

## CAPÍTULO III: COMPOSICIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los análisis composicionales de la Formación Mata Amarilla en las diferentes localidades estudiadas.

Para el caso de las areniscas se llevó a cabo su caracterización composicional, como así también la cuantificación de los componentes presentes a fin de determinar las modas composicionales, áreas de aporte y/o la procedencia tectónica.

Se estudiaron 200 muestras de rocas sedimentarias mediante difracción de rayos X con la finalidad de establecer la composición mineralógica tanto en la roca total, así como también en la fracción arcilla (ver sección 1.5.5 del capítulo I).

Finalmente, sobre la base de los resultados antes mencionados, se realizó una caracterización diagenética preliminar de la Formación Mata Amarilla.

### 3.1- Metodología

#### 3.1.1- Composición Modal

Para llevar a cabo el análisis de la composición modal de la unidad en estudio se describieron un total de 56 secciones delgadas a microscopio petrográfico, 48 pertenecientes a la Formación Mata Amarilla, como así también 5 de la Formación Piedra Clavada y 3 de la Formación La Anita. Sobre las mismas se realizó el conteo de los clastos siguiendo la metodología de Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.*, 1984). Para ello, se contabilizaron 400 puntos por sección delgada usando un contador de puntos Swift<sup>®</sup>, siendo el espaciamiento mayor igual al tamaño de grano máximo presente. En el caso de que la fase monomineral mayor a 0,062 mm se encontrara dentro de un fragmento lítico, se tuvo la precaución de contabilizarla en forma separada (método de Gazzi-Dickinson, Ingersoll *et al.*, 1984). El objeto de ello es que cada conteo pueda ser utilizado para clasificar a las rocas a partir de la obtención de su moda detrítica, así como también indicar su posible procedencia.

La composición de las areniscas fue determinada utilizando las clasificaciones propuestas por Dott (1964) y Folk *et al.* (1970), modificadas por Scasso y Limarino (1997).

Para la caracterización del marco tectónico del área de aporte se utilizó el clásico diagrama ternario propuesto por Dickinson *et al.* (1983), teniendo en cuenta las restricciones anteriormente señaladas por Dickinson y Suczek (1979). La litología del área de aporte fue inferida a partir de indicadores petrográficos (e.g. mineralogía, composición de clastos líticos). Asimismo, la combinación de estos resultados con los datos de paleocorrientes (capítulo VII), permitió ubicar geográficamente las posibles áreas de aporte.

### **3.1.2- Difracción de Rayos X**

La difracción de rayos X permite estudiar la composición mineralógica de las muestras, mediante los análisis de roca total y de las muestras orientadas de arcillas (ver metodología en el apartado 1.5.5 del capítulo I).

Una vez obtenidos los difractogramas, los mismos son procesados en forma digital con el programa *Origin*<sup>®</sup>. A continuación se procede a identificar las diferentes especies minerales que componen cada una de las muestras. Los valores de los picos del difractograma, (expresados en unidades de ángulo  $2\theta$ , donde  $\theta$  representa el ángulo de refracción), se convierten mediante la aplicación de una fórmula en valores de espaciados  $d$ , (expresadas en unidades de longitud en ángström Å) de los planos que producen las reflexiones, según lo expresa la ley de Bragg (Brindley, 1961; Brown y Brindley, 1980). Luego, se asignaron los picos a las especies minerales, de acuerdo a los patrones estándar establecidos internacionalmente.

Fueron estudiadas 200 muestras mediante difracción de Rayos X, las mismas provienen de tres localidades donde aflora la Formación Mata Amarilla (1- C° Waring, 4- MAFer y 11- Sur del Lago Viedma; Lámina 1.4). El muestreo se realizó en forma sistemática con un espaciado de 1 metro (en ocasiones este intervalo se modificó de acuerdo a las variaciones litológicas encontradas), a fin de detectar la mayor variabilidad composicional posible en cada una de las tres secciones de la formación, como también las variaciones locales producto de cambios en la procedencia. Asimismo, se realizaron 34 análisis adicionales en muestras de otras localidades, a fin de determinar variaciones en la condiciones de drenaje de los paleosuelos presentes (capítulo V).

Posteriormente se procede a realizar el análisis semicuantitativo, el cual se realiza sobre la base de las intensidades de las reflexiones principales de los componentes mineralógicos previamente identificados.

En el diagrama de la muestra de “Roca Total” (Lámina 3.1 A) se realiza una estimación de las proporciones de los componentes y de su abundancia relativa, para ello se utilizaron los siguientes rangos:

- < 1% = trazas
- 1-5% = muy escaso
- 5-20% = escaso
- 20-40% = moderado
- 40-60% = abundante
- > 60% = muy abundante

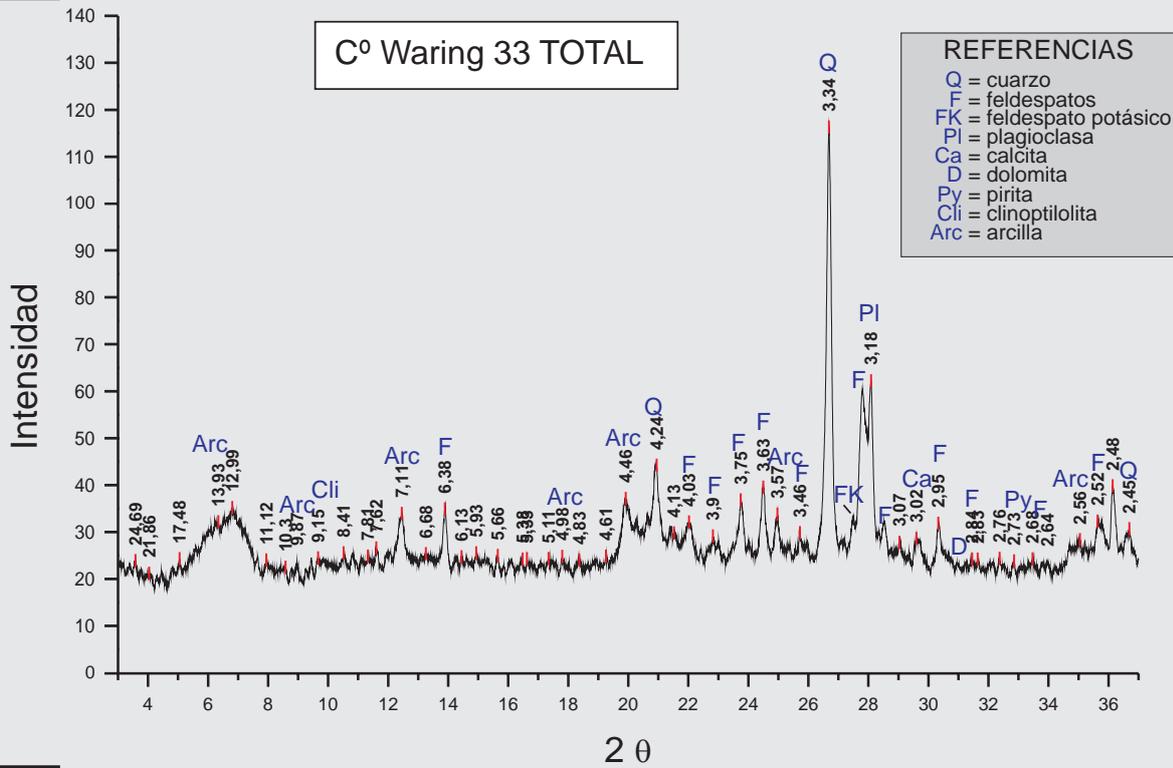
A partir del análisis del difractograma de “Arcillas”, se calcula la proporción relativa de los argilominerales sobre la base del cálculo de las áreas definidas por los picos de máxima intensidad en la muestra natural (Lámina 3.1 B). Dado que la respuesta de las especies minerales a la sedimentación depende de la forma de las partículas (Pierce y Siegel, 1969), su proporción no se encuentra en relación directa entre las áreas definidas por los picos de máxima intensidad de los diferentes argilominerales. Por este motivo, y dada la experiencia de 30 años del laboratorio de rayos X del CIG en estas estimaciones, se considera al área correspondiente al pico 001 de illita (10 Å) como unidad entera, la de los picos 001 de caolinita y 002 de clorita (7 Å) deben dividirse por dos y la del pico de esmectita (14 a 17 Å) se divide por cuatro. Dado que el pico de máxima intensidad de la caolinita y la 002 de la clorita se localiza en 7 Å (Lluch y Spalletti, 1976), las proporciones relativas de estas especies minerales se determinan sobre la medición de las reflexiones de los picos 002 de la caolinita (3,57 Å) y 004 de la clorita (3,53 Å). La cuantificación relativa de los interestratificados illita / esmectita se efectúa a partir de las reflexiones ubicadas entre los picos de 10 y 14 Å.

### **3.2- Petrografía de areniscas**

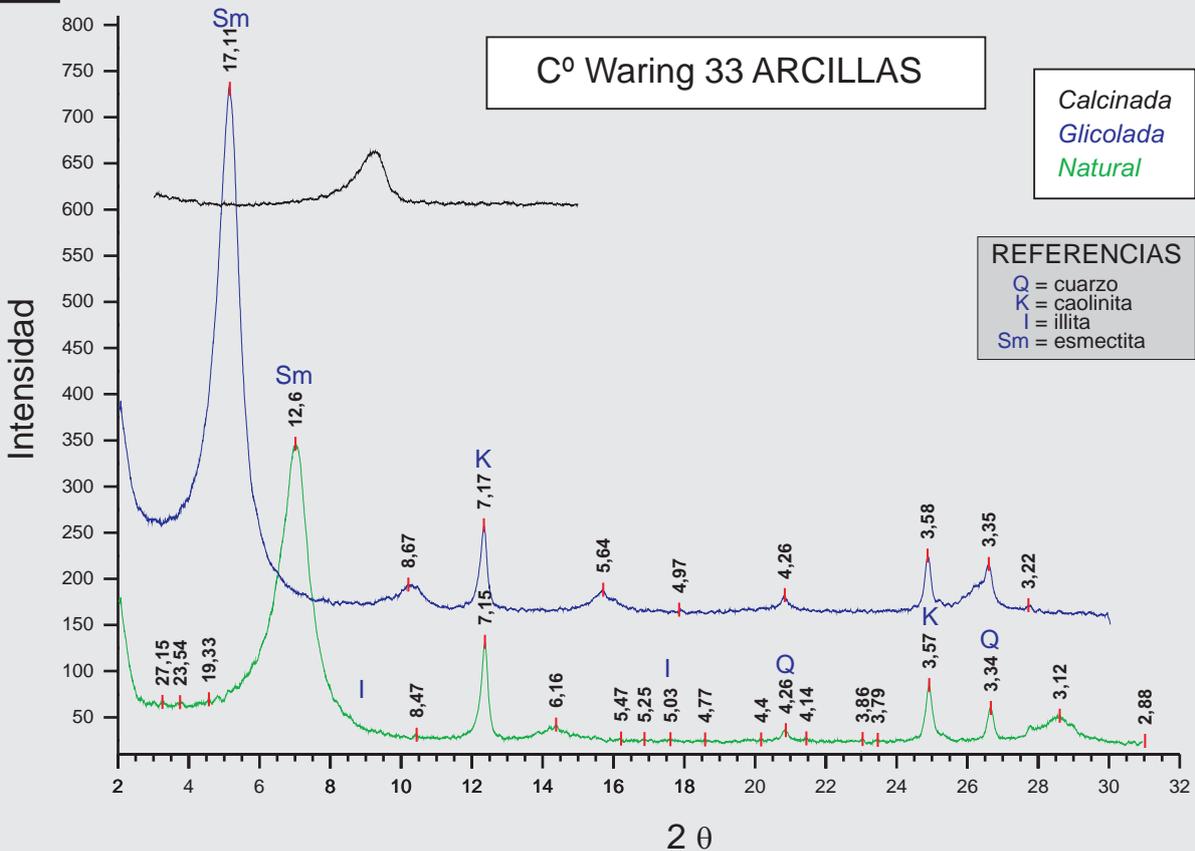
La realización de los análisis microscópicos permitió reconocer cuatro componentes principales: cristales, fragmentos líticos, matriz y cementos. Los clastos

# Muestra de difracción de Rayos X (roca total y arcillas)

## A



## B



monocristalinos fueron diferenciados de acuerdo a la especie mineral utilizando los criterios de diferenciación mineralógica estándar (eg. extinción, color de birrefringencia, clivaje, tipo de macla, zonación). Los fragmentos líticos fueron diferenciados de acuerdo a su génesis en líticos volcánicos, sedimentarios, metamórficos y piroclásticos. Asimismo, los clastos de líticos volcánicos fueron subdivididos de acuerdo a su textura.

En lo que respecta a los cementos estos fueron discriminados de acuerdo a la composición.

A continuación se enumeran y describen los tipos de componentes tanto detríticos como diagenéticos.

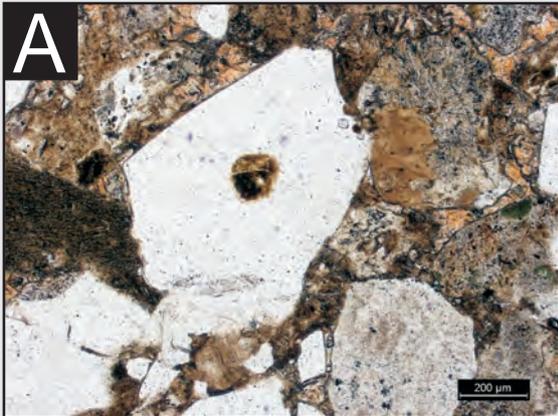
### **3.2.1- Componentes detríticos**

**Cuarzo monocristalino (Qm):** Estos son de escasos a abundantes (entre 4% y 42%, y en promedio de 14%). Los cristaloclastos de cuarzo monocristalino generalmente poseen una extinción límpida, a menudo presenta engolfamientos y en ocasiones textura micrográfica o rúnica (intercrecimiento entre cuarzo y feldespatos alcalinos). Los clastos son subangulosos a subredondeados, esporádicamente muy redondeados, y en menor medida se encuentran fracturados. Dadas las características antes mencionadas son considerados de origen volcánico (Lámina 3.2 A y B). En muy baja proporción los cristaloclastos de cuarzo se presentan con extinción ondulosa y son más alargados, y en este caso se asocian a un origen metamórfico.

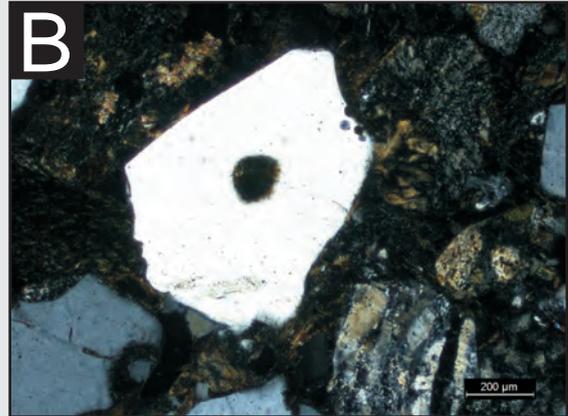
**Cuarzo policristalino (Qp):** Estos son de escasos a moderados (entre 2% y 18%, y en promedio de 9%). Los litoclastos de cuarzo policristalino son de gran tamaño (arena gruesa a sábulo), internamente los cristales tienen formas alargadas o acintadas, anhedrales y con extinción ondulosa frecuente (Lámina 3.2 C y D), por lo que se les asigna un origen metamórfico. En forma más esporádica se observan clastos de cuarzo policristalino de menor tamaño en los que los cristales individuales se presentan con formas equidimensionales (el origen de estos últimos muchas veces es dudoso, pudiendo ser tanto sedimentario como metamórfico producto de recristalización estática).

**Feldespatos potásicos (Fk):** Los cristaloclastos de feldespato potásico son los más frecuentes entre los feldespatos, variando su proporción desde moderada a muy abundante (entre 14% y 44%; y 31% en promedio). Los mismos son de subredondeados a subangulosos y ocasionalmente bien redondeados. Se encuentran zonados y poseen

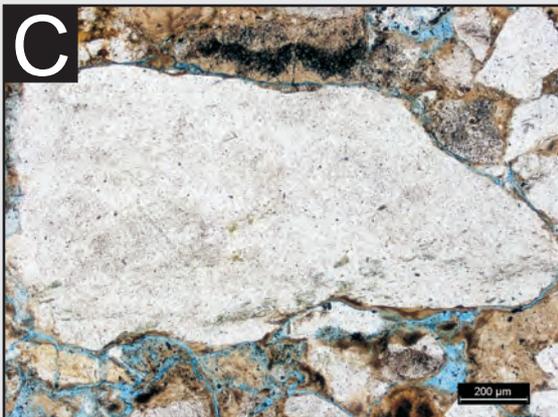
## Tipos de clastos contabilizados



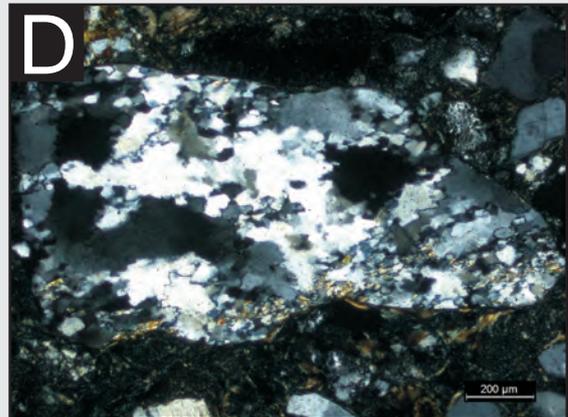
Cristaloclasto de cuarzo monocristalino volcánico (sin nicoles cruzados).



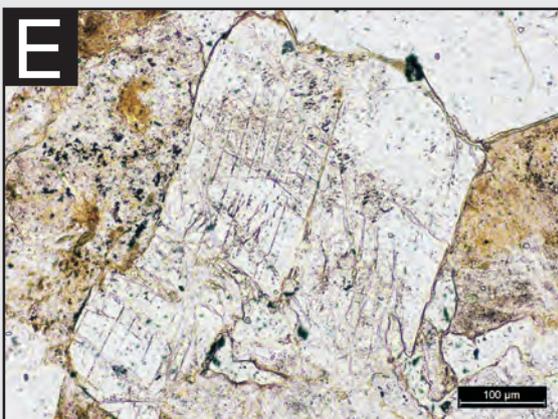
Misma vista que A (con nicoles cruzados).



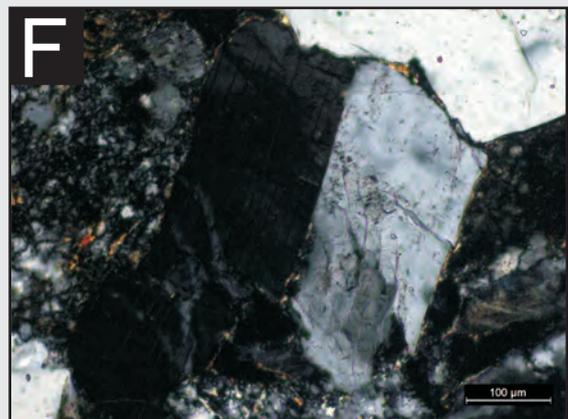
Clasto de cuarzo policristalino, rodeado de una pátina o *coating* argílico (sin nicoles cruzados).



Clasto de cuarzo policristalino, donde se observan los cristales acintados de cuarzo. De origen metamórfico (con nicoles cruzados).



Cristaloclasto de ortosa con maclas de carlsbad, nótese que se encuentra fracturado y levemente alterado (sin nicoles cruzados).



Misma vista que E (con nicoles cruzados).

maclas con predominio de tipo Carlsbad (Lámina 3.2 E y F), clivaje bien marcado y en ocasiones se encuentran fracturados. Son por lo común de tipo ortosa, aunque en muy escasa proporción se ha observado la presencia de sanidina (Lámina 3.3 A y B); y de microclino con la típica macla en enrejado. Los mismos se encuentran frecuentemente alterados a sericita y a veces cuando la alteración es más avanzada (arcilla) pasan a formar parte de la pseudomatriz.

**Plagioclasa (Plg):** Las plagioclasas se encuentran en menor proporción que los clastos de feldespato potásico (entre 0,5% y 6%; y con promedio de 2%). Los cristaloclastos son angulosos a subangulosos y en ocasiones se encuentran fracturados. Es frecuente la presencia de zonación y maclas polisintéticas de tipo albita (Lámina 3.3 C y D) y en menor medida de tipo periclasa o periclino. Dominan la composición de tipo oligoclasa-andesina. A veces se encuentran con alto grado de alteración pasando a formar minerales de las arcillas y generando el aspecto de una pseudomatriz.

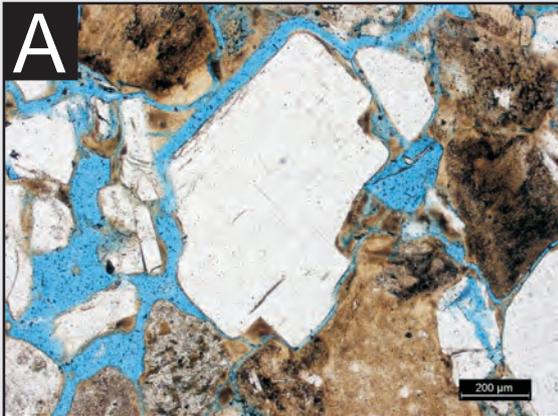
**Opacos (Op):** Los clastos de opacos se presentan en escasa proporción (< 0,5%), generalmente son equidimensionales subangulosos a subredondeados y en ocasiones muy redondeados.

**Líticos volcánicos con textura felsítica (Lv<sub>f</sub>):** Son los litoclastos más abundantes en la formación Mata Amarilla (varían entre 11% y 42%, con un promedio de 25%). Los mismos se caracterizan por presentar una textura interna de tipo felsítica, la cual es una textura afanítica criptocristalina a microcristalina formada por un agregado de pequeños cristales de cuarzo y feldespatos equidimensionales y anhedrales (Lámina 3.3 E y F). Esta textura es típica de las pastas volcánicas ácidas (riolitas y dacitas), aunque frecuentemente aparece como producto de la recristalización del vidrio volcánico (Best y Christiansen, 2001). Dentro de este grupo de clastos líticos también se incluyeron los que poseen textura esferulítica, debido a que también son producto de la recristalización de vidrio volcánico.

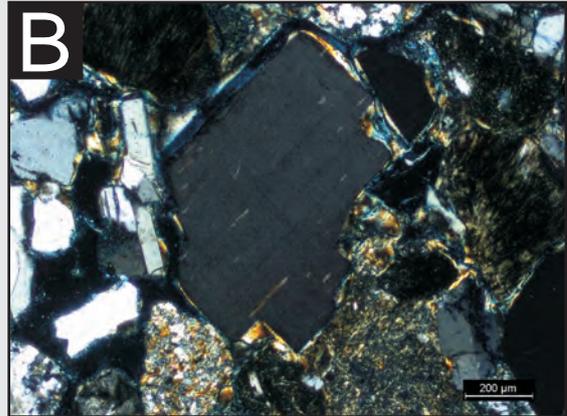
En ocasiones estos clastos se encuentran con diferentes grados de alteración dada por el pasaje gradual a arcillas, constituyendo así parte de la pseudomatriz.

**Líticos volcánicos con textura pilotáxica (Lv<sub>p</sub>):** Estos son muy escasos a escasos (entre 2% y 8%, promediando 4%). Son clastos de líticos volcánicos caracterizados por la presencia de pequeños cristales o tablillas de feldespatos (generalmente plagioclasas) euhedrales a subhedrales, los cuales se ubican dentro de una pasta afanítica de vidrio volcánico sin una distribución definida (Lámina 3.4 A-D). Esta textura es conocida como textura pilotáxica o afieltrada, caracteriza a las pastas volcánicas mesosilícicas,

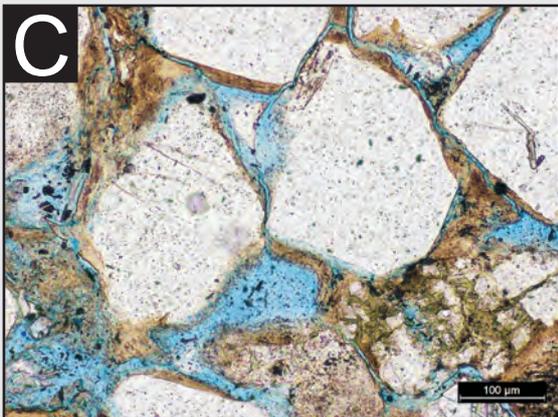
## Tipos de clastos contabilizados



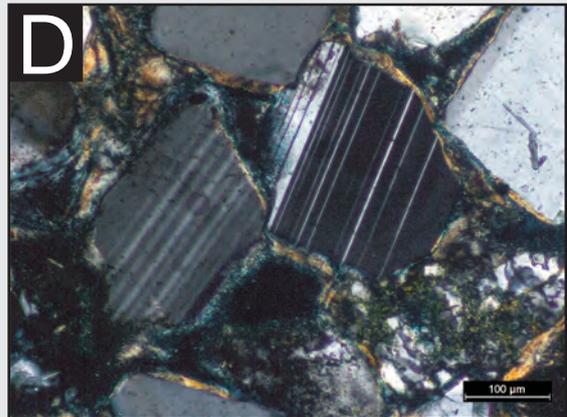
**A** Cristaloclasto de sanidina, con clivaje en dos direcciones (sin nicoles cruzados).



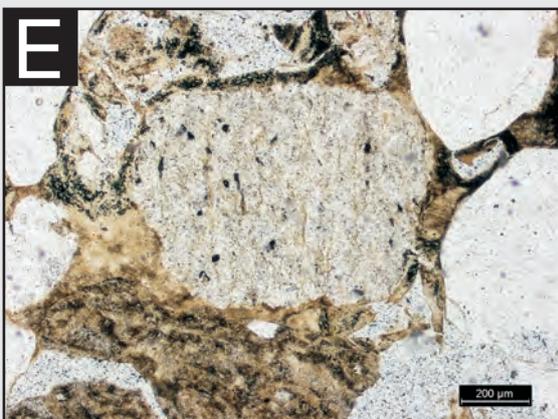
**B** Misma vista que **A** (con nicoles cruzados).



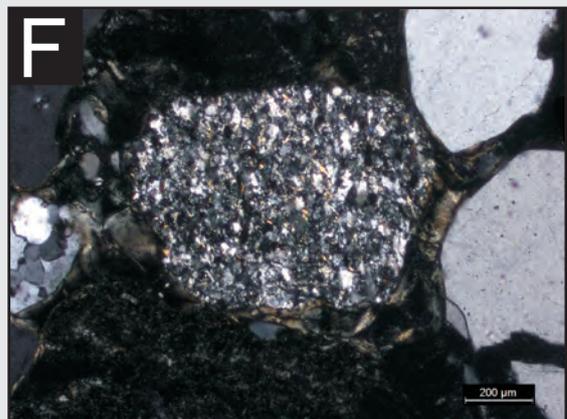
**C** Clastos de plagioclasa, usualmente presentan maclas polisintéticas de tipo albita, poseen borde difusos con pátinas o *coatings* de arcilla (sin nicoles cruzados).



**D** Misma vista que **B** (con nicoles cruzados).

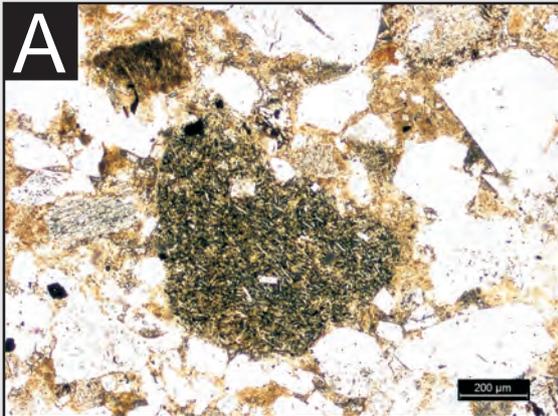


**E** Fragmento de lítico volcánico con textura felsítica, agregado de pequeños cristales de cuarzo y feldespatos equidimensionales y anhedrales (sin nicoles cruzados).

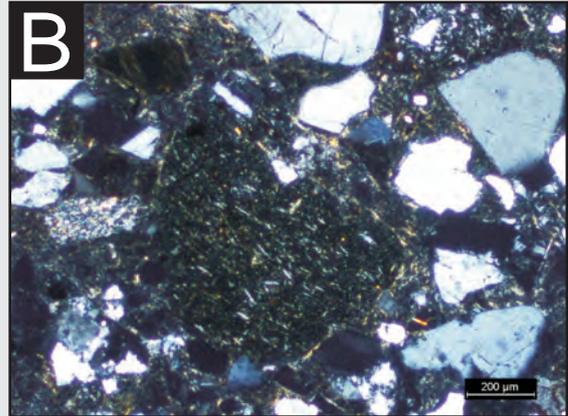


**F** Misma vista que **E** (con nicoles cruzados).

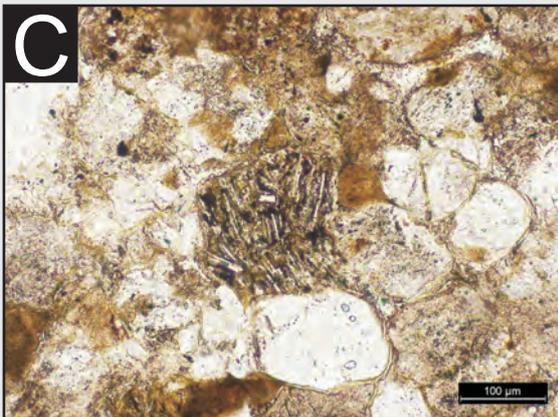
## Tipos de clastos contabilizados



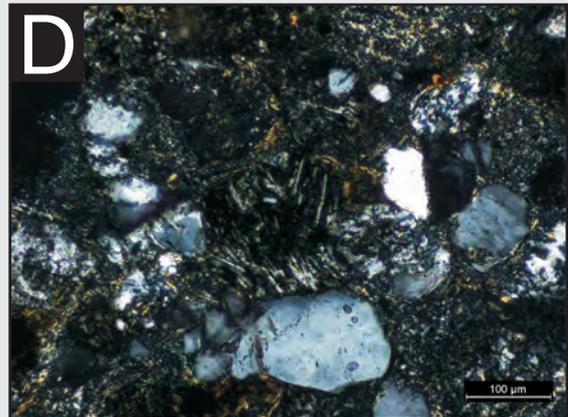
Lítico volcánico con textura pilotáxica o afiel-trada, en el cual las tablillas de plagioclasas se disponen en forma aleatoria (sin nicoles cruzados).



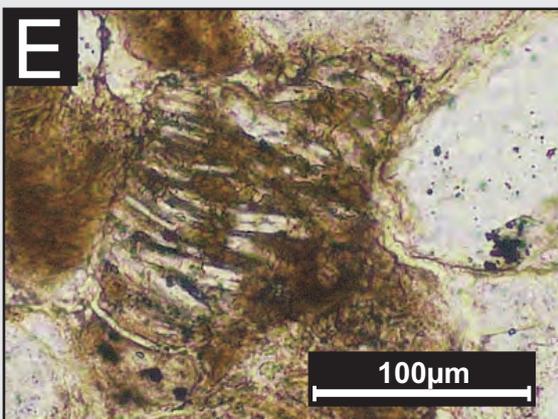
Misma vista que A (con nicoles cruzados).



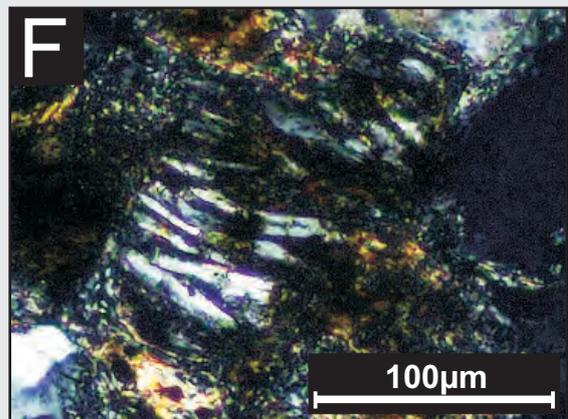
Lítico volcánico con textura pilotáxica o afiel-trada, en la cual las tablillas de plagioclasas se disponen en forma aleatoria (sin nicoles cruzados).



Misma vista que C (con nicoles cruzados).



Lítico volcánico con textura traquítica, en la cual las tablillas de plagioclasa se disponen en forma paralela (sin nicoles cruzados).



Misma vista que E (con nicoles cruzados).

como por ejemplo las andesitas (Best y Christiansen, 2001). Estos clastos volcánicos también se encuentran frecuentemente alterados a arcillas.

**Líticos volcánicos con textura traquítica (Lvt):** este tipo de clastos volcánicos es el menos abundante en las areniscas de la Formación Mata Amarilla (< 0,4%). La textura traquítica está caracterizada por la presencia de pequeñas tablillas de feldspatos (mayormente plagioclasas) orientadas en forma paralela a sus ejes mayores, las cuales se encuentran inmersas en una pasta afanítica (Lámina 3.4 E y F). Esta textura es característica de las rocas volcánicas mesosilícicas a ácidas, especialmente de las traquitas, aunque también está presente en andesitas y dacitas (Best y Christiansen, 2001).

**Líticos piroclásticos (Lp):** Son muy escasos a escasos (0 y 9%) y se reconocen mayormente en las facies más gruesas de la unidad. Son de tipo pumíceos en los que se pueden distinguir en ocasiones trizas vítreas, pero lo más común es que se encuentren alterados otorgándole al vidrio una textura de tipo esferulítica (Lámina 3.5 A y B) y/o felsítica.

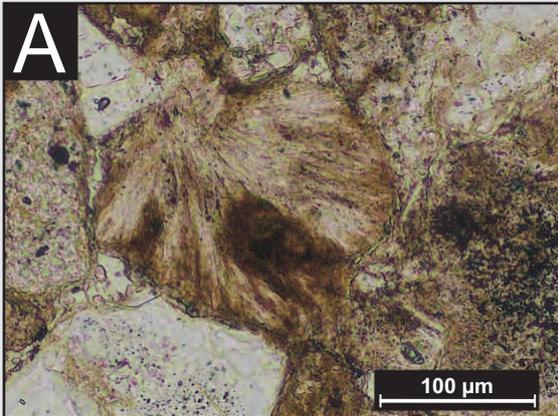
**Líticos sedimentarios (Ls):** Son muy escasos a moderados (entre 0,3% y 18%, y poseen 5% en promedio). Entre éstos se encuentran intraclastos pelíticos de limos o limos arcillosos provenientes de depósitos de planicie de inundación y en menor proporción se observan clastos de areniscas finas (Lamina 3.5 C y D). Son internamente masivos, redondeados, de formas elongadas a subcirculares. Cuando están alterados, disueltos o deformados constituyen parte de la pseudomatriz.

**Líticos glauconíticos (Lg):** Son muy poco frecuentes (<1%). Se reconocen por su coloración verdosa intensa, están muy bien redondeados a redondeados y poseen un reborde exterior o pátina de arcilla (Lámina 3.5 E).

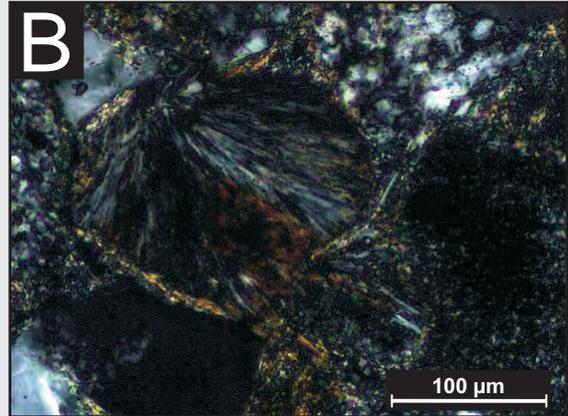
**Líticos indiferenciados (L indet.):** Dentro de este grupo se incluyen aquellos clastos líticos que debido a la intensa alteración y/o a la granulometría criptocristalina resultó imposible su discriminación dentro de los componentes anteriormente descriptos. En apariencia podrían constituir líticos volcánicos alterados a arcilla y/o cristaloclastos de feldespato alterados a argilominerales (Lámina 3.5 F).

**Pseudomatriz (Psd):** La misma resulta escasa a frecuente (2 a 15%), y suele reconocerse como producto de la deformación y alteración de los clastos líticos de vulcanitas ácidas y mesosilícicas, así como también la alteración avanzada de los feldspatos, es decir, se incrementa la proporción de matriz por procesos diagenéticos (Lámina 3.6 A).

## Tipos de clastos contabilizados



Clasto lítico piroclástico alterado con textura esferulítica a arcilla, foto sin nicoles.



Clasto de lítico piroclástico alterado con textura esferulítica a arcilla, foto con nicoles.

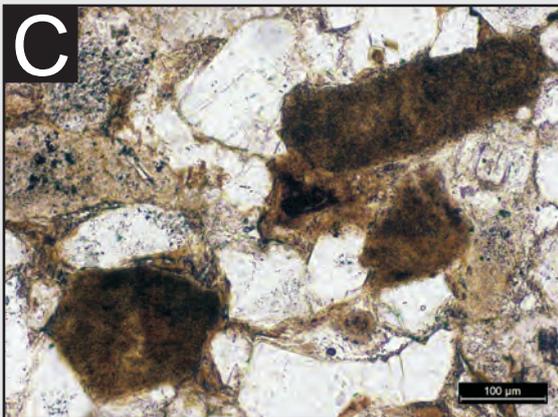


Foto sin nicoles de clastos líticos sedimentarios de arcilitas.

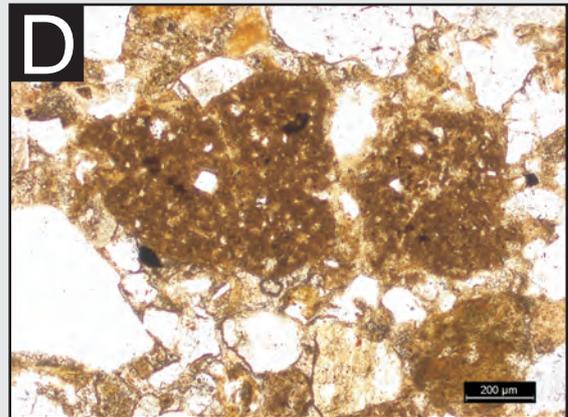


Foto sin nicoles de líticos sedimentarios de limolitas.

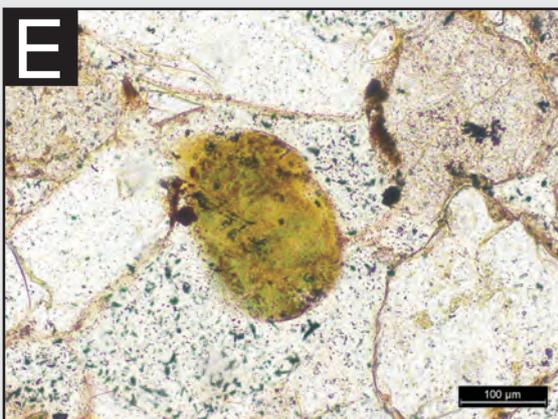


Foto sin nicoles de un litoclasto de glauconita, es de destacar la forma redondeada y el recubrimiento argílico o *coating* que lo rodea.

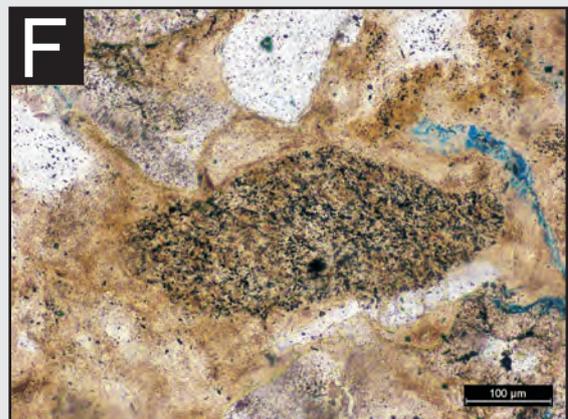


Foto sin nicoles de un clasto lítico indeterminado alrededor del que se le dispone un cemento de tipo argílico.

## Tipos de clastos y cementos contabilizados

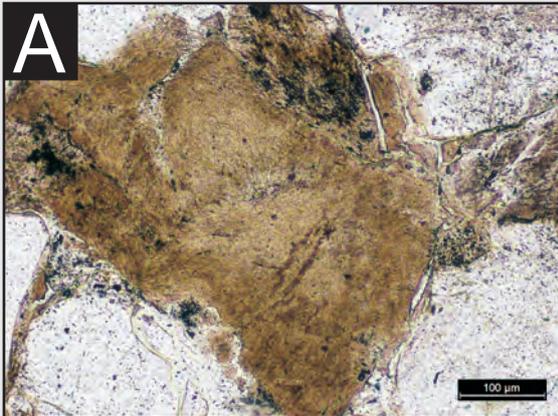


Foto sin nicoles, donde se observa el desarrollo de pseudomatrix producto de la alteración y deformación de un clasto lítico indiferenciado.



Foto con nicoles cruzados, donde se muestran los recubrimientos de arcilla o *coatings* alrededor de los clastos.

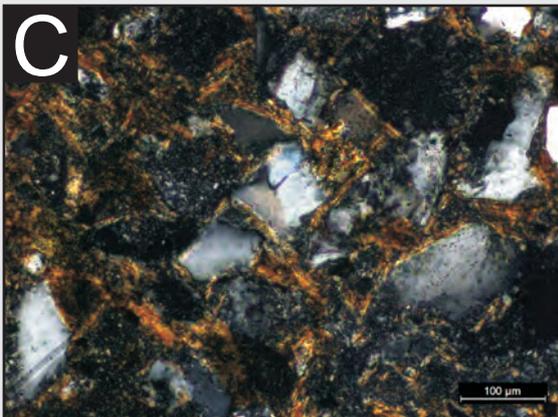


Foto con nicoles cruzados de un cemento argílico orientado a ángulos perpendiculares. Producto de la expansión/contracción de la esmectita.

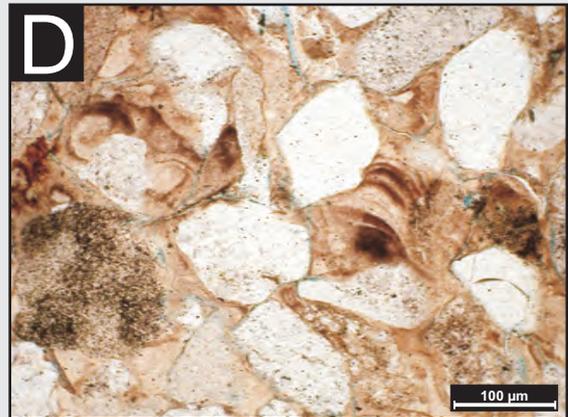


Foto sin nicoles de cutanes arcillosos, formados por iluviación de arcilla producto de pedogénesis.

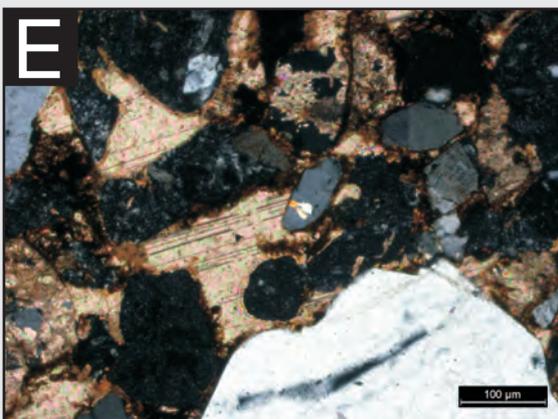


Foto con nicoles cruzados de cementación carbonática de tipo esparítica, granotópica y poikilotópica.

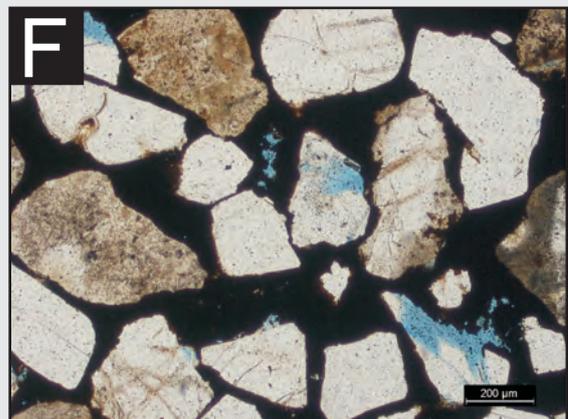


Foto sin nicoles de una cementación ferruginosa de una concreción proveniente de un nivel de paleosuelos.

### 3.2.2- Cementos

**Cemento argílico (C arg):** Este tipo de cementación es el más predominante en las areniscas de la Formación Mata Amarilla. El mismo ocurre generalmente como un delgado recubrimiento de arcilla o *coating* argílico con colores de interferencia de alta birrefringencia (Lámina 3.6 B), el cual promueve la preservación de la porosidad primaria de la roca ya que inhibe una cementación posterior (Scasso y Limarino, 1997). En ocasiones los cementos argílicos se encuentran orientados según dos direcciones perpendiculares con ángulos agudos (Lámina 3.6 C). En otros casos estos cementos se presentan conformando cutanes arcillosos depositados durante etapas sucesivas, lo cual le otorga un bandeamiento muy característico de este tipo de cementación (Lámina 3.6 D). La alternancia de bandeados de diferente coloración en los cutanes se debe a la presencia de óxidos de hierro en los colores rojizos, y a su ausencia en las bandas claras. En las bandas de coloración oscura se infiere la presencia de coloides orgánicos y/u óxidos de manganeso asociados a la arcilla. A su vez, estos cementos suelen presentarse como completamente obliterantes o *blocky*, rellenando todo el espacio poral.

**Cemento carbonático (Cc):** Este tipo de cemento se encuentra presente en algunas areniscas de las secciones inferior y superior de la formación, suele estar asociada a la parte superior de la unidad de “Barras Bioclásticas”. Generalmente son de tipo esparítico completamente obliterantes o *blocky* (Lámina 3.6 E), aunque también se presenta con menor tamaño de tipo microesparítico. Esta cementación carbonática puede presentarse en forma de nódulos formados por siderita con colores de extinción anaranjados, este último tipo de cementación es muy frecuente en paleosuelos (Retallack, 2001; White *et al.*, 2001).

**Cemento ferruginoso (Cf):** Este cemento se observa generalmente como grandes concreciones o “bochones” dentro de los niveles arenosos de la Formación Mata Amarilla (Lámina 5.3 E), los mismos poseen una coloración rojiza y están compuestos de hematita y magnetita. Se caracteriza por ser una cementación que reduce notablemente la porosidad primaria, el contacto entre los granos generalmente es de tipo meniscado (Lámina 3.6 F) y sólo en ocasiones es completamente obliterante. La cementación interna se ordena en capas concéntricas, y en este caso constituyen nódulos o concreciones.

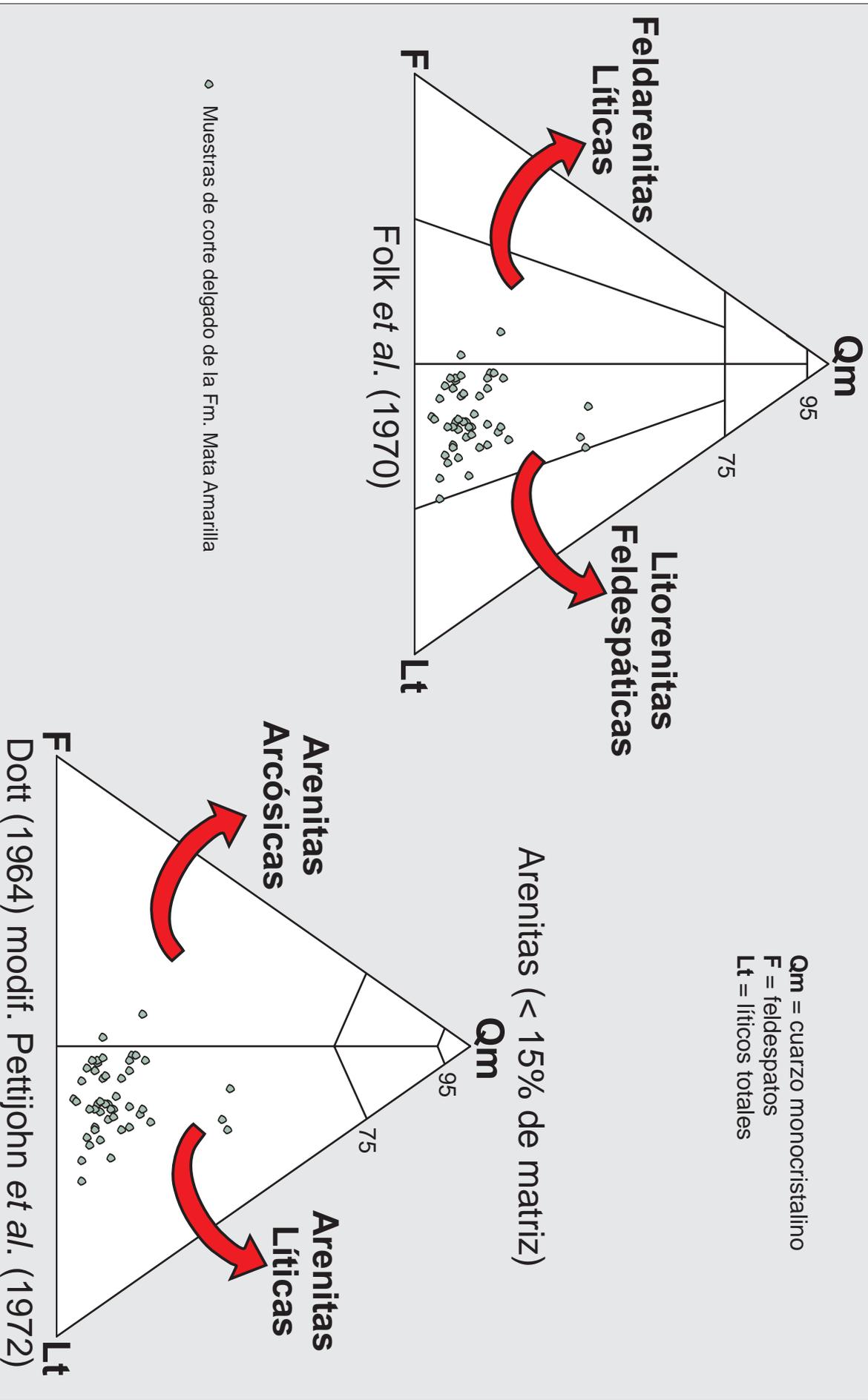
### 3.2.3- Areniscas de la Formación Mata Amarilla

Las areniscas de la Formación Mata Amarilla (N= 48) son de tipo clasto sostén con escasa matriz, que cuando se observa es mayormente del tipo pseudomatriz (producto de la compactación física de líticos volcánicos y/o sedimentarios). El tamaño de grano varía entre arena fina y gruesa y se encuentran pobremente seleccionadas a bien seleccionadas. La esfericidad de los clastos es de moderada a baja, y generalmente son subredondeados a subangulosos. Los clastos en orden decreciente de abundancias están compuestos por fragmentos líticos (53%), feldespatos (33%) y cuarzo (14%) (ver conteo de puntos en Tablas Anexo 3.1 y 3.2). Según la clasificación de Dott (1964; modificada por Pettijohn *et al.*, 1972), la mayoría de las muestras son areniscas líticas (Lámina 3.7), a excepción de las muestras DRG 15 y LB 7 que se ubican en el campo de las arenitas arcósicas (Lámina 3.7). De acuerdo con la clasificación de Folk *et al.* (1970) las muestras se designan como litoarenitas feldespáticas, a excepción de las muestras DRG 15 y LB 7 las cuales son feldarenitas líticas (Lámina 3.7).

Los fragmentos líticos más frecuentes son los de composición volcánica los cuales se presentan con diferentes grados de alteración, los más abundantes poseen textura felsítica (Lvf) (25%). También se destaca la presencia de clastos de cuarzo policristalino (Qp) en forma abundante (promediando el 10% de la moda total), mayormente de origen metamórfico. En menor proporción ocurren líticos volcánicos con textura pilotáctica (Lvp) (4%), traquítica (Lvt) (0,4%) y líticos piroclásticos (Lp) (0,6%). Los líticos sedimentarios varían en abundancia de una muestra a otra (~ 5%), dentro de los clastos sedimentarios se separaron los de glauconita, que se presentan sólo en las secciones inferior y superior de la formación.

La ortosa es el tipo de feldespato dominante (30%), generalmente aparece en cristales euhedrales a subhedrales, frescos a alterados (a arcilla y/o sericita), con maclas de Carlsbad o sin maclado; en menor proporción (<1%) aparecen sanidina y microclino, este último con la típica macla en enrejado. Las plagioclasas se encuentran en menor proporción (2%), generalmente frescas, aunque en ocasiones pueden estar algo alteradas, frecuentemente presentan maclas de tipo albita. El cuarzo monocristalino se encuentra en una proporción moderada (14%), presenta extinción límpida, a menudo con engolfamientos y en ocasiones con textura micrográfica o rúnica. Estos cristaloclastos son de subangulosos a subredondeados, y ocasionalmente muy redondeados.

# Clasificación de las areniscas de la Formación Mata Amarilla



Con respecto a la diagénesis, la cementación más abundante en las areniscas de la formación es de tipo argílica, la misma se presenta como un delgado recubrimiento de arcilla o *coating*, el cual preserva la porosidad primaria de la roca ya que inhibe el desarrollo de sobrecrecimientos de cuarzo y de feldespato. En ocasiones se presenta como cutanes arcillosos depositados durante etapas consecutivas, lo cual genera un bandeamiento muy particular y disminuye la porosidad primaria de la roca. Este tipo de cementación argílica es típica de paleosuelos y responde a la translocación de arcillas de un horizonte a otro, proceso que se denomina iluviación.

La cementación carbonática se encuentra presente en algunas areniscas de las secciones inferior y superior de la Formación Mata Amarilla (Tablas Anexo 3.1 y 3.2). Generalmente está compuesta de calcita esparítica completamente obliterante o *blocky*. Los cementos de tipo ferruginoso se encuentran en menor proporción conformando pequeños nódulos y/o concreciones esferoidales.

La porosidad de las areniscas de la Formación Mata Amarilla es mayormente de tipo primaria, aunque en algunos casos se observó porosidad secundaria. La porosidad primaria se preserva debido a que los recubrimientos o *coatings* argílicos inhiben los sobrecrecimientos posteriores de cuarzo y feldespato (Wilson y Pittman, 1977). La porosidad secundaria resulta de la disolución parcial de fragmentos líticos, en forma menos frecuente hay presencia de disolución total y de fracturación de los mismos, así como también de feldespatos. Aunque no se realizó una cuantificación sistemática de la porosidad de las areniscas, el análisis de las secciones delgadas mediante uso de comparadores visuales permitió inferir que la misma es muy alta a alta (desde 5 a 25%), con un promedio general de 16%. Cabe destacar que en la sección media de la formación los valores llegan en algunos casos hasta porosidades del orden de 30%.

### **3.3- Análisis de procedencia a partir de las modas detríticas.**

Para el estudio de la procedencia se utilizaron los diagramas ternarios tradicionales (Qm-F-Lt y Qt-F-L) de Dickinson *et al.* (1983), en los cuales se relaciona la composición modal de las areniscas con el ambiente tectónico de las áreas de aporte. Este método es aceptado y utilizado por muchos autores (Suczek e Ingersoll, 1985; Packer e Ingersoll, 1986; Manassero, 1988), aunque es también muy discutido por otros (Ingersoll, 1990; Ingersoll *et al.*, 1993; Critelli *et al.*, 1997). Como es sabido, las modas detríticas resultan de la interacción de varios factores como el clima, el agente de

transporte, la distancia al área fuente, la tectónica y subsidencia de la cuenca, así como también dependen de los procesos diagenéticos (Dickinson y Suczek, 1979; Marsaglia e Ingersoll, 1992; Ingersoll *et al.*, 1993; Raingemborn, 2006)

Según el diagrama Qm-F-Lt de Dickinson *et al.* (1983), los análisis modales de la Formación Mata Amarilla en las 15 localidades se ubican mayormente en el campo de arco transicional, a excepción de las muestras LB 11, LB 16 y CI 8 que se encuentran en el campo de mezcla y orógeno reciclado (transicional) (Lámina 3.8).

Por otra parte las muestras correspondientes a la Formación Piedra Clavada están dentro del campo de arco transicional. Este patrón se repite en las muestras analizadas de la Formación La Anita, con la diferencia que éstas se ubican más cerca del campo de arco disectado. De acuerdo al diagrama Qm-F-Lt (Lámina 3.8), no se distinguen diferencias composicionales significativas entre las tres formaciones.

En el diagrama Qt-F-Lt de Dickinson *et al.* (1983), se observa que hay una mayor distinción entre las tres formaciones (Lámina 3.9). La mayoría de las muestras correspondientes a la Formación Mata Amarilla se encuentran dentro del campo de arco transicional y arco disectado, observándose una diferenciación en las muestras LB 11, LB 16 y CI 8 hacia el campo de orógeno reciclado (Lámina 3.9). En el caso de las muestras de la Formación Piedra Clavada, las mismas se ubican en el campo de arco transicional, con la excepción de una muestra que lo hace en el campo de arco disectado (Lámina 3.9). Por último, las muestras de la Formación la Anita están dentro de los campos de arco transicional, arco disectado y orógeno reciclado, con lo cual es necesario profundizar en este tipo de análisis para clarificar la procedencia de esta unidad (Lámina 3.9).

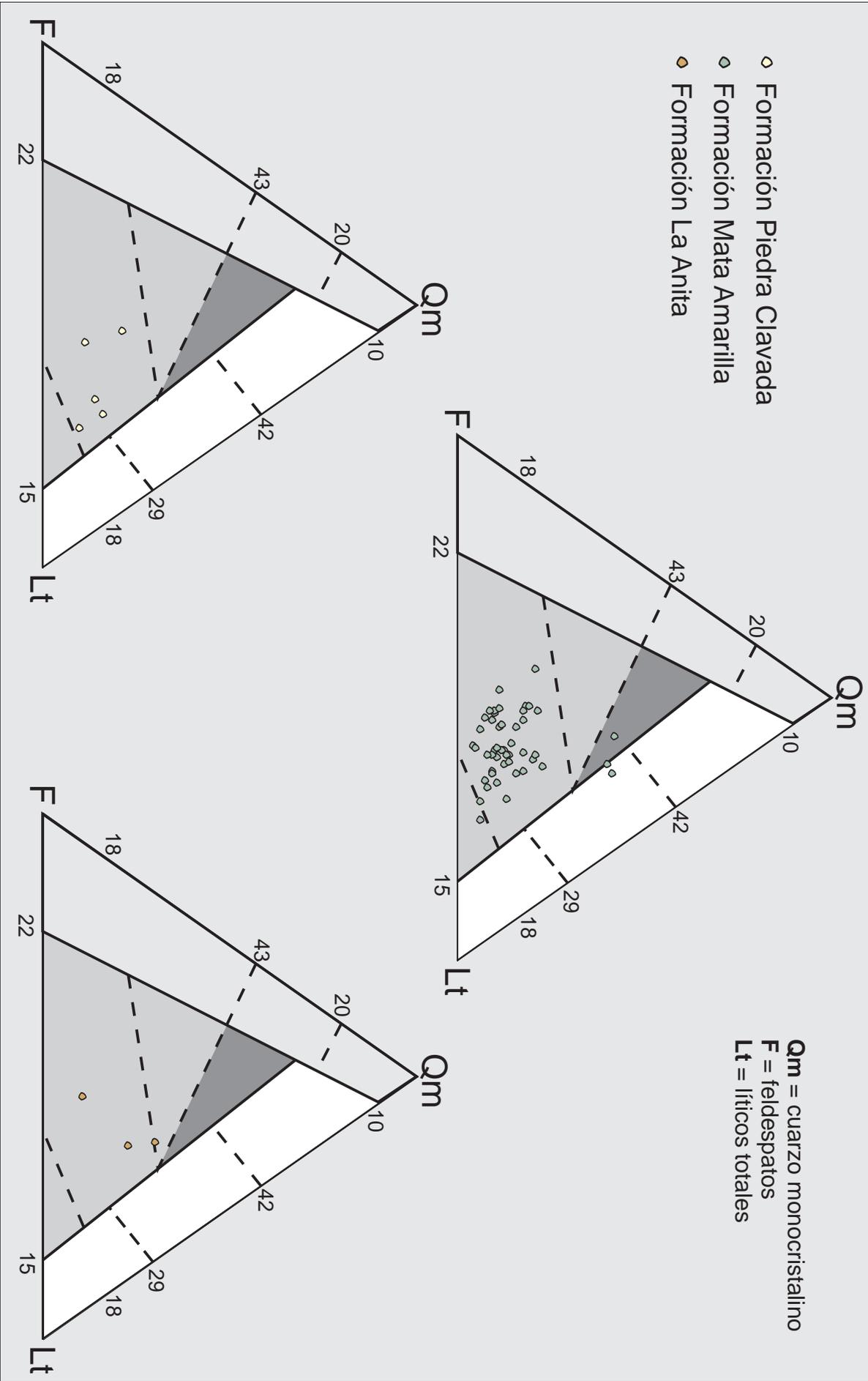
En las areniscas con importante aporte de líticos, se utiliza con frecuencia el diagrama ternario Qp-Lv-Ls de Dickinson y Suczek (1979). Este diagrama permite diferenciar claramente las muestras con aporte de ambientes orogénicos de las muestras procedentes de arco magmático. Las muestras de la Formación Mata Amarilla se ubican dentro del campo de arco magmático, aunque una decena quedan fuera de dicho campo debido al incremento de cuarzo policristalino (Lámina 3.10). Las muestras correspondientes a la Formación Piedra Clavada también se asocian a un arco magmático y ocurre lo mismo con las muestras de la Formación La Anita (Lámina 3.10).

A partir de estos análisis se puede concluir que el aporte principal de las areniscas de la Formación Mata Amarilla es proveniente de un arco magmático y en

**Diagramas Qm- F - Lt (Dickinson et al., 1983) de procedencia de areniscas**

- ◊ Formación Piedra Clavada
- ◊ Formación Mata Amarilla
- ◊ Formación La Anita

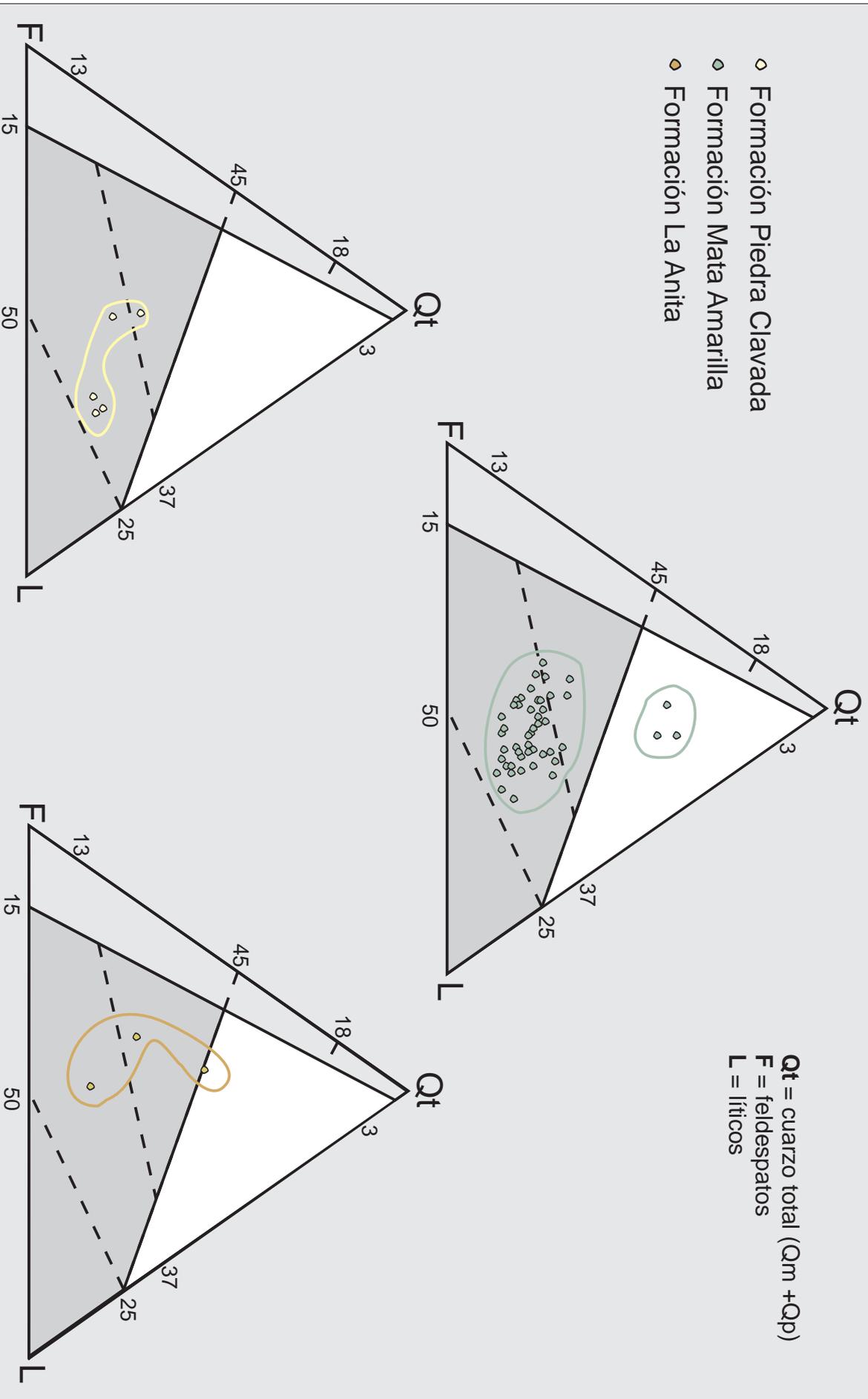
Qm = cuarzo monocristalino  
 F = feldespatos  
 Lt = líticos totales



**Diagramas Qt - F - L (Dickinson et al., 1983) de procedencia de areniscas**

- ◊ Formación Piedra Clavada
- ◊ Formación Mata Amarilla
- ◊ Formación La Anita

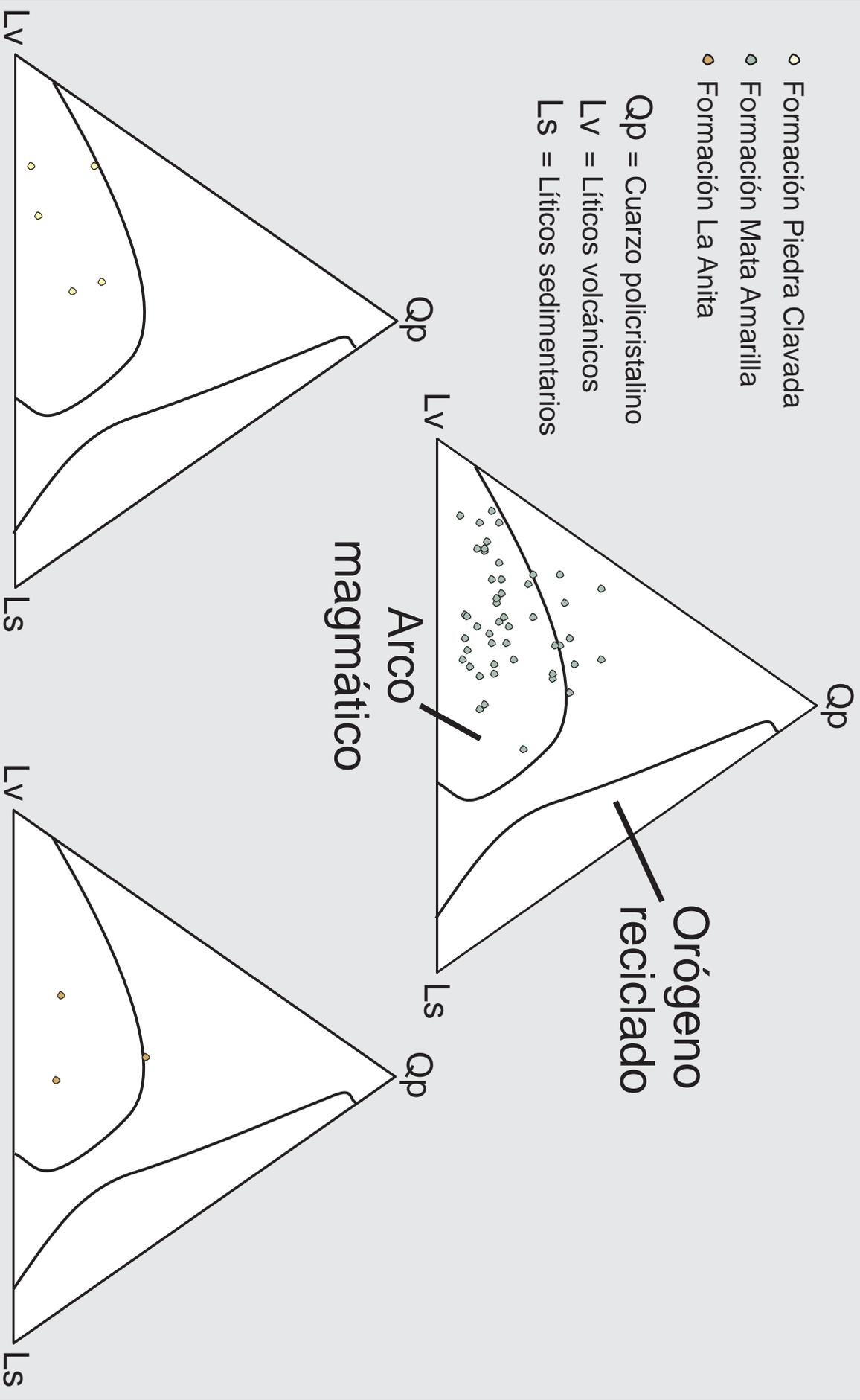
Qt = cuarzo total (Qm + Qp)  
 F = feldespatos  
 L = lúílicos



**Diagramas Qp - Lv - Ls (Dickinson y Suczek, 1979)**

- ◊ Formación Piedra Clavada
- ◊ Formación Mata Amarilla
- ◊ Formación La Anita

Qp = Cuarzo policristalino  
 Lv = Líticos volcánicos  
 Ls = Líticos sedimentarios



mucho menor medida desde un área orogénica. Por otra parte, las unidades infra y suprayacentes (formaciones Piedra Clavada y La Anita), también reflejan una procedencia desde un arco magmático, sin embargo cabe destacar que el alcance del muestreo en estas últimas unidades es notablemente inferior, debido a que no son motivo de estudio específico en este trabajo.

### **3.4- Consideraciones preliminares sobre las modas detríticas.**

La presencia de un arco volcánico en el Cretácico superior de la Cuenca Austral no es un dato significativo por sí solo, debido a que es probada la existencia de un arco volcánico durante el estadio de cuenca marginal, así como también durante el desarrollo de la cuenca de antepaís (Ramos *et al.*, 1982; Biddle *et al.*, 1986; Wilson, 1991; Hervé *et al.*, 2007a) (Lámina 1.2). A su vez, los clastos volcánicos podrían haber sido aportados a partir de un arco coetáneo o del interior cratónico que en ese período del Cretácico estaba conformado por el extenso volcanismo bimodal del Macizo del Deseado (Pankhurst *et al.*, 2000). Sin embargo las modas detríticas determinadas en este estudio, no permiten discernir si la proveniencia estaría asociada a uno u otro volcanismo. Una manera de encontrar potenciales diferencias entre vulcanismos diferentes podría ser con un estudio geoquímico detallado, como por ejemplo análisis de procedencia mediante estudios de tierras raras (Zimmermann *et al.*, 2010).

En este sentido, cabe destacar que tanto las rocas del sinrift agrupadas dentro del complejo volcanoclástico El Quemado, así como las rocas del Macizo del Deseado ubicado al Noreste del área de estudio, fueron vinculadas al vulcanismo bimodal de “Chon Aike” y comparten la misma litología y edad (Pankhurst *et al.*, 2000). De esto se desprende que durante la etapa de cuenca marginal el aporte fue principalmente del Norte y del Este, es decir del Macizo del Deseado. Durante el estadio de evolución de la cuenca de antepaís, se produjo la inversión del rift del Jurásico medio a superior en la zona occidental de la cuenca siendo el Complejo volcanoclástico El Quemado el área de aporte más probable desde el Oeste. Es así que bajo configuraciones geotectónicas diferentes las modas detríticas no fueron afectadas.

Por este motivo, para poder establecer las posibles áreas de aporte de las sedimentitas aquí analizadas, se tuvieron en cuenta no sólo las características petrográficas anteriormente detalladas, sino también se analizaron conjuntamente los paleoambientes sedimentarios, sus variaciones, la paleogeografía y fundamentalmente

los datos de paleocorrientes medidos en cada asociación de facies. Esto último es abordado con mayor detalle en el capítulo VII del presente trabajo.

### **3.5- Difracción de rayos X de la Formación Mata Amarilla**

Los resultados de los 200 análisis de difracción de rayos X fueron volcados en las tablas del anexo 4 (Anexo 4.1 a 4.6). A continuación se analizarán las variaciones composicionales encontradas entre las distintas localidades estudiadas.

En la **localidad 1 (C° Waring)** el muestreo sistemático a lo largo de los tres miembros de la Formación Mata Amarilla, así como también de las unidades infra y suprayacentes (Piedra Clavada y La Anita) permitieron obtener datos composicionales continuos tanto de los análisis de “Roca total” como de la fracción “Arcilla”. En la Lámina 3.11, se observa el perfil sedimentológico y en forma adjunta se incluyeron las proporciones relativas de los difractogramas de roca total y arcillas para cada una de las muestras de la localidad.

En el diagrama composicional de Roca Total (Lámina 3.11) puede observarse que el cuarzo es muy abundante, mientras que las plagioclasas y feldespatos alcalinos se encuentran en una proporción escasa a moderada (Lámina 3.11). Por su parte, en la sección inferior y media de la Formación Mata Amarilla la calcita se presenta en proporciones moderadas. Es de destacar que la ocurrencia de hematita, magnetita, pirita y dolomita a los 112 metros del perfil 1 (Lámina 3.11), responde a la presencia de abundantes nódulos y concreciones de origen paleoedáfico presentes en ese nivel (ver capítulo V). Por último las arcillas se encuentran siempre en proporción moderada a escasa.

En lo que respecta al análisis de la fracción arcilla puede observarse que las mismas están compuestas principalmente por esmectita y en escasa proporción se observa la presencia de caolinita. Esta última generalmente se halla asociada a las facies más gruesas. Sólo se ha identificado la presencia de illita y clorita en la muestra correspondiente a los nódulos y concreciones de óxidos de hierro, anteriormente mencionado (Lámina 3.11). Por último, se destaca la presencia de abundante a moderada paligorskita en los niveles inferiores de la Formación Mata Amarilla.

De la comparación con las unidades infra y suprayacentes surge que tanto en la Formación Piedra Clavada como en la Formación La Anita se produce un cambio composicional importante con respecto a la Formación Mata Amarilla. En la Formación

# 1 C° Waring, difracción de rayo X (Roca total y Arcillas)

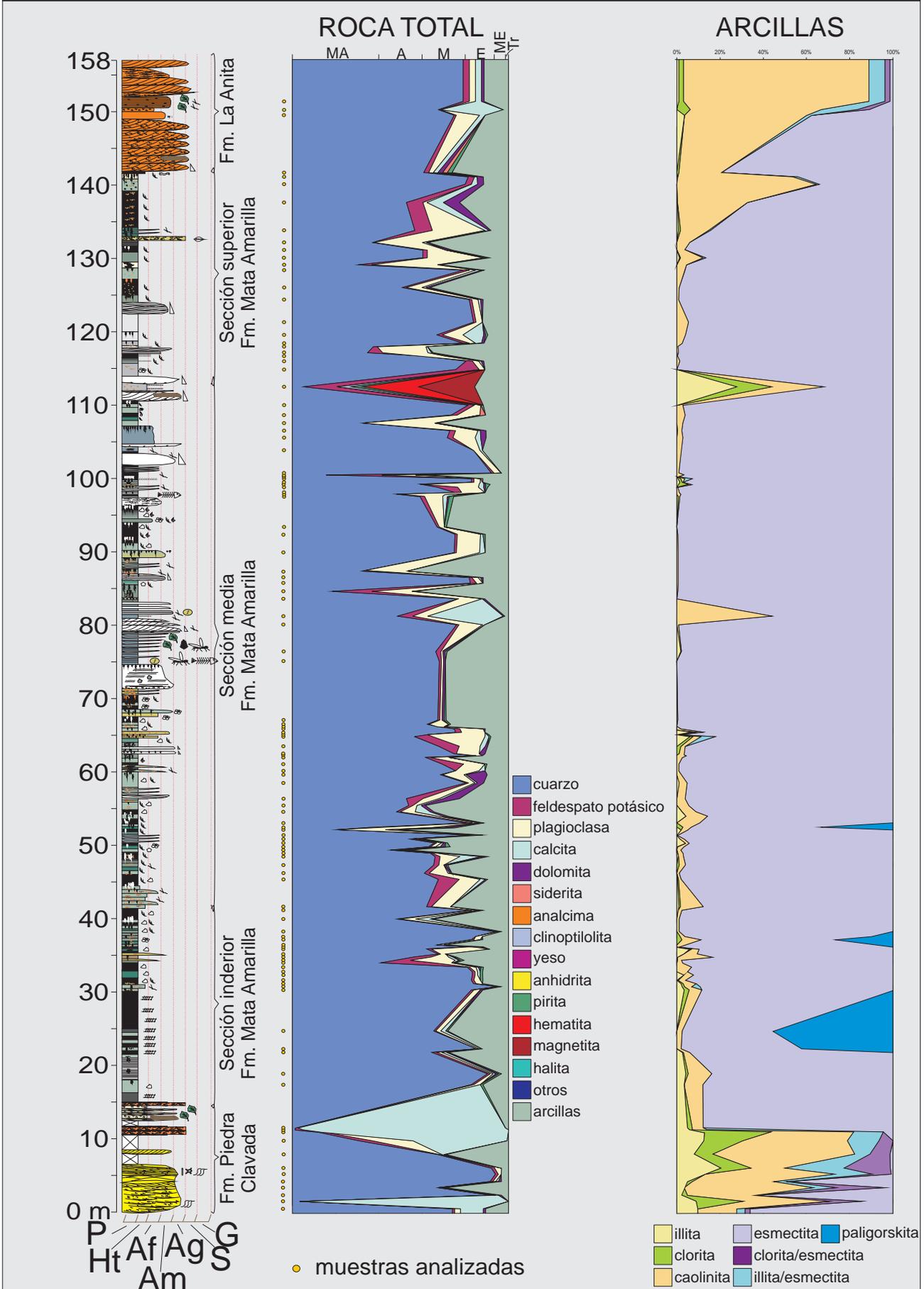


Lámina 3.11

Piedra Clavada domina la caolinita, acompañada en menor proporción de illita, clorita, esmectita y de interstratificados illita/esmectita (estos últimos son muy escasos en la Formación Mata Amarilla). Sin embargo es notorio que el cambio composicional importante se da dentro del techo de la Formación Piedra Clavada y no conjuntamente con el pasaje entre ambas formaciones (Lámina 3.11). Las razones de este desfase serán analizadas en el capítulo IX con más detalle.

Por su parte, los argilominerales de la Formación La Anita en la localidad de 1-C° Waring, están conformados mayoritariamente por caolinita, acompañada en forma muy escasa de illita, clorita, interstratificados illita/esmectita y clorita/esmectita.

**Localidad 4 (MAFer)**, se realizó un muestreo continuo ya que es la localidad más oriental en la que aflora la sección inferior de la Formación Mata Amarilla que presenta facies de carácter marino somero a transicional (ver capítulos IV y VI). En la lámina 3.12, se observa un cambio significativo en la composición del diagrama de Roca Total. Si bien el cuarzo siempre se encuentra en forma abundante, en la sección inferior de la Formación Mata Amarilla hay moderada a escasa presencia de plagioclasa, así como también de escasa calcita y dolomita (Lámina 3.12). En el nivel de 41 metros (correspondiente a facies de coquinas) se observa que la roca total está compuesta mayoritariamente de dolomita y de calcita. Es llamativa la presencia de dolomita en la sección inferior considerando que el grado de diagénesis es muy bajo. En la sección media de la formación se observa el mayor contenido de feldespato potásico que de plagioclasas y están ausentes la calcita y dolomita, quedando los carbonatos reducidos a trazas (Lámina 3.12). Con respecto a los argilominerales de la fracción arcillas, se observa que predomina la esmectita al igual que en toda la Formación Mata Amarilla y acompañan en escasa proporción caolinita e illita, especialmente en las facies bioclásticas (Lámina 3.12).

**Localidad 11 (Sur del Lago Viedma)**, el muestreo continuo en esta localidad permitió detectar toda posible variación en la composición hacia el Sudoeste de las localidades anteriormente presentadas. En la lámina 3.13 puede observarse en el diagrama de roca total que el cuarzo es muy abundante. La sección inferior y media de la Formación Mata Amarilla poseen plagioclasa en una proporción escasa, mientras que la sección superior sólo presenta trazas de la misma. El feldespato potásico es muy escaso a lo largo de toda la unidad, en el mismo sentido las arcillas también se presentan en escasa a muy escasa proporción en toda la sección. Los cambios más notorios corresponden a la aparición de sulfatos (yeso) en la sección inferior y al incremento del

#### 4 Localidad MAFer, DRX (Roca total y Arcillas)

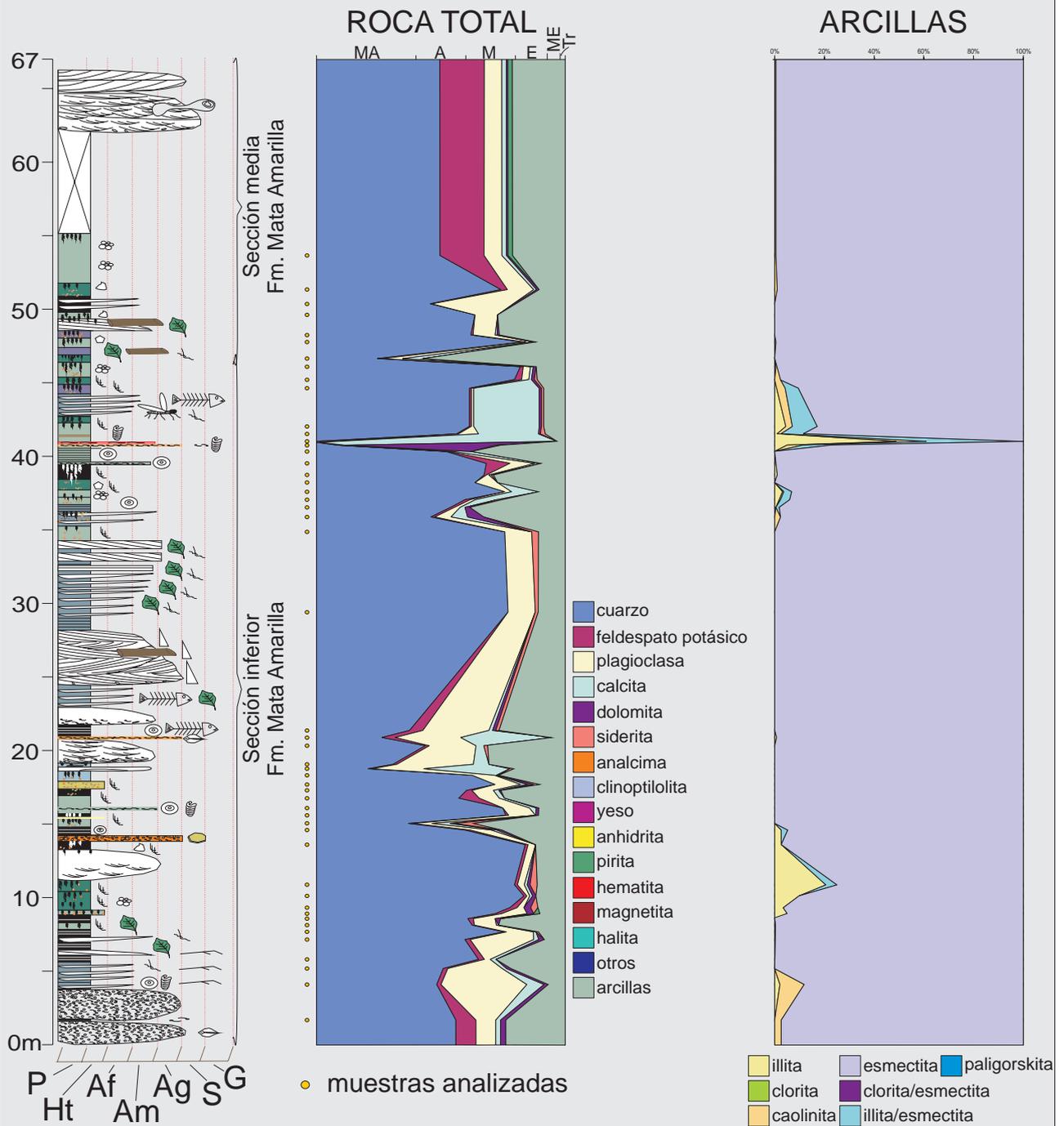


Lámina 3.12

# 11 Sur del Lago Viedma, DRX (Roca total y Arcillas)

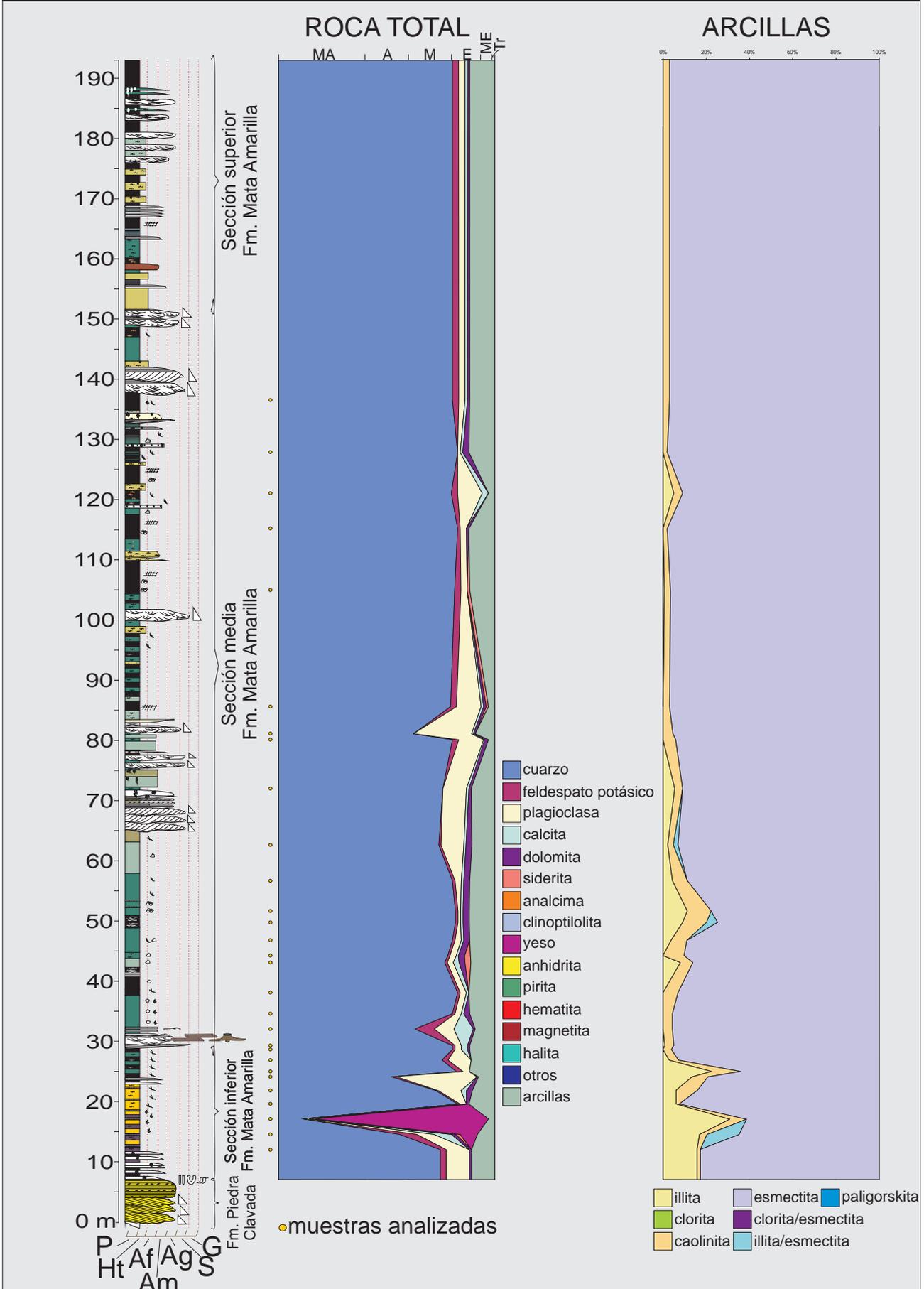


Lámina 3.13

contenido de feldespato potásico y el de calcita en el pasaje entre la sección inferior y la media (nivel correspondiente a los 30 metros lámina 3.13). Con respecto a las arcillas, la localidad 11 al igual que las anteriores, se encuentra dominada por esmectita (Lámina 3.13) y a diferencia de las anteriores presenta illita en escasa proporción, la cual disminuye progresivamente desde la sección inferior hasta desaparecer en la sección superior de la Formación Mata Amarilla. La caolinita se incrementa en la sección media y es muy escasa en el resto de la formación (Lámina 3.13). Se observaron trazas de interstratificados illita/esmectita en la sección inferior y en la porción basal de la sección media de la Formación Mata Amarilla (Lámina 3.13).

### **3.7- Consideraciones preliminares**

En los diagramas composicionales de “Roca total” de las tres localidades puede observarse que el cuarzo es el mineral más abundante (Láminas 3.11, 3.12 y 3.13), y que las plagioclasas y feldespatos se encuentran en una proporción escasa a moderada (Láminas 3.11, 3.12 y 3.13). Es de destacar la diferencia que existe entre la abundancia de cuarzo en “Roca total” con los resultados obtenidos en petrografía, esta diferencia se debe a causas metodológicas y principalmente de escala. La causa metodológica se debe a que el método de “difracción de rayos X en Roca total” es semicuantitativo y los porcentajes son de abundancias relativas. Pero la causa más importante, es producto de la escala de observación, ya que los clastos de líticas volcánicas con textura felsítica (recristalización de la pasta volcánica en microlitos de cuarzo y feldespato) en un análisis de “difracción de rayos X en Roca total” son determinados mayormente como cuarzo y feldespato. Esto mismo ocurre con los líticas metamórficos y todos los líticas sedimentarios, ya que muchas veces el cuarzo se encuentra en una granulometría inferior a los 0,062 mm.

Por su parte, la calcita se presenta en forma moderada en la sección inferior y superior de la Formación Mata Amarilla (Láminas 3.11, 3.12 y 3.13). Es llamativa la presencia de dolomita en la sección inferior de la Formación Mata Amarilla en la localidad 4 y en la sección inferior y superior de la localidad 1 (Láminas 3.11 y 3.12).

Siguiendo los criterios de Foscolos *et al.* (1976) y Pollastro (1993), se considera que la diagénesis de la formación es muy baja debido a la escasa presencia de interstratificados illita/esmectita y a la alta proporción de capas expansivas de los mismos (90%). En relación a esto, el origen de la dolomita podría vincularse a la

precipitación química simultánea con la sedimentación. La precipitación de dolomita en medios naturales ha sido relacionada a la actividad microbiana en lagunas costeras, como la “Lagoa Vermelha” Río de Janeiro, Brasil (Vasconcelos *et al.*, 1995; Vasconcelos y Mackenzie, 1997). Esto podría explicar la formación de dolomita en los niveles antes mencionados.

La presencia de magnetita y hematita en el comienzo de la sección superior de la Formación Mata Amarilla (Lámina 3.11 localidad 1), se relaciona con la composición de los nódulos de óxido de hierro, y son más frecuentes en los paleosuelos muy pobremente drenados (Lámina 3.11), esto será tratado con mayor detalle en el capítulo V.

Con respecto a los diagramas de la fracción “Arcilla” se observa que predomina la esmectita a lo largo de toda la formación y en todas las localidades. La gran abundancia de esmectita posiblemente se deba a que el material parental es de origen volcánico y/o volcánico. Como es ampliamente conocido, la esmectita es el producto más común de la alteración de vidrio volcánico (Tazaki *et al.*, 1989; Petit *et al.*, 1990; Masuda *et al.*, 1996).

En forma subordinada hay presencia de caolinita, la misma posee pequeños incrementos en su proporción en las facies más gruesas. Posiblemente, esto se debe a que las regiones con paleotopografías elevadas poseen mejores condiciones de drenaje. Lo cual, permite que se lixivien los iones de alta solubilidad ( $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ), favoreciendo la generación de caolinita por sobre la esmectita (Retallack, 2001; Varela *et al.*, 2006). En este sentido en las regiones paleotopográficamente deprimidas no se produce el lavado del sodio y del potasio, de esta manera se concentran en las arcillas esmectíticas dada su alta capacidad de intercambio catiónico (Retallack, 2001). Esto será tratado en forma más detallada en el capítulo V de paleosuelos.

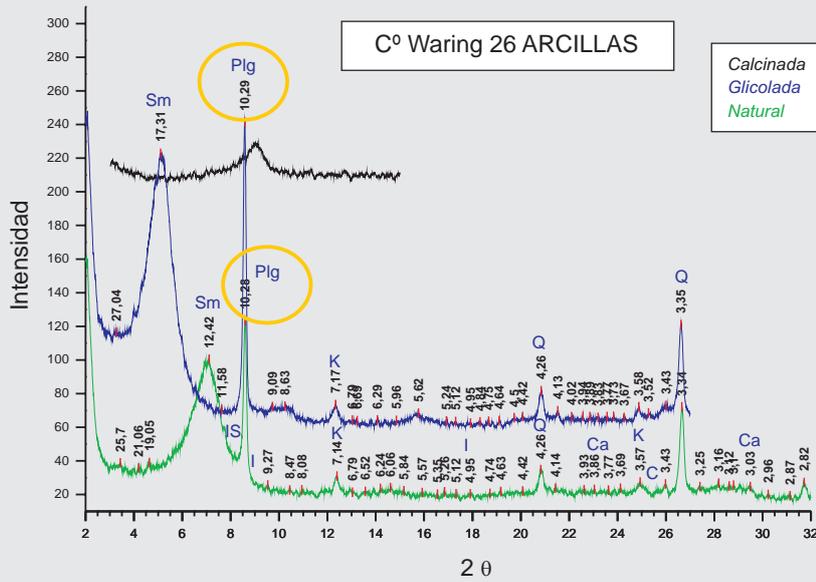
Se destaca la presencia de paligorskita en la sección inferior de la Formación Mata Amarilla en la localidad 1 (Lámina 3.11). La paligorskita es un argilomineral del grupo de la sepiolita y se reconoce en los difractogramas de la fracción arcilla porque posee el pico principal ubicado entre 10,29 y 10,32 Å (Moore y Reynolds, 1989) (Lámina 3.14). Según Velde (1985), la paligorskita podría ser de los primeros filosilicatos en formarse a partir de un agua rica en  $\text{SiO}_2$  y Mg. La presencia de este argilomineral es asociada a ambientes de lagos salobres efímeros y también es frecuente en paleosuelos con condiciones de drenaje ineficiente (Pozo Rodríguez y Martín de Vidales, 1989; Mayayo *et al.*, 2008; Huerta y Armenteros, 2009). Huerta y Armenteros

(2009) mencionaron la presencia de paligorskita asociada a dolomita en el Paleógeno de la Cuenca de Almanzán, España, quienes la interpretan como producto de precipitación en lagos salinos efímeros en presencia de sulfatos, favorecidos por procesos de reducción bacteriana. En este sentido, la presencia de paligorskita en la sección inferior de la Formación Mata Amarilla se vincula a ambientes de lagunas costeras efímeras a las que se les sobreimpone una pedogénesis de suelos con drenaje impedido. Como se verá más adelante en los capítulos IV y VI, el análisis de las asociaciones de facies y la interpretación paleoambiental están en estrecha relación con la presencia de paligorskita.

Por último cabe mencionar que la muy baja proporción de interstratificados de illita/esmectita (Anexo 3; Láminas 3.11, 3.12 y 3.13), sumado a que la abundancia de capas expansivas en los mismos es de alrededor del 90%, permiten indicar que el grado de diagénesis de la Formación Mata Amarilla ha sido muy bajo.

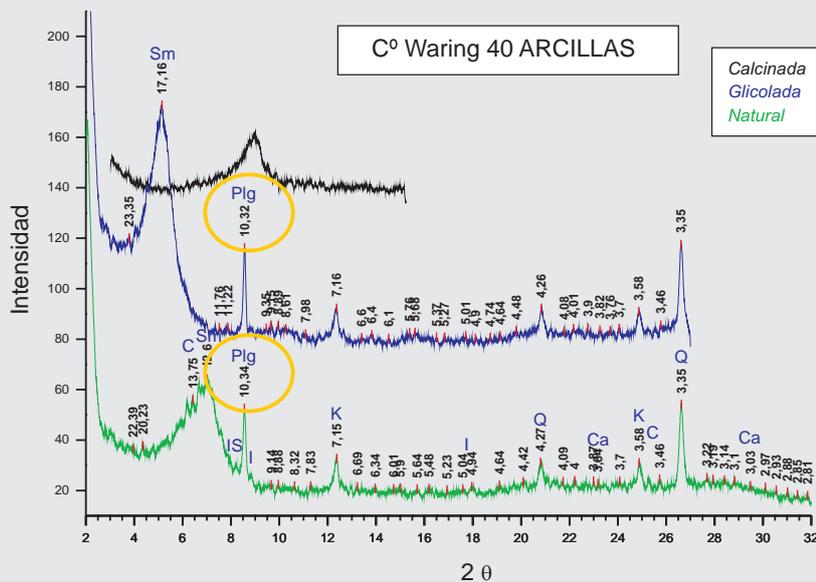
# Muestra de difracción de Rayos X (Arcillas) con paligorskita

**A**



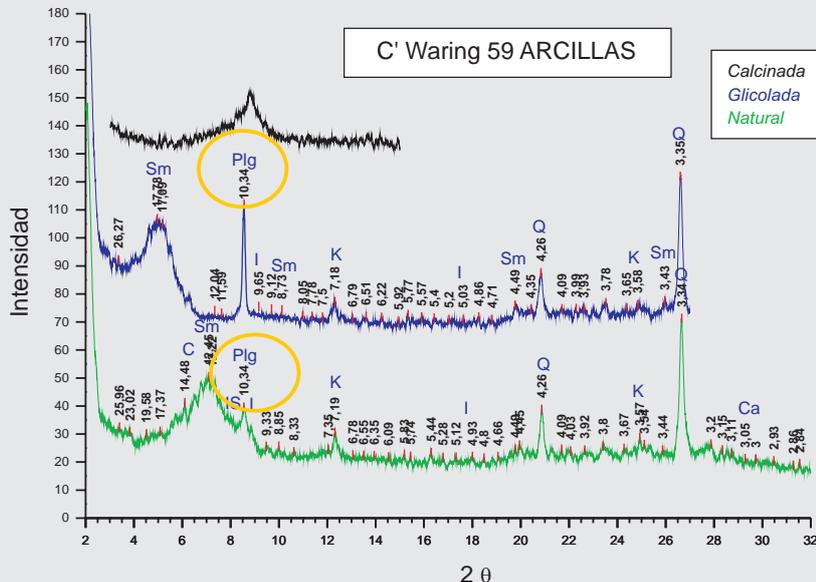
- REFERENCIAS**
- Q = cuarzo
  - Ca = calcita
  - K = caolinita
  - I = illita
  - Sm = esmectita
  - C = clorita
  - IS = illita/esmectita
  - Plg = paligorskita

**B**



- REFERENCIAS**
- Q = cuarzo
  - Ca = calcita
  - K = caolinita
  - I = illita
  - Sm = esmectita
  - C = clorita
  - IS = illita/esmectita
  - Plg = paligorskita

**C**



- REFERENCIAS**
- Q = cuarzo
  - Ca = calcita
  - K = caolinita
  - I = illita
  - Sm = esmectita
  - C = clorita
  - IS = illita/esmectita
  - Plg = paligorskita

Lámina 3.14