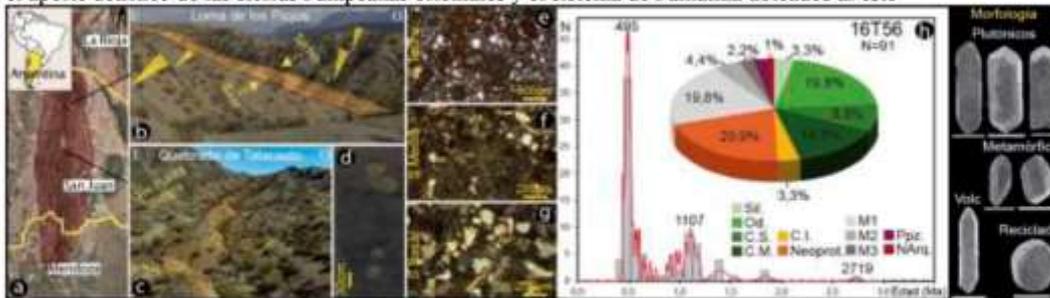


Fig. 1 a: Mapa de ubicación de la zona de estudio. b,c: Fotografía de campo del Horizonte de Keidel en las dos secciones de estudio. d: Detalle de concreciones. e,f,g: Petrografía, sección basal, media y techo respectivamente. h: Histograma de datos U-Pb. i: Morfología de circones, barra: 100µm.

**Agradecimientos:** Al CIG, UNLP por el proyecto PIP/N031 y al personal de CPGeo, San Pablo, Brasil.

#### Referencias

- Astini, R.A. 1990a. Cuerpos de arena en la Formación Talacasto, plataforma fangosa del Devónico precordillerano, Provincia de San Juan. III Reunión Argentina de Sedimentología. Actas: 13-18.
- Astini, R.A. 1991. Sedimentología de la Formación Talacasto: plataforma fangosa del Devónico precordillerano, provincia de San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina 44: 277-294.
- Astini, R.A. 1992. Descripción y génesis de los bancos de oolitas ferruginosas en la base del Silúrico de la Precordillera Argentina. Estudios Geol., 48: 297-303.
- Baldis, B.A. 1975a. El Devónico Inferior en la Precordillera Central. Parte I: Estratigrafía. Revista de la Asociación Geológica Argentina 30: 53-83.
- Bracaccini, O.L. 1949. El perfil de Tambolar. Revista de la Asociación Geológica Argentina 4: 165-179.
- Espisúa, E. 1968. El Paleozoico inferior del río de las Chacritas, Departamento de Jáchal, Provincia de San Juan, con especial referencia al Silúrico. Revista de la Asociación Geológica Argentina 23: 297-311.
- Keidel, J. 1921. Observaciones geológicas en la Precordillera de San Juan y Mendoza. Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minería 15: 7-102.
- Rustan, J.J. 2012. Los trilobites devónicos de Precordillera Argentina: sistemática, filogenia, paleobiogeografía y bioestratigrafía. Tesis Doctoral.
- Padula E.L., Rolletti E.O., Mingramm A., Criado Roque P., Flores M.A. y Baldis B.A. 1967. Devonian of Argentina. International Symposium on the Devonian System. Proceedings 2: 165-199.
- Pupin, J.P. 1980. Zircon and Granite petrology. Contrib. Mineral. Petrol. 73, 207-220.



## ANÁLISIS DE LA PROCEDENCIA DE UNIDADES DEVÓNICAS DE PRECORDILLERA: FORMACIONES PUNTA NEGRA Y VILLAVICENCIO.

Jonatan A. Arnol<sup>(1)</sup>, Norberto J. Uriz<sup>(2)</sup>, Carlos A. Cingolani<sup>(1,2)</sup>,  
Miguel A.S. Basci<sup>(3)</sup> y Paulina Abre<sup>(4)</sup>

<sup>1)</sup> Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), Diag. 113 n. 275, CP1904, La Plata, Argentina  
arnoljonatan@gmail.com

<sup>2)</sup> División Científica de Geología, Museo de La Plata, UNLP, Paseo del Bosque s/n, La Plata, Argentina.

<sup>3)</sup> Universidade de Sao Paulo, Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo), Sao Paulo, Brasil.

<sup>4)</sup> Centro Universitario Regional Este, Universidad de la República, Ruta 8 Km 282, Treinta y Tres, Uruguay

La Precordillera del oeste argentino es caracterizada por el desarrollo de unidades carbonáticas y silicoelásticas del Paleozoico inferior y medio (Fig. 1a). Durante el Devónico se produce la deposición de las unidades más conspicuas de esta región, por un lado, en el sector sanjuanino se reconoce a las Formaciones Talacasto y Punta Negra (FPN), mientras que, al norte de la provincia de Mendoza, afloran sedimentitas marinas correspondientes a la Formación Villavicencio (FV). Las dos últimas unidades mencionadas han sido consideradas lateralmente continuas (Cuerda y Baldi, 1971; Poiré *et al.* 2005). En este sentido, el presente trabajo pretende ampliar el conocimiento sobre la procedencia y ambiente tectónico de sedimentación de estas secuencias, a partir de la comparación de los componentes detríticos que caracterizaron el relleno de la/las cuenca/s. Para interpretar esta problemática, se realizaron descripciones petrográficas de la FPN y su comparación con las publicadas por Bustos (1996), Kury (1993) y Cingolani *et al.* (2013). Asimismo, se utilizaron métodos estadísticos como el "Kolmogórov-Smirnov" y la aplicación del diagrama CA-DA (*Crystallization Age-Deposition Age*) de Cawood *et al.* (2012) para el tratamiento de los datos U-Pb en circones detríticos aportados por Cingolani *et al.* (2013) y Arnol *et al.* (2018 y en prensa). Desde el punto de vista estratigráfico/sedimentológico la FPN corresponde a una sucesión monótona de areniscas, vaques, arcosas verdes oscuras, con intercalaciones pelíticas, mientras que la FV al sur, se compone de una alternancia rítmica de grauvacas gris verdosas y pelitas grises a negras con abundantes calcos de flujos y óndulas. En ambas unidades se registran niveles con plantas fósiles endémicas que fueron asignadas al Devónico inferior y medio (Edwards *et al.* 2001 y 2009). Para el análisis petrográfico, se realizó un conteo de puntos bajo el microscopio de muestras correspondientes a la FPN que presentaron un predominio las areniscas líticas medianas, con una abundancia de cuarzo monocristalino y policristalino entre un 60-80%, líticos, principalmente de origen metamórfico y plutónicos (15-20%), y feldespatos mayormente potásicos (15%). Valores similares fueron mencionados por Bustos (1996) en muestras de esta unidad. Para la FV, Kury (1993) observa un predominio de cuarzo entre el 70 y 80%, con una escasa presencia de líticos que no supera el 15%. Los feldespatos potásicos participan generalmente con menos del 10%. Similares observaciones fueron presentadas por Cingolani *et al.* (2013). En los diagramas de discriminación de ambiente tectónico de las fuentes (Dickinson *et al.* 1983), las muestras de la FPN se vinculan a fuentes derivadas de un orógeno reciclado (Fig. 1b), siendo coincidente con lo observado por Bustos (1996). En tanto que, para la FV, las muestras indican fuentes derivadas de un orógeno reciclado a transicional de acuerdo a Kury (1993) y Cingolani *et al.* (2013). En trabajos previos fueron dados a conocer los resultados de edades U-Pb en circones detríticos de la FPN, (Arnol *et al.* 2018, 2020 en prensa) y la FV, (Cingolani *et al.* 2013). Para la FPN, los autores analizaron las muestras (17PN07; 16PN33; 16PN43) distribuidas de norte a sur en los afloramientos de esta unidad. Las edades registradas revelaron una moda dominante de circones con edades mesoproterozoicas 55,9%; 61,9% y 97,4%; con un claro enriquecimiento de estas edades en sentido norte-sur, seguido por los aportes correspondientes a los ciclos orogénicos Pampeano-Brasiliano 26,5%; 6,2% y 1,3% y Famatiniano 8,8%; 30,9% y 1,3%. Asimismo, dentro de las edades mesoproterozoica, resultaron ser dominantes aquellos circones correspondientes al Statheriano (M3, 1000-1200 Ma.) con proporciones de 29,5%; 40% y 55,9%. Para la FV, también han sido reportados resultados de tres muestras (09-V1; 09-V2; 09-V15) arrojando patrones de edades muy homogéneas, con una moda principal representada por edades mesoproterozoicas, con participaciones del 83%, 77% y 72% respectivamente en cada muestra. Donde las edades del M3, relacionado al Orógeno Grenvilliano/Sunsás, resultan ser las más frecuentes con el 53%, 56% y 47%, en tanto que las edades vinculadas al Ciclo Orógeno Pampeano-Brasiliano no superan el 14%. Las edades que representan al ciclo Famatiniano resultaron escasas, no superando el 3% en las muestras 09-V1 y 09-V2 y alcanzado cerca del 9% en la muestra V-15. Los circones cratónicos (reciclados antiguos) se encuentran de forma aislada con solo un 5% de participación en las muestras 09-V2 y 09-V15, (Fig. 1c). Mediante la aplicación del test estadístico K-S (Berry *et al.* 2001) se revela que las muestras ubicadas hacia el sector Norte de la Precordillera Central muestran un grado de correlación nulo con la ubicada al sur, mientras que, el valor de correlación entre esta última y las muestras de la FV es mayor a 0,05. Esto sugiere que, la correlación en función a la distribución de edades son equivalentes en la parte centro sur de la cuenca, y no hacia el norte,



probablemente debido a que los depósitos más septentrionales representan los niveles superiores de la unidad, mientras que hacia el sector austral de la cuenca los niveles estratigráficos serían semejantes y estuvieron depositándose coetáneamente. De acuerdo al diagrama CA-DA propuesto por Cawood *et al.* (2012) las muestras correspondientes a la FV y la 16PN43 de la FPN se ubican en el campo colisional (Fig. 1d), lo cual es coherente por tratarse del relleno del antepaís originado por la colisión del Terreno Cuyania. Las muestras de FPN ubicadas en el norte de Precordillera, presentan un comportamiento de sus curvas que indicarían estar relacionadas a un ambiente de convergencia, sin embargo, la nula participación de circones de edad devónica, sumado a la presencia de hasta un 30% de circones de edades famatinianas o Pampeanas–Brasilianas, nos indica que no se trataría de un margen convergente sino de depocentros aislados con influencia de rocas fuentes más jóvenes. La importante contribución de circones detríticos con edades mesoproterozoicas, esencialmente grenvillianas, como ya lo mencionara Loske (1994) ponen de manifiesto la influencia que tuvieron las unidades de basamento como las registradas hacia el este de la Precordillera, en las sierras de Pie de Palo, Umango, Espinal y Maz. Finalmente, se interpreta que las edades correspondientes al ciclo Pampeano-Braziliano y Famatiniano hacia el norte/centro de la cuenca que resultaron menos conspicuas, se asocian a fuentes derivadas de las Sierras Pampeanas orientales y al Sistema de Famatina, las cuales probablemente se encontraban menos expuestas, quedando reflejado en su menor participación.

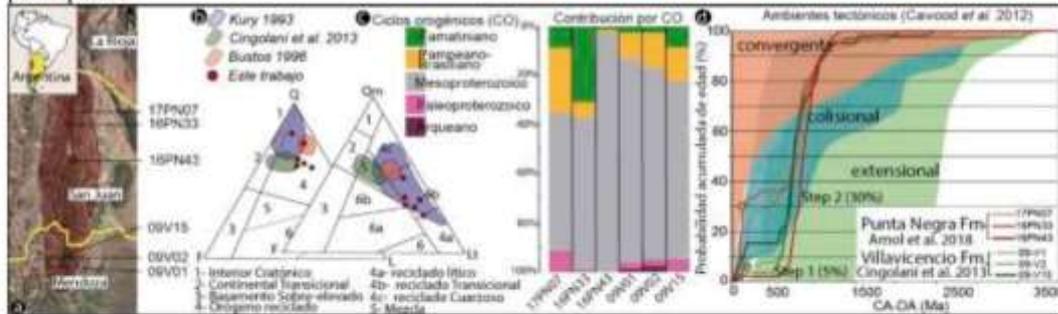


Figura 1. a) Ubicación de la cuenca de Precordillera y zonas de muestreo. b) Diagrama ternario de discriminación tectónica de las fuentes de detritos, propuesto por Dickinson *et al.* (1983). c) Contribución porcentual por ciclos orogénicos. d) Diagrama de discriminación de ambiente tectónico según Cawood *et al.* (2012).

#### Referencias

- Arnol, J.A., Uriz, N.J., Cingolani, C.A. y Basei, M.A.S. 2018. Edad de circones detríticos como aparte a la interpretación de la procedencia de la Formación Punta Negra (Devónico) Precordillera Central Sanjuanina. 16° Reunión Argentina de Sedimentología, Acta: General Roca, Río Negro, Argentina.
- Arnol, J.A., Uriz, N.J., Cingolani, C.A., Basei, M. y Abre, P. (en prensa). Provenance of the Devonian Gualilán Group, Precordillera de western Argentina: Tectonic evolution on the SW Gondwana margin. *International Journal of Earth Sciences*.
- Berry RF, Jenner GA, Melfre S, Tubrett MN (2001) A North American provenance for Neoproterozoic to Cambrian sandstones in Tasmania? *Earth Planet Sci Lett* 192(2): 207-222.
- Bustos, U.D. 1996. Modelo sedimentario alternativo para el Devónico de la Precordillera central sanjuanina: Formación Punta Negra. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 3:17-30.
- Cawood, P.A., Hawkesworth, C.J., y Dhuime, B. 2012. Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology* 40(10): 875-878.
- Cingolani, C.A., Manassero, M.J., Basei, M.A.S., Uriz, N.J. 2013. Provenance of the Villavicencio Fm, Lower Devonian, Mendoza, Argentina. 7° Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo. Sociedad Geológica del Uruguay, Actas 191-196.
- Cuerda AJ, Baldis BA (1971) Silúrico-Devónico de la Argentina. *Ameghiniana* 8:128-164.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., y Ryberg, P.T. 1983 Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin* 94(2): 222-235.
- Edwards, D., Morel, E., Poiré, D.G., y Cingolani, C.A. 2001. Land plants in the Devonian Villavicencio Formation, Mendoza Province, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology* 116(1-2): 1-18.
- Edwards, D., Poiré, D.G., Morel, E.M., y Cingolani, C.A. 2009. Plant assemblages from SW Gondwana: further evidence for high-latitude vegetation in the Devonian of Argentina. *Geological Society, London, Special Publications* 325(1): 233-255.
- Kury, W. 1993. Características composicionales de la Formación Villavicencio, Devónico, Precordillera de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Geología y Recursos Naturales de Mendoza. Actas 50: 321-328.
- Loske, W.P. (1995). 1.1 Ga old zircons in W Argentina: implications for sedimentary provenance in the Palaeozoic of Western Gondwana. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Monatshefte*, 51-64.
- Poiré, D. G., Edwards, D., Morel, E., Bassett, M. G., & Cingolani, C. A. (2005). Depositional environments of Devonian land plants from Argentine Precordillera, South-West Gondwana. In *Gondwana 12 Conference, Mendoza. Abstract*.