

## Tesis de Grado

# Estratigrafía y sedimentología de las unidades mesozoicas y paleógenas en la ladera sureste del Cordón de la Flecha, provincia de la Rioja, República Argentina

Fumarola, Lara Azul

2019

Este documento forma parte de las colecciones digitales de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [bibliotecadigital.exactas.uba.ar](http://bibliotecadigital.exactas.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the digital collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [bibliotecadigital.exactas.uba.ar](http://bibliotecadigital.exactas.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Fumarola, Lara Azul. (2019). Estratigrafía y sedimentología de las unidades mesozoicas y paleógenas en la ladera sureste del Cordón de la Flecha, provincia de la Rioja, República Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

[https://hdl.handle.net/20.500.12110/seminario\\_nGEO001141\\_Fumarola](https://hdl.handle.net/20.500.12110/seminario_nGEO001141_Fumarola)

Cita tipo Chicago:

Fumarola, Lara Azul. "Estratigrafía y sedimentología de las unidades mesozoicas y paleógenas en la ladera sureste del Cordón de la Flecha, provincia de la Rioja, República Argentina".

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2019.

[https://hdl.handle.net/20.500.12110/seminario\\_nGEO001141\\_Fumarola](https://hdl.handle.net/20.500.12110/seminario_nGEO001141_Fumarola)



**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Ciencias Geológicas



## **TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA**

**Estratigrafía y Sedimentología de las unidades mesozoicas y paleógenas  
en la ladera sureste del Cordón de La Flecha, Provincia de La Rioja,  
República Argentina**

**Autora: Lara Azul Fumarola**  
**Director: Sergio A. Marensi**  
**-2019-**

## RESUMEN

Este Trabajo Final de Licenciatura presenta el estudio geológico de las unidades aflorantes en la ladera sureste del Cordón de La Flecha, Precordillera Central, localizada en el suroeste de la provincia de La Rioja. En particular, se puso especial énfasis en el análisis de la estratigrafía y sedimentología de las unidades mesozoicas y paleógenas (formaciones Santo Domingo, Ciénaga del Río Huaco y Puesto La Flecha). Estas unidades constituyen el basamento pre-terciario de la cuenca de La Troya y están conformadas por depósitos de ambientes fluviales, principalmente efímeros, lacustres efímeros y eólicos.

A partir de la realización de un perfil sedimentológico y de la descripción de los rasgos litológicos, de las estructuras sedimentarias, de las superficies limitantes y de la geometría de los bancos se definieron dos asociaciones de facies para la Formación Santo Domingo (AF-SD 1-2), cinco para Ciénaga del Río Huaco (AF-CRH 1-5) y dos para Puesto La Flecha (AF-PF 1-2).

La Formación Santo Domingo (Triásico Superior-Jurásico Inferior) comienza con la AF-SD1 que está compuesta por areniscas castañas con geometría tabular intercaladas con niveles, centimétricos a métricos, de pelitas rojas conformando ciclos granodecrecientes que se interpretaron como un sistema fluvial de canales pandos, poco confinados. La AF-SD2 está formada por pelitas con laminación horizontal y masivas intercaladas con bancos tabulares de areniscas, conformando tres ciclos grano y estratocrecientes que fueron depositados en un sistema lacustre efímero tipo barreal.

Por otra parte, la Formación Ciénaga del Río Huaco (Cretácico Superior) comienza con ciclos granodecrecientes compuestos por bancos lenticulares de areniscas gravillosas y estratos tabulares de pelitas laminadas, que se interpretaron como depositados por sistemas fluviales de baja energía (AF-CRH1). La sección superior representa el pasaje a un sistema lacustre efímero con variaciones de la línea de costa y periódicas condiciones de hipersalinidad. En la base, domina la sedimentación en un lago clástico carbonático (AF-CRH2) que pasa transicionalmente a un sistema lacustre efímero clástico (barreal) formado por intercalaciones de pelitas y areniscas de la planicie arenosa y la planicie fangosa (AF-CRH3). Posteriormente, el sistema evoluciona a un ambiente lacustre más restringido en donde predomina la intercalación de pelitas, de la planicie fangosa, con margas, calizas y yeso de la planicie fangosa salina (AF-CRH4). Hacia el techo de la formación, se registra la instauración de un sistema eólico con migración de megaóndulas de crestas rectas y sinuosas (AF-CRH5).

La Formación Puesto La Flecha (Eoceno superior-Oligoceno inferior) comienza con un delgado nivel de ortoconglomerados con restos de quelonios interpretado como un sistema fluvial de moderada a baja energía (AF-PF1). Por encima, en la AF-PF2 predominan los bancos tabulares y potentes de pelitas masivas y laminadas con intercalaciones de areniscas finas y bancos de yeso conformando ciclos estratocrecientes. Por otra parte, hacia el techo de estos ciclos se observan areniscas finas castañas con estratificación entrecruzada tabular planar y laminación ondulítica. Este sector superior ha sido interpretado como un sistema lacustre efímero clástico evaporítico con dos ciclos de expansión-contracción que representan el pasaje de depósitos de planicie fangosa a planicie arenosa interna y externa.

Petrográficamente, las areniscas de la Formación Santo Domingo corresponden a feldarenitas (Folk *et al.*, 1970) y se ubican en el campo de procedencia continental transicional de

Dickinson *et al.* (1983). Esto es coherente con un origen dentro de una cuenca de rift en donde el principal aporte de sedimentos es la erosión de los bloques de basamento. Por otra parte, las areniscas de las formaciones Ciénaga del Río Huaco y Puesto La Flecha son litoarenitas, litoarenitas feldespáticas y feldarenitas líticas. La procedencia es de un orógeno reciclado (Dickinson *et al.*, 1983), siendo el principal aporte la erosión del arco andino y de las rocas volcánicas del Grupo Choiyoi aflorantes en la Cordillera Frontal, al oeste del área de estudio, lo cual sugiere depositación en una cuenca de retroarco.

Adicionalmente, se caracterizó litológica y petrográficamente a las rocas del resto de las unidades aflorantes (la Formación Vallecito del Oligoceno tardío-Mioceno temprano, la Formación El Corral del Plioceno y los depósitos cuaternarios) para lograr un esquema geológico completo del área de estudio.

## ÍNDICE

### RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. UBICACIÓN .....	2
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	3
4. ANTECEDENTES DEL ÁREA.....	5
5. MARCO TECTÓNICO Y GEOLÓGICO REGIONAL .....	7
6. ESTRATIGRAFÍA.....	12
6.1. Síntesis estratigráfica de la localidad de estudio .....	12
6.2. Formación Santo Domingo.....	14
6.2.1. Antecedentes .....	14
6.2.2. Litología y distribución.....	14
6.2.3. Paleoambientes sedimentarios .....	16
6.2.4. Relaciones estratigráficas.....	16
6.2.5. Edad y correlaciones .....	16
6.3. Formación Ciénaga del Río Huaco.....	18
6.3.1. Antecedentes.....	18
6.3.2. Litología y distribución.....	19
6.3.3. Paleoambientes sedimentarios .....	20
6.3.4. Relaciones estratigráficas.....	21
6.3.5. Edad y correlaciones .....	21
6.4. Formación Puesto La Flecha.....	22
6.4.1. Antecedentes .....	22
6.4.2. Litología y distribución.....	23
6.4.3. Paleoambientes sedimentarios.....	24
6.4.4. Relaciones estratigráficas.....	25
6.4.5. Edad y correlaciones .....	25
6.5. Formación Vallecito.....	26
6.5.1. Antecedentes.....	26
6.5.2. Litología y distribución.....	26
6.5.3. Paleoambientes sedimentarios .....	28
6.5.4. Relaciones estratigráficas.....	29
6.5.5. Edad y correlaciones .....	30
6.6. Formación El Corral .....	31
6.6.1. Antecedentes.....	31
6.6.2. Litología y distribución.....	31
6.6.3. Paleoambientes sedimentarios .....	35
6.6.4. Relaciones estratigráficas.....	35
6.6.5. Edad.....	35
6.7. Niveles de abanicos aterrizados.....	36
6.8. Depósitos de abanicos actuales y depósitos fluviales.....	39
7. SEDIMENTOLOGÍA DE LAS SECUENCIAS MESOZOICAS Y PALEÓGENAS .....	41
7.1. Perfil de la Formación Santo Domingo .....	43
7.1.1. Descripción de facies e interpretación.....	45

7.1.2. Evolución ambiental de la Formación Santo Domingo .....	54
7.2. Perfil de la Formación Ciénaga del Río Huaco .....	57
7.2.1. Descripción de las asociaciones de facies e interpretación .....	58
7.2.2. Evolución ambiental de la Formación Ciénaga del Río Huaco .....	64
7.3. Perfil de la Formación Puesto La Flecha .....	67
7.3.1. Descripción de facies e interpretación .....	68
7.3.2. Evolución ambiental de la Formación Puesto La Flecha .....	74
8. PETROGRAFÍA Y PROCEDENCIA .....	77
8.1. Elementos modales y litotipos .....	80
8.2. Cementos y matriz.....	85
8.3. Porosidad .....	87
8.4. Clasificación de las areniscas.....	87
9. GEOMORFOLOGÍA.....	96
10. ESTRUCTURA.....	100
10.1. Aspectos regionales .....	100
10.2. Aspectos locales .....	101
11. CONCLUSIONES.....	104
12. BIBLIOGRAFÍA .....	107
ANEXOS.....	113
Anexo I.....	114
Anexo II.....	115
Anexo III.....	116

## 1. INTRODUCCIÓN

La estratigrafía de las unidades pospaleozoicas en la Precordillera Septentrional ha sido motivo de recientes modificaciones en base al descubrimiento, a fines del siglo pasado, de estratos mesozoicos. Estas rocas conforman sucesiones de bancos rojos que fueron frecuentemente confundidas con la parte superior del Grupo Paganzo (Pérmico) o mapeadas junto a sedimentitas cenozoicas en base a la similitud litológica y la ausencia de discordancias angulares marcadas (Jordan *et al.*, 1993). Algunos trabajos publicados en la última década propusieron un reordenamiento estratigráfico de las secuencias mesozoicas, paleógenas y neógenas aflorantes en el área de El Peñón-Santo Domingo (Limarino *et al.*, 2016) y la quebrada de La Flecha (Ciccioli *et al.*, 2005) en la Provincia de la Rioja (Limarino *et al.*, 2017), y en el área de la Ciénaga del Río Huaco, en la Provincia de San Juan (Fosdick *et al.*, 2017). Si bien las unidades mesozoicas han sido mapeadas a lo largo del Cordón de La Flecha por extensión de las observaciones realizadas en la quebrada homónima (Limarino *et al.*, 2005), no existe ningún trabajo de detalle de las unidades mesozoicas y paleógenas entre esta última localidad y la Ciénaga del Río Huaco.

Por lo anterior, el objetivo principal de este Trabajo Final de Licenciatura fue realizar un estudio geológico de una zona ubicada en la Precordillera Septentrional entre las localidades mencionadas. En particular, se ha puesto el énfasis en el estudio de las secuencias mesozoicas y paleógenas aflorantes en la ladera sureste del Cordón de La Flecha, a 7 km al NNO de la localidad de Guandacol, provincia de La Rioja. Dicho estudio comprendió la descripción e interpretación de las facies y asociaciones de facies de las formaciones Santo Domingo, Ciénaga del Río Huaco y Puesto La Flecha, con el fin de reconocer los paleoambientes depositacionales e intentar establecer una evolución tectono-estratigráfica de la región.

## 2. UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra ubicada en el suroeste de la Provincia de la Rioja, dentro del Departamento Coronel Felipe Varela. Se extiende entre los 29° 24' y 29° 27' de latitud sur y los 68° 41' 45" y 68° 34' 40" de longitud oeste (Figura 2.1).

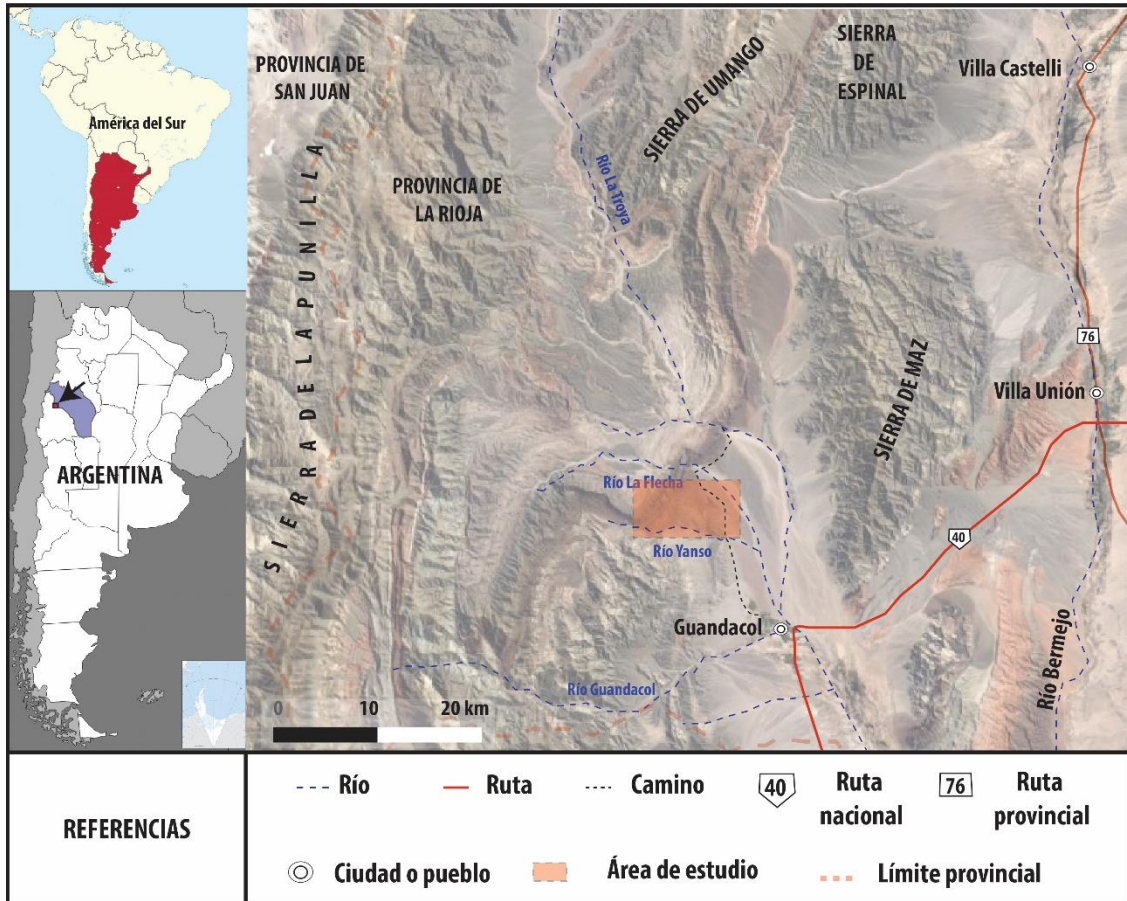


Figura 2.1. Mapa de ubicación del área de estudio y principales vías de acceso.

Se accede a la zona por la ruta nacional 40 hasta la localidad de Guandacol. Desde allí, mediante camino de ripio, se recorren 7 km en dirección nor-noroeste hasta la quebrada del río Yanso, en el extremo sureste de la zona de estudio.

En particular, el área está situada en el sector sureste de la Hoja Geológica 16b Cerro La Bolsa (Furque, 1972) y en el sector noroeste de la Hoja Geológica 2969-IV Villa Unión (Fauqué *et al.*, 2004) y corresponde al extremo septentrional de la provincia geológica de Precordillera.



### 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo utilizada en el marco de la presente contribución se puede dividir en: tareas de gabinete preliminares, tareas de campo y actividades de gabinete finales.

Durante las tareas de gabinete preliminares, se realizó una recopilación bibliográfica exhaustiva de carácter geológico regional, sedimentológico y estructural del área. Adicionalmente, se realizó un análisis detallado de las imágenes satelitales en Google Earth y de los mapas disponibles, a partir de los cuales se confeccionó un mapa geológico preliminar con la identificación de las principales unidades aflorantes en el área. Por último, se seleccionaron posibles trazas para levantar el perfil sedimentológico.

Las tareas de campo fueron realizadas a fines del mes de octubre de 2017. La metodología aplicada en el campo consistió en la realización de un mapa geológico, el levantamiento de un perfil columnar tipo Selley, la observación de los principales rasgos estructurales y geomorfológicos, y la recolección de muestras para realizar estudios petrográficos de las unidades aflorantes en el área.

En el caso del mapeo geológico, se realizó con la ayuda de imágenes satelitales, la utilización de un telémetro digital (Leica Vector IV) y de imágenes obtenidas con un dron, con el objeto de establecer la distribución y las relaciones estratigráficas de las unidades de estudio, así como las principales estructuras geológicas.

El perfil sedimentológico de detalle se confeccionó a escala 1:1400, en la ladera sureste del Cordón de La Flecha y sobre las formaciones Santo Domingo, Ciénaga del Río Huaco, Puesto La Flecha y los primeros metros de la Formación Vallecito. Se representaron los principales atributos sedimentológicos necesarios para la identificación de litofacies, facies y asociaciones de facies. Finalmente, en cuanto al muestreo, se tomaron 20 muestras: 12 de areniscas, 3 muestras de matriz arenosa de conglomerados, 4 muestras de calizas, margas y tobas y una muestra de fangolita arenosa, para la caracterización de las unidades aflorantes para su posterior estudio composicional. Adicionalmente, se materializó la ubicación de las muestras en los mapas (puntos GPS) y en los perfiles estratigráficos.

Los estudios de gabinete posteriores a la campaña consistieron en ordenar, graficar y analizar toda la información obtenida. En primer lugar, se confeccionó el mapa geológico en escala 1:9000 y se dibujó el perfil estratigráfico de las unidades de interés mediante los programas Adobe Illustrator y QGIS. Adicionalmente, se realizó una interpretación de los paleoambientes sedimentarios y se distinguieron dos asociaciones de facies para la Formación Santo Domingo, cinco para Ciénaga del Río Huaco y dos para Puesto La Flecha. Paralelamente, se realizó el estudio petrográfico de las 20 muestras tomadas con el objetivo de caracterizarlas petrográficamente. En el caso de las muestras de areniscas, el objetivo fue identificar los principales litotipos presentes y establecer cuantitativamente su proporción relativa mediante la metodología tradicional de conteo. Para los análisis cuantitativos y granulométricos se utilizó el programa de análisis de imágenes petrográficas JMicrovision 2007. Por último, se plotearon los resultados obtenidos en el gráfico de clasificación de Folk *et al.* (1970) y en los diagramas ternarios de Dickinson *et al.* (1983) para clasificar las muestras y obtener información de las áreas de procedencia. Los resultados fueron comparados con estudios previos.

La integración de toda la información obtenida de las sucesiones mesozoicas y paleógenas aflorantes, tanto en los trabajos de gabinete como en los trabajos de campo, culminó con la redacción del presente trabajo.

#### 4. ANTECEDENTES DEL ÁREA

Las investigaciones geológicas realizadas sobre los estratos de interés en la región de estudio son escasas y se asocian a: mapeos a escala regional, estudios estratigráficos y estructurales.

En cuanto a los mapeos a escala regional, el primer trabajo que se registró en la zona de estudio fue el de Brackebusch en 1891 (en Furque, 1972), quien realizó un levantamiento en escala 1:1000000 de la región noroeste de Argentina y describió las principales litologías aflorantes en la Sierra de Umango y en los alrededores de Villa Unión, al norte y este del área de estudio. Por otra parte, Groeber (1940) realizó un mapa de escala similar de la provincia de La Rioja e incluyó una breve descripción de las unidades agrupadas por edades. Posteriormente, Zuccolillo (1963) en su tesis doctoral realizó un mapa geológico en escala 1:50000 de los afloramientos al sur de la Sierra de Umango y describió las unidades terciarias de la cuenca de La Troya. Furque (1972) en su levantamiento de la Hoja Geológica 16 b (Cerro La Bolsa) incluyó a las sedimentitas de las formaciones hoy reconocidas como Santo Domingo, Ciénaga del Río Huaco, Puesto La Flecha y Vallecito dentro de las formaciones Ojo de Agua (Pérmico) y El Áspero (Triásico). En 1979, Furque y Cuerda realizaron una síntesis regional de la estratigrafía, estructura y geomorfología de toda la provincia geológica de Precordillera.

En cuanto a los estudios de índole estratigráfica, recién a fines del siglo pasado se dio a conocer la existencia de estratos mesozoicos en la Precordillera de La Rioja, a partir de las contribuciones de Limarino *et al.* (1990) y Caminos *et al.* (1995). Estos autores reportaron el hallazgo, en la Formación Santo Domingo, de restos de troncos asignados al Triásico Tardío-Jurásico Temprano. Anteriormente, estas rocas mesozoicas habían sido confundidas con la sección superior del Grupo Paganzo (Pérmico) y/o mapeadas junto a depósitos cenozoicos en base a la estrecha similitud litológica de las sedimentitas continentales depositadas desde el Pérmico hasta el Eoceno. El hallazgo de Ciccio *et al.* (2005) de depósitos cretácicos en la Precordillera Septentrional suprayacentes a la Formación Santo Domingo permitió extender geográficamente los depósitos de la Formación Ciénaga del Río Huaco (Limarino *et al.*, 2000) del área de Huaco, en San Juan, hasta el área de estudio.

Por otra parte, la Formación Vallecito (Borrello y Cuerda, 1968) que, con anterioridad a la década del noventa, había sido considerada como triásica (Braccacini, 1946; Furque, 1963 y Furque, 1972) fue reubicada en el Mioceno por Jordan *et al.* (1993). Años más tarde, Tripaldi (2001) realizó un estudio de detalle de los paleoambientes de esta formación y extendió los afloramientos de las areniscas eólicas desde La Ciénaga del Vallecito, en San Juan (Borrello y Cuerda, 1968), hasta el Puesto La Flecha, en La Rioja.

Posteriormente, Tedesco (2006) llevó a cabo estudios paleoambientales y de proveniencia de las sedimentitas de la Formación El Corral en las márgenes del río Yanso, en el sureste del área de estudio. En ese trabajo, se determinaron las edades relativas de alzamiento de los diferentes frentes de corrimiento pertenecientes a la Precordillera central en base a estudios petrográficos.

Más recientemente, Limarino *et al.* (2016) propusieron un cuadro estratigráfico integrado para las unidades pospaleozoicas en la Precordillera Septentrional, en base al estudio de las exposiciones de las quebradas Santo Domingo y El Peñón. Estos autores dividieron a la secuencia en seis unidades comprendidas entre el Triásico Tardío y el Mioceno-Plioceno, y analizaron la evolución tectosedimentaria del orógeno andino a esa latitud. Este esquema, que se sigue en el presente trabajo, fue extendido y refinado por Limarino *et al.* (2017) y en la Hoja Geológica 2969-IV (Villa Unión), cuyo informe está aún en elaboración (Fauqué *et al.*, 2004).

Por último, los estudios de índole estructural y tectónicos son limitados en el área de estudio. En particular, Chernicoff y Nash (2001) realizaron un mapa estructural regional entre los 29° y los 30° de latitud sur y los 68°30' y 69° de longitud oeste, a partir del análisis de datos magnetométricos e imágenes satelitales Landsat. En el mismo año, Jordan *et al.* (2001) describieron, a nivel regional, la evolución de la cuenca de Bermejo a través del tiempo y su relación con la tectónica. Posteriormente, Ciccioi *et al.* (2004) analizaron e interpretaron los rasgos neotectónicos observados en el área de estudio.

## 5. MARCO TECTÓNICO Y GEOLÓGICO REGIONAL

La Cordillera de Los Andes, en el margen oeste de Sudamérica, es el sistema orogénico activo desarrollado por subducción más extenso del planeta. Esta cadena se formó a lo largo de un margen convergente que se asocia a la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana y que, para la región que comprende el área de estudio, presenta un régimen tectónico compresivo instaurado al menos desde el Mioceno. Existen diversas clasificaciones para la Cordillera de los Andes que intentan explicar su evolución tectónica, pero la propuesta de Gansser (1973) fue pionera por correlacionar los rasgos tectónicos observados con la dinámica de las placas tectónicas. Este autor dividió la Cordillera de los Andes en: Andes del Norte, Andes Centrales y Andes del Sur. Particularmente, el área de estudio de este trabajo está ubicada en el sector sur de los Andes Centrales, que se extienden entre el Golfo de Guayaquil, al norte, y el Golfo de Penas, al sur (Figura 5.1).

En particular, la zona de estudio se encuentra dentro del sector comprendido entre los paralelos 27° y 33°, que está caracterizado por una subducción oblicua y de muy bajo ángulo (*flat slab* pampeano) con generación de estructuras con cierta componente de rumbo (Isacks *et al.*, 1982; Jordan *et al.*, 1983; Rosello *et al.*, 1996). Estas características, en combinación con la migración hacia el este del frente orogénico y del arco volcánico durante la orogenia andina, probablemente reflejen la subducción de la dorsal asísmica de Juan Fernández (Isacks *et al.*, 1982; Jordan *et al.*, 1983; Jordan y Allmendinger, 1986; Ramos *et al.*, 2002). Asimismo, este régimen compresivo con subducción horizontal es el que produjo la estructuración de las provincias geológicas de Precordillera y Sierras Pampeanas hace 20 a 2 Ma (Jordan *et al.*, 1993) y el desarrollo de cuencas de antepaís fracturado y cuencas de *piggy back* y/o intermontanas (Ciccioli *et al.*, 2011). Por otra parte, este sector está actualmente caracterizado por la ausencia de un arco volcánico activo (*gap* volcánico).

Dentro de este marco tectónico, el área de estudio se ubica en el sector septentrional de la Precordillera Central (Figura 5.2), que se caracteriza por ser una faja plegada y corrida (FPC) de piel fina, con vergencia oriental y rumbo norte-sur (Ortiz y Zambrano, 1981).

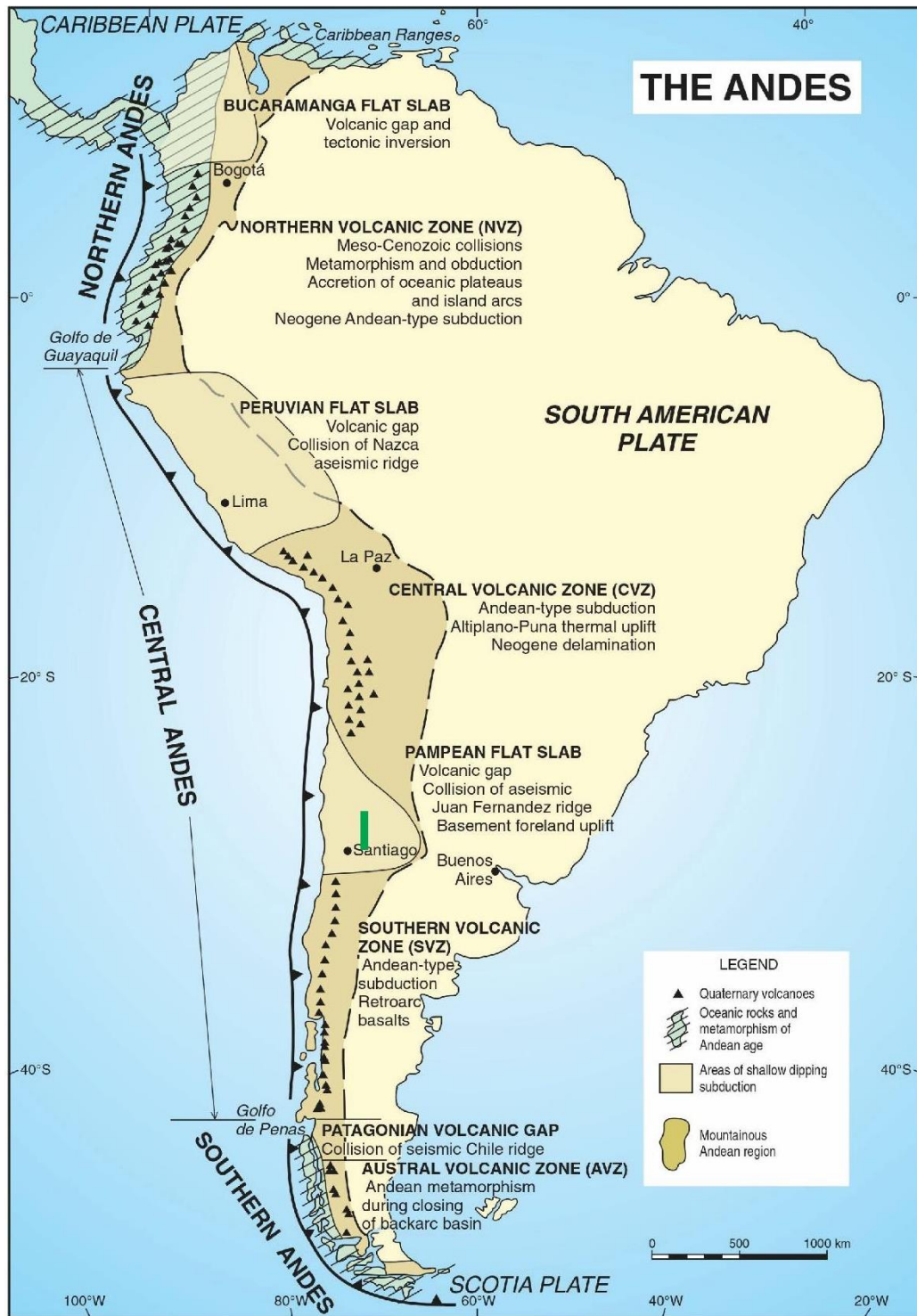


Figura 5.1. Segmentos principales de los Andes (Gansser, 1973) y características distintivas del vulcanismo y la estructuración según las variaciones en el ángulo de subducción (Jordan *et al.*, 1983). En línea verde: ubicación de la dentro del ámbito del *flat slab* pampeano Precordillera (modificado de Ramos, 2009).

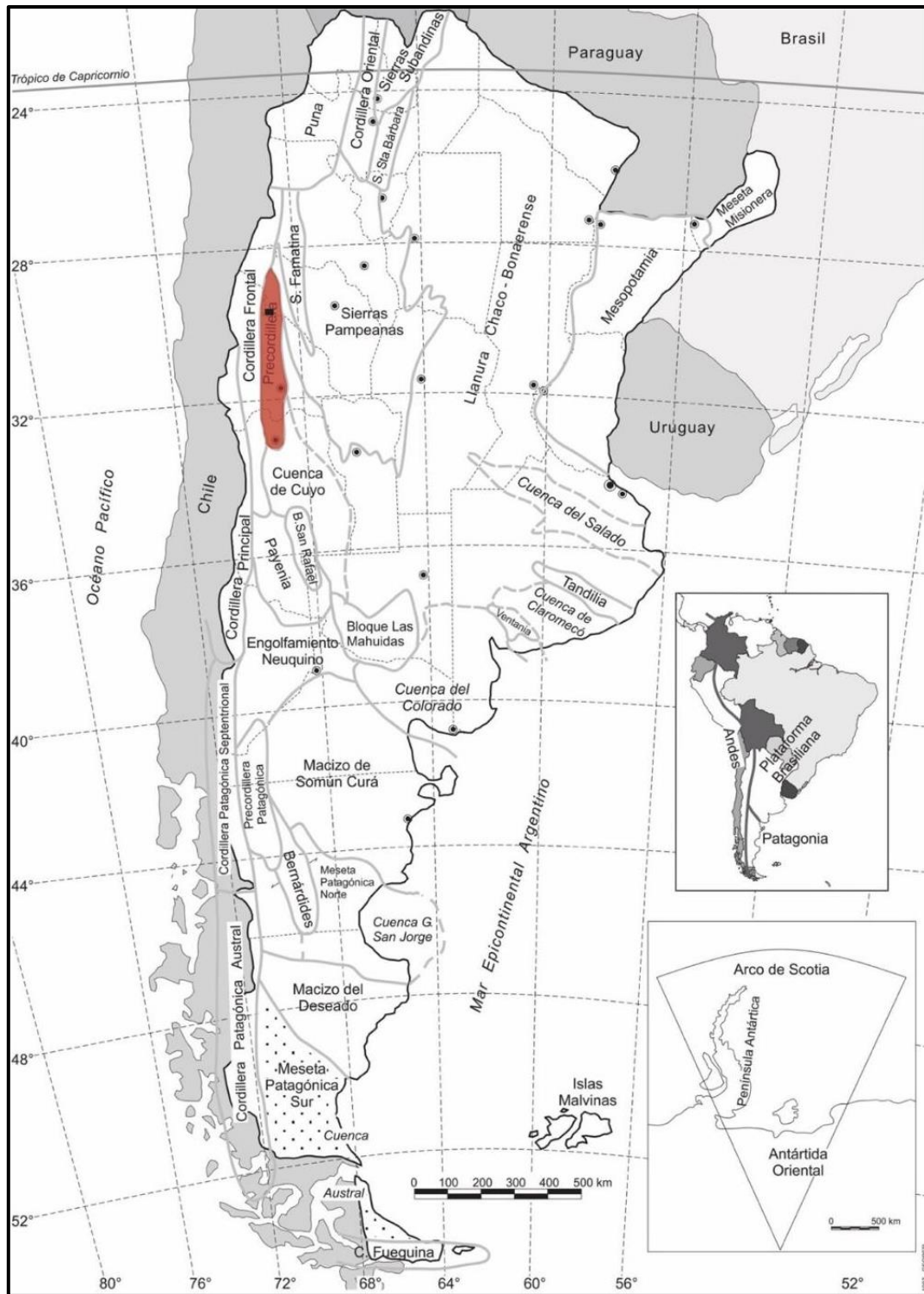


Figura 5.2. Provincias geológicas del territorio argentino. En rojo: la Precordillera, y en recuadro negro: área de estudio en el sector norte de la misma. Modificado de Ramos (1999).

La Cuenca del Bermejo se ubica entre las provincias geológicas de Precordillera y Sierras Pampeanas Occidentales y es una de las cuencas de antepaís generadas por la subducción horizontal (Jordan y Allmendinger, 1986). Hacia el norte se desarrollan dos depocentros principales: La Troya al sur (dentro del área de estudio) y Vinchina al norte, separados durante el Mioceno por el arco de Umango-Espinal (Ciccioli *et al.*, 2011).

El depocentro de La Troya se ubica en la intersección de la Precordillera Central con el lineamiento de Valle Fértil (Figura 5.3). Este rasgo representa el límite oeste de las Sierras Pampeanas Occidentales y el límite este del depocentro de La Troya, mientras que el límite occidental de esta cuenca está dado por el último corrimiento de la Faja Plegada y Corrida de la Precordillera Central. La convergencia de estas dos estructuras le otorga a la zona una gran complejidad estructural ya que, al avance, más o menos paralelo al margen, del frente de corrimientos de la FPC de la Precordillera hacia el este, se le sobrepone la deformación de las Sierras Pampeanas. Este último proceso no ocurre de forma homogénea ni sincrónica sino que está asociado al levantamiento de discretos bloques de basamento mediante fallas inversas que se tornan lítricas en profundidad al alcanzar transiciones frágiles-dúctiles (González Bonorino, 1950).

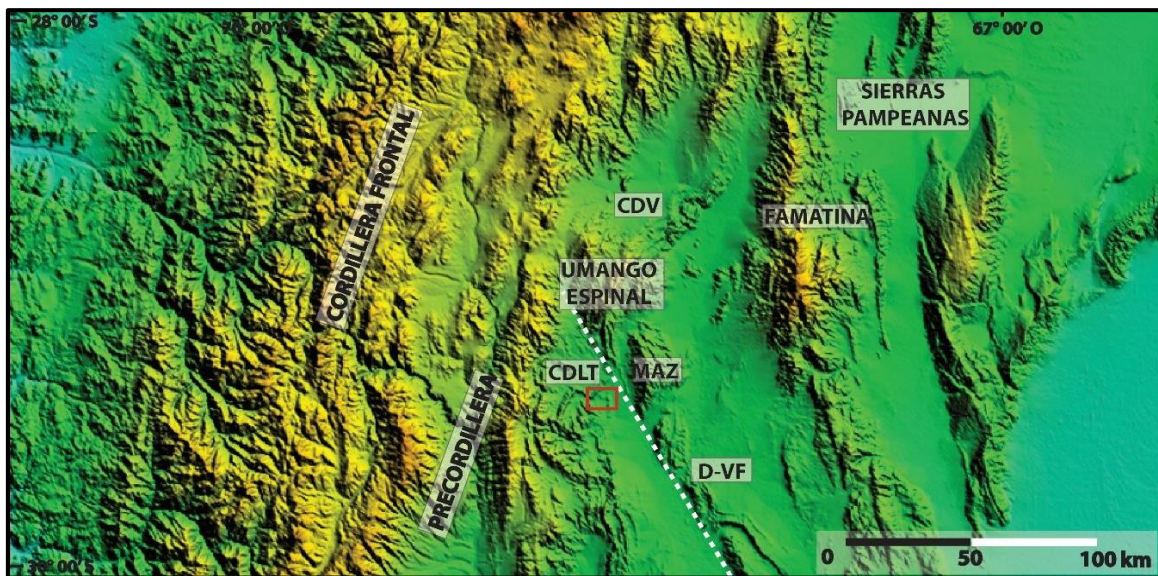


Figura 5.3. Principales unidades morfoestructurales y ubicación del área de estudio (en rojo) dentro del depocentro de La Troya (CDLT). Hacia el norte del lineamiento Desaguadero-Valle Fértil (D-VF) se encuentra el depocentro de Vinchina (CDV).

En la zona de estudio, el registro estratigráfico ha sido dividido por Tedesco (2006) en un basamento preterciario y en depósitos preorogénicos de la cuenca de La Troya. Las sedimentitas que constituyen el basamento preterciario representan dos períodos diferentes de extensión (Ciccioli *et al.*, 2006). El primero ocurrió durante el Triásico Superior-Jurásico Inferior asociado a la extensión generalizada durante el desmembramiento de Gondwana que dio origen a una serie de sistemas de rifts. Localmente, este sistema de esfuerzos generó cuencas someras de tipo hemigraben en donde dominó la sedimentación continental de la Formación Santo Domingo. El segundo pulso de extensión estuvo asociado a la formación de una cuenca de retroarco extensional que se desarrolló desde Huaco, en San Juan, hasta la quebrada de Santo Domingo, en La Rioja (Limarino *et al.*, 2016) y se caracterizó por la depositación de las sedimentitas rojas de la Formación Ciénaga del Río Huaco.

El registro cenozoico en el área de estudio de este trabajo se limita a las sucesiones preorogénicas fluviales y lacustres efímeras de la Formación Puesto La Flecha (Eoceno superior-Oligoceno inferior) y a las sedimentitas eólicas depositadas en un ámbito de cuenca de antepaís



hambrienta de la Formación Vallecito durante el Oligoceno superior-Mioceno inferior (Limarino *et al.*, 2016).

Entre las unidades preorogénicas y las sinorogénicas (Tedesco, 2006) se registró un pulso de vulcanismo andesítico del Mioceno inferior a medio (Limarino *et al.*, 2002), con intercalaciones de areniscas, pelitas y escasos conglomerados, representado por la Formación Cerro Morado.

El posterior pasaje a condiciones de ambiente de cuenca de antepaís o sinorogénicas está caracterizado por la depositación de las formaciones Vinchina (Turner, 1964) y Zapallar (Furque, 1972). La Formación Vinchina fue depositada durante el Mioceno medio a tardío (Ciccioli *et al.* 2012, 2014b) y está formada por depósitos fluviales, de interacción eólica-fluvial, aluviales, lacustres y eólicos (Schenckman *et al.*, 2018). Por otra parte, la Formación Zapallar, asignada al Mioceno superior (Ciccioli *et al.*, 2014b), ha sido interpretada como sistemas fluviales anastomosados con canales entrelazados, en su base, y sistemas de barreal, al techo (Tedesco, 2007).

Trabajos más recientes, han demostrado que la evolución de esta cuenca presenta patrones más complejos. Ciccioli *et al.* (2011) definieron cinco estadios evolutivos para las cuencas de La Troya y Vinchina que involucran una fase inicial de retroarco transpresiva (Eoceno temprano- Mioceno temprano), seguida por el desarrollo de una cuenca de antepaís amplia (Mioceno a Plioceno temprano) la cual fue fracturada y canibalizada desde el Plioceno.

Por otra parte, Reat y Fosdick (2018) proponen, en base a modelos de subsidencia flexural, paleoambientales y geocronológicos, que la Formación Puesto La Flecha y Vallecito, previamente consideradas como preorogénicas, se habrían depositado bajo un sistema compresional con desarrollo de una cuenca de antepaís y depositación en un ambiente de antefosa (*foredeep*) distal a antefosa.

Finalmente, la presencia de conglomerados gruesos, brechas y areniscas de la Formación El Corral (Plioceno tardío-Pleistoceno) se asocia al estadio de canibalización de las cuencas de antepaís y la depositación sintectónica en sistemas de abanicos aluviales y fluviales multicanalizados de alta energía (Limarino *et al.*, 2017).

## 6. ESTRATIGRAFÍA

### 6.1. Síntesis estratigráfica de la localidad de estudio

En la localidad estudiada, el registro estratigráfico comprende rocas sedimentarias del Triásico hasta la actualidad (Figura 6.1). Estas unidades han sido identificadas mediante el levantamiento de un mapa en escala 1:9000 (Anexo I) y la realización de un perfil estratigráfico (Anexo II).

ERA	PERÍODO	SERIE	UNIDAD
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS DE ABANICOS ACTUALES Y FLUVIALES
			NIVELES DE ABANICOS ATERRAZADOS
	NEÓGENO	PLIOCENO	FORMACIÓN EL CORRAL
			FORMACIÓN VALLECITO
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	FORMACIÓN PUESTO LA FLECHA
		EOCENO	
MESOZOICO	CRETÁCICO		FORMACIÓN CIÉNAGA DEL RÍO HUACO
	JURÁSICO		FORMACIÓN SANTO DOMINGO
	TRIÁSICO		

Figura 6.1. Cuadro estratigráfico de las unidades aflorantes en la localidad de estudio.

Las sucesiones mesozoicas y cenozoicas se corresponden a sedimentitas de ambiente continental. Se reconocen para el Mesozoico las formaciones Santo Domingo y Ciénaga del Río Huaco, que constituyen el basamento pre-terciario de la cuenca de La Troya. En la zona de estudio, los afloramientos mesozoicos predominan en el sector noroeste, conforman el sector inferior del Cordón de La Flecha y están dispuestos en sentido NE-SO.

La Formación Santo Domingo, asignada al Triásico Superior-Jurásico Inferior, se ubica en contacto tectónico sobre sedimentos cuaternarios y está compuesta por areniscas rosadas, pelitas rojas y vulcanitas. Comienza con depósitos de sistemas fluviales entrelazados y meandriformes que, hacia el techo, pasan a secuencias de barreales (Limarino *et al.*, 1990).

Las sedimentitas rojas de la Formación Santo Domingo son cubiertas en discordancia erosiva por la Formación Ciénaga del Río Huaco (Limarino *et al.*, 2000), asignada al Cretácico Superior (Tedesco y Limarino, 2007; Fosdick *et al.*, 2017). Esta última está conformada por areniscas, pelitas, margas, evaporitas, y se ha interpretado como depositada en un sistema lacustre bajo condiciones áridas o semiáridas con intercalaciones eólicas (Ciccioli *et al.*, 2005).

La sedimentación del Cenozoico representa las condiciones preorogénicas y de relleno de la cuenca de antepaís y tiene una gran distribución en el área de estudio. Está constituida por las sedimentitas continentales de las formaciones Puesto La Flecha, Vallecito, El Corral y depósitos cuaternarios.

En discordancia erosiva sobre las eolianitas del techo de la Formación Ciénaga del Río Huaco, se ubica un delgado nivel de brechas que caracterizan la base de la Formación Puesto La Flecha (Caselli *et al.*, 2002). Esta formación incluye areniscas, pelitas y, en menor medida, conglomerados depositados en un ambiente lacustre y fluvial de baja energía. Ha sido asignada al Eoceno tardío-Oligoceno temprano (Fosdick *et al.*, 2017; Limarino *et al.*, 2017) sobre la base de dataciones radimétricas. En la zona de estudio aflora de forma homoclinal con las sedimentitas rojas del Mesozoico en la ladera sureste del Cordón de La Flecha.

La Formación Vallecito (Borrello y Cuerda, 1968) asignada al Oligoceno tardío-Mioceno temprano (Fosdick *et al.*, 2017; Limarino *et al.*, 2017) se apoya en contacto neto a levemente erosivo sobre la Formación Puesto La Flecha. Está formada por areniscas finas y muy finas de color castaño, con estratificación entrecruzada de mediana y gran escala, que han sido depositadas en un ambiente eólico. En el área de estudio, afloran en el sector noroeste y conforman el núcleo del Cordón de La Flecha.

Completan la secuencia del Neógeno, los conglomerados verdes y rojos depositados por abanicos aluviales de la Formación El Corral (Furque, 1963) que han sido asignados al Plioceno (Tedesco, 2006). Según las distintas localidades en las que aflora esta unidad, hay una variabilidad marcada en la composición de los clastos, que refleja la constitución litológica local de los márgenes de las diversas cuencas terciarias (Ciccioli *et al.*, 2010). En la zona de estudio, la Formación El Corral aflora en el sector central y norte, así como en las márgenes del río Yanso.

Finalmente, los depósitos del Cuaternario corresponden a niveles de abanicos aterrazados, depósitos fluviales y niveles de abanicos aluviales holocenos. En el área de estudio, se observan importantes afloramientos en el sector central y este.

## 6.2. Formación Santo Domingo

Fauqué y Caminos, 2002; Triásico Superior-Jurásico Inferior

### 6.2.1. Antecedentes

Esta unidad fue inicialmente mapeada junto a sedimentitas terciarias en el sector noroccidental de la Precordillera de La Rioja, en el tramo medio del curso del río Peñón y a lo largo de la quebrada de Santo Domingo.

Posteriormente, Limarino *et al.* (1988) ubicaron a estas unidades dentro del Pérmico por correlación con la Formación Patquía. Más tarde, Limarino *et al.* (1990) las asignaron al Triásico teniendo en cuenta el hallazgo de troncos del tipo *Rhexoxylon*, y las dividieron en cinco facies sedimentarias (A-E) y tres estadios de sedimentación.

Por otra parte, Fauqué y Caminos (2002) denominaron Formación Santo Domingo al conjunto rocoso de edad triásica e incluyeron a las sedimentitas cretácicas dentro de la Formación Ciénaga del Río Huaco definida por Limarino *et al.* (2000).

El hallazgo de restos óseos de gran tamaño que han sido asignados a titanosaurios (Arcucci, 2005) y el descubrimiento de estratos cretácicos en el área de la quebrada de La Flecha permitieron que Limarino *et al.* (2005) modificasen la estratigrafía del área. Estos autores reubicaron las facies D y E (Limarino *et al.*, 1990) dentro de la Formación Ciénaga del Río Huaco (Limarino *et al.*, 2000), quedando la Formación Santo Domingo conformada por las facies A, B y C (Limarino *et al.*, 1990).

Garrone *et al.* (2008) y Vizán *et al.* (2013) decidieron utilizar el nombre de Formación Quebrada de Santo Domingo para evitar la sinonimia con la nomenclatura de Dávila (2005), quien usó el nombre Formación Santo Domingo para referirse a estratos terciarios aflorantes en el sistema de Famatina.

Por otra parte, Vizán *et al.* (2013) realizaron un estudio detallado de paleoambientes sedimentarios en la quebrada de Santo Domingo y definieron cinco asociaciones de facies. Su interpretación coincide con el posterior análisis de Limarino *et al.* (2016) en las quebradas de Santo Domingo y El Peñón.

### 6.2.2. Litología y distribución

La Formación Santo Domingo está conformada por areniscas rosadas a anaranjadas y pelitas rojizas. Aflora en la parte inferior de la ladera sureste del Cordón de La Flecha, en el sector occidental del área de mapeo (Anexo I), y conforma una faja de bancos rojos de rumbo NE-SO (Figura 6.2) de hasta 200 metros de espesor.

En la quebrada homónima, la Formación Santo Domingo ha sido dividida en cuatro secciones por Limarino *et al.* (2016). La parte inferior, que equivale a la Facies A (Limarino *et al.*, 1990) y a la FA1 (Vizán *et al.*, 2013), está dominada por conglomerados gruesos a finos y areniscas en bancos lenticulares con esporádicas intercalaciones de bancos de pelitas y areniscas muy finas. En este intervalo es común la presencia de troncos silicificados. Por encima, se destaca un conjunto potente de areniscas medianas a gruesas y conglomerados medianos a

finos con estratificación entrecruzada y laminación paralela, intercalados con fangolitas en ciclos granodecrecientes (sección B). Hacia la parte media comienzan a aparecer areniscas finas y muy finas, y bancos tabulares centimétricos de fangolitas que reemplazan a los conglomerados y areniscas gruesas (sección C). En la sección D, se observa un aumento en el espesor de los bancos de areniscas gruesas con presencia de esporádicos niveles conglomerádicos. Por otra parte, hacia el techo de este intervalo, comienzan a dominar los calcretes e intercalaciones de coladas basálticas amalgamadas.

En la zona de estudio la Formación Santo Domingo, en función de sus características litológicas, puede ser dividida en dos secciones, una inferior y una superior.

La sección inferior, de 25 metros de espesor, está formada por cuerpos métricos de areniscas castañas con geometría tabular, que se intercalan con niveles delgados, centimétricos a métricos, de pelitas rojas conformando ciclos granodecrecientes.

La sección superior, de 175 metros de espesor, está formada por pelitas con laminación horizontal y masivas intercaladas con bancos tabulares de areniscas (Figura 6.3), conformando tres ciclos grano y estratocrecientes. Estos ciclos presentan, en el tope, bancos métricos de areniscas anaranjadas con estratificación entrecruzada tabular planar.

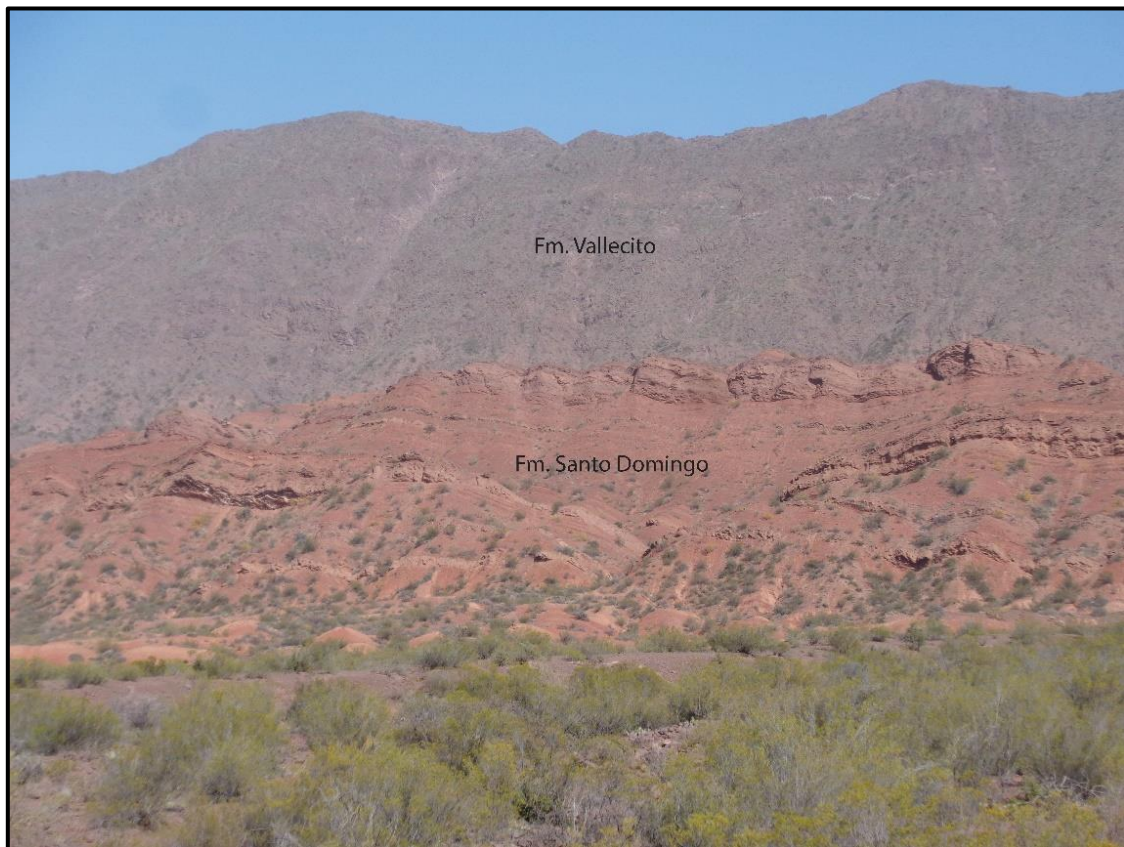


Figura 6.2. Afloramientos de la Formación Santo Domingo al pie del Cordón de La Flecha.



Figura 6.3. Pelitas rojas laminadas e intercaladas con bancos tabulares de areniscas castañas en la sección superior de la Formación Santo Domingo.

Por el carácter areno-pelítico de las facies reconocidas en el área de estudio y la ausencia de conglomerados y basaltos, las mismas se corresponderían con los miembros más finos de la Sección C, definida por Limarino *et al.* (2016), y la transición entre las asociaciones de facies 2 y 3, definidas por Vizán *et al.* (2013).

### 6.2.3. Paleoambientes sedimentarios

La Formación Santo Domingo fue depositada por sistemas fluviales entrelazados y meandriformes que, hacia el techo, pasan a secuencias de barreales (Limarino *et al.*, 1990 y 2016; Vizán *et al.*, 2013). Estos últimos depósitos son los que predominan en el área de estudio de este trabajo.

### 6.2.4. Relaciones estratigráficas

La Formación Santo Domingo, en el área de estudio, se apoya en relación tectónica sobre depósitos de abanicos aterrazados (Figura 6.4), y es cubierta en discordancia erosiva por el miembro fluvial basal de la Formación Ciénaga del Río Huaco.

### 6.2.5. Edad y correlaciones

Caminos *et al.* (1995), en base a restos de troncos de *Rhexoxylon* sp. cf. *Rhexoxylon piatnitzkyi* y *Taxaceoxylon* sp., sugirieron una edad triásica superior a jurásica temprana para el conjunto de bancos rojos aflorantes en las nacientes del río Peñón y en la quebrada de Santo Domingo.

Posteriormente, Coughlin (2000) realizó dataciones por el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  sobre un basalto ubicado estratigráficamente por encima de los troncos fósiles, y obtuvo una edad de  $214 \pm 7,2$  Ma (Triásico tardío) lo que permitió acotar la edad de la unidad.

Teniendo en cuenta que las dataciones y restos fósiles antes mencionados se encontraron cerca de la base de la unidad, y que se hallaron elementos característicos del Jurásico como *Taxaceoxylon* sp., Fauqué y Caminos (2002) le asignaron una edad triásica superior-jurásica inferior a la Formación Santo Domingo.



Figura 6.4. Vista de la base de la Formación Santo Domingo (N) en relación de falla por sobre los sedimentos cuaternarios (S).

### 6.3. Formación Ciénaga del Río Huaco

Limarino *et al.*, 2000; Cretácico Superior

#### 6.3.1. Antecedentes

Las rocas descriptas en este trabajo como pertenecientes a la Formación Ciénaga del Río Huaco fueron originalmente consideradas de edad pérmica e incluidas dentro del “Paganzo II” por diversos autores (Bodenbender, 1897 y 1911; en Limarino *et al.*, 2000).

Braccini (1946) realizó un estudio estratigráfico en detalle de estas secuencias en la zona del anticlinal de Huaco, provincia de San Juan, e incluyó a las actuales formaciones Patquía, Ciénaga del Río Huaco, Puesto La Flecha y Vallecito dentro de lo que denominó “Complejo de areniscas y areniscas arcillosas rojas (Carbonífero superior-Pérmico)”.

Posteriormente, Furque (1963) denominó Formación Ojo de Agua al complejo definido por Braccini (1946) y lo correlacionó con el “Piso II de los Estratos de Paganzo”, ubicándolo en el Pérmico.

Una modificación importante en la estratigrafía de la región surgió a partir del hallazgo por Chaía (1990) y Pérez *et al.* (1993) de ostrácodos y carofitas cretácicas en niveles correspondientes a la parte superior del Miembro Ojo del Agua (Limarino *et al.*, 1987). A partir de estas contribuciones, se evidenció que dentro de la secuencia de bancos rojos había al menos dos conjuntos estratigráficos diferenciables: una parte inferior correspondiente al Pérmico y una parte superior de edad cretácica.

Finalmente, Limarino *et al.* (2000), tras un estudio estratigráfico y petrográfico de detalle, denominaron Formación Ciénaga del Río Huaco a la parte media de edad cretácica de estos bancos rojos en el área del anticlinal de Huaco, que yace en discordancia sobre los estratos de la Formación Patquía, y es cubierta por conglomerados y areniscas terciarias en discordancia erosiva. Estos autores dividieron a la unidad en tres secciones y correlacionaron a la sección inferior con el “conglomerado silíceo” y la parte baja de las “areniscas color rojo herrumbe” descriptos por Braccini (1946).

Posteriormente, Ciccioni *et al.* (2005) informaron el hallazgo de depósitos cretácicos en la quebrada de La Flecha, Precordillera de La Rioja, que, por sus características litológicas, ubicación estratigráfica y contenido fosilífero, correlacionaron con la Formación Ciénaga del Río Huaco. Mediante este aporte, se amplió la distribución regional de las sedimentitas maastrichtianas que antes estaban limitadas a la Precordillera sanjuanina. Los mismos autores realizaron una caracterización litoestratigráfica de estos depósitos y los dividieron en seis asociaciones de facies.

Más recientemente, Fosdick *et al.* (2017) y Reat y Fosdick (2018) analizaron la sedimentología, paleoambientes sedimentarios, tiempos de sedimentación mediante circones detríticos y zonas de procedencia de la Formación Ciénaga del Río Huaco.



### 6.3.2. Litología y distribución

La Formación Ciénaga del Río Huaco aflora junto a las formaciones Santo Domingo y Puesto La Flecha, en la parte inferior del sinclinal que forma el Cordón de La Flecha, en el sector occidental del área de mapeo (Anexo I). Conforman una faja de afloramientos continuos en sentido NE-SO, con rumbo 230° e inclinaciones entre 45 y 49° al NO (Figura 6.5).

La Formación Ciénaga del Río Huaco en el área de estudio puede ser dividida en tres secciones: una sección inferior, una media y una superior.

La sección inferior está formada por ciclos granodecrecientes compuestos por bancos lenticulares de areniscas gravilosas y estratos tabulares de pelitas laminadas (Figura 6.6). El sector medio presenta una mayor variabilidad litológica y se caracteriza por la predominancia de bancos tabulares de hasta 10 metros de espesor de pelitas intercalados por delgados bancos tabulares de areniscas masivas y con laminación ondulítica, hacia la base, que son reemplazados por delgados niveles de margas, calizas y yeso, hacia el techo. Por último, el sector superior está conformado por areniscas con estratificación entrecruzada en sets de gran escala.

Adicionalmente, al norte del río Huaco, en San Juan, Limarino *et al.* (2000) reconocieron una sección basal constituida por clasto-ortoconglomerados subarcóicos en bancos lenticulares y con base erosiva.



Figura 6.5. Vista general de los afloramientos de la Formación Ciénaga del Río Huaco.



Figura 6.6. Sección basal de la Formación Ciénaga del Río Huaco en donde predominan cuerpos arenosos a areno gravosos.

### 6.3.3. Paleoambientes sedimentarios

Los depósitos de la Formación Ciénaga del Río Huaco caracterizan un ambiente de depositación lacustre efímero clástico-evaporítico desarrollado bajo condiciones áridas o semiáridas. Hacia la base de la unidad se distingue un intervalo fluvial efímero de baja energía.

El esquema planteado coincide con la interpretación de Limarino *et al.*, (2000) para las secciones media y superior de esta unidad. La sección inferior, que no aflora en el área de estudio, representaría depósitos fluviales de alta energía caracterizados por un diseño de tipo multicanalizado, poco sinuoso y dominado por la carga de lecho. Hacia el techo de la sección inferior, el sistema evolucionaría a cursos fluviales de menor energía con aumento de la movilidad lateral en un sistema fluvial de tipo meandriforme. Hacia la sección intermedia, el sistema dominante habría sido fluvial de tipo efímero de baja energía. Por último, la sección superior representaría el pasaje a condiciones de un cuerpo de agua con periódicas variaciones de la línea de costa y condiciones de hipersalinidad (Limarino *et al.*, 2000).

En coincidencia con lo planteado en este trabajo, Ciccio *et al.* (2005) dividieron los afloramientos, al norte de la zona de estudio, en seis asociaciones de facies. Las mismas caracterizan, en su mayor parte, a un sistema lacustre efímero desarrollado bajo condiciones áridas o semiáridas en el que se reconocieron dos ciclos de expansión-contracción. El primero

es el de mayor desarrollo, con la formación de un nivel de pelitas negras fosilíferas que marcaría la máxima inundación.

#### **6.3.4. Relaciones estratigráficas**

La Formación Ciénaga del Río Huaco se apoya en discordancia erosiva sobre estratos rojos que han sido correlacionados con la Formación Santo Domingo, y es cubierta mediante discordancia erosiva por un delgado nivel de brechas que caracterizan la base de la Formación Puesto La Flecha (Caselli *et al.*, 2002).

#### **6.3.5. Edad y correlaciones**

Chaía (1990), Pérez *et al.* (1993) y Limarino *et al.* (2000) propusieron una edad cretácica para la Formación Ciénaga del Río Huaco en base a asociaciones palinológicas y restos de ostrácodos.

Posteriormente, Ciccioli *et al.* (2005) acotaron la edad de la Formación Ciénaga del Río Huaco al Cretácico Superior tardío (Maastrichtiano), en base al registro de microfósiles calcáreos (carofitas y ostrácodos) y relaciones estratigráficas de la unidad.

Tedesco y Limarino (2007) dataron depósitos volcánoclasticos en las cercanías de la Sierra de Umango, y obtuvieron una datación mediante el método K-Ar de  $108 \pm 4.4$  Ma, que indicaría una edad cretácica inferior-superior.

En estudios recientes, Fosdick *et al.* (2017) han informado una edad de máxima depositación del Cretácico Superior (~95–93 Ma), en base a estudios de circones detríticos.

## 6.4. Formación Puesto La Flecha

Caselli *et al.*, 2002; Eoceno tardío-Oligoceno temprano

### 6.4.1. Antecedentes

La Formación Puesto La Flecha (Caselli *et al.*, 2002) fue incluida originalmente por Braccini (1946) en el "Complejo de areniscas y areniscas arcillosas rojas (Carbonífero superior-Pérmico)" en la zona del anticlinal de Huaco, San Juan.

En la hoja geológica 17 b (Guandacol), Furque (1963) incluyó los estratos que luego fueron denominados como Formación Puesto La Flecha junto al resto de los estratos rojos de la región bajo la denominación de Formación Ojo de Agua y les atribuyó una edad pérmica.

Por otra parte, en la zona de Ciénaga del Vallecito, Limarino *et al.* (1987) definieron cuatro facies para la Formación Ojo de Agua, que luego fueron reconsideradas y reubicadas dentro de la Formación Puesto La Flecha.

Más tarde, Chaía (1990) y Pérez *et al.* (1993) asignaron una edad cretácica a los niveles correspondientes a la parte superior del Miembro Ojo del Agua (Limarino *et al.*, 1987), evidenciando la existencia de un sector inferior correspondiente al Pérmico y una parte superior de edad cretácica. Sin embargo, tras la contribución de Jordan *et al.* (1993), se detectó la existencia de estratos terciarios en la parte cuspidal del conjunto de estratos rojos.

Estos estratos terciarios fueron descritos e incluidos bajo el nombre de Formación Puesto La Flecha, en el puesto homónimo, por Caselli *et al.* (2002). Estos autores diferenciaron esta unidad de los bancos rojos que forman la base de la secuencia meso-cenozoica, definieron el perfil tipo, y realizaron una caracterización de las facies y paleoambientes depositacionales.

Posteriormente, De La Fuente *et al.* (2003) y Ciccioli (2003) informaron el hallazgo de restos fragmentarios de caparazones de tortugas en la base de la Formación Puesto La Flecha, en el puesto homónimo, y realizaron interpretaciones paleoambientales. Por otra parte, Tedesco (2006) y Ciccioli (2005) describieron esta unidad en diferentes localidades y analizaron sus ambientes sedimentarios.

Más recientemente, Melchor *et al.* (2013) realizaron dataciones radimétricas de los bancos de la Formación Laguna Brava (*sensu* Garrone *et al.*, 2008), que son correlacionables con la Formación Puesto La Flecha (Limarino *et al.*, 2016), y los asignaron al Eoceno tardío. Por su parte, Vizán *et al.* (2013) realizaron estudios paleomagnéticos en la quebrada de Santo Domingo y obtuvieron edades consistentes con las de Melchor *et al.* (2013).

En la misma quebrada, Limarino *et al.* (2016) describieron afloramientos mucho más potentes y completos que en la localidad tipo, por lo que propusieron a la sección como estratotipo de referencia.

Fosdick *et al.* (2017) realizaron estudios en circones detríticos para limitar la edad de sedimentación y sugirieron que la Formación Puesto La Flecha estaba relacionada con una fase de cuenca de antepaís. Adicionalmente, Reat y Fosdick (2018) aportaron nuevos estudios sedimentológicos y geocronológicos de detalle que permitieron acotar la edad de la formación al Eoceno tardío-Oligoceno temprano.

#### 6.4.2. Litología y distribución

La Formación Puesto La Flecha aflora en el sector occidental del área de estudio y conforma la parte inferior del Cordón de La Flecha (Anexo I). Se presenta como una faja de bancos rojos dispuestos en sentido NE-SO con un espesor de 155 metros. Los afloramientos de esta unidad se extienden en forma discontinua desde Huaco, en San Juan, hasta la quebrada de La Troya, en La Rioja.

Las rocas de esta unidad presentan una tonalidad rojiza, y comprenden predominantemente areniscas rosadas a anaranjadas, pelitas rojizas y yeso con escasas pefitas (Figuras 6.7 y 6.8).



Figura 6.7. Afloramientos de la Formación Puesto La Flecha. Prevalcen las pelitas con intercalaciones de bancos arenosos centimétricos en ciclos granocrecientes. Al tope de estos ciclos, hay areniscas masivas de color castaño.

La formación comienza con niveles centimétricos a métricos de clasto-ortoconglomerados bioclásticos (Figura 6.8.A), con placas dérmicas y restos óseos de tortugas (De La Fuente *et al.*, 2003). Transicionalmente, le siguen pelitas oscuras en láminas centimétricas intercaladas con areniscas muy finas a fangosas y margas color gris claro.

Por encima, predominan los bancos tabulares y potentes de pelitas masivas y laminadas con intercalaciones de areniscas finas, con laminación ondulítica de corriente, laminación horizontal y estratificación entrecruzada de bajo ángulo que conforman ciclos estratocrecientes. Al tope de los bancos de areniscas, suelen intercalarse bancos de yeso masivo (Figura 6.8.B). Por otra parte, hacia el techo de estos ciclos granocrecientes se observan areniscas finas castañas con estratificación entrecruzada tabular planar poco marcada y laminación ondulítica en bancos de hasta 10 metros de espesor (Figura 6.8.C).

En la localidad tipo, Caselli *et al.* (2002) reconocieron el nivel conglomerádico fino basal, macizo, de hasta 20 centímetros de espesor, seguido por un intervalo de granulometría más fina que agruparon en dos términos. El primero está conformado por pelitas masivas laminadas e intercaladas con limolitas con laminación ondulítica y *flaser* e intercalaciones de niveles de yeso. El segundo término está compuesto por areniscas finas masivas, con laminación ondulítica, y areniscas medianas a finas con laminación horizontal.

Limarino *et al.* (2016), analizaron una secuencia más potente (470 metros) y completa de esta unidad en la quebrada de Santo Domingo y la dividieron en dos miembros. Un miembro inferior, dominado por areniscas finas, muy finas y pelitas estratificadas en bancos delgados, que se presenta en ciclos grano y estratocrecientes cíclicos; y un miembro superior, dominado por areniscas finas y medianas en paquetes entrecruzados de escala grande a gigante.

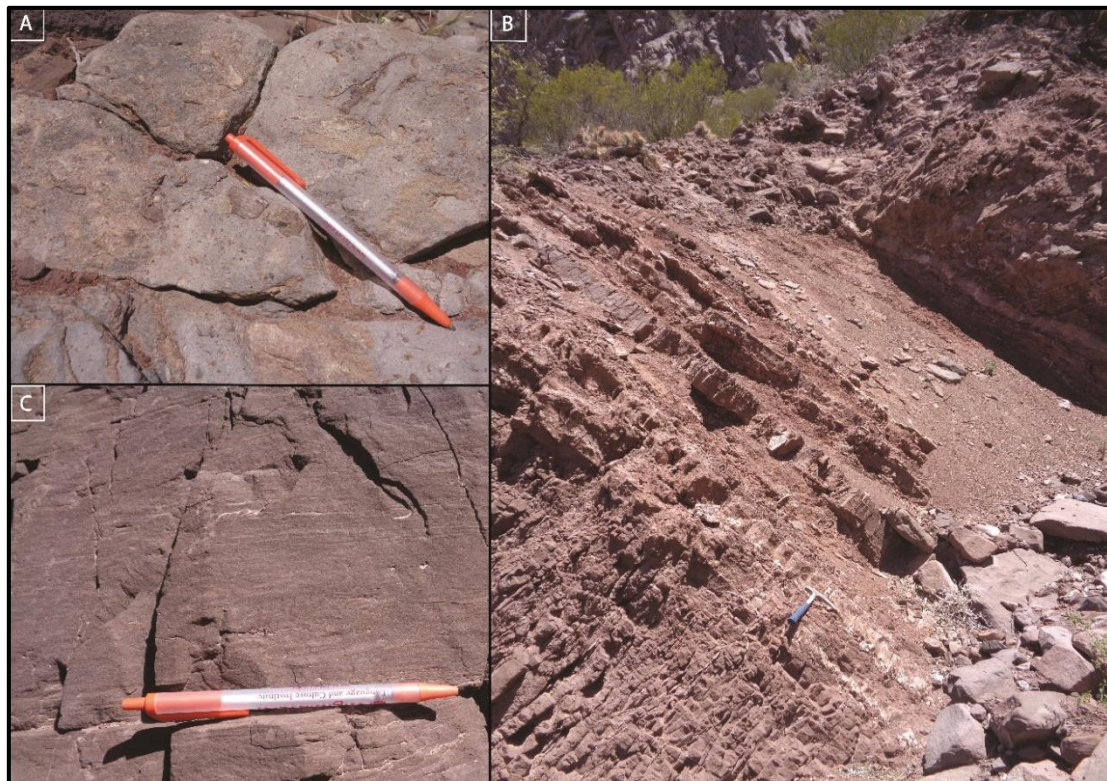


Figura 6.8. Formación Puesto La Flecha. A. Conglomerados con clastos de placas de tortugas en la base de la unidad. B. Bancos de yeso intercalados al tope de las areniscas. C. Laminación heterolítica interestratificada con los bancos masivos de areniscas castañas.

#### 6.4.3. Paleoambientes sedimentarios

La Formación Puesto La Flecha se interpretó como depositada por sistemas fluviales de baja energía y lacustres efímeros, desarrollados bajo un clima semiárido a árido (Caselli *et al.*, 2002). Estos autores interpretaron al nivel conglomerádico basal como un sistema fluvial de moderada a baja energía y, al resto de la unidad, como secuencias de barreal. Los dos miembros en que dividieron a la secuencia de barreal representarían pulsos de contracción y expansión del lago. El primer miembro es interpretado como secuencias de planicie fangosa y planicie fangosa salina, mientras que el superior representaría el depósito de flujos tractivos no encauzados durante periodos de crecidas dentro de una planicie arenosa (*sandflat*) mantiforme.

Por otra parte, Limarino *et al.* (2016), en base al análisis de los afloramientos en la quebrada de Santo Domingo, definieron dos miembros. El miembro inferior fue interpretado como un sistema fluvio-lacustre efímero, en donde el pasaje de facies de planicie fangosa, en la base del ciclo, a planicie arenosa, hacia el tope, está representado por ciclos granocrecientes. Por otra parte, interpretaron al miembro superior como depósitos de dunas, y ocasionalmente “draas”, formados en un extenso campo eólico.

#### **6.4.4. Relaciones estratigráficas**

La Formación Puesto La Flecha se encuentra apoyada mediante discordancia erosiva sobre las areniscas eólicas de la Formación Ciénaga del Río Huaco y es cubierta, en contacto neto a levemente erosivo, por la Formación Vallecito.

La presencia de rasgos de edafización y brechamiento sobre el contacto con la Formación Ciénaga del Río Huaco marcan una superficie de discontinuidad importante, que se correspondería con un hiato no depositacional.

#### **6.4.5. Edad y correlaciones**

La primera contribución de edades radimétricas de la Formación Puesto La Flecha fue realizada por Jordan *et al.* (1993), quienes estudiaron la parte inferior de la “secuencia de bancos rojos transicional a Vallecito” en las localidades de El Fiscal y Río Blanco, San Juan. Allí, obtuvieron edades radimétricas de  $32,7 \pm 2,6$  Ma-  $21,6 \pm 2,5$  Ma correspondientes al Oligoceno temprano- Mioceno temprano.

Por otra parte, De La Fuente *et al.* (2003) sobre la base de los restos correspondientes a *Podocnemis argentinensis*, le asignaron a la Formación Puesto La Flecha una edad pre-oligocena.

Tedesco (2006), en base a dataciones de la Formación Quebrada de La Montosa ( $50,7 \pm 1,5$  Ma), ubicó a la Formación Puesto La Flecha como previa al Eoceno inferior, y posterior a las sedimentitas cretácicas ( $108,1 \pm 4,4$  Ma) del Albiano-Aptiano.

Más recientemente, dataciones en circones detríticos permitieron asignar una edad máxima de sedimentación para la base de la Formación Puesto La Flecha al Paleoceno (Reat, 2016), mientras que Fosdick *et al.* (2017) dataron tobas de la parte superior de la misma y obtuvieron una edad de 37-33 Ma (Eoceno tardío-Oligoceno basal).

## 6.5. Formación Vallecito

Borello y Cuerda, 1968; Oligoceno tardío-Mioceno temprano

### 6.5.1. Antecedentes

Como ya ha sido mencionado, la Formación Vallecito fue incluida originalmente por Braccacini (1946) en el "Complejo de areniscas y areniscas arcillosas rojas (Carbonífero superior-Pérmico)". Este autor describió la unidad como un conjunto potente de areniscas rojas, con estratificación entrecruzada de escala gigante y la incluyó dentro del "Grupo de las areniscas eólicas" de edad triásica. Por otra parte, Furque (1963), en la descripción de la hoja 17b (Guandacol), las agrupó en la Formación Ojo de Agua asignándoles una edad pérmica.

Posteriormente, Borrelo y Cuerda (1968) redefinieron esta unidad bajo el nombre de Formación Vallecito y la incluyeron dentro del Grupo Río Huaco. Estos autores la caracterizaron como una "sucesión monótona de areniscas moradas medianas a finas con entrecruzamiento de gran escala".

Furque (1972) correlacionó los afloramientos en el Cerro de La Flecha con los de la Formación El Áspero y los dividió en una facies sedimentaria con areniscas eólicas y otra volcánica. Sin embargo, este mismo autor, en 1979, correlacionó las sedimentitas eólicas con la Formación Vallecito del área de Huaco-Jachal, por lo que propuso la sustitución del término Grupo Río Huaco (Borrelo y Cuerda, 1968) por el de Grupo del Áspero.

Por su parte, Limarino *et al.* (1987) incorporaron esta unidad dentro del miembro superior de la Formación Patquía (Miembro Ojo de Agua) porque la consideraron de edad pérmica. Finalmente, estudios de Jordan *et al.* (1993) permitieron ubicar a la Formación Vallecito dentro del Mioceno.

Posteriormente, Tripaldi (2001) realizó un estudio de detalle de la Formación Vallecito, en donde definió superficies limitantes, elementos arquitecturales y seis asociaciones de facies. En base al estudio de tres perfiles, la autora extendió los afloramientos de areniscas eólicas de la Formación Vallecito desde La Ciénaga del Vallecito, en San Juan, hasta el Puesto La Flecha, en La Rioja.

Por otra parte, Tedesco (2006) realizó un estudio estratigráfico de la Formación Vallecito e incluyó al miembro superior de areniscas guijarrosas dentro de una nueva unidad formacional definida como Quebrada de la Montosa.

Más recientemente, Fosdick *et al.* (2017) realizaron estudios de circones detríticos en la Formación Vallecito, que permitieron limitar la edad de sedimentación de la misma al intervalo comprendido entre los 33 y los 18 Ma.

### 6.5.2. Litología y distribución

En el área de estudio, los afloramientos de la Formación Vallecito se ubican en el núcleo del Cordón de La Flecha conformando paredones muy inclinados a verticales de difícil acceso (Figura 6.9, Anexo I). Esta característica imposibilitó la realización de un perfil sedimentario. El



espesor de la formación es muy variable. En algunas localidades tiene 100 metros mientras que en otras, como en el depocentro de La Flecha, alcanza hasta 1200 metros (Limarino *et al.*, 2016).



Figura 6.9. Afloramientos de la Formación Vallecito, conformando el núcleo del Cordón de La Flecha. Notar la marcada inclinación de los estratos, lo que la hace inaccesible en el área de estudio.

La Formación Vallecito está conformada, casi exclusivamente, por areniscas finas, muy finas y medianas, con alto grado de selección granulométrica, de coloración castaña (Anexo III, LP 01). Mayormente conforman sets de estratificación entrecruzada de escala gigante, aunque también se distinguen bancos con laminación horizontal y estratificación entrecruzada de bajo ángulo. Se observan superficies de truncamiento de diferentes escalas como límites de sets, de cosets y superficies de menor orden (Figura 6.10).

Tripaldi y Limarino (2005) dividieron a la Formación Vallecito en dos miembros. El inferior se encuentra dominado por areniscas finas a muy finas, en sets entrecruzados de escala

mediana, grande y gigante (de hasta 12 metros). Por su parte, el miembro superior está formado por bancos tabulares de areniscas medianas a gruesas y pelitas de color pardo rojizo. En menor medida, se intercalan bancos lenticulares conglomerádicos con base erosiva, pelitas rojas laminadas o macizas con grietas de desecación y areniscas con laminación horizontal con gradación inversa de intralámina



Figura 6.10. Areniscas con estratificación entrecruzada de gran escala de la Formación Vallecito. Están señalados los límites de cosets.

### 6.5.3. Paleoambientes sedimentarios

Las sedimentitas de la Formación Vallecito han sido interpretadas como de origen eólico por Braccini (1946) y autores posteriores como Limarino *et al.* (1987) y Tripaldi (2001).

Milana (1993) y Tripaldi y Limarino (2005) realizaron estudios estratigráficos y paleoambientales de detalle. Estos últimos autores interpretaron los ambientes sedimentarios de la Formación Vallecito como un extenso campo eólico arenoso intermontano, formado por distintos tipos de dunas y draas. En menor medida, se reconocieron depósitos de interdunas (miembro inferior) e intercalaciones eólico-fluviales (miembro superior).

Posteriormente, Tedesco (2006) definió seis asociaciones de facies, propuso una evolución paleoambiental y afirmó que la Formación Vallecito presenta un completo registro de la sedimentación eólica bajo condiciones áridas a semiáridas durante el comienzo de la evolución de la cuenca de antepaís andina. El gran espacio de acomodación generado por la subsidencia del área permitió la preservación del importante registro sedimentario, mientras que las condiciones de aridez y una alta disponibilidad de sedimento tamaño arena promovieron el desarrollo de extensos campos de dunas (Tripaldi y Limarino, 2005).

#### 6.5.4. Relaciones estratigráficas

La base de la Formación Vallecito aparece en contacto neto sobre la Formación Puesto La Flecha (Figura 6.11), mientras que el techo es cubierto en leve discordancia erosiva por las areniscas de la Formación Vinchina (Mioceno superior), o por las brechas y conglomerados de la Formación Cerro Morado (Mioceno superior) (Tedesco, 2006).



Figura 6.11. Contacto entre las areniscas y pelitas rojas de la Formación Puesto La Flecha (izquierda) y las areniscas castañas con sets entrecruzados de gran escala de la Formación Vallecito (derecha).

### 6.5.5. Edad y correlaciones

Como se ha dicho anteriormente, tanto Braccini (1946) como Furque (1963, 1972), asignaron una edad triásica a los estratos referidos en este trabajo como Formación Vallecito; mientras que Limarino *et al.* (1988) le asignaron una edad pérmica al incluirla dentro de la Formación Patquía.

Sin embargo, a partir del hallazgo de Chaía (1990) y Pérez *et al.* (1993) de fósiles cretácicos en secuencias infrayacentes a las areniscas eólicas, se asignó una edad mínima del Cretácico para la Formación Vallecito. Mediante dataciones radimétricas en tobas, Jordan *et al.* (1993) acotaron la edad de sedimentación de la formación al Mioceno (21- 14 Ma).

Posteriormente, Tripaldi (2001) en base a la presencia de niveles conglomerádicos con clastos de la Formación Vallecito dentro de la Formación Cerro Morado (Mioceno superior) asignaron una edad pre-mioceno superior a la secuencia. Esto se correspondería con las edades obtenidas por Limarino *et al.* (2002) de  $17,6 \pm 0,5$  y  $18,3 \pm 0,7$  Ma, en niveles de andesitas de la base de la Formación Cerro Morado.

Más recientemente, Ciccioli *et al.* (2014) obtuvieron edades de  $15,6 \pm 0,4$  Ma y  $12,62 \pm 0,4$  Ma para la base de la Formación Vinchina, que cubre en discordancia a la Formación Vallecito.

Finalmente, Fosdick *et al.* (2017) obtuvieron edades máximas de sedimentación para la Formación Vallecito, en la Precordillera sanjuanina, a partir del estudio de circones detríticos que la ubican entre los 33 y los 23 Ma.

Por todo lo expuesto, se plantea una edad oligocena a miocena temprana para la Formación Vallecito en la región de estudio.

## 6.6. Formación El Corral

Furque, 1963; Plioceno

### 6.6.1. Antecedentes

El nombre de Formación El Corral fue utilizado por primera vez por Furque (1963, 1972) en su descripción de la geología de las hojas 16 b (Cerro La Bolsa) y 17 b (Guandacol). Bajo este nombre se involucró una serie sedimentaria clástica gruesa de gran variabilidad composicional, que se encontraba dispuesta “a lo largo del borde de las serranías que constituyen la Precordillera” (Furque, 1963). El mismo autor definió dos miembros de desarrollo dispar para la Formación El Corral: un miembro inferior o “miembro de las areniscas y lutitas” con afloramientos en la zona de Agua del Corral (a 7 km al SO de Guandacol), y un miembro superior o “miembro de los conglomerados”, con una distribución mucho más amplia.

Posteriormente, Tedesco (2003) realizó estudios paleoambientales y de proveniencia de las rocas sedimentarias de la Formación El Corral, mediante perfiles sobre el río Yanso (al sureste del área de estudio). Por otra parte, la autora propuso edades relativas de levantamiento de los frentes de corrimiento de la Precordillera central en base a estudios composicionales.

Tedesco (2006) amplió las descripciones existentes de la Formación El Corral con la realización de perfiles sedimentarios en cuatro localidades dentro de la cuenca de La Troya y dividió al conjunto en cuatro miembros. El primero coincide con el “miembro de las areniscas y lutitas” de Furque (1963), mientras que a la sección superior de este autor se la dividió en tres miembros diferentes.

### 6.6.2. Litología y distribución

La Formación El Corral está compuesta principalmente por conglomerados gruesos y, en menor medida, por areniscas y lutitas arcillosas. En la zona de estudio presenta una distribución amplia, con afloramientos en el sector central, tanto en las márgenes del río Yanso como hacia el norte (Anexo I). Presenta un rumbo NO-SE e inclinación variable de hasta 40° (Figuras 6.12).



Figura 6.12. Formación El Corral.

Como se ha mencionado anteriormente, la Formación El Corral presenta una gran variabilidad composicional asociada al carácter sinorogénico de sus depósitos, que es dependiente de la ubicación de los afloramientos y las áreas de aporte (Ciccioli *et al.*, 2010).

En la zona de estudio, se distinguen dos unidades (Figura 6.13): un miembro inferior o Miembro La Cueva, formado por conglomerados verdes; y otro superior formado por conglomerados rojos y gris blanquecinos, conocido como Miembro Quebrada del Río Yanso (Tedesco, 2006).



Figura 6.13. Afloramientos de la Formación El Corral en la quebrada del río Yanso. A. Algunos clastos poseen hasta 50 cm de diámetro. B. Conglomerados con estratificación entrecruzada. C. Detalle del miembro basal de la Formación El Corral en donde predominan los clastos verdes.

El Miembro La Cueva ha sido dividido por Tedesco (2006) en tres asociaciones de facies: ortoconglomerados clasto-soportados, masivos, con clastos de areniscas verdes, estratificación entrecruzada tabular planar, imbricación y estratificación horizontal (Figuras 6.14 y 6.15);

ortoconglomerados matriz-soportados (Anexo III, LP 20); y paraconglomerados matriz soportados de color verde, que pasan a rojo hacia el techo de la unidad.



Figura 6.14. Afloramientos del Miembro La Cueva de la Formación El Corral, en la quebrada del río Yanso.



Figura 6.15. Clastos redondeados del Miembro La Cueva de la Formación El Corral.

Por encima del Miembro La Cueva y en discordancia angular, aflora el Miembro Quebrada de Río Yanso (Figura 6.16). Está compuesto, casi exclusivamente, por conglomerados de color rojo con escasas lentes en la base de pefitas color verde (Figura 6.17). Fue dividido por Tedesco (2006) en dos asociaciones de facies que están separadas entre sí por discordancias angulares. La primera de las asociaciones de facies está formada por paraconglomerados clasto-soportados masivos con imbricación y con estratificación entrecruzada tipo tabular planar. En discordancia angular, se apoya la segunda asociación de facies que está conformada exclusivamente por ortoconglomerados clasto-soportados en bancos lenticulares (Anexo III, LP 22).



Figura 6.16. Quebrada del río Yanso, vista hacia el este. En línea punteada se marca el contacto del Miembro La Cueva (NO) y el Miembro Quebrada del Río Yanso (E). Notar el cambio de inclinación y el rumbo de los estratos y la desaparición de los bancos verdes hacia el este.



Figura 6.17. A. Miembro Quebrada del Río Yanso de la Formación El Corral. B. Detalle de la composición de los clastos. Notar la predominancia de clastos rojos y el aumento del tamaño de grano.



### **6.6.3. Paleoambientes sedimentarios**

Como mencionamos anteriormente, Tedesco (2006) realizó un estudio de detalle de los paleoambientes de la Formación El Corral en la quebrada del Río Yanso. La autora reconoció tres asociaciones de facies para el Miembro La Cueva y dos para el Miembro Quebrada del Río Yanso. Los sistemas depositacionales predominantes son sistemas fluviales entrelazados gravosos y abanicos aluviales dominados por flujos gravitatorios.

### **6.6.4. Relaciones estratigráficas**

Las relaciones estratigráficas varían según el miembro que aflora en cada localidad ya que la Formación El Corral se apoya en discordancia, generalmente angular, sobre diferentes unidades. En la zona de estudio, el tope de la Formación El Corral suele estar cubierto por depósitos de abanicos aterrazados pleistocenos y depósitos cuaternarios.

### **6.6.5. Edad**

Furque (1972), en base a su posición estratigráfica, composición y fracturamiento, ubica a la Formación El Corral “entre el terciario y el cuaternario más antiguo”, debido a que el tipo de sedimento no permite la conservación de fósiles para precisar la edad. Por su posición estratigráfica se asume una edad pliocena (Tedesco, 2006).

## 6.7. Niveles de abanicos aterrazados

Los niveles de abanicos aterrazados consisten en conglomerados y, en menor medida, areniscas gruesas a finas. En la zona de estudio presentan una amplia distribución en el sector central y este del área mapeada (Anexo I), y forman al menos tres niveles de agradación pedemontana distinguibles en base a su coloración, composición, morfología y posición altimétrica.

El primer nivel de agradación aflora en el sector central de la zona de mapeo, al pie del Cordón de La Flecha, y puede ser dividido en dos secciones (Figura 6.18).

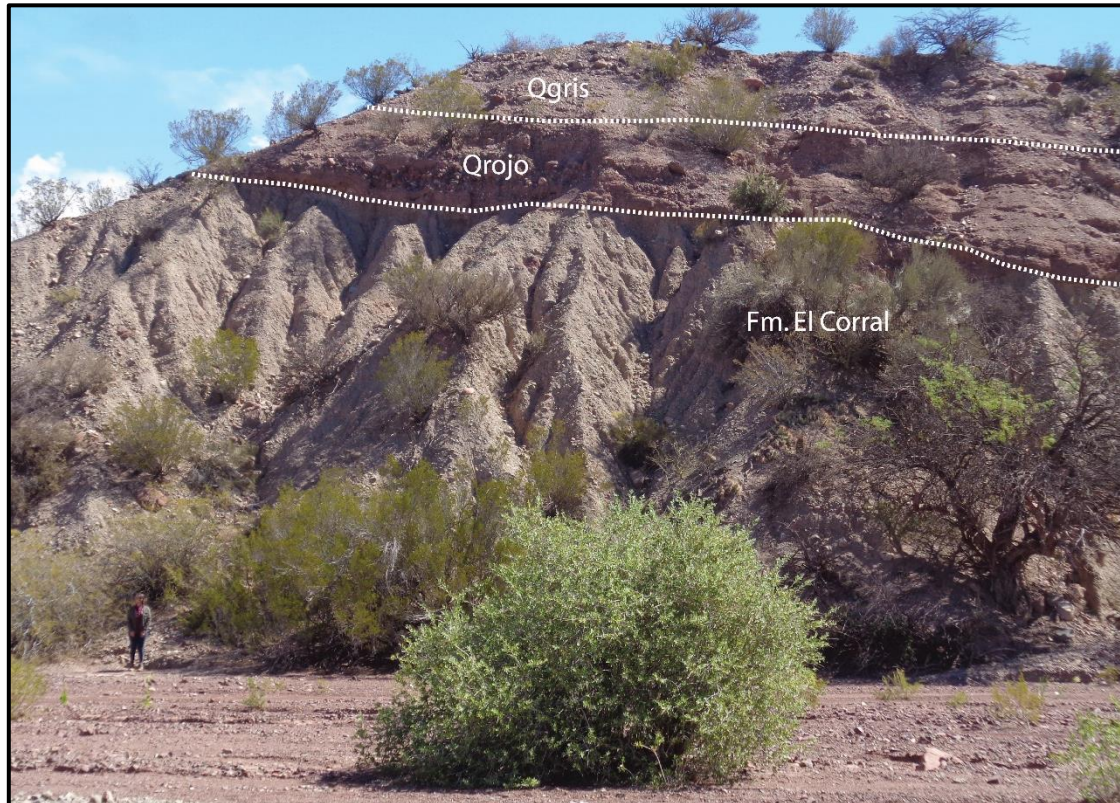


Figura 6.18. Depósitos cuaternarios en contacto con la Formación El Corral. Notar la existencia de dos intervalos con coloración distinta.

La sección basal está compuesta por ortoconglomerados medianos a finos y areniscas gruesas en ciclos granodecrecientes con imbricación, estratificación horizontal (Figuras 6.19 y 6.20) y estratificación entrecruzada tabular planar. Los conglomerados están formados por clastos angulosos y laminares de areniscas verdes, areniscas rojas y vulcanitas inmersos en una matriz rojiza.

Por otra parte, en la sección superior predominan los ortoconglomerados en ciclos granodecrecientes con clastos redondeados de calizas, rocas ígneas, riolitas y rocas sedimentarias. El mayor grado de mezcla en la composición de los clastos de esta sección le otorga una coloración grisácea que lo hace distinguible del intervalo anterior de coloración rojiza.

En algunos casos, se observa desarrollo de fajas de canales cuyas bases erosionan a los conglomerados de la Formación El Corral (Figura 6.21).



Figura 6.19. Detalle de estratificación horizontal en gravas.

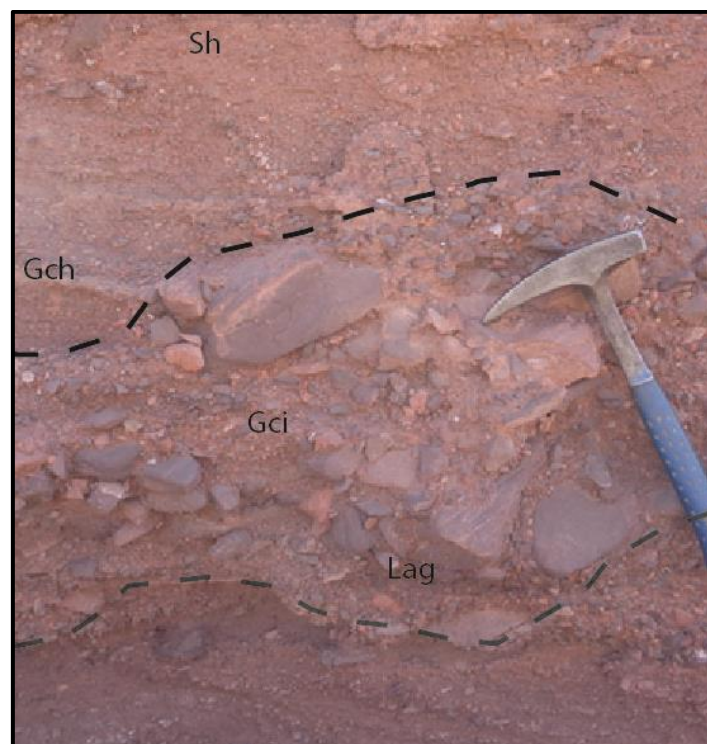


Figura 6.20. Conglomerados y areniscas del primer nivel de abanicos aterrizados. Se reconocen las litofacies que constituyen un depósito granodecreciente de canal (Gci: conglomerado con imbricación, Gch: conglomerado con estratificación horizontal, Sh: arenisca con laminación horizontal).

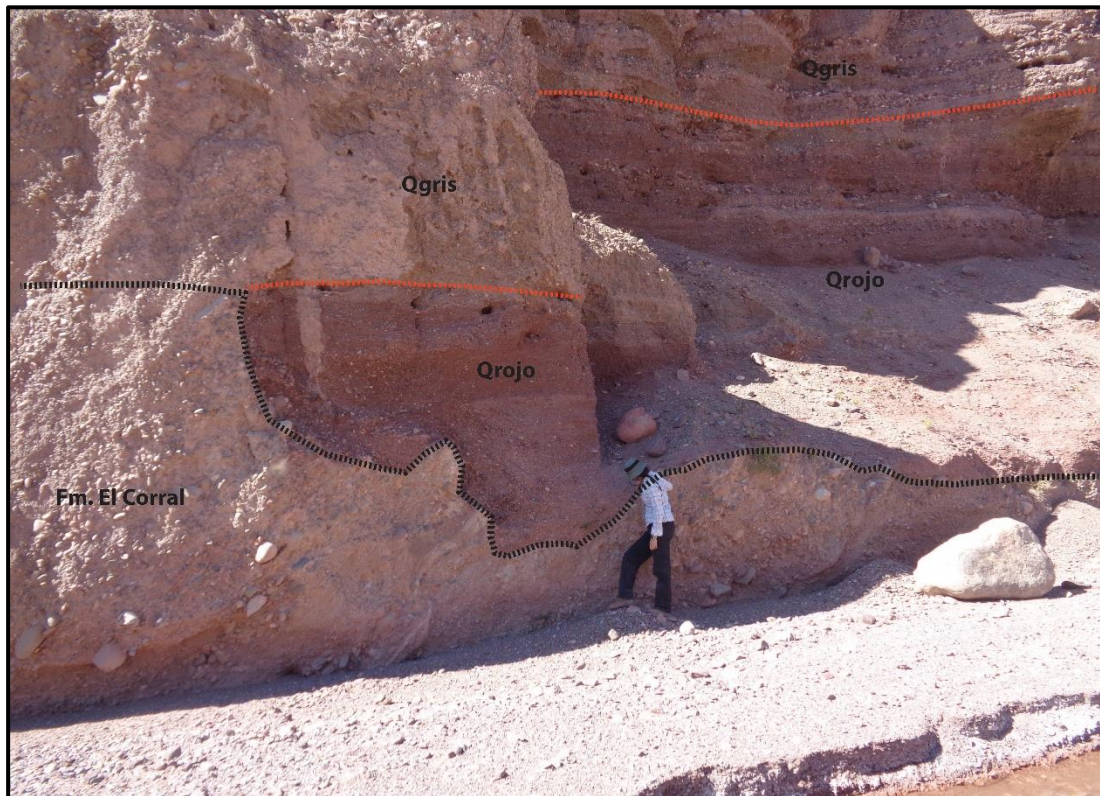


Figura 6.21. Incisión y formación de un canal sobre los conglomerados de la Formación El Corral.

El segundo nivel de agradación pedemontana aflora en el sector este de la región de mapeo (Anexo I). Se encuentra a una menor cota que el primer nivel de agradación y está compuesto por conglomerados de color rojo y gris que provienen de la erosión de los afloramientos de la Formación El Corral (Figura 6.22).



Figura 6.22. Vista del segundo nivel de agradación pedemontano (E) y de la Formación El Corral (O).

Por último, el tercer nivel de agradación aflora en el sector central del área de mapeo y posee una litología y coloración similar al primer nivel, pero presenta un menor grado de incisión y se encuentra a una cota menor. Es el resultado de la erosión de las areniscas rojas que afloran en el Cordón de La Flecha.

### 6.8. Depósitos de abanicos actuales y depósitos fluviales

Los sedimentos recientes están principalmente conformados por gravas y arenas. Se desarrollan con mayor importancia al pie del Cordón de La Flecha, en el sector oeste y central del área de mapeo (Anexo I).

Las gravas se asocian a depósitos de abanicos aluviales actuales y antiguos, mientras que las arenas se concentran en los cauces de los cursos fluviales efímeros que drenan sobre los abanicos antes mencionados (Figura 6.23).



Figura 6.23. Depósitos de gravas y arenas sobre los cursos efímeros que drenan los abanicos aluviales actuales y antiguos.

Por otra parte, en la planicie aluvial del río Yanso, se observan depósitos de arenas y gravas de composición variada con clastos de calizas, areniscas verdes y rojas, rocas ígneas y metamórficas producto de la erosión de las zonas elevadas circundantes (Figura 6.24).



Figura 6.24. Panorámica del valle del río Yanso. Se han marcado las áreas elevadas que son posibles zonas de aporte para las gravas y arenas de la planicie aluvial.

Por otra parte, en los cauces de los cursos efimeros es común reconocer marcas de gotas de lluvia (Figura 6.25), grietas de desecación y depósitos de interacción eólica-fluvial (Figura 6.26).



Figura 6.25. Estructura de marcas de gotas de lluvia sobre grietas de desecación.



Figura 6.26. Depósitos de interacción eólico-fluvial en las márgenes del río Yanso.

## 7. SEDIMENTOLOGÍA DE LAS SECUENCIAS MESOZOICAS Y PALEÓGENAS

Con el objeto de analizar la composición de las sedimentitas mesozoicas y paleógenas aflorantes en el área de estudio y poder determinar su evolución paleoambiental, se levantó un perfil sedimentológico de detalle (Anexo II), de 600 metros de espesor, de las formaciones Santo Domingo (sección 7.1), Ciénaga del Río Huaco (sección 7.2) y Puesto la Flecha (sección 7.3) en la ladera sureste del Cordón de La Flecha (Figura 7.1.A).

En primer lugar, se identificaron las litofacies siguiendo los criterios de Miall (1996) (Cuadro 7.1). Luego, se agruparon las litofacies en facies y asociaciones de facies en base a sus rasgos litológicos, estructuras sedimentarias, forma de los bancos y superficies limitantes, con el fin de establecer paleoambientes sedimentarios y plantear la evolución de los sistemas depositacionales a lo largo del perfil (Figura 7.1.B).

Código de litofacies	Descripción	Interpretación
<b>Sp</b>	Areniscas con estratificación entrecruzada tabular planar	Migración de megaóndulas de crestas rectas, bajo régimen de flujo
<b>St</b>	Areniscas con estratificación entrecruzada en artesa	Migración de megaóndulas de crestas sinuosas, bajo régimen de flujo
<b>Sh↓</b> <b>Sh↑</b>	Areniscas con laminación horizontal	Lecho plano, bajo régimen de flujo Lecho plano, alto régimen de flujo
<b>Sr</b>	Areniscas con laminación ondulítica de corriente	Migración de ondulitas de corriente, bajo régimen de flujo
<b>Src</b>	Areniscas con laminación climbing	Migración de ondulitas de corriente en trenes superpuestos
<b>Sm</b>	Areniscas masivas	Rápida depositación o flujos hiperconcentrados
<b>Fl</b>	Pelitas laminadas	Decantación episódica en un ambiente tranquilo
<b>Fm</b>	Pelitas masivas	Decantación en un ambiente tranquilo
<b>Fr</b>	Pelitas con laminación ondulítica	Migración de ondulitas, bajo régimen de flujo
<b>Ym</b>	Yeso masivo	Depósitos evaporíticos
<b>Yl</b>	Yeso laminado	Depósitos evaporíticos
<b>Cb</b>	Carbonatos bioclásticos y microcoquinas	Aguas tranquilas ricas en carbonatos
<b>Mm</b>	Margas masivas	Decantación de material clástico fino
<b>Gcm</b>	Ortoconglomerados clasto-soportados masivos	Migración de barras gravosas longitudinales o depósitos residuales de canal
<b>Gch</b>	Ortoconglomerados clasto-soportados con estratificación horizontal	Migración de barras gravosas longitudinales

Cuadro 7.1. Código de litofacies utilizado en este trabajo (basado en la propuesta de Miall, 1996).

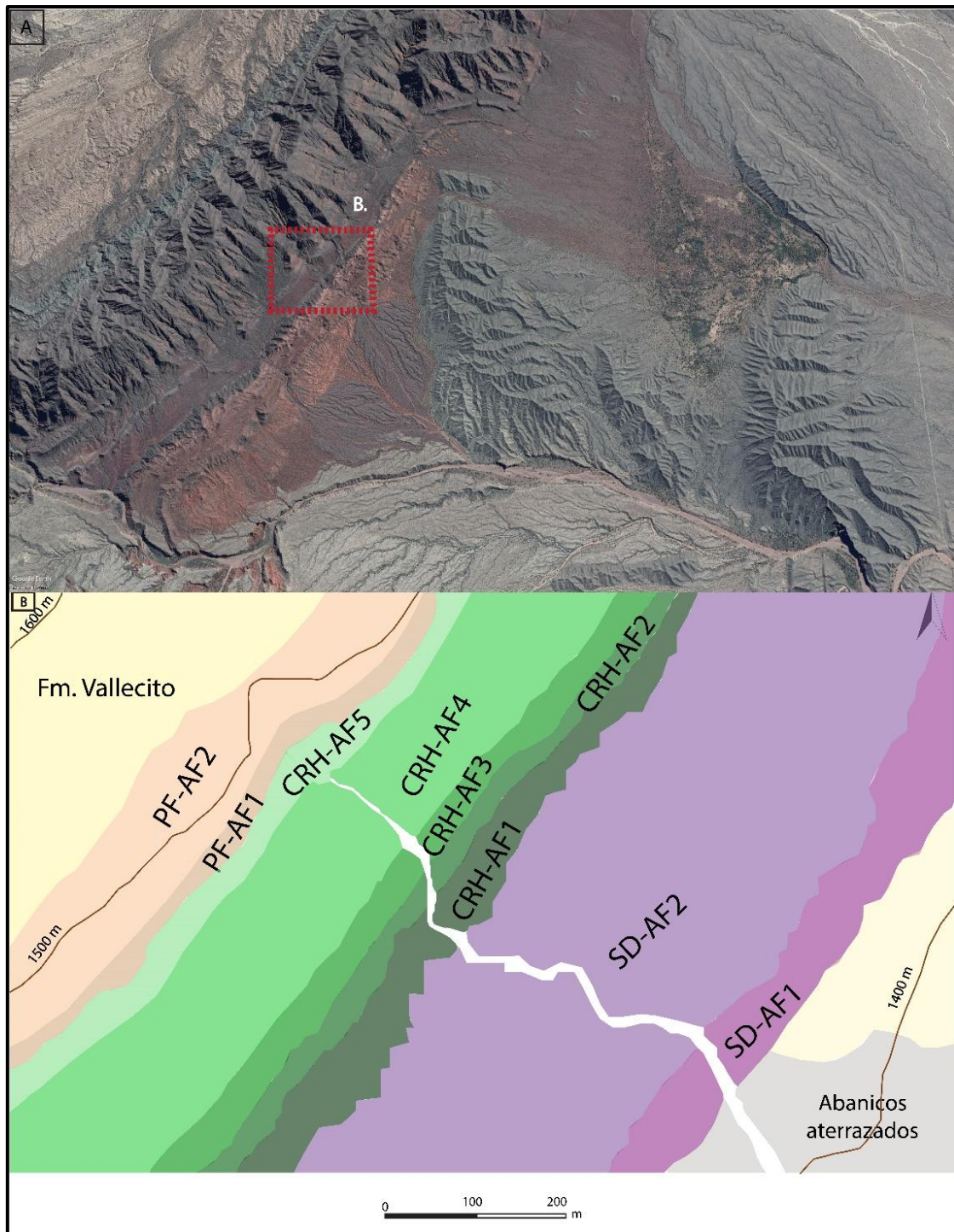


Figura 7.1. A. Imagen satelital de la ladera sureste del Cordón de La Flecha, en donde se realizó el perfil (recuadro rojo). B. Mapa con la ubicación de las asociaciones de facies definidas para la Formación Santo Domingo (SD), Ciénaga del Río Huaco (CRH) y Puesto La Flecha (PF).



### 7.1. Perfil de la Formación Santo Domingo

En la zona de estudio, la Formación Santo Domingo se apoya en contacto tectónico sobre sedimentitas del Cuaternario y es cubierta, en discordancia erosiva, por la Formación Ciénaga del Río Huaco. Se ha registrado un espesor aflorante de 200 metros (Figura 7.2.A), aunque es importante tener en cuenta que la base no pudo perfilarse por la importante deformación tectónica observada en el área, que se refleja en la presencia de fallas y plegamientos de pequeña escala (Figura 7.2.B y C).

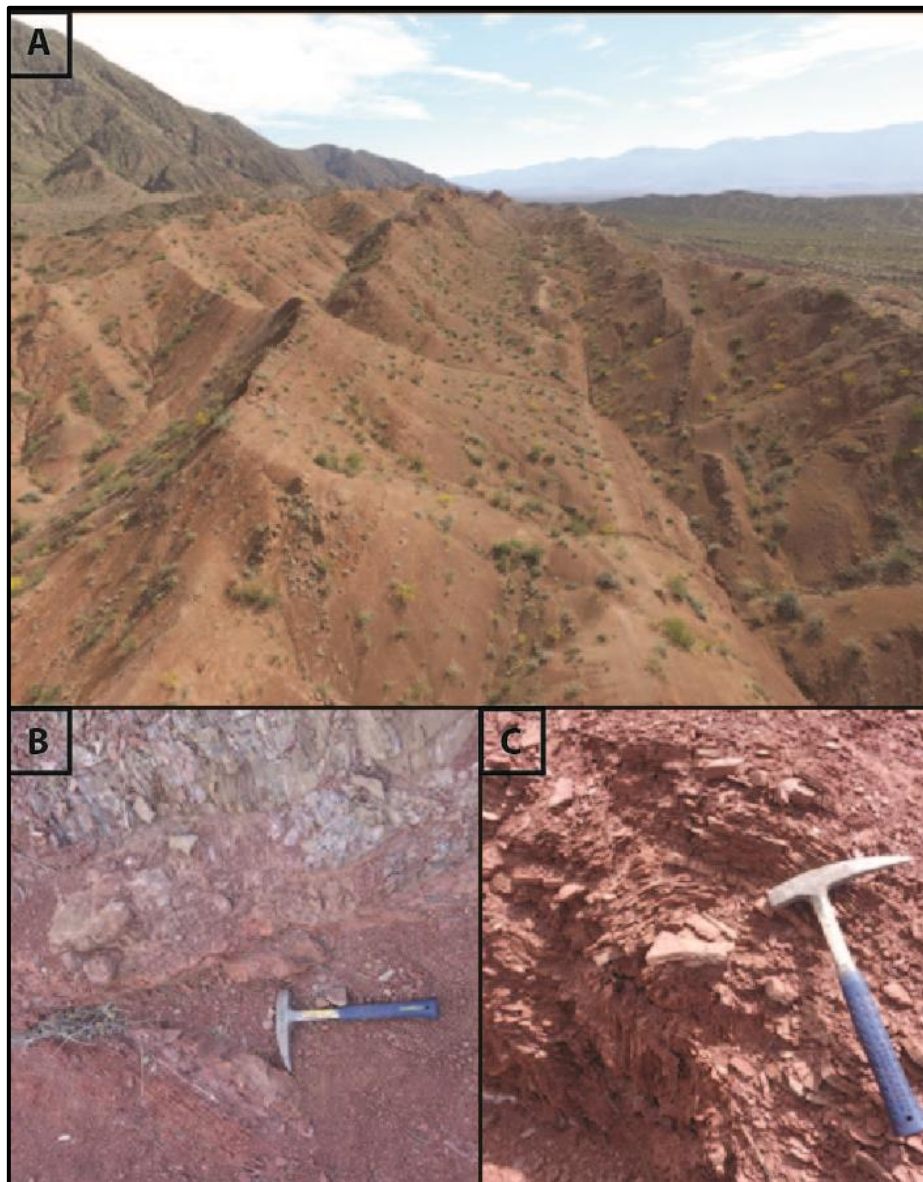


Figura 7.2. Formación Santo Domingo. A. Aspecto de los afloramientos perfilados. B. Evidencias de fallamiento en el sector basal. C. Evidencia de plegamiento.

A partir del análisis litológico, de estructuras sedimentarias y patrones de apilamiento de las litofacies, se han distinguido tres facies para la Formación Santo Domingo (Figura 7.3).

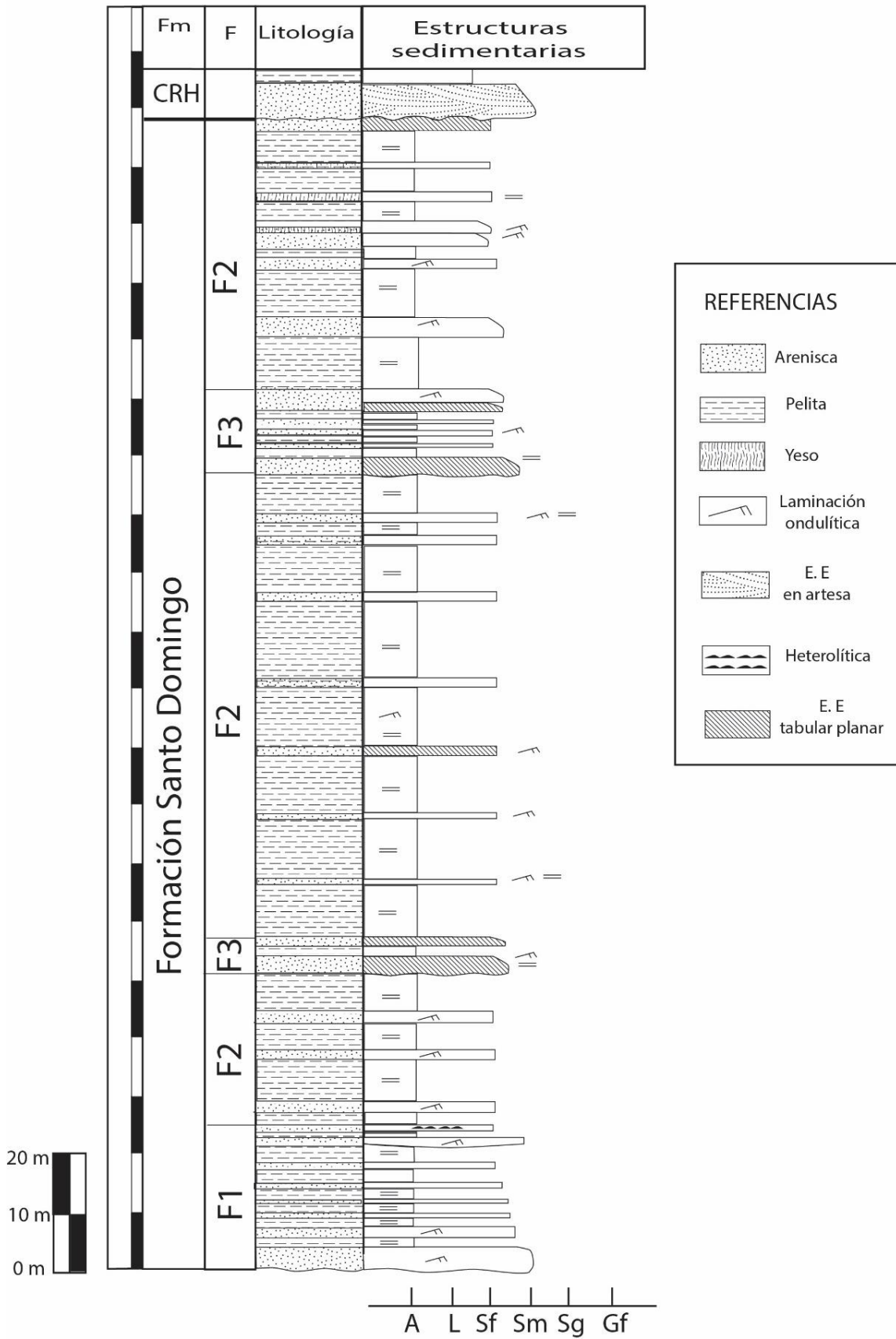


Figura 7.3. Perfil sedimentológico de la Formación Santo Domingo.

### 7.1.1. Descripción de facies e interpretación

- **Facies 1 (F1)**

#### *Descripción*

La facies 1 se caracteriza por la alternancia de areniscas finas de color castaño claro con pelitas rojas, conformando ciclos grano y estratodecrecientes de hasta 5 metros de potencia (Figura 7.4). Presenta un espesor de 25 metros y sólo se desarrolla en la base del perfil de la Formación Santo Domingo.

Los bancos de areniscas más potentes, con espesores de hasta 4 metros, se observan en la base, mientras que hacia el techo pasan a tener menos de un metro de espesor. La geometría de los bancos arenosos es tabular, presentan base erosiva a cóncava y como estructura sedimentaria principal se observa laminación ondulítica de corriente (Sr) (Figuras 7.5 y 7.6). Adicionalmente, algunos bancos se presentan masivos o con laminación horizontal (Sh↓).

Los bancos de areniscas están limitados por niveles de pelitas rojas con laminación horizontal (Fl) y, menos frecuentemente, ondulítica (Fr). Estas intercalaciones pasan de ser desde centimétricas, en la base de la unidad, hasta métricas, hacia el techo.

Hacia el techo de la F1, se intercala un banco de 40 cm de areniscas verdosas a borravino con laminación heterolítica conformada por láminas centimétricas de areniscas rojizas con laminación ondulítica en trenes continuos (Src) y particiones de pelitas laminadas (Fl). Este banco presenta hacia el techo evidencias de bioturbación (Figura 7.7).



Figura 7.4. Intercalación de bancos métricos de areniscas castañas claras con niveles pelíticos rojizos característicos de la facies 1.



Figura 7.5. Detalle de la base erosiva de los bancos de areniscas finas con laminación ondulítica de corriente (Sr) que pasan hacia el tope a pelitas rojas laminadas (Fl).

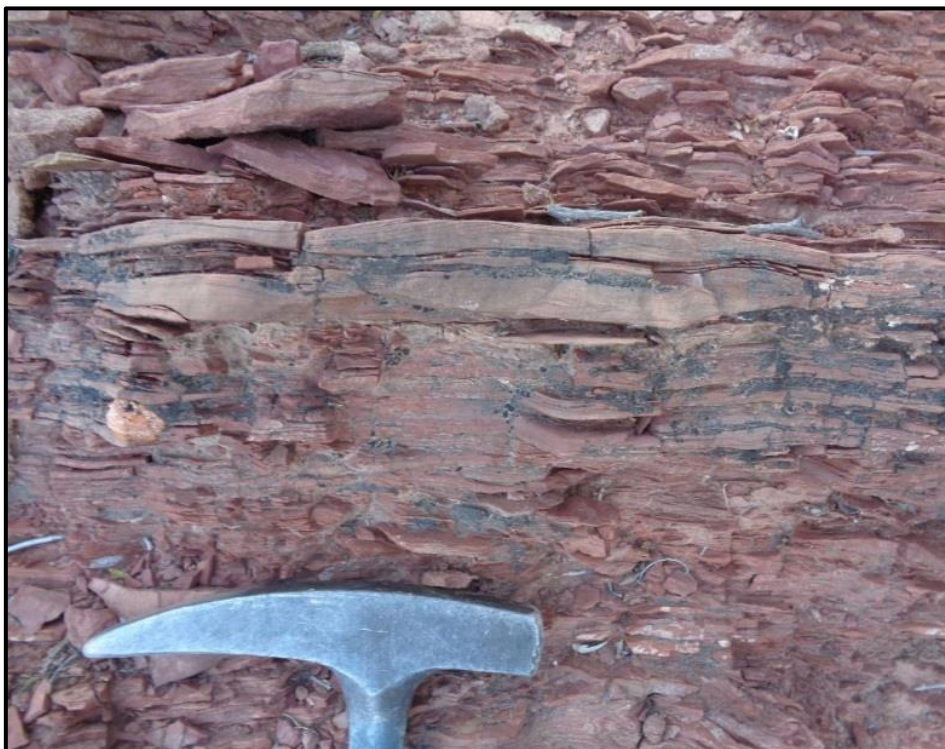


Figura 7.6. Areniscas finas castañas con laminación ondulítica de corriente (Sr) que pasan a pelitas rojas laminadas (Fl).

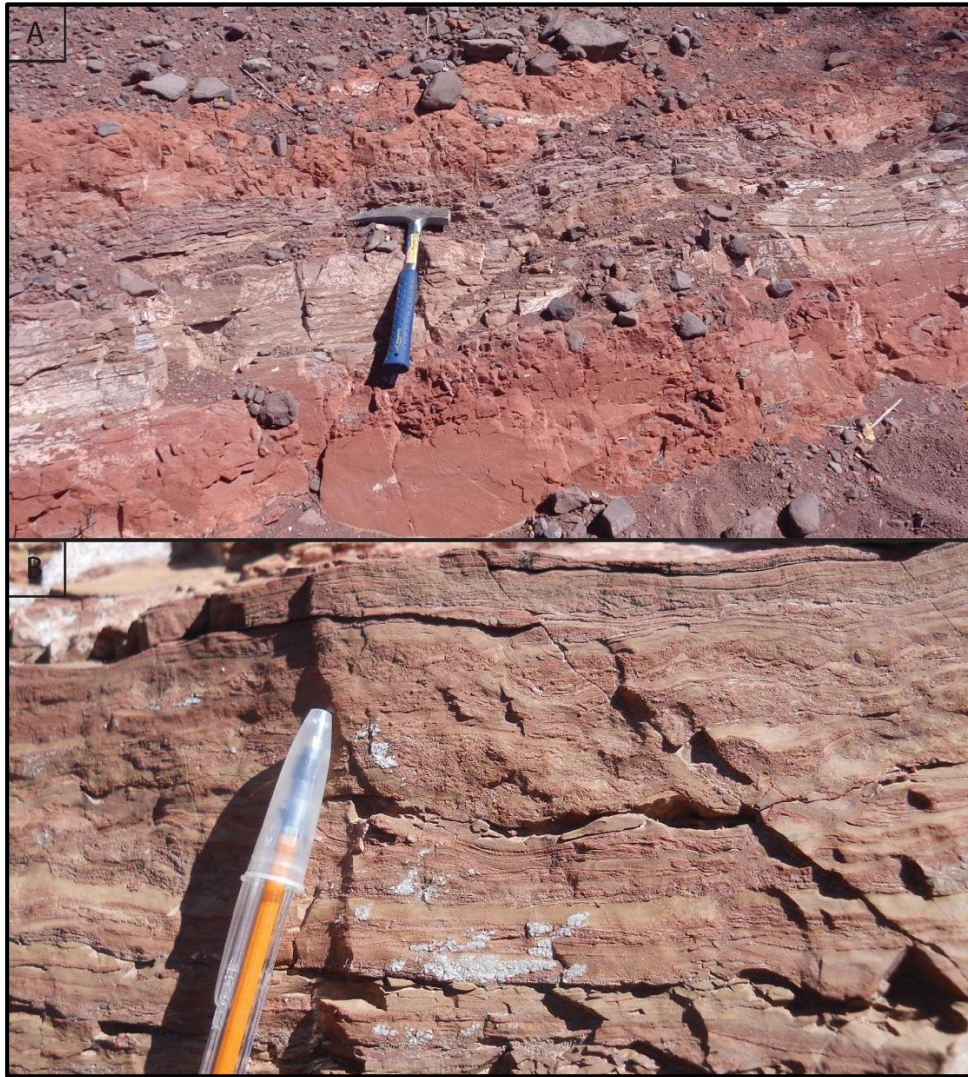


Figura 7.7. A. Banco moteado al techo de la facies 1. B. Detalle de la laminación heterolítica.

### *Interpretación*

Los depósitos arenosos con bases erosivas, cóncavas, estructuras tractivas (Sr, Sh), tendencia interna granodecreciente y espesores menores a cinco metros se interpretan como depositados por canales fluviales. La predominancia de cuerpos tabulares de poco espesor, casi enteramente constituidos por arenas con laminación ondulítica (Sr) y laminación paralela (Sh↓), serían indicativos de canales pandos y flujos de baja energía, en donde predominó la migración de pequeñas óndulas de corriente y el lecho plano de bajo régimen de flujo. Estas areniscas se habrían depositado rellenando canales muy amplios y someros (hacia la base de la F1), o bien formando mantos de gran extensión lateral, no confinados (hacia el techo de la F1).

Por otra parte, las intercalaciones de pelitas con laminación horizontal (Fl) y ondulítica (Fr) indican predominancia de procesos de decantación y tracción asociados a depositación en un subambiente de planicie de inundación.

Finalmente, las areniscas y pelitas oscuras con laminación heterolítica y evidencias de bioturbación, al techo de la F1, se interpretan como depósitos de abandono de canal por encima

de los depósitos de canal activo. La laminación heterolítica tipo *flaser* se habría formado por la predominancia de condiciones de flujo tractivo de bajo régimen, en donde la migración de ondulitas de corriente generó laminación ondulítica, mientras que el fango fue mantenido en suspensión. En períodos de calma, este material fino decantó formando una delgada capa entre las lentes arenosas.

- **Facies 2 (F2)**

*Descripción*

La facies 2 alcanza un espesor variable de entre 17 a 75 metros. Se caracteriza por la predominancia de pelitas rojas con intercalaciones esporádicas de areniscas finas castañas y ocasionales bancos de yeso (Figuras 7.8 y 7.9).

Las pelitas constituyen bancos tabulares con espesores de entre 5 a 10 metros en donde predomina la laminación horizontal (FI), aunque con menor frecuencia se presentan masivas (Fm) o con laminación ondulítica (Fr).

Entre los bancos pelíticos se intercalan bancos tabulares con base neta y techo plano de areniscas muy finas de tonalidad castaña con espesores promedio de un metro. Internamente muestran laminación ondulítica de corriente (Sr), laminación horizontal con lineación parting ( $Sh\hat{\uparrow}$ ) y, ocasionalmente, se presentan masivos (Sm) o con estratificación entrecruzada tabular planar poco marcada (Sp). Estos bancos presentan una continuidad lateral de decenas de metros (Figura 7.2.A) y, en algunos, se puede distinguir una tendencia interna granodecreciente. Ocasionalmente, se intercalan bancos tabulares centimétricos a métricos de yeso laminar.

La intercalación de bancos arenosos se hace más frecuente al ascender estratigráficamente, sentido en el cual aumenta no solo el tamaño de grano, sino también, el espesor de los bancos generando una tendencia grano y estratocreciente (Figura 7.10). Simultáneamente, las intercalaciones entre las areniscas pasan de ser pelíticas a areno-pelíticas (Figura 7.11). En algunos casos, se observa que los bancos arenosos se amalgaman verticalmente.

Por otra parte, hacia el techo de la F2 se distinguen, entre los bancos de pelitas, bancos tabulares de areniscas finas a muy finas de color verde bien a muy bien seleccionadas de hasta un metro de potencia con laminación ondulítica y horizontal.



Figura 7.8. Intercalaciones rítmicas de areniscas y pelitas características de la facies 2.



Figura 7.9. Sector basal a intermedio de la facies 2, en donde los bancos de pelitas tienen un espesor máximo.



Figura 7.10. Sector superior de la facies 2, en donde comienzan a predominar las areniscas conformando ciclos granocrecientes.



Figura 7.11. Intercalaciones areno-pelíticas entre bancos arenosos hacia el techo de la F2.

### *Interpretación*

La intercalación de pelitas, areniscas y ocasionales bancos de yeso de forma cíclica conformando un arreglo general estrato y granocreciente, se interpreta como debida a la transición de subambientes desde planicie fangosa a planicie arenosa interna y externa.



En primer lugar, las pelitas, en bancos de hasta 10 metros, se habrían depositado en condiciones de baja energía, en donde predominaron los procesos de decantación de la carga en suspensión en un ambiente de centro de lago (planicie fangosa). Intercalados entre las pelitas, los bancos tabulares arenosos con laminación horizontal de alto régimen de flujo y/o masivos se interpretan como depositados durante episodios de crecidas en manto o *sheetfloods* (Miall, 1996). El ocasional arreglo de las litofacies en ciclos granodecrecientes dentro de estos bancos arenosos sería indicativo de una disminución paulatina de la energía de la crecida hacia el techo. En momentos en los que aumentó la salinidad del agua y/o disminuyó el aporte sedimentario se produjo la precipitación de bancos centimétricos de yeso (planicie fangosa salina).

En segundo lugar, el aumento de la proporción de areniscas y amalgamamiento de los bancos se asociaría a una transición a condiciones periféricas del sistema, dentro de la planicie arenosa externa. Esta planicie está conformada por depósitos de mantos, producto de crecientes no encauzadas con delgadas particiones areno-pelíticas que corresponderían a momentos de disminución de la energía del medio.

Por otra parte, la aparición en este sector de bancos de areniscas finas a muy finas verdosas bien seleccionadas que se interpretan como depositados por sistemas eólicos, dentro del ámbito de la planicie arenosa externa, confirma el pasaje a condiciones marginales hacia el techo de la unidad en donde el sedimento arenoso depositado por las corrientes era retrabajado por el viento (depósitos de interacción eólica-fluvial).

- **Facies 3 (F3)**

#### *Descripción*

La facies 3 está formada por bancos tabulares a lenticulares de areniscas anaranjadas, de 2 a 4 metros de espesor, que se intercalan con bancos de hasta un metro de espesor de pelitas rojizas a violáceas laminadas (FI). La F3 se apoya de forma transicional sobre la F2 y se encuentra repetida dos veces en la sección estudiada con un espesor de entre 7 a 16 metros.

Los bancos arenosos, en la base de la F3, presentan base erosiva, techo plano, arreglo interno granodecreciente, mostrando internamente estratificación entrecruzada tabular planar (Sp), que pasa a estratificación horizontal (Sh) y luego a laminación ondulítica (Sr) (Figuras 7.12, 7.13). En algunos casos también se observó laminación ondulítica tipo climbing (Src).

En el sector medio se observa un progresivo aumento en la cantidad de particiones pelíticas, mientras que se da una disminución en el espesor de los cuerpos arenosos. Esta tendencia constituye un hemicycle grano y estrato decreciente (Figura 7.14).

Posteriormente, hacia el techo, hay un aumento del tamaño de grano y una disminución en la cantidad de particiones pelíticas que termina produciendo que se amalgamen las lentes arenosas. Esta tendencia conforma un hemicycle grano y estrato creciente. En general, en este sector, los cuerpos arenosos se presentan masivos.



Figura 7.12. Areniscas anaranjadas con estratificación entrecruzada tabular planar de la facies 3.



Figura 7.13. Laminación ondulítica al tope de los bancos con estratificación entrecruzada de la F3.

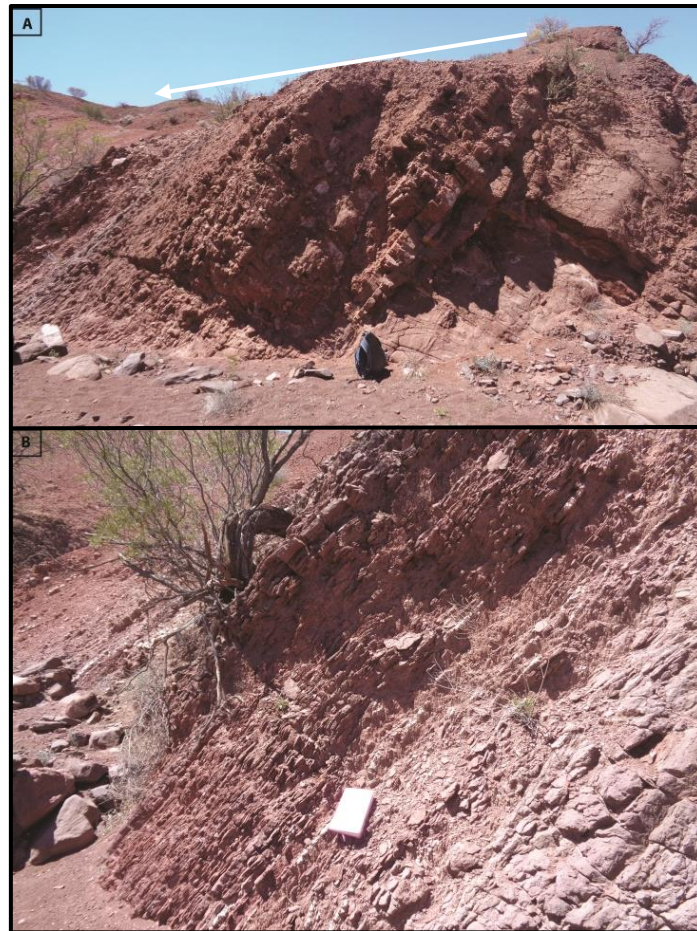


Figura 7.14. A. Disminución del espesor y tamaño de grano de los bancos arenosos y aumento en la cantidad de particiones pelíticas en la sección media de la F3 (techo hacia la izquierda). B. Detalle del hemicíclo granodecreciente.



Figura 7.15. Bancos tabulares de areniscas con laminación horizontal y masivas intercalados con bancos de pelitas laminadas conformando un hemicíclo grano y estratocrescente.

### Interpretación

La F3 es interpretada como depósitos de canales alimentadores de lóbulos de desembocadura en un ambiente de planicie arenosa externa. Evidencia de esto son el carácter erosivo de la base de los depósitos y la presencia de estructuras sedimentarias de corriente como estratificación entrecruzada tabular planar (Sp), estratificación horizontal (Sh) y laminación ondulítica (Sr). Estas litofacies conforman un arreglo granodecreciente, y fueron generadas por la migración de megaóndulas y ondulitas de corriente en sistemas canalizados que disminuyen paulatinamente su energía hacia el tope.

Por su parte, los niveles de pelitas con laminación horizontal, que aparecen hacia la sección superior de la secuencia, se formaron en condiciones de decantación durante períodos de disminución de la energía del sistema en las áreas intercanal.

Hacia el techo de esta facies, el aumento del tamaño de grano y la presencia de lentes amalgamadas en capas con laminación horizontal y de cuerpos tabulares masivos representa el pasaje a sistemas de canales fluviales efímeros, en donde fueron frecuentes los procesos de avulsión y la formación de mantos de crecientes no encauzadas por avenidas fluviales.

#### 7.1.2. Evolución ambiental de la Formación Santo Domingo

A partir de la observación de las tendencias de repetición de las facies antes descritas e interpretadas (Cuadro 7.2), se ha agrupado a las mismas en dos asociaciones de facies (AF) para una mejor comprensión de la evolución paleoambiental (Cuadro 7.3).

Litofacies	Facies	Interpretación
Sr, Sh < Fl, Fr	F1	Canales fluviales pandos y efímeros + depósitos de planicie de inundación
Fl, Fr > Sh↑, Sr, Yl	F2	Transición de planicie fangosa/fangosa salina a planicie arenosa + depósitos de interacción eólica-fluvial
Sp, Sh, Sr, Src > Fl, Fm	F3	Planicie arenosa externa (canales y mantos de crecida)

Cuadro 7.2. Resumen de las litofacies y facies reconocidas para la Formación Santo Domingo.

La Formación Santo Domingo está constituida por depósitos continentales que se acumularon en áreas de baja pendiente y distales a las zonas de aporte. Representa una coalescencia entre sistemas fluviales de canales pandos levemente sinuosos (AF-SD1) y sistemas de barreal bien desarrollados con intercalaciones hacia el techo de niveles eólicos (AF-SD2).

Litofacies	Asociación de facies	Interpretación
Sr, Sh > Fl, Fr	AF-SD1= F1	Sistema fluvial de canales pandos
Fl, Fr > Sr, Sh, Sm, Sp, Y	AF-SD2= F2 + F3	Sistema lacustre efímero tipo barreal

Cuadro 7.3. Asociaciones de facies definidas para la Formación Santo Domingo.

En la base de la Formación Santo Domingo, la AF SD1 (F1) se interpreta como depositada por sistemas de canales pandos y efímeros de moderada energía. Estos depósitos están conformados por areniscas en cuerpos canalizados que registran condiciones de bajo régimen de flujo y pelitas laminadas formadas por decantación dentro de la planicie de inundación.

El sistema disminuye su energía hacia el tope de la AF-SD1 y pasa en forma transicional, a las areniscas y pelitas (ocasionalmente con láminas de yeso) de la AF-SD2 (F2+F3). Este pasaje estaría indicando el establecimiento de un lago efímero clástico-evaporítico, que son las condiciones predominantes a lo largo de toda la Formación Santo Domingo. Evidencia de esto son la disminución del tamaño de grano, el aumento del espesor de los bancos tabulares de pelitas en relación a las areniscas, y la aparición de una ciclicidad marcada en la intercalación de estas dos litologías y las evaporitas.

La F2 representa, en mayor medida, depositación en un subambiente de planicie fangosa en donde predominó la decantación de pelitas con la intercalación de episodios periódicos de crecidas mantiformes asociadas a lluvias estacionales que formaron los bancos tabulares de areniscas masivas y con laminación horizontal de alto régimen de flujo. Hacia el techo de la F2, el aumento de las areniscas, la amalgamación de los bancos y la aparición de bancos de eolianitas implicaría una transición a condiciones de planicie arenosa interna con fenómenos de interacción eólica-fluvial. Este ordenamiento dentro de la F2 se asociaría a la oscilación de la línea de costa. Esta variación del nivel del agua, durante momentos de desecación y poco aporte, produjo la precipitación de delgados depósitos de yeso en la planicie fangosa salina central.

Por encima de la F2, se depositaron las areniscas con estratificación entrecruzada, laminación ondulítica y masivas de la F3, que se interpretan como el registro de canales alimentadores de lóbulos de desembocadura en los márgenes del sistema lacustre (planicie arenosa externa). Estas fases canalizadas pasan, hacia el techo, a depósitos tabulares de areniscas masivas asociadas a depositación por *sheetfloods*.

A lo largo del perfil, la F2 y la F3 se intercalan generando tres ciclos de tendencia grano y estratocreciente (Figura 7.16). Dentro de la F2, la mayor proporción de pelitas, en bancos de hasta 10 metros, está dada por un proceso de expansión del sistema lacustre. Posteriormente, hacia el techo de la F2 y, transicionalmente a la F3, se da un apilamiento de facies marginales por sobre los depósitos de planicie fangosa que se interpreta como dado por una contracción del sistema lacustre. Cada uno de estos ciclos F2-F3, por lo tanto, representan un ciclo de expansión-contracción.

Cabe destacar que el tercero y último de los ciclos está conformado únicamente por la F2. Esto probablemente se asocie a la erosión que se evidencia hacia el techo de la Formación Santo Domingo, aunque también podría relacionarse con el abandono de las condiciones lacustres debido a una desecación total del sistema.

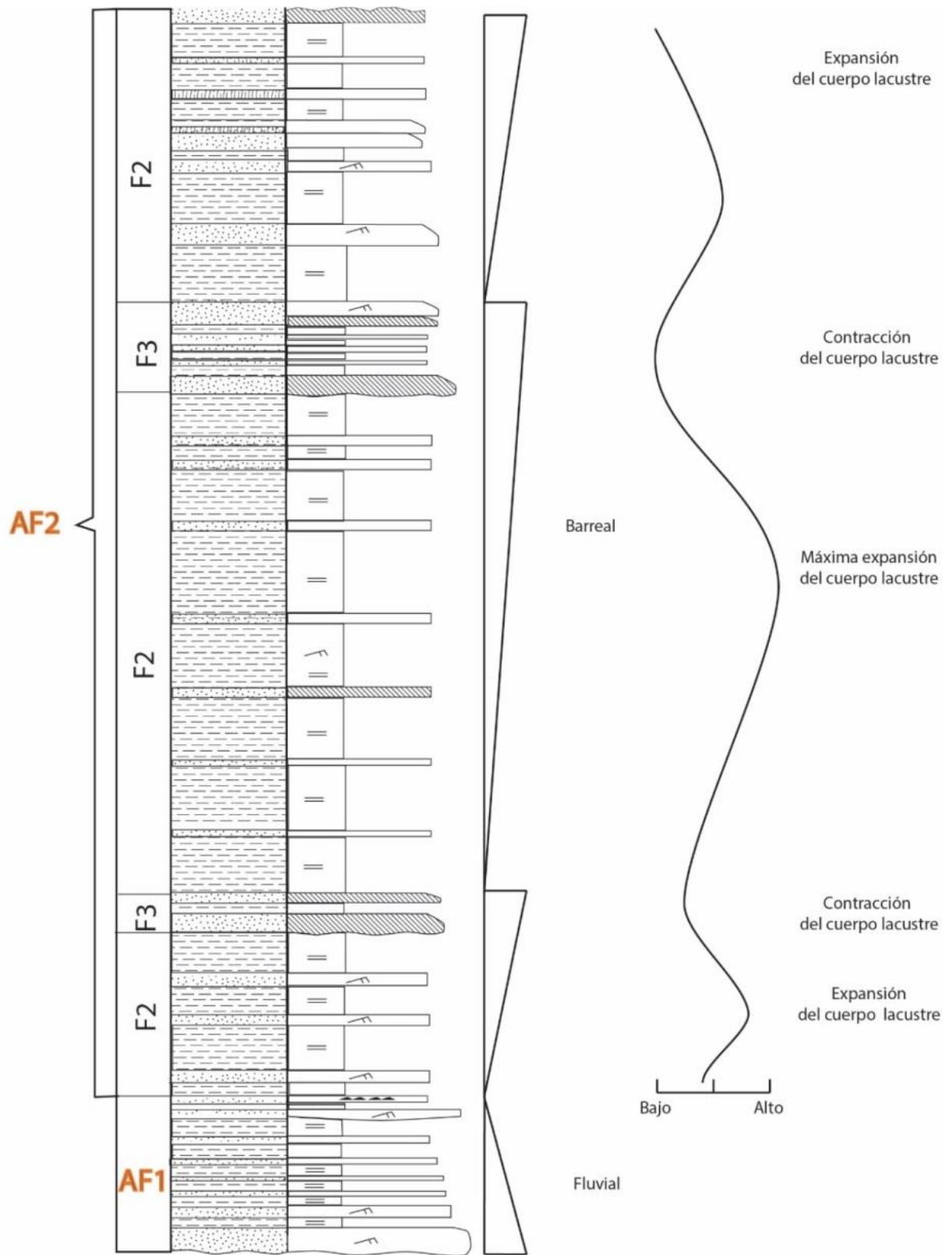


Figura 7.16. Perfil esquemático de la Formación Santo Domingo que muestra la agrupación de las facies en las asociaciones de facies 2 y 3 (AF SD-2) en tres ciclos granocrecientes, y su relación con los ciclos de expansión y contracción lacustre.

### 7.2. Perfil de la Formación Ciénaga del Río Huaco

A partir del análisis del perfil sedimentario, se reconocieron 5 asociaciones de facies para la Formación Ciénaga del Río Huaco (Figuras 7.17, 7.18). Esta unidad se apoya en discordancia erosiva sobre las areniscas y pelitas de la Formación Santo Domingo.

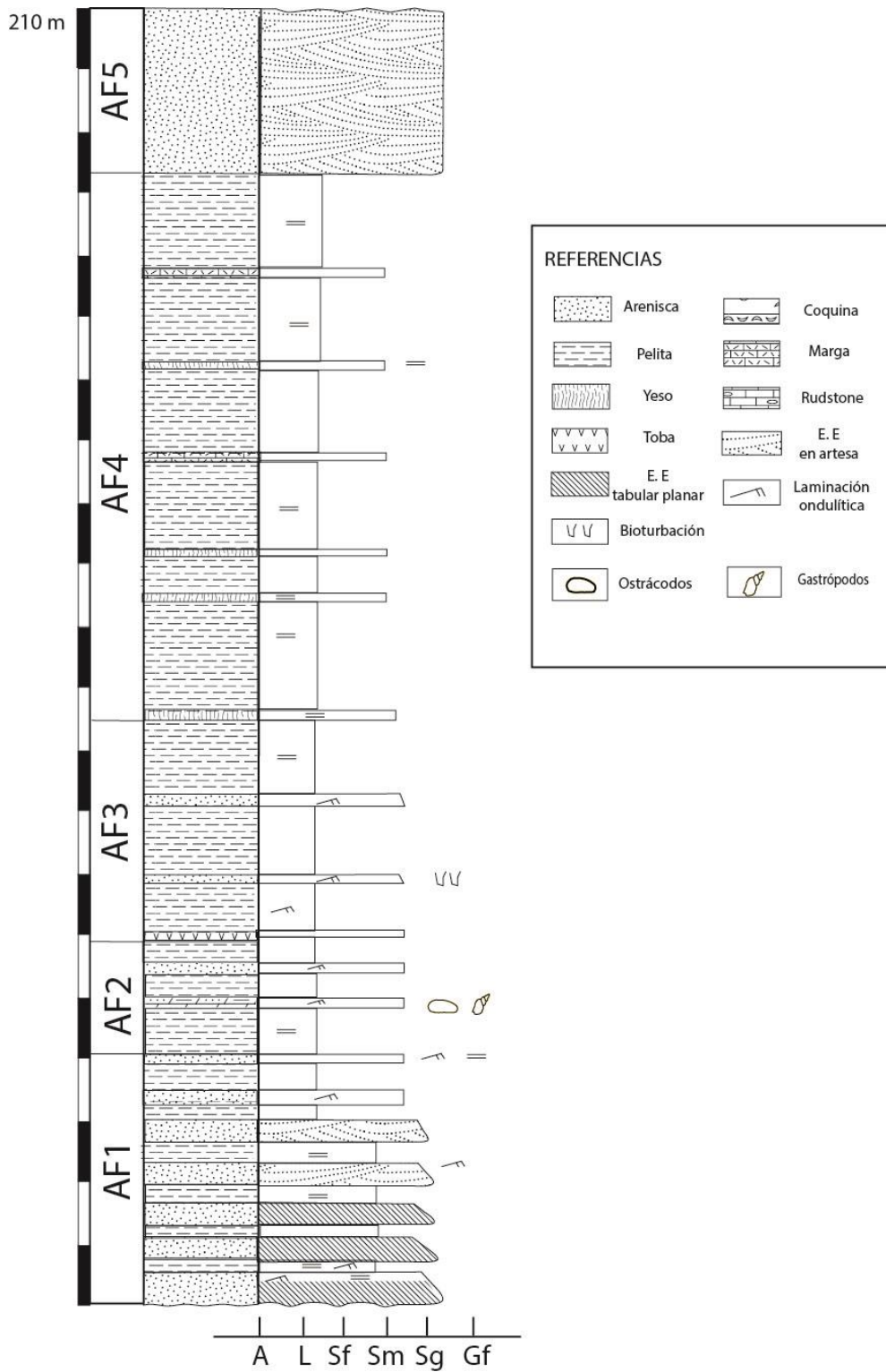


Figura 7.17. Perfil sedimentológico de la Formación Ciénaga del Río Huaco con las diferentes asociaciones de facies (AF) definidas.



Figura 7.18. Afloramientos de la Formación Ciénaga del Río Huaco, donde pueden identificarse algunas de las asociaciones de facies definidas en este trabajo.

### 7.2.1. Descripción de las asociaciones de facies e interpretación

- **Asociación de facies 1 (AF-CRH1)**

#### *Descripción*

Esta unidad está conformada por bancos lenticulares con base erosiva de areniscas gravosas de color rojo oscuro con estratificación entrecruzada tabular planar (Sp) que pasan, hacia el techo, a laminación ondulítica (Sr) y horizontal (Sh). Estos bancos presentan un espesor variable de 5 metros a menos de 1 metro, de base a techo de la AF-CRH1. En la Figura 7.19, se observa el carácter erosivo de la base de los cuerpos de areniscas y su estratificación característica.

Hacia el sector medio dominan los bancos tabulares con bases planas de areniscas medianas a finas que presentan estratificación entrecruzada en artesa de mediana escala (Sp), estratificación horizontal (Sh) y laminación ondulítica de corriente (Sr).

Entre las areniscas, intercalan bancos tabulares, desde centimétricos a métricos, de pelitas laminadas (Fl) de color rojizo que aumentan su espesor hacia el tope de la unidad.

#### *Interpretación*

La AF-CRH1 se interpreta como depositada por complejos de canales fluviales de baja energía con escasa a nula migración lateral. En base a las características antes descritas pueden distinguirse tanto depósitos de canal como depósitos de planicie de inundación.

Por una parte, la presencia de facies de canal se evidencia por el carácter erosivo y cóncavo de la base de los bancos arenosos, la geometría lenticular, el arreglo interno granodecreciente y las estructuras sedimentarias generadas por la depositación y transporte de sedimentos por flujos fluidos, en donde predominó la migración de barras arenosas de crestas rectas y sinuosas que dieron lugar a las estructuras entrecruzadas (Sp y St), y la migración de



óndulas de corriente que generaron laminación ondulítica (Sr). El carácter lenticular de los bancos indica escasa o nula migración lateral de los canales y frecuentes procesos de avulsión.

Por otra parte, las facies pelíticas y areno-pelíticas con estructuras horizontales, intercaladas entre las facies de canal, se asocian a depósitos de planicie de inundación dominados por procesos de decantación de finos en condiciones de baja energía con ocasionales depósitos de desbordes de los canales.

Por el carácter tabular, la base neta y disminución del tamaño de grano de los bancos arenosos se interpreta que el sistema evoluciona hacia el techo de la unidad, a cursos fluviales mucho más someros y lateralmente extendidos o bien a depósitos generados por flujos mantiformes (no confinados). Por otra parte, la estructura sedimentaria predominante en este tramo es la laminación horizontal, lo que es indicativo de canales más someros que el sector inferior o directamente no confinados.

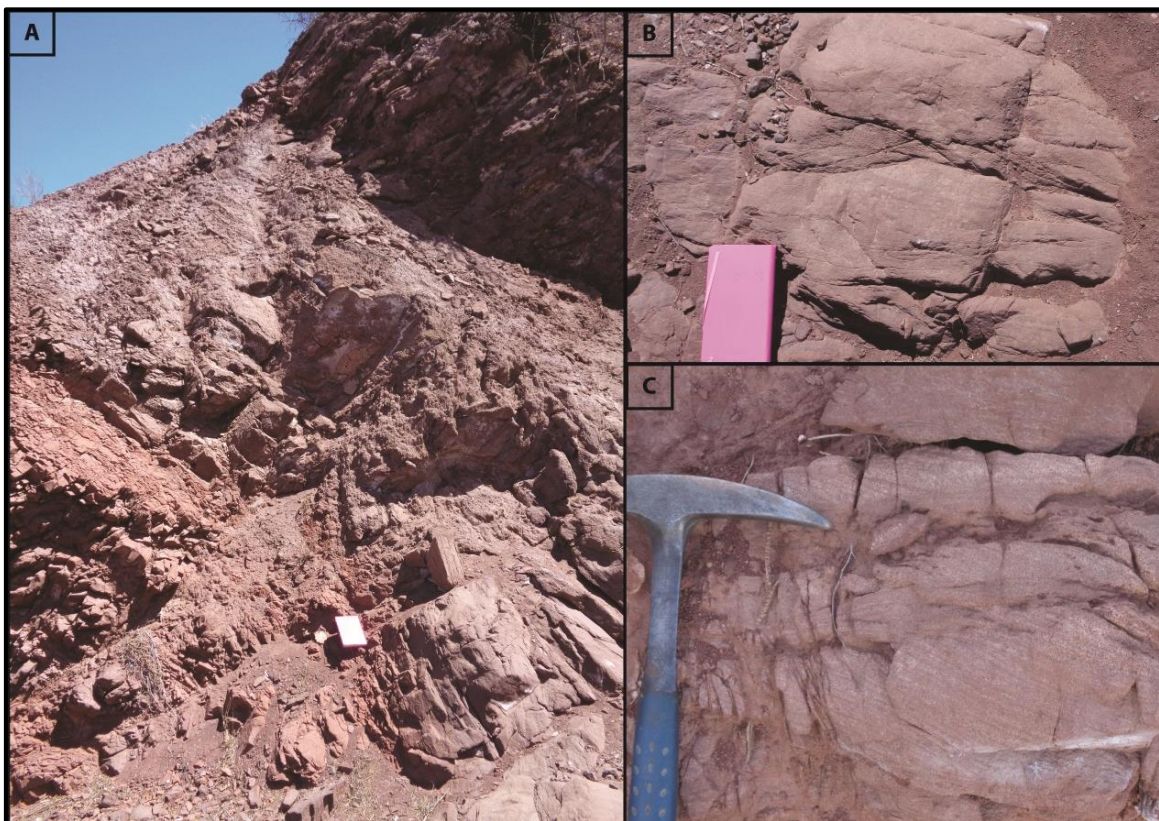


Figura 7.19. Sección basal de la Formación Ciénaga del Río Huaco (Cretácico) y AF-CRH1. A. Aspecto general. B. Base erosiva de los bancos arenosos. C. Detalle de la estratificación entrecruzada tabular planar.

- **Asociación de facies 2 (AF-CRH2)**

*Descripción*

Esta unidad está conformada por bancos tabulares de pelitas laminadas (Fl) y masivas (Fm) rojizas, grises y violáceas que conforman cuerpos de hasta cinco metros de potencia. Estos cuerpos intercalan principalmente con bancos de *rudstone* bioclásticos (Cb) formados por ostrácodos y gastrópodos (Figura 7.20, Anexo III K), en menor medida bancos tabulares de

areniscas rosadas con laminación ondulítica (Sr), y delgadas intercalaciones de yeso laminado (Yl). En general, estas intercalaciones presentan menos de un metro de espesor.



Figura 7.20. Detalle del banco de *rudstone* bioclástico intercalado entre las pelitas violáceas de la asociación de facies 2 de la Formación Ciénaga del Río Huaco.

En el límite de esta unidad, y separándola de la asociación de facies 3, se distingue un banco lateralmente continuo de color blanco, que se correspondería con una toba (Figura 7.21).

#### *Interpretación*

La AF-CRH2 representa un sistema lacustre clástico-carbonático. Los depósitos de pelitas laminadas y masivas se asocian a depositación en el centro de lago, en donde predominan los procesos de suspensión y decantación del material fino.

Por otra parte, la presencia de bancos de *rudstone* con ostrácodos y gastrópodos indica condiciones subácueas en un ambiente costero muy restringido, en donde un aumento de la salinidad del agua o la desecación del lago podría haber producido la mortandad masiva y posterior depositación de los organismos y el establecimiento de condiciones de precipitación de carbonatos. Estos períodos de aumento de la salinidad/desecación estarían también evidenciados por la precipitación de capas centimétricas de yeso y, en consecuencia, mayor evaporación.

Las intercalaciones ocasionales de bancos arenosos con laminación ondulítica y/o masivos se interpretan como depositadas por crecidas mantiformes o por flujos densos tipo *underflows*.

La oscilación entre condiciones de decantación normal, dentro del centro del lago, con condiciones de formación de calizas bioclásticas en un cuerpo de agua somero y periódicas desecaciones indica que fueron frecuentes las variaciones en la posición de la línea de costa y del nivel del sistema lacustre.



Figura 7.21. Detalle del contacto entre la asociación de facies 2 (izquierda) y la 3 (derecha) de la Formación Ciénaga del Río Huaco marcado por un banco volcanoclástico lateralmente continuo.

- **Asociación de facies 3 (AF-CRH3)**

*Descripción*

Está formada por pelitas que se intercalan con bancos de areniscas. Los bancos de pelitas laminadas (Fl) y masivas (Fm) son tabulares, de color anaranjado, friables y poseen hasta 10 metros de espesor. Las areniscas, principalmente finas a muy finas, ocasionalmente fangosas, se presentan en estratos lenticulares, con espesores entre 30 cm hasta 2 metros de potencia, base erosiva y laminación ondulítica de corriente (Sr). La intercalación de bancos de pelitas con bancos lenticulares arenosos al tope genera tres hemicyclos granocrecientes (Figura 7.22).



Figura 7.22. Banco lenticular de areniscas por encima de las pelitas anaranjadas friables conformando un ciclo granocreciente típico de la AF-CRH3.

### *Interpretación*

La AF-CRH3 se interpreta como depositada en la planicie fangosa de un sistema lacustre efímero clástico o barreal, de muy baja pendiente, en donde predominó la decantación de material en suspensión durante períodos de baja energía que produjo pelitas con estructuras masivas y laminación horizontal. La alternancia de cuerpos lenticulares a tabulares de areniscas muy finas a fangosas con laminación ondulítica de corriente indicaría períodos de mayor energía durante crecidas que indujeron el desarrollo de corrientes de fondo poco competentes.

- **Asociación de facies 4 (AF-CRH4)**

### *Descripción*

Está constituida predominantemente por pelitas con intercalaciones de yeso, margas y calizas (Figura 7.23).



Figura 7.23. Bancos potentes de pelitas con intercalaciones centimétricas de evaporitas y margas característicos de la AF-CRH4.

Las pelitas se presentan en cuerpos tabulares, de entre 7 a 20 metros de potencia, con tonalidades violeta a borravino. La estructura principal es la laminación horizontal (Fl) y, en menor medida, se presentan masivas (Fm).

Entre los bancos potentes de pelitas se intercalan bancos de hasta 50 cm de espesor de yeso laminado y nodular, calizas y margas (Figuras 7.24, 7.25, Anexo III: LP 15, LP 16).



7.24. Bancos de yeso laminado intercalados entre las pelitas de la AF-CRH4.

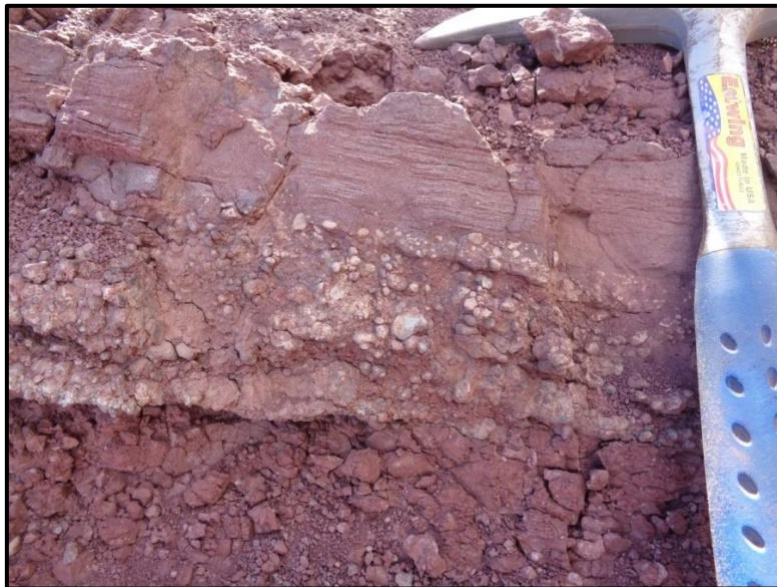


Figura 7.25. Detalle de los bancos de yeso nodular y margas de la AF-CRH4 (Anexo III, LP 15).

### *Interpretación*

La AF-CRH4 se interpreta como depositada en un sistema lacustre efímero clástico-evaporítico en donde, si bien predominó la decantación de material fino en un subambiente de planicie fangosa, se registraron variaciones periódicas en la salinidad y de la química del agua que generaron una transición a facies salinas.

La depositación de bancos de yeso (YI) y margas (Mm) indican precipitación durante momentos de hipersalinidad dentro de la planicie fangosa salina. Estos períodos se intercalan

con otros de salinidad normal en donde predomina la sedimentación clástica dentro de la planicie fangosa.

- **Asociación de facies 5 (AF-CRH5)**

#### *Descripción*

Esta unidad está formada por bancos tabulares de areniscas finas castañas, bien a muy bien seleccionadas, con estratificación entrecruzada tabular planar (Sp) y en artesa (St) de gran escala conformando sets de hasta 2 metros de espesor (Figura 7.26).

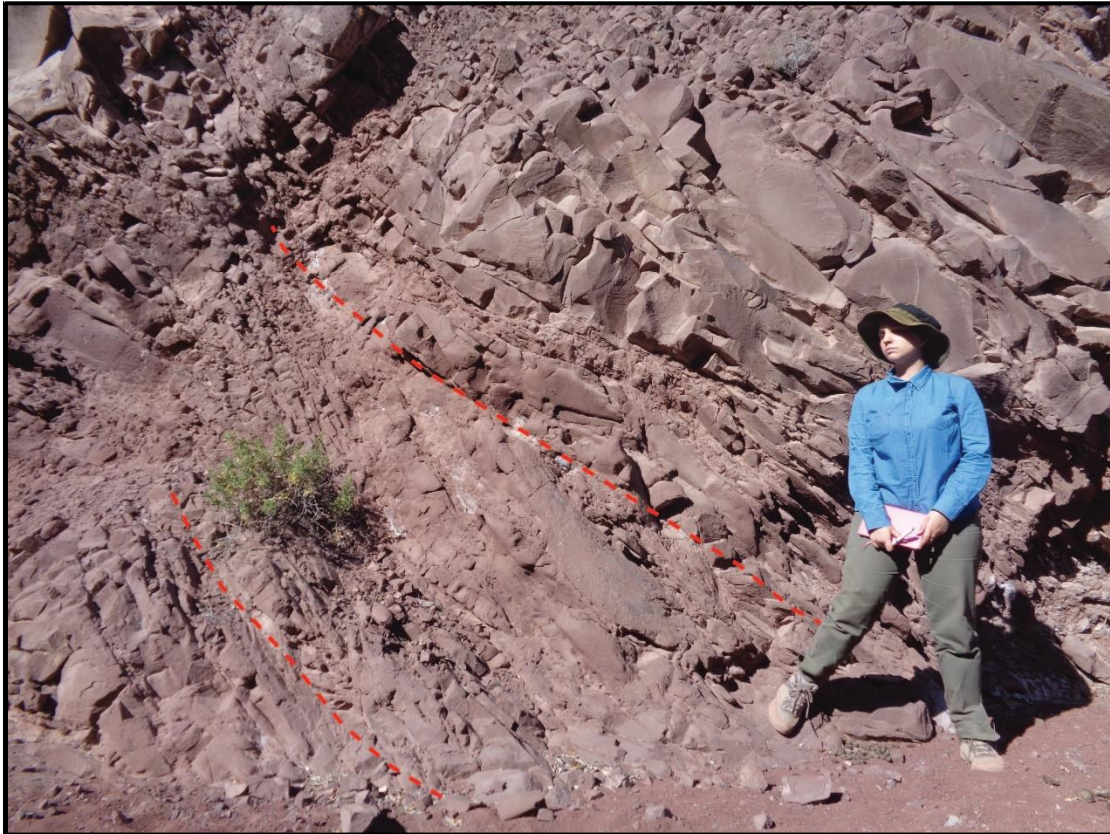


Figura 7.26. Estratificación entrecruzada de gran escala en el tope de la Formación Ciénaga del Río Huaco.

#### *Interpretación*

Se la interpreta como un sistema eólico en donde la migración de dunas de crestas rectas y sinuosas generó sets de estratificación entrecruzada de gran escala. Evidencia de esto es la granulometría muy fina a fina que caracteriza a las areniscas de este intervalo, además de la buena selección, la laminación milimétrica, y la ausencia de areniscas medianas a gruesas y material limoso.

#### **7.2.2. Evolución ambiental de la Formación Ciénaga del Río Huaco**

En el Cuadro 7.4 se resumen las asociaciones de facies reconocidas para la Formación Ciénaga del Río Huaco y su interpretación.

Litofacies	Asociaciones de facies	Interpretación
Sp, Sh, Sr > Fl, Fm	AF-CRH1	Sistema fluvial efímero de baja energía
Fl, Fm, Cb > Sr, Yl	AF-CRH2	Lacustre clástico-carbonático: Transición facies lacustres marginales a centro de lago.
Fl, Fm > Sr	AF-CRH3	Lacustre efímero: Planicie fangosa
Fl, Fm >> Yl, Mm	AF-CRH4	Lacustre efímero: Transición de planicie fangosa a planicie fangosa salina
Sp, St	AF-CRH5	Sistema eólico

Cuadro 7.4. Resumen de las asociaciones de facies reconocidas para la Formación Ciénaga del Río Huaco y su interpretación paleoambiental.

La AF-CRH1 se encuentra en la base del perfil y fue interpretada como depósitos de sistemas fluviales de escasa a nula migración lateral que, hacia el techo, pasan a sistemas fluviales efímeros de canales muy pandos o flujos mantiformes.

Por encima de la AF-CRH1 el sistema depositacional dominante está caracterizado por un sistema lacustre efímero (AF-CRH 2-4).

La AF-CRH2 se apoya sobre la AF-CRH1 mediante una superficie de inundación lacustre sobre la cual se depositaron pelitas laminadas con intercalaciones de calizas bioclásticas y yeso. Este intervalo se interpreta como depositado en un lago clástico-carbonático en donde las facies pelíticas se habrían acumulado en el centro del lago, mientras que las intercalaciones de *rudstones* bioclásticos se interpretan como facies de margen de lago formadas durante períodos de contracción de la línea de costa. Por otra parte, las láminas centimétricas de yeso habrían precipitado durante condiciones temporarias de extrema salinidad. Este sistema de baja energía fue ocasionalmente afectado por la entrada de cuerpos arenosos mantiformes depositados por ríos efímeros periféricos al sistema lacustre.

En forma transicional a la AF-CRH2, se apoyan las pelitas con intercalaciones de areniscas de la AF-CRH3, que marcan la contracción del sistema lacustre efímero. En este intervalo es predominante la depositación clástica caracterizada por la transición entre facies de planicie fangosa con facies de planicie arenosa. El aumento en el ingreso de material clástico habría inhibido la formación de evaporitas en este intervalo.

Por encima de la AF-CRH3, se depositaron las pelitas intercaladas con delgados bancos de yeso, margas y calizas de la AF-CRH4. Se interpreta que durante este intervalo prevalecieron las condiciones de decantación normal con formación de pelitas que fueron sucedidas por períodos recurrentes de hipersalinidad y variación en la línea de costa. Esto produjo una oscilación cíclica entre depósitos de planicie fangosa con delgados bancos evaporíticos de la planicie fangosa salina.

El pasaje entre la AF-CRH3 y la AF-CRH4 se interpreta como asociado a un aumento en la aridez del medio. Este cambio en las condiciones climáticas llevó a la desecación total y permanente del sistema lacustre y al establecimiento del sistema eólico que caracteriza a la AF-

CRH5 en el tope de la Formación Ciénaga del Río Huaco. Las areniscas finas a muy finas con estratificación entrecruzada tabular planar y en artesa en sets de gran escala se interpretan como depositadas por la migración de dunas de crestas rectas y sinuosas.

En resumen, el pasaje de la Formación Ciénaga del Río Huaco desde depósitos fluviales de canales pandos (AF-CRH1) a un lago somero clástico-carbonático que evolucionó a un sistema lacustre efímero/barreal y, por último, a sistemas eólicos indicaría una progresiva aridización del sistema.

Por lo antes mencionado, se interpreta que el paleoclima predominante a lo largo de la Formación Ciénaga del Río Huaco fue semiárido por la presencia de frecuentes niveles evaporíticos, mientras que hacia el techo se habría producido la desecación del cuerpo de agua con la instauración de un sistema eólico.



### 7.3. Perfil de la Formación Puesto La Flecha

En la zona de estudio se han reconocido un total de cuatro facies para la Formación Puesto La Flecha, sobre la base del análisis de las litofacies y su forma de apilamiento a lo largo del perfil sedimentario (Figura 7.27). La formación se apoya mediante discordancia erosiva sobre Ciénaga del Río Huaco (Figura 7.28) y es cubierta mediante un contacto neto a levemente erosivo por las sedimentitas eólicas de la Formación Vallecito.

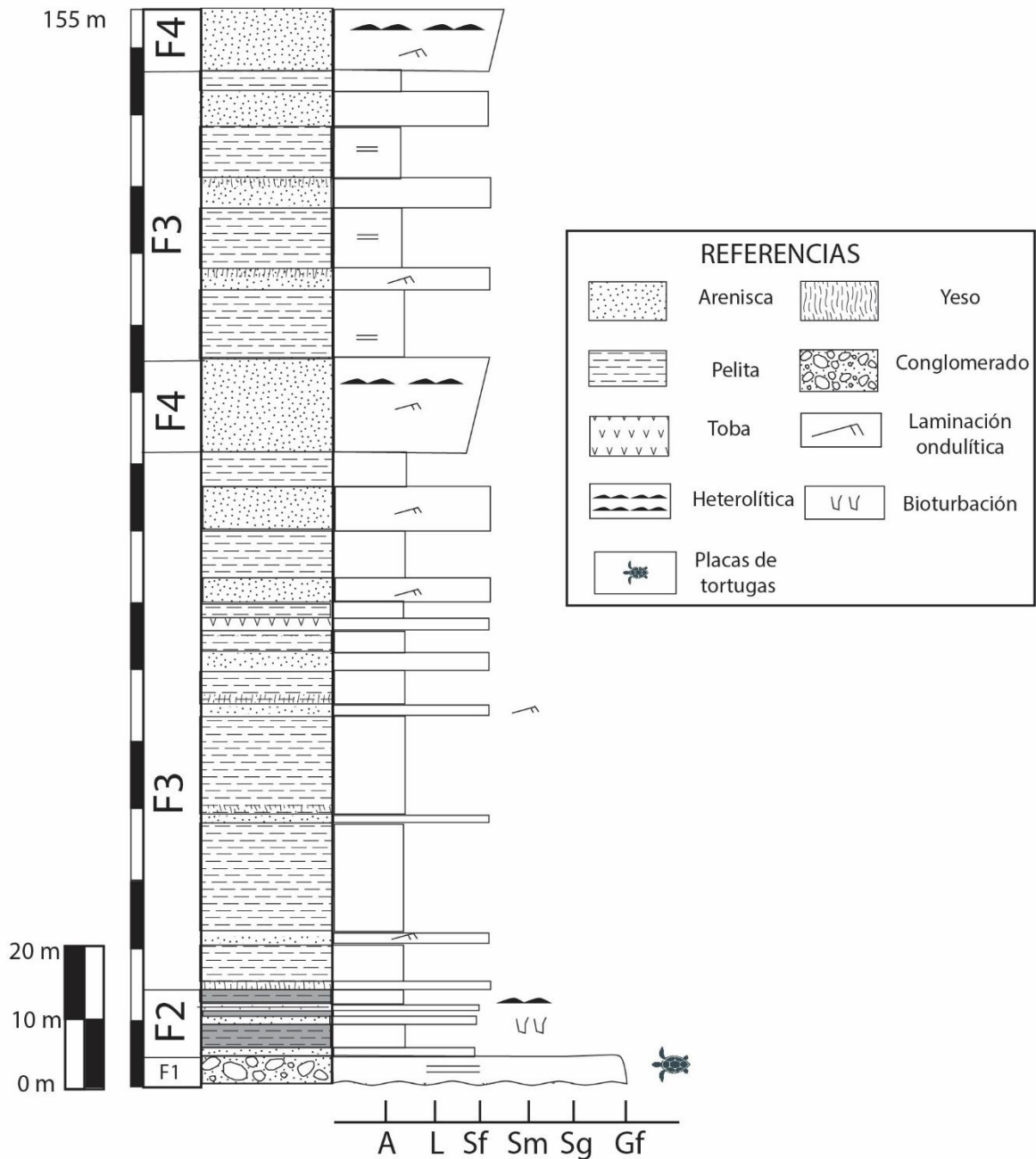


Figura 7.27. Perfil sedimentario de la Formación Puesto La Flecha.

### 7.3.1. Descripción de facies e interpretación

- **Facies 1 (F1)**

#### *Descripción*

La facies 1 se encuentra conformada por clasto-ortoconglomerados en bancos centimétricos a métricos con base erosiva e irregular y estratificación horizontal o masiva (Figura 7.29). Esta facies presenta un espesor máximo de 4 metros que disminuye lateralmente debido al carácter lenticular de los depósitos. En la base de los bancos se distinguen intraclastos pelíticos, oolitas y fragmentos angulosos de caparzones de tortugas (De La Fuente *et al.*, 2003). Por otra parte, entre los conglomerados se distinguen particiones de pelitas laminadas.

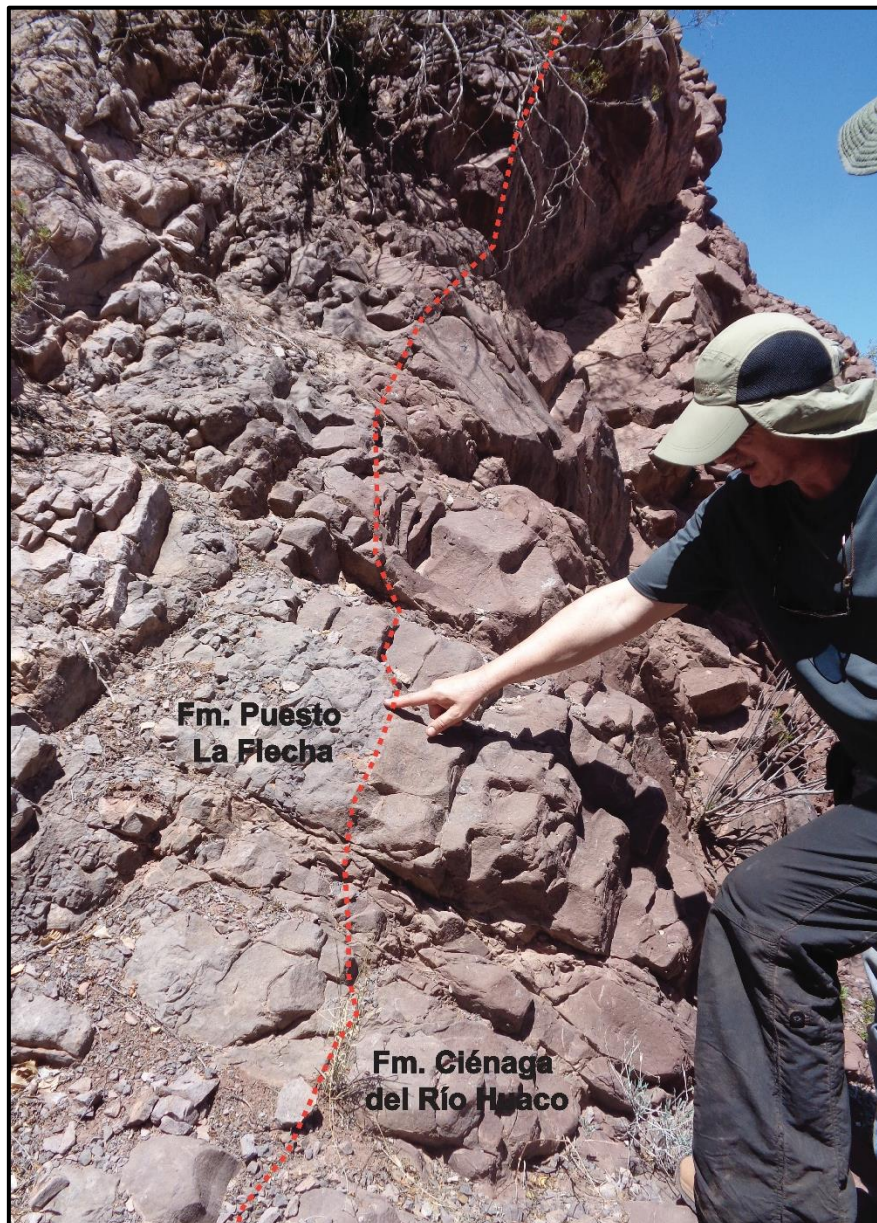


Figura 7.28. Contacto erosivo entre la Formación Ciénaga del Río Huaco con los conglomerados basales de la Formación Puesto La Flecha (en línea naranja).



Figura 7.29. Ortoconglomerado clasto sostén que conforma la base de la Formación Puesto La Flecha y de la facies 1. Se señalan con flecha los fragmentos de quelonios (De La Fuente *et al.*, 2003).

#### *Interpretación*

La F1 se interpreta como depositada por canales fluviales debido al carácter lenticular de los bancos y su base erosiva. Se interpreta que los canales serían de naturaleza efímera en base al carácter horizontal y masivo de la estratificación.

Los restos de tortugas fueron asignados por De La Fuente *et al.* (2003) a quelonios de hábitos acuáticos continentales. Según el autor, la abundante concentración mono-específica de estas tortugas se asocia a una mortandad masiva producto de cambios estacionales, con la consiguiente removilización de los restos fósiles durante eventos de crecidas que seleccionan el material clástico. Por otra parte, la presencia de oolitas indica condiciones de aguas cálidas sobresaturadas en carbonato de calcio, agitadas por el oleaje, en un margen de lago carbonático. Estas fueron posteriormente reabajadas por el sistema fluvial que depositó los conglomerados.

- **Facies 2 (F2)**

#### *Descripción*

La facies 2, de 4 metros de espesor, está compuesta por pelitas oscuras bioturbadas dispuestas en láminas centimétricas que se intercalan con areniscas muy finas a fangosas y margas de color gris claro (Figura 7.30).

Las pelitas presentan laminación paralela (Fl) y laminación ondulítica (Fr), mientras que las areniscas tienen laminación ondulítica (Sr) y las margas son masivas (Mm). Hacia el techo se observa laminación heterolítica de tipo *flaser*.



Figura 7.30. Intercalación de pelitas, areniscas y margas de la facies 2.

### *Interpretación*

La facies 2 se interpreta como un cuerpo de agua estanco, en donde predominó la precipitación de pelitas oscuras. Los delgados bancos de areniscas y margas podrían interpretarse como depositados por crecidas de canales adyacentes al cuerpo de agua. La presencia de sedimentos mixtos podría asociarse a una oscilación en las condiciones de saturación de carbonato de calcio por variaciones en el nivel del agua. Hacia el techo, la oscilación entre condiciones de tracción y decantación habría generado la laminación heterolítica de tipo flaser.

Por otra parte, F2 puede ser interpretada como depósitos de centro de lago efímero clástico, en base a la predominancia de procesos de decantación de pelitas oscuras con delgadas intercalaciones de margas y areniscas. Estos bancos indican condiciones de tracción por flujos fluidos distales de bajo régimen de flujo, así como también, una oscilación en las condiciones de salinidad y de saturación de carbonato de calcio típicas de la planicie fangosa salina.

- **Facies 3 (F3)**

### *Descripción*

La facies 3, de entre 20 a 40 metros de espesor, está conformada predominantemente por bancos tabulares de pelitas anaranjadas que se intercalan con bancos de areniscas finas de color castaño (Figura 7.31). Las pelitas se presentan masivas y laminadas (FI) en cuerpos de entre 2 a 12 metros de potencia.

Los bancos de areniscas tienen base plana y se presentan masivas (Sm), laminación horizontal ( $Sh\uparrow$ ) y estratificación entrecruzada de bajo ángulo (SI). Ocasionalmente, se intercalan bancos de yeso masivo de 50 cm de espesor (Figura 7.32).

En general, hacia la base de esta facies, las intercalaciones de areniscas tienden a ser escasas y menores a un metro, pero se tornan más frecuentes y muestran un aumento en su potencia hacia el techo, donde llegan a tener hasta 5 metros. Esta disposición genera una marcada tendencia grano y estratocreciente.

Hacia el techo de la F3, se intercala un banco tabular, con gran continuidad lateral, de una toba de menos de 2 metros de espesor (Anexo III, LP 07).



Figura 7.31. Alternancia de bancos de areniscas finas y bancos de pelitas de la facies 3.

### *Interpretación*

La facies 3 se interpreta como la transición desde depósitos de planicie fangosa a una planicie arenosa.

Los intervalos de pelitas masivos y laminados son característicos de la planicie fangosa en donde predominaron los procesos de decantación de la carga en suspensión, mientras que las intercalaciones de bancos arenosos tabulares masivos y/o con laminación horizontal de alto régimen de flujo se formaron como mantos de crecientes no encauzadas producto de avenidas fluviales en el sector de planicie arenosa externa. Los bancos de yeso, por otra parte, habrían precipitado en condiciones estacionales de aumento de la salinidad o asociados a variación de la línea de costa dentro de la planicie fangosa salina. Entre los eventos de crecida se produjo una caída de cenizas volcánicas que dejó como resultado el nivel tobáceo.

El incremento hacia el techo de las areniscas y su espesor se vincularía a la progradación de cuerpos arenosos que conforman la planicie arenosa interna por sobre los depósitos pelíticos de la planicie fangosa y los yesos de la planicie fangosa salina.

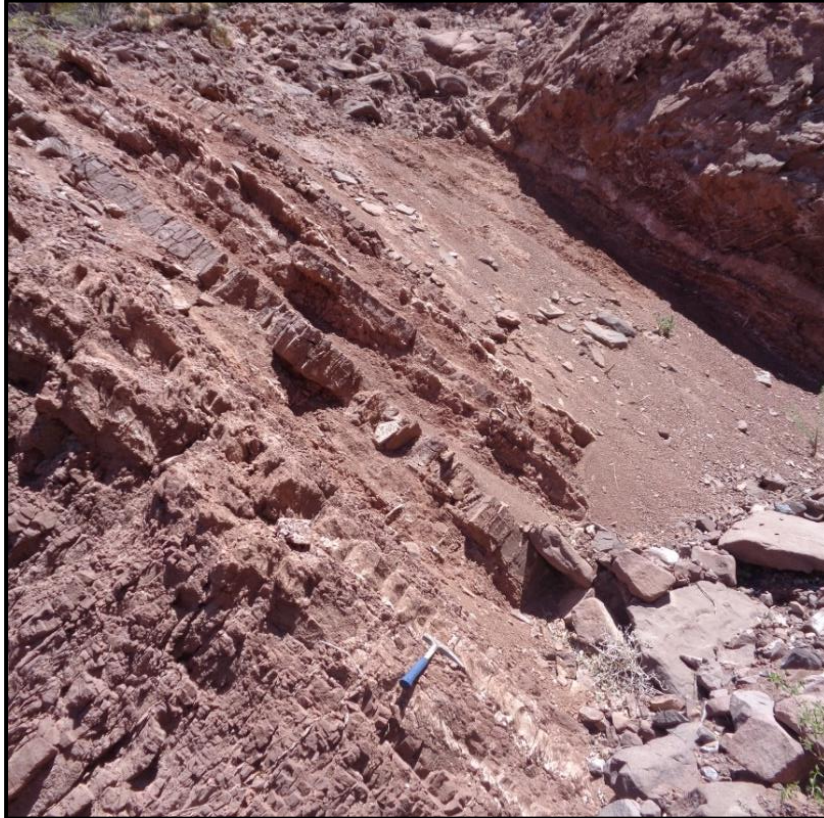


Figura 7.32. Bancos masivos de yeso al tope de las areniscas finas de la facies 3.

- **Facies 4 (F4)**

*Descripción*

La facies 4 está formada por areniscas finas castañas rojizas con estratificación entrecruzada tabular planar (Sp) y laminación ondulítica (Sr) de hasta 2 metros de espesor. En algunos sectores, se observan particiones pelíticas y laminación heterolítica tipo *flaser* (Figura 7.33). Las areniscas se encuentran altamente diaclasadas lo que dificulta analizar la estratificación. Esta facies se ubica al tope de la F3 conformando ciclos granocrecientes (Figura 7.34).

*Interpretación*

La facies 4 se interpreta como el apilamiento de depósitos de barras de desembocadura de poco porte en la planicie arenosa externa. Evidencias de esto son el arreglo interno granocreciente y la predominancia de estructuras tractivas como laminación ondulítica de corriente y estratificación entrecruzada tabular planar. Por otra parte, los intervalos de areniscas masivas se asociarían a depósitos de crecidas en manto, mientras que las intercalaciones pelíticas se habrían depositado durante momentos en los que predominó la decantación entre depósitos de mayor energía.

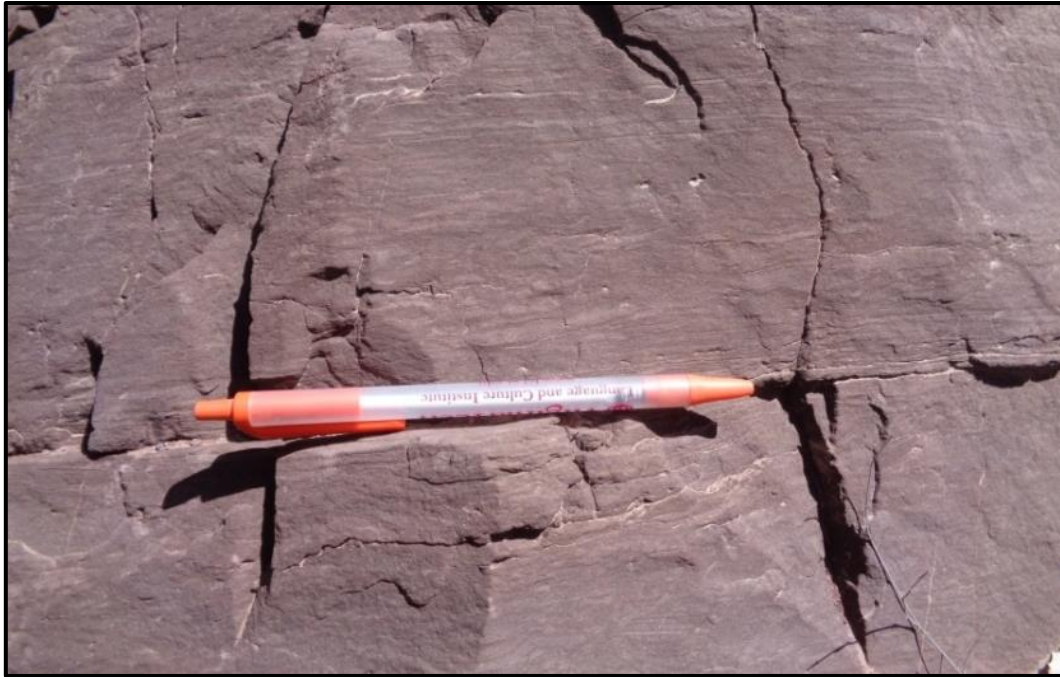


Figura 7.33. Laminación heterolítica tipo *flaser*.



Figura 7.34. Bancos de areniscas castañas de la F4 por sobre las intercalaciones cíclicas típicas de la F3 conformando un ciclo granocreciente. En el tope areniscas con estratificación entrecruzada de la Formación Vallecito.

### 7.3.2. Evolución ambiental de la Formación Puesto La Flecha

En el Cuadro 7.5, se presenta un resumen de las facies antes descritas para la Formación Puesto La Flecha con su respectiva interpretación. Estas facies han sido agrupadas en asociaciones de facies para la interpretación de la evolución paleoambiental (Cuadro 7.6).

Litofacies	Facies	Interpretación
Gcm	F1	Depósitos de canales efímeros pandos de moderada energía en un margen de lago clástico
Fl, Fr, Mm, Sr	F2	Planicie fangosa salina o cuerpo de agua estanco
Fl, Fr, Sh, Sr, Sm, Ym	F3	Transición de planicie fangosa a planicie arenosa interna
Sr, Ht, Sl	F4	Planicie arenosa externa

Cuadro 7.5. Facies definidas para la Formación Puesto La Flecha, las litofacies que las conforman y su interpretación.

Asociación de facies	Interpretación
AF-PF1= F1	Sistema fluvial efímero con canales pandos
AF-PF2= F2 + F3 + F4	Sistema lacustre efímero clástico-evaporítico

Cuadro 7.6. Asociaciones de facies definidas para la Formación Puesto La Flecha.

El perfil se puede dividir en dos secciones, una inferior y una superior. La inferior, de 4-6 metros de espesor, es de tendencia granodecreciente y está compuesta por la AF-PF1; mientras que la superior, de 150 metros de espesor, presenta dos ciclos grano y estrato crecientes que conforman la AF-PF2 (Figura 7.36).

El sector inferior se interpreta como depósitos de sistemas fluviales de baja energía y de naturaleza efímera (AF-PF1=F1), formados por canales areno-conglomerádicos con intraclastos pelíticos y fragmentos de placas dérmicas y huesos de tortuga. Estos depósitos fluviales evolucionan verticalmente a los sistemas de barreales de la AF-PF2.

El sector superior, por encima del nivel conglomerádico basal, está formado por la sucesión de las facies 2, 3 y 4 (AF-PF2) conformando dos ciclos grano y estratocrecientes. Estos ciclos se interpretan como debidos a la expansión-contracción de un sistema lacustre efímero clástico-evaporítico (barreal). En la base del primer ciclo, se depositaron las pelitas, areniscas y margas de la F2 dentro de la planicie fangosa salina en donde los procesos de decantación fueron periódicamente interrumpidos por eventos de depositación de areniscas y margas por flujos tractivos. Esta facies podría ser también considerada como un ambiente transicional fluvial efímero-lacustre con depositación en un cuerpo de agua estanco.

Por encima de la F2, se depositaron las pelitas masivas y laminadas con intercalaciones de areniscas finas con laminación horizontal, masivas y estratificación entrecruzada de bajo de



la F3. En esta facies fue predominante la depositación por decantación en un ambiente de planicie fangosa, pero con periódicos eventos de depositación de areniscas por crecidas mantiformes no encauzadas. El arreglo grano y estratocreciente de esta facies está marcando la progradación de las facies fluviales circundantes sobre el sistema lacustre efímero. Por otra parte, los bancos de yeso se asocian a desecaciones periódicas. Por último, la F4, al tope de cada ciclo, representa la progradación de barras de desembocadura de los sistemas fluviales circundantes al lago (planicie arenosa externa) sobre las facies de planicie fangosa a planicie arenosa interna de la F3. El apilamiento de las barras de desembocadura conformando un depósito de hasta 15 metros (F3) se podría interpretar como debido a un aumento de la tasa de generación de espacio de acomodación.

En conclusión, la Formación Puesto La Flecha fue depositada en un ambiente continental en donde predominó la depositación dentro de un sistema lacustre efímero clástico. En la base de la unidad, hay un intervalo fluvial efímero de canales pandos que erosionó el techo de la Formación Ciénaga del Río Huaco. El sistema lacustre sufrió, al menos, dos ciclos de expansión asociados a la aparición de potentes bancos de pelitas, en la base de cada ciclo, y dos ciclos de contracción, en la parte media y superior de cada ciclo, representados por la intercalación de las facies 3 y 4 conformando una tendencia grano y estratocreciente.

### **Conclusión de las secciones 7.1, 7.2 y 7.3**

En base a lo visto anteriormente, se evidencia que el clima y la paleogeografía durante la depositación de las formaciones Santo Domingo, Ciénaga del Río Huaco y Puesto La Flecha fueron similares, con sistemas fluviales efímeros de baja energía y áreas de baja pendiente donde se formaban lagos someros semipermanentes y barreales desarrollados bajo un clima semiárido a árido. Llama la atención que, a pesar de la similitud entre estos sistemas depositacionales y las condiciones climáticas, las sucesiones analizadas fueron depositadas en dos ciclos sedimentarios separados en el tiempo y en dos tipos de cuencas diferentes (Limarino *et al.*, 2016): un sistema de rift (Triásico Superior-Jurásico Inferior) y un sistema de retroarco extensional (Cretácico Superior-Paleógeno). En este tipo de cuencas continentales sin conexión con el mar, los cambios en los sistemas depositacionales a lo largo del tiempo están principalmente controlados por los procesos tectónicos en los bordes de cuenca y de subsidencia dentro de la misma, así como por factores climáticos (Catuneanu, 2006). Teniendo en cuenta esta hipótesis, tanto las tasas de generación de espacio de acomodación como el clima y la paleogeografía deben haber sido similares en las diferentes unidades analizadas como para justificar la semejanza de los paleoambientes sedimentarios a lo largo del tiempo.

Si analizamos la variación de la acomodación a lo largo de los perfiles, se puede observar una tendencia marcada y repetida en las tres formaciones analizadas. En primer lugar, hacia la base de cada una de las unidades, la relativamente baja acomodación queda evidenciada por el desarrollo de sistemas fluviales efímeros de baja energía con escaso desarrollo de planicies de inundación o sin estas. Posteriormente, un incremento en la acomodación se revela a partir del desarrollo de sistemas lacustres. Hacia el sector medio y superior de las unidades, la progradación autocíclica de los sistemas fluviales de la planicie arenosa externa sobre los sistemas lacustres condicionó la formación de ciclos grano y estratocrecientes en condiciones de relativa estabilidad tectónica y acomodación decreciente. Cabe destacar que en el caso de la

Formación Ciénaga del Río Huaco, si bien se observa un incremento de la acomodación desde la sección basal, de tipo fluvial efímera, a la intermedia, de tipo barreal, las condiciones de acomodación se habrían mantenido en el tiempo.

Por otra parte, y como se ha mencionado anteriormente, las condiciones climáticas durante la depositación de las tres unidades perfiladas han sido predominantemente semiáridas a áridas, demostrado por el desarrollo de sistemas fluviales efímeros, depósitos eólicos y lacustres efímeros. En este contexto, las periódicas oscilaciones de la línea de costa de los sistemas lacustres resultaron en ciclos de contracción-expansión y en marcados cambios de salinidad evidenciados por la precipitación de evaporitas y la presencia de fósiles de ambientes restringidos. Ocasionalmente, la disminución del nivel freático produjo la desecación del área convirtiéndola temporalmente en una superficie susceptible a la deflación eólica. Esto permitió que los sedimentos fueran reorganizados por el viento en dunas y depósitos de interacción eólico-fluvial hacia los márgenes del sistema lacustre (planicie arenosa externa). Durante los períodos de mayor aridez, se produjo la transición a sistemas eólicos de gran porte como al techo de la Formación Ciénaga del Río Huaco. A pesar de la aparente homogeneidad de las condiciones climáticas, a lo largo del perfil se observa una tendencia progresiva de aumento de la aridez que culminó con el establecimiento de las condiciones desérticas de la Formación Vallecito, al techo de la Formación Puesto La Flecha.

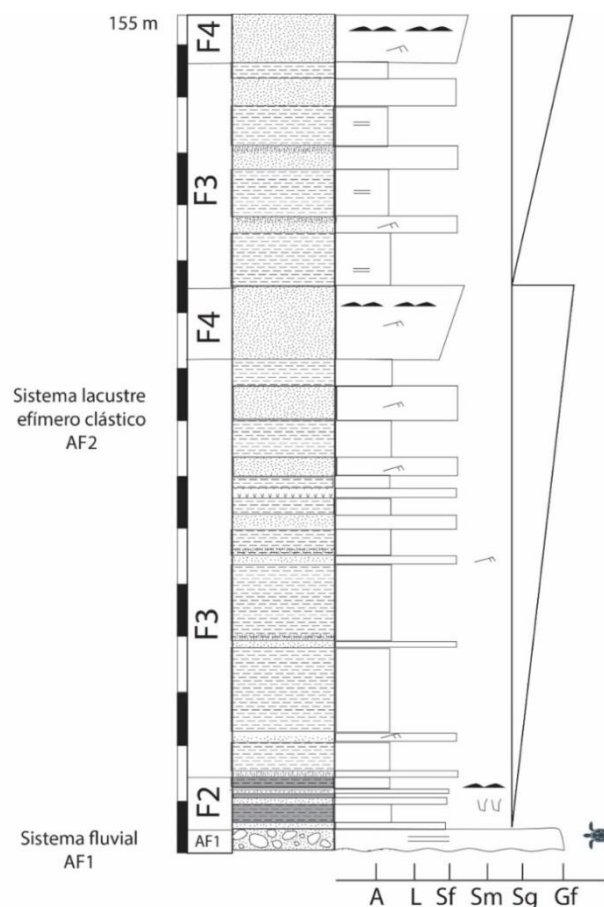


Figura 7.36. Perfil de la Formación Puesto La Flecha en donde se indica la interpretación de las asociaciones de facies y se marcan los ciclos granocrecientes del sistema lacustre.

## 8. PETROGRAFÍA Y PROCEDENCIA DE ARENISCAS

Con el fin de estudiar la composición modal de las areniscas de las unidades aflorantes en la zona de interés y establecer posibles áreas de procedencia, se tomaron 15 muestras de areniscas a las que se les realizaron cortes delgados. Del total de las muestras, 12 corresponden a las formaciones Santo Domingo, Ciénaga del Río Huaco, Puesto La Flecha y Vallecito (Figura 8.1.B), 3 corresponden a la matriz arenosa de los conglomerados de la Formación El Corral y a los depósitos cuaternarios suprayacentes (Figura 8.1.A).

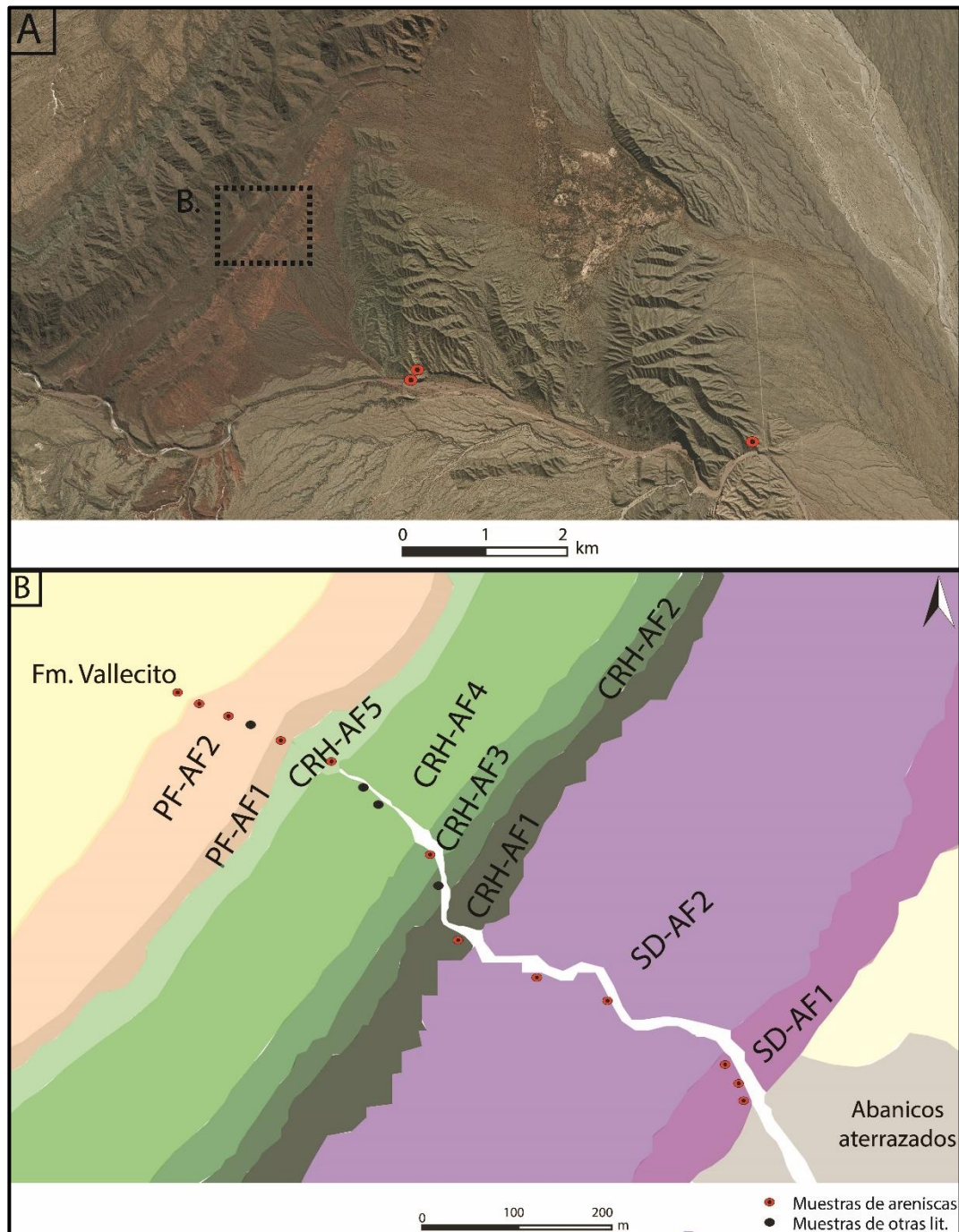


Figura 8.1. A. Ubicación de las muestras de matriz arenosa de conglomerados de la Formación El Corral y el Cuaternario. B. Ubicación de las muestras recolectadas en las formaciones Santo Domingo (SD), Ciénaga del Río Huaco (CRH), Puesto La Flecha (PF) y Vallecito.

En primer lugar, se realizó la descripción petrográfica de las areniscas y se estimó el porcentaje relativo de clastos, matriz, cemento y porosidad (Anexo III). Posteriormente, se definieron los principales litotipos (Tabla 8.1) y se estableció, cuantitativamente, su proporción relativa. Para los estudios de granulometría, se empleó el programa de análisis de imágenes JMicrovision 2007 y, para los conteos, se utilizó la metodología tradicional por la homogeneidad del tamaño de grano fino a muy fino de casi todas las muestras. A partir de los conteos de hasta 350 clastos por muestra y de su recálculo, se utilizaron el diagrama de Folk *et al.* (1970) para clasificar composicionalmente las muestras, y los diagramas de Dickinson *et al.* (1983) con el fin de obtener información sobre las posibles áreas de procedencia.

<i>Componentes</i>	<i>Código</i>	<i>Descripción</i>
<i>Cuarzo</i>	$Q_m$	Fragmentos de cuarzo monocristalino
	$Q_p$	Fragmentos de cuarzo policristalino
<i>Feldespatos Potásico</i>	$F_k$	Fragmentos de cristales de feldespato potásico
	$P_g$	Fragmentos de cristales de plagioclasa
	$O_m$	Fragmentos de cristales de microclino
<i>Líticos</i>	$L_{sc}$	Fragmentos de sedimentitas
	$L_{va}$	Fragmentos de volcanitas ácidas con textura afanítica y felsítica
	$L_{vb}$	Fragmentos de volcanitas básicas con pasta vítrea
	$L_m$	Fragmentos de metamorfitas de bajo grado
	$L_{vt}$	Fragmentos de líticos tobáceos
	$L_c$	Fragmentos de calizas

Tabla 8.1. Componentes principales reconocidos en los cortes petrográficos y código de los litotipos utilizados.

El resultado de los análisis texturales y observaciones en el microscopio petrográfico se volcó en la Tabla 8.2. Como se puede observar, casi todas las muestras se corresponden con areniscas finas a muy finas moderadamente a bien seleccionadas. La fábrica es clasto-sostén y la mayoría de los contactos entre clastos son tangenciales a rectos asociados a un bajo a moderado grado de compactación (Figura 8.2).

A pesar de la aparente homogeneidad granulométrica, se puede observar que las muestras que han sido recolectadas en bancos arenosos interpretados como depósitos fluviales (LP 08, LP 09, LP13, LP 04) presentan un grado menor de selección que las muestras que han sido tomadas en depósitos arenosos de crecidas mantiformes.

Por otra parte, las areniscas finas a muy finas con estratificación entrecruzada tabular planar interpretadas como depósitos eólicos (LP 17, LP 01) son las que presentan la mejor selección de todas las muestras.

Formación	Muestra	Selección	Granulometría	Contactos	%Cl	%Cm	%M	%P	Cemento
<i>SANTO DOMINGO</i>	LP 08	MS	AF	CC, R	94	5	<1	<1	C, OxFe, Y, CSQ, CSF
	LP 09	MS	AF	CC, R	93	6	<1	<1	CSQ, Y, C, OxFe, CSF
	LP 10	MS	AMF	CC, R	90	8	<2	<1	C, OxFe, Y
	LP 12	MS	AF	T, R	95	4	1	<1	Y, OxFe, Anh
	LP 19	MBS	AF	T, R	92	7	<1	<1	CSC, Y, C
<i>CIÉNAGA DEL RÍO</i>	LP 13	MS	AM	T, R	95	4	<1	1	Y, OxFe
	LP 14	MS	AMF	T, R	91	5	3	<1	OxFe, C, Z, Anh
<i>HUACO</i>	LP 17	BS	AMF	T, R	95	4	<1	<1	OxFe, Z
<i>PUESTO LA FLECHA</i>	LP 04	MS	AF	T, R	95	3	2	<1	C, OxFe, Z
	LP 02	MS	AMF	T, R	93	5	1	<1	C, OxFe, Z
	LP 03	MS	AMF	T, R	91	5	4	<1	Z, OxFe, C
<i>VALLECITO</i>	LP 01	MBS	AF	T	93	6	1	<1	Z, OxFe
<i>EL CORRAL</i>	LP 20	MS	AM	T	90	7	<1	2	C
	LP 22	MS	AM	T	91	6	<1	2	C
<i>CUATERNARIO</i>	LP 21	MS	AG	T	90	7	<1	2	C

Tabla 8.2. Resumen de las principales características texturales, porcentajes estimados de clastos(%Cl), cemento (%Cm), matriz (%M), porosidad (%P) y tipos de cementos. Selección: MS= moderadamente seleccionados, MBS= moderadamente bien seleccionados, BS= bien seleccionados. Granulometría: AMF= arenisca muy fina, AF= arenisca fina, AM= arenisca media, AG= arenisca gravillosa. Contactos: CC= cóncavo-convexos, R=rectos, T= tangenciales. Cementos: C= cemento carbonático, OxFe=cemento de óxidos de hierro, Y= cemento de yeso, CSQ= crecimiento secundario de cuarzo, CSF= crecimiento secundario de feldespato, Anh=cemento de anhídrita, Z= cemento de ceolitas.

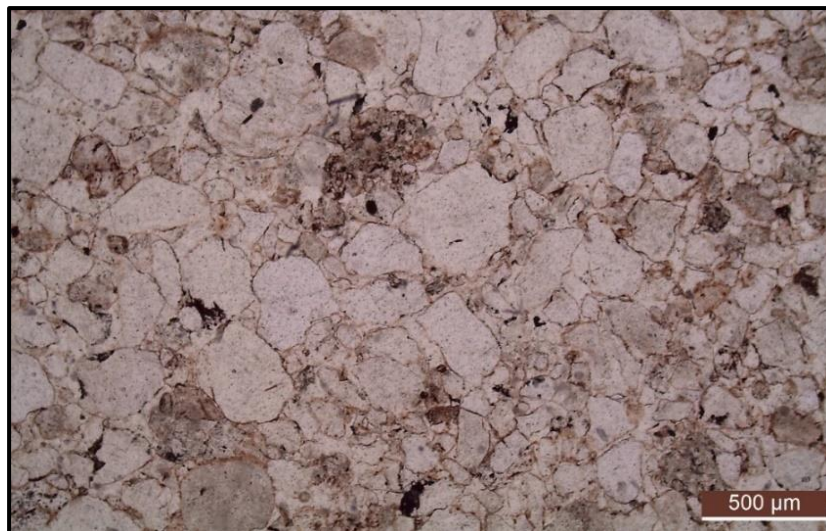


Figura 8.2. Fábrica clasto-sostén, contactos tangenciales y rectos característicos de las muestras observadas.

### 8.1. Elementos modales y litotipos

La fracción clástica representa un 90 a 95% de los cortes y está conformada por diferentes litotipos que se describen a continuación.

#### ➤ Cuarzo

El cuarzo es el componente modal más abundante en las muestras analizadas y es posible reconocer dos tipos: monocristalino y policristalino. El primero es más abundante que el segundo y se presenta en clastos subredondeados que generalmente poseen extinción normal. En menor medida, se observan granos con extinción ondulosa y fragmentosa (Figura 8.3). Estos clastos suelen ser límpidos, aunque en algunos cristales pueden distinguirse inclusiones fluidas. Por otra parte, el cuarzo policristalino ( $Q_p$ ) es grueso y se presenta en las muestras en un porcentaje muy bajo (Figura 8.4).

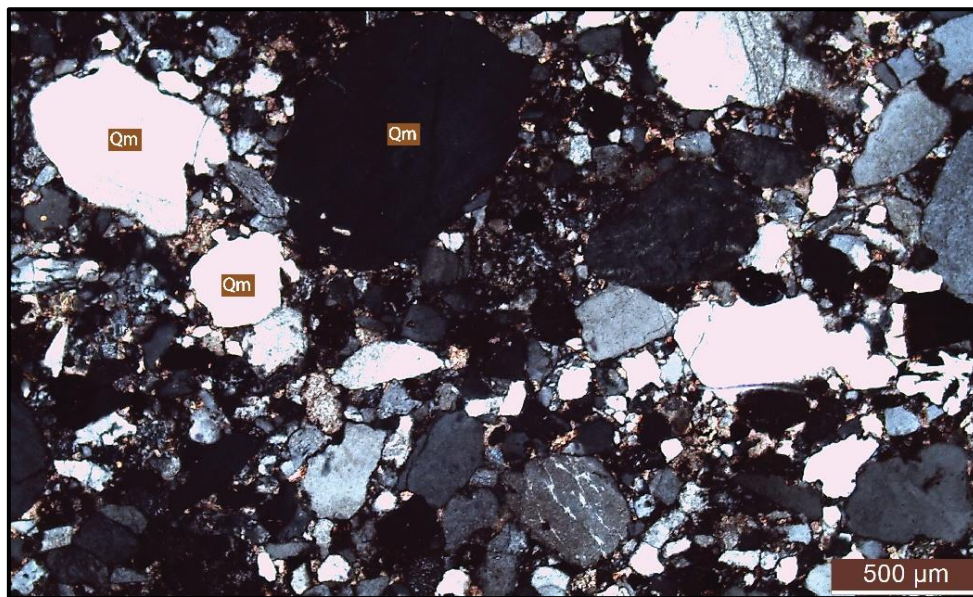


Figura 8.3. Clastos subredondeados de cuarzo monocristalino ( $Q_m$ ).

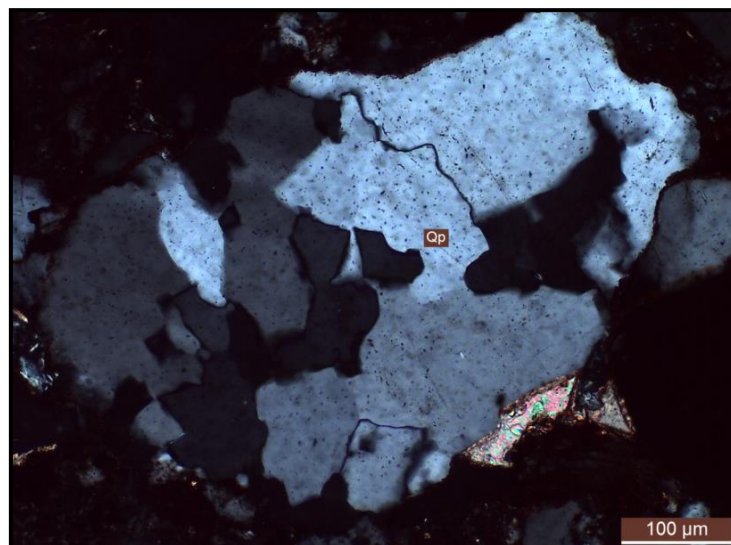


Figura 8.4. Fragmento de cuarzo policristalino grueso ( $Q_p$ ).

### ➤ Feldespatos

En las muestras se reconocen tres variedades de feldespatos: ortosa, plagioclasa y microclino. Los primeros dos son los más abundantes y varían su preponderancia en las diferentes formaciones. La ortosa predomina en la Formación Santo Domingo, y se presenta en clastos subangulosos con forma tabular característica, y alteración moderada a arcillas y sericita. En algunos casos se observan bordes corroídos (Figura 8.5).

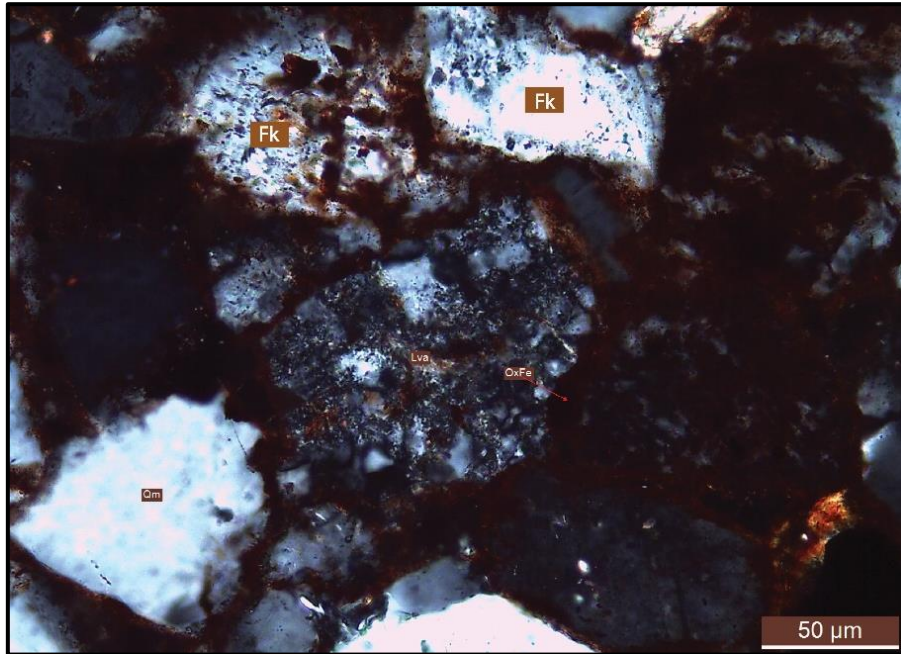


Figura 8.5. Aspecto de los clastos de ortosa (Fk).

Los clastos de plagioclasa se presentan angulosos a subangulosos y se distinguen por la macla polisintética característica (Figura 8.6). En algunos casos, están levemente alterados a arcillas y poseen bordes corroídos. En particular, se observa que los clastos de plagioclasa de la Formación Santo Domingo son subredondeados y menos abundantes que los feldespatos. Por el contrario, en las formaciones Ciénaga del Río Huaco, Puesto La Flecha y Vallecito, las plagioclasas tabulares y subangulosas son predominantes.

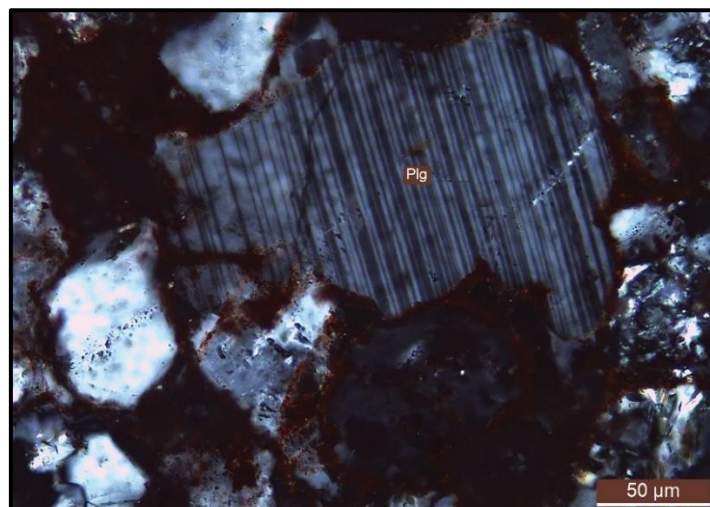


Figura 8.6. Clastos de plagioclasa con macla típica polisintética.

El microclino, distinguible por su macla en arpillera, solo se encuentra presente en muy baja proporción (<2%) en una sola muestra de la Formación Santo Domingo (Figura 8.7). A pesar de esto, representa una señal conspicua de procedencia del basamento cristalino.

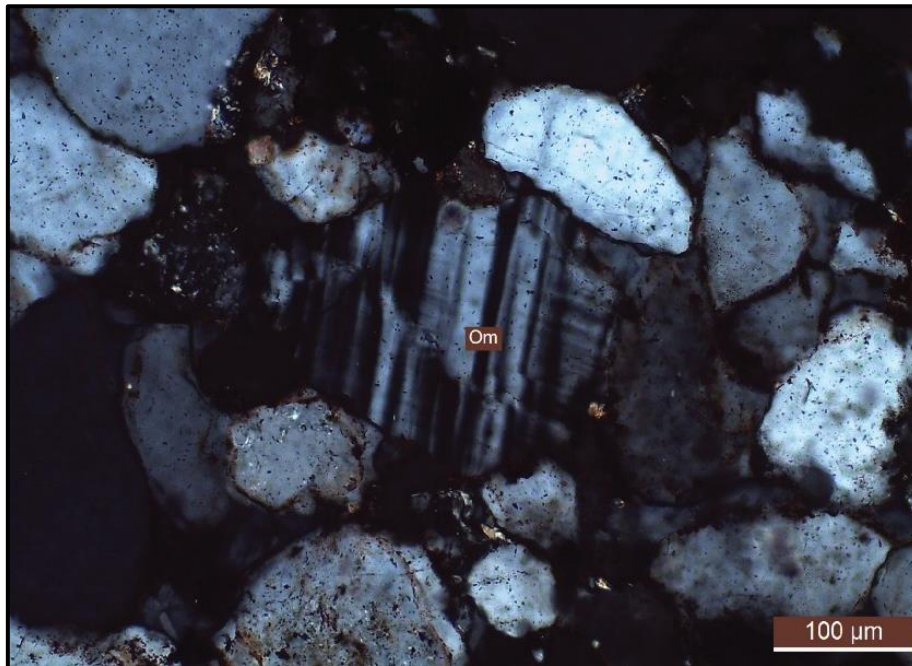


Figura 8.7. Clastos de microclino con macla en arpillera.

#### ➤ Fragmentos líticos

Los fragmentos líticos pueden dividirse según su origen en volcánicos, sedimentarios y metamórficos. De forma general, todos estos clastos se presentan subredondeados y levemente deformados. Los más abundantes son los líticos volcánicos, aunque las muestras de matriz arenosa de la Formación El Corral y del Cuaternario presentan predominancia de líticos sedimentarios.

Dentro de los líticos volcánicos, se han reconocido vulcanitas ácidas, básicas y líticos tobáceos. Los líticos de vulcanitas ácidas tienen textura felsítica y porfírica (Figura 8.8.A y B), mientras que los fragmentos de líticos básicos presentan pasta vítrea oscura (Figura 8.8.C). Los líticos tobáceos aparecen en las formaciones Ciénaga del Río Huaco y El Corral en muy baja proporción, y se caracterizan por su coloración oscura asociada al alto contenido de vidrio y trizas vítreas (Figura 8.8.D).

Los líticos metamórficos están exclusivamente formados por metamorfitas de bajo grado, correspondientes a pizarras y filitas distinguibles por la orientación preferencial de los minerales micáceos (Figura 8.9). En algunas ocasiones, estos fragmentos se encuentran tan deformados que comienzan a constituir una incipiente pseudomatriz.



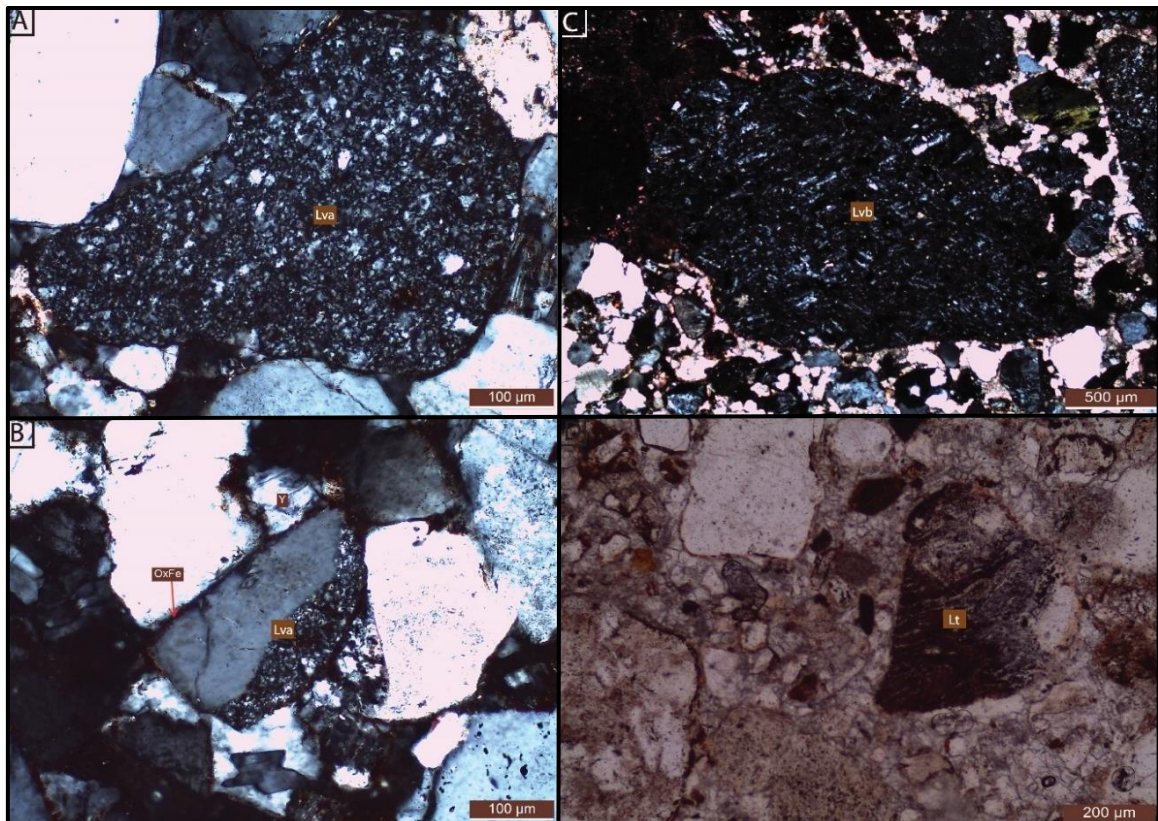


Figura 8.8. A. Lítico volcánico ácido de textura felsítica. B. Lítico volcánico ácido de textura porfírica. C. Lítico volcánico básico con pasta vítrea oscura. D. Lítico tobáceo con alto contenido de vidrio y preservación de trazas vítreas.

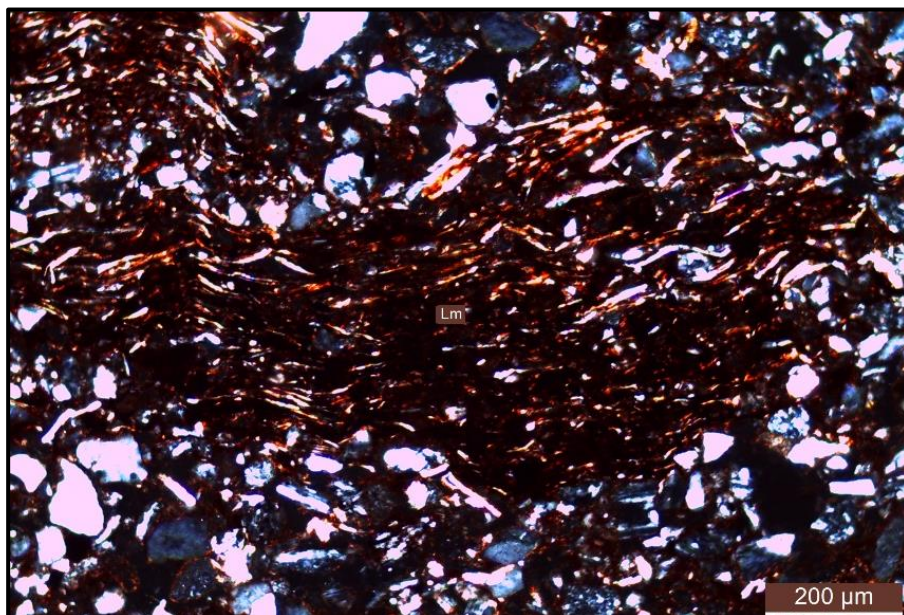


Figura 8.9. Fragmento de metamorfito de bajo grado (Lm).

Como se ha mencionado anteriormente, los líticos sedimentarios son más abundantes en las unidades más jóvenes, y están formados por sedimentitas clásticas y carbonáticas. Se distinguen dos tipos de líticos sedimentarios clásticos: los de color claro, formados por areniscas ricas en cuarzo de grano fino (<60 μm) (Figura 8.10.A), y los de color rojo (Figura 8.10.B). Los

fragmentos de líticos carbonáticos también están formados por dos tipos: los fragmentos conformados casi en su totalidad por esparita microgranular (Figura 8.10.C) y los fragmentos de margas con ooides (Figura 8.10.D).

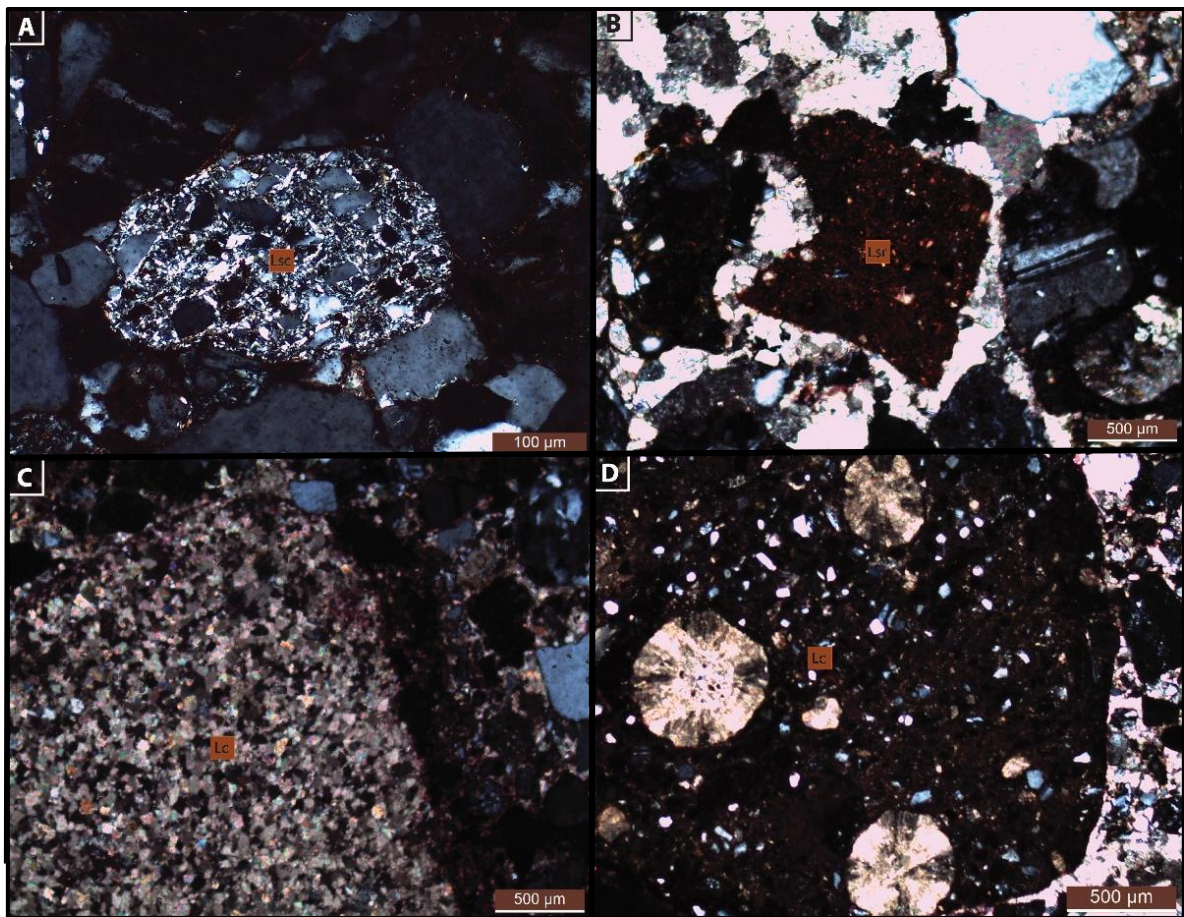


Figura 8.10. A. Líticos sedimentarios clásticos claros. B. Líticos sedimentarios clásticos de matriz roja. C. Líticos sedimentarios carbonáticos conformados por esparita microgranular. D. Fragmentos de líticos margosos con ooides.

#### ➤ **Minerales accesorios y opacos**

Representan un 1% de las muestras y están caracterizados por biotita, muscovita y minerales opacos. Las micas se presentan con marcado hábito laminar (Figura 8.11) y los opacos son subredondeados.

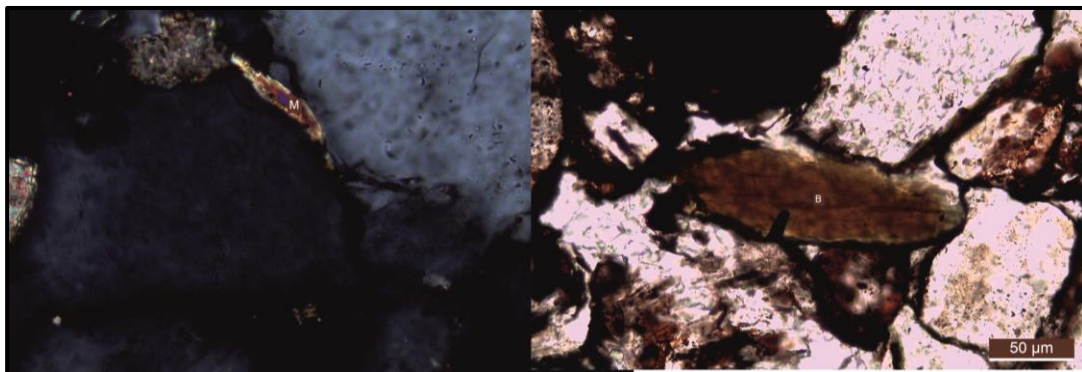


Figura 8.11. Clastos de micas y de biotita como minerales accesorios principales.

## 8.2. Cementos y matriz

El cemento representa del 3 al 8% de las muestras y está conformado por carbonatos, arcillas, óxidos de hierro, yeso, ceolitas, anhidrita, sílice y feldespato.

Los carbonatos, arcillas y óxidos de hierro se encuentran presentes en todas las muestras. En particular, el cemento carbonático tiene textura poikilítica (Figura 8.12.A) y en mosaico granular a microgranular. Las arcillas y los óxidos de hierro aparecen como pátinas sobre los clastos o como rebordes (*rims*) alrededor de los mismos (Figura 8.12.B).

En la Formación Santo Domingo, se reconoció tanto sílice (Figura 8.12.C) como feldespato (Figura 8.12.D) como crecimiento secundario. El yeso se presenta en mosaico granular y es un cemento importante en las muestras de la Formación Santo Domingo y Ciénaga del Río Huaco (Figura 8.12.E). En algunos sectores, se puede distinguir cemento de anhidrita reconocible en base a sus colores fuertes de birrefringencia (Figura 8.12.F).

En general, se puede definir una secuencia de precipitación de cementos, en donde el crecimiento secundario fue el primero en generarse, luego se formaron los óxidos y las arcillas como *rims* alrededor de los clastos y, posteriormente, hacia los poros precipitaron el carbonato y el yeso.

En las muestras de las formaciones Ciénaga del Río Huaco, Puesto La Flecha y Vallecito, el cemento más abundante es de ceolitas isótropas con textura de mosaico grueso (analcima) (Figura 8.13).

Por último, en las muestras de matriz arenosa de la Formación El Corral y de los niveles aterrizados cuaternarios, los carbonatos de textura poikilítica son el material ligante principal entre los clastos.

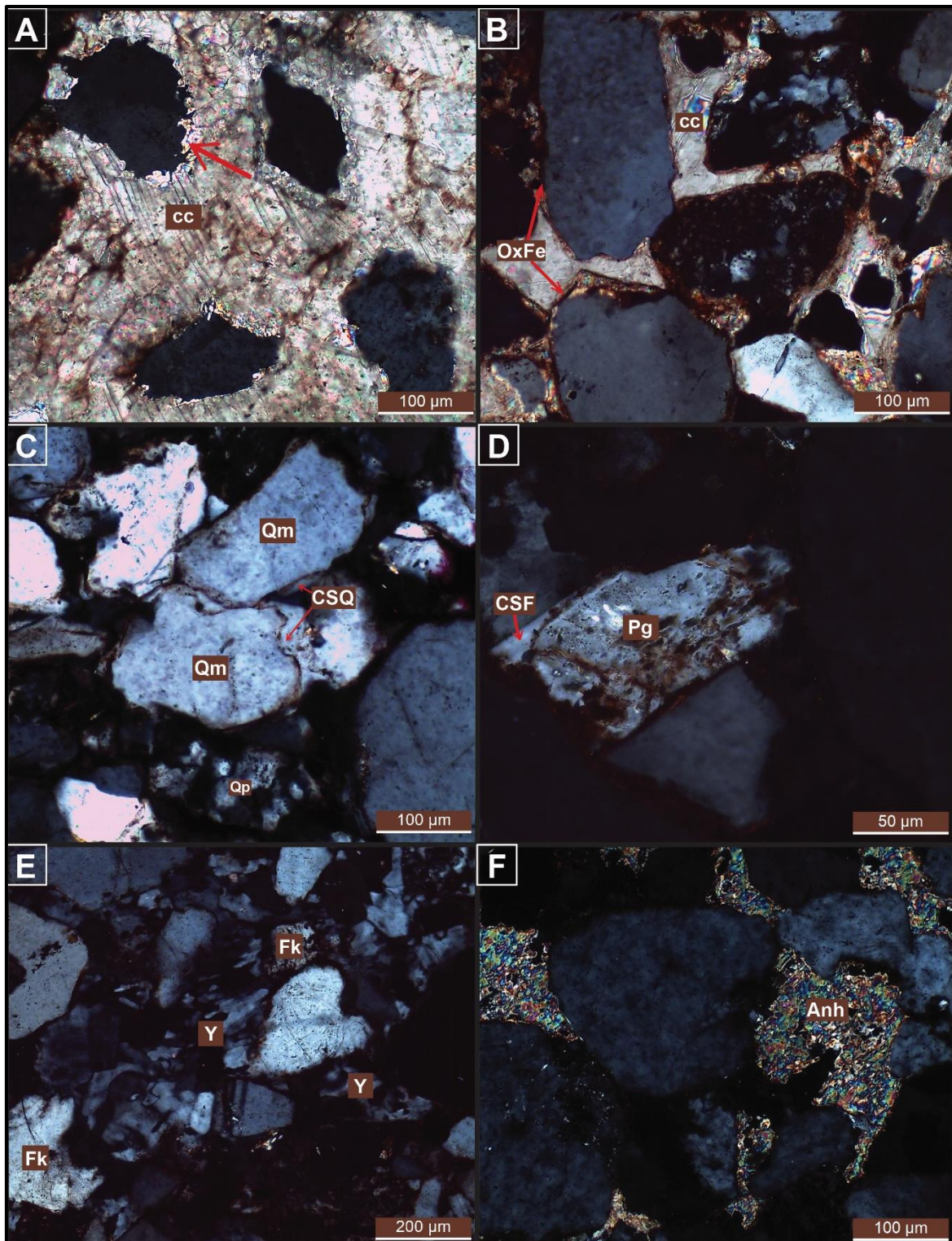


Figura 8.12. A. Cemento carbonático poikilítico, se señalan bordes corroídos con flecha roja. B. Cemento carbonático (CC) y *rims* de óxidos de hierro (OxFe). C. Crecimiento secundario de cuarzo (CSQ) sobre clasto de cuarzo monocristalino (Qm). D. Crecimiento secundario de feldespato (CSF) sobre plagioclasa (Pg). E. Cemento de yeso (Y). F. Cemento de anhidrita (Anh).

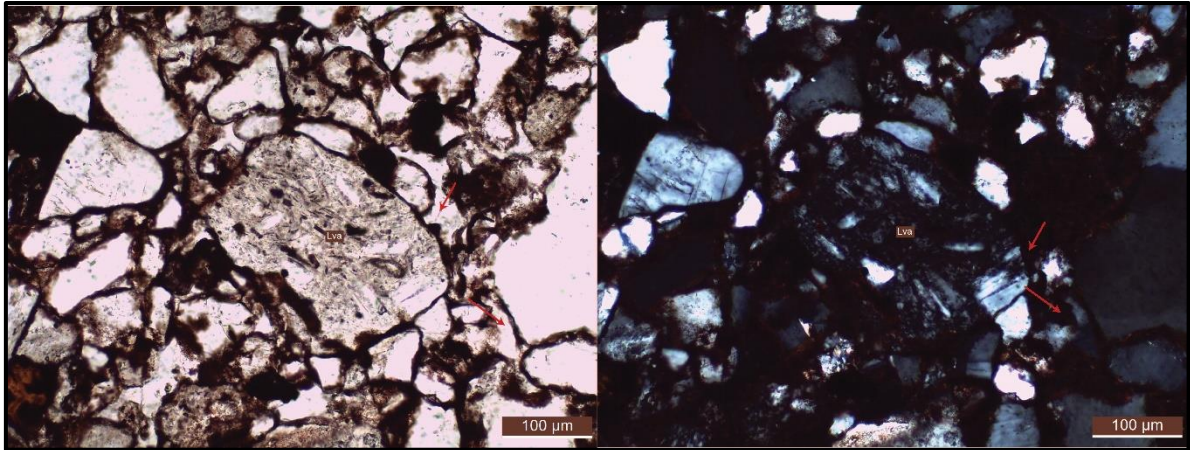


Figura 8.13. Cemento de ceolitas isotropas (analcima).

La matriz se observa en menos de un 1% en todas las muestras. En algunos casos, se presenta como pseudomatriz debido a la descomposición de líticas y minerales feldespáticos.

### 8.3. Porosidad

La porosidad observada es muy baja (<1%) y de tipo interparticular aunque es ligeramente mayor (2%), en las muestras pertenecientes a la Formación El Corral y depósitos cuaternarios. Se puede distinguir, además, porosidad de tipo intraparticular y porosidad secundaria por disolución parcial de fragmentos líticos (Figura 8.14).

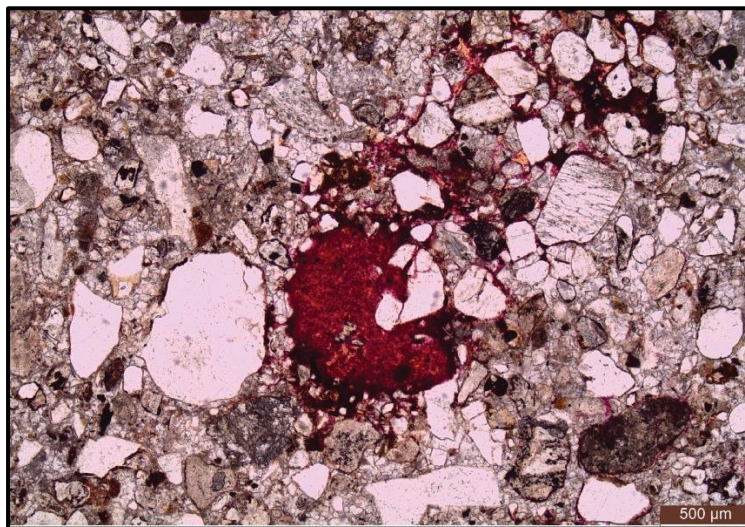


Figura 8.14. Porosidad por disolución de fragmentos líticos (en rojo), en una muestra de la Formación El Corral.

### 8.4. Clasificación de las areniscas

Una vez descriptos los diferentes litotipos presentes en las muestras, se realizaron conteos para establecer la proporción relativa de cada uno de ellos (Tabla 8.3).

Formación	Muestra	Qm%	Qp%	Fk%	Plg%	Ls%	Lva%	Lvb%	Lm%	Lvt%	A%
SANTO DOMINGO	LP 08	54,28	3,29	32,56	3,29	0,99	4,93	---	0,66	---	---
	LP 09	61	2,00	29,34	3,00	---	3,00	---	1,33	---	0,33
	LP 10	61,13	2,33	28,90	3,00	---	1,66	---	1,66	---	1,32
	LP 12	60,06	2,79	30,03	1,55	1,25	4,02	---	---	---	0,31
	LP 19	62,8	0,91	26,52	2,46	---	0,30	---	6,4	---	0,61
CIÉNAGA DEL RÍO HUACO	LP 13	49,33	---	0,66	1,33	---	30,67	10,00	1,67	6,34	---
	LP 14	61,08	---	---	17,72	---	7,28	12,97	---	---	0,95
	LP 17	51,86	---	9,16	17,29	---	5,76	15,25	---	---	0,68
PUESTO LA FLECHA	LP 04	82,66	2,32	2,31	7,51	---	---	4,05	---	---	1,15
	LP 02	62,18	1,28	---	21,48	---	11,22	2,88	---	---	0,96
	LP 03	46,25	---	---	22,19	---	18,44	9,37	0,94	---	2,81
VALLECITO	LP 01	30,98	---	---	27,89	---	0,85	38,23	---	---	2,25
EL CORRAL	LP 20	47,49	---	15,38	6,02	10,37	8,36	8,03	3,68	---	0,67
	LP 22	27,83	0,67	0,28	4,25	55,18	---	8,02	---	3,77	---
CUATERNARIO	LP 21	17,82	---	6,94	2,97	57,42	4,96	10,89	---	---	---

Tabla 8.3. Abundancia relativa de las diferentes litotipos presentes en las muestras analizadas.

Luego, para poder utilizar el diagrama QFL de clasificación de Folk *et al.* (1970) y los diagramas de Dickinson *et al.* (1983) se recalcularon los valores de cuarzo total (%Q<sub>t</sub>), feldespato total (%F), fragmentos líticos (%L), cuarzo monocristalino (%Q<sub>m</sub>), líticos volcánicos, sedimentarios y metamórficos (%L<sub>v</sub>, L<sub>s</sub>, L<sub>m</sub>) y plagioclasa total (%Plg) mediante el uso de las siguientes formulas:

$$\%Q_t = \frac{Q_m + Q_p}{Q_t + F_{t1} + L} \quad \%F_{t1} = \frac{Fk + Plg}{Q_t + F_{t1} + L} \quad \%L = \frac{L_{s+c} + L_{va} + L_{vb} + L_m + L_t}{Q_t + F_{t1} + L}$$

$$\%Q_m = \frac{Q_m}{Q_m + F_{t2} + L_t} \quad \%F_{t2} = \frac{Fk + Plg}{Q_m + F_{t2} + L_t} \quad \%L_t = \frac{\%L + L_{vt}}{Q_m + F_{t2} + L_t}$$

$$\%L_v = \frac{L_{va} + L_{vb} + L_{vt}}{L_v + L_s + L_m} \quad \%L_s = \frac{L_{sc} + L_c}{L_v + L_s + L_m} \quad \%L_m = \frac{L_m}{L_v + L_s + L_m}$$

$$\%Q_{m2} = \frac{Q_m}{Q_{m2} + Fk + Plg} \quad \%Fk = \frac{Fk}{Q_{m2} + Fk + Plg}$$

$$\%Plg = \frac{Plg}{Q_{m2} + Fk + Plg}$$

Los valores obtenidos se volcaron en la Tabla 8.4 y se graficaron, en primer lugar, en el diagrama de clasificación (QFL) propuesto por Folk *et al.* (1970) (Figura 8.15).

Formación	Muestra	%Q <sub>t</sub>	%Ft1	%L	%Q <sub>m</sub>	%F <sub>t2</sub>	%L <sub>t</sub>	Lv%	Ls%	Lm%	Q <sub>m2</sub> %	Fk%	Plg%
SANTO DOMINGO	LP 08	57.57	35.85	6.58	54.28	32.56	9.87	75	15	10	60.22	36.12	3.66
	LP 09	63,20	32,45	4,35	61,20	32,45	6,37	69	---	31	65.35	31.43	3.22
	LP 10	64,31	32,33	3,36	61,94	32,32	5,74	50	---	50	65.71	31.06	3.23
	LP 12	63,05	31,67	5,28	60,25	31,67	8,08	76	24	---	65.54	32.77	1.69
	LP 19	64,11	29,16	6,73	63,19	29,16	7,65	4	---	96	68.42	28.9	2.68
CIÉNAGA DEL RÍO HUACO	LP 13	49,33	1,99	48,67	49,33	1,99	48,67	97	---	3	96.12	1.29	2.59
	LP 14	61,67	17,89	20,44	61,67	17,89	20,44	100	---	---	77.51	---	22.49
	LP 17	52,22	26,63	21,15	52,22	26,63	21,15	100	---	---	62.22	11.70	26.08
PUERTO LA FLECHA	LP 04	85,97	9,93	4,1	83,62	9,93	6,45	100	---	---	89.38	2.49	8.13
	LP 02	64,07	21,69	14,24	62,78	21,69	15,53	100	---	---	74.32	---	25.68
	LP 03	47,63	22,83	29,54	47,63	22,83	29,54	97	---	3	67.58	---	32.42
VALLECITO	LP 01	31,69	28,54	39,77	31,69	28,54	39,77	100	---	---	52.64	---	47.36
EL CORRAL	LP 20	47,81	21,54	30,65	47,81	21,54	30,65	54	34	12	69.34	22.42	8.24
	LP 22	28,5	4,53	66,97	27,83	4,53	67,64	22	78	---	64.26	25.03	10.71
CUATERNARIO	LP 21	17,82	8,97	73,27	17,82	8,97	73,27	18	82	---	86.00	0.87	13.13

Tabla 8.4. Porcentajes de los componentes modales recalculados para los diagramas de Dickinson *et al.* (1983): QFL, QmFLt, LvLsLm y QFkPlg.

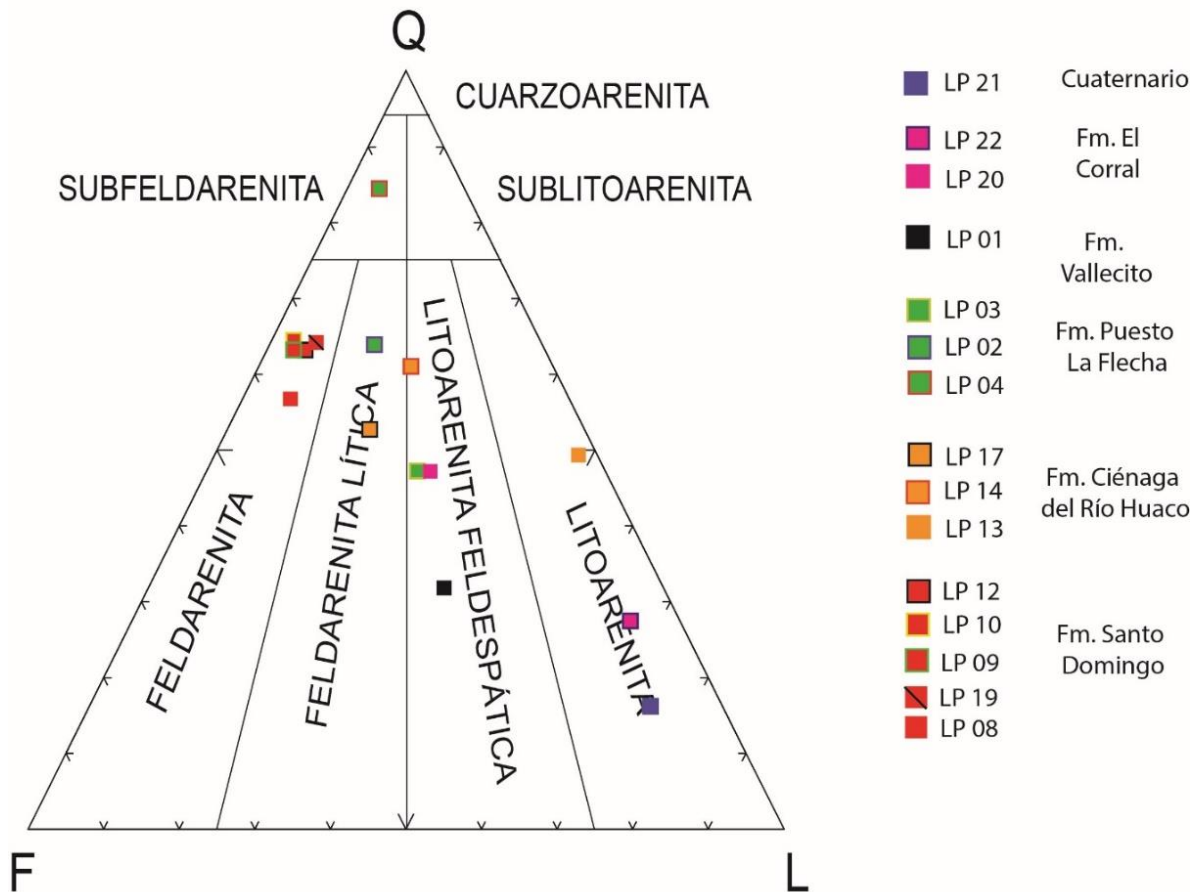


Figura 8.15. Valores graficados en el diagrama triangular de clasificación de Folk *et al.* (1970).

En la Figura 8.15, se puede observar que las muestras de la Formación Santo Domingo se agrupan en el campo de las feldarenitas, ya que presentan menos de 75% de cuarzo (57-64%) y una predominancia de feldespato potásico (29-35%) por sobre los fragmentos líticos (3-7%). Por otra parte, el resto de las muestras presenta una mayor variabilidad composicional. Por ejemplo, las de la Formación Ciénaga del Río Huaco tienen un contenido de cuarzo similar 60%),

pero una gran variación en los porcentajes de líticos (20-48%) y feldespato potásico (2-27%). Esto hace que las tres muestras se dispongan en campos diferentes: litoarenita, litoarenita feldespática y feldarenita lítica. Algo similar ocurre con las muestras de la Formación Puesto La Flecha que se clasifican como una subfeldarenita, una feldarenita lítica y una litoarenita feldespática, respectivamente. En particular, estas dos últimas presentan una relación ortosa-plagioclasa muy cercana a 1. Por otra parte, la muestra de la Formación Vallecito se ubica en el campo de las litoarenitas feldespáticas, al igual que la matriz arenosa del miembro basal de la Formación El Corral. Por último, el miembro superior de esta formación y la muestra tomada en los niveles aterrazados cuaternarios se clasifican en el campo de las litoarenitas.

Al analizar los porcentajes de cada componente modal en los diferentes cortes (Figura 8.16), se puede observar que el contenido de cuarzo disminuye desde las unidades más antiguas (65%) hasta las más jóvenes (<20%), mientras que el porcentaje de líticos aumenta (de 3 a 70%) en el mismo sentido. Sin embargo, el contenido de feldespatos se mantiene en un rango acotado (2-35%). La subfeldarenita tomada en el nivel basal de la Formación Puesto La Flecha (LP 04) se aparta de la tendencia general, ya que presenta el máximo contenido de cuarzo. Este nivel fue interpretado como depósitos fluviales por lo que el proceso de selección podría haber generado un aumento de la madurez composicional en la roca al fragmentar los clastos de feldespato y líticos. La predominancia de cuarzo monocristalino por sobre el cuarzo policristalino, debida a la mayor resistencia del primero a los procesos de meteorización y erosión, apoyaría la interpretación de la subfeldarenita como un residuo maduro.



Figura 8.16. Porcentaje relativo de cuarzo (Q), feldespato (F) y líticos (L) en cada una de las muestras.

Para poder caracterizar y discernir las posibles áreas de aporte se graficaron los valores recalculados en el diagrama QFL propuesto por Dickinson *et al.* (1983) (Figura 8.17). Este método se basa en que las composiciones medias de las areniscas se disponen en tres campos discretos dentro de los diagramas QFL y QmFLt (bloques continentales, arcos magmáticos y orógenos reciclados) asociados al diferente emplazamiento tectónico de las áreas de aporte (Dickinson y Suczek, 1979).



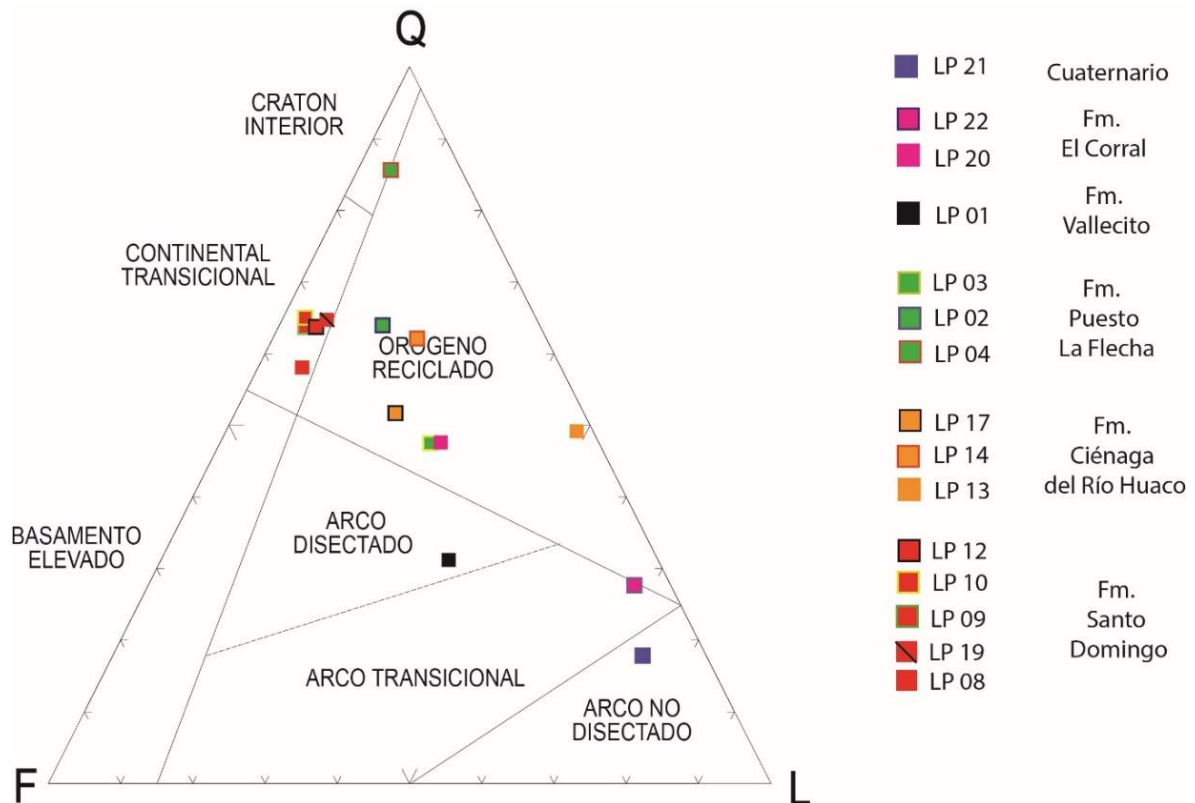


Figura 8.17. Valores graficados en el diagrama triangular QFL de clasificación de Dickinson *et al.* (1983).

Al analizar la Figura 8.17, puede advertirse que las muestras se agrupan en distintos campos. Por un lado, las areniscas de la Formación Santo Domingo están dominadas por cuarzo y feldespato y plotean dentro del campo continental-transicional. Esto, sumado a la presencia de microclino se podría asociar a que durante el momento de depositación hubo bloques de basamento que se encontraban elevados que fueron posteriormente erosionados.

Por otra parte, las muestras de las formaciones Ciénaga del Río Huaco y Puesto La Flecha se ubican dentro del campo de orógeno reciclado. Esto sugiere que la fuente de sedimentos fue la erosión de un antiguo orógeno exhumado. Cabe destacar que solamente una muestra de la Formación Puesto La Flecha (LP 04) cae dentro del límite con el campo de cratón interior por su alto porcentaje en cuarzo. Como se ha dicho anteriormente, la ubicación de la muestra en este campo se asociaría a sus condiciones de depositación más que a la erosión de rocas graníticas o gnéisicas. Esto se sustenta por la predominancia de plagioclasas por sobre feldespatos de casi 3 a 1.

La muestra de la Formación Vallecito plotea en el campo de arco disectado por la abundancia relativa de fragmentos líticos volcánicos, proporciones bajas de cuarzo y predominio de plagioclasas en relación con la ortosa. Esta procedencia refleja el aporte de áreas asociadas a márgenes activos en donde el arco ha sido erosionado al cesar el volcanismo.

Las muestras de la Formación El Corral pasan de orógeno reciclado a arco transicional. Por último, la muestra de matriz de los niveles cuaternarios se ubica hacia el extremo lítico dentro del campo de arco no disectado. Esto, al igual que para la Formación Vallecito, reflejaría el aporte de arcos magmáticos, pero en donde el arco no ha sido disectado y la erosión de las

secuencias volcánicas produjo arenas con elevados porcentajes de líticos volcánicos (Scasso y Limarino, 1997).

Para poder ampliar las descripciones de procedencia, se graficaron los valores recalculados en el diagrama QmFLt (Dickinson *et al.*, 1983) que considera el porcentaje de cuarzo como conformado solo por la fracción microcristalina ( $Q_m$ ) e incluye a la fracción policristalina junto al resto de los líticos (Tabla 8.4, Figura 8.18).

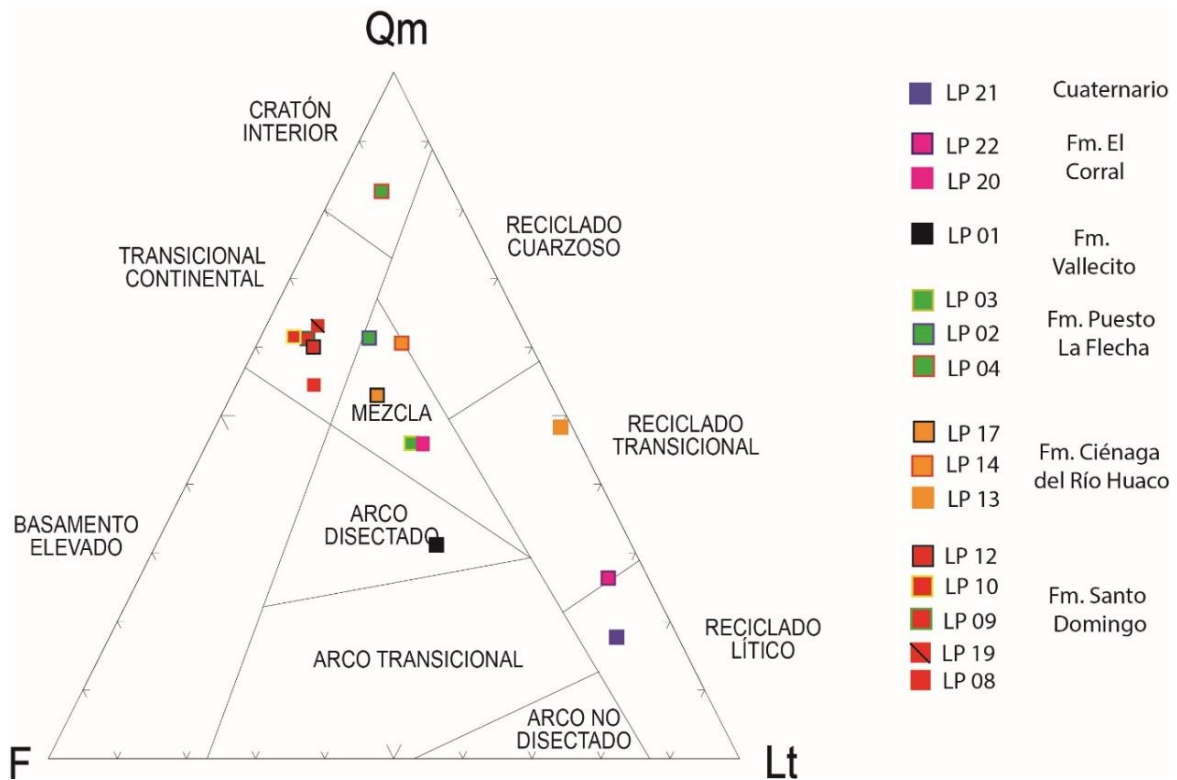


Figura 8.18. Valores graficados en el diagrama triangular QmFLt de clasificación de Dickinson *et al.* (1983).

En este caso, se observa que las muestras de la Formación Santo Domingo vuelven a caer en el campo continental transicional, mientras que las de las formaciones Ciénaga del Río Huaco y Puesto La Flecha plotean en el campo de mezcla. En este caso, la muestra del nivel basal de Puesto La Flecha está incluida en el campo de cratón interior, mientras que la de la base de la Formación Ciénaga el Río Huaco queda contenida en el campo reciclado transicional debido a su extremadamente bajo contenido de feldespato. Por otra parte, las muestras de la Formación El Corral plotean en el campo de mezcla y en el campo de reciclado transicional, y la muestra del cuaternario dentro del campo de reciclado lítico.

Con el fin de profundizar el estudio de procedencia, se realizaron diagramas ternarios para diferenciar el origen de los fragmentos líticos (volcánicos, metamórficos, sedimentarios y cuarzo policristalino) recalculando los valores estimados en los cortes (Tabla 8.4) y graficándolos en la Figura 8.19.

De forma general, se observa que en el 80% de las muestras la fracción lítica está dominada por líticos volcánicos, mientras que las rocas más jóvenes presentan una predominancia de líticos sedimentarios. Por otra parte, las metamorfitas de bajo grado se

encuentran en porcentajes menores al 15% en relación con el resto de los líticos. En particular, en la secci3n basal de la Formaci3n Santo Domingo (LP 19) predominan este tipo de líticos, pero van haciéndose menos abundantes hacia el tope de la unidad.

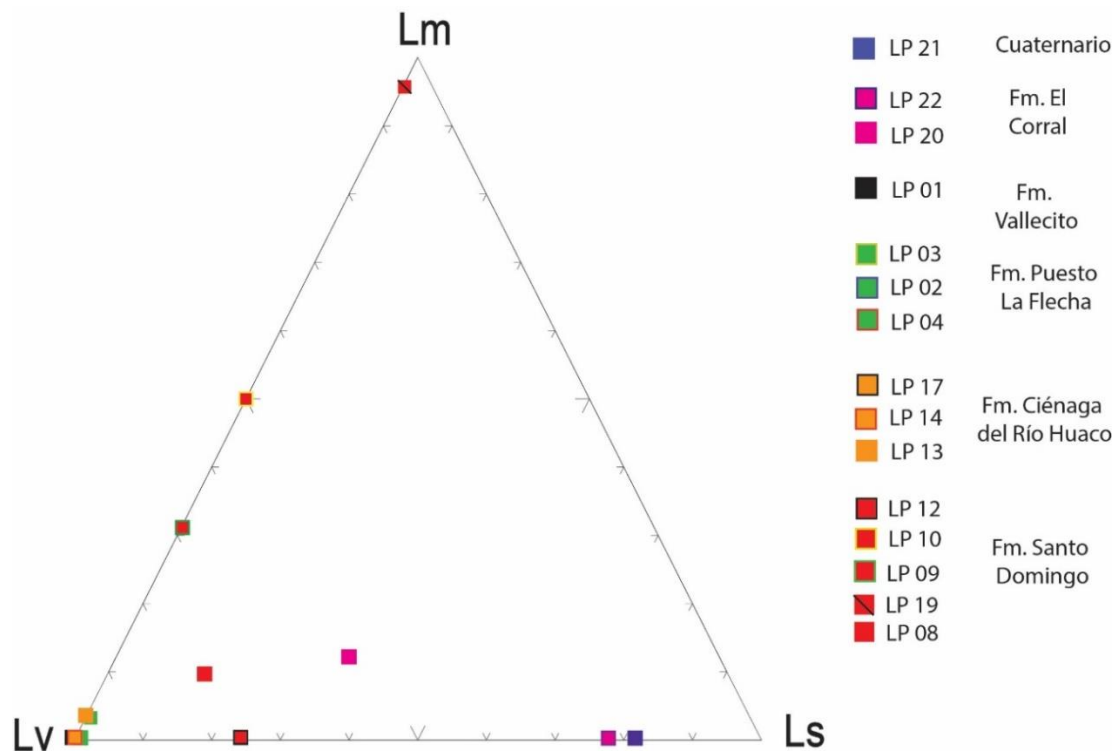


Figura 8.19. Valores graficados en el diagrama triangular LmLvLs de clasificaci3n de Dickinson *et al.* (1983).

Por último, para poder diferenciar los tipos de feldespato y la relaci3n entre el aporte del basamento vs el aporte de arcos magmáticos en las unidades perfiladas, se realiz3 un gráfico ternario QmFkPg (Figura 8.20). En esta figura, es posible distinguir dos agrupamientos en las muestras. En primer lugar, las feldarenitas de la Formaci3n Santo Domingo presentan contenidos muy bajos de plagioclasa (<3%) y una predominancia de feldespatos (30%). Esto indicaría que el aporte plut3nico fue mucho más importante que el volcánico. Por el contrario, las sedimentitas de las formaciones Ciénaga del Río Huaco, Puesto La Flecha y Vallecito se agrupan en el extremo opuesto, presentando una predominancia de plagioclasa (20-47%) en relaci3n con la ortosa (<10% a <1%). Esto enfatizaría el aporte volcánico observado en los diagramas Lm:Lv:Ls para estas unidades.

Por otra parte, es interesante tener en cuenta que las muestras que han sido tomadas en sucesiones que se interpretaron como sistemas fluviales (LP 19, LP 13, LP 04) presentan una mayor madurez textural que el resto de las muestras.

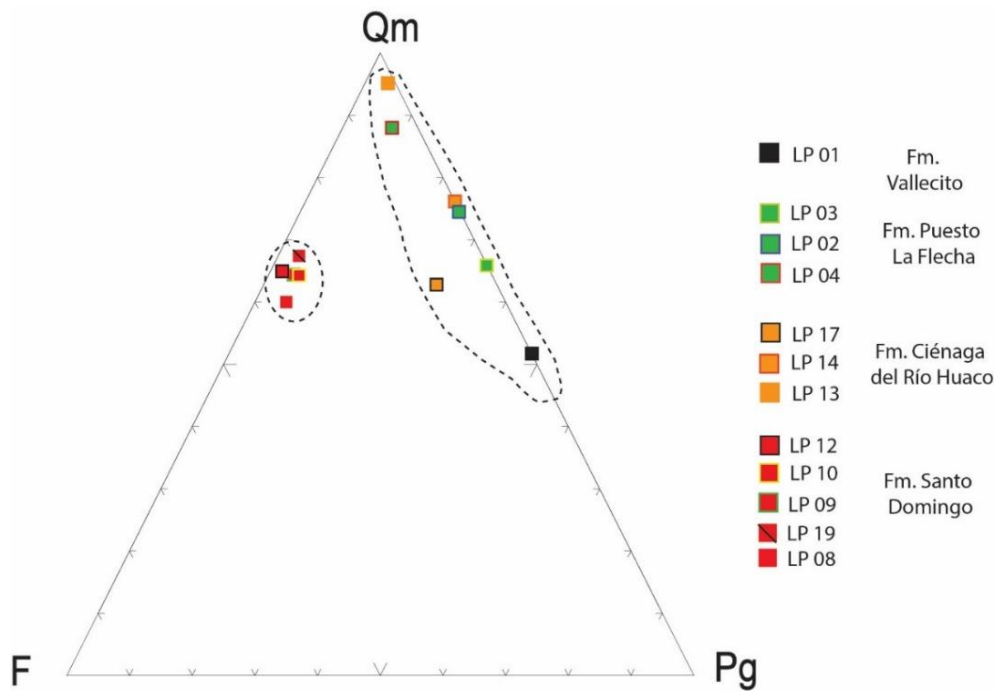


Figura 8.20. Valores de los conteos recalculados para las formaciones que han sido perfiladas graficados en un diagrama QmFPg.

### Conclusión de procedencia de las formaciones aflorantes en el área de estudio

Por todo lo antes expuesto, se puede concluir que la Formación Santo Domingo presenta una procedencia muy diferente a la del resto de las unidades analizadas. La predominancia de cuarzo y feldespato potásico en relación con la plagioclasa y los fragmentos de vulcanitas, la presencia de microclino y de líticas metamórficas enfatizaría la procedencia de basamento en un ambiente tectónico continental transicional. Esto es concordante con un origen dentro de una cuenca de rift (Ciccioli *et al.*, 2006).

La Formación Ciénaga del Río Huaco representa un cambio muy importante en la procedencia, ya que comienzan a predominar las plagioclasas angulosas por sobre los feldespatos y los líticos volcánicos básicos y tobáceos en relación con los feldespatos. Esto marcaría una variación en las áreas de aporte hacia orógenos reciclados con aporte de rocas volcánicas y volcanoclásticas posiblemente relacionada con la sedimentación en una cuenca de retroarco.

La composición de las areniscas de la Formación Puesto La Flecha cambia de base a techo, desde el predominio de Qm al aumento en el contenido de líticos volcánicos ácidos y plagioclasas angulosas. Como fue sugerido por Fosdick *et al.* (2017), esto indicaría un aporte principal desde el arco andino y de las rocas volcánicas del Grupo Choiyoi aflorantes en la Cordillera Frontal.

Como se ha mencionado anteriormente, la mayor proporción de líticos volcánicos y el porcentaje menor de cuarzo de la Formación Vallecito se asociarían a la erosión de las secuencias volcánicas del arco andino. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, al tratarse de depósitos eólicos, la procedencia puede ser muy variable y puede estar asociada al retrabajo de fuentes locales.

En la Formación El Corral se observa que el Miembro La Cueva (LP 20) está enriquecido en areniscas verdes y metamorfitas de bajo grado, que provendrían de la erosión de un orógeno exhumado, mientras que el Miembro Quebrada del Río Yanso está enriquecido en areniscas claras, rojas, vulcanitas y calizas correspondientes a un arco transicional o ambiente de mezcla. Esto coincidiría con Tedesco (2006), quien afirmó que los diferentes frentes montañosos que se fueron levantando al oeste de la cuenca de La Troya fueron las principales áreas de aporte de la Formación El Corral. Las areniscas verdes y metamorfitas de bajo grado eopaleozoicas de la sierra de la Punilla habrían sido el principal aporte del Miembro La Cueva (miembro basal), mientras que las sedimentitas del Cordón de La Flecha y las calizas del Paleozoico inferior, aflorantes en el Cerro Totora, habrían sido el principal aporte Miembro Quebrada del Río Yanso.

Por último, la muestra del Cuaternario representaría una mezcla de todas estas áreas de aporte ya que presenta el porcentaje más alto de líticos sedimentarios y volcánicos (73%) y el porcentaje mínimo de cuarzo.

<i>Formación</i>	<b>Clasificación Folk et al. (1970)</b>	<b>Marco tectónico Dickinson et al. (1983) QtFLt</b>	<b>Marco tectónico Dickinson et al. (1983) QmFLt</b>	<b>Lm:Lv: Ls</b>	<b>FK vs PLG</b>
<i>SANTO DOMINGO</i>	Feldarenita	Continental transicional	Continental transicional	Lv≥Ls	FK
<i>CIÉNAGA DEL RÍO HUACO</i>	Litoarenita Litoarenita feldespática Feldarenita lítica	Orógeno reciclado	Reciclado transicional y mezcla	Lv	PLG>FK
<i>PUESTO LA FLECHA</i>	Feldarenita lítica Litoarenita feldespática	Orógeno reciclado	Reciclado transicional Mezcla	Lv>>Ls	PLG>FK
<i>VALLECITO</i>	Litoarenita feldespática	Arco disectado	Arco disectado	Lv	PLG>FK
<i>EL CORRAL</i>	Litoarenita feldespática Litoarenita	Orógeno reciclado Arco transicional	Reciclado transicional Mezcla	Lv>Ls Ls>>Lv	PLG>FK
<i>CUATERNARIO</i>	Litoarenita	Arco no disectado	Reciclado lítico	Ls>>Lv	FK>PLG

Figura 8.21. Cuadro resumen de la información analizada en este trabajo.

## 9. GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio presenta un paisaje compuesto y policíclico, donde se desarrollan procesos fluviales y, en menor medida, eólicos y de remoción en masa. El clima de la región es árido y está caracterizado por una fuerte insolación diaria, lluvias estacionales, intensa evaporación, y vientos cálidos y secos. Todo esto se manifiesta en la predominancia de sistemas fluviales efímeros con depósitos de interacción eólico-fluvial y vegetación de tipo xerófila con especies arbustivas y espinosas. En la Figura 9.1 es posible observar un esquema general de la geomorfología del área de estudio.

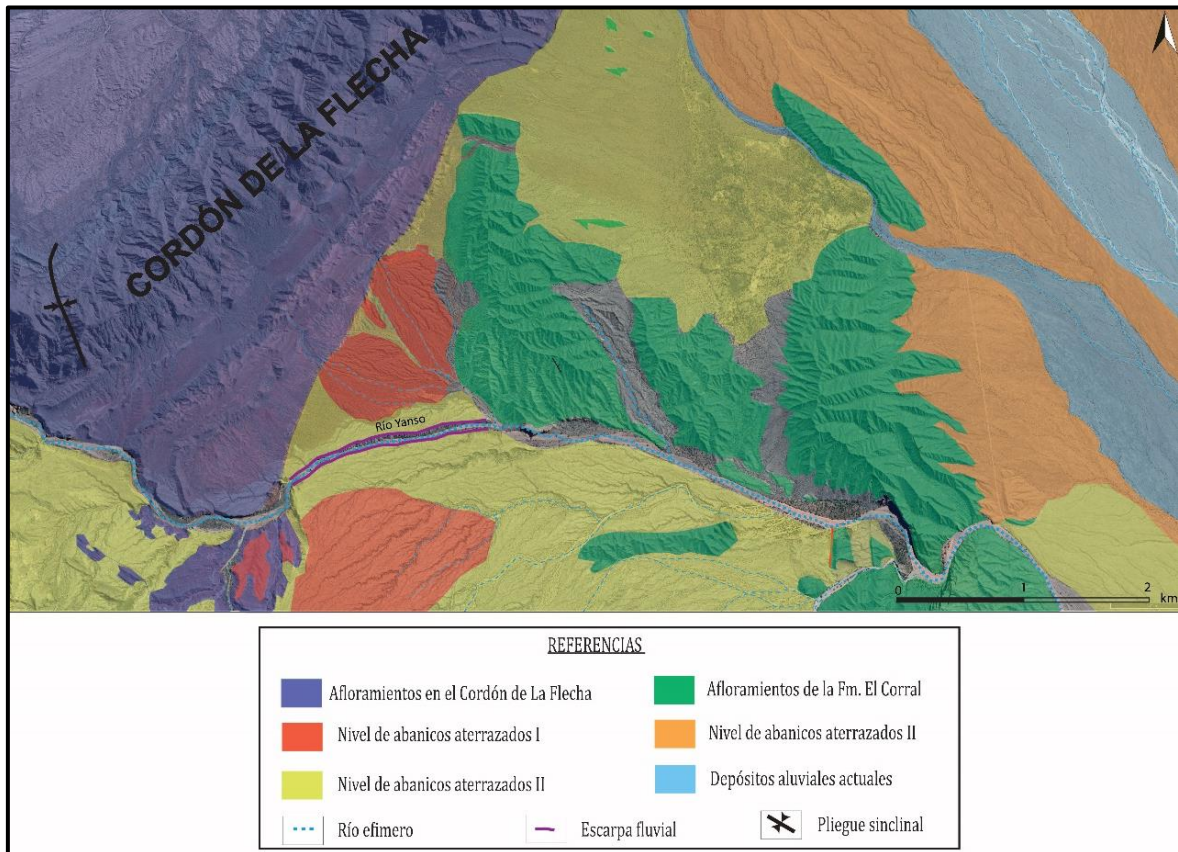


Figura 9.1. Mapa geomorfológico del área de estudio.

La zona presenta un relieve serrano con desniveles de hasta 800 metros. En el sector oeste y noroeste, se ubica el Cordón de La Flecha de 1800 msnm, mientras que hacia el sur y sureste la altitud disminuye progresivamente hacia la cuenca del río Guandacol. Este cordón serrano se dispone en sentido suroeste a noreste y posee pendientes inclinadas a muy inclinadas (Figura 9.2). Por otra parte, en el sector central los afloramientos de la Formación El Corral conforman serranías bajas asimétricas que alcanzan 1400-1500 msnm (Figura 9.3).

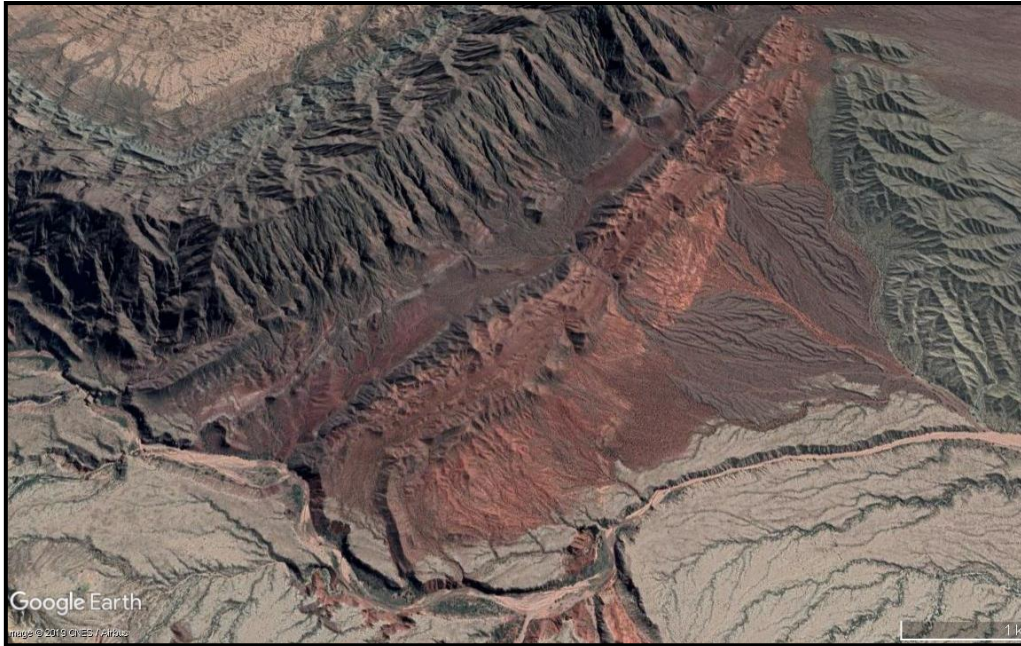


Figura 9.2. Imagen satelital del noroeste del área de estudio en donde se observan los afloramientos del Cordón de La Flecha con pendientes inclinadas a muy inclinadas.

El sistema fluvial está principalmente formado por el río Yanso que discurre en dirección oeste-este y presenta un régimen efímero a semipermanente. Este río drena en sentido este, junto a numerosos cursos, hacia el sistema Bermejo-Desaguadero. Su hábito es de tipo entrelazado e inciso, aunque por sectores se torna sinuoso a recto en función del control estructural dado por las fallas. Por otra parte, se observan numerosos cursos efímeros a lo largo del Cordón de La Flecha que conforman una red de drenaje de tipo dendrítica o distributaria cuando están asociados a abanicos aluviales. En particular, en el núcleo del sinclinal de La Flecha, el diseño de los ríos es de tipo enrejado debido al control estructural que ejerce el plegamiento.



Figura 9.3. Afloramientos de la Formación El Corral conformando serranías bajas asimétricas.

En cuanto a las geformas fluviales, son predominantes los depósitos aluviales y fluviales. Es posible diferenciar a los primeros en aluviales actuales y niveles de abanicos aterrazados e incisos (Figura 9.4). En cuanto a los depósitos de planicie aluvial actual del río Yanso, estos están conformados por depósitos de barras gravosas y arenosas (Figura 9.5). Por su parte, los niveles de abanicos aterrazados están constituidos por tres ciclos de agradación pedemontana en base a sus patrones distributarios y a su posición altimétrica (Anexo I).

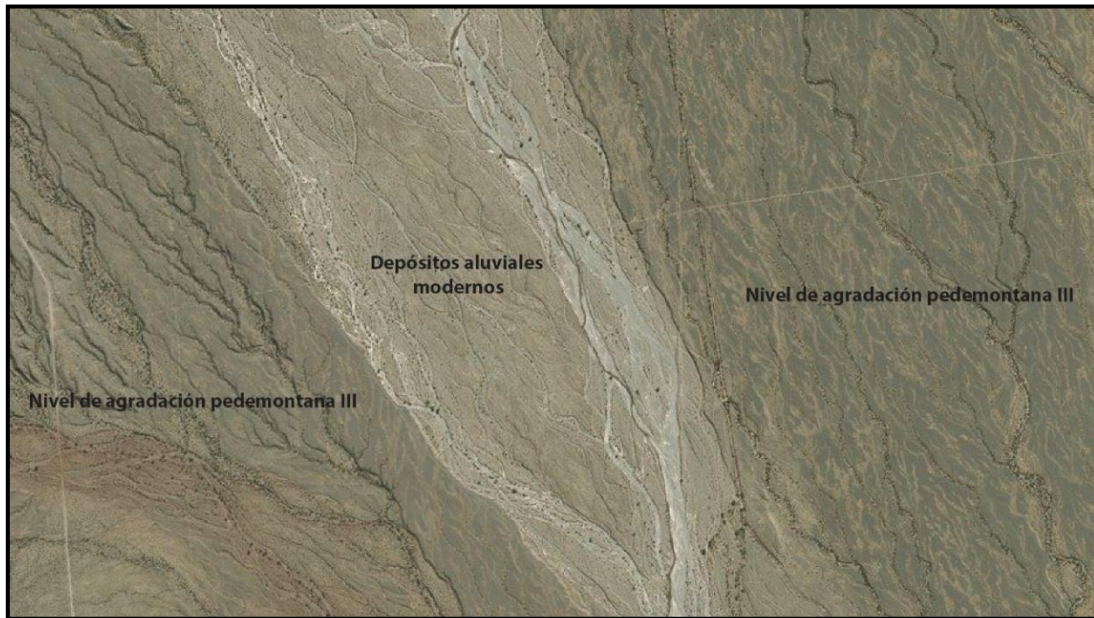


Figura 9.4. Vista aérea de los depósitos aluviales modernos con diseños distributarios en el sector central, mientras que hacia los márgenes se disponen los depósitos del tercer nivel de agradación pedemontana.



Figura 9.5. Depósitos de gravas y arenas en la planicie aluvial del río Yanso.

Por otra parte, en las márgenes del río Yanso se reconocen geformas de erosión como escarpas fluviales que producen paredones muy empinados formados sobre los depósitos de la Formación El Corral y en los abanicos aterrazados (Figura 9.6).



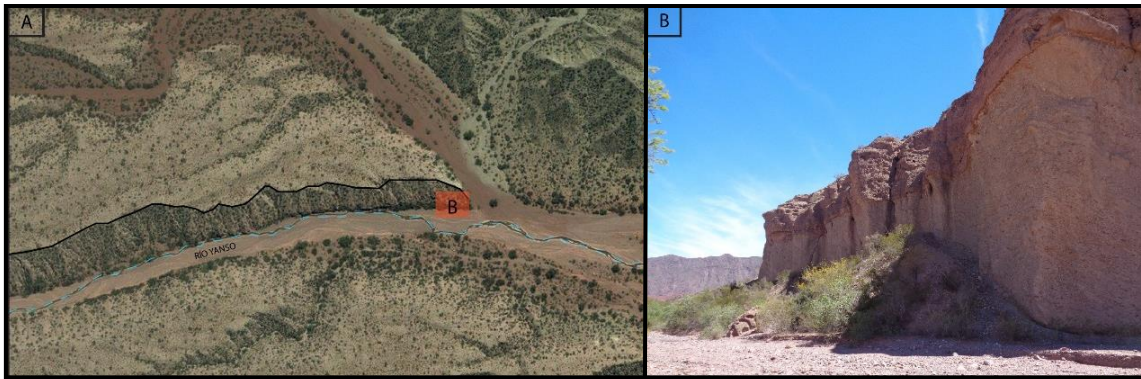


Figura 9.6. A. Sector sur del área de mapeo en donde circula el río Yanso en sentido O-E. En negro se ha marcado la escarpa fluvial generada por erosión fluvial. B. Aspecto de los paredones de la Formación El Corral en las márgenes del río Yanso. Al pie de estos, y parcialmente vegetados, se observan depósitos de remoción en masa (mayormente por caída de bloques).

Los procesos de interacción eólico-fluvial son predominantes en las márgenes del río Yanso y están representados por la intercalación de depósitos de canales efímeros con geoformas eólicas como parches y sombras de arena (Figura 9.7).



Figura 9.7. Depósitos eólicos en las márgenes del río Yanso conformando parches y sombras de arena por detrás de la vegetación arbustiva.

En cuanto a las geoformas de remoción en masa, se asocian únicamente a taludes dominados por caída de rocas, a abanicos coluviales al pie del Cordón de La Flecha y en pequeña escala a depósitos de caída de rocas generados por el socavamiento de los paredones de la Formación El Corral en el valle del río Yanso (Figura 9.6B).

Algunos rasgos como la incisión de los abanicos cuaternarios, la presencia de ríos que siguen el rumbo de estructuras como fallas y pliegues, y la formación de escarpas fluviales en las márgenes del río Yanso serían indicativos de cambios en el nivel de base posiblemente asociados a procesos neotectónicos.

## 10. ESTRUCTURA

### 10.1. Aspectos regionales

Como ha sido mencionado anteriormente, el área de estudio se encuentra ubicada en la provincia geológica de Precordillera Central (Ortiz y Zambrano, 1981). La evolución tectónica y estructural más reciente del área es el resultado del régimen tectónico compresivo instaurado desde el Mioceno en el margen de la placa Sudamericana. En particular, la ubicación de la zona de interés dentro del segmento de subducción casi horizontal y oblicua generó estructuras con componente de rumbo como el lineamiento de Valle Fértil de orientación NO-SE (Figura 10.1). Esta estructura es de tipo transpresiva con componente de desplazamiento levógiro y coincide con una discontinuidad en el basamento de las cuencas paleógenas-neógenas (Limarino *et al.*, 2017).

Por otra parte, como consecuencia de este régimen de esfuerzos se estructuraron la Precordillera y las Sierras Pampeanas. La primera es una faja plegada y corrida de piel fina con despegue en las rocas ordovícicas (Almendinger *et al.*, 1990), mientras que la segunda está conformada por bloques discretos de basamento levantados por fallas inversas (González Bonorino, 1950).

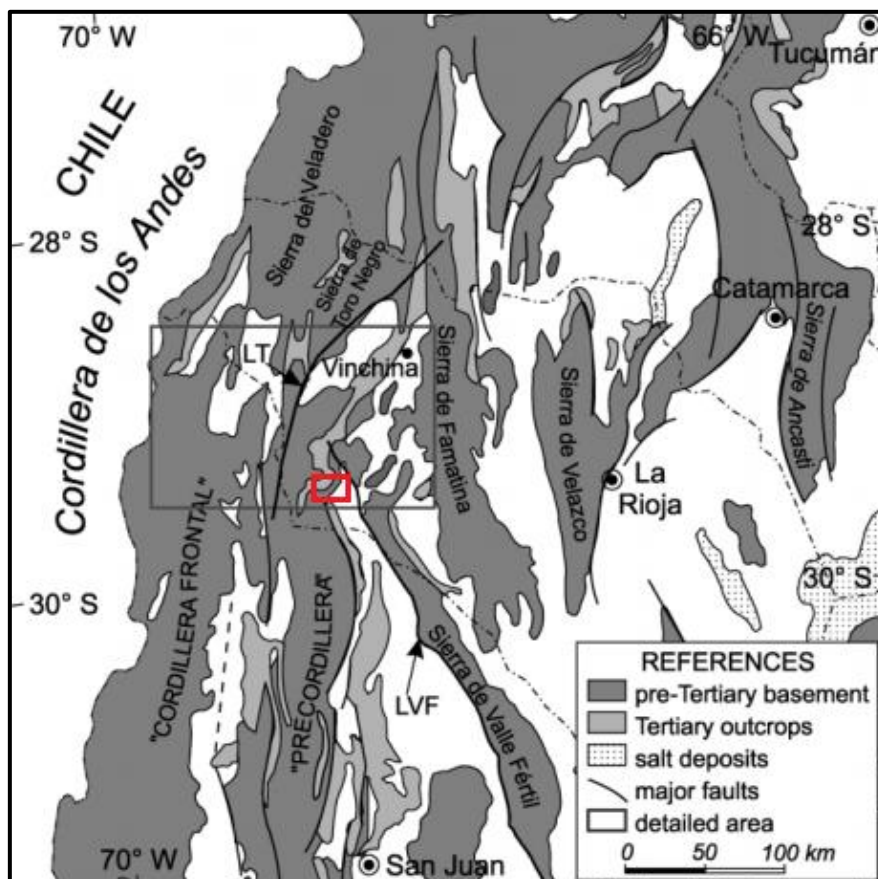


Figura 10.1. Marco geológico regional de la zona de estudio (en rojo) en donde se distinguen los lineamientos principales como el de Valle Fértil (LVF). Tomado de Limarino *et al.* (2001).

En particular, Tudesco *et al.* (2013) afirmaron que la faja plegada y corrida (FPC) de Precordillera Central, a la latitud de estudio, está estructurada por tres cabalgamientos principales (Figura 10.2). El más occidental (A) levanta a la sierra de la Punilla y expone las metamorfitas de bajo grado de color verde correspondientes a la Formación Punilla; mientras que el siguiente cabalgamiento hacia el este (B), involucra a las metasedimentitas de la Formación Trapiche. Por último, el cabalgamiento que representa el frente orogénico actual de la FPC (C) involucra, hacia al sur, a las calizas expuestas en el Cerro Totora y, hacia el norte, a las areniscas mesozoicas y cenozoicas que afloran en el Cordón de La Flecha y en el Cerro Pelado.

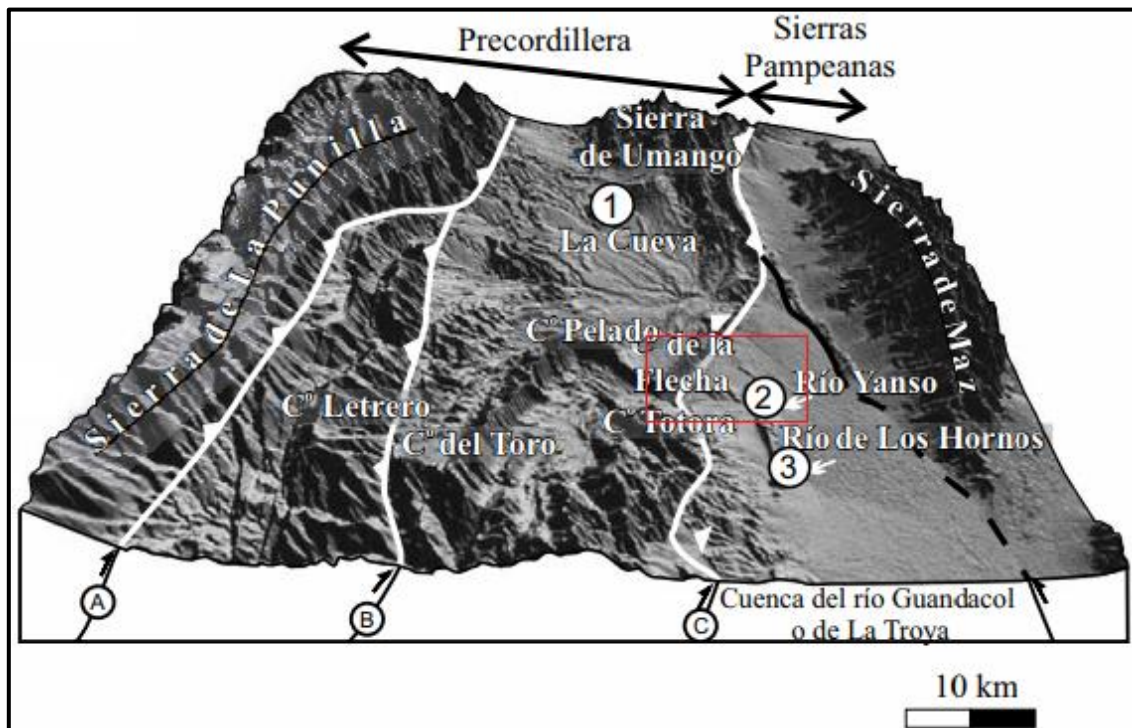


Figura 10.2. Marco tectónico-estructural de la zona de estudio con los principales cabalgamientos de la faja plegada y corrida de Precordillera Central (A, B, C) a la latitud de la zona de estudio (recuadro rojo). Tomado de Tudesco *et al.* (2013).

## 10.2. Aspectos locales

En el sector noroeste del área de estudio se ubica el sinclinal que conforma el Cordón de La Flecha. Esta estructura se orienta con un eje de rumbo preferencial NNO e involucra a las formaciones Santo Domingo, Ciénaga del Río Huaco, Puesto La Flecha, Vallecito, Cerro Morado, Vinchina y, hacia su núcleo, a la Formación Zapallar.

Por otra parte, se reconocieron dos grupos diferentes de fallas inversas que involucran a los depósitos cuaternarios y a la Formación El Corral (Figura 10.2). Un primer grupo distribuido en el sector central presenta rumbo NNO con inclinaciones hacia el este. Mientras que el segundo grupo se encuentra en el sector noroeste y está formado por una falla inversa de rumbo NNE, con inclinación al oeste (Figura 10.3). Esta última falla, por sectores, involucra a los depósitos cuaternarios y, en otros, produce el levantamiento de las rocas mesozoicas por sobre las rocas del Cuaternario.

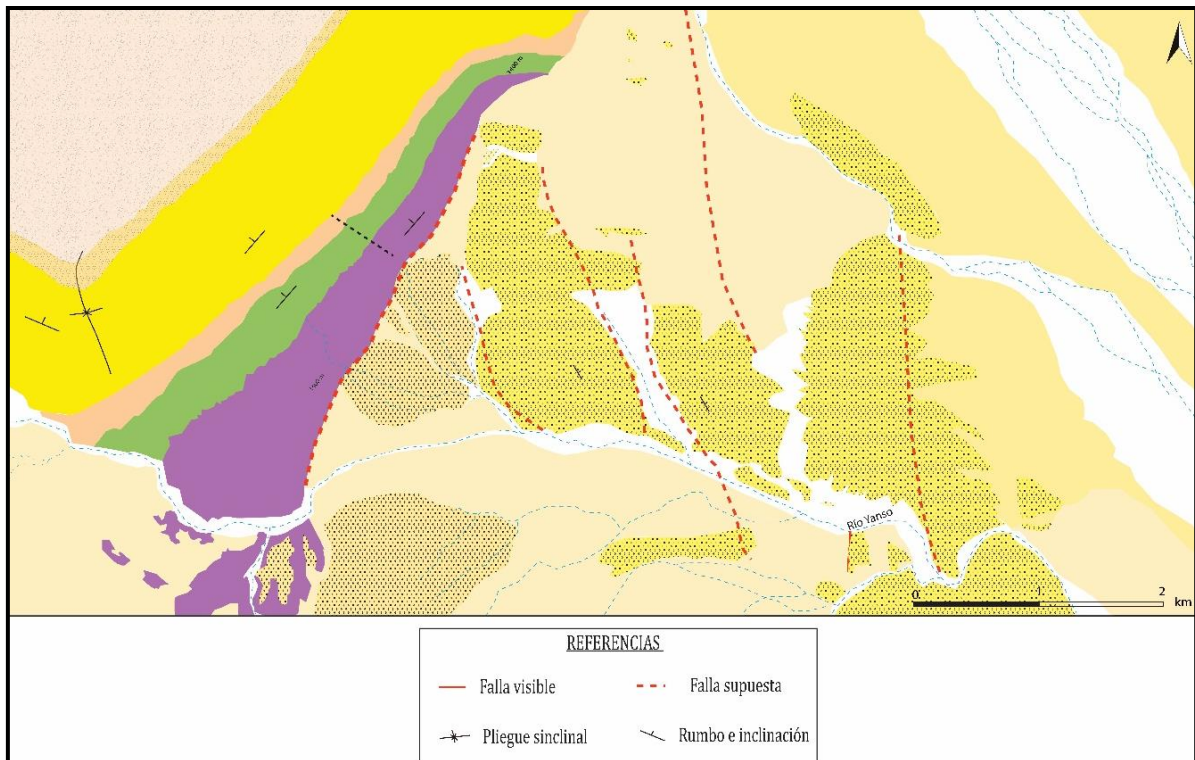


Figura 10.2. Mapa geológico del área de estudio simplificado, en donde se marcan los principales rasgos estructurales.

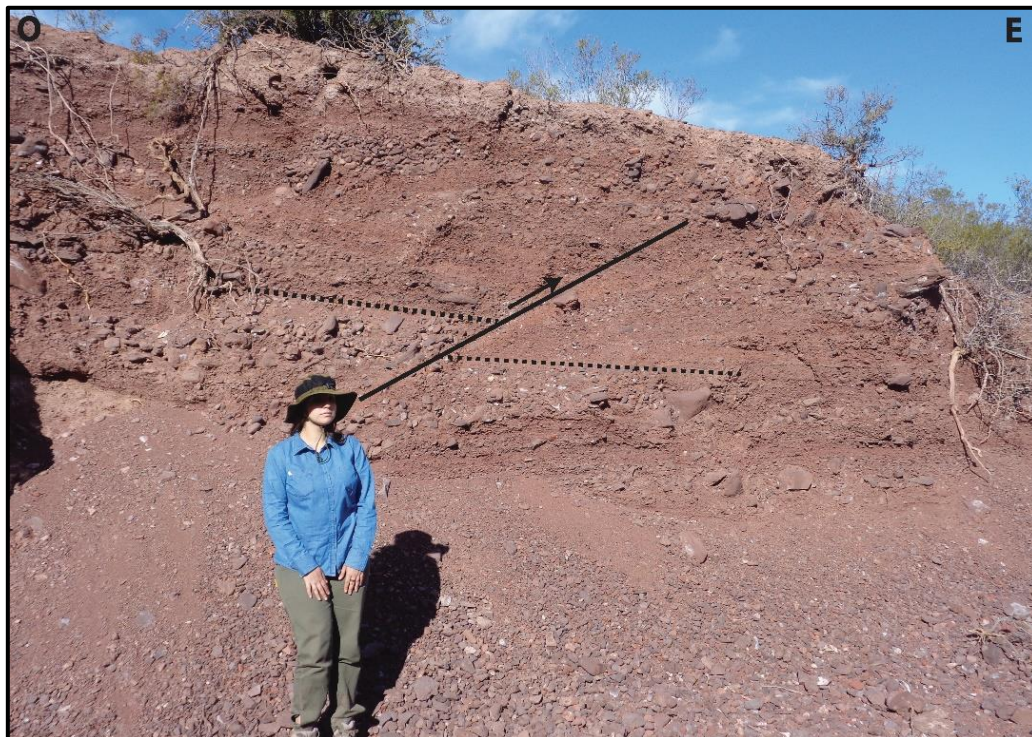


Figura 10.3. Detalle de los depósitos de niveles aterrazados del Pleistoceno. Se observa el plano de la falla inversa que inclina hacia el oeste y presenta bloque hundido hacia el este.

Esta orientación de los sistemas de fallas se puede asociar a la interacción de dos frentes tectónicos de vergencia opuesta. Por un lado, la falla que inclina hacia el oeste, en el sector noroeste, estaría ligada a la cinemática contraccional de la faja plegada y corrida de la

Precordillera (Ciccioli *et al.*, 2004). Esta estructura permite el ascenso del Cordón de La Flecha y sería la responsable de la deformación observada en los niveles basales de la Formación Santo Domingo. Por el otro, las fallas con planos de inclinación hacia el este, que afectan depósitos de la Formación El Corral y más modernos, se corresponderían con el ascenso de los bloques discretos de basamento cristalino de las Sierras Pampeanas Occidentales cuyo efecto deformacional se superpone al anterior y estaría activo hasta la actualidad (neotectónica).

## 11. CONCLUSIONES

En base al análisis de toda la información presentada en este trabajo y de su posterior integración, se arribó a las siguientes conclusiones finales.

- El área estudiada comprende afloramientos de unidades de edad triásica superior-jurásica inferior (Formación Santo Domingo), cretácica superior (Formación Ciénaga del Río Huaco), del Eoceno tardío al Oligoceno temprano (Formación Puesto La Flecha), del Oligoceno tardío al Mioceno temprano (Formación Vallecito) y del Plioceno superior (Formación El Corral). Además, se pueden distinguir depósitos cuaternarios que conforman niveles de abanicos aterrazados, abanicos aluviales y depósitos de planicie fluvial actuales.
- Se ha puesto énfasis en el estudio de las rocas mesozoicas y paleógenas que conforman una sucesión sedimentaria homoclinal de 600 metros de espesor aflorante en la ladera sureste del Cordón de La Flecha.
- A partir de las observaciones sedimentológicas y estratigráficas, se definieron dos asociaciones de facies para la Formación Santo Domingo, cinco para Ciénaga del Río Huaco y dos para Puesto La Flecha que representan depósitos continentales que se acumularon en áreas de baja pendiente y distales a las zonas de aporte. A pesar de que estas unidades fueron depositadas en ciclos sedimentarios separados en el tiempo y en diferentes tipos de cuencas, las condiciones climáticas y paleogeográficas fueron similares, desarrollándose sistemas fluviales efímeros de baja energía y áreas de baja pendiente donde se formaban lagos someros semipermanentes y barreales o campos eólicos.
  - En particular, la Formación Santo Domingo representa la transición desde sistemas fluviales con canales pandos levemente sinuosos (AF-SD1) hacia sistemas de barreal bien desarrollados con intercalaciones hacia el techo de niveles eólicos (AF-SD2).
  - Por otra parte, la Formación Ciénaga del Río Huaco evoluciona desde sistemas fluviales de canales pandos (AF-CRH1), a un lago clástico-carbonático (AF-CRH2) que pasa transicionalmente a condiciones de barreal (AF-CRH3, AF-CRH4) y, por último, a sistemas eólicos (AF-CRH5). Este ordenamiento de sistemas depositacionales indicaría una progresiva aridización del sistema.
  - Por último, la Formación Puesto La Flecha representaría el pasaje desde un sistema fluvial efímero con canales pandos (AF-PF1) a un sistema lacustre efímero clástico-evaporítico (AF-PF2). Este sistema lacustre sufrió, al menos, dos ciclos de expansión y contracción.
- Petrográficamente, las areniscas de las secuencias aflorantes plotean en diferentes campos de la clasificación según Folk *et al.* (1970):

- Las areniscas de la Formación Santo Domingo corresponden a feldarenitas con predominancia de cuarzo y feldespatos potásico en relación a la plagioclasa y los fragmentos de roca.
- Las muestras de la Formación Ciénaga del Río Huaco se corresponden con feldarenitas líticas, litoarenitas feldespáticas y litoarenitas, en donde predominan las plagioclasas y los líticos volcánicos básicos por sobre los feldespatos y los líticos volcánicos ácidos.
- La asociación de facies 1 de la Formación Puesto La Flecha está formada por subfeldarenitas que constituyen un residuo maduro. Hacia el techo, comienzan a predominar los líticos volcánicos ácidos y las plagioclasas angulosas, por lo que las rocas pasan de feldarenitas líticas a litoarenitas feldespáticas.
- La muestra estudiada de la Formación Vallecito se clasifica como una litoarenita feldespática en base a la predominancia de líticos volcánicos y plagioclasas por sobre el cuarzo y el feldespato.
- Las muestras de matriz de conglomerados de la Formación El Corral son litoarenitas feldespáticas y litoarenitas (Folk *et al.*, 1970), en donde predominan los líticos sedimentarios por sobre los volcánicos y metamórficos, y el contenido de cuarzo disminuye hacia los términos más jóvenes.
- La muestra de matriz del ortoconglomerado de un nivel aterrazado cuaternario corresponde a una litoarenita con predominancia de líticos sedimentarios por sobre los volcánicos.
- La procedencia de las rocas, según el análisis de los diagramas de Dickinson *et al.* (1983), se distribuye en los campos de continental transicional, orógeno reciclado y arco.
  - En particular, las muestras de la Formación Santo Domingo provendrían de la erosión de bloques de basamento en un ambiente tectónico continental transicional dentro de una cuenca de rift.
  - El pasaje a la Formación Ciénaga del Río Huaco y Puesto La Flecha representa un cambio importante en la procedencia con el establecimiento de condiciones de orógeno reciclado. Esto está marcado por la predominancia de plagioclasa y líticos volcánicos por sobre el feldespato potásico. El aporte principal de estas formaciones se asociaría al arco andino y/o a las rocas volcánicas del Grupo Choyoi aflorantes en la Cordillera Frontal.
  - La muestra de la Formación Vallecito plotea en el campo de arco disectado, lo que reflejaría el aporte por erosión de las secuencias volcánicas del arco andino.

- Las areniscas verdes y metamorfitas de bajo grado de la sierra de la Punilla habrían sido el principal aporte del miembro basal de la Formación El Corral, mientras que las sedimentitas del Cordón de La Flecha y las calizas del Paleozoico inferior, aflorantes en el Cerro Totorá, habrían sido el principal aporte del miembro superior.
- La muestra del cuaternario está conformada por una mezcla de todas las áreas de aporte antes mencionadas, con predominio de líticos sedimentarios y volcánicos lo que refleja una procedencia de un orógeno reciclado lítico.
- Desde el punto de vista de la geomorfología, el área presenta un paisaje compuesto y policíclico modelado por procesos fluviales y, en menor medida, eólicos y de remoción en masa. El sistema fluvial es de régimen efímero y está conformado por el río Yanso, que discurre en sentido oeste-este. A lo largo del Cordón de La Flecha hay numerosos cursos efímeros, que conforman una red de drenaje dendrítica a distributaria cuando se asocian a abanicos fluviales.



## 12. BIBLIOGRAFÍA

Allmendinger, R. W., Figueroa, D., Snyder, D., Beer, J., Mpodozis, C. e Isacks, B. L. 1990. Foreland shortening and crustal balancing in the Andes at 30°S latitude. *Tectonics* 9, 789-809.

Arcucci, A., Marsicano, C. y Coria, R.A. 2005. Una nueva localidad fosilífera en el Cretácico de la Precordillera de La Rioja. *Ameghiniana* 42: 60R.

Borello, A. y Cuerda, A. 1968. Grupo Río Huaco (Triásico), San Juan. Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, *Noticias*, 7, 3-15.

Bracaccini, O. 1946. Contribución al conocimiento geológico de la Precordillera sanjuanino-mendocina. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 258.

Caminos, R., Zamuner, A.B., Limarino, C.O. y Fauqué, L. 1995. El Triásico superior fosilífero en la Precordillera riojana. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 50: 262-265.

Caselli, A.T., Marensi, S.A., Tripaldi, A., Limarino, C.O. y Gagliardo, M.L. 2002. Análisis paleoambiental y correlación estratigráfica de la Formación Puesto La Flecha (Terciario), provincia de La Rioja. 15 ° Congreso Geológico Argentino, *Actas* 1: 679-683, Calafate.

Catuneanu, O. 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam. 375 pp.

Chaía, T. 1990. Registro del Cenomaniano lacustre en la provincia de San Juan. Primer Congreso Uruguayo de Geología, *Resúmenes Ampliados*: 33-36. Montevideo.

Chernicoff, C.J. y Nash, C.R. 2002. Geological interpretation of Landsat TM imagery and aeromagnetic survey data, northern Precordillera region, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*; Vol. 14 p. 813 - 820.

Cecily, P. L. 2003. Estratigrafía y sedimentología de las secuencias cretácicas y Miocenas de los alrededores de la quebrada de La Flecha (Precordillera de La Rioja). Trabajo Final de Licenciatura (Inédito).

Ciccioli, P.L., Tedesco, A.M. y Limarino, C.O. 2004. Evidencias de actividad neotectónica en el extremo austral de la Precordillera riojana. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 p, 158 - 161.

Ciccioli, P. L., Ballent, S., Tedesco, A. M., Barreda, V. y Limarino, C. O. 2005. Hallazgo de depósitos cretácicos en la Precordillera de La Rioja (Formación Ciénaga del Río Huaco). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60, 1, 385-394.

Ciccioli, P. L., Limarino, C.O. y Reijenstein, H.M. 2006. Cuencas extensionales en el Mesozoico de la Precordillera Septentrional, provincias de San Juan y La Rioja, Argentina. *Resúmenes*, 11° Reunión Argentina de Sedimentología y 4° Congress Latinoamerican of Sedimentology, *Actas*: 75, S.C. de Bariloche.

Ciccioli, P.L., Limarino, C. O., Marensi, S. A., Tedesco, A. M. y Tripaldi, A. 2010. Estratigrafía de la Cuenca de Vinchina (Terciario), Sierras Pampeanas, Provincia de La Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66(1):146-155.

Ciccioli, P. L., Limarino, C. O., Marensi, S. A., Tedesco, A. M., y Tripaldi, A. 2011. Tectosedimentary evolution of the La Troya and Vinchina depocenters (northern Bermejo Basin, Tertiary), La Rioja, Argentina. In Salfity, J., and Marquillas, R. A. (eds.). Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina. SCS, Salta Argentina, 91–110.

Ciccioli, P.L., Limarino, C.O. y Friedman, R. 2012. La edad de la Formación Vinchina: Su implicancia en la estratigrafía de la Cuenca de antepaís del Bermejo. 1° Simposio del Mioceno-Pleistoceno del Centro y Norte de Argentina, S.M. del Tucumán, Ameghiniana 49, Suplemento 7.

Ciccioli, P.L., Marensi, S.A. y Limarino, C.O. 2014a. Petrology and provenance of the Toro Negro Formation (Neogene) of the Vinchina broken-foreland basin, (Central Andes of Argentina). Journal of South American Earth Sciences 49(1): 15-38.

Ciccioli, P.L., Limarino, C.O., Friedman, R. y Marensi, S.A. 2014b. New high precision U-Pb ages for the Vinchina Formation: Implications for the stratigraphy of the Bermejo Andean Foreland Basin (La Rioja Province, Western Argentina). Journal of South American Earth Sciences 56: 200-213.

Coughlin, T.J. 2000. Linked Orogen-oblique Fault Zones in the Central Argentine Andes; the Basis of a New Model for Andean Orogenesis and Metallogensis. University of Queensland. Ph.D. thesis.

Dávila, F.M. 2005. Revisión estratigráfica y paleoambientes del Grupo Angulos (Neógeno), Sierra de Famatina, La Rioja: Su significado en el relleno del antepaís fragmentado. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60: 32-48.

De La Fuente, M., Ciccioli, P.L., Limarino, C.O., Gutiérrez, P.R. y Fauqué, L.E. 2003. Quelonios podocnemídidos en la Formación Puesto La Flecha (Oligoceno), Precordillera de La Rioja, Argentina. Ameghiniana 40: 617-624.

Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A. y Ryberg, P.T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Geol. Soc. Am. Bull., 94: 222-235.

Fauqué, L.E. y Caminos, R. 2002. Mapa geológico a escala 1:1250.000 de la Hoja 2969-II Tinogasta. Provincias de Catamarca, La Rioja y San Juan. Instituto de Geología y Recursos minerales, Servicio Geológico y Minero Argentino, Buenos Aires.

Fauqué, L. E., Limarino, C. O., Vujovich, G. I., Cegarra, M. y Escosteguy, L. 2004. Hoja Geológica 2969-IV Villa Unión, Provincias de La Rioja y San Juan. Servicio Geológico Minero Argentino (versión preliminar). Buenos Aires.

Folk, R. L., Andrews, P.B., y Lewis D. W. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. New Zealand Journal of Geology and geophysics v. 13, p. 947-968.

Fosdick, J.C., Reat, E.J., Carrapa, B., Ortiz, G. y Alvarado, P.M. 2017. Retroarc basin reorganization and aridification during Paleogene uplift of the southern central Andes. Tectonics, 36, pp. 493-514.

Furque, G. 1963. Descripción Geológica de la Hoja 17b. Guandacol (Provincias de La Rioja y San Juan). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 92. Buenos Aires.

Furque, G. 1972. Descripción Geológica de la Hoja 16b. Cerro La Bolsa (Provincias de La Rioja y San Juan). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 125. Buenos Aires.

Furque, G. 1979. Descripción geológica de la Hoja 18c, Jachal, Provincia de San Juan. Servicio Geológico Nacional. Boletín 164, 79 p.

Furque, G. y Cuerda, A. J. 1979. Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina (Coordinador: J. C. M. Turner). Academia Nacional de Ciencias, I: 455-522.

Gansser, A. 1973. Facts and theories on the Andes, Journal geological Society London, 129, 93-131.

Garrone, A.L., Dávila, F.M. y Astini, R.A. 2008. Definición de la Formación Laguna Brava (Cretácico?): Estratigrafía, paleoambientes y correlación. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas: 111-112. San Salvador de Jujuy.

González Bonorino, F. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. Asociación Geológica Argentina, Revista 5(3): 81-110.

Groeber, P. 1940. Descripción geológica de la Provincia de La Rioja (Colaboración de la Dirección de Minas y Geología). De Aguas Minerales de la República Argentina, 6, Buenos Aires.

Isacks, B.L., Jordan, T.E., Allmendinger, R.W., y Ramos, V.A. 1982, La segmentación tectónica de los Andes Centrales y su relación con la geometría de la placa de Nazca subductada, in Actas, Congreso Latinoamericano de Geología, 5th, Buenos Aires: Buenos Aires, Servicio Geológico Minero Argentino, v. 3, p. 587-606.

Jordan, T.E., y Allmendinger, R.W. 1986, The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation: American Journal of Science, v. 286, p. 737-764.

Jordan, T.E., Isacks, B.L., Allmendinger, R.W., Brewer, J.A., Ramos, V.A., y Ando, C.J. 1983, Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate: Geological Society of America Bulletin, v. 94, p. 341-361.

Jordan, T.E., Drake, R., y Nasser, C. 1993, Estratigrafía del Cenozoico medio en la Precordillera a la latitud del Río Jáchal, San Juan, Argentina, in Actas, Congreso Geológico Argentino, 12th, and Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 2nd, Mendoza: Buenos Aires, Asociación Geológica Argentina, v. 2, p. 132-141.

Jordan, T.E., Schlunegger, F., y Cardozo, N. 2001, Unsteady and spatially variable evolution of the Neogene Andean Bermejo foreland basin, Argentina: Journal of South American Earth Sciences, v. 14, v. 775-798.

Limarino, C.O. y Sessarego, H.H., 1987. Algunos depósitos lacustres de las Formaciones Ojo de Agua y De La Cuesta (Pérmico). Un ejemplo de sedimentación para regiones áridas o semiáridas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 42(3-4): 267-279. Buenos Aires.

Limarino, C., Fauqué, L. y Caminos, R. 1988. Rasgos sedimentológicos de las eolianitas pérmicas del Río del Peñón, Precordillera riojana. II Reunión Argentina de Sedimentología, Actas I: 145-149. Buenos Aires.

Limarino, C. O., Sessarego, H., López Gamundi, O., Gutiérrez, P. y Césari, S. 1988. Las Formaciones Ojo de Agua y Vallecito en el área de la Ciénaga, Oeste de Huaco, provincia de San Juan: Estratigrafía y Paleoambientes sedimentarios. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 42 (3-4), 153-167.

Limarino, C., Fauqué, L. y Caminos, R. 1990. Facies y evolución paleoambiental de los bancos rojos triásicos del norte de la Precordillera riojana. Actas 3ª Reunión Argentina de Sedimentología, 1: 169-174. San Juan.

Limarino, C. O., Net, L., Gutiérrez, P., Barreda, V., Caselli, A. y Ballent, S. 2000. Definición litoestratigráfica de la Formación Ciénaga del Río Huaco (Cretácico Superior), Precordillera Central, San Juan, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 55 (1-2): 83-99.

Limarino, C. O., Tripaldi, A., Marensi, S. Net, L., Re, G. y Caselli, A. 2001. Tectonic control on the evolution of the fluvial systems of the Vinchina Formation (Miocene), northern Argentina. Journal of South American Earth Sciences, 14, 751-762.

Limarino, C. O., Fauqué, L. A., Cardó, R., Gagliardo, M. L. y Escosteguy, L. 2002. La faja volcánica miocena de la Precordillera septentrional. Revista de la Asociación Geológica Argentina 57: 289-304.

Limarino, C. O., Fauqué, L. E., Ciccioli, P. L., Tedesco, A. M., Marsicano, C. y Arcucci, A. 2005. El mesozoico de la Precordillera septentrional. Actas XV Congreso Geológico Argentino, CDRom, Artículo 071, 6 pp.

Limarino, C.O., Ciccioli, P. L., Krapovickas, V. y Benedito, L. 2016. Estratigrafía de las sucesiones mesozoicas, paleógenas y neógenas de las quebradas Santo Domingo y El Peñón (Precordillera septentrional riojana). Revista de la Asociación Geológica Argentina 73(3): 301-318.

Limarino, C. O., Marensi, S. A., Ciccioli, P. L., Tedesco, A. M. 2017. Estratigrafía cenozoica de las cuencas de antepaís de las Sierras Pampeanas Noroccidentales y Precordillera de la Rioja. Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino.

Melchor, R.N., Buchwaldt, R. y Bowring, S. 2013. Late Eocene date for Late Triassic bird tracks. Nature 495: E1-E2.

Miall, A.D. 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary facies, Basin analysis, and Petroleum Geology. Springer-Verlag, 582 p. Nueva York.

Milana, J.P. 1993. Estratigrafía de eolianitas en la zona de Jáchal-Huaco, Precordillera de San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 48(3-4): 283-298.

Ortiz, A. y Zambrano, J.J. 1981. La provincia geológica Precordillera oriental. 8º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 59-74.

Pérez, M. A, Fernández Seveso, F., Álvarez, L. A. y Brison, I. E. 1993. Análisis ambiental y estratigráfico del Paleozoico Superior en el área anticlinal de Huaco, San Juan, Argentina. 10º

Congrés International de la Stratigraphie et géologie du Carbonifère et Permien, Comptes Rendus, 2: 297-318. Buenos Aires.

Ramos, V. A. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En Geología Argentina (Camino, R., editor). Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 41-96. Buenos Aires.

Ramos, V. A., Cristallini, E.O. y Pérez, D.J. 2002. The Pampean flat- slab of the Central Andes. Journal of South American Earth Sciences 15, 59-78.

Ramos, V. A. 2009. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. Geological Society of America Memoirs, 204: 31-65.

Reat, E.J. y Fosdick, J.C. 2018. Basin evolution during Cretaceous-Oligocene changes in sediment routing in the Eastern Precordillera, Argentina. J. S. Am. Earth Sci., 84, pp. 422-443.

Rosello, E.A., Mozetic, M.E., Cobbold, P. R., Urreiztieta, M., Gapais, D., y López Gamundí, O. R. 1996. The Valle Fértil flower structure and its relationship with the Precordillera and Pampean Ranges, 30–32° S, Argentina. Third ISAG, Saint Malo, France, Vol.1: 481-484.

Sánchez, M. A., Winocur, D., Álvarez, O., Folguera, A., y Martínez, M. P. 2017. Crustal structure of the high Andes in the North Pampean flat slab segment from magnetic and gravity data. Journal of South American Earth Sciences, 73, 153-167.

Scasso, R. A. y Limarino, C. O. 1997. Petrología y diagénesis de rocas clásticas. Asociación Argentina de Sedimentología. Publicación especial: 1, 257 p.

Schencman, L. J., Marensi S. A y Díaz M. 2018. Evolución paleoambiental de la Formación Vinchina (Mioceno) en la sierra de Los Colorados, La Rioja, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 75 (1): 17-38.

Tedesco, A. M. 2003. Sedimentología y paleoambientes depositacionales de la Formación El Corral (Plioceno) en los alrededores del Cordón de La Flecha (provincia de La Rioja). Trabajo Final de Licenciatura (Inédito).

Tedesco, A.M., Limarino, C.O. y Tripaldi, A. 2004. La Formación El Corral (Plioceno) en el río Yanso (provincia de La Rioja), un ejemplo de sedimentación sintectónica. X Reunión Argentina de Sedimentología, San Luis, Resúmenes, 165.

Tedesco, A.M. 2006. Estratigrafía, evolución paleoambiental y tectosedimentaria de la Cuenca del río La Troya (Paleógeno y neógeno, precordillera de La Rioja). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, 304 pp. (inédito).

Tedesco, A. M., y Limarino, C. O. 2007. Primera edad radiométrica de los depósitos Cretácicos de la Precordillera Central, Rev. de la Asoc. Geol. Argentina, 62, 471–474.

Tedesco, A., Limarino, C.O., Tripaldi, A. y Suriano, J. 2013. Dinámica de la acumulación sedimentaria de los depósitos de cima de cuña (wedge top deposits) de la Formación El Corral, provincia de La Rioja, Argentina. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 30: 552-568

Tripaldi, A. 2001. Análisis sedimentológico de depósitos eólicos de valles intermontanos, su aplicación al estudio de secuencias terciarias del noroeste argentino. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 363 pp. (inédito).

Tripaldi, A., y Limarino, C.O. 2005. Vallecito Formation (Miocene): The evolution of an eolian system in an Andean foreland basin (northwestern Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 19: 343-357.

Turner, J.C.M. 1964. Descripción geológica de la Hoja 15c, Vinchina (provincia de La Rioja). Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 100, Buenos Aires, 81 pp.

Vizán, H., Geuna, S., Melchor, R., Bellosi, E.S., Lagorio, S.L., Vásquez, C., Japas, M.S., Ré, G. y Do Campo, M. 2013. Geological setting and paleomagnetism of the Eocene red beds of Laguna Brava Formation (Quebrada Santo Domingo, northwestern Argentina). *Tectonophysics* 583: 105-123.

Zuccolillo, U. 1963. Rasgos geológicos de la cuenca de La Troya, La Rioja. Museo de La Plata. Tesis inédita.

# ANEXOS

Anexo I: Mapa geológico

Anexo II: Perfil sedimentológico

Anexo III: Descripciones petrográficas

## Anexo I: Mapa geológico de la ladera sureste del Cordón de La Flecha, Provincia de La Rioja, Argentina

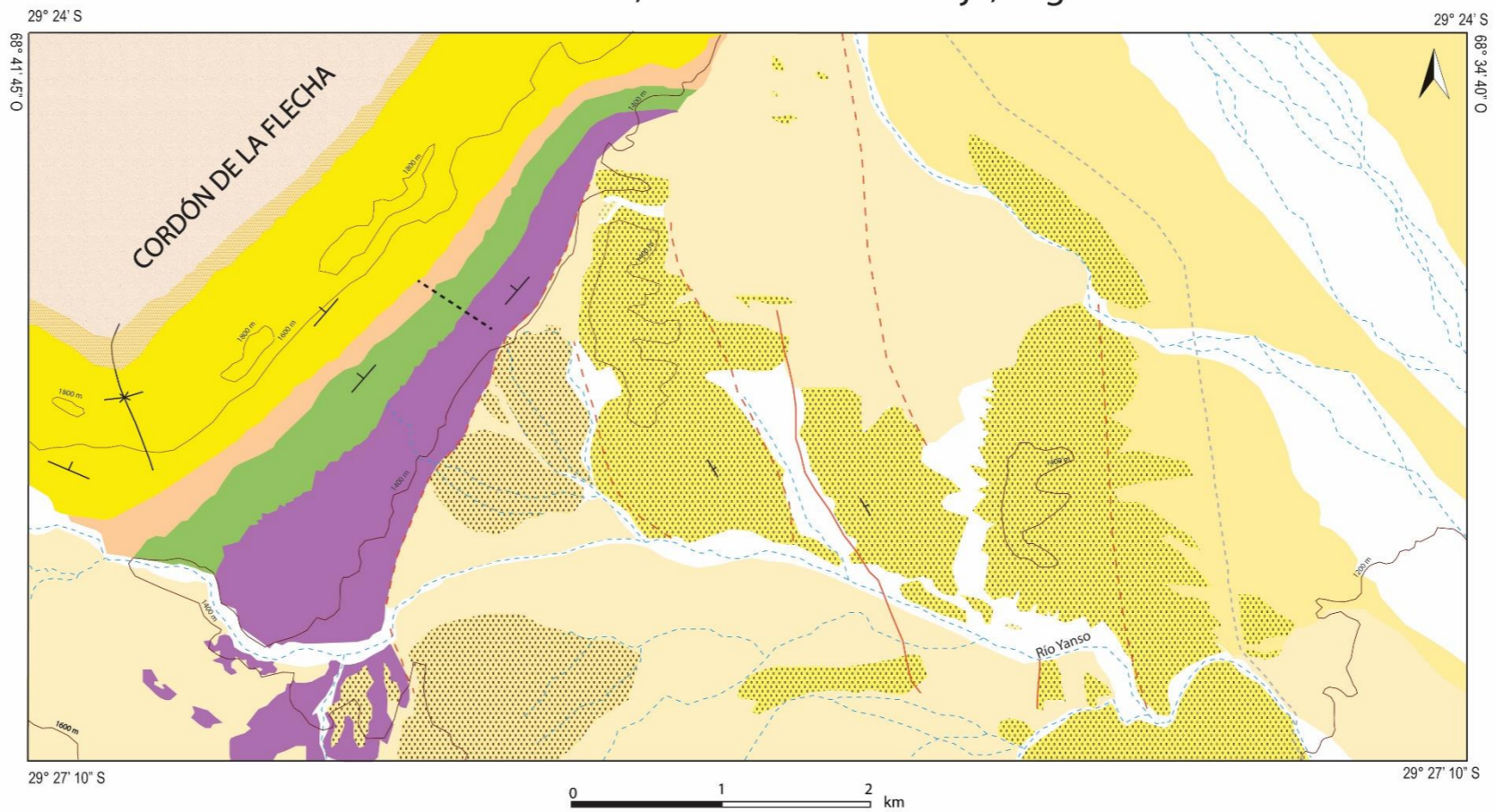
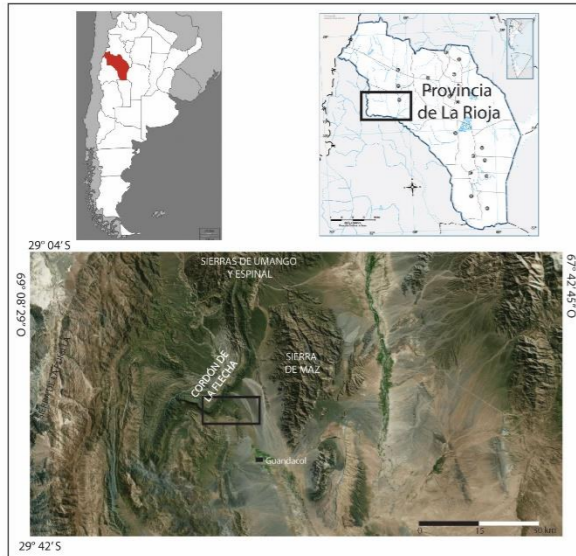


UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Ciencias Geológicas



Estratigrafía y Sedimentología de las unidades mesozoicas y paleógenas en la ladera sureste del Cordón de La Flecha, Provincia de La Rioja, República Argentina

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA  
LARA AZUL FUMAROLA  
2019



### CUADRO ESTRATIGRÁFICO

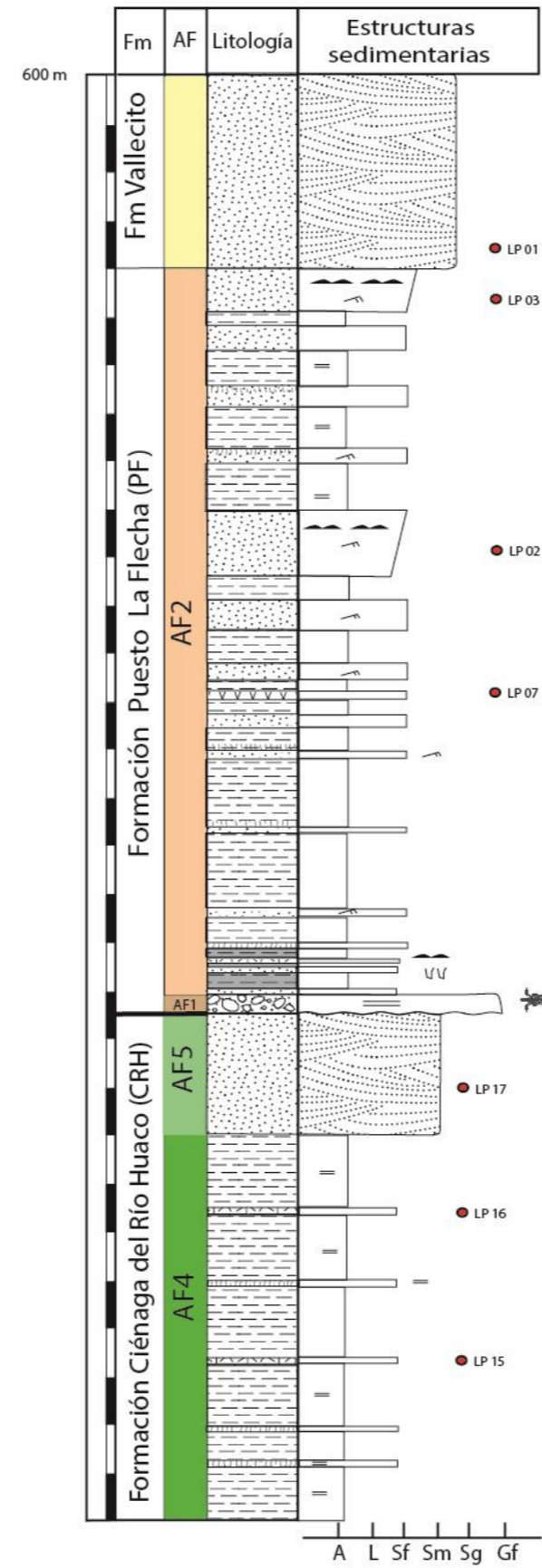
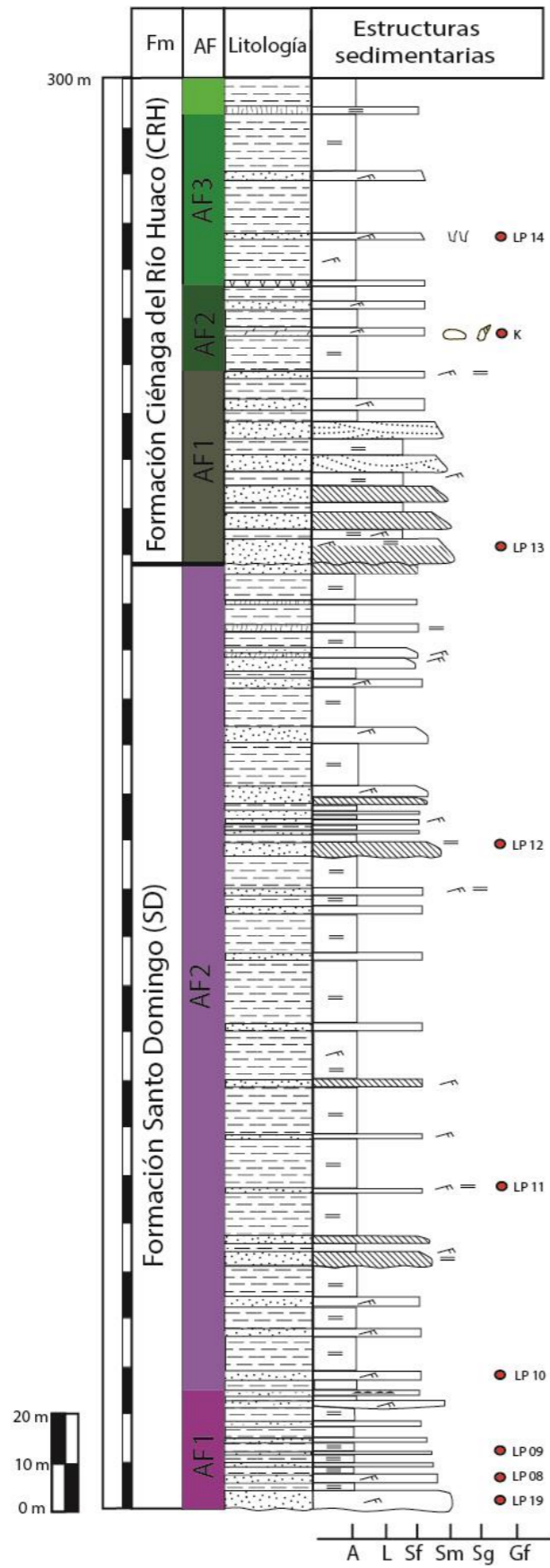
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Planicie aluvial actual
			Niveles de abanicos aterrazados III
			Niveles de abanicos aterrazados II
			Niveles de abanicos aterrazados I
NEÓGENO	PLIOCENO		Fm. El Corral
		MIOCENO	Fm. Vinchina
			Fm. Cerro Morado Fm. Vallecito
PALEÓGENO	OLIGOCENO		Fm. Puesto La Flecha
	EOCENO		Fm. Ciénaga del Río Huaco
MESOZOICO	CRETÁCICO		
	JURÁSICO		
	TRIÁSICO		Fm. Santo Domingo

### REFERENCIAS

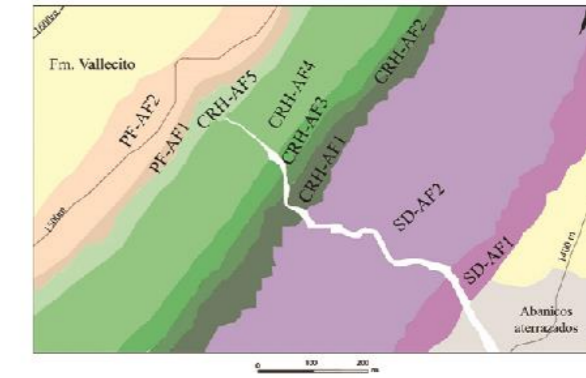
	Falla visible		Falla supuesta
	Pliegue sinclinal		Traza del perfil
	Camino de tierra		Curva de nivel
	Rumbo e inclinación		Río efímero



## Anexo II: Perfil sedimentológico



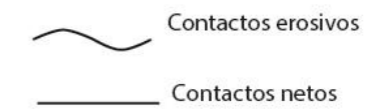
## UBICACIÓN



## REFERENCIAS



## TIPO DE CONTACTO



## TAMAÑO DE GRANO



A = Arcilla  
 L = Limo  
 Sf = Arena fina  
 Sm = Arena mediana  
 Sg = Arena gruesa  
 Gf = Conglomerado fino

### Anexo III: Descripciones petrográficas

A continuación, se presentan las descripciones individuales de los cortes petrográficos de las unidades aflorantes en la ladera sureste del Cordón de La Flecha.

#### Muestra: LP 19

- Formación Santo Domingo, asociación de facies 1 (AF-SD1)
- Localización: 29°25'30.94"S, 68°39'21.10"O
- Clasificación: Feldarenita (Folk *et al.*, 1970).

#### Descripción:

Corresponde a una arenisca mediana moderadamente bien seleccionada con textura clasto-sostén. Predominan de contactos tangenciales y, en menor medida, rectos. Se distingue 92% de clastos, 7% de cemento y 1% de porosidad. No se observa matriz.

En la fracción clástica (92% del total de la roca), el cuarzo monocristalino es el componente mayoritario (63%), se presenta en clastos subredondeados con extinción normal, aunque se observan algunos granos con extinción ondulosa. Se presenta límpido con algunas inclusiones fluidas. En menor proporción, se distingue cuarzo policristalino grueso (1%). El segundo componente mayoritario en la fracción clástica son los feldespatos alcalinos (26%). Sus clastos se presentan subredondeados, con forma tabular característica y con macla de dos individuos. Predomina la ortosa con bordes levemente corroídos, y alteración moderada a arcillas y sericitas. En menor medida, se distinguen escasas plagioclasas subangulosas con típica macla polisintética (3 %). Por otra parte, los fragmentos de roca corresponden a líticos metamórficos (6%) y líticos volcánicos ácidos (<1%). Se presentan subredondeados, con bordes corroídos y levemente deformados. Los líticos metamórficos corresponden a metamorfitas de bajo grado, mientras que los líticos de vulcanitas ácidas presentan textura afanítica. Son porcentualmente menores al 1% los minerales accesorios como las micas y opacos.

El cemento (7% del total de la roca) está constituido por sílice como crecimiento secundario en cuarzo, yeso y carbonatos de textura granular y, en sectores, poikilítico. El crecimiento secundario es el primero de los cementos, hacia los poros precipitó el yeso y, por último, el carbonato en los espacios remanentes.

La porosidad es de tipo primaria y representa el 1% de la muestra (microporos y mesoporos).



### Muestra: LP 08

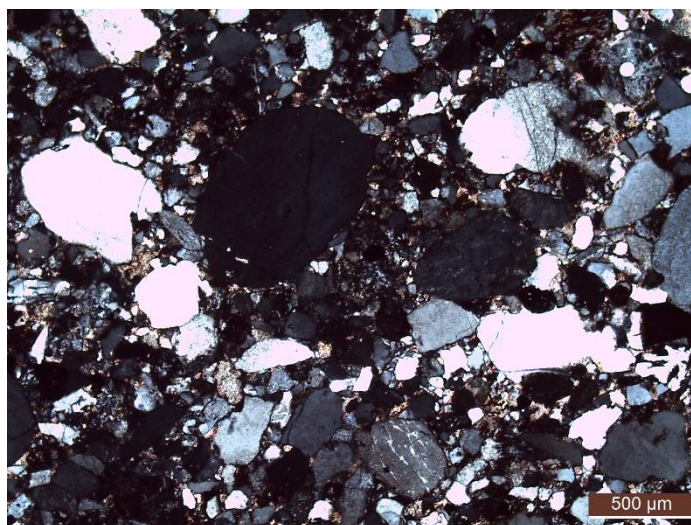
- Formación Santo Domingo, asociación de facies 1 (AF-SD1)
- Localización: 29°25'30.10"S, 68°39'21.41"O
- Clasificación: Feldarenita (Folk *et al.*, 1970).

#### Descripción:

Corresponde a una arenisca fina con moderada selección y textura clasto-sostén. Se observan dos modas de tamaño de grano una de 200  $\mu\text{m}$  y otra cercana a 80  $\mu\text{m}$ . Se distinguen un 94% de clastos, 5% de cemento y menos de 1% de matriz. Los contactos entre los clastos son principalmente rectos y cóncavo-convexos. En la fracción clástica, son predominantes el cuarzo microcristalino, el feldespato potásico y la plagioclasa. Se distinguen, en menor medida, cuarzo policristalino, líticos volcánicos ácidos, líticos sedimentarios, escasos líticos metamórficos y minerales accesorios como clastos de piroxeno.

En la fracción clástica, el cuarzo monocristalino es el componente mayoritario (54%), se presenta con formas subangulosas a subredondeadas, con extinción de tipo normal, aunque se observan algunos individuos con extinción ondulosa y fragmentosa. El feldespato potásico (36%) se presenta subanguloso, con forma tabular característica y macla de dos individuos. Es predominante la ortosa que se encuentra moderadamente alterada a arcillas y sericita y presenta bordes corroídos. En menor medida, se observan plagioclasas con macla polisintética. Los fragmentos líticos corresponden a volcanitas ácidas (5%), cuarzo policristalino grueso (3%), líticos sedimentarios (1%) y metamórficos (0.5%). En general, se presentan subredondeados, con bordes corroídos y levemente deformados. Los líticos metamórficos están compuestos por metamorfitas de bajo grado, los líticos sedimentarios por limolitas, y los líticos volcánicos ácidos presentan textura felsítica. Son porcentualmente menores a 0.5% los accesorios como las micas, piroxenos y opacos.

El cemento representa un 5% del total de la muestra y predomina el carbonato (2%) en textura de mosaico granular (con cristales de 60  $\mu\text{m}$  y hasta 100  $\mu\text{m}$ ). En una proporción similar (2%) se observan óxidos de hierro formando pátinas sobre los clastos y en los rebordes. En menor proporción se observa yeso (1%) y crecimiento secundario de cuarzo (<1%). Por otra parte, se ha distinguido crecimiento secundario de feldespato potásico alrededor de plagioclasas.



### Muestra: LP 09

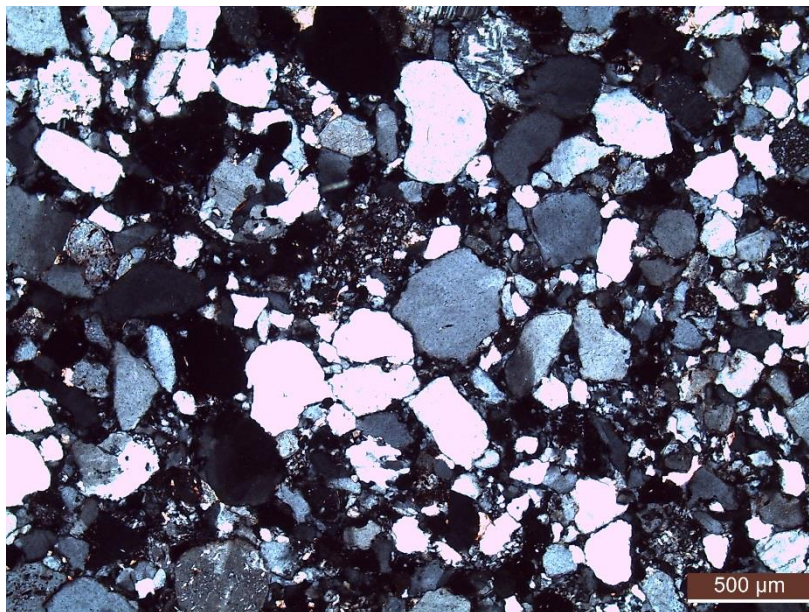
- Formación Santo Domingo, asociación de facies 1 (AF-SD1)
- Localización: 29°25'29.22"S, 68°39'21.82"O
- Clasificación: Feldarenita (Folk *et al.*, 1970).

### Descripción:

Corresponde a una arenisca fina moderadamente seleccionada con textura clasto-sostén. Se observan dos modas: una de 250 y otra de 80  $\mu\text{m}$ . Hay un predominio de contactos tangenciales y, en menor medida, cóncavo-convexos. Se distingue composicionalmente un 93% de clastos, un 6% de cemento y menos de 1% de matriz. No se observa porosidad.

En la fracción clástica, el cuarzo monocristalino es el componente mayoritario (61%), se presenta en clastos subredondeados con extinción normal, aunque se observan granos con extinción ondulosa. Se presenta generalmente límpido o con algunas inclusiones fluidas. Los feldespatos se presentan subangulosos, con forma tabular característica. Predomina la ortosa con alteración a arcillas y sericita, y bordes corroídos (30%), aunque también se reconocen la presencia de plagioclasa (2.5%). Se han observado escasos individuos de microclino (<0.5%) identificables por macla típica en arpillera. Los fragmentos líticos corresponden a volcanitas ácidas (3%), cuarzo policristalino (2%) y líticos metamórficos (1% de la fracción clástica. En general, los fragmentos líticos se presentan subredondeados, con bordes corroídos y levemente deformados. Son porcentualmente menores los accesorios como las micas y opacos representando menos de 1% de la muestra.

El cemento (6%) está constituido por sílice como crecimiento secundario en cuarzo, yeso y carbonatos de textura granular, óxidos en pátinas y bordes y, en menor medida, feldespato potásico como crecimiento secundario en plagioclasas y feldespatos. El crecimiento secundario y los óxidos son los primeros de los cementos, luego siguen las arcillas, y hacia los poros se formó el yeso.



### Muestra: LP 10

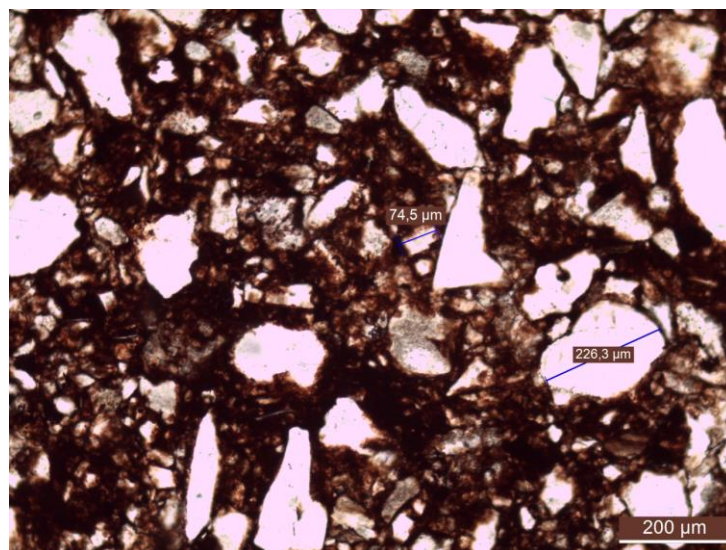
- Formación Santo Domingo, asociación de facies 2 (AF-SD2)
- Localización: 29°25'28.86"S, 68°39'23.70"O
- Clasificación: Feldarenita (Folk *et al.*, 1970).

#### Descripción:

Corresponde a una arenisca fina moderadamente seleccionada y con textura clasto-sostén. Presenta dos modas: una de aproximadamente 220 y 70  $\mu\text{m}$ . Predominan los contactos tangenciales y, en menor medida, cóncavo-convexos. Hay un 90% de clastos, un 8% de cemento y menos de 2% de matriz. No se observa porosidad.

En la fracción clástica (90%), se distinguen cuarzo monocristalino, feldespato potásico, cuarzo policristalino, líticas volcánicas ácidas, líticas metamórficas y plagioclasa. El cuarzo monocristalino es el componente mayoritario (61%), se presenta subredondeado y generalmente con extinción normal, aunque se observan granos con extinción ondulosa y fragmentosa. Los feldespatos se presentan subangulosos a subredondeados, con forma tabular característica. Predomina la ortosa (29%) con alteración a arcillas y sericita y, en un porcentaje menor (3%), se distinguen individuos corroídos y alterados de plagioclasas con macla polisintética. Los fragmentos líticos corresponden a volcanitas ácidas (2%), cuarzo policristalino grueso (2%) y líticas metamórficas (1.5%). En general, tanto los líticas volcánicas ácidas como metamórficas se presentan subredondeados, con bordes corroídos y levemente deformados. En algunos sectores los líticas se encuentran tan deformados que comienzan a conformar una pseudomatriz. Son porcentualmente menores (1.5%) los minerales accesorios como la biotita, muscovita y piroxeno.

El cemento (8% del total de la roca) está constituido por carbonatos, óxidos de Fe y yeso en orden de abundancia. Los carbonatos (4%) presentan textura poikilítica y/o mosaico granular a microgranular. Los óxidos (2%) forman pátinas y rebordes alrededor de los clastos y son los que le confieren un color rojizo a la roca. El yeso (1%) se presenta con textura microgranular. En general, primero se observan los óxidos, luego el carbonato y hacia los poros el yeso.

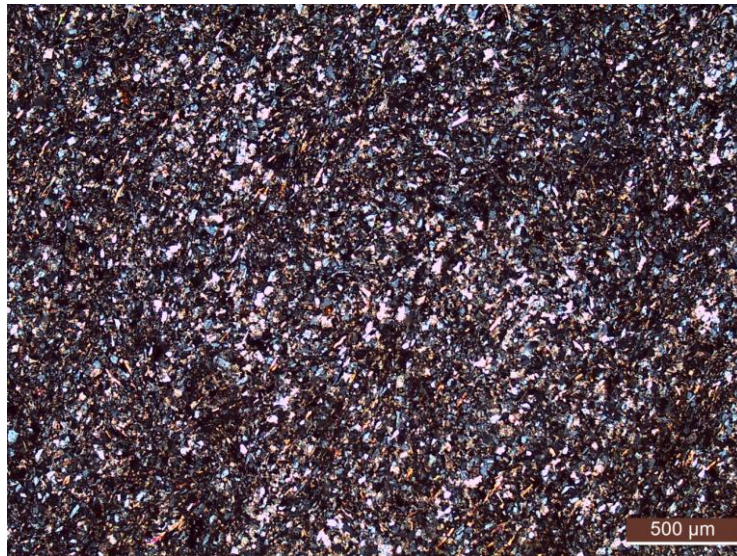


**Muestra: LP 11**

- Formación Santo Domingo, asociación de facies 2 (AF-SD2)
- Localización: 29°25'28.24"S, 68°39'24.91"O
- Clasificación: Fangolita arenosa

**Descripción:**

Se corresponde con una fangolita arenosa moderadamente a bien seleccionada. Al microscopio presenta un tamaño de grano muy pequeño como para caracterizarla petrográficamente. El tamaño promedio de las partículas es 30  $\mu\text{m}$ , a excepción de algunas laminillas de micas con tamaños de hasta 50  $\mu\text{m}$ . Se distinguen venas rellenas con carbonatos de ancho variable (hasta 500  $\mu\text{m}$ ) y con bifurcaciones. De forma muy general, se observa que predominan clastos de cuarzo, micas y plagioclasas, y cemento de carbonato.

**Muestra: LP 12**

- Formación Santo Domingo, asociación de facies 2 (AF-SD2)
- Localización: 29°25'27.49"S, 68°39'27.24"O
- Clasificación: Feldarenita (Folk *et al.*, 1970).

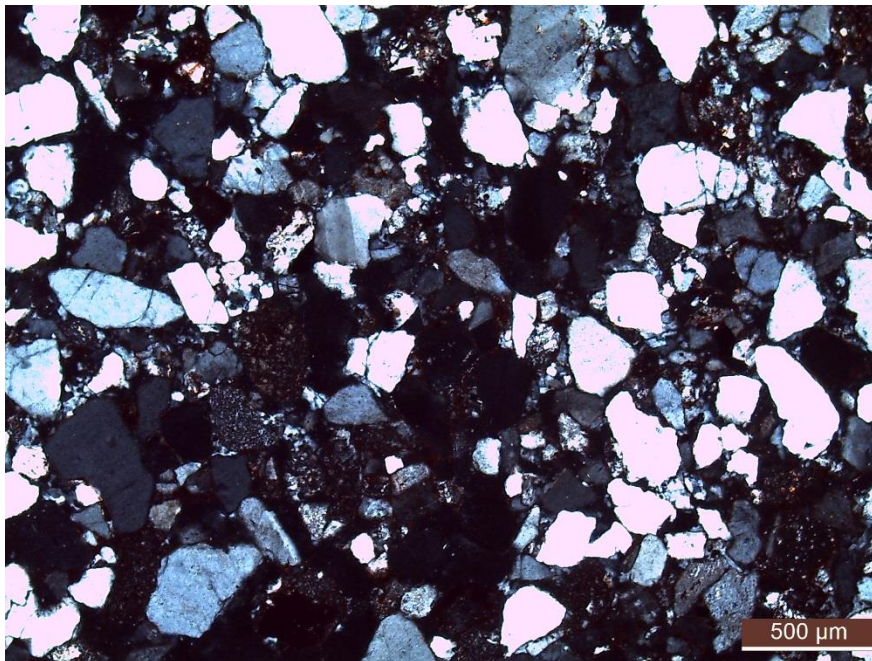
**Descripción:**

Corresponde a una arenisca mediana moderadamente seleccionada y con moda en 220  $\mu\text{m}$ . La textura es clasto-sostén con predominio de contactos tangenciales y, en menor medida, rectos. Proporcionalmente, se distinguen 95% de clastos, 4% de cemento y menos de 1% de matriz. No se observa porosidad.

En la fracción clástica (95%), se distinguen cuarzo monocristalino, feldespato potásico, cuarzo policristalino, líticos volcánicos ácidos, líticos sedimentarios, plagioclasa y minerales accesorios. Dentro de la fracción clástica, el cuarzo monocristalino es el componente mayoritario (60%), generalmente presenta extinción normal, aunque se observan granos con extinción ondulosa. Los clastos son subredondeados y suelen presentarse lípidos. Los feldespatos son subangulosos a subredondeados, con forma tabular característica. Predomina la ortosa (30%) con macla de dos individuos, y alteración leve a arcillas y sericita. En un

porcentaje menor a 1.5%, se distinguen individuos corroídos y alterados de plagioclasa. Los fragmentos líticos corresponden a líticos sedimentarios (1.5%), volcanitas ácidas (4%) y cuarzo policristalino (3%). En general, tanto los líticos volcánicos ácidos como sedimentarios se presentan subredondeados, con bordes corroídos y levemente deformados. Son porcentualmente menores los accesorios como circón y opacos, los que representan menos de 1% de la muestra.

El cemento (4% del total de la roca) está constituido, en orden de abundancia, por yeso, óxidos de hierro, carbonatos y anhidrita. El yeso se presenta con textura microgranular, mientras que los carbonatos presentan textura poikilítica y en mosaico granular a microgranular. Los óxidos se presentan como pátinas y rebordes alrededor de los clastos. La anhidrita se distingue en algunos sectores del corte y presenta una textura poikilítica. En general, primero se formaron los óxidos como pátinas y rebordes sobre los clastos y, hacia los poros, en diferentes sectores se observa yeso, carbonatos o anhidrita.



**Muestra: LP 13**

- Formación Ciénaga del Río Huaco, asociación de facies 1 (AF-CRH1)
- Localización: 29°25'25.28"S, 68°39'33.07"O
- Clasificación: Litoarenita (Folk *et al.*, 1970).

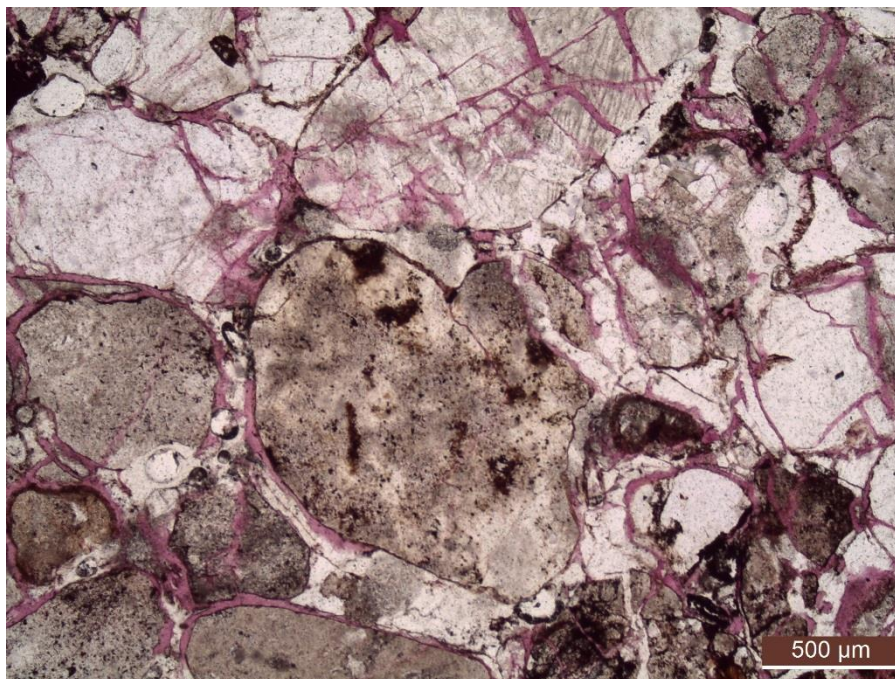
**Descripción:**

Corresponde a una arenisca gravosa moderadamente bien seleccionada con un tamaño medio de 1 mm. Presenta textura clasto-sostén con predominio de contactos tangenciales y, en menor medida, rectos. Se reconoce un 95% de clastos, un 4% de cemento y 1% de porosidad. No se distingue matriz.

En la fracción clástica se distinguen, en orden de abundancia, individuos redondeados de cuarzo monocristalino, líticos volcánicos ácidos, líticos volcánicos mesosilícicos a básicos, líticos tobáceos, líticos metamórficos, feldespato potásico y plagioclasas. El cuarzo monocristalino (49%) presenta extinción normal, aunque se observan granos con extinción ondulosa. Los fragmentos líticos están formados por líticos volcánicos ácidos (31%), líticos

volcánicos mesosilícicos a básicos (10%), líticos tobáceos (6%) y líticos de metamorfitas de bajo grado (2%). En general, se encuentran redondeados y fragmentados. Los líticos volcánicos ácidos presentan textura felsítica, mientras que los líticos volcánicos básicos a mesosilícicos poseen una textura microporfírica. Por último, los feldespatos se presentan en clastos redondeados a subredondeados. Predomina la plagioclasa (1.5% de la fracción clástica) con macla polisintética típica y, en menor medida, se observa ortosa (0.5% de la fracción clástica) con alteración a arcillas y sericita, y bordes corroídos.

El cemento (4% del total de la roca) está constituido por yeso en mosaico granular y, en menor medida, por pátinas de óxidos y rebordes en los clastos.



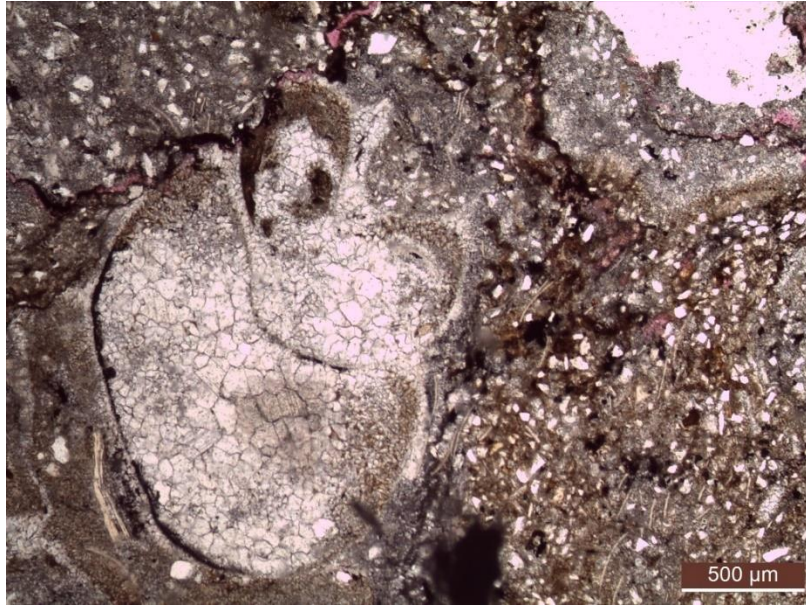
#### Muestra: K

- Formación Ciénaga del Río Huaco, asociación de facies 2 (AF-CRH2)
- Localización: 29°25'23.31"S, 68°39'33.56"O
- Clasificación: Bioesparita (Folk, 1968) o *rudstone* bioclástico (Embry y Klovan, 1971)

#### Descripción:

Corresponde a una roca carbonática en donde predominan los bioclastos de ostrácodos y gasterópodos. Los gasterópodos presentan un tamaño de partícula mayor a 4 mm, se encuentran recristalizados por cementos drusiformes y, en algunos casos, muestran evidencias de silicificación. Los ostrácodos se presentan desarticulados y con una orientación incipiente de sus valvas. En algunos sectores, se observan partículas fosfáticas que podrían llegar a corresponder a restos de peces. Por otra parte, se distinguen peloides menores a 200 μm. Hay clastos de rocas carbonáticas o partículas totalmente cementadas por un mosaico de esparita. En menor proporción, se distinguen líticos sedimentarios rojos. El cemento que predomina es la microesparita de tipo ecuate. Por otra parte, relleno de los bioclastos hay micrita y cemento drusiforme. En algunos sectores, se distingue cemento de anhidrita y bioclastos totalmente recristalizados por yeso.





**Muestra: LP 14**

- Formación Ciénaga del Río Huaco, asociación de facies 3 (AF-CRH3)
- Localización: 29°25'22.40"S, 68°39'34.31"O
- Clasificación: Litoarenita feldespática (Folk *et al.*, 1970).

**Descripción:**

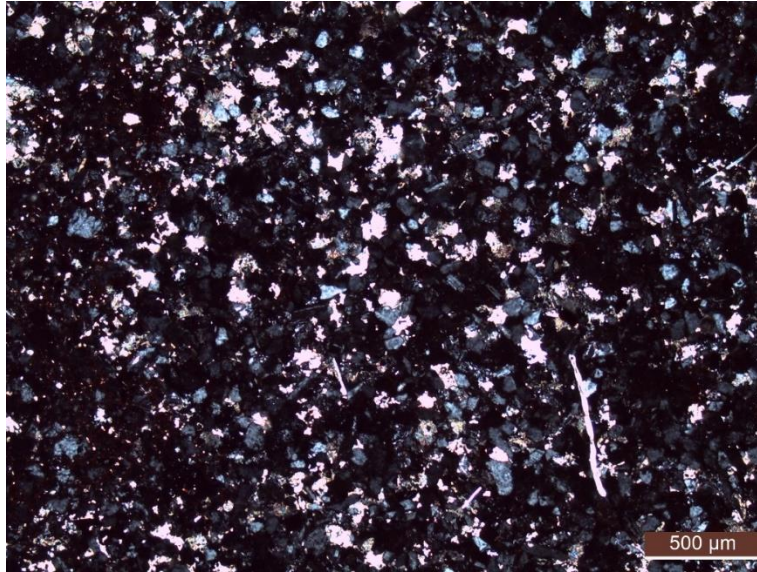
Corresponde a una arenisca fangosa moderadamente bien seleccionada con una distribución bimodal (modas en 100 y 35  $\mu\text{m}$ ). La media geométrica se ubica en 96.76  $\mu\text{m}$  indicando una arenisca muy fina. Si bien el tamaño medio de grano es 95  $\mu\text{m}$ , en el corte se distinguen tres partículas carbonáticas de 1.7 a 2 mm. La roca presenta textura clasto-sostén con predominio de contactos tangenciales y, en menor medida, rectos. Hay un 92% de clastos, un 5% de cemento y de 3% de matriz. No se observa porosidad.

En la fracción clástica, se distingue cuarzo monocristalino, plagioclasa, líticos volcánicos ácidos, líticos volcánico mesosilíceos a básicos y partículas carbonáticas.

El cuarzo monocristalino (61% de la fracción clástica) se presenta en clastos angulosos a subangulosos con extinción normal y ondulosa. Se observan abundantes inclusiones fluidas. La plagioclasa (17%) se presenta angulosa, con forma tabular, bordes corroídos y alteración incipiente a arcillas. Los fragmentos líticos corresponden a volcanitas ácidas de textura afanítica (7%), líticos volcánicos mesosilíceos a básicos (13%) y partículas carbonáticas (1%). En general, presentan formas subangulares, están levemente alterados a arcillas y en algunos casos están deformados. Son porcentualmente menores los accesorios como las micas y opacos representando el 1% de la muestra.

El cemento (5% del total de la roca) está constituido por óxidos de Fe como pátinas y rebordes de los clastos, carbonato como mosaico microgranular, ceolitas isótropas (analcima) y, en menor proporción, se observa anhidrita.

La matriz (3% de la roca) está conformada principalmente por clastos de cuarzo y feldespato.

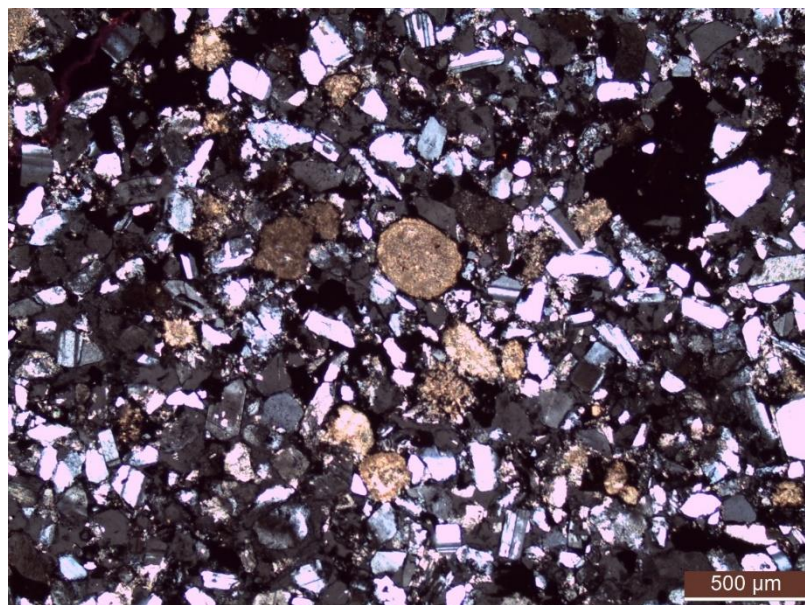


**Muestra: LP 15**

- Formación Ciénaga del Río Huaco, asociación de facies 4 (AF-CRH4)
- Localización: 29°25'20.43"S, 68°39'35.66"O
- Clasificación: Marga

**Descripción:**

Corresponde a una roca mixta: carbonática-clástica. Se distingue una textura clasto-sostén con contactos tangenciales. En la fracción clástica, se distinguen clastos angulosos de plagioclasa de tipo andesina y cuarzo. Los fragmentos carbonáticos se asocian a oolitas e intraclastos. Estos se observan a ojo desnudo, se presentan muy redondeados y totalmente recristalizados, y tienen tamaños de entre 1.4 a 9 mm. En algunos sectores, se puede observar microesférulas y diferentes tipos de micritas que dan indicio de actividad microbiana. Por otra parte, son muy importantes las oolitas de tipo fibro-radiales y concéntricas. En algunos casos, se puede observar bien la estructura interna de los ooides y, en otros, presentan fracturación intensa. Algunos individuos se formaron en torno a valvas y ostrácodos. El cemento que predomina es de ceolitas, óxidos de Fe y micrita.

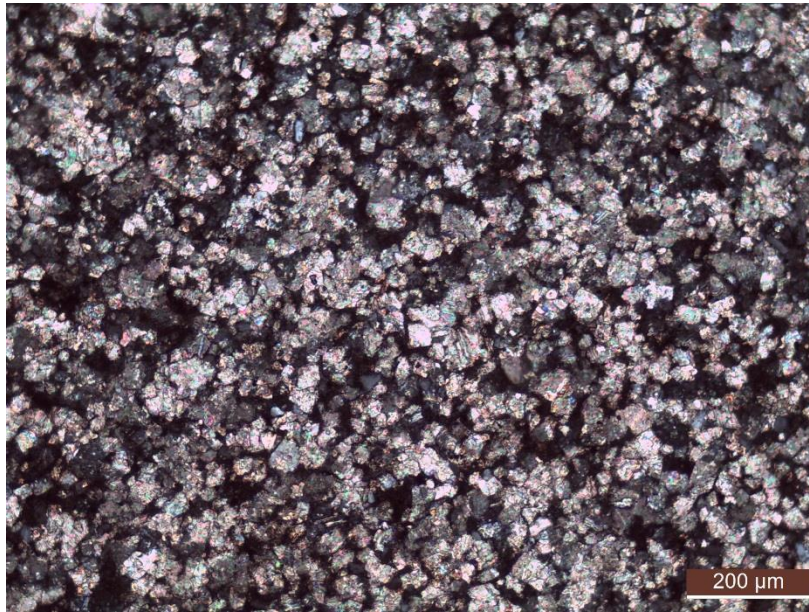


**Muestra: LP 16**

- Formación Ciénaga del Río Huaco, asociación de facies 4 (AF-CRH4)
- Localización: 29°25'19.73"S, 68°39'36.78"O
- Clasificación: *Sparstone* (Folk, 1962)

**Descripción:**

Corresponde a una roca carbonática conformada casi totalmente por un mosaico granular de esparita por lo que se la clasifica como *sparstone*. No se distingue otro tipo de componentes. El cemento predominante es la dolomita, aunque en algunos sectores hay material clástico junto a cemento carbonático en mosaico microgranular.

**Muestra: LP 17**

- Formación Ciénaga del Río Huaco, asociación de facies 5 (AF-CRH5)
- Localización: 29°25'18.27"S, 68°39'39.18"O
- Clasificación: Feldarenita lítica (Folk *et al.*, 1970).

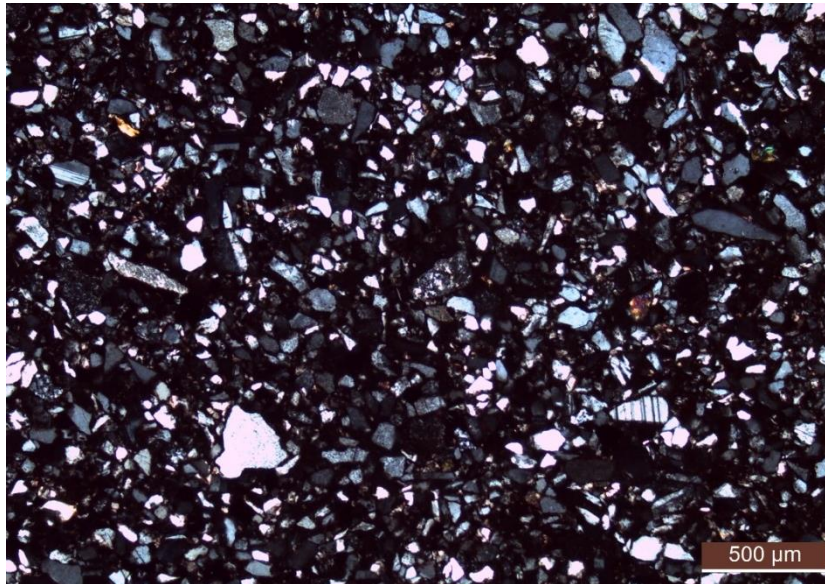
**Descripción:**

Corresponde a una arenisca mediana moderadamente bien seleccionada con textura clasto-sostén. Predominan los contactos tangenciales a rectos. Se puede distinguir un 95% de clastos y 4% de cemento. La roca presenta menos de un 1% de matriz y porosidad.

La fracción clástica está conformada por cuarzo monocristalino, plagioclasa, feldespato potásico, líticos volcánicos ácidos y mesosilíceos a básicos. En general, el tamaño promedio de los clastos es de 0.1 mm. El cuarzo monocristalino (52%) posee formas angulosas a subangulosas y contornos netos. La extinción de los granos es mayormente normal, aunque se observan algunos individuos con extinción ondulosa y fragmentosa. Los clastos de plagioclasa (17%) con típica forma tabular y macla polisintética son angulosos, con leve alteración a arcillas y bordes levemente corroídos. El feldespato potásico (10%) se presenta en clastos subangulosos con alteración leve a arcillas y sericita, y típica macla de dos individuos. Los fragmentos líticos corresponden a volcanitas básicas con textura porfírica (15%) y volcanitas ácidas de textura

afanítica (6%) que presentan formas subangulares, están levemente alterados a arcillas y en algunos casos están deformados.

El cemento representa un 4% de la muestra y está formado predominantemente por óxidos de hierro formando pátinas sobre los clastos y en los rebordes. En menor proporción se observan ceolitas (1%) con textura microgranular.



**Muestra: LP 04**

- Formación Puesto La Flecha, asociación de facies 1 (AF-PF1)
- Localización: 29°25'17.63"S, 68°39'40.68"O
- Clasificación: Subfeldarenita (Folk *et al.*, 1970).

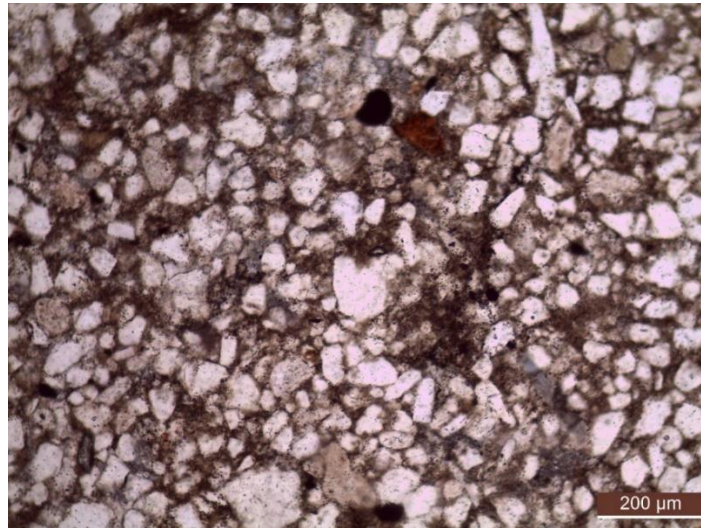
**Descripción:**

Corresponde a una arenisca fina moderadamente seleccionada con textura clasto-sostén. Predominan los contactos tangenciales a rectos. Los clastos representan un 95% de la muestra, el cemento un 3% y la matriz un 2%. No presenta porosidad óptica apreciable. A ojo desnudo se observan partículas carbonáticas con tamaños máximos de 5 mm.

La fracción clástica está conformada de manera predominante por cuarzo monocristalino y plagioclasa. En menor proporción, se distinguen partículas carbonáticas, feldespato potásico, cuarzo policristalino y líticos volcánicos básicos. El cuarzo (83%) es el componente principal y se presenta subredondeado, con extinción *flash* a ondulosa y límpido. Las plagioclasas (7.5%) poseen forma tabular, subangular y se encuentran intensamente fragmentadas. El feldespato potásico (2.5%), en ocasiones perítico, se presenta subanguloso, intensamente alterado a arcillas. El principal componente es ortosa, aunque se distinguen algunos cristales de microclino. En menor medida se observan clastos de cuarzo policristalino redondeado (2%), líticos volcánicos básicos redondeados y levemente deformados (4%), y partículas carbonáticas. Estas últimas representan un 1% de la fracción clástica, se asocian a margas y poseen tamaños menores a 5 mm. Por otra parte, se distinguen algunos intraclastos totalmente recrystalizados y/o micritizados, y fragmentos esqueléticos pertenecientes a quelonios.

El cemento representa un 3% de la muestra y está compuesto por carbonato de calcio en mosaico microcristalino y arcillas por encima de los clastos, así como también rellenando el espacio poral.

La matriz representa un 2% de la muestra y está caracterizada por cuarzo de menos de 20  $\mu\text{m}$  de diámetro.



**Muestra: LP 07**

- Formación Puesto La Flecha, asociación de facies 2 (AF-PF2)
- Localización: 29°25'16.75"S, 68°39'41.18"O
- Clasificación: Toba vítrea

**Descripción:**

Corresponde a una toba vítrea en donde se reconocen, por orden de abundancia, vitroclastos (80%), cristaloclastos (15%) y litoclastos (5%).

La fracción vítrea es predominante en la muestra y está formada por trizas, algunas triaxonas, fragmentos pumíceos de hasta 250  $\mu\text{m}$  y polvo volcánico alterado a arcillas y óxidos. Por otra parte, los cristaloclastos están formados, en orden de abundancia, por plagioclasas, cuarzo y biotita. Las plagioclasas se presentan angulosas, con macla polisintética y con tamaño entre 55  $\mu\text{m}$  y 130  $\mu\text{m}$ . El cuarzo, de forma angulosa, tiene un tamaño promedio de 70  $\mu\text{m}$  y se presenta límpido. Las biotitas, mucho menos importantes en la fracción de cristaloclastos, presentan coloración castaño-rojiza y con tamaño máximos de 160  $\mu\text{m}$ .

Por último, los litoclastos están constituidos por fragmentos angulosos de líticos volcánicos mesosilíceos con textura microporfírica y escasos líticos volcánicos ácidos con textura afanítica.

A lo largo de la muestra, se observan venillas rellenas con carbonatos de hasta 170  $\mu\text{m}$  de espesor, y otras, mucho más delgadas (40  $\mu\text{m}$ ) rellenas por yeso.

De forma general, se observa laminación en la muestra constituida por bandas en donde los vitroclastos y los cristaloclastos son predominantes y de mayor tamaño, y otras en donde el tamaño de grano es mucho menor y predomina el polvo volcánico.



**Muestra: LP 02**

- Formación Puesto La Flecha, asociación de facies 2 (AF-PF2)
- Localización: 29°25'16.51"S, 68°39'42.54"O
- Clasificación: Feldarenita lítica (Folk *et al.*, 1970)

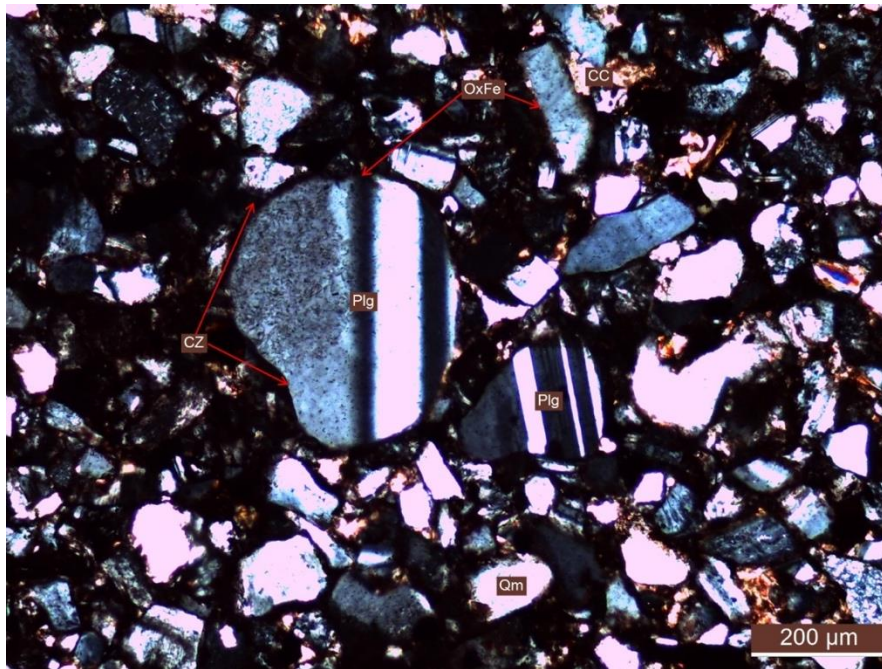
**Descripción:**

Corresponde a una arenisca limosa moderadamente seleccionada. Presenta una textura clasto-sostén con contactos tangenciales a rectos. Los clastos representan un 93% de la muestra, el cemento un 5% y la matriz un 2%. No presenta porosidad óptica apreciable.

La fracción clástica está conformada por cuarzo monocristalino, plagioclasa, líticos volcánicos ácidos, líticos volcánicos básicos, cuarzo policristalino y partículas carbonáticas. El cuarzo es el componente principal (62%) y se presenta subredondeado, con extinción *flash* a ondulosa y límpido. Algunos clastos se encuentran fracturados y con bordes irregulares. Las plagioclasas (21.5%) se presentan con forma tabular, subangulares e intensamente fragmentadas. Los clastos de líticos volcánicos ácidos (11%) poseen textura afanítica y se observan redondeados. Los líticos volcánicos básicos (3%) se presentan también redondeados y es posible distinguir plagioclasa y minerales máficos inmersos en una pasta vítrea. El cuarzo policristalino grueso está conformado por más de 5 cristales y representa un 1.5% de la fracción clástica. Por último, se pueden observar partículas carbonáticas (oolitas concéntricas) y minerales accesorios menores como micas y zoicita (1%).

El cemento representa un 5% de la muestra y está compuesto por ceolitas de tipo isótropas (analcima), carbonato en mosaico microcristalino y óxidos de hierro conformando pátinas y rebordes.

La matriz representa un 2% de la muestra y está caracterizada por clastos menores a 10 μm de diámetro y material arcilloso.



**Muestra: LP 03**

- Formación Puesto La Flecha, asociación de facies 2 (AF-PF2)
- Localización: 29°25'14.84"S, 68°39'42.55"O
- Clasificación: Litoarenita feldespática (Folk *et al.*, 1970)

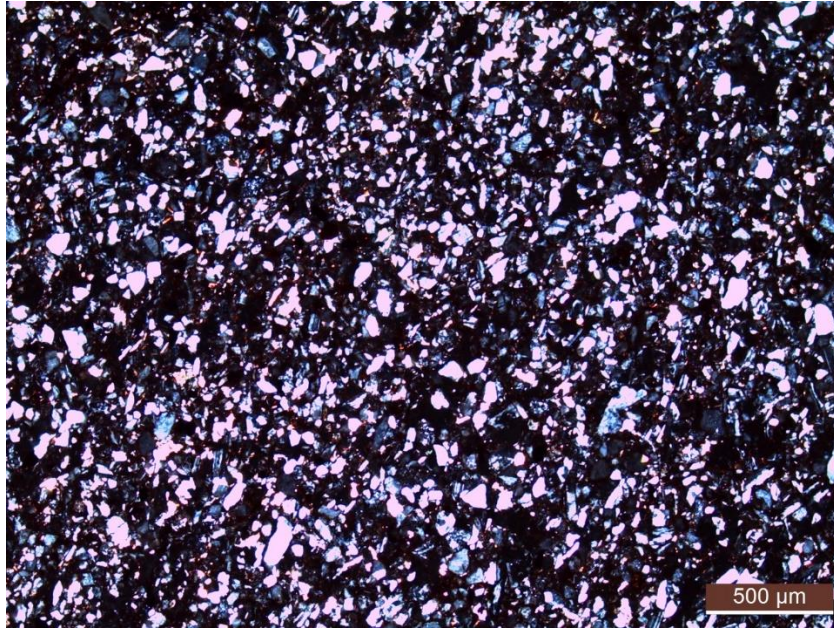
**Descripción:**

Corresponde a una arenisca muy fina moderadamente seleccionada con un tamaño de grano medio de 80 μm. Presenta textura clasto-sostén con contactos entre clastos de tipo tangenciales a rectos. Se distingue un 91% de clastos, 5% de cemento y un 4% de matriz.

La fracción clástica está conformada por cuarzo, plagioclasa, líticos metamórficos, líticos volcánicos ácidos y básicos y micas. El cuarzo monocristalino (46%) se presenta subanguloso, límpido, con extinción normal y contactos netos. Las plagioclasas (22%) son subangulosas, con alteración leve a arcillas, forma típica tabular y macla polisintética. Los fragmentos líticos se observan levemente subredondeados. Los fragmentos de volcanitas ácidas (18.5%) poseen texturas afaníticas, mientras que los líticos volcánicos básicos (9.5%) presentan texturas microporfíricas con pastas microgranosas. Las micas están dispersas en la muestra y están conformadas por láminas de muscovita (3%). Por último, los líticos metamórficos presentan un tamaño un poco mayor que el resto de la fracción clástica y corresponden a metamorfitas de bajo grado (1%). Algunos de estos clastos tienen bordes difusos y se encuentran deformados, por lo que conforman una incipiente pseudomatriz.

El cemento (5% del total de la roca) está compuesto por óxidos de Fe como pátinas y rebordes alrededor de los clastos, cemento carbonático en mosaico microgranular y ceolitas isótropas. En general, se observa el cemento de óxidos, luego las ceolitas y, por último, el carbonato desde el borde del clasto hacia el centro del poro.

La matriz representa un 4% de la muestra y está formada por partículas tamaño limo fino a arcilla.



**Muestra: LP 01**

- Formación Vallecito
- Localización: 29°25'13.51"S, 68°39'43.26"O
- Clasificación: Litoarenita feldespática (Folk *et al.*, 1970)

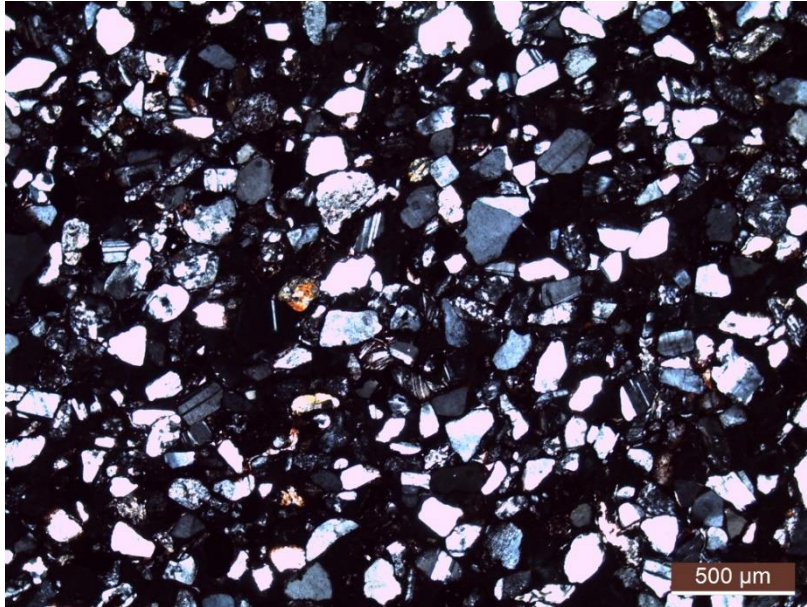
**Descripción:**

Corresponde a una arenisca mediana moderadamente a bien seleccionada con un tamaño de grano medio de 200 μm. Presenta textura clasto-sostén con contactos entre clastos de tipo tangenciales. Se distingue un 94% de clastos y un 5% de cemento. No se observa matriz y la porosidad es menor al 1%.

La fracción clástica está conformada por cuarzo, plagioclasa, líticos volcánicos básicos y ácidos. En menor medida se observan anfíboles y epidotos como minerales accesorios. El cuarzo monocristalino (31%) se presenta subredondeado a redondeado, límpido, con extinción normal y contactos netos. Las plagioclasas (27%) se presentan en clastos subredondeados, con alteración leve a arcillas, forma típica tabular y macla polisintética. Los fragmentos líticos se observan levemente subredondeados. Los líticos volcánicos básicos son los más abundantes (38%) y presentan textura porfírica. En menor proporción, se observan líticos volcánicos ácidos con textura afanítica (1%). Por otra parte, se observan anfíboles subredondeados con pleocroísmo verde a marrón (hornblenda) representando hasta un 3% de la fracción clástica y escaso epidoto.

El cemento constituye un 5% del total de la roca y el más abundante es el formado por ceolitas isótropas como mosaicos granulares relleno de la porosidad primaria. Luego, se destaca el cemento compuesto por óxidos de Fe como pátinas y rebordes alrededor de los clastos. En menor medida, se distingue cemento carbonático en mosaico microgranular y cementos arcillosos. En general, el orden de precipitación corresponde a óxidos, arcillas, luego las ceolitas y, por último, el carbonato desde el borde del clasto hacia el centro del poro.





#### **Muestra: LP 20**

- Matriz arenosa del conglomerado de la Formación El Corral, Miembro La Cueva
- Localización: 29°26'21.14"S, 68°38'29.86"O
- Clasificación: Litoarenita feldespática (Folk *et al.*, 1970)

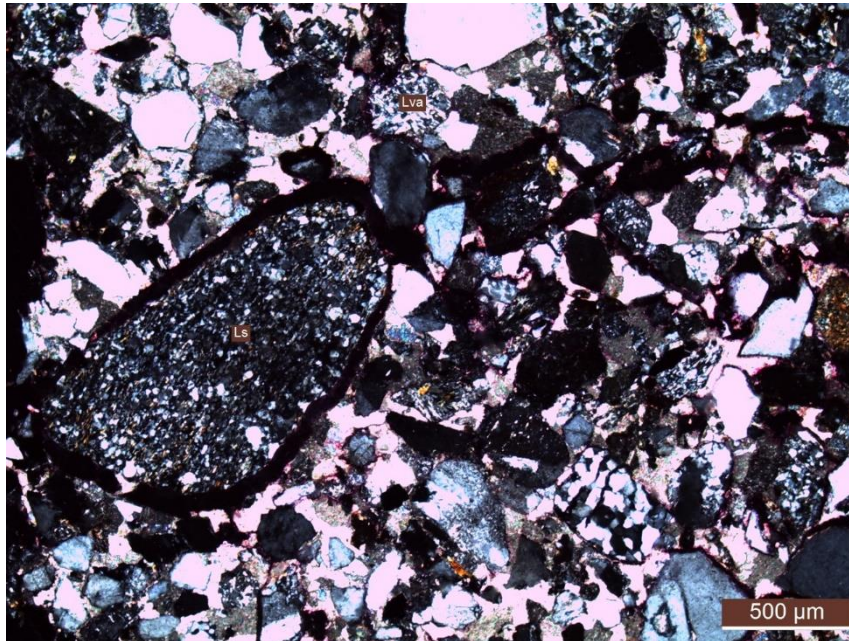
#### **Descripción:**

Corresponde a una arenisca gravosa moderadamente seleccionada con un tamaño de grano medio de 345  $\mu\text{m}$ . Presenta textura clasto-sostén con contactos entre clastos de tipo tangenciales. Se distingue un 90% de clastos, 7% de cemento y un 2% de porosidad.

La fracción clástica está conformada por cuarzo monocristalino, feldespato potásico, plagioclasas, líticos sedimentarios, líticos volcánicos básicos y ácidos y líticos metamórficos. En menor medida, se observan anfíboles y epidotos como minerales accesorios. El cuarzo monocristalino (47.5%) se presenta subredondeado a redondeado, límpido, con extinción normal y contactos netos. El feldespato potásico (15%) se encuentra subredondeado y moderadamente alterado a arcillas y carbonatos. Las plagioclasas (6%) se observan subredondeadas, con alteración leve a arcillas, forma típica tabular y maclas polisintéticas. Los fragmentos líticos son subredondeados y se encuentran formando la mayor parte de la fracción clástica. Los líticos sedimentarios (10.5%) están formados por areniscas ricas en cuarzo con tamaño de grano fino (<60  $\mu\text{m}$ ). Los líticos pertenecientes a vulcanicas básicas (8%) presentan textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, mientras que los líticos volcánicos ácidos (8%) poseen textura afanítica. En menor proporción, se distinguen líticos metamórficos (4%) correspondientes a metamorfitas de bajo grado en facies de esquistos verdes. En algunos sectores, se observa que los fragmentos líticos tienen bordes difusos y están levemente deformados conformando una pseudomatriz incipiente. Por otra parte, el cuarzo policristalino grueso y los minerales accesorios como las micas y los opacos conforman un 1% de la fracción clástica.

El cemento constituye un 7% de la muestra y está totalmente representado por carbonato en mosaico granular con cristales de tamaño promedio 70  $\mu\text{m}$ .

La porosidad (2% del total de la roca) que se observa es de tipo primaria, y se trata de microporos (<62  $\mu\text{m}$ ) y, en algunos casos, mesoporos (<100  $\mu\text{m}$ ).



**Muestra: LP 22**

- Matriz arenosa del conglomerado de la Formación El Corral, Miembro Quebrada del Río Yanso.
- Localización: 29°26'47.10"S, 68°36'6.11"O
- Clasificación: Litoarenita (Folk *et al.*, 1970)

**Descripción:**

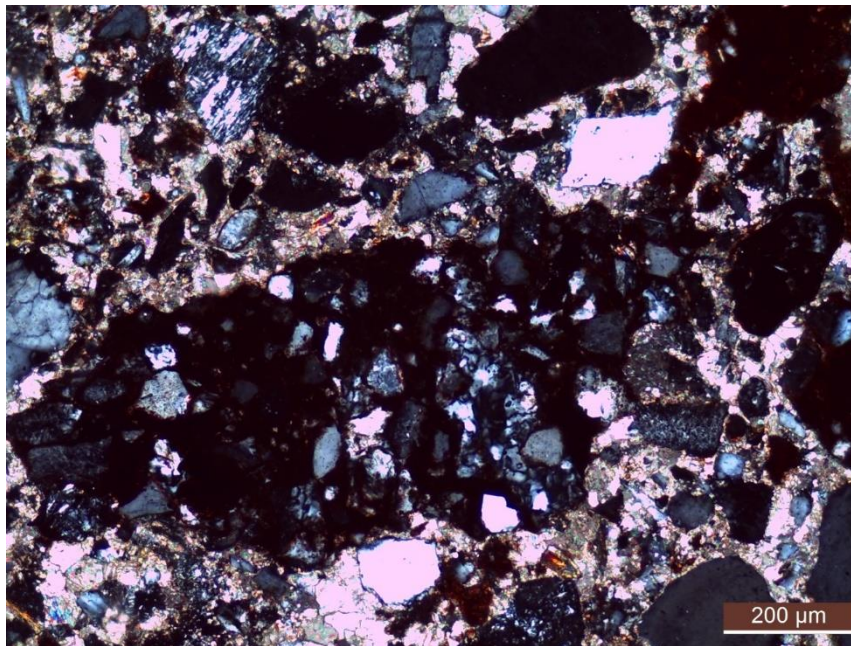
Corresponde a una arenisca mediana moderadamente seleccionada con un tamaño de partícula medio de 280  $\mu\text{m}$ . Presenta textura clasto-sostén con contactos entre clastos de tipo tangenciales, mientras que en algunos sectores se observa una textura flotante. Se distingue un 91% de clastos, 7% de cemento y un 2% de porosidad. No se observa fango.

La fracción clástica está conformada, en orden de abundancia, por líticos sedimentarios clásticos y carbonáticos, cuarzo monocristalino, plagioclasas, líticos volcánicos básicos, líticos tobáceos, cuarzo policristalino y feldespato potásico. Los fragmentos líticos se observan subredondeados y dominan la fracción clástica. Se distinguen dos tipos de líticos sedimentarios clásticos (55%): unos de color rojo con clastos de tamaño muy fino y otros de color verdoso a gris formados por areniscas ricas en cuarzo con tamaño de grano más grueso (<70  $\mu\text{m}$ ). Por otra parte, son de importancia los líticos carbonáticos que se presentan subredondeados y con tamaños de hasta 5 mm. En general, son clastos formados exclusivamente por esparita. Los clastos de líticos volcánicos básicos (8%) presentan textura porfírica con fenocristales de plagioclasa. Los líticos volcánicos tobáceos (4%) presentan abundantes trizas. En algunos sectores, se observa que los fragmentos líticos tienen bordes difusos y están levemente deformados conformando pseudomatrix incipiente. El cuarzo monocristalino (28%) se presenta subredondeado, límpido, con extinción normal y contactos netos. Las plagioclasas (4%) se presentan subredondeadas, con alteración leve a arcillas, forma típica tabular y macla polisintética. El cuarzo policristalino (0.5%) se presenta redondeado y con más de 5 individuos por clasto. En menor medida, se distingue feldespato potásico (<0.5%) subredondeado y

moderadamente alterado a arcillas y carbonatos. En algunos clastos se observan pertitas. En menor medida, hay anfíboles y epidotos como minerales accesorios.

El cemento (7% de la muestra) está casi totalmente representado por carbonato en mosaico granular con cristales de hasta 100  $\mu\text{m}$ . En algunos sectores, el cemento está conformando un mosaico microcristalino con tamaño máximo de cristal de 30  $\mu\text{m}$ .

La porosidad que se observa (2% de la muestra) es de tipo primaria y se trata de microporos (<62  $\mu\text{m}$ ).



**Muestra: LP 21**

- Muestra de matriz arenosa del tercer nivel de abanicos aterrazados cuaternarios.
- Localización: 29°26'46.70"S, 68°36'6.44"O
- Clasificación: Litoarenita (Folk *et al.*, 1970)

**Descripción:**

Corresponde a una arenisca gravosa moderadamente a mal seleccionada con dos modas principales en 350  $\mu\text{m}$  y 1 mm. Presenta textura clasto-sostén con contactos entre clastos de tipo tangenciales. En sectores se observa textura flotante por disolución de clastos. Se distingue un 91% de clastos, 7% de cemento y un 2% de porosidad. No se observa matriz significativa.

La fracción clástica está conformada por líticos sedimentarios clásticos, líticos carbonáticos, líticos volcánicos básicos y ácidos, cuarzo monocristalino y feldespato potásico.

Los fragmentos líticos se observan subredondeados y se encuentran formando gran parte de la muestra, con tamaños mayores a 1 mm y llegando a 4 mm, en algunos casos. Los líticos sedimentarios (57.5%) están formados por fragmentos de rocas clásticas y carbonáticas. En particular, se distinguen dos tipos de líticos sedimentarios clásticos: de color rojo y de color claro formado por areniscas ricas en cuarzo con tamaño de grano fino (<60  $\mu\text{m}$ ). Los fragmentos líticos carbonáticos también presentan dos tipos: los fragmentos de rocas margosas con fragmentos oolíticos y los fragmentos conformados casi en su totalidad por esparita. Por otra parte, los fragmentos de vulcanitas básicas (11%) presentan textura porfírica con fenocristales

de plagioclasa, mientras que los líticos volcánicos ácidos (5%) presentan textura afanítica. En algunos sectores, se observa que los fragmentos líticos tienen bordes difusos y están levemente deformados conformando pseudomatriz incipiente.

El cuarzo monocristalino (18%) y el feldespato potásico (7%) son componentes menores en la fracción clástica, se presentan subredondeados a redondeados y con tamaños promedio de 300  $\mu\text{m}$ . El cuarzo se observa en cristales límpidos y con extinción normal, y el feldespato se encuentra levemente alterado a arcillas y carbonatos.

El cemento (7% de la muestra) está casi totalmente representado por carbonato en mosaico granular con cristales de tamaño promedio 50  $\mu\text{m}$ , aunque hay sectores en donde conforma un mosaico microcristalino con cristales de 20  $\mu\text{m}$ .

La porosidad que se observa es de tipo primaria y se trata de microporos (<62  $\mu\text{m}$ ) y, en algunos casos, mesoporos (<100  $\mu\text{m}$ ).

