

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1- Introducción al tema

La Formación Mata Amarilla (Feruglio, en Fossa Mancini *et al.*, 1938; Leanza, 1972) es una unidad clave para el entendimiento del Cretácico de la Cuenca Austral, ya que marca el pasaje entre el estadio de cuenca marginal y el estadio de cuenca de antepaís. Sin embargo, el grado de conocimiento sobre aspectos sedimentológicos, estratigráficos, paleoambientales y paleogeográficos es muy escaso. De esta manera el propósito de esta investigación es realizar un estudio sedimentológico detallado de la Formación Mata Amarilla en el área de Tres Lagos y su continuación hacia el Sur en el ámbito de la Cuenca Austral, situada en el Sudoeste de la Provincia de Santa Cruz (Lámina 1.1).

Para ello se analizaron las distintas facies sedimentarias de esta formación y sus respectivas asociaciones, arreglos de arquitecturas fluviales, paleocorrientes, material fósil y datos composicionales, de los cuales se tenía un conocimiento somero (cf. Goin *et al.*, 2002; Poiré *et al.*, 2004).

Los estudios sedimentológicos de detalle estuvieron destinados a profundizar el conocimiento de los ambientes sedimentarios del Cretácico superior temprano de la región, como así también plantear un modelo deposicional de los mismos, el cual servirá como modelo predictivo para la exploración y explotación de hidrocarburos. Uno de los objetivos primarios fue caracterizar los procesos sedimentarios, su relación con la estratigrafía secuencial y la influencia de los factores cuencales que controlan la sedimentación (alocíclicos y autocíclicos). Sobre la base de los datos de los paleoambientes sedimentarios, paleocorrientes y procedencia se abordó un análisis paleogeográfico.

Asimismo, a través de los numerosos perfiles de detalle y la ubicación temporal mediante los fósiles presentes y datos U-Pb sobre circones primarios, se realizaron análisis estratigráficos secuenciales de alta resolución.

El conjunto de facies, asociaciones de facies, la recolección de material paleontológico y el reconocimiento de estructuras sedimentarias orgánicas, constituyó la información fundamental para entender las condiciones paleoecológicas del Cretácico superior temprano de la región.

# Mapa de ubicación Regional

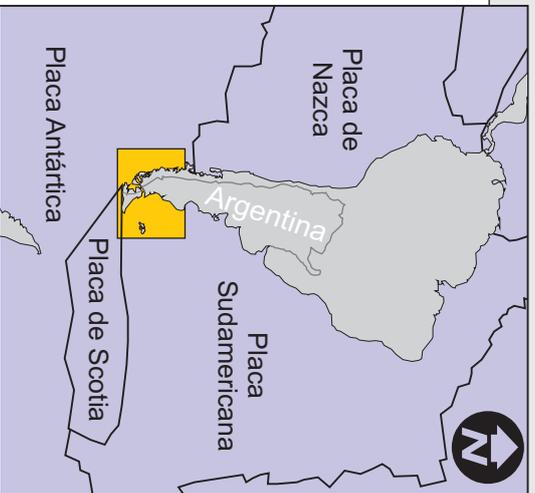
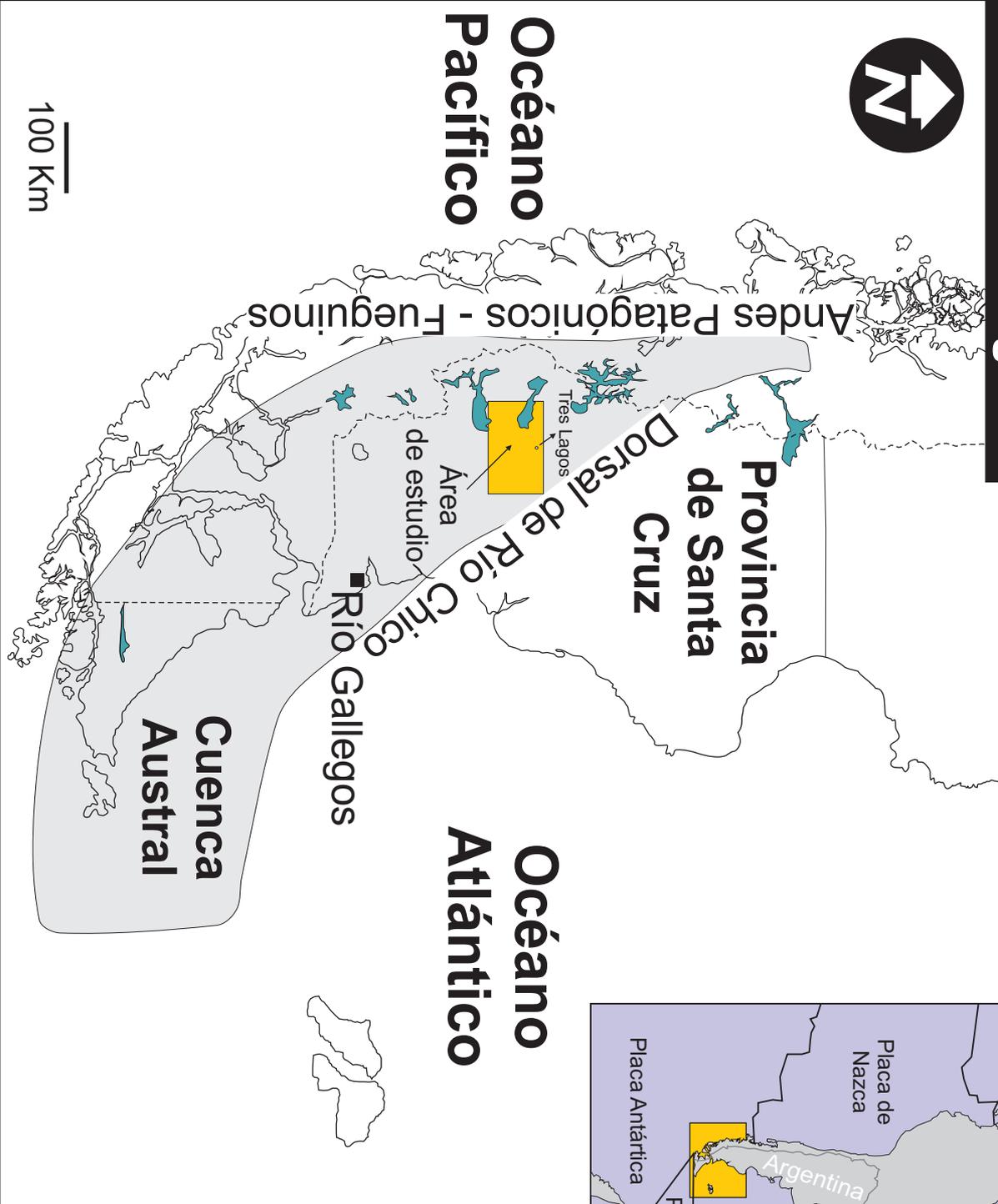


Lámina 1.1

En el mismo sentido esta investigación dio lugar a esclarecer problemáticas e interrogantes acerca de la ubicación estratigráfica de la Formación Mata Amarilla en la Cuenca Austral y la relación existente con las unidades infra y suprayacentes.

Durante el transcurso de los años 2006, 2007, 2008 y 2009 se obtuvieron los datos de campo y se muestrearon las diferentes facies para las caracterizaciones composicionales correspondientes.

A partir del tratamiento estadístico e intelectual de los datos anteriores, se caracterizaron y analizaron las facies y asociaciones de facies. De esta manera, se procedió a la interpretación de los paleoambientes que intervinieron en la sucesión. Se puso un especial énfasis en el modelado deposicional de las arquitecturas fluviales y en los paleosuelos desarrollados en las planicies de inundación, que es una línea de investigación de alto impacto en la prospección, explotación y manejo de recursos naturales no renovables.

## **1.2- Marco Geológico de la Cuenca Austral**

La cuenca Austral también conocida como Magallanes se ubica sobre el extremo suroccidental de la placa Sudamericana y su límite meridional lo constituye la placa de Scotia (Lámina 1.1). Alcanza una superficie de aproximadamente 230000 Km<sup>2</sup> cubriendo el extremo meridional de los territorios de Argentina y Chile. Su forma es elongada en la dirección N-S, su borde oriental depositacional, es paralelo al Río Chico, extendiéndose hacia el mar en la “Dorsal de Río Chico” o “Arco Dungeness”, que la separa de la Cuenca de Malvinas. Su borde occidental, tectónico, lo constituyen los Andes Patagónico- Fueguinos (Lámina 1.1).

Posee una espesa sucesión sedimentaria que alcanza un espesor máximo de unos 8000 metros, con desarrollo casi exclusivo de rocas silicoclásticas. Los sedimentos carbonáticos sólo se presentan en algunas posiciones de la cuenca y son de reducido espesor (Peroni *et al.*, 2002).

La historia geológica de la Cuenca Austral está relacionada a tres etapas tectónicas principales (Biddle *et al.*, 1986; Robbiano *et al.*, 1996; Ramos, 2002; Kraemer *et al.*, 2003; Peroni *et al.*, 2002; Rodríguez y Miller, 2005). Éstas son la etapa de rift, la etapa de hundimiento termal con el desarrollo de una cuenca marginal (Cuenca Marginal de Rocas Verdes) y por último la etapa de antepaís (Lámina 1.2).

### 1- ETAPA DE RIFT

Esta etapa de rifting está relacionada a la ruptura de Gondwana (Pankhurst *et al.*, 2000), tuvo lugar durante el Jurásico medio a superior. Afectó principalmente al Macizo del Deseado y está representada en la Cordillera Patagónica por el denominado Complejo El Quemado o Formación Tobífera en Chile. El Complejo El Quemado está constituido por potentes espesores de dacitas y andesitas controlados por fallas directas e interdigitadas con sedimentos psefíticos y en algunos casos hasta pelíticos. Durante esta etapa inicial se desarrollaron grábenes y hemigrábenes rellenos por rocas volcánicas y volcanoclásticas interdigitadas con sedimentos epiclásticos, cada vez más jóvenes hacia el este.

### 2- ETAPA DE HUNDIMIENTO TERMAL

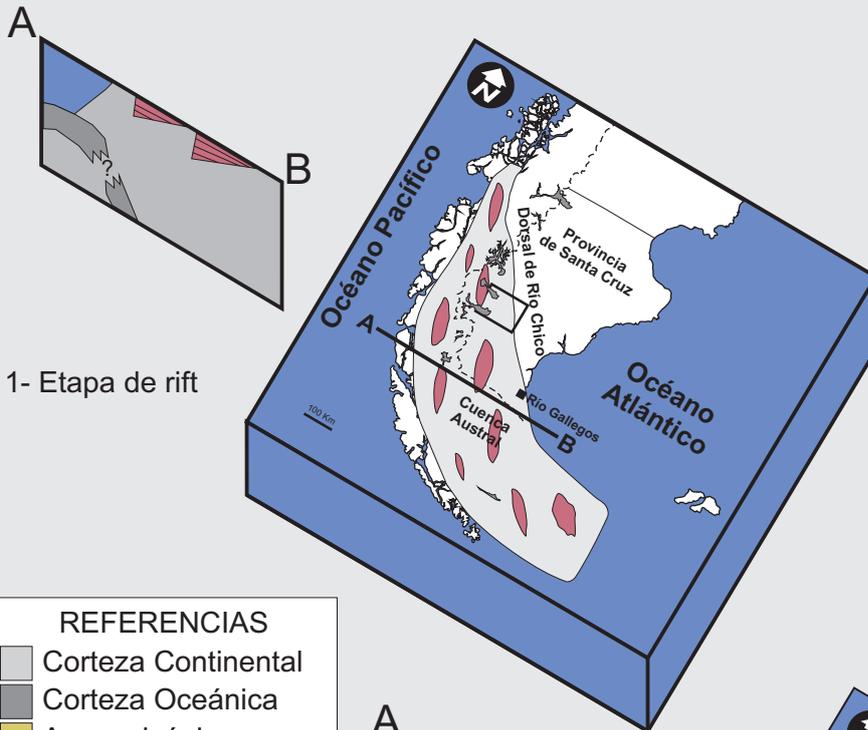
Posteriormente, una vez que cesó la actividad tectónica, comienza un período de “sag” o hundimiento termal. Esta etapa se relaciona con el desarrollo de una cuenca marginal (Cuenca Marginal de Rocas Verdes), asociada a la apertura del Mar de Wedell, en el sector sudoeste de la cuenca (Dalziel, 1981; Biddle *et al.*, 1986).

Durante la etapa de hundimiento termal se desarrollaron los típicos depósitos transgresivos de la Formación Springhill, caracterizados por areniscas cuarzosas, con clastos de cuarzo bipiramidales. La Formación Springhill traslapa ampliamente los bordes de los hemigrabenes iniciales. Por encima se depositó una espesa sucesión marino profunda, caracterizada por pelitas negras y margas alternantes de la Formación Río Mayer, la cual se extiende hasta el Barremiano. Hacia el final de este ciclo (Aptiano inferior - Albiano) en el sector Norte y Este de la cuenca se desarrolló un gran sistema deltaico de margen pasivo, denominado Formación Piedra Clavada y su equivalente homólogo en el área de lago San Martín, Formación Kachaike.

### 3- ETAPA DE ANTEPAÍS

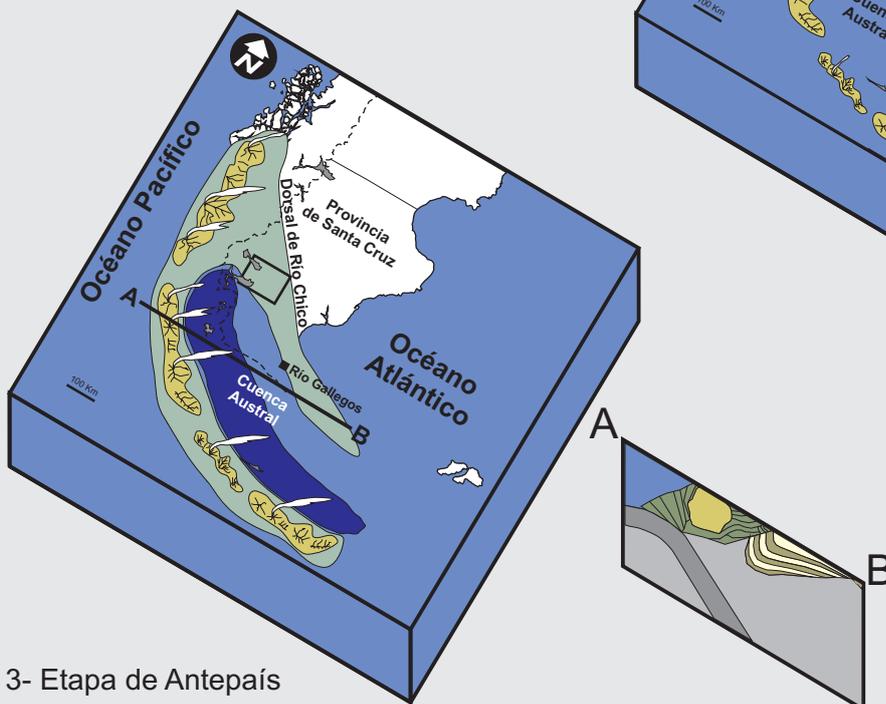
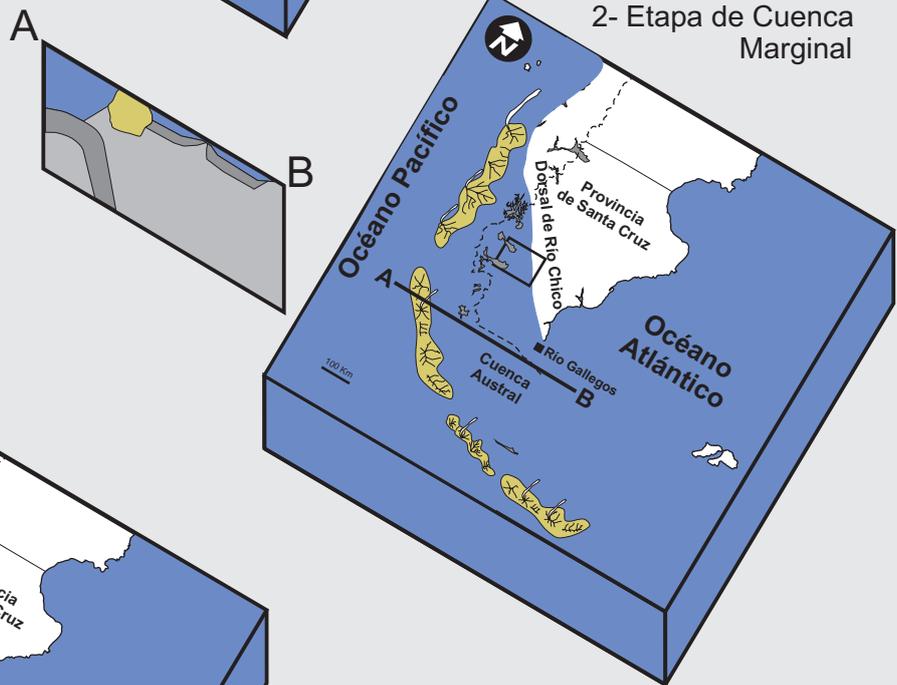
Un cambio regional desde una fase extensiva a una fase compresiva se produjo a mediados del Cretácico, producto de la convergencia de un arco y/o cratón. Lo que generó como resultado la obducción de las ofiolitas, que constituían el fondo oceánico de la Cuenca Marginal de Rocas Verdes, sobre el margen continental cratónico (Dalziel, 1981; Ramos, 1989). El tiempo exacto de la obducción no ha podido determinarse en detalle, pero la compresión asociada a los primeros estadios orogénicos produjo en el retroarco el desarrollo de una faja plegada y corrida a lo largo de los andes Patagónicos - Fueguinos. A esta faja plegada y corrida se le

# Historia Geológica de la Cuenca Austral



**REFERENCIAS**

	Corteza Continental
	Corteza Oceánica
	Arco volcánico
	Faja plegada y corrida
	Volcaniclástico
	Marino somero
	Marino profundo
	Continental
	Relleno de antepaís



asocia, en su margen Este, una cuenca de antepaís (Cuenca Austral de antepaís). Este proceso compresivo tuvo continuidad desde el Cretácico superior hasta el Neógeno (Ramos *et al.*, 1982; Biddle *et al.*, 1986; Wilson, 1991; Spalletti y Franzese, 2007).

Entre el Cenomaniano medio y el Coniaciano inferior (96-84 Ma) se desarrolló un evento de deformación, el cual estaría relacionado con el cierre de la cuenca de Rocas Verdes (Ramos *et al.*, 1982; Biddle *et al.*, 1986). Asimismo este evento de deformación es coincidente con la máxima actividad magmática registrada en el Batolito Patagónico a los 98 Ma (Ramos *et al.*, 1982; Ramos, 1982; Bruce *et al.*, 1991), que culminó con la colisión de una dorsal oceánica vinculada con la Adakita Puesto Nuevo, emplazada entre los 85 y los 76,7 Ma. (Ramos *et al.*, 1994; Nullo *et al.*, 2002).

El comienzo de la fase compresiva en la parte Norte de la Cuenca Austral está marcado por la progradación Oeste-Este de las facies fluvio-estuarinas de la Formación Mata Amarilla (Varela, 2009; Varela *et al.*, *en prensa*). Este cambio hacia una fase compresiva también fue interpretado para el sector Norte del Lago Viedma sobre la base de datos de paleocorrientes y cambios faciales en la Formación Lago Viedma (Canessa *et al.*, 2005). Por su parte en Chile, en la región del Parque Nacional “Torres del Paine” y en el distrito Última Esperanza, la fase compresiva se encuentra en el pasaje de la Formación Zapata a la Formación Punta Barrosa, la primera de ambiente marino de plataforma y la segunda de ambiente marino profundo (Wilson, 1991; Fildani *et al.*, 2003; Fildani y Hessler, 2005). Dicho pasaje fue datado a través de circones detríticos, en una edad no mayor que  $92 \pm 1$  Ma (Fildani *et al.*, 2003).

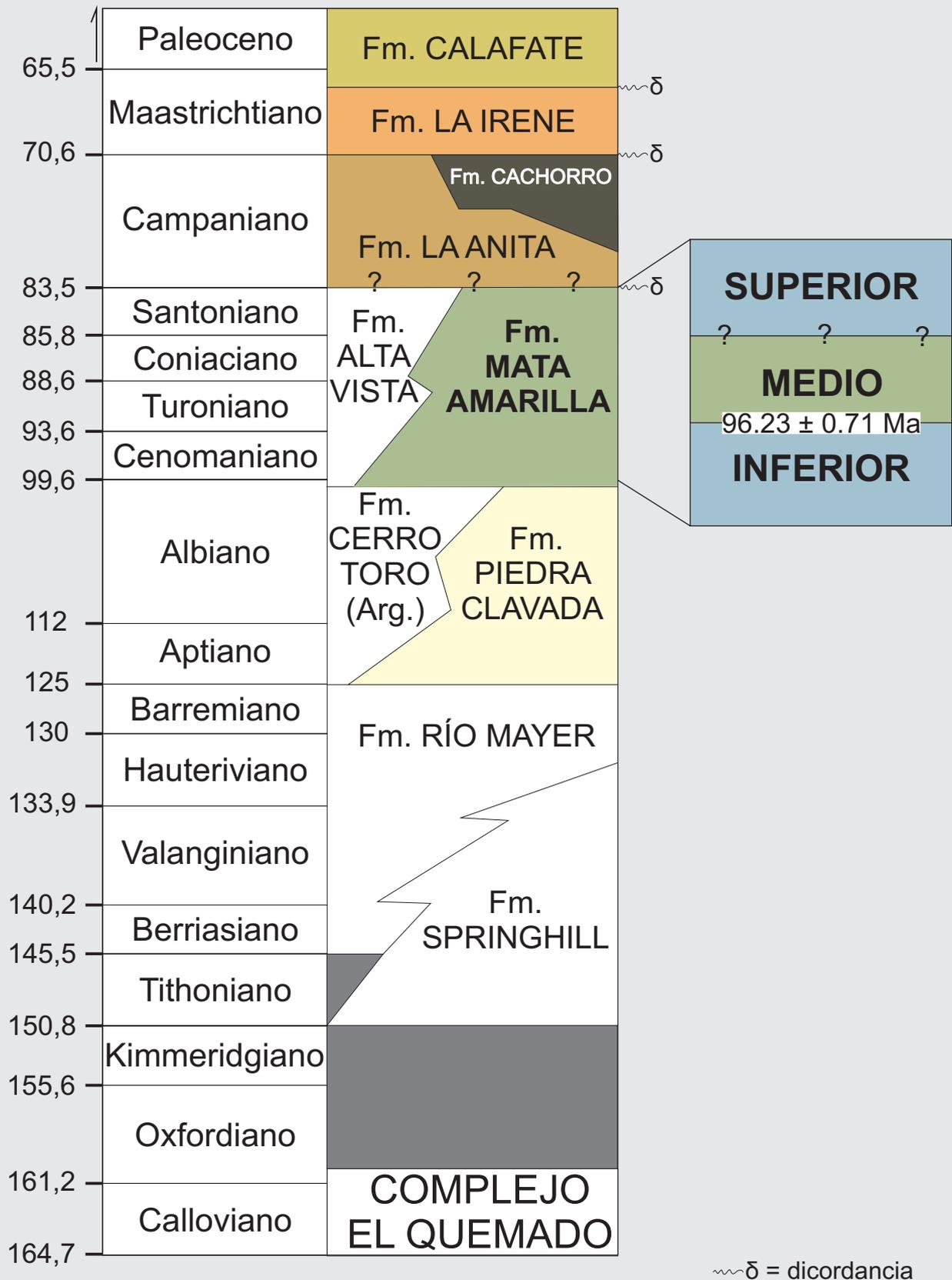
Los siguientes episodios de deformación están relacionados con el ciclo Andino del cual se reconocen dos fases principales, una relacionada a la Orogenia Incaica, sincrónica con la mayor actividad registrada para el basalto Posadas y asociada con un período de rápida velocidad de convergencia en el Eoceno medio a superior. La otra fase ocurrió durante el Neógeno, vinculada con la Orogenia Quechua relacionada a otro período de alta velocidad de convergencia, resultando el emplazamiento de stocks graníticos miocenos, la colisión de la dorsal sísmica de Chile, la estructuración actual de la faja plegada y corrida y el alzamiento definitivo de la cordillera (Ramos, 2002; Kraemer *et al.*, 2002).

### 1.3- Antecedentes de la Formación Mata Amarilla

Esta sucesión fue denominada “Estratos de Mata Amarilla” (Feruglio, en Fossa Mancini et al., 1938) o Formación Mata Amarilla (Bianchi, 1967; Leanza, 1972; Russo y Flores, 1972), y se corresponde con lo que Ameghino (1906) denominó “Sehuenense” (Cione *et al.*, 2007; Varela *et al.*, 2008; Varela, 2009; O’Gorman y Varela, *en prensa*). Es una de las unidades más representativas del Cretácico superior temprano de la Cuenca Austral. Desde el punto de vista geotectónico se encuentra enmarcada dentro de la etapa de antepaís, más precisamente en el segundo episodio de la misma, lo cual estaría relacionado con el cierre de la Cuenca de Rocas Verdes (Biddle *et al.*, 1986; Varela, 2009). Esta formación alcanza en afloramiento, espesores del orden de los 350 metros y está constituida por limolitas y arcilitas grises y negruzcas, que alternan con bancos de entre 1 y 10 metros, compuestos de areniscas blanquecinas y gris amarillentas, finas y medianas, depositadas en ambientes litorales y continentales (Arbe, 1989, 2002; Poiré *et al.*, 2004; Russo y Flores, 1972; Russo y Di Benedetto, 1980; Varela y Poiré, 2008; Varela, 2009; Varela *et al.*, *en prensa*). El perfil tipo se encuentra en la margen sur del Río Shehuen o Chalia, unos 23 Km. al Este de la población de Tres Lagos, en los alrededores de la Ea. Mata Amarilla (Ea. La Soriana). Se dispone por encima de la Formación Piedra Clavada en un contacto transicional y es cubierta por la Formación La Anita en forma discordante (Varela y Poiré, 2008; Varela, 2009) (Lámina 1.3). Esta formación se depositó durante el Cretácico superior temprano y abarca desde el Cenomaniano al Santoniano (Poiré *et al.*, 2007; Varela y Poiré 2008; Varela, 2009) (Lámina 1.3).

La Formación Mata Amarilla en sus niveles inferiores es portadora de los siguientes bivalvos: *Exogyra guaranitica* (Ihering), *Ostrea guaranitica* (Ihering), *Pterotrigonia aliformis* (Parkinson), *Corbula sehuenae* Ihering y del gasterópodo *Potamides (Pirenella) patagoniensis* Ihering (Ihering, 1907; Wilckens, 1907; Bonarelli y Nágera, 1921; Piatnizky, 1936; Feruglio, 1936, 1937, 1938; Varela *et al.*, 2008; Varela *et al.*, *en prensa*; Griffin y Varela, *en prensa*). Por otra parte se ha mencionado la presencia de amonites en el Cerro Índice (Leanza, 1969), los cuales se asignan a los “Estratos de Mata Amarilla” y se los denomina como *Peroniceras santacruzense* (Leanza, 1969; Riccardi, 1984a; 1984b), *Placenticeras* sp. (Blasco *et*

# Esquema estratigráfico



*al.*, 1980; Nullo *et al.*, 1981) y *Gauthiericeras santacrucense* (Riccardi y Aguirre Urreta, 1988; Riccardi, 2002).

Dentro de la misma formación, se han documentados abundantes registros de peces, peces pulmonados (Dipnoos), anfibios, tortugas acuáticas y cocodrilos (Goin *et al.*, 2002; Cione *et al.*, 2007). Entre los restos de peces se reconocieron escamas ganoideas de semionotiformes o quizás lepisosteiformes (Goin *et al.*, 2002) y recientemente se han encontrado abundantes dientes de *Protosphyraena* sp.; cf *Cretolamna appendiculata* y *Carcharias* sp. y escamas de *Neopterygii* indet., los cuales se hallan en proceso de estudio por el Dr. Alberto Cione. Entre los dipnoos, basados en 200 placas dentarias completas y fragmentarias, Cione *et al.* (2007) describen dos especies “*Ceratodus*” *iheringi* y un nuevo género *Atlantaceratodus iheringi* Cione, Gouric, Goin y Poiré 2007. Con respecto a las tortugas se registran pleurodiros de la familia Chelidae, correspondientes a dos grupos *Phrynops* y *Chelus* (Goin *et al.*, 2002). Recientemente O’Gorman y Varela (2010) han reportado registros de plesiosaurios en las localidades de Ea. Mata Amarilla y Ea. La Blanca, el registro incluye vértebras, un estilopodio y numerosos dientes, los cuales ya habían sido descritos por Ameghino como *Polyptychodon patagonicus* (*nomen vanum*).

En las partes netamente continentales de la porción media y la porción superior de la Formación Mata Amarilla predominan los restos de dinosaurios de tipos terópodos y saurópodos, entre los que se destacan el tetrápodo *Ornithischia Talenkauen santacrucensis* Novas, Cambiaso, y Ambrosio 2004, el Terópodo *Orkoraptor burkei* Novas, Ezcurra y Lecuona 2008, y el Sauropoda *Puertasaurus reuili* Novas, Salgado, Calvo y Agnolín 2005 (Lacovara *et al.*, 2004; Novas *et al.*, 2004a, 2004b, 2005, 2008).

A su vez se ha descrito en la Formación Mata Amarilla la flora de *Laucophyllum* sp. y *Araliaephyllum* sp. y la presencia de algas de (*Botryococcus* sp., *Palambages* sp. y *Chizosporis reticulata*) (Arrondo, 1983). Por su parte, Iglesias *et al.* (2007) describieron una abundante y muy diversa taoflora de angiospermas alojadas en dos niveles plantíferos correspondientes a las porciones inferior y media de dicha formación. Conjuntamente con un espeso nivel de paleosuelos se desarrolla un bosque petrificado con árboles en posición de vida, denominado “Bosque Petrificado María Elena” (Poiré *et al.*, 2004; Zamuner *et al.*, 2004, 2006; Varela *et al.*, 2006). Dicho bosque se encuentra dominado por gimnospermas de la familia *Podocarpaceae* (Zamuner *et al.*, 2004, 2006).

Varela (2009) dividió la Formación Mata Amarilla a partir de un análisis de facies en tres secciones relacionadas con diferentes condiciones de creación de espacio de acomodación respecto al aporte de sedimento (Lámina 1.3). Las secciones inferior y superior están caracterizadas por facies preponderantemente pelíticas de ambientes litorales a continentales, mientras que la sección media es más arenosa y de ambiente continental.

Como se verá en los capítulos correspondientes de esta Tesis, la sección inferior y la superior representan condiciones de altas tasas de acomodación / aporte de sedimento, mientras que la sección media representa bajas tasas de acomodación /aporte de sedimento (Varela, 2009).

En el mismo sentido se discutirá la hipótesis que desde un punto de vista estratigráfico secuencial, la sección inferior de la Formación Mata Amarilla representa una transgresión marina, la sección media representa una regresión forzada de acuerdo a los criterios de Catuneanu *et al.* (2009). Finalmente la formación termina, con una nueva transgresión marina (Varela, 2009).

A su vez, esta formación cuenta además con gran interés económico debido a que posee recursos de hidrocarburos (gas y petróleo) en subsuelo, los cuales constituyen una de las mayores actividades económicas de la región. De este modo, constituye un objetivo no tradicional en la Cuenca Austral. Limeres y Dellapé (2005) informaron el descubrimiento de niveles reservorio en la base de la Formación Mata Amarilla. El área está ubicada al Norte del Río Santa Cruz y al Oeste de la ciudad de Puerto de Santa Cruz. Según estos autores, en dicha área la unidad posee 362 m de arcilitas y limoarcilitas gris medio y castaño amarillento con inclusiones carbonosas. En forma saltuaria se intercalan bancos de 10 a 15m de espesor de areniscas grises y rosado blanquecino, medianas a gruesas y en ocasiones conglomerádicas. Esta descripción es muy similar a las facies descriptas en superficie por Poiré *et al.* (2004) para la sección basal de la Formación Mata Amarilla en el área de Tres Lagos, lo cual lo convierte en un análogo de relevancia.

Sobre la base de datos de cromatografía de gases y de biomarcadores, Limeres y Dellapé (2005) concluyeron que la roca madre fue depositada en un ambiente marino, bajo condiciones moderadamente reductoras, pero con un significativo aporte terrestre, no pudiéndose relacionar con ninguna de las rocas madres conocidas en la Cuenca Austral. De modo tal que el estudio de muestras de superficie será muy importante a fin de determinar si las pelitas negras y grises

oscuras de la Formación Mata Amarilla son las rocas madres que aportan fluidos a estos reservorios.

## **1.4- Discusión litoestratigráfica e importancia del término**

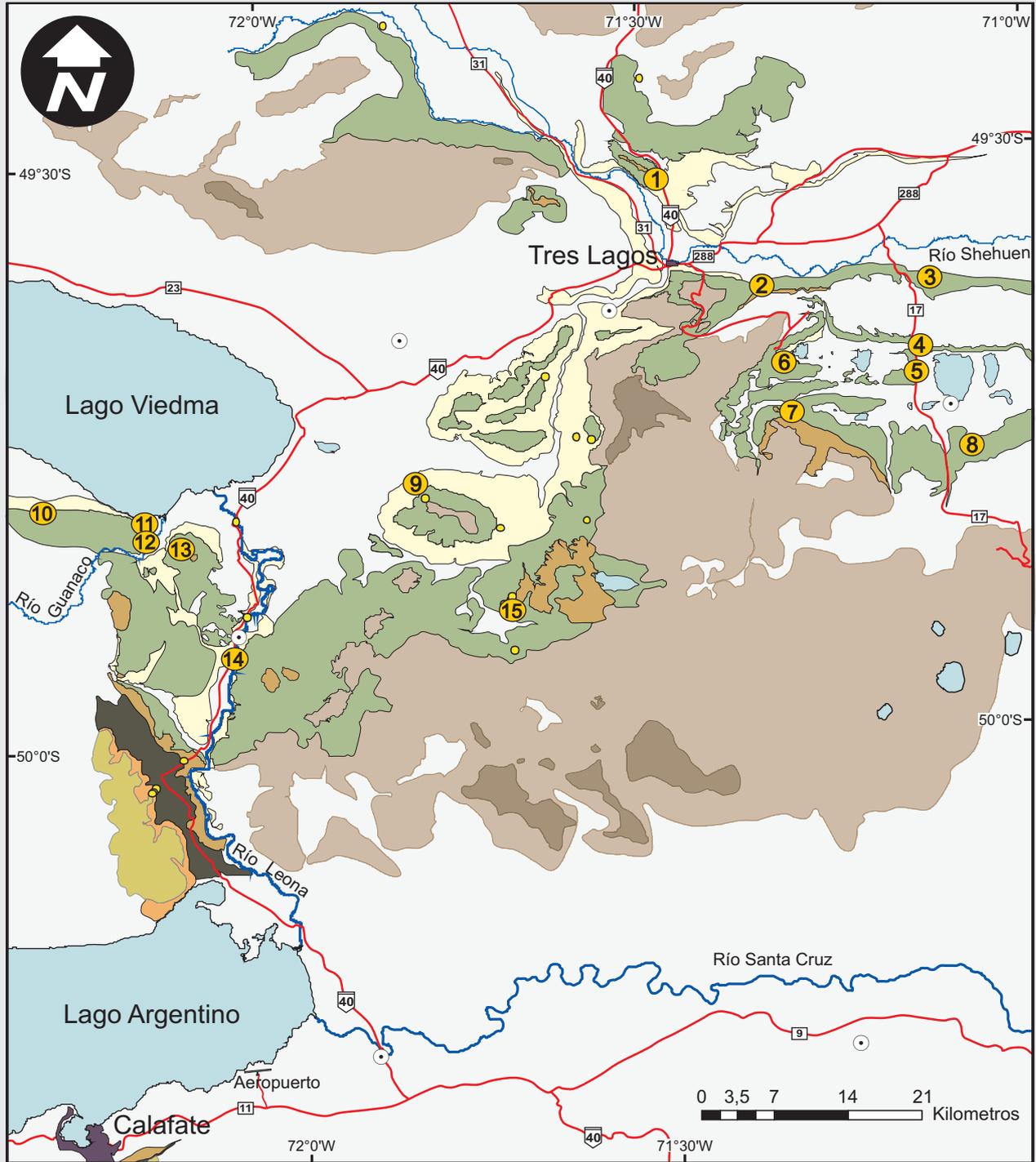
### **“Sehuenense” (sic)**

Se realizó un análisis exhaustivo de la información estratigráfica disponible de la Formación Mata Amarilla, así como también de otras formaciones del Cretácico superior de la región, el cual a continuación se procede a enumerar. Esto fue promovido por la presencia de criterios dispares en la definición de estas unidades y porque dos de los sectores que se estudiaron y mapearon como parte de la Formación Mata Amarilla habían sido descriptos con anterioridad, como correspondientes a las formaciones Pari Aike, Cerro Fortaleza, Río Guanaco y Puesto El Álamo. En la lámina 1.4 se muestra el mapa geológico realizado en el marco de la presente tesis doctoral.

Una vez realizado el mapeo y el análisis de la bibliografía resultan claras cuáles fueron las confusiones litoestratigráficas que hicieron de la estratigrafía del Cretácico superior de la Cuenca Austral un desafío difícil de resolver. Uno de los aspectos que llama mucho la atención es la gran abundancia de formaciones apiñadas en el período Campaniano- Maastrichtiano de la Cuenca (ver cuadros estratigráficos de: Robiano *et al.*, 1996; Arbe, 2002; Rodríguez y Miller, 2005) (Lámina 1.5).

Uno de los trabajos litoestratigráficos pioneros es sin duda el de Ameghino (1906) donde define el término “Sehuenese” (sic). Sin embargo las primeras descripciones de la estratigrafía del Cretácico superior fueron realizadas por Feruglio (Feruglio en Fossa Mancini, 1938); en este trabajo identificó los “estratos de Mata Amarilla” y los estratos de “Pari Aiken” (o “estratos con dinosaurios”). En la estancia homónima, Feruglio denominó “estratos de Mata Amarilla” a 350 metros de limolitas y arcilitas grises y negruzcas, que alternan con delgados bancos de areniscas blanquecinas y gris amarillentas, finas y medianas. A esta unidad la caracterizó como una sedimentación esencialmente marina. Feruglio (1935) encontró en dicha localidad una fauna, correspondiente a la sección inferior litoral de la Formación Mata Amarilla (este trabajo), portadora de *Exogyra guaranítica* (Ihering, 1907), *Ostrea guaranítica* (Ihering), *Pterotrigonia aliformis* (Parkinson), *Corbula sheuena* Ihering y *Potamides (Pirenella) patagoniensis* Ihering.

# Mapa Geológico



**REFERENCIAS**

### Planimetría

- Secciones parciales
- 3 Perfiles Sedimentológicos
- Perforaciones
- Rutas y caminos
- Obras de Arte

### Hidrografía

- Ríos
- Red de drenaje
- Lagos y lagunas

### Unidades litoestratigráficas

- |  |   |
|--|---|
| <span style="background-color: orange; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Formación La Irene       | <span style="background-color: white; border: 1px solid gray; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Cuaternario Indiferenciado |
| <span style="background-color: black; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Formación Cachorro        | <span style="background-color: brown; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Basaltos Neógenos Indif.                           |
| <span style="background-color: tan; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Formación La Anita          | <span style="background-color: gray; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Formación Calafate                                  |
| <span style="background-color: green; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Formación Mata Amarilla   |   |
| <span style="background-color: yellow; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Formación Piedra Clavada |   |

- |  |   |   |  |  |   |   |
|--|---|---|--|--|---|---|
| <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">1</span> C° Waring                    | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">2</span> Ea. La Regina | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">3</span> Ea. Mata Amarilla | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">4</span> MAFer            | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">5</span> Camino a María Elena           | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">6</span> Ea. La Urbana | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">7</span> Ea. Pari Aike |
| <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">8</span> Ea. Bajada de los Orientales | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">9</span> C° Índice     | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">10</span> Pto. La Marina   | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">11</span> Lago Viedma Sur | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">12</span> Desembocadura del Río Guanaco |   |   |
| <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">13</span> C° Hornos                   | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">14</span> C° Fortaleza | <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">15</span> Ea. La Blanca    |  |  |   |   |

**Lámina 1.4**

Cuadro estratigráfico de Robbiano et al. (1996), modificado por Rodríguez y Miller (2005)

Edad	RIO TURBIO	LAGO ARGENTINO	OESTE CUENCA AUSTRAL	Unidades tradicionales de Subsuelo	COSTA AFUERA	CICLOS		Principales Discordancias
<b>T</b>	MIOC.	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	ARENOSA SUPERIOR	Terciario Superior	SR 6 ST 6	16 m.y.
		PATAGONIA	PATAGONIA	PATAGONIA	MARGOSA SUPERIOR	Terciario Superior	SR 5 ST 5	30 m.y.
	OLIG.	RIO LEONA	RIO LEONA	RIO LEONA	G.A.	Terciario Superior	SR 6 ST 6	36 m.y.
		RIO TURBIO	MAN AIKE	MAN AIKE	MARGOSA MEDIA	Terciario Superior	SR 5 ST 5	49,5 m.y.
	EOC.	DOROTEA	Chorrillo	Chorrillo	GLAUCONITICO A	Terciario Inferior	SR 4 ST 4	55 m.y.
		PALEOC.	Chorrillo	Chorrillo	GLAUCONITICO B	Terciario Inferior	SR 5 ST 5	65 m.y.
	MAAST.	C° CAZADOR	Chorrillo	Chorrillo	SENOMIANO	Terciario Inferior	SR 4 ST 4	85 m.y.
			Chorrillo	Chorrillo	SENOMIANO	Terciario Inferior	SR 5 ST 5	91 m.y.
	CAMP.	ALTA VISTA	ALTA VISTA	ALTA VISTA	ARROYO ALFA (Inoc. Sup.)	LAGO VIEDMA	SR 4 ST 4	MATA AMARILLA
			ALTA VISTA	ALTA VISTA	ARROYO ALFA (Inoc. Med.)	LAGO VIEDMA	SR 3 ST 3	94 m.y.
CONIAC.	C° TORO	C° TORO (Sup.)	C° TORO (Sup.)	PALERMOW AIKE (Sup.)	LAGO VIEDMA	SR 3 ST 3	98 m.y.	
		C° TORO (Inf.)	C° TORO (Inf.)	PALERMOW AIKE (Med.)	LAGO VIEDMA	SR 2 ST 2	112 m.y.	
CENOM.	EREZCANO RIO MAYER (Sup.)	RIO MAYER (Sup.)	RIO MAYER (Sup.)	NUEVA ARGENTINA (Margas Verdes)	LAGO SAN MARTÍN	SR 3 ST 3	Climax Batolito Patagónico	
								PIEDRA CLAVADA C° TORO (Inf.)
ALB.	ZAPATA RIO MAYER (Inf.)	RIO MAYER (Inf.)	RIO MAYER (Inf.)	Pampa Rincón	LAGO SAN MARTÍN	SR 2 ST 2	121,5 m.y.	
								PALERMOW AIKE (Inf.)
APT.	BARR.	VALANG.	BERR.	TIT.	HIDRA	SR 1 ST 1	134 m.y.	
								SPRINGHILL

Bonarelli y Nágera (1921) hacen referencia a las capas más altas de la “Serie Cretácea” portadoras de *Ostrea guaranítica*, *Trigonia aliformis*, *Corbula sheuena* y *Potamides (Pirenella) patagoniensis* incluyéndola en la “Serie Guaranítica”. Feruglio (1935), Frenguelli (1936) y Piatnizky (1936) hacen referencia al “Sheuense” de Ameghino (1906) e incrementan los conocimientos de la fauna de invertebrados de la región. Por su parte, Feruglio (en Fossa Manzini *et al.*, 1938) denominó “Estratos de Pari Aiken” a los 250 metros de areniscas, arcilitas y conglomerados con huesos de dinosaurios, de carácter continental. Roll (1937) denominó “Estratos con Dinosaurios” a las capas continentales que afloran en el Lote 119 y en las márgenes del Río Leona. Cabe destacar, sin embargo, que en la localidad tipo de Ea. Mata Amarilla aflora mayormente la sección media (este trabajo) portadora de huesos de dinosaurios, con lo cual si Feruglio hubiese encontrado los mismos, no hubiese distinguido ambas formaciones ya que litoestratigráficamente son idénticas.

Roll (1936, 1937) describió detalladamente las “Facies del Senoniano” en la región de Mata Amarilla y del Lago Viedma determinando distintos niveles fosilíferos que le permitieron a Arbe (1986) realizar correlaciones de la Formación Mata Amarilla desde las barrancas del Río Chalia o Shehuen hasta la zona de la Estancia Pari Aike. Por su parte Russo y Flores (1972) y Leanza (1972) extienden la Formación Mata Amarilla hasta el Cerro Índice. En este sentido Goin *et al.* (2002) hacen un muy buena crítica de estos criterios estratigráficos, aludiendo a que los términos formacionales deben ser litoestratigráficos y no sólo basarse en su contenido paleontológico. Ellos observaron de esta manera que las facies sedimentarias y la fauna de vertebrados hallada en varios niveles de ambas formaciones (Mata Amarilla y Pari Aike) son similares. Esto concuerda con lo expresado oportunamente por Flores (1961, *vide* Leanza 1972: 695) quien señaló que la Formación Pari Aike "...forma una unidad con la infrayacente Formación Mata Amarilla, a la que pasa en transición, no existiendo en realidad motivos suficientes para separarla de ella como una formación distinta"

De esta manera Goin *et al.* (2002) descartaron la existencia de la Formación Pari Aike por tratarse de la Formación Mata Amarilla; estos criterios estratigráficos fueron seguidos por Poiré *et al.* (2004), Varela *et al.* (2006; 2008), Varela y Poiré (2008) y Varela (2009).

Uno de los mayores problemas estratigráficos fue la confusión entre la Formación Piedra Clavada y la Formación La Anita, en el área de Lago Viedma y a

lo largo del Río Leona. Está área queda a mitad de distancia entre la localidad tipo de la Formación Piedra Clavada (monumento natural de la Piedra Clavada) y la localidad tipo de la Formación La Anita (barrancas de la Estancia Anita y C° Calafate). El primero en confundir la Formación Piedra Clavada y la Formación La Anita fue Furque (1973) en su descripción de la carta 58b “Lago Argentino”, quien a su vez no siguió, ni respetó las nomenclaturas de los trabajos precedentes. De esta manera Arbe (1986, 1987 y 2002) siguiendo en parte la denominación de Furque (1973), identificó a la Formación Piedra Clavada en la base del Cerro Fortaleza, y la denominó como “Miembro El Barco de la Formación La Anita”, y lo separó de su “Miembro Cachorro” debido a que la distribución de las facies sedimentarias es diferente. Esta confusión fue tomada por todos los autores subsiguientes y trasladada a toda la secuencia sedimentaria del Cretácico superior de la Cuenca Austral.

En la base del Cerro Fortaleza y a lo largo del Río Leona la sección inferior de la Formación Mata Amarilla (este trabajo), fue denominada por Arbe y Hechem (1984b) y Arbe (1986, 1987 y 2002) como “Miembro La Asunción de la Formación La Anita”, debido a la confusión anteriormente mencionada. Esta terminología fue también usada y correlacionada por Marensi *et al.* (2003) en el Sur del lago Viedma (Barrancas Blancas y Cerro Hornos).

Para la sección media y superior de la Formación Mata Amarilla en el área del Sur del Lago Viedma y Cerro Fortaleza también hubo criterios dispares: Riccardi y Roller (1980) y Kraemer y Riccardi (1997) denominaron a estos afloramientos continentales como “Formación Pari Aike”, siguiendo en parte la continuidad lateral y la presencia de huesos de dinosaurios (“estratos con dinosaurios” de Feruglio), mientras que Arbe (1986, 1987 y 2002), Arbe y Hechem, (1984b), Nullo *et al.* (1999) y Marensi *et al.* (2003) la denominaron “Formación Cerro Fortaleza”, arrastrando en parte la confusión de la formación infrayacente y considerando que en la localidad epónima presenta una mejor exposición. Sumándose a la generación de términos formacionales Blasco *et al.* (1980) denominaron Formación Río Guanaco a los afloramientos cercanos a la desembocadura del Río homónimo, en las Barrancas Blancas (Sur del Lago Viedma). En dicho trabajo estos autores dicen “Es así que Feruglio (1938) reconoció en las Barrancas Blancas, inmediatamente al Oeste del río Guanaco en su salida al Lago Viedma, la parte superior de la sección “B” descrita para el área del río Shehuen” (Blasco *et al.*, 1980: 469). Es por ello que no se entiende por qué denominaron con otro nombre formal a afloramientos

litoestratigráfica y temporalmente iguales. Por fortuna este término no tuvo mucha aplicación en la literatura geológica.

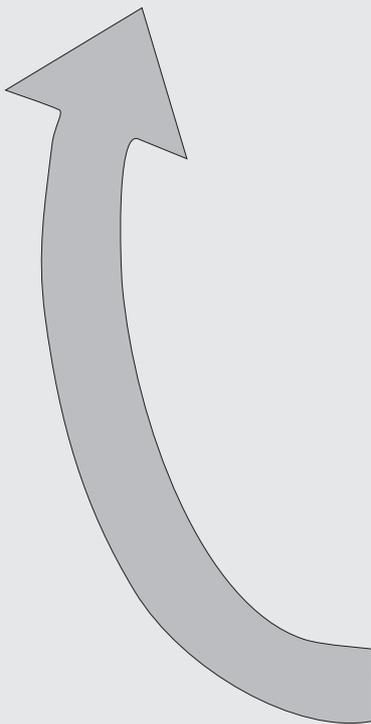
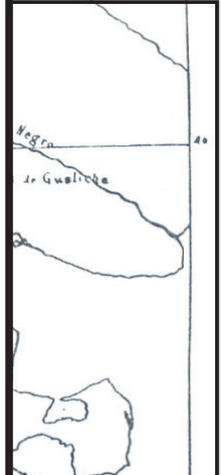
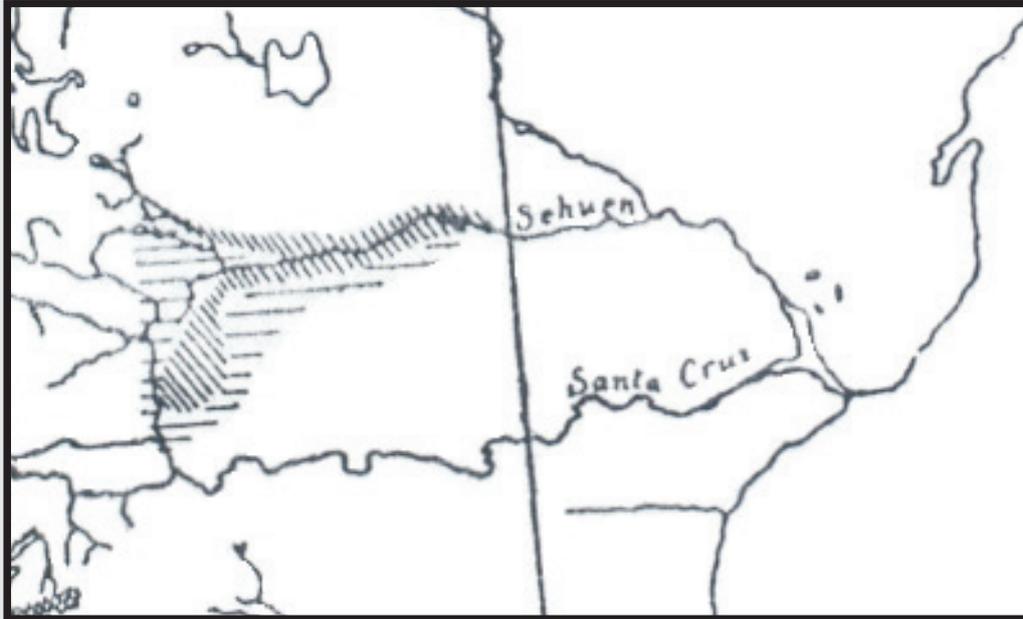
Por su parte en los alrededores de C° Índice, la Formación Mata Amarilla es denominada por Nullo *et al.* (1981), Kraemer y Riccardi (1997) y Arbe (1986, 1987 y 2002) como “Formación El Álamo o Puesto El Álamo”, portadora de *Placenticerias*, *Peroniceras* (Nullo *et al.*, 1981) y *Pachydesmoceras cf. Linderi* (Kraemer y Riccardi, 1997). Sin embargo, en la descripción de la Formación Mata Amarilla, Leanza (1972: 695) y Russo y Flores (1972) mencionan los afloramientos del Cerro Índice como parte de la Formación Mata Amarilla.

### **PISO SEHUENENSE AMEGHINO (1906)**

De la comparación del mapeo geológico realizado en el presente trabajo (Lámina 1.4), con el mapeo realizado por Carlos Ameghino publicado en el trabajo de su hermano Florentino Ameghino (1906) (Lámina 1.6), resulta evidente la similitud entre ambos. Esto lleva a reivindicar la labor realizada por los hermanos Ameghino y la vigencia e importancia del término “Sehuenese”.

Para ello nos tenemos que retrotraer al trabajo de Ameghino (1893) en el que describe la presencia de dientes de plesiosaurios (*Polyptychodon patagonicus*) en lo que por ese entonces denominó como Formación Santacruceña. En cuanto a la procedencia estratigráfica y geográfica Ameghino (1893: 76) indicó que “La formación que he designado con el nombre de Santacruceña, ocupa la mayor parte de la región de la Patagonia Austral, que cruzan los ríos Santa-Cruz, Sehuen y Gallegos”. De aquí surge la clara evidencia que la “formación Santacruceña” (sic) de Ameghino (1893) es equivalente sólo en parte a lo que hoy se conoce como Formación Santa Cruz, debido a que ésta no aflora a lo largo del Río Shehuen o Chalia (Río Sehuen de Ameghino). Pero a lo largo de dicho curso aflora la Formación Mata Amarilla (Feruglio en Fossa Mancini, 1938; Arbe, 1989, 2002; Varela y Poiré, 2008; Varela, 2009; O’Gorman y Varela, 2010). Por estos motivos es evidente que Ameghino incluía lo que actualmente se conoce como Formación Mata Amarilla en su “formación Santacruceña” (Ameghino, 1893: 76). La opinión de Ameghino es entendible teniendo en cuenta la similitud litológica entre ambas formaciones.

## Piso Sehuenense Ameghino (1906)



Mapa original del trabajo de Ameghino (1906), en el se muestra la distribución de los depósitos marinos del Cretácico superior. Las observaciones del Sehuenense como se indica en el epígrafe fueron hechas por Carlos Ameghino.

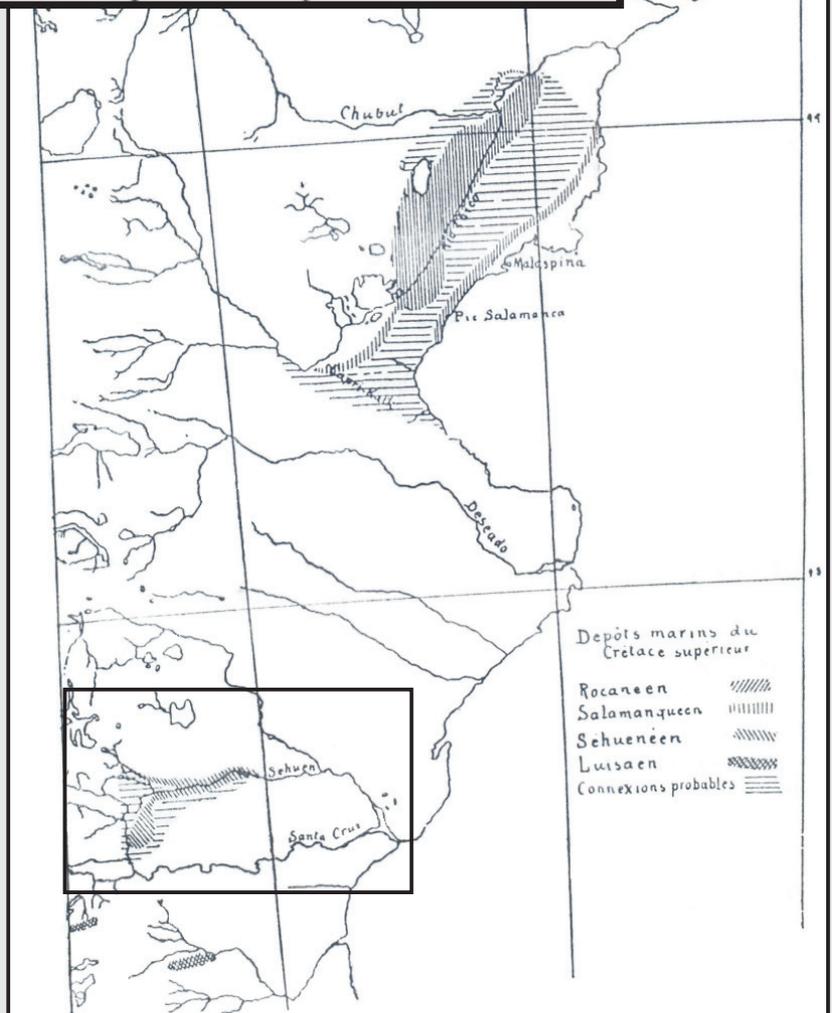


Fig.12. — Carte-croquis de la distribution des dépôts marins du crétacé supérieur. Le salamanquén et le séhuenén, d'après les observations de C. Ameghino. Le rocanéen, d'après les observations de MM. Roth, Antonio Romero et C. Burmeister. Le luisaen, d'après MM. Wilckens et Hauthal.

En cuanto a la edad, Ameghino (1893) refería a la “formación Santacruceña” (sic) al “*eoceno inferior* (Paleoceno)” (Ameghino 1893: 76). En la misma introducción hace referencia a la asociación problemática, que se ha encontrado en dicha formación, de primates y otros mamíferos claramente terciarios junto con taxones cretácicos. Por lo tanto la asociación de los dientes de *Polyptychodon patagonicus* con mamíferos se debe sólo a una confusión litoestratigráfica de Ameghino (1893), de la cual se desdice en (1906). En este sentido es importante tener en cuenta que el objetivo del aporte de 1893 no era dar una respuesta a la estratigrafía regional sino agregar la descripción de algunos materiales enviados por su hermano Carlos Ameghino.

En su trabajo de 1906 Ameghino separó los afloramientos del Río Shehuen de su formación Santacruceña y la denominó como piso “Sehuenense”. En el mismo trabajo publicó el mapa realizado por su hermano Carlos (Lámina 1.6). A partir de entonces siempre citó a *Polyptychodon patagonicus* como proveniente del Sehuenense y no de la “formación Santacruceña”, eliminando por consiguiente el problema estratigráfico. Sin embargo, esta confusión produjo que los trabajos posteriores realizados en la cuenca desestimaran el término “Sehuenense” dando lugar a un sin número de nombres formacionales para sucesiones litoestratigráfica y sedimentológicamente idénticas.

El nombre dado al piso Sehuenense tiene varias grafías utilizadas que es oportuno aclarar a continuación. Ameghino (1906) utilizó la grafía Sehuenense mientras que Cabrera (1941) se refirió a él como Sehuense. Posteriormente Arbe (1986, 1989, 2002) utilizó el nombre de Shehuenense, adicionándole una letra “h” al comienzo tal cual es el toponimio verdadero. En el presente trabajo se mantiene la primera referida al concepto de Ameghino (1906).

Lo dicho anteriormente sumado al nuevo registro que muestra la existencia de abundante material dentario asignable a Plesiosauria en la Formación Mata Amarilla (O’Gorman y Varela, 2010), son una fuerte evidencia de que el “Sehuenense” de Ameghino (1906) es directamente correlacionable con lo que hoy conocemos como Formación Mata Amarilla.

## **1.5- Metodología**

### **1.5.1- Tareas de lectura y recopilación bibliográfica y cartográfica**

En una primera etapa se realizó la lectura y recopilación de la información bibliográfica disponible sobre las unidades que constituyen el relleno sedimentario de la Cuenca Austral, en sus depósitos cretácicos y haciendo especial énfasis en la Formación Mata Amarilla. A todo esto, se sumó la recopilación cartográfica, de imágenes satelitales y fotografías aéreas disponibles con el objeto de elaborar un mapa geológico de detalle del área de estudio.

Igualmente, en esta etapa, se realizó un análisis sobre la metodología a aplicar en estudios generales de sedimentos litorales y fluviales, confrontando metodologías clásicas y de vanguardia, a fin de elaborar un plan de tareas para el desarrollo de las actividades de campo.

### **1.5.2- Síntesis y discusión de los antecedentes y definición de las zonas de interés**

Sobre la base de la recopilación bibliográfica efectuada, se realizó una discusión sobre los antecedentes disponibles, respecto a los diferentes criterios utilizados en el estudio de la Formación Mata Amarilla. Con todo, los trabajos previos no resultaron muy abundantes, por lo que se realizó una enumeración de los mismos. En este punto, igualmente se hizo necesario un análisis exhaustivo de la información estratigráfica disponible de otras formaciones del Cretácico superior de la región. Esto fue promovido por la presencia de criterios dispares en la definición de estas unidades y porque sectores que se estudiaron como parte de la Formación Mata Amarilla habían sido descritos con anterioridad como correspondientes a las formaciones Pari Aike, Río Guanaco y Cerro Fortaleza.

También a partir del mapeo geológico realizado sobre la base de imágenes satelitales y cartografía previa, se definieron los principales sectores de interés para el desarrollo de las tareas de campo.

### **1.5.3- Tareas de Campo**

En total se realizaron seis viajes de campo, en los que fue posible recorrer y estudiar la totalidad de la zona de estudio.

Las principales tareas realizadas en el campo consistieron en:

- **Mapeo Geológico**

Para las tareas de mapeo se utilizaron imágenes satelitales Landsat ETM<sup>®</sup> y Aster<sup>®</sup>. Las imágenes fueron georeferenciadas y ensambladas con programas específicos (*TNT mips v.6.8<sup>®</sup>*). A partir de ellas se hicieron salidas gráficas en hojas A3, las cuales se usaron de base para el mapeo en el campo. Se utilizó además GPS y barómetro para obtener datos de localización precisa en el espacio. El mapeo de campo realizado en formato gráfico y la información de campo obtenida en el GPS, fueron ingresadas en un sistema de información geográfica (GIS) *ArcGis 9.2<sup>®</sup>*, donde se incluyeron datos de: tipos de contactos, litologías, datos sedimentológicos, rutas y caminos, hidrografía, datos fisiográficos, etc.

- **Relevamiento de los perfiles sedimentológicos**

En cada una de las localidades de interés (Lámina 1.4), se procedió a su ubicación mediante el uso de un posicionador global (GPS) y al relevamiento de perfiles sedimentológicos de detalle (escala 1:100 en todas las localidades y de mayor escala en aquellos intervalos que se consideraban necesarios). La posición inicial y final de los perfiles fue acotada mediante puntos GPS, mientras que el levantamiento se realizó con cinta métrica y báculo. Para el levantamiento se puso especial énfasis en:

- 1- El reconocimiento de los distintos tipos litológicos.
- 2- La identificación de las principales estructuras sedimentarias primarias y biogénicas.
- 3- La identificación de las principales estructuras edáficas y la caracterización de los horizontes de suelo; para ello se realizaron calicatas de entre 10 y 15 cm de profundidad para poder analizar la roca fresca.
- 4- La identificación y descripción de los atributos tafonómicos del material fósil presente.
- 5- La identificación de discontinuidades, tanto aquellas que limitan las distintas unidades sedimentarias reconocidas como las superficies internas.
- 6- La obtención de datos de direcciones de paleocorrientes.
- 7- La definición de contactos de la Formación Mata Amarilla con las unidades infra y suprayacentes.

Así, fue posible el relevamiento de quince perfiles sedimentológicos de detalle (los números de la lámina 1.4 corresponden a las siguientes localidades: 1- Cerro Waring (C°W); 2- Estancia La Regina (LR); 3- Estancia Mata Amarilla

(MAT); 4- MAFer; 5- Camino a María Elena (CME); 6- Ea. La Urbana (LU); 7- Ea. Pari Aike (PA); 8- Bajada de los Orientales (BO); 9- Cerro Índice (C°I); 10- Puesto La Marina (Pto.LM); 11- Lago Viedma Sur (LVS); 12- Desembocadura del Río Guanaco (DRG); 13- Cerro Hornos (C°H); 14- Cerro Fortaleza (C°F); 15- Estancia La Blanca (LB). Estos perfiles sirvieron de base para la elaboración del trabajo, aunque se realizaron observaciones adicionales en todos los sectores de afloramientos de la unidad, donde se relevaron secciones parciales o se obtuvieron datos complementarios que permitieron efectuar una interpretación más ajustada (Lámina 1.4).

- **Muestreo**

También se procedió al muestreo sistemático de los distintos tipos litológicos en cada uno de los perfiles relevados con el objetivo de efectuar una caracterización petrográfica de los sedimentos de granulometría psamítica. Asimismo, se efectuó una caracterización composicional de los sedimentos psamíticos y pelíticos mediante la difracción de rayos X. El muestreo no sólo se basó en las características litológicas sino que también se realizó por facies sedimentarias, para la posterior caracterización de detalle de las mismas. Paralelamente a esto, se efectuó un muestreo sistemático del contenido paleontológico para su posterior determinación y como herramienta para una mejor comprensión de los paleoambientes y la estratigrafía.

- **Descripción tafonómica de la malacofauna hallada**

Se realizó una descripción nivel por nivel de los atributos tafonómicos de las asociaciones malacológicas. Se describieron y caracterizaron un total de 22 niveles de fósiles de invertebrados en las localidades 4- MAFer y 5- CME. Los siguientes atributos tafonómicos fueron considerados: *articulación, abrasión, disolución, fragmentación, bioerosión, incrustación, selección, empaquetamiento, orientación con respecto al plano de estratificación y polaridad* (ver Kidwell *et al.*, 1986 y Fürsich & Oschmann, 1993). Estos parámetros fueron descriptos y semicuantificados en clases o categorías, en forma separada, por el grupo taxonómicos al que pertenecieran y al nivel en el que se encontrasen, siguiendo los criterios de Medahl (2001) y Kidwell y Holland (2002).

Para los atributos tafonómicos de abrasión, disolución, fragmentación, bioerosión e incrustación, se utilizaron las siguientes categorías o clases: ausente, raro, común, abundante y muy abundante.

Las categorías: articuladas, parcialmente articuladas y desarticuladas se usaron para articulación. Para selección se discriminaron las categorías: pobre, moderada y bien seleccionada. Y finalmente para el empaquetamiento se eligieron las categorías: pobre, disperso y densamente empaquetado.

Estos datos fueron agrupados en tablas y a partir de su análisis se definieron tafofacies.

- **Obtención de perfiles de Rayos Gamma**

Se perfilaron algunas de las secciones mediante el uso de un cintilómetro portátil o contador de rayos gamma manual, marca Exploradium® modelo GR 135 Geo, con el fin de obtener un dato confiable de las diferentes emisiones radiactivas de las facies sedimentarias de superficie y así poder correlacionar éstas con los datos de perfilajes de las perforaciones con las que se contó para desarrollar el estudio. Los datos de subsuelo fueron aportados por la empresa Petrobras Energía S.A.

El espaciado para la toma de muestras en superficie fue de 0,5 metros, y por cada punto de muestreo se obtuvieron valores totales (CPS) y discriminados por los elementos K, U y Th.

#### **1.5.4- Tareas de Gabinete**

Estas tareas consistieron en el procesamiento y análisis de la información obtenida en cada uno de los viajes de campo. Esta actividad comprendió varios aspectos:

- **Elaboración de secciones columnares**

Se dibujaron secciones columnares detalladas (escala 1:100 y 1:200) de los perfiles relevados, con el objeto de favorecer la visualización y el posterior análisis. En cada uno de ellos se volcó la información litológica, espesores, contactos, estructuras sedimentarias, edáficas y biogénicas, el contenido paleontológico, paleocorrientes y demás aspectos descriptivos.

Para su dibujo se utilizó el programa *coreDRAW*® adjudicándose a cada horizonte de suelo su color correspondiente.

- **Análisis de facies**

Posteriormente se procedió a la definición de las facies sedimentarias sobre la base de la litología y las estructuras sedimentarias primarias y biogénicas, previa selección de un código apropiado para su denominación basado en Miall (1977, 1978, 1996), Friend *et al.* (1979) y Veiga *et al.* (2008). En el código de facies se

utilizó una letra mayúscula para escribir la litología y una o más letras minúsculas para hacer referencia a las estructuras sedimentarias mecánicas y estructuras sedimentarias orgánicas, y en ocasiones se sumaron a la letra minúscula características del contenido fósil (ej. Areniscas bioclásticas **Sb**).

Una vez definidas las facies, se agruparon según asociaciones verticales, a partir del estudio de las secciones columnares obtenidas.

- **Análisis de pedofacies**

Simultáneamente a la definición de facies se hizo la caracterización de las pedofacies sobre la base de las estructuras y rasgos pedogenéticos (Retallack, 1988; 1994), así como también su color respectivo a través de las tablas de colorimetría de Munsell (Munsell® Soil Color Chart, 2000). Para la descripción de los horizontes de los paleosuelos, así como también para su clasificación, se siguió el código más utilizado en las ciencias edáficas (Soil Taxonomy: Soil Survey Staff, 1998), si bien es un código desarrollado para la descripción y clasificación de suelos actuales, el mismo se ajusta perfectamente a los paleosuelos (Retallack, 1993; 2001).

Para la descripción micromorfológica de los paleosuelos se siguieron las terminologías propuestas por Bullock *et al.* (1985) y Stoops (2001) ver Capítulo 6.

- **Análisis arquitectural**

Con el objeto de realizar un estudio más detallado de los depósitos continentales y litorales de la Formación Mata Amarilla se realizó el análisis arquitectural de los mismos, basado en la definición de unidades sedimentarias a partir de las asociaciones de facies tanto verticales como laterales, geometría, jerarquización de discontinuidades y distribución de paleocorrientes (análisis arquitectural descriptivo u objetivo). Para ello se realizaron fotomosaicos utilizando los criterios de Wizevich (1991), Olson *et al.* (1995) y Bridge *et al.* (2000). Sobre los fotomosaicos se mapearon la geometría externa de los cuerpos, así como también las superficies limitantes; ambas fueron clasificadas de acuerdo a los criterios de (Bridge, 1993).

- **Análisis de información de subsuelo**

Con el objeto de realizar una correlación de los datos de superficie y los de subsuelo, se procedió al reconocimiento y descripción de la información de 16 pozos de exploración. Para ello se contó con datos de perfilajes de pozos (en su mayoría compuestos por rayos gamma, SP y resistividad), información de control geológico

de recortes de perforación (*cutting*) y en algunos casos se contó con datos de sísmica 2D y 3D.

Se determinaron unidades de acumulación, se definieron y correlacionaron los contactos con las unidades infra y suprayacentes de superficie y subsuelo.

- **Análisis de paleocorrientes**

Para la medición de datos de paleocorriente, tanto unidireccionales como bidireccionales, se utilizó una brújula de tipo Brunton<sup>®</sup> y se siguieron los criterios de DeCelles *et al.* (1983) y Bossi (2007). Los numerosos datos de paleocorrientes fueron ajustados de acuerdo a la declinatoria magnética de la fecha y hora en la cual fueron relevados, para ello se utilizaron los datos extraídos de la página de Internet de la NOAA'S Geophysical Data Center:

<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/geomag/jsp/Declination.jsp>

Luego, estos datos corregidos fueron tratados estadísticamente con el programa *Stereo net*<sup>®</sup>. Los datos fueron separados de acuerdo a las diferentes unidades sedimentarias discriminadas.

- **Análisis paleogeográfico**

Con el objeto de realizar la reconstrucción paleogeográfica de la Formación Mata Amarilla y la distribución de los diferentes subambientes, se construyó un modelo 3D de la unidad, mediante el uso del programa de computación *google sketchup 6*<sup>®</sup>. Se utilizó este programa por su capacidad para trabajar con mediciones precisas, permitir de modo sencillo el intercambio de información con programas de GIS y porque al trabajar en conjunto con Google Earth<sup>®</sup> se logra solucionar en forma simple cualquier efecto de la curvatura terrestre sobre el modelo en cuestión. Además, la combinación con modelos de elevación digital (DEMs) posibilitan el mapeo 3D, permitiendo conocer la geometría de las sucesiones sedimentarias. El método consiste en elaborar un modelo analógico del afloramiento, al que se le incluye la información geológica y sedimentológica de detalle. Ésta técnica permite no sólo visualizar en tres dimensiones el espacio de trabajo sino que posibilita además, la reconstrucción de la geología en las áreas erosionadas o sin afloramientos. Con esta técnica es posible también efectuar secciones o paneles con la orientación y ubicación más conveniente al problema a resolver.

- **Análisis secuencial**

Sobre la base de la distribución vertical y horizontal de las facies y unidades sedimentarias fue posible reconocer la presencia de determinados arreglos y se procedió a la definición de secuencias.

### **1.5.5- Tareas de Laboratorio**

- **Análisis de secciones delgadas**

Se realizaron un total de 56 cortes delgados de las muestras de areniscas, 48 pertenecientes a la Formación Mata Amarilla, 5 corresponden a la Formación Piedra Clavada y 3 a la Formación La Anita. Las mismas se hicieron en el Laboratorio de Cortes delgados del Centro de Investigaciones Geológicas. Algunas de estas muestras fueron impregnadas con resina azul para resaltar la porosidad de las mismas. Las secciones delgadas se analizaron utilizando un microscopio petrográfico Nikon® Eclipse E200. El examen microscópico incluyó la determinación de las propiedades de los constituyentes principales y de la matriz. Se caracterizó la selección (Harrell, 1984), redondez-circularidad (Powers, 1953) y tipo de contacto entre los clastos (Taylor, 1950). Así como también se discriminaron los diferentes tipos de cementos.

- **Análisis de finos por difracción de rayos X**

Por su parte, también se han efectuado (N=200) estudios de muestras de rocas por difracción de rayos X mediante el uso del difractómetro (Phillips®) PW.

El procesamiento de muestras fue el siguiente:

- a) Obtención de muestras en polvo en roca total.
- b) Obtención de muestras orientadas a partir de la decantación del material menor de la fracción de 4 $\mu$ m y 2 $\mu$ m mediante la ley de Stokes y por el método de pipeteo.
- c) Obtención de muestras glicoladas por exposición de los preparados a vapores de etilglicol durante 24 horas.
- d) Obtención de muestras calcinadas por calentamiento de los preparados a 500 °C durante dos horas.

La difracción de rayos X tuvo como objeto la determinación de roca total y de la fracción pelítica para un análisis composicional. Fue de vital importancia en la determinación de las condiciones diagenéticas, para llevar adelante el estudio de los paleosuelos y en la caracterización de las áreas de aporte.

- **Análisis Isotópicos para geocronología**

Los cristales de circones fueron separados de la concentración de minerales pesados de la muestra de una toba primaria, mediante la técnica de “*picking*” bajo lupa binocular. Una vez separados, los circones fueron montados y pulidos hasta aproximadamente la mitad de su espesor. Los cristales fueron observados y fotografiados por catodoluminiscencia (CL) con un SEM Jeol JSM-6490 con un dispositivo MiniCL Gatan en la Universidad de Goethe, Frankfurt, Alemania. Los análisis de U-Th-Pb se llevaron a cabo en la Universidad de Goethe, Frankfurt, Alemania, mediante la utilización de un espectrómetro de masas de plasma inducido (SF-ICP-MS) acoplado a un nuevo sistema de láser de onda ultravioleta UP213 equipado con una forma de lágrima, de bajo volumen de ablación ( $< 2,3 \text{ cm}^3$ ). La configuración del instrumental y el método analítico utilizado en este estudio fueron descritos en detalle por Gerdes y Zeh (2006, 2009) y Frei y Gerdes (2009). Los puntos láser de muestreo (30- $\mu\text{m}$ ) fueron ubicados sobre la base de las estructuras internas de los cristales, observadas en las imágenes de catodoluminiscencia. Los datos brutos se corrigieron sin tener en cuenta la señal de fondo (*background*). El Pb común, el fraccionamiento elemental inducido por el láser, la discriminación de la masa inicial, y el tiempo para el fraccionamiento elemental de Pb / U, se calcularon utilizando una planilla de cálculo con el programa *Excel*<sup>®</sup> (Gerdes y Zeh, 2006). La desviación de la corrección se llevó a cabo mediante la aplicación de una regresión lineal de todas las relaciones medidas, excepto para los valores anómalos ( $\pm 2$  de la desviación estándar,  $2\sigma$ ), con la intersección con el eje de las y, correspondiente a la relación inicial. El fraccionamiento elemental inducido por el láser y la discriminación de la masa inicial fueron corregidos a través de la normalización con el circón referencia GJ-1 (GUF ID-TIMS, con una edad U-Pb de  $608 \pm 1 \text{ Ma}$ ). Los niveles de confianza ( $2\sigma$ ), de  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  se propagaron al cuadrado por la adición de la reproducibilidad externa (2DS, desviación estándar), obtenida del circón GJ-1 durante cada sesión de análisis y de la precisión dentro de cada análisis (2ES, error estándar). En el caso de la relación  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  se utilizó la propagación de la señal de  $^{207}\text{Pb}$  de incertidumbre dependientes (Gerdes y Zeh, 2009). La precisión del método se comprobó mediante el análisis de los circones de referencia 91500 ( $1064,8 \pm 4,3 \text{ Ma}$ , MSWD de concordancia y equivalencia = 0,86), Plešovice ( $337,7 \pm 1,6 \text{ Ma}$ , MSWDC + E = 0,84), y Temora ( $416,6 \pm 2,5 \text{ Ma}$ , MSWDC + E = 0,9). Los ploteos y cálculos de edad se hicieron utilizando el software ISOPLOT (Ludwig,

2003).

#### **1.5.6- Elaboración intelectual de la información obtenida**

Consistió en la elaboración de los datos obtenidos con el objeto de realizar una interpretación dinámica y ambiental de las facies sedimentarias, de las asociaciones de facies y de las unidades sedimentarias. Esta tarea estuvo orientada a obtener un modelo conceptual de depositación de las secciones estudiadas. En este caso, la investigación se realizó sobre la base de un exhaustivo análisis de la bibliografía sedimentológica, clásica y actualizada relacionada con los sistemas litorales (albuferas, estuarios y deltas), con los sistemas fluviales y con los paleosuelos. A partir de estos estudios fue posible proponer un modelo conceptual en el que se integraron los diversos sistemas depositacionales.

Esta tarea no sólo se enfocó al modelado de los sistemas litorales y continentales involucrados en la depositación de esta unidad, sino también se tuvo en cuenta la evolución temporal y espacial de los distintos sistemas con lo que se pudieron definir secuencias de depositación. De esta manera se elaboró un esquema general de acumulación para esta unidad y se intentó definir los principales factores que controlaron la acumulación de esta formación y las variaciones, tanto laterales como verticales. Este esquema sirvió para correlacionar estos depósitos con los que se encuentran en el subsuelo, por lo que podría convertirse en una metodología útil para la exploración y explotación de hidrocarburos.