



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Litogeoquímica de las unidades del Cretácico Superior, su relación con las áreas de aporte y evolución de los medios sedimentarios, Cuenca del Valle Superior del Magdalena, Colombia.**

**Sebastián Hernández Duran**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias

Bogotá, Colombia

2021

# **Litogeoquímica de las unidades del Cretácico Superior, su relación con las áreas de aporte y evolución de los medios sedimentarios, Cuenca del Valle Superior del Magdalena, Colombia.**

**Sebastián Hernández Duran**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ciencias-Geología**



Director (a):

Ph.D. Gustavo Adolfo Sarmiento Pérez

Codirector (a):

M Sc. Ph.D. (c) German Eduardo Bonilla Osorio

Línea de Investigación:

Sedimentología y estratigrafía

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias  
Bogotá, Colombia

2021

*A mi familia y amigos, pero sobre todo a las  
abejas.*

## **Agradecimientos**

El autor de esta investigación quiere agradecer profundamente a todos aquellos que permitieron la feliz culminación de este trabajo.

A mi familia y amigos, quienes siempre estuvieron presentes y me dieron su apoyo, consejos y sugerencias durante la realización de esta tesis.

A mi director de tesis y amigo Profesor Ph.D Gustavo Adolfo Sarmiento, por su valiosa orientación, paciencia y consejo, además de las múltiples correcciones y sugerencias realizadas tanto en la fase de campo como durante la elaboración del texto final de la tesis.

A mi codirector y amigo M Sc. Ph.D. (c) Germán Eduardo Bonilla, por su valiosa enseñanza, colaboración y consejo, sobre la temática de los minerales arcillosos, técnicas de preparación, análisis, índices de cristalinidades y sus orígenes, además de su permiso y ayuda para realizar los análisis de fluorescencia de rayos-x.

Al geólogo compañero y amigo M Sc (c) Sergio Herrera, por su colaboración, ayuda, y enseñanzas durante el levantamiento de la columna de la quebrada Aico. Sin su ayuda hubiera sido muy difícil el levantamiento estratigráfico de esta.

A los geólogos M Sc (c) Steven Buitrago, Alejandro Segura, Juan Pablo Bayona y Estefany Mora, por su compañía durante el levantamiento de la columna del río Yaguaracito, y en especial a Steven quien me ayudo en su levantamiento.

A la geóloga y amiga M Sc. Sofía Barragán Montilla, por su colaboración en la identificación e interpretación paleoambiental de los foraminíferos presentes en las muestras de las Formaciones Loma Gorda y Buscavida.

Al geólogo, compañero y amigo M Sc (c) Víctor Villamizar, por su colaboración y ayuda en la realización del mapa de localización de las secciones estratigráficas.

Al profesor Ph.D Carlos Sánchez, por las enriquecedoras discusiones sobre las secciones delgadas y su contexto sedimentológico al igual que las jornadas dedicadas a la identificación de los foraminíferos encontrados en las secciones delgadas, y a la preparación para obtener foraminíferos en rocas blandas de las formaciones Loma Gorda y Buscavida.

Al geólogo M Sc. Rubén Gaitán y al laboratorio Microfluid Spectral-Petrografía digital-Metasytem dirigido por el profesor Juan Carlos Molano, por la digitalización de las secciones delgadas y la enseñanza de cómo usar el software para visualizarlas, Vviewer.

Al técnico y amigo Armando Sánchez, por su enseñanza y ayuda en la elaboración de las secciones delgadas realizadas durante este proyecto.

## Resumen

### **Litogeoquímica de las unidades del Cretácico Superior, su relación con las áreas de aporte y evolución de los medios sedimentarios, Cuenca del Valle Superior del Magdalena, Colombia.**

Las unidades del Cretácico Superior en la cuenca del Valle Superior del Magdalena (VSM), corresponden a las formaciones Loma Gorda, Lidita Inferior, El Cobre, Lidita Superior, Buscavida, La Tabla y Seca, y su litología varía desde biomicritas de ambientes marinos, hasta conglomerados de ambientes continentales. Mediante el estudio de tres secciones estratigráficas, dos columnas levantadas: 357,9 m en la quebrada Aico (Chaparral, Tolima) y 238,5 m en el río Yaguaracito (Pacarní, Huila) y el re-muestreo en la quebrada Talora (Piedras, Tolima), se pretende disminuir la incertidumbre con respecto al ambiente en el que se depositaron estas unidades de rocas, sus áreas de aporte y las variaciones estratigráficas en tres sitios de la cuenca. Se realizó un estudio estratigráfico y sedimentológico detallado para determinar la evolución de las facies sedimentarias en tres sectores de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena. Por otro lado, mediante el uso de técnicas como la petrografía sedimentaria, difracción de rayos-X (DRX) y fluorescencia de rayos-X (FRX) en más de 140 muestras, se adquirieron datos que permitieron realizar los análisis de proveniencia, detallar los ambientes sedimentarios y determinar la evolución diagenética de estas rocas.

Se dividieron las secciones estratigráficas en segmentos, teniendo en cuenta sus asociaciones de facies y microfacies. Las rocas de la Formación Loma Gorda contienen conjuntos de capas de biomicritas, cherts diagenéticos y escasas intercalaciones de fosforitas. La Formación Lidita Inferior contiene cherts diagenéticos, biomicritas, fosforitas y arcillolitas con microfósiles de foraminíferos. La Formación El Cobre en Yaguaracito son limolitas y arenitas, mientras en Aico ocurren arcillolitas fosilíferas. La Formación Lidita Superior son cherts diagenéticos y fosforitas. La Formación Buscavida son biomicritas

lodosas que rápidamente pasan de lodolitas a limolitas y arenitas. La Formación La Tabla son arenitas en Yaguaracito, y arenitas a conglomerados en Aico y la Formación Seca corresponden a arenitas, conglomerados y lodolitas varicoloreadas (paleosuelos) en Yaguaracito. Estas unidades se depositaron en el intervalo Turoniano a Paleoceno en un ambiente marino que varía de mar abierto con escaso aporte de terrígenos y abundante lodo calcáreo y microfósiles de foraminíferos plantónicos y bentónicos, en una cuenca que progresivamente va ganado influencia terrígena hasta alcanzar ambientes de llanuras aluviales, en las rocas de la Formación Seca. Los materiales terrígenos que van aumentando en proporción y textura por sus características, reflejan un área de aporte que corresponde a la ancestral Cordillera Central. Los componentes de los líticos de las fracciones arenosas y de los conglomerados son clastos derivados de macizos metamórficos. Por otro lado los minerales arcillosos presentan una buena cristalinidad para las illitas y las caolinitas. Los procesos diagenéticos van desde la eogénesis (formación de concreciones calcáreas, silicificación temprana, etc.), mesogénesis (compactación, precipitación de distintos cementos, reemplazamiento y recristalización) y telogénesis (precipitación de cementos por contacto con aguas meteóricas). Estas unidades son de gran valor económico no solo por ser rocas generadoras, reservorio y sello en la industria de los hidrocarburos, sino que además presentan grandes acumulaciones de fosfatos necesarios para la fabricación de fertilizantes.

**Palabras clave:** Litogeoquímica, Petrografía, Difracción de Rayos-X (DRX), Fluorescencia de rayos-X (FRX), ambientes sedimentarios, áreas de aporte y diagénesis.

## Abstract

**Lithochemistry of the Upper Cretaceous units, their relationship with the source areas and evolution of sedimentary environments, Upper Magdalena Valley Basin, Colombia.**

The Upper Cretaceous units in the Upper Magdalena Valley basin correspond to the Loma Gorda, Lidita Inferior, El Cobre, Lidita Superior, Buscavida, La Tabla and Seca formations, and their lithology ranges from biomicrites in marine environments to conglomerates of continental environments. Through the study of three stratigraphic

sections, two column lifts: 357.9 m in the Aico creek (Chaparral, Tolima) and 238.5 m in the Yaguaracito river (Pacarní, Huila) and re-sampling in the Talora creek (Piedras, Tolima), I intend to reduce the uncertainty regarding the environment in which these rocks units were deposited, their sources areas and the stratigraphic variations along the basin. A detailed stratigraphic and sedimentological study was carried out to determine the evolution of sedimentary facies in three sectors of the Upper Magdalena Valley Basin. On the other hand, by using techniques such as sedimentary petrography, X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) in more than 140 samples, data were acquired to perform provenance analyzes, detail the sedimentary environments and determine the diagenetic evolution of these rocks.

The stratigraphic sections were divided into segments, separated according to their facies and microfacies associations. The rocks of the Loma Gorda Formation contain layered assemblages of biomicrites, diagenetic cherts and sparse intercalations of phosphorites. The Lidita Inferior Formation are diagenetic cherts, biomicrites, phosphorites and claystones with foraminifera microfossils. El Cobre Formation in Yaguaracito are siltstones and arenites, while in Aico they are fossiliferous claystones. The Lidita Superior Formation are diagenetic cherts and phosphorites. The Buscavida Formation are muddy biomicrites that rapidly change from mudstones to siltstones and arenites. The La Tabla Formation corresponds are arenites in Yaguaracito, and arenites to conglomerates in Aico, and the Seca Formation correspond to varicolored arenites, conglomerates and mudstones (paleosols) in Yaguaracito. These units were deposited in the Turonian to Paleocene interval in a marine environment that varies from open sea with little terrigenous input and abundant calcareous mud and microfossils of planktonic and benthic foraminifera, in a basin that progressively gains terrigenous influence until reaching floodplain facies, in the rocks of the Seca Formation. The terrigenous materials, which progressively increase in proportion and texture due to their characteristics, reflect a source area that corresponds to the ancestral Central Cordillera. The lithic components of the sandy fractions and conglomerates are clasts derived from metamorphic massifs. On the other hand, the clay minerals show good crystallinity for illites and kaolinites. Diagenetic processes range from eogenesis (formation of calcareous concretions, early silicification, etc.), mesogenesis (compaction, precipitation of different cements, replacement and recrystallization) and telogenesis (precipitation of cements by contact with meteoric waters). These units are of great economic value not only because they are source rocks, reservoir and seal in the



hydrocarbon industry, but also because they present large accumulations of phosphates necessary for the manufacture of fertilizers.

**Keywords:** Lithogeochemistry, Petrography, X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), sedimentary environments, source areas and diagenesis

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>6</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>12</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>15</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>16</b>
<b>1. Marco Geológico</b> .....	<b>19</b>
1.1 Estratigrafía del Valle Superior del Magdalena (VSM) .....	20
1.2 Geología de las áreas de estudio .....	23
<b>2. Metodología</b> .....	<b>26</b>
2.1 Levantamiento sedimentológico y estratigráfico.....	26
2.2 Análisis Petrográfico .....	27
2.3 Difracción de Rayos-X (DRX) .....	30
2.3.1 Índices de cristalinidad de Illitas (IC) y Caolinitas (KCl).....	31
2.4 Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	32
2.5 Secciones delgadas digitalizadas .....	33
<b>3. Resultados</b> .....	<b>35</b>
3.1 Sección estratigráfica quebrada Aico.....	35
3.1.1 Formación Loma Gorda .....	38
3.1.2 Formación Lidita Inferior.....	44
3.1.3 “Aico Shale” .....	52
3.1.4 Formación Lidita Superior .....	55
3.1.5 Formación Buscavida.....	59
3.1.6 Formación La Tabla .....	67
3.2 Sección estratigráfica rio Yaguaracito.....	75
3.2.1 Formación Loma Gorda .....	77
3.2.2 Formación Lidita Inferior.....	82
3.2.3 Formación El Cobre .....	86
3.2.4 Formación Lidita Superior .....	89
3.2.5 Formación La Tabla .....	93
3.2.6 Formación Seca.....	95
3.3 Sección estratigráfica quebrada Talora.....	96
<b>4. Discusión</b> .....	<b>98</b>
4.1 Facies, microfacies y ambientes sedimentarios .....	98
4.2 Áreas de aporte .....	112
4.2.1 Petrografía de arenitas y geoquímica de rocas terrígenas .....	112
4.2.2 Cristalinidad y posibles orígenes de los minerales arcillosos.....	117
4.3 Anotaciones sobre la diagénesis .....	125
4.4 Importancia económica de las unidades del Cretácico Superior .....	129
<b>5. Conclusiones</b> .....	<b>131</b>

---

<b>Bibliografía .....</b>	<b>134</b>
<b>A. Columnas estratigráficas.....</b>	<b>141</b>
<b>B. Microfacies obtenidas a partir de la petrografía .....</b>	<b>143</b>
<b>C. Imágenes de las 12 secciones digitalizadas .....</b>	<b>181</b>
<b>D. Tablas con los nombres de las rocas y los porcentajes de sus componentes</b>	<b>193</b>
<b>E. Líticos encontrados en las secciones delgadas .....</b>	<b>202</b>
<b>F. Cuadros y gráficas con la semi-cuantificación obtenida del DRX y difractogramas característicos .....</b>	<b>211</b>
<b>G. Cuadro con la cuantificación obtenida del FRX.....</b>	<b>220</b>

# Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 0.1.</b> Localización de la cuenca de <i>back-arc</i> del cretácico colombiano.....	17
<b>Figura 0.2.</b> Localización de las secciones estudiadas: quebrada Talora, quebrada Aico y río Yaguaracito. ....	18
<b>Figura 1.1.</b> Mapa geológico del norte del área de estudio, quebrada Talora. ....	23
<b>Figura 1.2</b> Mapa geológico del centro del área de estudio, quebrada Aico. ....	24
<b>Figura 1.3</b> Mapa geológico del área sur estudiada, río Yaguaracito.....	25
<b>Figura 2.1</b> Preparación de muestras para análisis de DRX.....	30
<b>Figura 2.2</b> Difractómetro Bruker D2 PHASER.....	31
<b>Figura 2.3</b> Equipo de Fluorescencia de rayos-X, BRUKER tracer GeoQuant IV. ....	33
<b>Figura 2.4.</b> Visualización de una de las 12 secciones delgadas digitalizadas en el programa VSViewer .....	34
<b>Figura 3.1</b> Columna estratigráfica a escala 1:150 de la sección de la quebrada Aico. ....	38
<b>Figura 3.2.</b> Formación Loma Gorda en la quebrada Aico.....	38
<b>Figura 3.3</b> Parte superior de la Formación Loma Gorda, quebrada Aico.....	40
<b>Figura 3.4.</b> Microestructuras en la Formación Loma Gorda. Digitalizadas con el sistema <i>Metasystem</i> . ....	43
<b>Figura 3.5.</b> Cuantificación mineralógica de las nueve (9) muestras de la Formación Loma Gorda en Aico, obtenida a partir del DRX.....	44
<b>Figura 3.6</b> Formación Lidita Inferior en la quebrada Aico.....	45
<b>Figura 3.7</b> Segmento uno de la Formación Lidita Inferior, quebrada Aico. ....	46
<b>Figura 3.8</b> Segmentos dos y tres de la Formación Lidita Inferior, quebrada Aico.....	49
<b>Figura 3.9.</b> Microestructuras en la Formación Lidita Inferior.....	50
<b>Figura 3.10</b> Segmentos cuatro y cinco de la Formación Lidita Inferior, quebrada Aico..	51
<b>Figura 3.11.</b> Cuantificación de la mineralogía de las 23 muestras de las Formación Lidita Inferior en Aico, obtenida a partir del DRX.....	52
<b>Figura 3.12.</b> “Aico Shale” en la quebrada Aico.....	53
<b>Figura 3.13</b> Segmento uno de “Aico Shale” en la quebrada Aico.....	54
<b>Figura 3.14.</b> Cuantificación mineralógica de las cuatro muestras de la unidad informal “Aico Shale” en Aico, obtenida a partir del DRX. ....	55
<b>Figura 3.15</b> Formación Lidita Superior en la quebrada Aico.....	55
<b>Figura 3.16</b> Primer segmento de la Formación Lidita Superior, quebrada Aico.....	56
<b>Figura 3.17</b> Segundo segmento de la Formación Lidita Superior, quebrada Aico. ....	58
<b>Figura 3.18.</b> Cuantificación mineralógica de las 12 muestras de la Formación Lidita Superior en Aico, obtenida a partir del DRX. ....	59
<b>Figura 3.19</b> Formación Buscavida en la quebrada Aico.. ....	59
<b>Figura 3.20</b> Primer segmento de la Formación Buscavida, quebrada Aico.. ....	61
<b>Figura 3.21</b> Segundo segmento de la Formación Buscavida, quebrada Aico. ....	64
<b>Figura 3.22</b> Tercer y cuarto segmento de la Formación Buscavida, quebrada Aico.....	66

<b>Figura 3.23.</b> Cuantificación mineralógica de las 12 muestras de la Formación Buscavida en Aico, obtenida a partir del DRX.....	67
<b>Figura 3.24</b> Formación La Tabla en la quebrada Aico.....	68
<b>Figura 3.25.</b> Primer segmento de la Formación La Tabla, quebrada Aico.....	70
<b>Figura 3.26</b> Segmentos dos al seis de la Formación La Tabla, quebrada Aico .....	73
<b>Figura 3.27.</b> Cuantificación mineralógica de las 17 muestras de la Formación La Tabla en Aico, a partir del DRX. ....	74
<b>Figura 3.28.</b> Columna estratigráfica a escala 1:500 de la sección del río Yaguaracito. ..	76
<b>Figura 3.29</b> Formación Loma Gorda en el río Yaguaracito.....	77
<b>Figura 3.30</b> Segmento uno de la Formación Loma Gorda, río Yaguaracito. ....	79
<b>Figura 3.31</b> Segundo y tercer segmento de la Formación Loma Gorda, río Yaguaracito.	81
<b>Figura 3.32.</b> Cuantificación mineralógica de las 11 muestras de la Formación Loma Gorda en Yaguaracito, obtenida a partir del DRX.....	82
<b>Figura 3.33</b> Formación Lidita Inferior, río Yaguaracito.....	83
<b>Figura 3.34</b> Primer y segundo segmento de la Formación Lidita Inferior, río Yaguaracito. ....	84
<b>Figura 3.35.</b> Cuantificación de la mineralogía de 14 muestras de la Formación Lidita Inferior en Yaguaracito, obtenida a partir del DRX.....	86
<b>Figura 3.36</b> Formación El Cobre en el río Yaguaracito.....	87
<b>Figura 3.37</b> Segmento uno de la Formación El Cobre, río Yaguaracito.....	88
<b>Figura 3.38.</b> Cuantificación mineralógica de las cinco muestras de la Formación El Cobre en Yaguaracito, obtenida a partir del DRX.....	89
<b>Figura 3.39</b> Formación Lidita Superior en el río Yaguaracito.....	90
<b>Figura 3.40</b> Segmento uno de la Formación Lidita Superior, río Yaguaracito.....	92
<b>Figura 3.41.</b> Cuantificación mineralógica de las seis muestras de la Formación Lidita Superior en Yaguaracito, obtenida a partir del DRX. ....	93
<b>Figura 3.42</b> Formación La Tabla en el río Yaguaracito.....	93
<b>Figura 3.43</b> Segmento uno de la Formación La Tabla, río Yaguaracito.....	94
<b>Figura 3.44.</b> Cuantificación mineralógica de las cinco muestras de la Formación La Tabla, obtenida a partir del DRX. ....	95
<b>Figura 3.45</b> Formación Seca, río Yaguaracito.....	95
<b>Figura 3.46.</b> Cuantificación mineralógica de las tres muestras de la Formación Seca en Yaguaracito, obtenida a partir del DRX. ....	96
<b>Figura 3.47.</b> Cuantificación por análisis de DRX de 29 muestras tomadas en la sección de la quebrada Talora. ....	97
<b>Figura 4.1.</b> Curvas relativas del nivel del mar y correlación en las secciones estudiadas. ....	99
<b>Figura 4.2</b> Cuadros composicionales a partir de la clasificación de rocas mixtas de Mount (1985).....	101
<b>Figura 4.3.</b> Ambientes de depósitos de las unidades del Cretácico Superior en la cuenca del VMM.....	104
<b>Figura 4.4</b> Base de una capa con posible ichnofósil de <i>Planolites</i> . Tercer segmento de la Formación Loma Gorda, Sección del río Yaguaracito.....	105

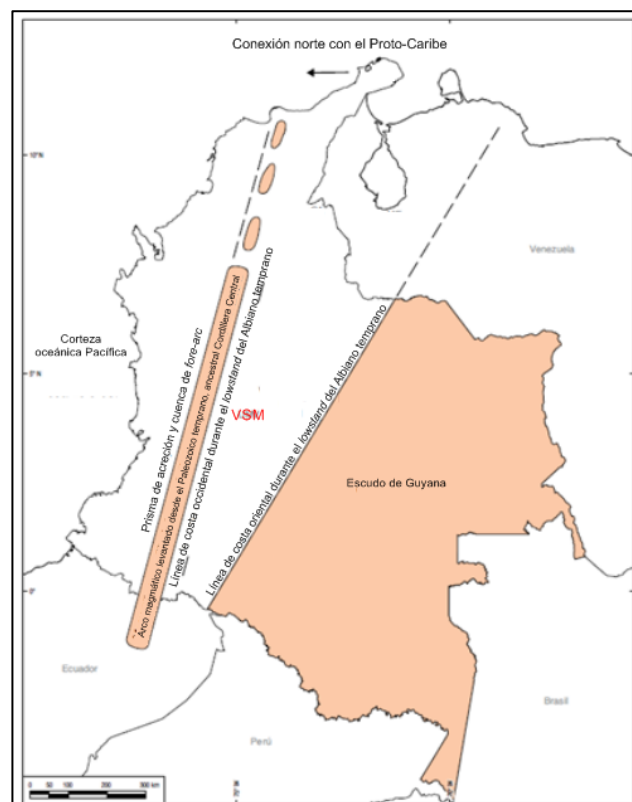
<b>Figura 4.5</b> Base de una capa de limolitas con posibles ichnofósiles de <i>Planolites</i> y <i>Thalassinoides</i> . Base de la Formación El Cobre, Sección del río Yaguaracito.....	107
<b>Figura 4.6</b> Muestra de arenita con posibles ichnofósiles de <i>Skolithos</i> (en amarillo). Tope de la Formación Buscavida, sección de la quebrada Aico. ....	111
<b>Figura 4.7</b> Diagrama de clasificación composicional de las arenitas (Folk, 1974).. .....	113
<b>Figura 4.8</b> Diagrama de clasificación geoquímica (Herron, 1988) de las rocas terrígenas de las secciones estudiadas. ....	117
<b>Figura 4.9</b> Minerales arcillosos de las secciones estudiadas. ....	119
<b>Figura 4.10</b> Índices de Kübler de las Illitas y cristalinidad de las Caolinitas, en la sección de Aico. ....	120
<b>Figura 4.11</b> Índices de Kübler de las Illitas y cristalinidad de las Caolinitas, en la sección de Yaguaracito. ....	121
<b>Figura 4.12.</b> Índices de Kübler de las Illitas y cristalinidad de las Caolinitas, en la sección de Talora, columnas .....	122
<b>Figura 4.13</b> Cristalinidad de las esmectitas de las secciones Aico (izquierda) y Yaguaracito (derecha). ....	124
<b>Figura 4.14.</b> Procesos diagenéticos identificados en las rocas de las formaciones estudiadas, y su temporalidad en los tres regímenes diagenéticos. ....	125

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 3.1</b> Microfacies de la Formación Loma Gorda. ....	41
<b>Tabla 3.2</b> Microfacies de la Formación Lidita Inferior. ....	48
<b>Tabla 3.3</b> Microfacies de la Formación Lidita Superior. ....	57
<b>Tabla 3.4</b> Microfacies de la Formación Buscavida. ....	62
<b>Tabla 3.5</b> Facies de la Formación La Tabla. ....	69
<b>Tabla 3.6</b> Microfacies de la Formación Loma Gorda. ....	80
<b>Tabla 3.7</b> Microfacies de la Formación Lidita Inferior. ....	83
<b>Tabla 3.8</b> Microfacies de la Formación El Cobre. ....	89
<b>Tabla 3.9</b> Microfacies de la Formación Lidita Superior. ....	91

# Introducción

El presente trabajo tiene como objeto el estudio sedimentológico, estratigráfico y litogeoquímico de las unidades del Cretácico Superior en la cuenca del Valle Superior del Magdalena (VSM). El VSM hace parte de una zona de *back-arc*, sobre la cual se desarrolla la Cuenca Cretácica Colombiana (Guerrero, *et al.* 2000). Un *back-arc*, puede ser definido de dos maneras: un valle oceánico ubicado detrás de un arco magmático intra-oceánico, o como un valle continental localizado detrás de un margen continental activo, sin un cinturón plegado de *foreland* (Allen y Allen, 2005). En el caso de la cuenca Cretácica Colombiana el estilo de *back-arc* más parecido sería el segundo, donde la paleo-Cordillera Central sería el arco magmático. Esta a su vez sería una de las áreas de aporte de la cuenca de *back-arc* al oeste y la otra área sería el Escudo de la Guyana al este (Díaz, 1994 y Guerrero, *et al.* 2000) (**Figura 0.1**).





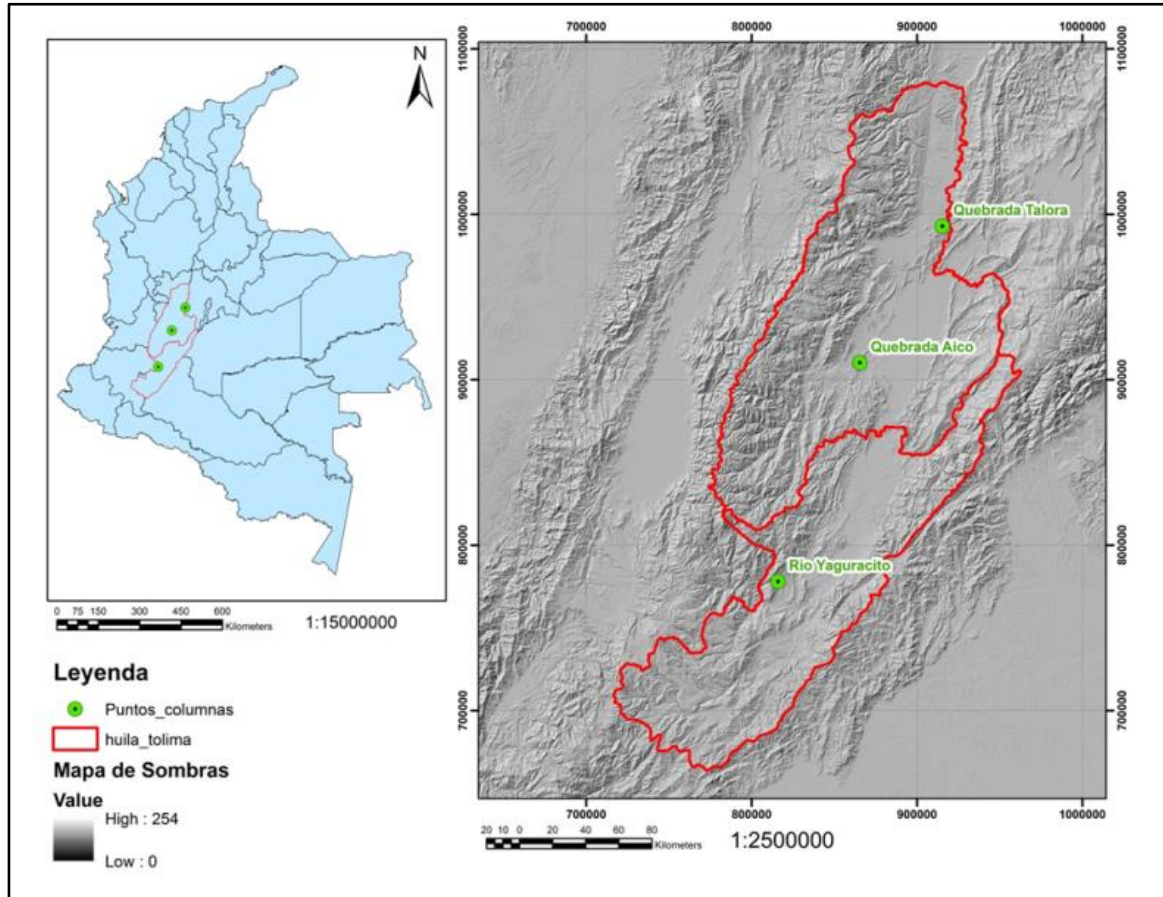
**Figura 0.1.** Localización de la cuenca de *back-arc* del cretácico colombiano, entre las dos principales áreas de aporte, el escudo de Guyana y la Paleo-Cordillera Central. Modificada de Guerrero *et al.* (2020).

El VSM se encuentra al costado suroccidental de la cuenca Cretácica Colombiana, por lo que la evolución de los medios sedimentarios de las unidades del Cretácico Superior, está directamente relacionada con la historia de levantamiento de la Cordillera Central (Villamil, 1998; Gómez, *et al.* 2003 y Villagómez y Spikings, 2013). Los ambientes de depósito varían desde plataforma interna o plataforma carbonática somera *offshore* en la Formación Loma Gorda, a ambientes muy cercanos a la línea de costa o incluso planicies costeras o planos deltaicos en la parte superior de la Formación La Tabla (Vergara, 1997; Guerrero, *et al.* 2000). Estos ambientes no se mantienen constantes a lo largo de la cuenca, si no que varían de norte a sur.

El área de aporte para estas unidades es la ancestral Cordillera Central, sustentado en el alto contenido de líticos de las arenitas y conglomerados de las Formaciones La Tabla y Cimarrona (Gómez y Pedraza, 1994, Guerrero, *et al.* 2000, Hernández, 2016). Lo que no es aun claro es la composición del basamento, que varía de norte a sur, así como los ambientes sedimentarios, que ejercen un control mineralógico en la distribución tanto en las arenitas y conglomerados, como en las rocas terrígenas finas.

Esta investigación se orienta a caracterizar las unidades desde el afloramiento y con diferentes técnicas de laboratorio para obtener aproximaciones a la evolución de los medios sedimentarios y así establecer la relación con los posibles cambios en las áreas de aporte en tres sitios de la cuenca de norte a sur. Se seleccionaron y se realizó el levantamiento de dos columnas estratigráficas y el remuestreo de la sección de la quebrada Talora (primer muestreo realizado en la tesis de pregrado de Hernández, 2016). Las secciones de referencia son: la quebrada Talora (**E:** 915463 y **N:** 992891; Municipio de Piedras), quebrada Aico (**E:** 865607 y **N:** 910306; Municipio de Chaparral) y río Yaguaracito (**E:** 816139 y **N:** 778133; centro poblado de Pacarní) (**Figura 0.2**). Los análisis petrogeoquímicos se hicieron para establecer las variaciones mineralógicas y texturales, se analizó el contenido fosilífero y micro-sedimentológico a lo largo de la pila sedimentaria y se establecieron los elementos que dan los argumentos para entender su historia diagenética. A partir de la petrografía y de las características sedimentológicas observadas en campo, se realizó el análisis paleoambiental de cada una de las formaciones. Mediante el DRX, se identifican los minerales arcillosos presentes a lo largo

de las unidades, con el fin de establecer la posible evolución en las áreas de aporte, así como las variaciones diagenéticas producto del enterramiento.



**Figura 0.2.** Localización de las secciones estudiadas: quebrada Talora, quebrada Aico y rio Yaguracito.

Se tuvieron en cuenta conceptos y observaciones sobre los minerales arcillosos debido a su tamaño y selección relacionada a los ambientes sedimentarios característicos en los que se depositan y a su sensibilidad a los cambios en las áreas de aporte (Leckie, *et al.* 1998; Bonilla, *et al.* 2011). A través del FRX se corrobora la cuantificación realizada en el DRX y se observan cambios en la geoquímica de las rocas relacionados a los ambientes de depósito y el grado de diagénesis. Las comparaciones entre los distintos elementos mayores y menores dan las evidencias de los cambios tanto en las áreas de aporte como en los medios sedimentarios. Los diagramas de Herron (1988) de control mineral son usados para confirmar la composición química general entre las rocas de grano fino (lodolitas) y las rocas de grano más grueso (arenitas y conglomerados).

# 1. Marco Geológico

Colombia ocupa la esquina noroccidental de Sur América y en su marco geológico, puede ser dividida en tres principales dominios tectónicos: 1) La región Oriental limitada al occidente por el piedemonte de la Cordillera Oriental; 2) la región Central la cual engloba la Cordillera Oriental, la Sierra Nevada de Santa Marta, el río Magdalena y la Cordillera Central; 3) la región occidental, la cual es limitada por el Sistema de fallas de Romeral (Barrero *et al.* 2007) y la costa pacífica. La región central enmarca las rocas depositadas durante el Cretácico en una cuenca de *back-arc* limitada al oeste por la ancestral Cordillera Central y al este por el Escudo de la Guyana (Díaz, 1994 y Guerrero *et al.* 2000).

El desarrollo de esta cuenca comenzó en el Triásico Superior durante el rompimiento de Pangea (Sarmiento *et al.* 2006 y Barrero *et al.* 2007). Del Jurásico al Cretácico Inferior, los sedimentos se depositaron en una cuenca longitudinal orientada NE-SW, formada inicialmente por una tectónica tipo *rift* tensional y dominada por la subsidencia termal del Barremiano al Campaniano (Villamil, 1998). La evolución de la cuenca Cretácica varía de régimen tensional a compresional, de este modo durante el Albiano al Campaniano Medio, esta cuenca se comporta como un margen pasivo) (Villamil, 1998).

La fase de *post-rift* del sistema es caracterizada por un hundimiento generalizado en la cuenca debido a la subsidencia termal, que junto con cambios eustáticos del nivel del mar durante el Albiano Medio al Turoniano, dan origen a las rocas ricas en materia orgánica presentes en las formaciones, Tetúan, Tablazo-Simiti y La Luna, responsables de generar la mayor cantidad de hidrocarburos encontrados en Colombia (Barrero *et al.* 2007). Por ultimo a finales del Cretácico, la exhumación de las cordilleras Central y Oriental estuvo relacionada a la acreción oblicua de rocas oceánicas (basamento de la Cordillera Occidental) al continente; como resultado se da el cese de la sedimentación marina-somera (Sarmiento *et al.* 2006 y Barrero *et al.* 2007).

## 1.1 Estratigrafía del Valle Superior del Magdalena (VSM)

Para este trabajo se siguió la nomenclatura definida por De Porta (1965) y precisada por Guerrero *et al.* (2000). La unidad informal "Aico Shale" (Etayo y Flórez, 1994) corresponde a las lodolitas encontradas entre las formaciones Lidita Inferior y Lidita Superior en la sección de la quebrada Aico.

### Formación Loma Gorda

De Porta (1965) aplica el nombre como un solo vocablo, derivado de la expresión geomorfológica denominada entre los caminos de Loma Gorda y la Tabla que desde el municipio de Piedras conducen al Caserío de la Tabla, departamento del Tolima. Su litología predominante son biomicritas intercaladas con lodolitas, su contacto inferior es normal entre las calizas arenosas de la Formación Hondita y las lodolitas de la base, mientras su contacto superior es neto y es colocado donde aparece la primera capa de cherts de la Formación Lidita Inferior (De Porta, 1965 y Patarroyo, 2011). Bürgl y Dumit, (1954); Guerrero, *et al.* (2000) y Patarroyo, (2011) reportan para esta unidad una edad de Turoniano a Coniaciano.

### Grupo Olini

El nombre grupo Olini fue introducido por Petters (1954) quien en su trabajo describe las siguientes unidades de base a tope: Upper sandstone member y Upper chert member (De Porta, 1965). De Porta (1965) mantiene el nombre grupo Olini y redefine la unidad formalizando los nombres de Lidita Superior y Lidita Inferior para referirse a los niveles de chert que limitan la unidad.

### Formación Lidita Inferior

Bürgl y Dumit (1954) se refieren a esta unidad con el nombre de Segunda Lidita, posteriormente Bürgl (1961) lo cambia por Lidita Inferior. De Porta (1965) describe la Lidita Inferior por el camino que del municipio de Piedras conduce al caserío de La Tabla,

sección que se toma como localidad de referencia para esta unidad. Está conformada generalmente por capas de chert intercaladas con lodolitas, y sus contactos con la Formación Loma Gorda, así como el límite superior con el Nivel de Lutitas (Formación El Cobre, Guerrero, *et al.* 2000), son netos y se ubican donde empiezan y terminan respectivamente las capas de chert (De Porta, 1965 y Guerrero, *et al.* 2000). Vergara (1997) y Guerrero, *et al.* (2000) le asignan como edad el Santoniano.

### **Formación El Cobre**

Esta unidad es formalmente propuesta por Guerrero *et al.* (2000) para referirse a los estratos entre la Lidita Inferior y Lidita Superior del Grupo Olini. Este nombre reemplazaría al término informal de Nivel de Lutitas en De Porta (1965) y su localidad tipo es la misma de las otras dos formaciones del grupo Olini, en el área de Piedras. Esta unidad presenta una variación de litologías entre las distintas localidades desde lodolitas hasta arenitas de grano fino y sus límites son fácilmente identificables debido al cambio litológico entre cherts y rocas terrígenas. Términos como “Aico Shale” son utilizados para designar a esta unidad cuando predominan las facies de lodolitas (Etayo y Flórez, 1994; Bermúdez, 2004). La edad de esta unidad va del Santoniano más tardío al Campaniano más temprano (Vergara, 1997 y Guerrero, *et al.* 2000).

### **“Aico Shale”**

Nombre informal empleado de rutina en los registros de pozo, para denominar a las rocas de grano fino que se encuentran entre las liditas de las formaciones Lidita Inferior y Lidita Superior (Etayo-Serna y Flórez, 1994).

### **Formación Lidita Superior**

Petters (1954) la denomina bajo el nombre de *Upper Chert*, posteriormente, Bürgl y Dumit (1954) la designan como Primera Lidita, sin embargo, Bürgl (1961) acota el término “Lidita Superior”. El nombre “Lidita Superior” se sigue usando actualmente y su localidad tipo es el municipio de Piedras, departamento del Tolima (De Porta, 1965). Está conformada principalmente por capas de cherts intercaladas con capas delgadas de lodolitas. Sus límites son netos, el inferior es ubicado donde las lodolitas o arenitas infrayacen a las capas de chert y el superior, en el cambio litológico de cherts a arenitas y calizas. Su edad es Campaniano tardío (Vergara, 1997 y Guerrero, *et al.* 2000).

### **Formación Buscavida**

Guerrero *et al.* (2000) formalizan la Formación Buscavida para referirse a los estratos entre la Formación Lidita Superior y la Formación La Tabla (Nivel de Lutitas y arenas de De Porta, 1965), su localidad tipo es el área del municipio de Piedras, Tolima, y está conformada generalmente por capas de biomicritas impuras, lodolitas y niveles de arenitas hacia el tope de la unidad; su límite inferior es neto debido al cambio litológico de cherts (biomicritas silicificadas) a lodolitas y biomicritas impuras, por otro lado, el límite superior es transicional rápido donde se observa un cambio gradual a arenitas con bioturbación pertenecientes a la Formación La Tabla. Su edad es Maastrichtiano Inferior (Vergara, 1997 y Guerrero, *et al.* 2000).

### **Formación La Tabla**

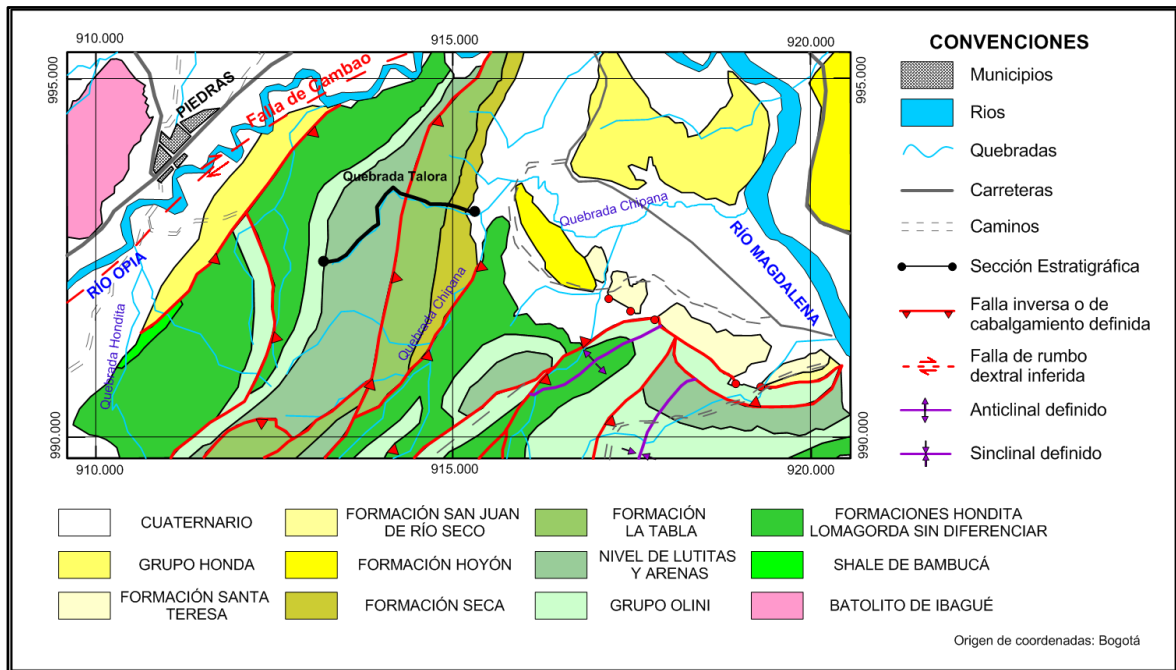
De Porta (1965) propone el nombre Formación La Tabla para todas aquellas rocas por encima del "Nivel de Lutitas y Arenas" (Formación Buscavida formalizada por Guerrero, *et al.* 2000) en la sección tipo de Piedras-La Tabla. La unidad está conformada por arenitas y lodolitas en la base y hacia el tope por arenitas conglomeráticas y conglomerados. Su contacto inferior es transicional con las biomicritas y lodolitas de la Formación Buscavida, mientras el superior es neto con la intercalación de lodolitas terrígenas y arenitas de la Formación Seca. Su edad es Maastrichtiano (Vergara, 1997; Guerrero, *et al.* 2000 y Patarroyo, *et al.* 2010).

### **Formación Seca**

Unidad propuesta por De Porta (1965) para nombrar a todas las rocas que se encuentran entre la Formación Cimarrona (Formación La Tabla) y la Formación Hoyón y su sección tipo es la carretera Cambao-San Juan de Rio Seco. Se conforma generalmente de arenitas y lodolitas rojizas, hacia el techo hay capas conglomeráticas, su contacto inferior es abrupto con las arenitas conglomeráticas o conglomerados y el superior es colocado con la aparición del primer banco de conglomerados arenosos de la Formación Hoyón. Su edad es Maastrichtiano tardío según Guerrero, *et al.* (2000), mientras otros autores como Gómez *et al.* (2003), le asignan una edad Maastrichtiano tardío a Paleoceno.

## 1.2 Geología de las áreas de estudio

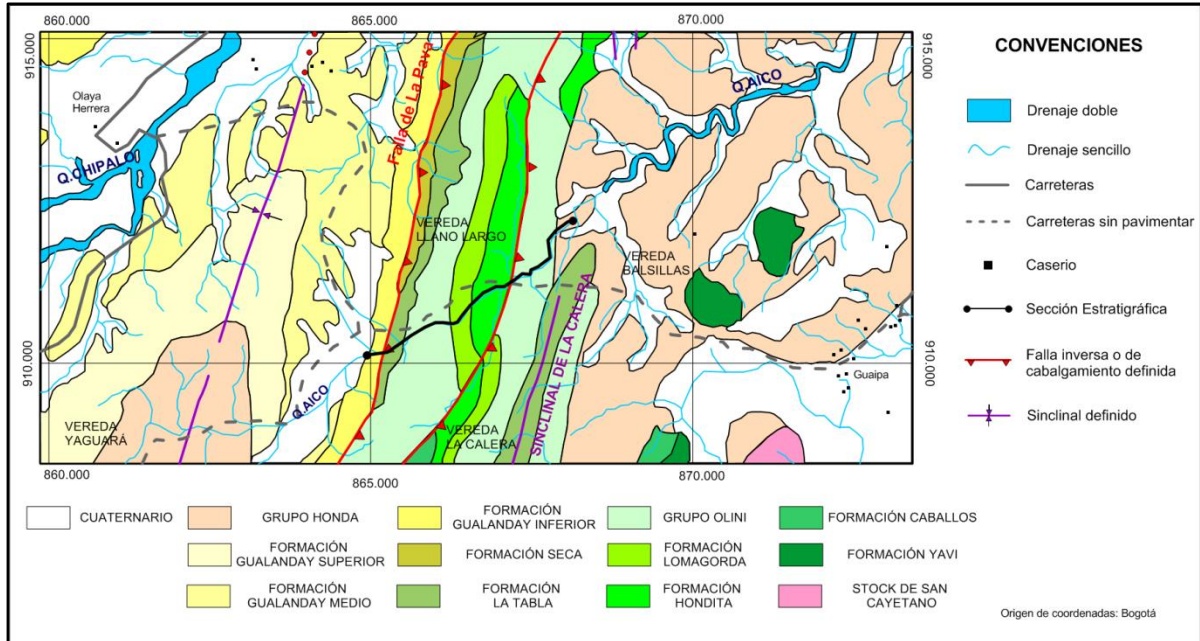
La sección estratigráfica de la quebrada Talora se localiza cerca del municipio de Piedras (**Figura 1.1**), en una zona de colinas escarpadas que interrumpen el valle del Magdalena, el cual en general es amplio y plano. Depósitos volcánicos cuaternarios cubren la porción sur de esta área. La estructura de esta provincia geológica fue previamente explicada como el resultado de patrones de pliegues de interferencia o por tectónica de deslizamiento por gravedad. La falla de mayor tamaño en cercanías a esta sección corresponde a la Falla de Cambao, la cual se considera del Post-Mioceno (Montes, *et al.* 2002).



**Figura 1.1.** Mapa geológico del norte del área de estudio, quebrada Talora. Modificado de Acosta *et al.* (1999).

La sección estratigráfica de la quebrada Aico, se encuentra ubicada en la parte meridional de la Cordillera Central, haciendo parte de su flanco oriental (**Figura 1.2**). Esta región presenta una alta complejidad estructural. Como principales estructuras se encuentran el Sinclinal de La Calera, estructura compleja formada por rocas cretácicas, su eje tiene dirección N20°E y cabecea hacia el norte. La terminación sur de la estructura presenta pliegues anticlinales y sinclinales afectados por fallas de cabalgamiento. Esta estructura se encuentra limitada al occidente por la Falla La Pava y al oriente por la Falla del río Meche, falla de cabalgamiento que afecta rocas jurásicas, cretácicas y

cenozoicas. Otras estructuras presentes son la Falla El Cármen y la Falla Copete, la primera es una estructura de cabalgamiento cuyo desplazamiento posiblemente dio origen a la depresión donde se depositó el abanico de Chaparral (Fuquen *et al.*, 1993).



**Figura 1.2** Mapa geológico del centro del área de estudio, quebrada Aico. Modificado de Carvajal *et al.* (1993).

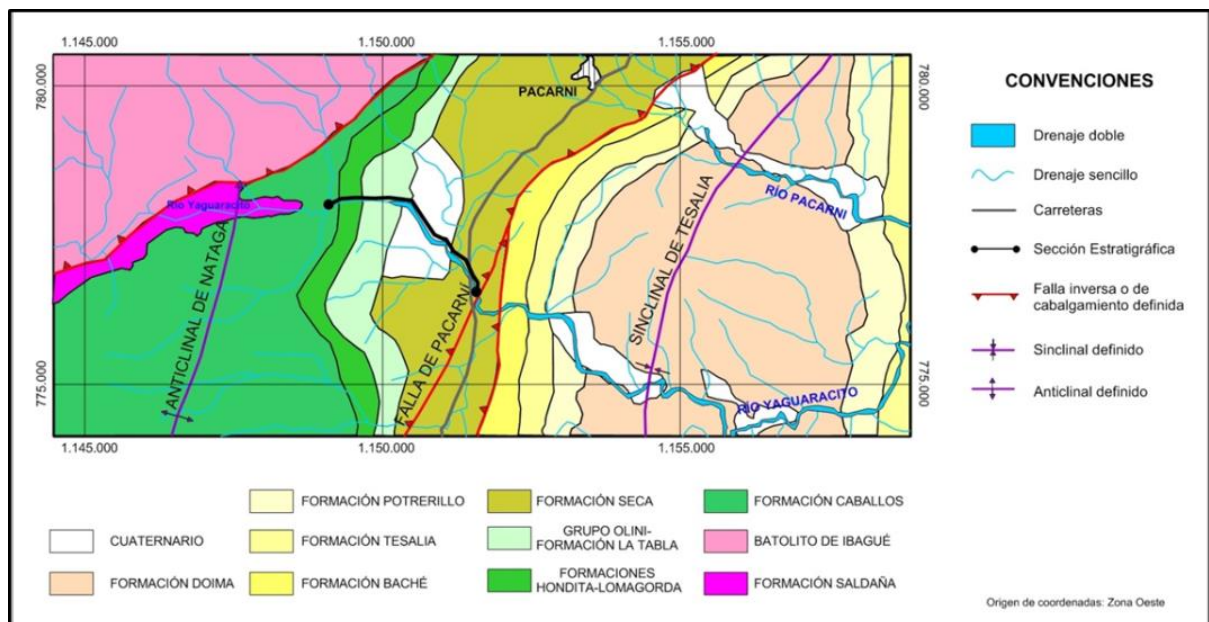
La sección estratigráfica del río Yaguaracito se localiza cerca del centro poblado de Pacarní, en el piedemonte oriental de la Cordillera Central (**Figura 1.3**) Estructuralmente, toda la región está fraccionada en bloques o cuñas tectónicas orientadas SW-NE y limitadas por fallas de cabalgamiento con vergencia hacia el SE. Las principales estructuras corresponden a la Falla de Pacarní, el Sinclinal de Tesalia y el Anticlinal de Nátaga. La Falla de Pacarní es un cabalgamiento de carácter regional con dirección NE-SW y vergencia SW. Esta falla cabalga rocas de edad jurásica y cretácica de las formaciones Saldaña, Caballos, Hondita y Seca, y el Grupo Olini, sobre rocas paleógenas correspondiente al Grupo Chicoral (Marquínez *et al.*, 2002).

El Sinclinal de Tesalia se trata de una estructura asimétrica cuyo flanco oeste cubre menos área que el flanco este. El eje tiene una dirección N-NE y cierra hacia el norte en cercanías del municipio de Íquira. Su límite sur está cubierto por los depósitos cuaternarios del valle del río Paéz. Hacia el occidente, la estructura limita con la Falla de



Pacarní, que ocasiona la pérdida del registro geológico de la Formación Doima y parte de la Formación Seca. El flanco oriental de la estructura se encuentra completo y expone rocas de las formaciones Potrerillo, Tesalia, Baché, Palermo, Seca, Hondita y el Grupo Olini. El núcleo del sinclinal está conformado por rocas de la Formación Doima, sobre las cuales reposa discordantemente la Formación Honda (Marquínez *et al.*, 2002).

El Anticlinal de Nátaga es una estructura amplia y asimétrica, limitada al oeste por las fallas de La Plata e Itaibe y al este por la Falla de Pacarní. Su eje tiene una dirección NE-SW y desaparece al norte, bajo el plano de Falla de La Plata. Este anticlinal involucra rocas de las formaciones Saldaña y Caballos, que cubren la mayor parte del área, y las formaciones Hondita, Seca y el Grupo Olini, con menor extensión, y que están en la parte NE de la estructura (Marquínez *et al.*, 2002).



**Figura 1.3** Mapa geológico del área sur estudiada, río Jaguaracito. Modificado de Marquínez *et al.* (2006)

## **2. Metodología**

La metodología utilizada en esta investigación comienza con la selección y respectivo levantamiento de dos columnas estratigráficas. Posterior a eso se realiza la preparación y análisis de 71 secciones delgadas de las muestras recolectadas, seguido a esto se realiza el análisis por difracción de rayos-X (DRX) de 150 muestras, también se hace el respectivo análisis de 153 muestras por fluorescencia de rayos-X (FRX) y por último se digitalizan 12 secciones delgadas de la sección de la quebrada Aico.

### **2.1 Levantamiento sedimentológico y estratigráfico**

Se realizaron tres fases de campo en el que, para el levantamiento estratigráfico se empleó el método de bastón de Jacob, cinta métrica y el uso de la brújula Brunton para el control estructural de las capas. La escala de las dos columnas levantadas fue decidida de acuerdo al tiempo disponible que se tuvo para el levantamiento de cada sección, por lo que la escala de la columna del río Yaguaracito es mayor (1:500) a la empleada en la columna de la quebrada Aico (1:150). Para la descripción del tamaño de las capas y láminas se siguió la adoptada por Campbell (1957). La toma de las muestras se resolvió de acuerdo al tipo de litología predominante, por lo que el muestreo no fue regular en cuanto al espaciamiento de las muestras. Se tomaron más en lugares donde se presentan cambios litológicos bruscos o se encuentran rasgos sedimentológicos significativamente importantes. Para la descripción textural y composicional de campo se utiliza una lupa de 10x, y se emplea la escala de tamaño de grano de Udden–Wentworth (Wentworth, 1922). En la composición se siguen las clasificaciones de Folk (1954, 1974) para las rocas terrígenas, las de Folk (1959), Dunham (1962) y Embry y Klovan (1971) para las rocas calcáreas, la de Mount (1985) para rocas mixtas y la de Trappe (2001) para las fosforitas.

La sección de la quebrada Aico (357,9) presenta una excelente exposición en la que fue posible levantar las diferentes unidades con escasos intervalos cubiertos. En esta quebrada se hace la descripción estratigráfica que es utilizada como la base principal de la investigación por lo que se toman setenta y seis (76) muestras distribuidas, nueve (9) de la Formación Loma Gorda, veintitrés (23) de la Formación Lidita Inferior, cuatro (4) de "Aico Shale", doce (12) de la Formación Lidita Superior, doce (12) de la Formación Buscavida y dieciséis (16) de la Formación La Tabla.

La sección del río Yaguaracito (238,5 m) fue levantada en cercanías del centro poblado de Pacarní, siguiendo la metodología descrita se tomaron cuarenta y cuatro (44) muestras dispuestas en continuidad estratigráfica así, once (11) muestras de la Formación Loma Gorda, catorce (14) de la Formación Lidita Inferior, cinco (5) de la Formación El Cobre, seis (6) de la Formación Lidita Superior, cinco (5) de la Formación La Tabla y tres (3) de la Formación Seca.

En la sección de la quebrada Talora se obtuvieron un total de treinta y dos (32) muestras las cuales fueron ubicadas sobre la sección estratigráfica publicada en Guerrero *et al.* (2000). Dispuestas así: una (1) muestra de la Formación El Cobre, dieciséis (16) de la Formación Lidita Superior, catorce (14) de la Formación Buscavida y una (1) de la Formación La Tabla.

## 2.2 Análisis Petrográfico

Las 71 secciones delgadas fueron preparadas en el Laboratorio de Técnicas Petrográficas del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional y analizadas con el microscopio OLYMPUS BX51 del Laboratorio de Litogeoquímica. Para la toma y edición de fotografías se usó el Software Stream Essentials del mismo laboratorio. En la descripción microscópica inicialmente se hace un recorrido general de la sección delgada para determinar la homogeneidad, textura y componentes. Consecutivamente, se realiza el conteo de 300 puntos por sección delgada, variando la distancia del punto central del campo visual, dos milímetros en dirección perpendicular a la laminación y un milímetro en dirección paralela a la misma, separando los componentes primarios u originados durante la sedimentación, de los producidos durante el proceso diagenético. Se establece de forma semicuantitativa el tipo de roca terrígena, calcárea, mixta, silíceo o fosfórica, para proceder a su descripción detallada de acuerdo a las metodologías que

serán descritas adelante. En el conteo se categorizan los componentes de acuerdo a los rasgos texturales incluyendo el tamaño (Wentworth, 1922), el tipo de contacto (Pettijohn, 1975) y otros aspectos como redondez y esfericidad. Así mismo se determina la composición de cada uno de los 300 puntos, teniendo en cuenta si son componentes terrígenos (cuarzos, feldespatos, líticos, arcillas, minerales accesorios, etc.) o si son componentes no terrígenos (aloquímicos como son los fósiles, pellets, ooides, intraclastos u ortoquímicos como son la micrita, microesparita, pseudoesparita, esparita, sílice microcristalina, glauconita, pirita framboidal, etc.).

La diferenciación de arcillas de sílice o micrita, se basó en un método óptico, que consiste en girar a 45° la sección delgada, teniendo nicols cruzados (XPL), con respecto a una proyección horizontal y simultáneamente se inserta un compensador  $\lambda$  (cuña de yeso), se observa un incremento en los colores de interferencia, donde la sílice se torna de color fucsia y las arcillas de color azul (Terraza, 2016).

Una vez normalizados los constituyentes primarios y secundarios se determina el rango de tamaño predominante, soporte y selección de la roca. Teniendo en cuenta el tipo de componente predominante se sigue la clasificación de los siguientes autores: la clasificación textural y composicional de Folk (1954, 1974), para rocas con un contenido mayor al 50% de componentes terrígenos y se clasifican como terrígenas.

Se sigue la clasificación de Mount (1985) en rocas mixtas cuyo contenido del material opuesto al principal sea mayor al 10%; por ejemplo una caliza con más del 10% de terrígenos o una roca terrígena con más del 10% de componentes calcáreos.

Para las fosforitas que son rocas con más del 50% de componentes fosfáticos, se sigue la clasificación planteada por Trappe (2001). Si los componentes fosfáticos están entre el 5,0% y el 50% se usa el adjetivo fosfática (Ptáček, 2016).

Para las rocas calcáreas o arcillosas que se encuentran silicificadas por procesos biogénicos o diagenéticos se usa el diagrama triangular de Williams *et al.* (1954) cuyos vértices corresponden a carbonatos (aloquímicos y ortoquímicos), arcilla y sílice. Por ejemplo rocas con un contenido de sílice mayor al 75% corresponden a cherts. Para los nombres de las rocas con un contenido de sílice diagenético menor al 75%, no se empleará esta clasificación. Las rocas con un contenido de sílice microcristalino mayor al

10% pero menor al 50%, se utiliza el término descriptivo “parcialmente silicificada” y para las rocas con más del 50% el término “silicificada”.

En la clasificación textural y composicional de rocas sedimentarias calcáreas se emplearon los diagramas de Dunham (1962), Embry y Klovan (1971) y Folk (1959, 1974) y el nombre de la roca es asignado dependiendo de las clasificaciones antes mencionadas.

- Para rocas calcáreas: nombre composicional (Folk, 1959), más nombre textural (Dunham, 1962), más complemento.

- Para rocas terrígenas: nombre textural Folk (1954) y nombre composicional (Folk, 1974). La descripción incluye el tamaño de grano, el tipo de cemento, la calificación de la madurez textural y los accesorios detríticos.

- Para rocas silicificadas: nombre composicional dependiendo de si predominan los componentes terrígenos o calcáreos; término descriptivo de silicificación (Williams *et al.*, 1954; solo si son cherts diagenéticos), más nombre textural Dunham (1962), más complemento.

- Para rocas mixtas: nombre composicional-textural (Mount, 1985), más complemento.

- Para rocas fosfáticas: nombre composicional y textural (Trappe, 2001), más complemento.

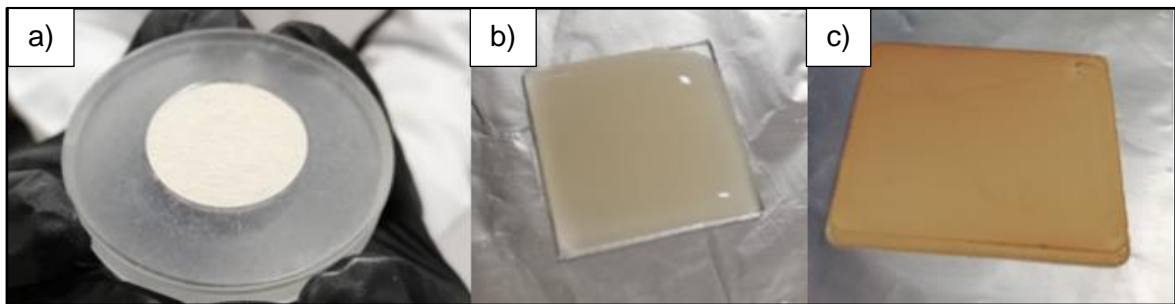
Como parte de las investigaciones que se realizan dentro del grupo de investigación en Litogeoquímica el estudiante de maestría Herrera (2021), profundiza en su Tesis en los procesos diagenéticos y de silicificación de las unidades del Grupo Olini.

Además del conteo de puntos tradicional se realiza la digitalización mediante el equipo *Metasystem* de 12 secciones delgadas de la sección de la quebrada Aico, esto con el fin de analizar las microestructuras sedimentarias. Esta fue realizada por el Geólogo Rubén Gaitán en el laboratorio *Microfluid Spectral* del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional.

## 2.3 Difracción de Rayos-X (DRX)

Posterior a la petrografía se realizaron 150 análisis por el método de DRX, en el que se identificaron los diferentes minerales que componen la roca, y se hizo una cuantificación de estos con el fin de determinar la composición de la fracción fina. Parte de los resultados incluyen la comparación entre los datos obtenidos entre la difracción de rayos X y los análisis petrográficos.

La metodología seguida es la propuesta por Thorez (1976), para ello se maceraron las muestras con un mortero hasta obtener un polvo fino, a continuación se realizan los montajes: en polvo y orientada. Las últimas son preparadas en frascos que contienen una pequeña porción de la muestra molida; esta es agitada para que se separen los diferentes tamaños de grano siguiendo la ley de Stokes y posteriormente pipetear la fracción cercana a las 2  $\mu\text{m}$ . Esta fracción fina es colocada en un pequeño vidrio y se deja secar al aire, hasta lograr una pequeña película (**Figura 2.1**). Después las muestras son glicoladas en una campana para vacío y calcinadas en una mufla de control digital a 500°C, temperatura a la que se determina el comportamiento de los minerales arcillosos. La identificación y el proceso de cuantificación se llevaron a cabo a partir del software Difract.EVA.



**Figura 2.1** Preparación de muestras para análisis de DRX. **a)** Montaje de la muestra en polvo en el porta-muestras de plástico. **b)** Montaje de la muestra para orientados sobre el vidrio, muestra húmeda. **c)** Muestra seca.

El equipo empleado es un difractómetro Bruker D2 PHASER (**Figura 2.2**), que presenta un tubo de cobre de 1.54184 Å y se ajustan los siguientes parámetros:

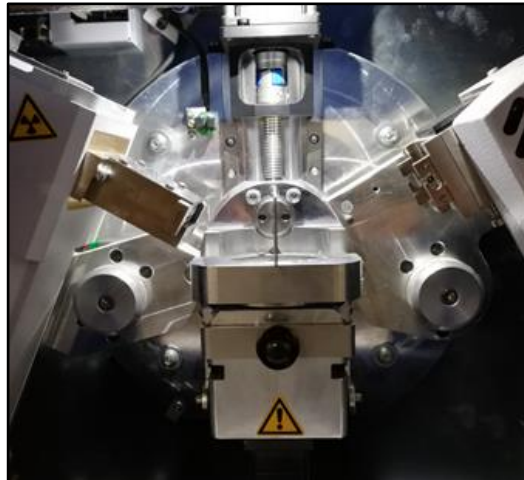
Tiempo de paso: 0.1 s

Angulo de barrido: 2.5°- 70° si es el polvo y 2.5°- 40° si son las orientadas.

Incremento: 0.014°

Detector: Linx Eye PSD 5.33°

Tanto el equipo como el software Diffract.EVA pertenecen al laboratorio de Caracterización Litológica del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional.



**Figura 2.2** Difractómetro Bruker D2 PHASER

### **2.3.1 Índices de cristalinidad de Illitas (IC) y Caolinitas (KCI)**

Junto con la identificación y cuantificación de los minerales arcillosos se pueden obtener los índices de Kübler (IK) de las illitas en 82 muestras y el índice de cristalinidad de las caolinitas (KCI) en 109 muestras, a partir de las deconvoluciones de los difractogramas de las muestras orientadas naturales, esta deconvolución es realizada a partir del software Fityk.

El índice de cristalinidad de las illitas (IC) está dado por la forma y el ancho del pico de difracción de 10 Å, medido a la mitad de la altura (Full Width at Half Maximum-FWHM). Para poder calibrar las mediciones del índice de cristalinidad (IC) en la escala internacional (Cristalinity Index Standard, CIS), propuesta por Warr y Rice (1994), se trataron los mismos patrones de referencia suministrados por los autores. Se aplicaron idénticos procedimientos de preparación de las muestras descritos en ese estudio. Con los valores obtenidos de IC para cada uno de los patrones se procedió a calcular la

ecuación de regresión para el difractómetro Bruker D2 PHASER, se obtuvo una curva de ajuste de la forma  $CIS = 1.166x + 0.1119 \Delta^2\theta$ , R: 0.9043, donde X es el valor de cristalinidad medido en el laboratorio (Bonilla *et al.*, 2011).

Las muestras patrón corresponden a seis (6) rocas metapelíticas del cinturón metamórfico de muy bajo grado de Variscan Belt al norte de Cornwall, SW de Inglaterra, donde los patrones del metamorfismo están bien definidos (Warr y Rice 1994, citado por Bonilla *et al.*, 2011). Se presentan dos estándares diagenéticos de estratos del Carbonífero Superior, el primero (SW1) proviene de un área con altos valores de índice de cristalinidad (IC), y el segundo (SW2) de un estrecho límite diagénesis–anquizona. La muestra correspondiente a la anchizona (SW4) es de estratos del Devónico Medio y el estándar epizonal (SW6) proviene de rocas del Devónico Superior (Bonilla *et al.*, 2011).

El índice de cristalinidad de las caolinitas (KCI), es dado por la forma y el ancho del pico de difracción de 7.0 Å, medido a la mitad de la altura (Full Width at Half Maximum-FWHM). Para la calibración de estos valores se prepararon y se obtuvieron los KCI de seis (6) muestras de diferentes valores de cristalinidad de la formación Guaduas en Sutatausa, al igual que para los IC se procedió a calcular la ecuación de regresión para el difractómetro Bruker D2 PHASER, se obtuvo una curva de ajuste de la forma  $KCI = 0.6549x + 0.1713 \Delta^2\theta$ , R: 0.7688, donde X es el valor de cristalinidad medido en el laboratorio (Bonilla *et al.*, 2011).

La obtención de estos índices de cristalinidad permite obtener una idea de la diagénesis que ha sufrido la roca, y de cambios en el área de aporte a lo largo de las secciones estratigráficas.

## 2.4 Fluorescencia de Rayos X (FRX)

Para la fluorescencia de rayos X de 153 muestras, se lleva a cabo una preparación similar a la muestra en polvo para DRX, se pone un poco de la muestra macerada en el porta muestras con la diferencia de que ésta debe estar totalmente homogenizada y compactada en su superficie, para luego ser colocada en la pistola de fluorescencia.



El equipo utilizado es un BRUKER Tracer GeoQuant IV (**Figura 2.3**), que es un equipo de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva, el cual pertenece a la empresa INCLAY S.A.S. Este presenta las siguientes condiciones instrumentales:

- Tubo: Objetivo de Rh con Voltaje máximo de 40 KV.
- Detector: 10 mm<sup>2</sup> XFlash SSD, resolución típica 145 eV a 100.000cps.
- Vacío: Bomba portátil para aumentar la sensibilidad en la detección de elementos ligeros.
- Energía: 15 KV – 55  $\mu$ A y 40 KV – 5.7  $\mu$ A.



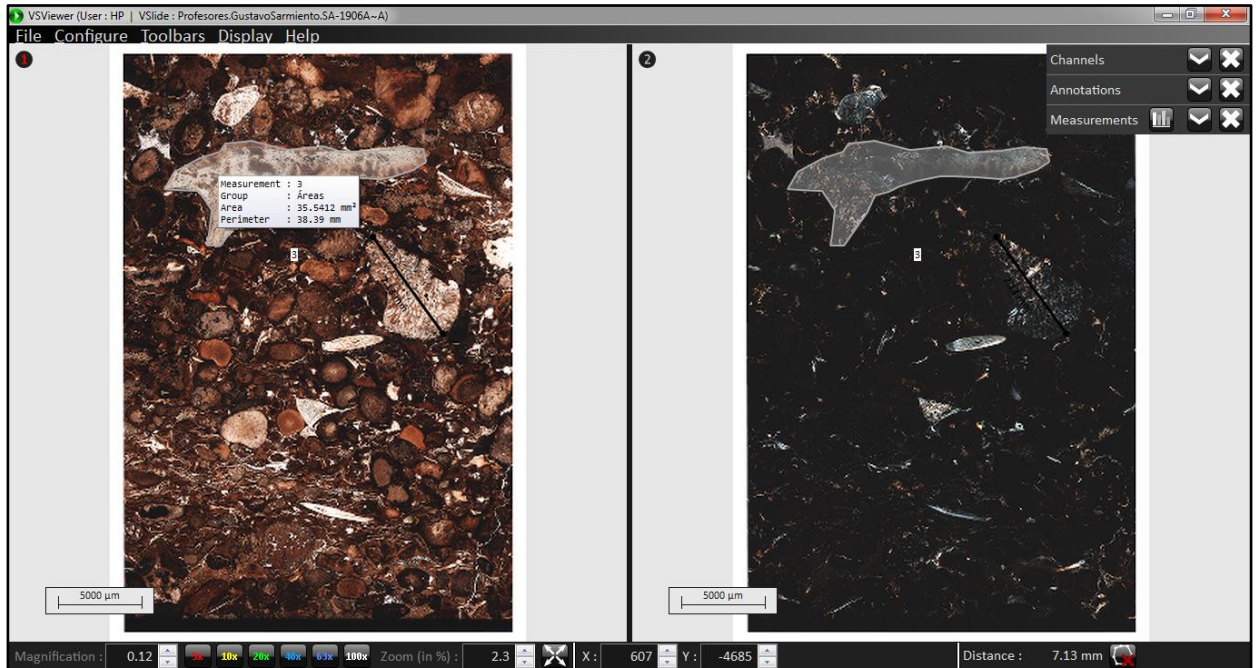
**Figura 2.3** Equipo de Fluorescencia de rayos-X, BRUKER tracer GeoQuant IV.

## 2.5 Secciones delgadas digitalizadas

Para el análisis de las 12 secciones digitalizadas de la sección de la quebrada Aico se recurrió al uso del programa VSViewer, proporcionado de manera gratuita por el laboratorio *Microfluid Spectral* del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia.

Para su correcta visualización fueron entregados cinco archivos digitales por sección delgada, los cuales deben ubicarse en la carpeta *Images* dentro de la carpeta del programa. Posteriormente se abre el programa VSViewer y se selecciona la sección delgada a analizar.

El programa ofrece diferentes herramientas como son: la visualización de la sección completa en PPL (nicoles paralelos) y XPL (nicoles cruzados) al mismo tiempo, la obtención de distintas medidas (longitud, área, perímetro), la inserción de notas y figuras, entre muchas otras más (**Figura 2.4**).



**Figura 2.4.** Visualización de una de las 12 secciones delgadas digitalizadas en el programa VSViewer (muestra SA-1906A\_Formación Lidita Inferior). Se pueden ver a la izquierda la vista en PPL y a la derecha la vista en XPL, además de las distintas herramientas ofrecidas por el programa (medidas como son longitud, área y perímetro en los restos fosfáticos de peces).

## 3. Resultados

Se levantaron dos columnas estratigráficas, en el río Yaguaracito y la quebrada Aico, y se realizó un reconocimiento y remuestreo en la quebrada Talora. Los resultados obtenidos son mostrados de manera integral empezando por la asociación de facies encontradas en campo, seguido de las microfacies identificadas con la petrografía (**Anexo B**), y por último una comprobación y profundización de la composición mineralógica de las rocas (principalmente arcillas) (**Anexo F**).

### 3.1 Sección estratigráfica quebrada Aico

Se levantaron 357,9 m de columna estratigráfica en la quebrada Aico (**Figura 3.1**), iniciando en la parte superior de la Formación Loma Gorda hasta la Formación La Tabla. La Formación Loma Gorda no está expuesta en su totalidad debido a la complejidad estructural hacia la base de la sección. En el techo de la Formación La Tabla no aflora el contacto con la Formación Seca al estar cubierto por derrubios.

La Formación Loma Gorda, se compone principalmente de capas medias a gruesas de calizas con laminación plana paralela continua, también se observan capas delgadas de fosforitas. En la base de la unidad hay concreciones calcáreas de escala métrica.

Suprayaciendo a las calizas continúa una intercalación de capas medias de porcelanitas y cherts de la Formación Lidita Inferior, estas tienen laminación plana paralela continua.

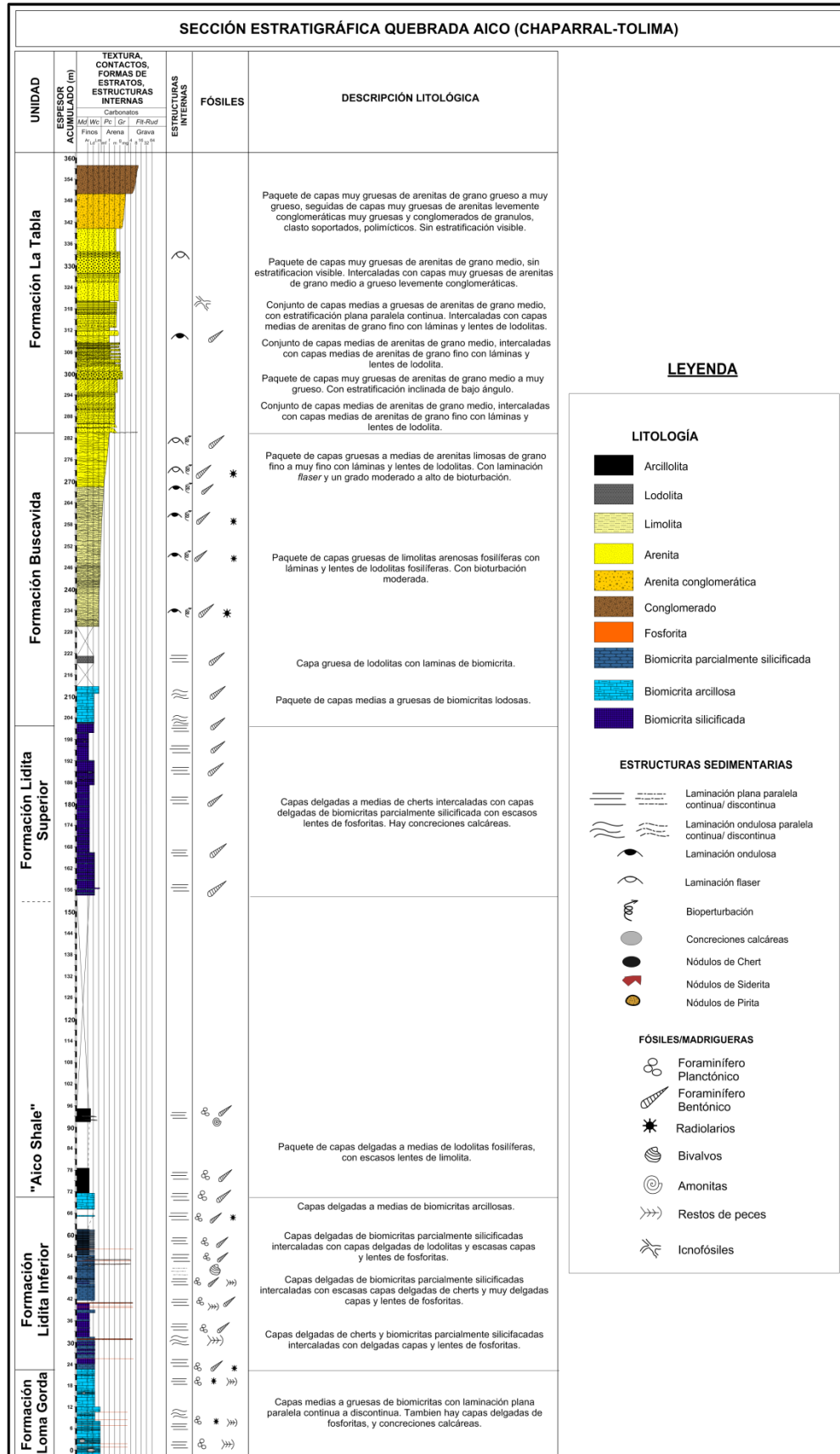
En la base predominan las capas de chert y a medida que se sube estratigráficamente comienzan a predominar las capas de porcelanitas. Al tope aparecen capas delgadas de lodolitas intercaladas con las porcelanitas, así como capas medias de calizas impuras.

Por encima de las calizas comienza un paquete de capas medias de lodolitas con escasos lentes de limolita, esto correspondería a la unidad informal "Aico Shale". Hay un cubierto de 59,3 m.

La Formación Lidita Superior está compuesta de capas medias de cherts intercaladas con delgadas capas de porcelanitas. Hay concreciones calcáreas de escala centimétrica a métrica hacia el tope de la unidad.

Suprayaciendo a las porcelanitas y cherts aparecen capas de calizas impuras de la base de la formación Buscavida. Hay un cubierto de 8,55 m en el que al final comienza un paquete de lodolitas con láminas de lodolitas, donde al terminar inicia otro cubierto de 8,25 m. La parte superior de la unidad son capas gruesas de limolitas con láminas de lodolitas y capas gruesas de arenitas de grano muy fino a fino con láminas y lentes de lodolitas.

Por último la Formación La Tabla se compone de capas medias de arenitas de grano medio, intercaladas con arenitas de grano fino con láminas y lentes de lodolitas en la base, continua una intercalación de capas muy gruesas de arenitas de grano medio a muy grueso con estratificación inclinada de bajo ángulo, continua una intercalación de capas medias a gruesas de arenitas de grano medio a grueso intercaladas con las mismas capas de arenitas de grano fino con láminas y lentes de lodolitas. Hacia el tope las capas de arenitas de grano fino con láminas de lodolitas desaparece y las capas de arenitas aumenta su tamaño de grano de medio a grueso y muy grueso. Por último hacia el tope hay capas gruesas a muy gruesas de arenitas de grano grueso a muy grueso levemente conglomeráticas suprayacidas por una capa muy gruesa de conglomerados de gránulos, clasto soportado.



**Figura 3.1** Columna estratigráfica a escala 1:150 de la sección de la quebrada Aico.

### 3.1.1 Formación Loma Gorda

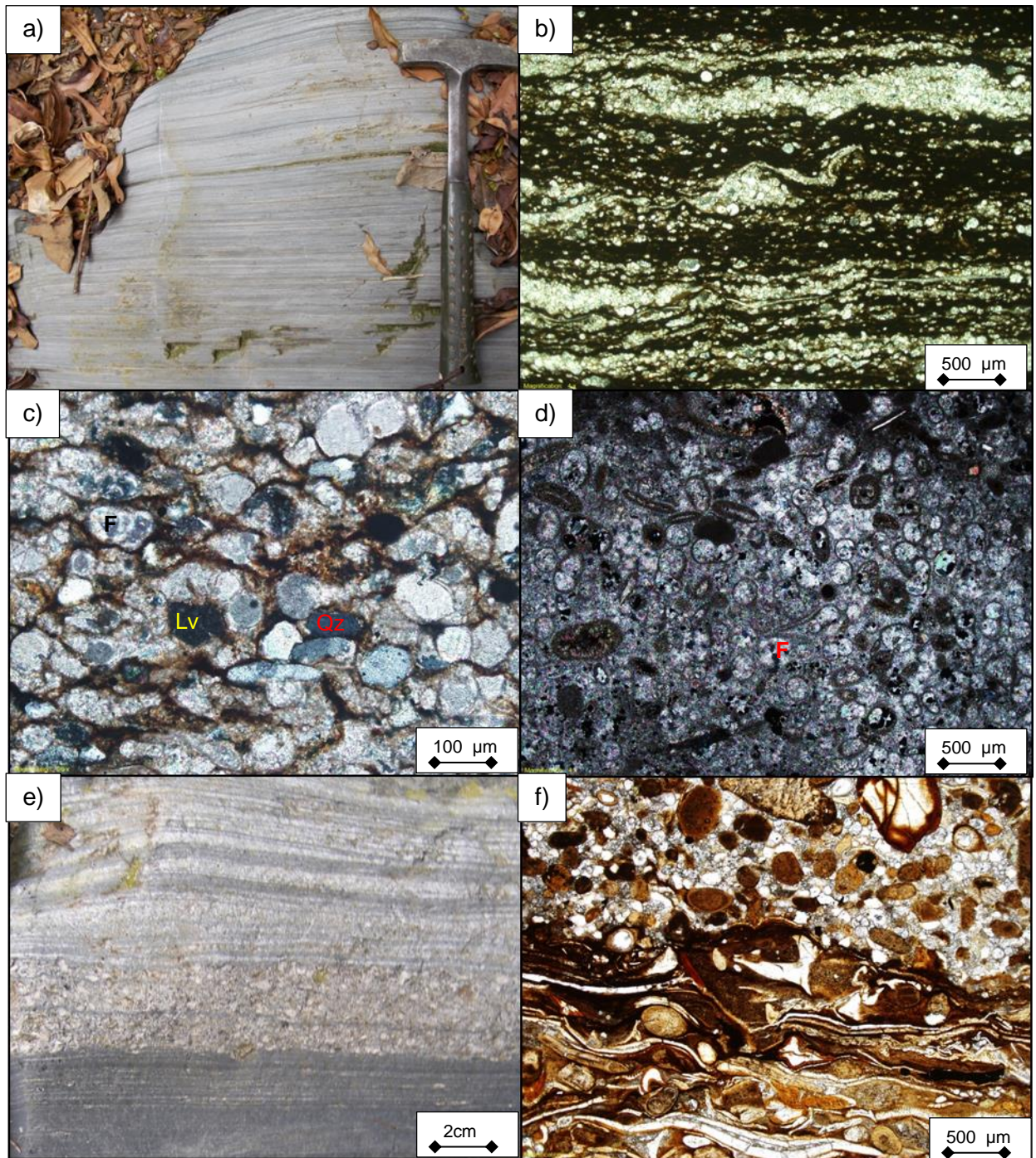
El espesor levantado corresponde a 22,8 m (**Figura 3.2**) de capas medias a gruesas de biomicritas con laminación plana paralela continua a discontinua (**Figura 3.3.a**), las láminas son muy delgadas a medias y presentan colores gris claro a gris oscuro. Del metro 0 hasta el metro 10,5 se intercalan capas delgadas de fosforitas entre las biomicritas. En la parte superior no se reconocen las intercalaciones y solo se presenta una sucesión biomicritas con láminas claras y oscuras continuas hasta el tope de la unidad. Hay concreciones de más de 1,0 metro de espesor hacia la base, mientras que después del metro 5,0 las concreciones disminuyen su tamaño hasta llegar a tener menos de 20,0 cm.

Muestras	Columna estratigráfica	Laminación	Fósiles	Descripción Litológica
(Ptr) SA-1904 (Ptr) SA-1904A	18	≡	☉ * >>>	<p>Capas medias a gruesas de biomicritas con textura <i>wackestone</i> a <i>packstone</i> con laminación plana paralela continua a discontinua, las láminas son muy delgadas a medias y presentan colores gris claro a gris oscuro.</p> <p>Se intercalan capas delgadas de fosforitas entre las biomicritas. En la parte superior no se reconocen las intercalaciones y solo se presenta una sucesión biomicritas con láminas claras y oscuras continuas hasta el tope de la unidad. Hay concreciones calcáreas de más de 1,0 metro de espesor hacia la base.</p>
SA-1903A	12	≡	☉ * >>>	
(Ptr) SA-1903 (Ptr) SA-1902A	6	≡	☉ * >>>	
(Ptr) SA-1902	0	≡	☉ >>>	
(Ptr) SA-1901	0	≡	☉ >>>	

**Figura 3.2.** Formación Loma Gorda en la quebrada Aico. Parte de la columna estratigráfica con los 22,8 m levantados (Columna completa en el **Figura 3.1**).

Las facies de biomicritas corresponden a tres microfacies (**Tabla 3.1**) cada una representando variaciones en el contenido de aloquímicos. La primera microfacies corresponde a biomicritas dispersas con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos, soportada por micrita, materia orgánica, minerales arcillosos, y sílice microcristalina diagenética, con laminación plana paralela continua a discontinua. Hay láminas y lentes donde se concentra una mayor cantidad de aloquímicos y de granos terrígenos, por lo tanto estas tienen textura *packstone* (**Figura 3.3.b**) Los aloquímicos

corresponden a foraminíferos planctónicos en su mayoría biseriales, bioclastos calcáreos sin identificar y restos de peces. Como minerales autígenicos hay pirita framboidal, y trazas de glauconita la cual está presente en algunas muestras.



**Figura 3.3** Parte superior de la Formación Loma Gorda, quebrada Aico. **a)** Biomicritas con laminación plana paralela continua. Las láminas claras contienen mayor porcentaje de aloquímicos (principalmente foraminíferos) (Metro 4). **b)** Sección delgada de biomicrita dispersa con textura *wackestone* y localmente *packstone* en láminas y lentes con mayor concentración de aloquímicos (foraminíferos). SA-19(-02)\_4x\_PPL. **c)** Sección delgada de biomicrita empaquetada con textura *packstone*. Granos de cuarzo (Qz) y líticos volcánicos (Lv) tamaño arena muy fina, entre los foraminíferos planctónicos (F), la micrita y la materia orgánica. SA-1901\_20x\_XPL. **d)** Sección delgada de concreción calcárea. Biomicroesparita empaquetada con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos (F). La microesparita se encuentra reemplazando tanto a los aloquímicos como a los granos terrígenos. SA-1902\_4x\_PPL. **e)** Contacto erosivo entre la capa de fosforita (al centro) y la capa de biomicrita hacia la base. Se puede observar cómo hay varios episodios de mayor energía hacia el tope intercalados con las biomicritas (baja energía) (Metro 10,5). **f)** *Phosclast-packstone* de restos fosfáticos de peces y peloides fosfáticos. Se observan dos láminas, en la base con restos fosfáticos de peces alargados y orientados. En el tope predominan los peloides fosfáticos y hay cemento calcáreo entre los aloquímicos. SA1903\_4x\_PPL.

La segunda microfacies corresponde a biomicritas empaquetadas con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos, soportadas en su mayoría por aloquímicos, algunas con granos terrígenos, con laminación ondulosa paralela continua a discontinua. Los aloquímicos corresponden en su mayoría a foraminíferos planctónicos biseriales, bioclastos calcáreos sin identificar, restos de conchas de bivalvos y restos fosfáticos de peces. Como componentes terrígenos hay minerales arcillosos en la matriz y algunas muestras presentan más de 5,0% de cuarzos monocristalinos, policristalinos y líticos volcánicos (**Figura 3.3.c**). Como minerales autigénicos hay pirita framboidal y algunas muestras contienen también glauconita.

La última microfacies corresponde a micrita fosilífera con textura *mudstone*, soportada por minerales arcillosos, sílice microcristalina diagenética y micrita, con laminación plana paralela continua a discontinua con lentes claros, además de estilolitos perpendiculares a la laminación. Los aloquímicos presentes son foraminíferos planctónicos, bioclastos calcáreos sin identificar, trazas de restos de peces y radiolarios piritizados. Algunos foraminíferos están reemplazados totalmente por pirita, o solo el interior de las cámaras por sílice microcristalina. Además de los minerales arcillosos de la matriz también hay como componentes terrígenos granos de cuarzo monocristalino con extinción recta y



ondulosa. El carbonato se encuentra reemplazando a los granos terrígenos dificultando su reconocimiento.

Las concreciones calcáreas de tamaños variables están compuestas de foraminíferos planctónicos y ooides con núcleos de foraminíferos o de granos de cuarzo y la matriz está totalmente recristalizada a microesparita (**Figura 3.3.d**).

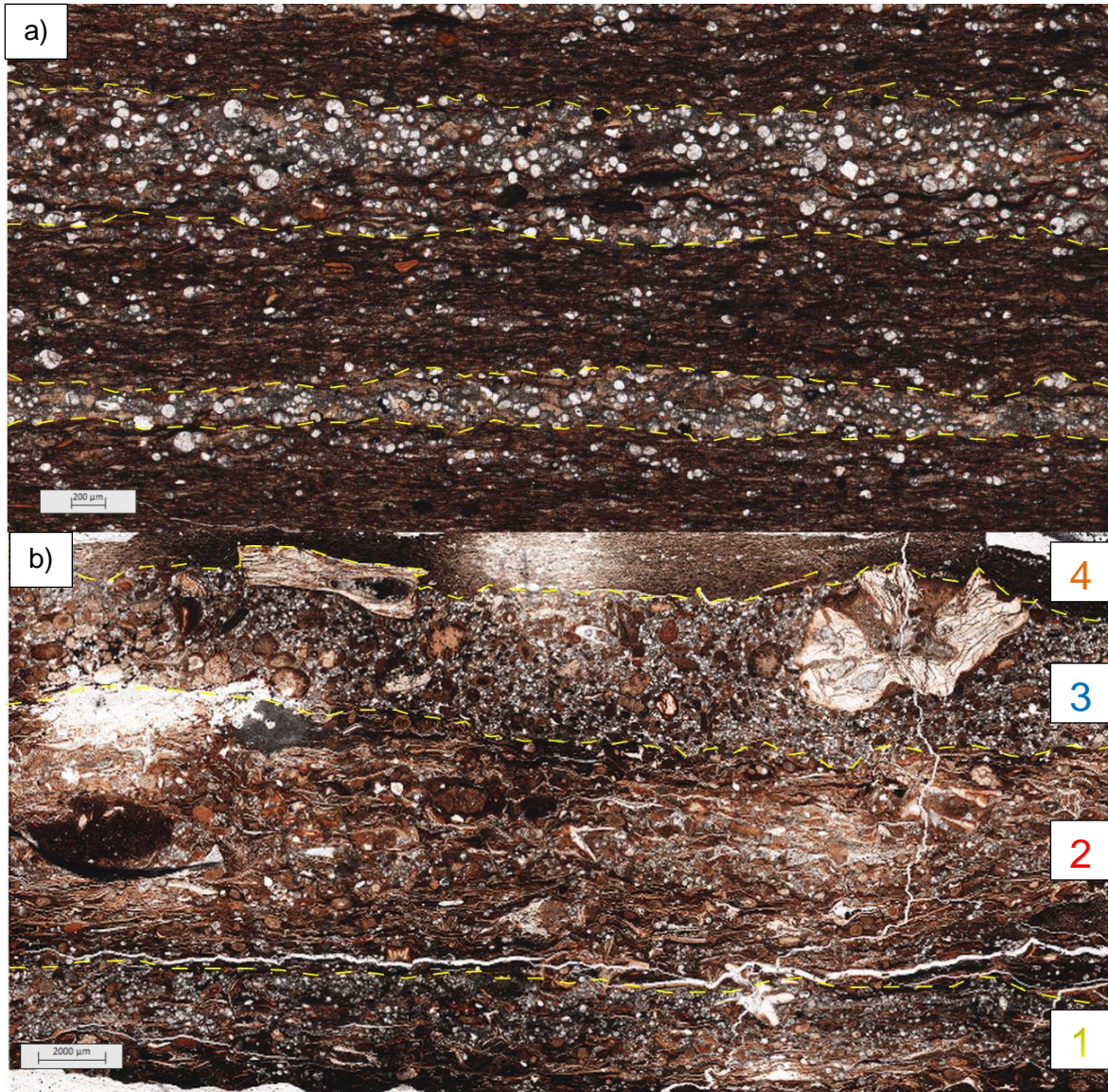
La gran cantidad de foraminíferos planctónicos, escasos radiolarios, la matriz de lodo calcáreo (micrita) y la laminación plana paralela continua a discontinua, estarían indicando ambientes de baja energía (mayoría de componentes son depositados por decantación), pero la presencia de componentes terrígenos tales como granos de cuarzo, líticos volcánicos (**Figura 3.3.c**) y minerales arcillosos (esmectitas, caolinita, dickita, illita e interestratificados) indicarían aporte desde áreas continentales. El ambiente en el que se depositaron los sedimentos originales se puede considerar escaso de oxígeno (anóxico), demostrado en la escasa vida bentónica (pocos organismos bentónicos) y la baja a nula actividad capaz de producir bioturbación (buena preservación de la laminación) (Tucker, 2001; McCarthy *et al.*, 2011). Otra razón para considerar un posible ambiente anóxico es la predominancia de *Heterohelix* spp., este tipo de morfologías de foraminíferos planctónicos se desarrollan típicamente en la zona fótica, adicionalmente se considera este género como oportunista indicando ambientes de estrés ambiental (Leckie *et al.*, 1998). Las láminas y lentes con textura *packstone*, se generan por una tasa mayor en la muerte de microorganismos (foraminíferos, peces y bivalvos) (**Figura 3.4.a**).

**Tabla 3.1** Microfacies de la Formación Loma Gorda.

Microfacies	Aloquímicos	Estructuras sedimentarias-bioturbación-composición	Geometría-contactos-color-espesores	Interpretación del proceso sedimentario
Micrita con textura <i>mudstone</i> .	Foraminíferos planctónicos, radiolarios bioclastos fosfáticos (¿restos de peces?).	Laminación plana paralela continua a discontinua-Bioturbación baja a nula-Calcarea, silicea, arcillosa y materia orgánica.	Tabular-contactos netos-negro parduzco-10 a 30 cm.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de mar abierto de baja energía.

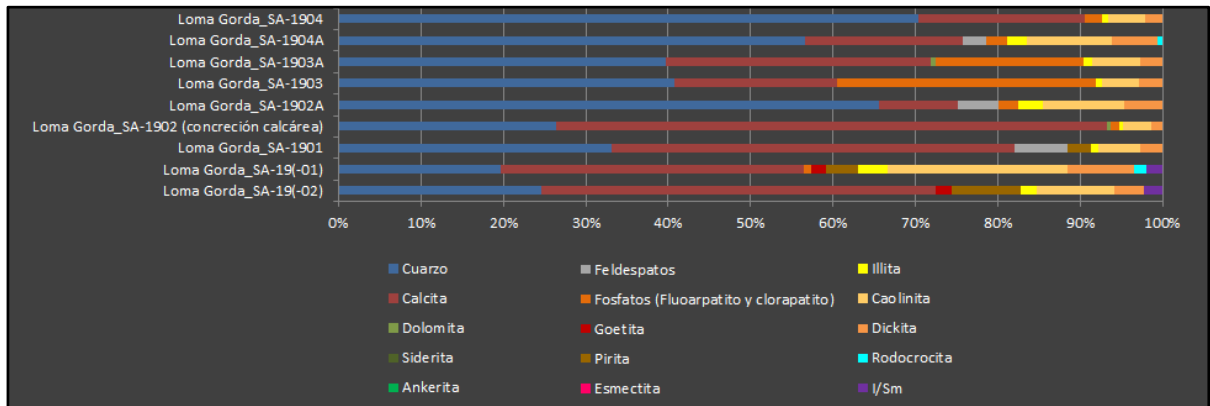
Biomicrotas con textura <i>wackestone</i>	Foraminíferos planctónicos, radiolarios, restos de conchas de bivalvos, restos de peces.	Laminación plana paralela continua a discontinua-Bioturbación baja a nula-Calcareá, silicea, arcillosa y materia orgánica, con glauconita.	Tabular-contactos netos-negro parduzco-10 a 30 cm.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de baja energía. Hay lentes y láminas con mayor acumulación de aloquímicos y terrígenos tamaño arena. La gran cantidad de cámaras sueltas indicarían algo de transporte (?).
Biomicrotas con textura <i>packstone</i>	Foraminíferos planctónicos, restos de conchas de bivalvos, restos de peces.	Laminación ondulosa paralela continua a discontinua-Bioturbación baja-Calcareá y materia orgánica, con glauconita.	Tabular-contactos netos-negro parduzco-10 a 30 cm.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de baja energía. Hay lentes y láminas con mayor acumulación de aloquímicos y terrígenos tamaño arena. La gran cantidad de cámaras sueltas indicarían algo de transporte (?).
<i>Phosclast-packstone</i>	Restos de peces, foraminíferos planctónicos, peloides fosfáticos, ooides fosfáticos e intraclastos fosfáticos.	Laminación ondulosa paralela continua. Bioturbación baja-Fosfática, calcárea, silicea.	Lenticular-contactos erosivos-café a beige-<1 cm a 6 cm.	Depósito por rodamiento y saltación, en eventos de mayor energía (tormentas). Hay presencia de granos terrígenos tamaño arena fina (cuarzos y líticos volcánicos), evidenciando el aporte continental.

La segunda facies corresponde a capas delgadas de fosforitas de color café anaranjado, con laminación ondulosa paralela continua a discontinua, en su base presentan contactos erosivos, y están compuestas de restos de peces y peloides fosfáticos (**Figura 3.3.e**). Esta facies se presenta principalmente hacia la base del afloramiento en capas de 6 cm de espesor y corresponden a eventos de mayor energía, evidenciado en el tamaño guijo de los aloquímicos, su angulosidad (subredondeados), la presencia de cuarzos tamaño arena fina, escaso lodo calcáreo (micrita) y abundante cemento calcáreo reemplazando a los componentes del armazón. Estas fosforitas parecen ser condensadas debido a que se pueden observar diferentes eventos con límites definidos (**Figura 3.3.f** y **Figura 3.4.b**). Un ejemplo de estos eventos de fosforitas condensadas se puede apreciar en la muestra SA-1903 cuyas láminas representan distintos episodios, evidenciando cambios en el contenido de los componentes del armazón, el cual se compone de pellets fosfáticos, restos fosfáticos de peces, ooides, foraminíferos planctónicos y material terrígeno (cuarzos, líticos volcánicos y minerales arcillosos).



**Figura 3.4.** Microestructuras en la Formación Loma Gorda. Digitalizadas con el sistema *Metasystem*. **a)** Láminas con textura *packstone*, con límites definidos. SA-1904A\_PPL\_200  $\mu\text{m}$ . **b)** Fosforita condensada. La lamina 1 presenta un mayor contenido de foraminíferos planctónicos comparado con la 2, esta su vez tiene un mayor contenido de restos fosfáticos alargados y delgados con una orientación preferencial (paralela con la laminación) comparado con las láminas 1 y 3. La lamina 3 presenta un mayor contenido de pellets, granos terrígenos (cuarzos y líticos volcánicos) además de restos fosfáticos de peces de gran tamaño, y hay cemento calcáreo (esparita) entre los componentes del armazón. La lamina 4 representa el final de estos flujos de mayor energía, esto es evidenciado en la precipitación de micrita y minerales arcillosos por decantación, así como en la caída al fondo de escasos foraminíferos planctónicos. Muestra SA-1903\_PPL\_2000  $\mu\text{m}$ .

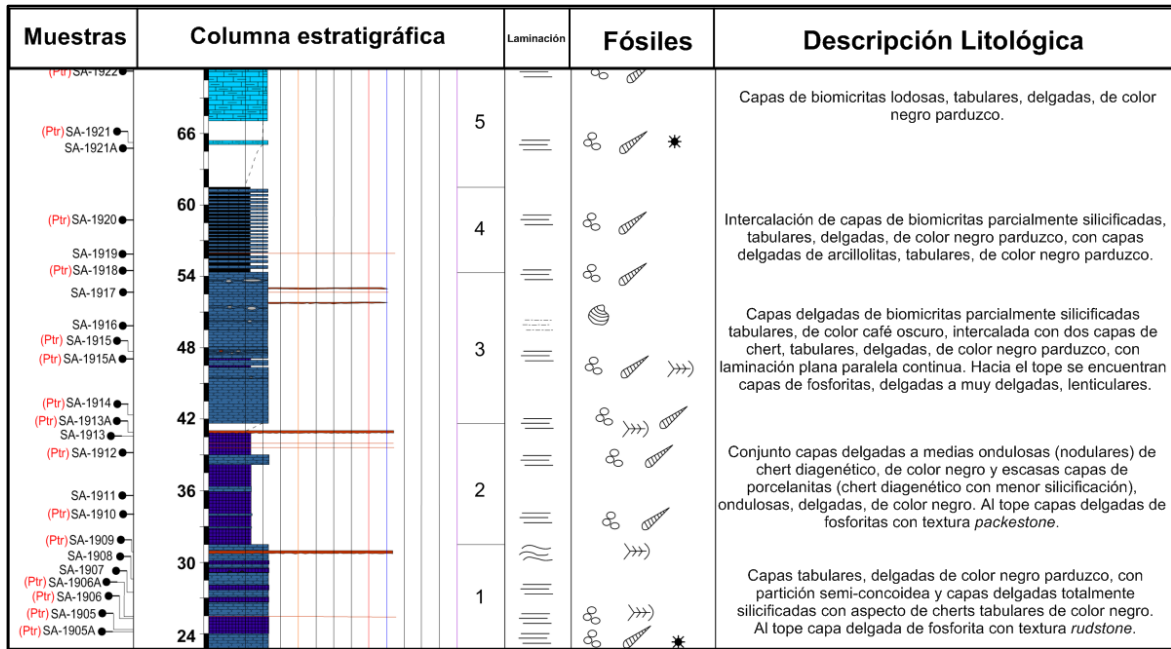
Los minerales identificados por DRX (**Figura 3.5**) en las muestras de la Formación Loma Gorda corresponden principalmente a calcita y cuarzo, seguido del fluorapatito mineral abundante en las rocas ricas en fosfatos (SA-1903 y SA-1903A), también hay pirita presentando mayor concentración en rocas con un alto contenido de materia orgánica (SA-19(-02), SA-19(-01) y SA-1901), feldespatos y goethita. En cuanto a los minerales arcillosos estos corresponden a caolinita siendo el más abundante, seguido de dickita, illita e interestratificados illita/esméctica, este último solo presente en las muestras SA-19(-02) y SA-19(-01) (no se encuentran en la columna por ser tomadas en una salida posterior al levantamiento estratigráfico y estar por debajo del metro 0).



**Figura 3.5.** Cuantificación mineralógica de las nueve (9) muestras de la Formación Loma Gorda en Aico, obtenida a partir del DRX.

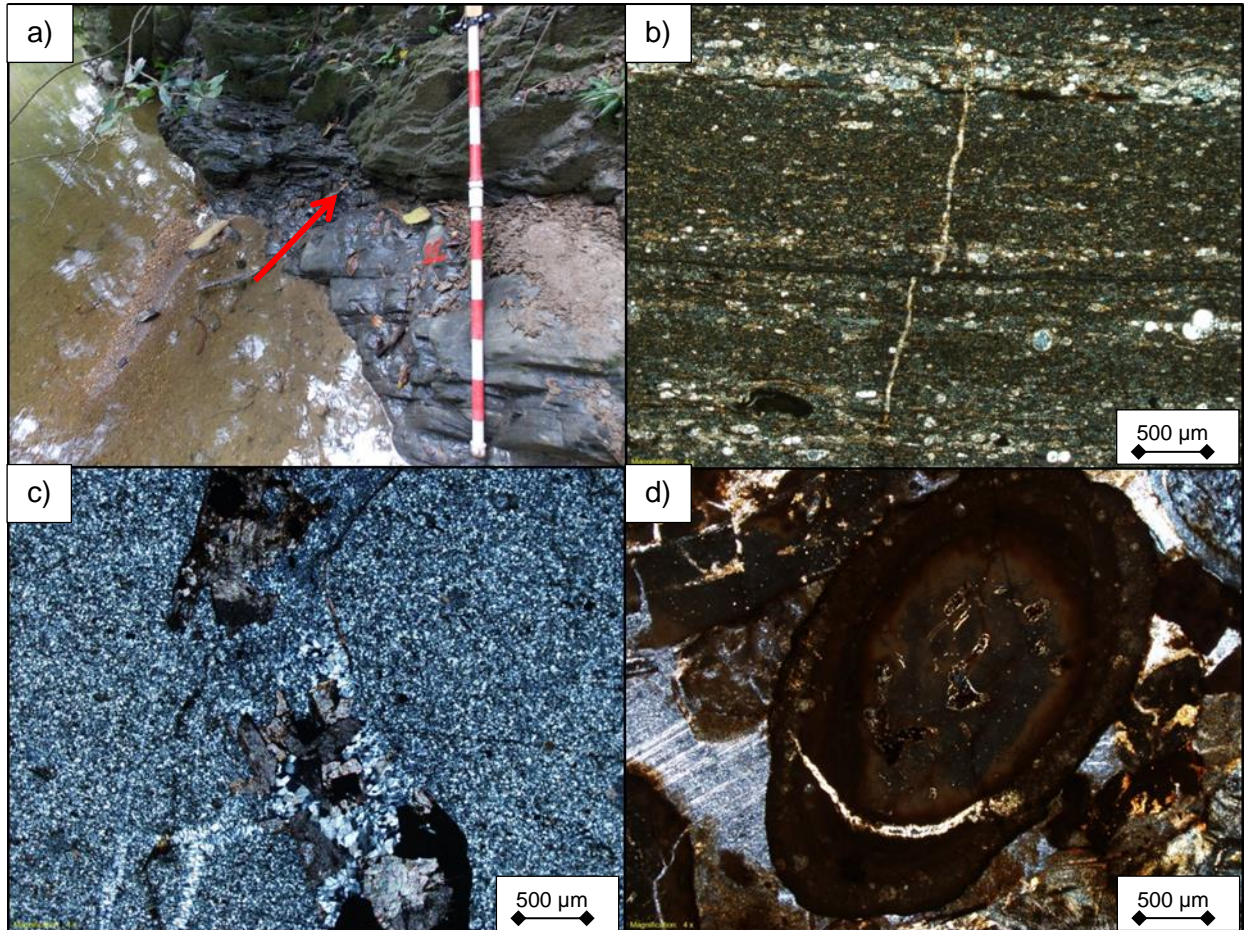
### 3.1.2 Formación Lidita Inferior

El contacto con la unidad subyacente se da cuando las facies calcáreas de la Formación Loma Gorda pasan a las biomicritas silicificadas de la Formación Lidita Inferior. A nivel de afloramiento el contacto es neto y se aprecia cuando la roca toma el aspecto de capas delgadas con partición en bloques prismáticos, donde las características diagenéticas le dan el aspecto de lo que tradicionalmente se han denominado las “liditas”.



**Figura 3.6** Formación Lidita Inferior en la quebrada Aico. Parte de la columna estratigráfica con los 49,0 m levantados (Columna completa en el **Figura 3.1**).

Este rasgo se mantiene hasta el techo de la unidad, con un espesor de 49 m. No obstante la regularidad de la unidad, puede dividirse en cinco segmentos (**Figura 3.6**). El primer segmento corresponde a los 9,0 m inferiores donde se aprecian dos rasgos litológicos predominantes. El primero se desarrolla en capas tabulares, delgadas de color negro parduzco, con partición semi-concoidea y laminación plana paralela continua y el segundo en capas delgadas totalmente silicificadas con aspecto de cherts tabulares de color negro. En esta facies la partición se da en panelas (típica de las rocas silicificadas) (**Figura 3.7.a**) e internamente se aprecia la laminación plana paralela continua que no se pierde con la diagénesis. Bajo el microscopio petrográfico están constituidas por biomicritas silicificadas dispersas con textura *wackestone* de foraminíferos (**Tabla 3.2**).



**Figura 3.7** Segmento uno de la Formación Lidita Inferior, quebrada Aico. **a)** Contacto entre las biomicritas y las rocas parcialmente silicificadas (flecha) (Metro 22,5). **b)** Sección delgada de biomicrocita dispersa silicificada con textura *wackestone* de foraminíferos. Se observa una lámina *packstone*. SA-1905A\_4x\_XPL. **c)** Sección delgada de micrita fosilífera silicificada con textura *mudstone*. Se observa una venilla rellena de sílice microcristalina, en la cual posteriormente esa sílice es reemplazada por calcita. SA-1905\_4x\_XPL. **d)** *Phosclast-packstone* de restos de peces y peloides, parcialmente silicificada, rica en materia orgánica. Se observa entre los peloides fosfáticos el cemento calcáreo poiquilotopico. SA-1906A\_4x\_XPL.

En la microestructura la mayoría de los componentes permiten observar un leve microgranodecrecimiento en las biopartículas, aspecto que permite deducir que son depositados en un medio de muy baja energía y por decantación. Escasos lentes con mayor contenido de aloquímicos (**Figura 3.7.b**), reflejan mayores tasas de muerte y posterior acumulación. El predominio bioclástico está dado por foraminíferos planctónicos, con escasos foraminíferos bentónicos, restos fosfáticos de peces y radiolarios. Este rasgo es típico de un ambiente de baja energía, pero más profundo que lo reportado en

las facies de la Formación Loma Gorda en su parte superior y que infrayace el segmento descrito. Adicionalmente se reconocen microláminas lenticulares terrígenas que contienen minerales arcillosos (caolinita y dickita) y escasos granos de cuarzo tamaño limo, que estarían indicando un aporte continental de menor influencia que la unidad infrayacente.

Entre las capas de chert se presentan nódulos negros totalmente silicificados (**Figura 3.7.c**). Interestratificados entre las capas descritas se dan en menor proporción capas muy delgadas lenticulares o con laminación ondulosa paralela continua de fosforitas en contactos micro-erosivos en la base, de color café anaranjado a beige. Estas capas alcanzan hasta 10 cm de espesor y están compuestas de bioclastos de restos fosfáticos de peces y peloides fosfáticos (**Figura 3.7.d**). Dicha facies representan eventos de mayor energía, evidenciado en el tamaño guijo de los aloquímicos, su angulosidad (subredondeados) y la presencia de cuarzos tamaño arena fina; hay también escaso lodo calcáreo (micrita) el cual se encuentra sustituido por sílice microcristalina, además de carbonato de calcio reemplazando a los aloquímicos.

El segundo segmento con 9,75 m de espesor (**Figura 3.6**) corresponde a nivel de afloramiento a un conjunto capas delgadas a medias ondulosas (nodulares) de chert diagenético, de color negro, con laminación plana paralela continua y escasas capas de porcelanitas (chert diagenético con menor silicificación), ondulosas, delgadas, de color negro (**Figura 3.8.a**). Estas facies están representadas por micritas con textura *mudstone* silicificadas, soportadas por sílice microcristalina diagenética, micrita, minerales arcillosos y materia orgánica, con laminación plana paralela continua y escasos lentes. El contenido de aloquímicos es bajo (**Figura 3.9**) y corresponde en su mayoría a foraminíferos planctónicos, con algunos bentónicos, restos fosfáticos de peces y bioclastos sin diferenciar. Junto con el abundante lodo calcáreo (micrita), se mezclan minerales arcillosos (caolinita y dickita) indicativo de aporte continental. Hay pequeñas concreciones calcáreas, en las cuales se observa la compactación sufrida por estas rocas. La facies de fosforitas también está presente en este segmento hacia la base, con capas delgadas, lenticulares, de color café anaranjado a beige, con contactos erosivos y conformada por restos fosfáticos de peces y peloides tamaño granulo a guijo (**Figura 3.8.b**).

**Tabla 3.2** Microfacies de la Formación Lidita Inferior.

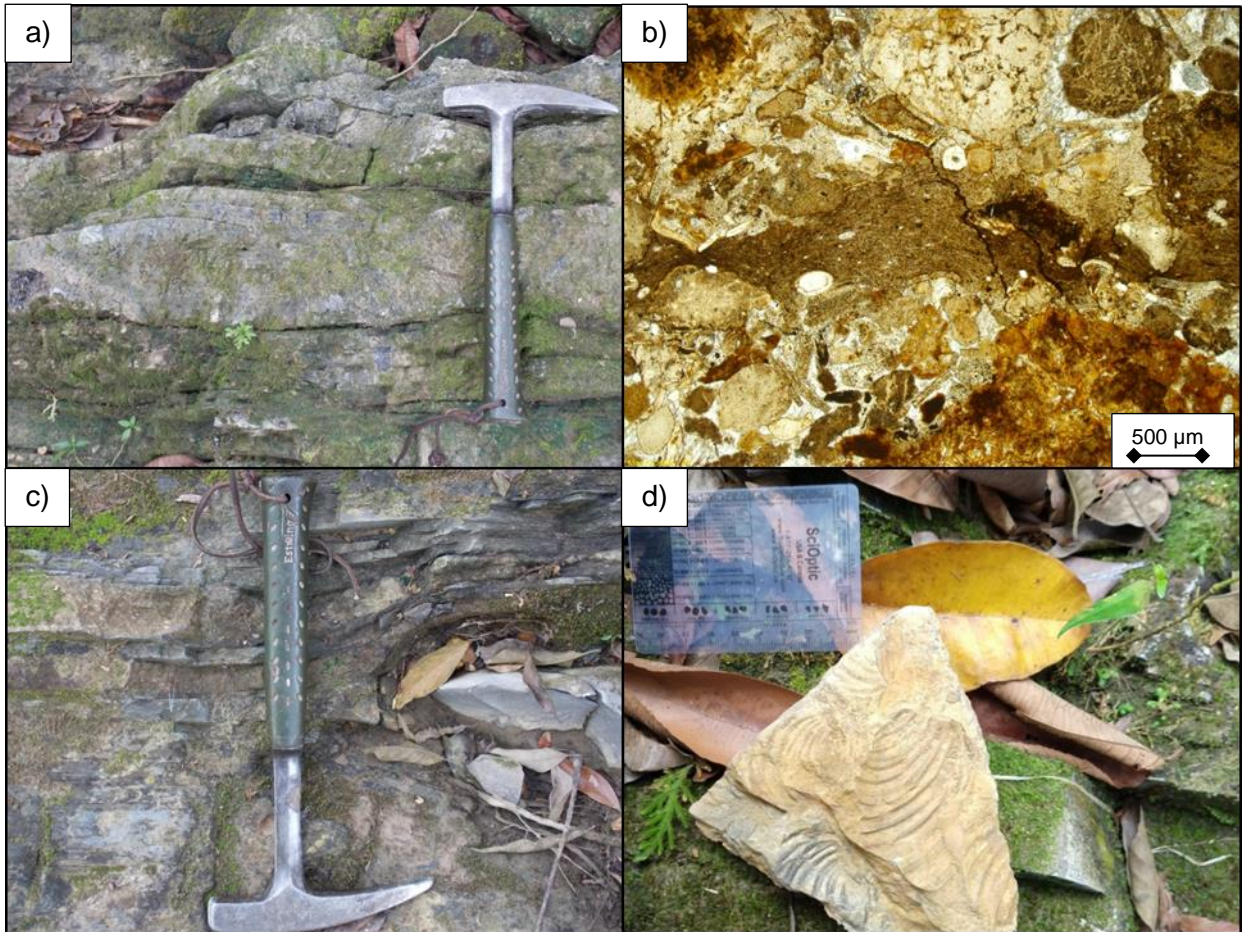
Microfacies	Aloquímicos	Estructuras sedimentarias-bioturbación-composición	Geometría-contactos-color-espesores	Interpretación del proceso sedimentario
Micritas con textura <i>mudstone</i> silicificadas.	Foraminíferos planctónicos, bentónicos, bioclastos fosfáticos (¿restos de peces?), peloides fosfáticos.	Laminación plana paralela continua-Bioturbación baja a nula-Calcareá, silícea, arcillosa y materia orgánica.	Ondulosas-contactos netos-negro -10 a 30 cm.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de mar abierto de baja energía.
Biomicritas con textura <i>wackestone</i> silicificadas.	Foraminíferos planctónicos, bentónicos, radiolarios, restos de peces, intraclastos micríticos y peloides fosfáticos.	Laminación plana paralela continua-Bioturbación baja a nula- Calcárea, silícea, arcillosa y materia orgánica.	Tabular a ondulosa-contactos netos-negro -10 cm.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de baja energía. Hay lentes y láminas con mayor acumulación de aloquímicos y terrígenos tamaño arena.
Arcillolitas	Foraminíferos planctónicos, restos de peces y peloides fosfáticos.	Laminación ondulosa paralela continua a discontinua-Bioturbación nula a baja-Minerales arcillosos, silícea y materia orgánica.	Tabular-contactos netos-negro -1 a 10 cm.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de baja energía.
<i>Phosclast-packstone</i>	Restos de peces, foraminíferos bentónicos y peloides fosfáticos.	Sin laminación a laminación ondulosa paralela continua. Bioturbación baja (cuando hay laminación)-Fosfática, calcárea, silícea.	Lenticular-contactos erosivos-café a beige-<5 a 10 cm.	Depósito por rodamiento y saltación, en eventos de mayor energía (tormentas) por debajo del nivel base de acción de las olas. Hay presencia de granos terrígenos tamaño arena fina (cuarzos), evidenciando el aporte continental.

El tercer segmento tiene un espesor de 12,6 m (**Figura 3.6**) y está conformado por capas delgadas de biomicritas parcialmente silicificadas tabulares, de color café oscuro, con laminación plana paralela continua (**Figura 3.8.c**), intercalada con dos capas de chert, tabulares, delgadas, de color negro parduzco, con laminación plana paralela continua. Hacia el tope de este segmento se encuentran capas de fosforitas, delgadas a muy delgadas, lenticulares, de color café anaranjado a beige, compuestas de restos fosfáticos de peces y peloides fosfáticos.

En general la microfacies predominante son las biomicritas dispersas con textura *wackestone* de foraminíferos con láminas y lentes con mayor porcentaje de aloquímicos y escasos granos de cuarzo tamaño limo medio. En este segmento hay concreciones calcáreas con restos de conchas de bivalvos (Inocerámidos) (**Figura 3.8.d**). Los lentes

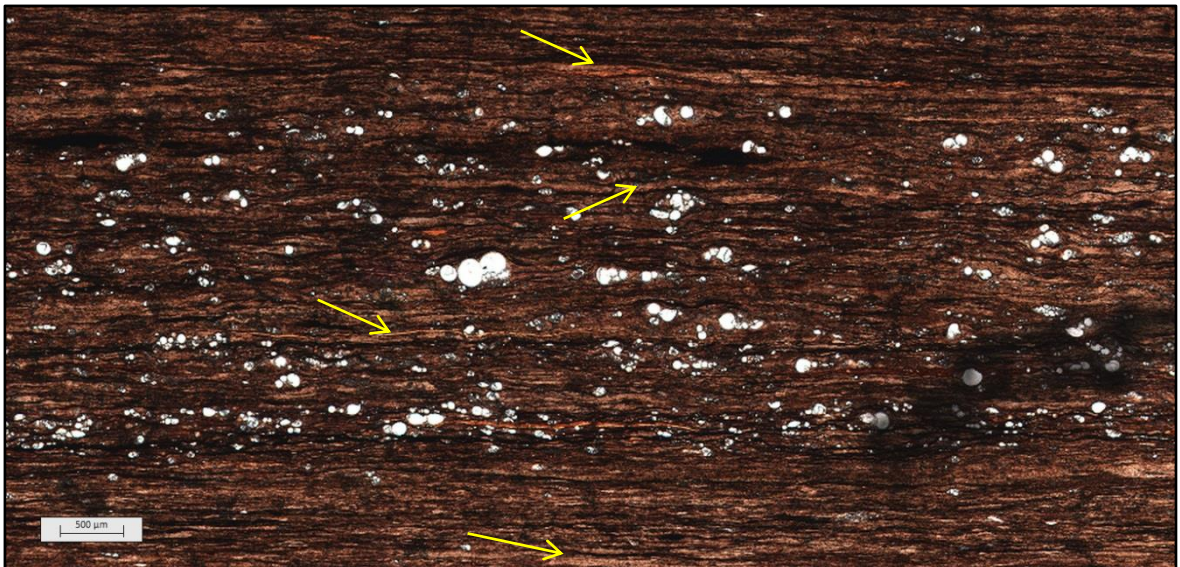


de fosforitas por el tamaño y fragmentación de los bioclastos y peloides, la mala a muy mala selección y la angulosidad de los componentes (subangulares), representan eventos de relativa mayor energía (tormentas). La energía general del medio continúa siendo baja y los componentes son depositados principalmente por decantación.

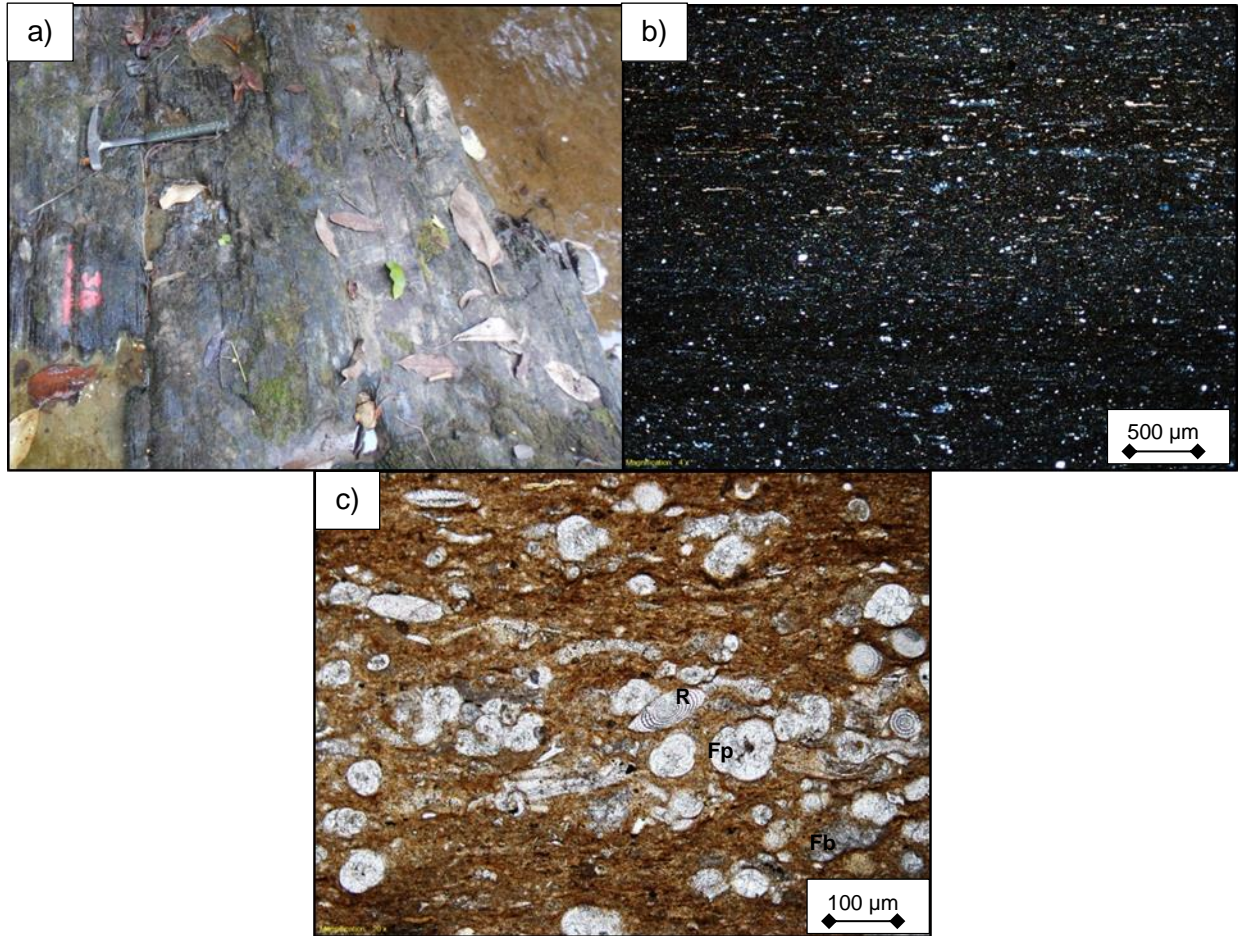


**Figura 3.8** Segmentos dos y tres de la Formación Lidita Inferior, quebrada Aico. **a)** Típica ondulación diagenética (formas nodulares de las capas) de las capas de biomicritas silicificadas (liditas), debido a la compactación diferencial causada por la silicificación (Metro 34,5). **b)** *Phosclast-packstone* de peloides y restos de peces. Se puede observar una lámina de arcillolita entre la fosforita indicando una disminución de la energía, y posterior comienzo de otro evento de mayor energía. SA-1913A\_4x\_PPL. **c)** Capas de biomicritas y de fosforita, adelgazándose hacia la concreción debido a la compactación diferencial (Metro 50,2). **d)** Concreción con restos de conchas de bivalvos (Inocerámidos) (Metro 51,5).

Los 7,5 m del cuarto segmento están conformados por una intercalación de capas de biomicritas parcialmente silicificadas, tabulares, delgadas, de color negro parduzco, con laminación plana paralela continua, e intercalaciones de capas delgadas de arcillolitas, tabulares, de color negro parduzco, con laminación plana paralela continua (**Figura 3.10.a**). Las microfacies corresponden a biomicritas dispersas con textura *wackestone* de foraminíferos y a arcillolitas con escasos foraminíferos sin diferenciar, restos fosfáticos de peces y bioclastos calcáreos (**Figura 3.10.b**). La mayoría de los componentes son depositados por decantación (foraminíferos planctónicos, minerales arcillosos y micrita) y hay escasos lentes y láminas con mayor acumulación de aloquímicos. Comparándolo con los segmentos anteriores la energía del medio de depósito continúa siendo baja, aunque hay un aumento progresivo en el contenido de componentes terrígenos (capas de arcillolitas), mayor cantidad de minerales arcillosos (caolinita, dickita e illita) y granos de cuarzo tamaño limo grueso a fino, indicando un aumento en el aporte de material continental que se acumula por decantación con el material aloquímico y ortoquímico.



**Figura 3.9.** Microestructuras en la Formación Lidita Inferior. Digitalizada con el sistema *Metasystem*. Lámina con textura *wackestone*, sin límites definidos debido a la caída por decantación de los foraminíferos planctónicos. Las flechas amarillas corresponden a los microlentes de arcillas, presentes tanto en las láminas con textura *wackestone* como *mudstone* SA-1910\_PPL\_500 μm.

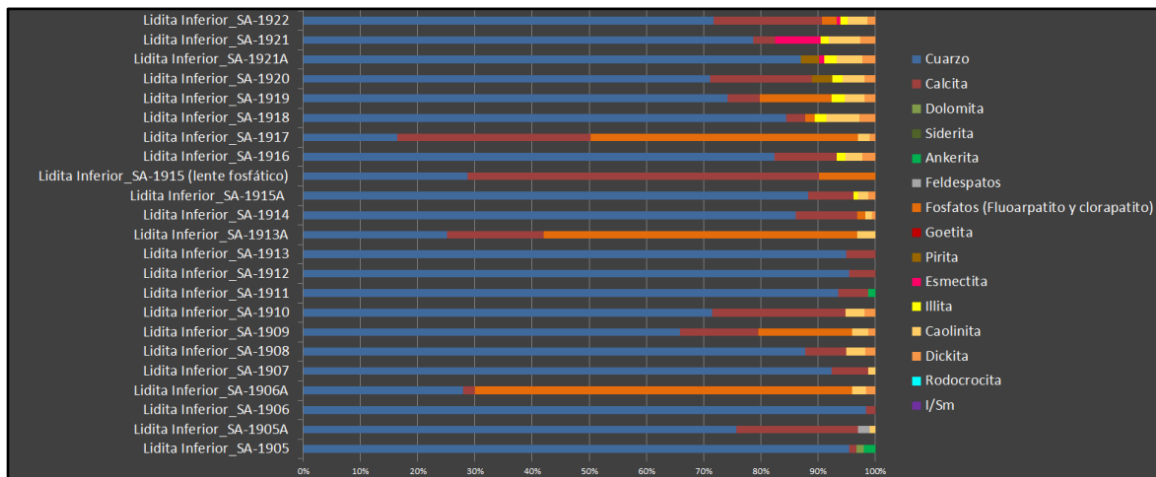


**Figura 3.10** Segmentos cuatro y cinco de la Formación Lidita Inferior, quebrada Aico. **a)** Intercalación de biomicritas y lodolitas, con estratificación plana paralela (Metro 57). **b)** Sección delgada de arcillolita parcialmente silicificada, fosilífera. Se observan también pequeños granos de cuarzo tamaño limo muy fino a grueso. SA-1918\_4x\_XPL. **c)** Sección delgada de biomicrita arcillosa dispersa con textura *wackestone* de foraminíferos. Se observan foraminíferos planctónicos (Fp), radiolarios (R) y escasos foraminíferos bentónicos (Fb), entre una matriz arcillosa y micrítica que sufre procesos de silicificación. SA-1921\_20x\_PPL.

El último segmento de 10,15 m, está conformado por capas de biomicritas, tabulares, delgadas, de color negro parduzco, con laminación plana paralela continua. La microfacies corresponde a biomicritas con textura *wackestone* de foraminíferos, arcillosas (**Figura 3.10.c**), como componentes aloquímicos hay foraminíferos planctónicos y escasos bentónicos, bioclastos calcáreos sin diferenciar, restos fosfáticos de peces, radiolarios reemplazados por calcita y peloides fosfáticos. Como componentes terrígenos además de las arcillas también hay cuarzos y trazas de líticos volcánicos. Los lentes y láminas con una mayor acumulación de aloquímicos (laminas *packstone*) son escasos. La energía del medio continúa siendo baja, mayoría de componentes son depositados

por decantación. En este último segmento disminuye el contenido de componentes terrígenos (no hay capas de arcillolitas), debido a una posible disminución del aporte continental, aunque las biomicritas contienen microláminas arcillosas (caolinita, dickita, illita y esmectitas).

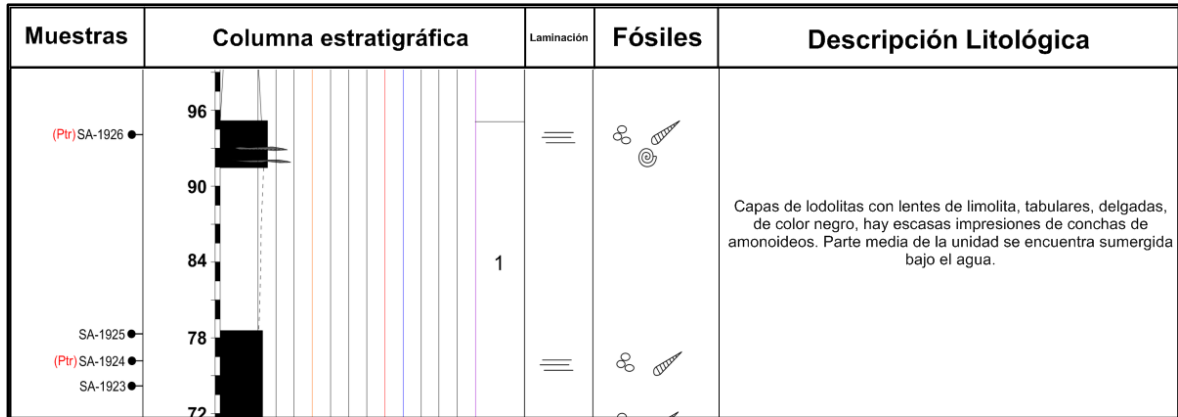
A partir del análisis de DRX se encuentra que el mineral más abundante es el cuarzo (**Figura 3.11**), seguido de la calcita y el fluorapatito, cuya concentración es mayor al 45,0% en las muestras de fosforitas (SA-1906A, SA-1913A, y SA-1917). Otros minerales identificados son pirita, feldespatos, ankerita, dolomita en porcentajes menores al 4,0%. Los minerales arcillosos encontrados son caolinita, dickita, illita y por ultimo esmectita presente solo en las muestras cercanas al límite con la unidad informal “Aico Shale”.



**Figura 3.11.** Cuantificación de la mineralogía de las 23 muestras de las Formación Lidita Inferior en Aico, obtenida a partir del DRX.

### 3.1.3 “Aico Shale”

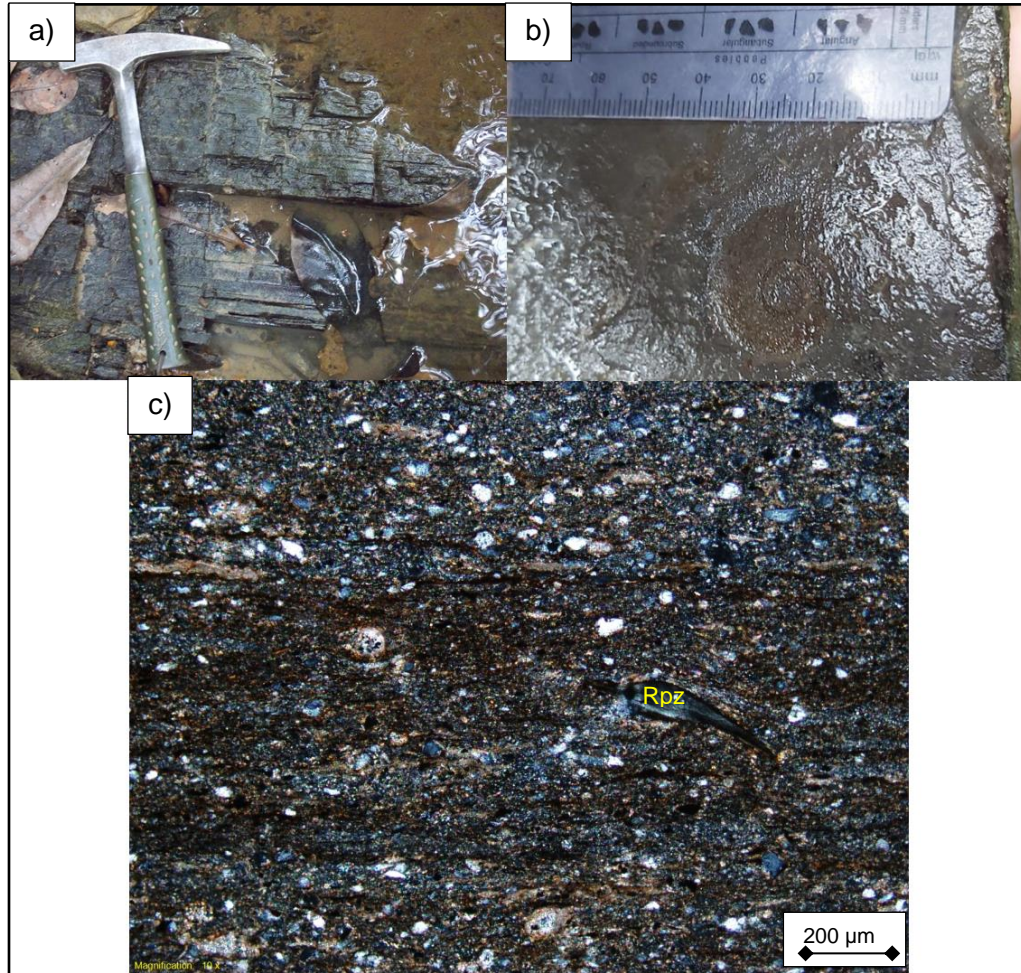
Esta unidad con un espesor de 23,5 m (**Figura 3.12**) se ve reflejada en campo por una morfología muy suave en el lecho de la quebrada (sumergida en gran parte bajo el agua), su límite con la unidad subyacente es neto, de las biomicritas de la Formación Lidita inferior se pasa a las lodolitas de “Aico Shale”.



**Figura 3.12.** “Aico Shale” en la quebrada Aico. Parte de la columna estratigráfica con los 23,5 m levantados (Columna completa en la **Figura 3.1**).

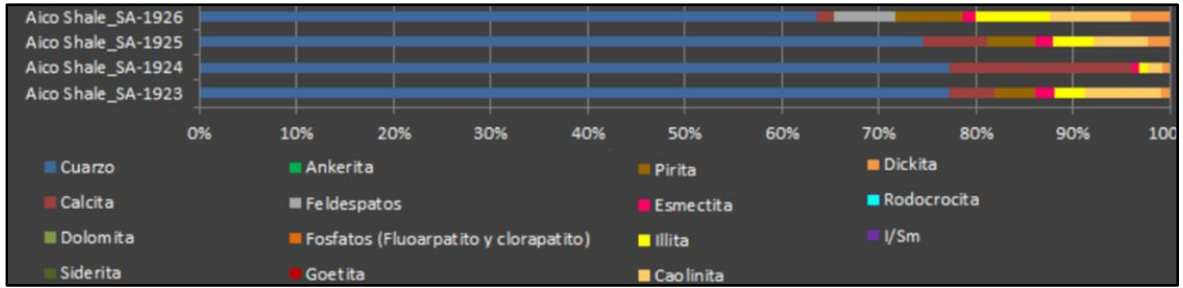
La unidad está conformada por capas de lodolitas con lentes de limolita, tabulares, delgadas, de color negro, con laminación plana paralela continua (**Figura 3.13.a**), hay además impresiones de conchas de amonoides (**Figura 3.13.b**). La microfacies de esta unidad corresponde a arcillolitas micríticas, soportadas por minerales arcillosos, micrita, sílice microcristalina diagenética y materia orgánica. Como componentes terrígenos además de los minerales arcillosos, hay granos de cuarzo monocristalino y policristalino, líticos volcánicos en algunas muestras y los escasos aloquímicos corresponden a foraminíferos planctónicos y bentónicos (predominando los primeros), bioclastos calcáreos sin diferenciar, restos fosfáticos de peces y peloides fosfáticos.

La energía del medio continua siendo baja donde la mayoría de componentes se depositan por decantación (minerales arcillosos, foraminíferos planctónicos y micrita), pero el contenido de componentes terrígenos: minerales arcillosos tales como illita, esmectitas, caolinita y dickita, así como granos de cuarzo tamaño limo muy fino a arena fina y de foraminíferos bentónicos, es mayor al de la unidad subyacente (**Figura 3.13.c**), aspecto que estaría indicando un incremento del aporte de material continental en una cuenca que someriza.



**Figura 3.13** Segmento uno de “Aico Shale” en la quebrada Aico. **a)** Capas de arcillolitas, tabulares, delgadas, con laminación plana paralela continua (Metro 75). **b)** Amonoideo encontrado en las arcillolitas del tope de la unidad. **c)** Arcillolita micrítica, fosilífera, rica en materia orgánica. Se puede observar los granos de cuarzo tamaño limo grueso entre la matriz de minerales arcillosos y micrita. Hay un resto de pez, fosfático (Rpz).SA-1926\_10x\_XPL.

Con el análisis de DRX (**Figura 3.14**) se reconoce que el mineral más abundante es el cuarzo, y la calcita varía dependiendo del contenido fosilífero de la muestra. Otros minerales son piritita, feldespatos y fluorapatito. Los minerales arcillosos reconocidos son caolinita, esmectitas, dickita e illita representando en promedio el 10% de las muestras.



**Figura 3.14.** Cuantificación mineralógica de las cuatro muestras de la unidad informal “Aico Shale” en Aico, obtenida a partir del DRX.

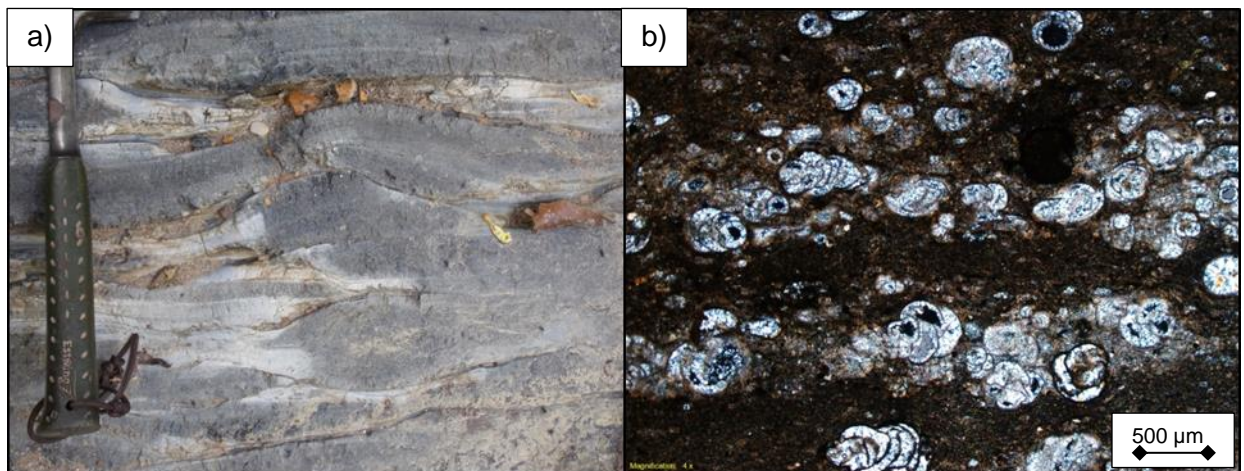
### 3.1.4 Formación Lidita Superior

El contacto entre la Lidita Superior y “Aico Shale” se encuentra cubierto. La unidad comienza en el metro 154,3 con una intercalación de biomicritas (o porcelanitas) y liditas predominando las últimas, con estratificación ondulosa paralela discontinua a continua (por la diagénesis), pero la laminación es plana paralela continua a discontinua.

Muestras	Columna estratigráfica	Laminación	Fósiles	Descripción Litológica
(Ptr) SA-1935 SA-1935 SA-1934	198	2	[Fossil icons]	Capas de cherts (diagenéticos), ondulosas (nodulares), delgadas a medias, de color negro, con laminación plana paralela continua, y biomicritas parcialmente silicificadas, ondulosas, delgadas, de color gris oscuro, que son más escasas. Son comunes las concreciones calcáreas con espesores de 45 cm.
(Ptr) SA-1933 SA-1932 (Ptr) SA-1931 (Ptr) SA-1931A	192 186			
(Ptr) SA-1930	180	1	[Fossil icons]	Capas ondulosas de cherts diagenéticos (nodulares), delgadas a medias, de color negro, con laminación plana paralela continua, y biomicritas parcialmente silicificadas, ondulosas, delgadas, de color gris oscuro.
SA-1928	174			
(Ptr) SA-1929 SA-1928	168 162			
(Ptr) SA-1927 SA-1927A	156			

**Figura 3.15** Formación Lidita Superior en la quebrada Aico. Parte de la columna estratigráfica con los 48,0 m levantados (Columna completa en la **Figura 3.1**).

Los 48,0 m se pueden dividir en dos segmentos (**Figura 3.15**). El primero con 30,9 m está compuesto por capas ondulosas de cherts diagenéticos (nodulares), delgadas a medias, de color negro, con laminación plana paralela continua, y biomicritas parcialmente silicificadas, ondulosas, delgadas, de color gris oscuro (**Figura 3.16.a**). Estas facies están representadas por dos microfacies, una de biomicritas silicificadas dispersas con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos y la otra de micritas silicificadas con textura *mudstone* con foraminíferos bentónicos (**Tabla 3.3**). Además de los foraminíferos bentónicos también hay restos fosfáticos de peces y bioclastos calcáreos sin diferenciar y minerales autigénicos como pirita framboidal. Por la disposición de la mayoría de los componentes se deduce que fueron depositados por decantación, aunque hay lentes y láminas con mayor proporción de aloquímicos. La gran cantidad de foraminíferos bentónicos y muy pocos planctónicos (**Figura 3.16.b**), estarían indicando ambientes someros, pero la presencia de lodo calcáreo (micrita), y escasos a nulos componentes terrígenos (menos de 1,0% de minerales arcillosos, tales como caolinita, dickita y esméctica) indican un escaso aporte continental, lo cual implica condiciones más profundas de sedimentación.



**Figura 3.16** Primer segmento de la Formación Lidita Superior, quebrada Aico. **a)** Capas de chert ondulosas (diagenéticas), con contactos netos. La estratificación ondulosa es ocasionada por la compactación diferencial, combinada con el proceso de silicificación (Metro 155). **b)** Sección delgada de biomicrita silicificada dispersa con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos. Gran cantidad de foraminíferos bentónicos, la gran mayoría sin silicificar (calcita), entre una matriz micrítica totalmente reemplazada por sílice microcristalina diagenética. SA-1927\_4x\_XPL.



**Tabla 3.3** Microfacies de la Formación Lidita Superior.

Microfacies	Aloquímicos	Estructuras sedimentarias-bioturbación-composición	Geometría-contactos-color-espesores	Interpretación del proceso sedimentario
Micritas con textura <i>mudstone</i> silicificadas.	Foraminíferos bentónicos y bioclastos fosfáticos (¿restos de peces?).	Laminación plana paralela continua-Bioturbación baja a nula- Silícea, calcárea, y materia orgánica.	Ondulosas-contactos netos-negro -10 a 30 cm.	Depósito por "suspensión y decantación vertical", en un ambiente de mar abierto de baja energía.
Biomicritas con textura <i>wackestone</i> silicificadas.	Foraminíferos bentónicos, restos de peces, intraclastos micríticos y peloides fosfáticos.	Laminación plana paralela continua-Bioturbación baja a nula-Silícea, calcárea, y materia orgánica.	Ondulosa-contactos netos-negro -10 cm a 30 cm.	Depósito por "suspensión y decantación vertical", en un ambiente de baja energía. Hay lentes y láminas con mayor acumulación de aloquímicos y terrígenos tamaño limo.

El segundo segmento de 17,1 m, corresponde también a capas de cherts (diagenéticos), ondulosas (nodulares), delgadas a medias, de color negro, con laminación plana paralela continua, y biomicritas parcialmente silicificadas, ondulosas, delgadas, de color gris oscuro, que son más escasas. Las microfacies siguen siendo las mismas del segmento uno. Son comunes las concreciones calcáreas con espesores de 45 cm (**Figura 3.17.a**), conformadas por microesparita y escasos foraminíferos bentónicos con el borde de sus caparazones manchados de materia orgánica (kerógeno) y los foraminíferos son del género *Siphogenerinoides* (**Figura 3.17.b**).

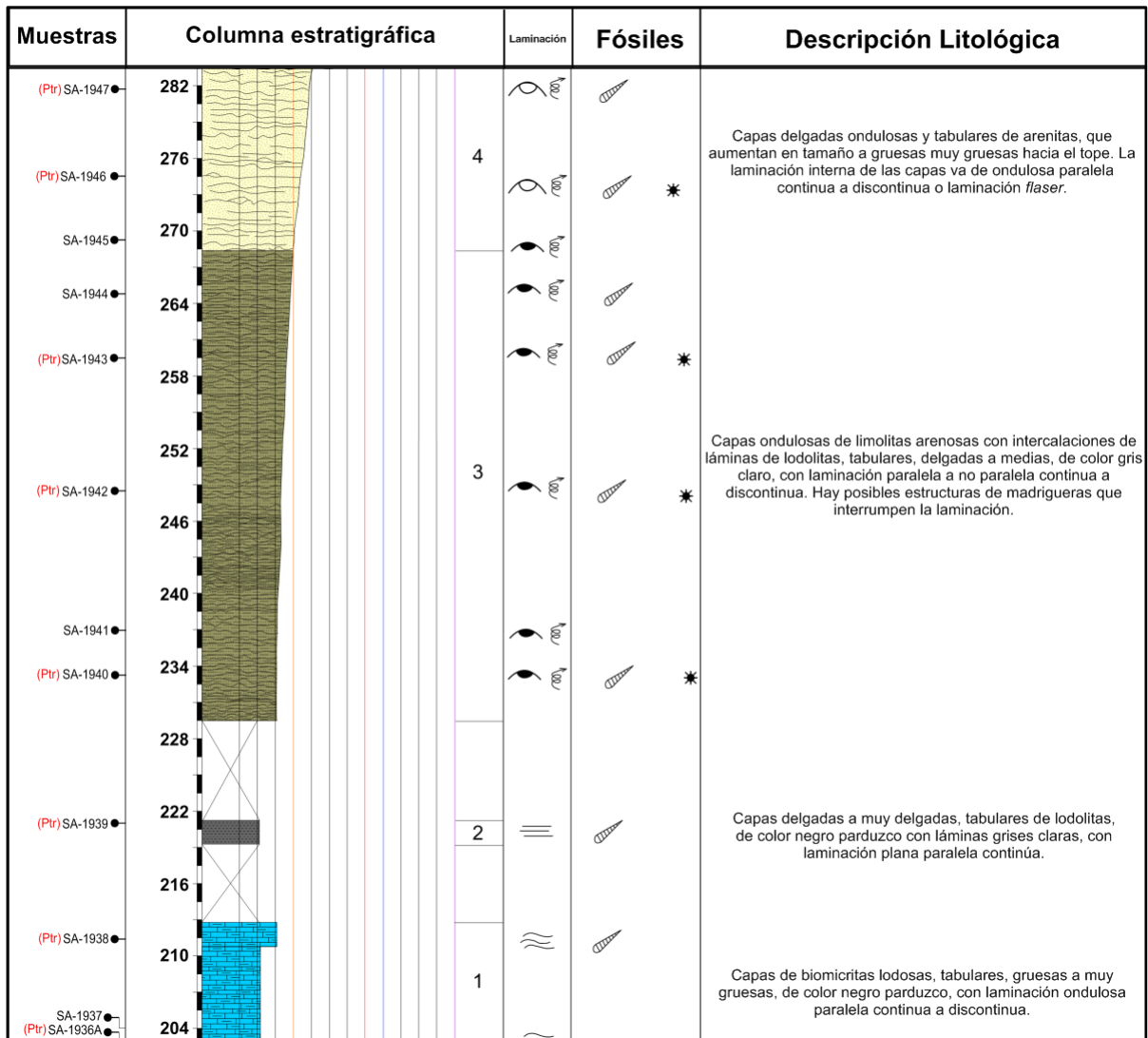
Las condiciones del medio sedimentario con respecto a la energía y profundidad, no cambian con relación al primer segmento. Hacia el tope de este segmento el grado de silicificación disminuye y aumenta el contenido de componentes terrígenos (minerales arcillosos tales como illita, esméctica, caolinita y dickita, y granos de cuarzo tamaño limo medio).



**Figura 3.18.** Cuantificación mineralógica de las 12 muestras de la Formación Lidita Superior en Aico, obtenida a partir del DRX.

### 3.1.5 Formación Buscavida

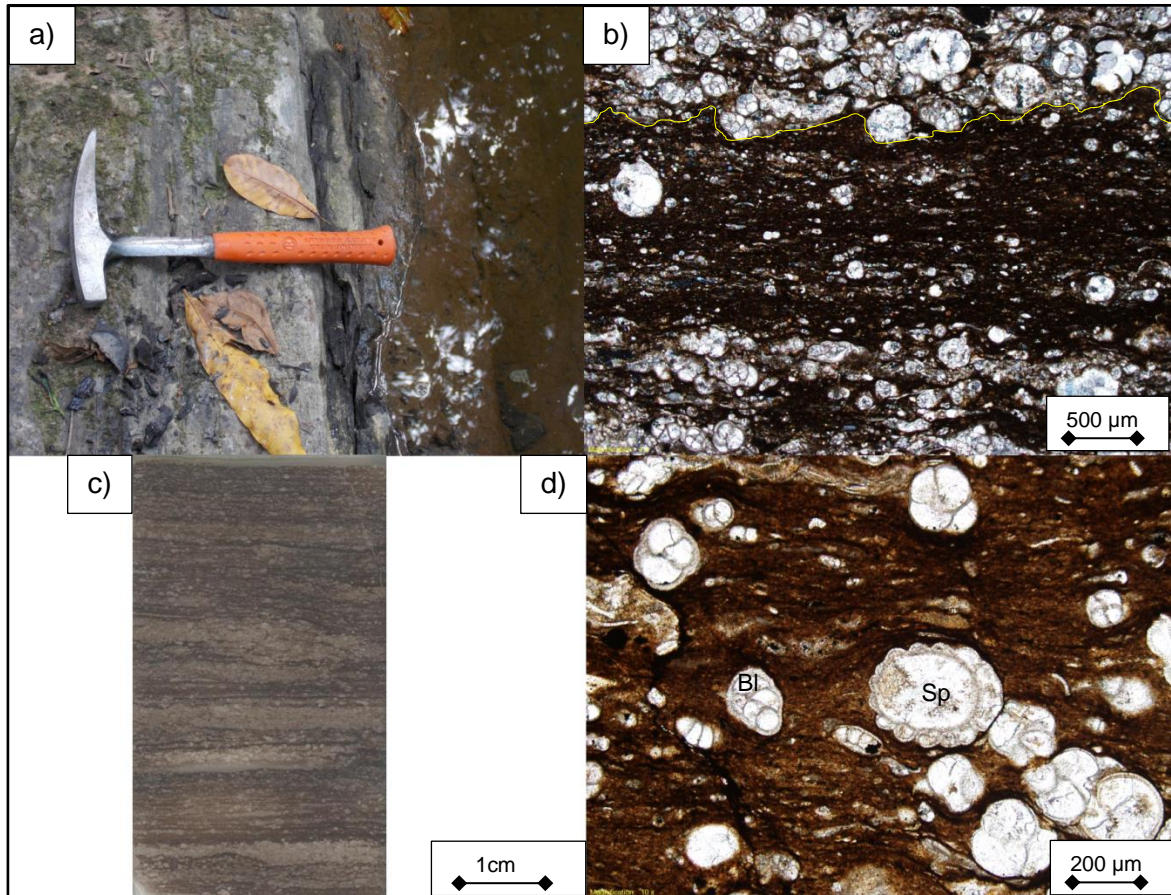
El contacto con la unidad subyacente es neto y se ve reflejado en el cambio morfológico, mayor relieve de las biomicritas silicificadas de la Formación Lidita Superior comparado con un relieve más suave de las biomicritas arcillosas de la base de la Formación Buscavida.



**Figura 3.19** Formación Buscavida en la quebrada Aico. Parte de la columna estratigráfica con los 48,0 m levantados (Columna completa en el **Figura 3.1**).

Los 80,7 m de esta unidad pueden ser divididos en cuatro segmentos (**Figura 3.19**). Los 10,2 m del primero corresponden a capas de biomicritas arcillosas, tabulares, gruesas a muy gruesas, de color negro parduzco, con laminación ondulosa paralela continua a discontinua (**Figura 3.20.a**). Esta facies está representada por dos microfacies, biomicritas arcillosas dispersas con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos, y biomicritas arcillosas empaquetadas con textura *packstone* localmente *wackestone* de foraminíferos bentónicos (**Tabla 3.4**). Ambas microfacies presentan laminación ondulosa paralela continua a discontinua lenticular y un grado moderado de microbioturbación. Además de los foraminíferos bentónicos también se reconocen bioclastos calcáreos sin identificar, restos fosfáticos de peces, peloides fosfáticos y como componentes terrígenos hay granos de cuarzo tamaño limo. Los lentes y algunas láminas presentan mayor proporción de aloquímicos y componentes terrígenos.

Por la disposición (con su eje mas largo paralelo a la laminación) de la mayoría de componentes, se deduce que estos son depositados por decantación, tracción y otros por saltación (bioclastos fragmentados y subredondeados de tamaño arena). La gran abundancia de foraminíferos bentónicos, componentes terrígenos tales como minerales arcillosos (illitas, esmectitas, caolinitas y dickitas) y granos de cuarzo tamaño limo mediano a arena fina, intraclastos silicificados, así como gran cantidad de bioclastos fragmentados (**Figura 3.20.b**), indican ambientes con una energía mayor a la unidad subyacente, también evidenciado en el cambio de laminación plana paralela continua a ondulosa paralela continua a discontinua y un grado moderado de bioturbación (**Figura 3.20.c**). La asociación de foraminíferos bentónicos está dominada por *Buliminella carseyae* y *Siphogenerinoides* *cf.* *Parva* (**Figura 3.20.d**), formas infaunales que indican altos flujos de materia orgánica y niveles bajos de oxigenación, interpretación basada en la metodología de Barragán y Sánchez, 2021 (en preparación).



**Figura 3.20** Primer segmento de la Formación Buscavida, quebrada Aico. **a)** Contacto morfológico entre las rocas silicificadas (cherts, a la izquierda) con mayor relieve que las biomicritas arcillosas (partición tipo *shaly*, a la derecha) (Metro 203). **b)** Sección delgada de biomicrita empaquetada con textura *packstone* de foraminíferos bentónicos, localmente *wackestone*. Se observan foraminíferos bentónicos entre la matriz micrítica y arcillosa. El contacto entre la lámina con textura *wackestone* (al centro) y la lámina con textura *packstone* (al tope) es microerosivo (línea amarilla). SA-1938\_4x\_XPL. **c)** Laminación ondulosa paralela continua a discontinua. Láminas y lentes con textura *packstone* de foraminíferos bentónicos. Se observa la bioturbación moderada (laminas irregulares). SA-1938. **d)** Distintos cortes de *Buliminella* (BI) y *Siphogenerinoides* (Sp). SA-1936A\_4x\_PPL.

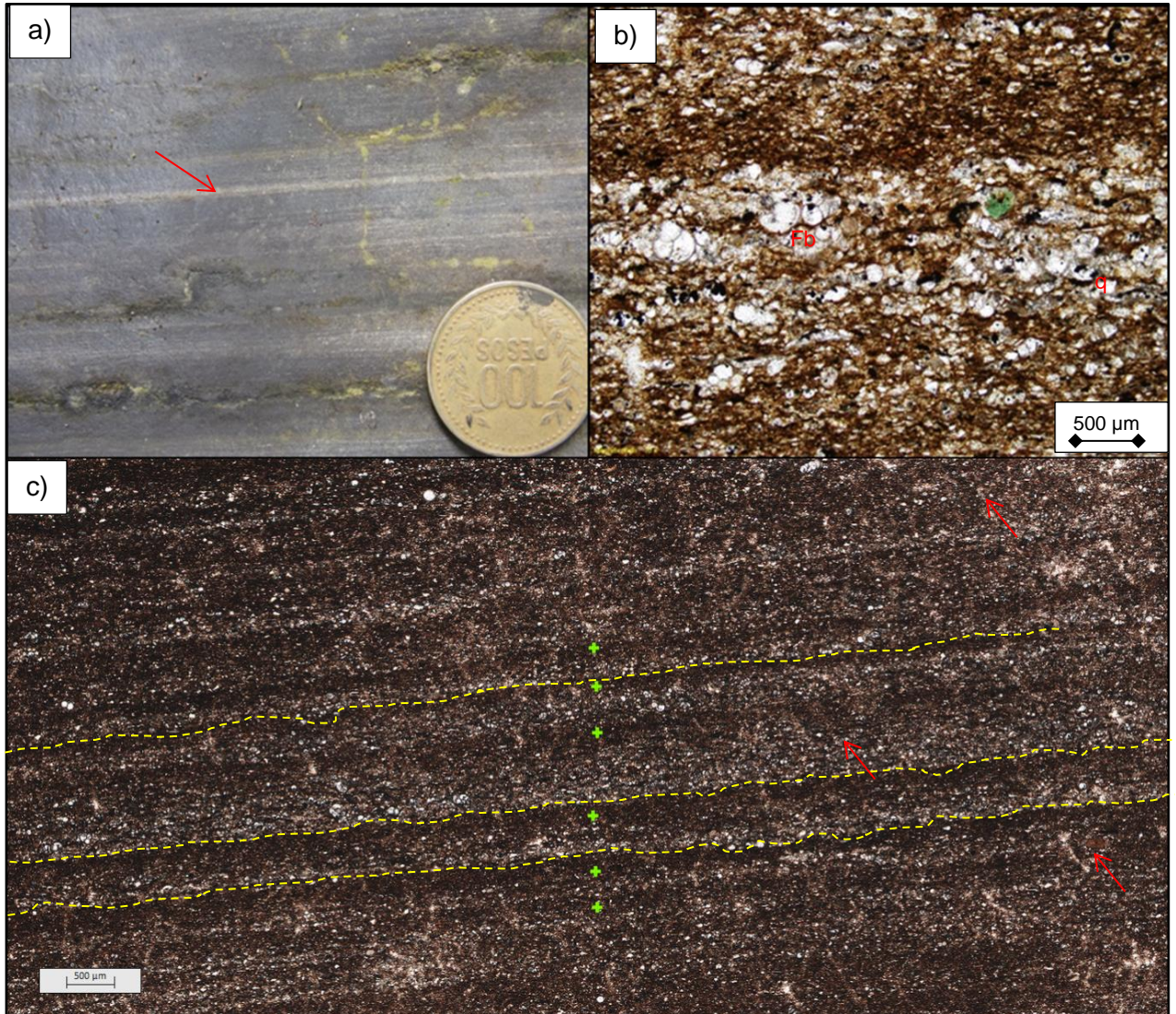
**Tabla 3.4** Microfacies de la Formación Buscavida.

Microfacies	Aloquímicos	Estructuras sedimentarias-bioturbación-composición	Geometría-contactos-color-espesores	Interpretación del proceso sedimentario
Biomicrofitas con textura <i>wackestone</i> .	Foraminíferos bentónicos, restos de peces, intraclastos micríticos y peloides fosfáticos.	Ondulosa paralela continua-Bioturbación moderada-Calcárea, arcillosa, materia orgánica y silícea.	Tabular-contactos netos-negro-30 cm a más de 1m.	Depósito por "suspensión y decantación vertical" a subhorizontal, en un ambiente de energía baja a moderada cerca del nivel base de acción de las olas. Los lentes y láminas con mayor acumulación de aloquímicos y terrígenos tamaño limo, indican mayor energía.
Biomicrofitas con textura <i>packstone</i> .	Foraminíferos bentónicos, restos de peces y peloides fosfáticos.	Laminación ondulosa paralela continua a discontinua-Bioturbación baja a moderada-Minerales arcillosos, calcárea, silícea y materia orgánica.	Tabular-contactos netos-negro -30 cm a más de 1m (no silicificadas).	Depósito por suspensión, tracción y "saltación", en un ambiente con energía moderada en la zona límite del nivel base de acción de las olas.
Lodolitas micríticas.	Foraminíferos bentónicos, planctónicos y peloides fosfáticos.	Laminación plana paralela continua-Bioturbación baja a nula- Minerales arcillosos, calcárea, silícea y materia orgánica.	Tabular-ondulosa contactos netos-negro parduzco-1 a 10 cm.	Depósito por suspensión, decantación vertical y tracción, en la zona del nivel base de acción de las olas. Hay láminas con mayor contenido de granos de cuarzo y aloquímicos fragmentados, indicando eventos con mayor energía.
Limolita arenosa.	Foraminíferos bentónicos, radiolarios y peloides fosfáticos.	Laminación ondulosa paralela a no paralela continua a discontinua-Bioturbación baja a moderada- Silícea, calcárea, minerales arcillosos y materia orgánica.	Tabular-ondulosa contactos netos-gris claro -10 cm a 30 cm.	Depósito por tracción y decantación vertical a subhorizontal, en un ambiente de moderada energía por encima del nivel base de acción de las olas. Hay lentes y láminas con mayor acumulación de aloquímicos y terrígenos tamaño limo, indicando el incremento de eventos de mayor energía.
Arenita lodosa.	Foraminíferos bentónicos y restos de peces.	Laminación ondulosa paralela discontinua-Bioturbación baja a moderada- Silícea, calcárea, minerales arcillosos, y materia orgánica.	Tabular-contactos netos-café amarillento -10 cm a 30 cm.	Depósito por "saltación", en un ambiente con energía moderada por encima del nivel base de acción de las olas.
Arenita limosa.	Foraminíferos bentónicos, restos de conchas de bivalvos y restos de peces.	Laminación ondulosa paralela continua a discontinua (laminación <i>flaser</i> )-Bioturbación moderada-Silícea, calcárea, minerales arcillosos y materia orgánica.	Tabular-contactos netos-amarillo parduzco-30 cm a más de 1m.	Depósito por "saltación", en un ambiente con energía moderada, por encima del nivel base de acción de las olas.

El segundo segmento de 1,95 m está conformado por capas delgadas a muy delgadas, tabulares de lodolitas, de color negro parduzco con láminas grises claras, con laminación plana paralela continua (**Figura 3.21.a**) La microfacies corresponde a lodolitas micríticas con láminas de biomicrita lodosa con textura *wackestone* (**Figura 3.21.b**). De los componentes terrígenos además de las arcillas en la matriz, son comunes granos de cuarzo, feldespato potásico y mica muscovita. Los aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos, bioclastos calcáreos sin diferenciar, fragmentos fosfáticos y peloides fosfáticos. Las láminas de lodolita micrítica predominan sobre las láminas claras de biomicrita lodosa y las últimas presentan contactos microerosivos en la base así como un microgranodecrecimiento. A mayor granulometría mayor contenido de granos terrígenos tamaño limo y arena muy fina y foraminíferos fragmentados. En las láminas de lodolita se observan patrones redondeados (en los bordes hay material más grueso) indicando microbioturbación (**Figura 3.21.c**).

Comparado con el segmento anterior hay un aumento en el aporte de material terrígeno arcilloso (caolinita, dickita, illita y esmectitas), granos de cuarzo y feldespato potásico, esto junto con la predominancia de foraminíferos bentónicos indicarían una progresiva somerización en la cuenca.

El tercer segmento (39,0 m), está conformado por capas onduladas de limolitas arenosas con intercalaciones de láminas de lodolitas, tabulares, delgadas a medias, de color gris claro, con laminación paralela a no paralela continua a discontinua (**Figura 3.22.a**). La microfacies corresponde a limolitas arenosas con láminas de arcillolitas y lodolitas (**Figura 3.22.b**). Las láminas de limolita arenosa están conformadas por granos de cuarzo monocristalino, policristalino, feldespatos potásicos y líticos volcánicos, algunos de estos reemplazados por calcita. Los aloquímicos presentes en ambas láminas corresponden en su mayoría a foraminíferos bentónicos, bioclastos calcáreos sin diferenciar, trazas de radiolarios y peloides fosfáticos. Los minerales autigénicos son pirita framboidal y trazas de glauconita. La laminación se ve interrumpida por estructuras de madrigueras, indicando un grado de bioturbación moderado.



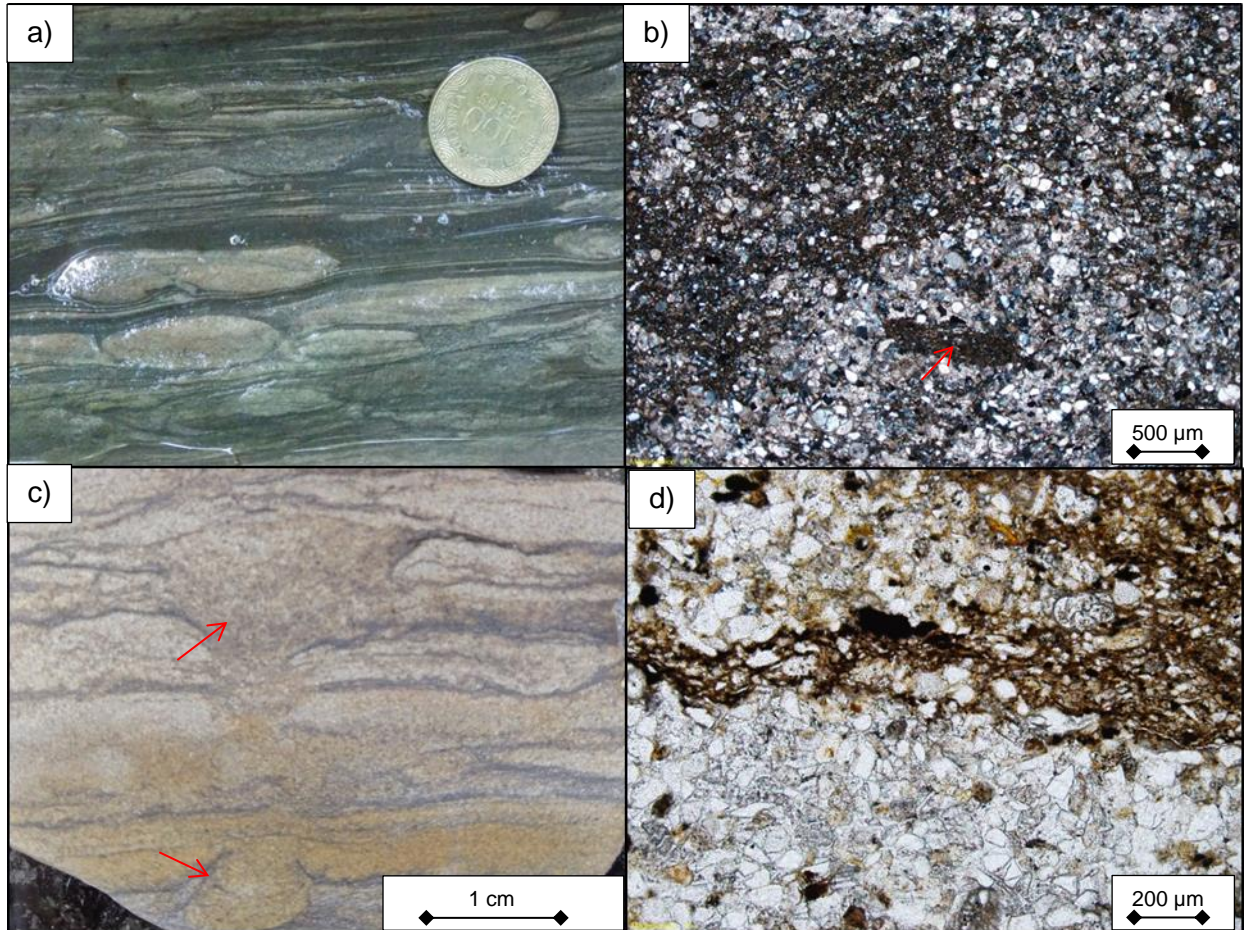
**Figura 3.21** Segundo segmento de la Formación Buscavida, quebrada Aico. **a)** Lodolitas con laminación plana paralela continua. Obsérvese la lámina continua de “arenita” al centro (fecha roja) (Metro 220,5). **b)** Sección delgada de lodolita micrítica, rica en materia orgánica, con láminas de biomicrita lodosa dispersa con textura *wackestone*. Lámina clara con mayor contenido de granos de cuarzo tamaño limo muy fino a arena muy fina (q) y foraminíferos bentónicos fragmentados (Fb). Se puede ver la glauconita (color verde) en la lámina de mayor granulometría. Lámina oscura rica en minerales arcillosos, micrita y materia orgánica. SA-1939\_10x\_PPL. **c)** Laminación plana paralela continua a discontinua, las láminas oscuras (cruces verdes) representan baja energía (escasa o nula acción de las olas) y las láminas claras (límite inferior microerosivo en amarillo) representan la acción de la energía de las olas sobre el fondo. Patrones redondeados (flechas rojas) en las láminas oscuras (microbioturbación), formados por la acción de los organismos bentónicos Digitalizada con el sistema *Metasystem*. SA-1939\_PPL.



El contenido de componentes terrígenos tales como, minerales arcillosos (caolinita, dickita, illita, esmectitas), granos de cuarzo y feldespato potásico tamaño limo fino a arena muy fina continua aumentando progresivamente. Los foraminíferos bentónicos predominan sobre las formas planctónicas (escasos radiolarios). La textura, la estratificación y laminación ondulosa y el grado moderado de bioturbación indican la progresiva somerización con respecto al segmento anterior.

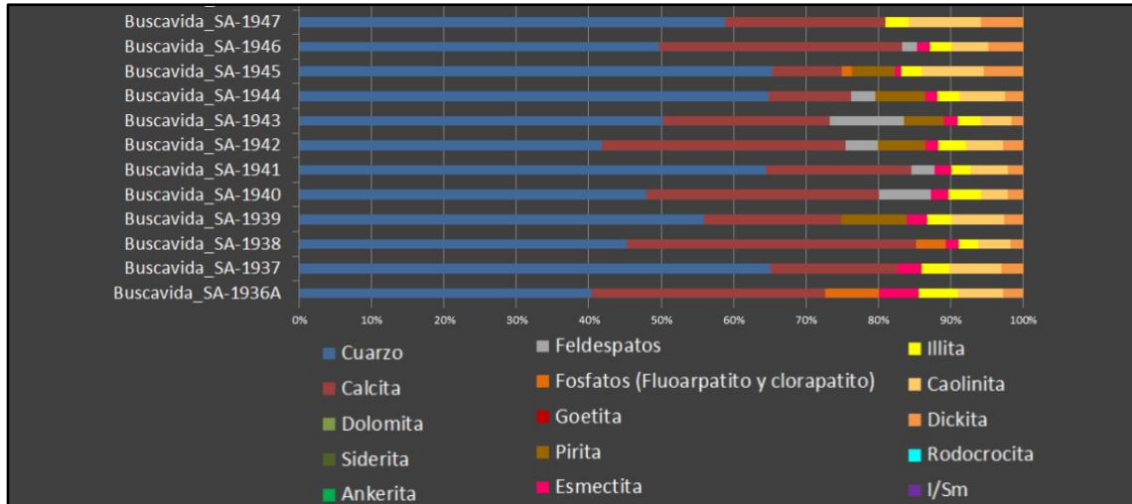
El último segmento es de 15,0 m de espesor y está conformado de capas delgadas ondulosas y tabulares de arenitas, que aumentan en tamaño a gruesas muy gruesas hacia el tope. La laminación interna de las capas va de ondulosa paralela continua a discontinua o laminación *flaser* (**Figura 3.22.c**). Las microfacies corresponden a arenitas lodosas de grano muy fino con láminas de lodolitas fosilíferas y arenitas limosas de grano muy fino con láminas de lodolita ricas en materia orgánica. Las láminas de arenitas están conformadas por granos de cuarzo monocristalino, policristalino, líticos volcánicos, líticos metamórficos de esquistos y feldespato potásico, a veces reemplazados por calcita. Los aloquímicos presentes en ambas laminas, corresponden a foraminíferos bentónicos, bioclastos calcáreos sin diferenciar, trazas de restos fosfáticos y de radiolarios. Como minerales autigénicos se reconocen trazas de pirita framboidal y glauconita. Al igual que el segmento anterior hay estructuras de posibles madrigueras indicando un grado moderado de bioturbación (**Figura 3.22.c**). Subiendo estratigráficamente las láminas de lodolitas van disminuyendo en proporción y en tamaño pasando la estructura de ondulosa a *flaser* (**Figura 3.22.d**).

Con el aumento en tamaño y proporción de los componentes terrígenos (hasta granos tamaño arena fina), predominancia de los foraminíferos bentónicos, grado moderado de bioturbación, así como la disminución progresiva de las capas delgadas y láminas de lodo hasta llegar a discontinuas (laminación *flaser*). Se evidencia que el proceso de somerización es más acentuado en este segmento, donde la energía de las olas del frente costero es cada vez más evidente.



**Figura 3.22** Tercer y cuarto segmento de la Formación Buscavida, quebrada Aico. **a)** Se pueden observar las capas ondulosas de arenita con laminación inclinada y las capas y láminas de lodolita (Metro 246). **b)** Sección delgada de limolita arenosa, fosilífera, con láminas de lodolita rica en materia orgánica. Se observa un intraclasto lodoso (flecha roja), reflejando la energía del medio, además de la gran cantidad de cemento calcáreo reemplazando a los granos terrígenos y a los aloquímicos. SA-1943\_4x\_XPL. **c)** Arenita con laminación ondulosa y láminas de lodolitas continuas a discontinuas (laminación *flaser*), con bioturbación baja. Se pueden ver posibles madrigueras (flechas rojas) que interrumpen la laminación de la roca. Testigo de la muestra SA-1947. **d)** Sección delgada de arenita limosa de grano muy fino, litoarenita, fosilífera, con cemento calcáreo, rica en litios volcánicos e intercalación de láminas de lodolita rica en materia orgánica. SA-1947\_10x\_PPL.

En la Formación Buscavida los minerales reconocidos con el DRX son cuarzo, calcita, seguidos de pirita, feldespatos y fluorapatito (**Figura 3.23**). El contenido de minerales arcillosos es abundante (más del 10,0%) siendo la caolinita la más abundante seguida de la illita, esmectitas y dickita.



**Figura 3.23.** Cuantificación mineralógica de las 12 muestras de la Formación Buscavida en Aico, obtenida a partir del DRX.

### 3.1.6 Formación La Tabla

El contacto con la unidad subyacente es neto y es colocado donde las arenitas de grano fino con laminación *flaser* están en contacto erosivo con una capa de 20 cm de un conglomerado de gránulos a guijos, compuesto de cuarzos lechosos e intraclastos de arenitas de grano fino, subredondeados.

Esta unidad con un espesor de 74,4 m es dividida en seis segmentos (**Figura 3.24**), el primero con un espesor de 11,25 m, corresponde en su base a una capa media lenticular de conglomerado arenoso matriz soportado, con contacto erosivo en la base, con clastos de cuarzo tamaño guijo muy grueso (**Figura 3.25.a**). Esta capa contrasta por su granulometría y marca el cambio textural con la Formación Buscavida. Sobre este conglomerado se desarrolla toda una sucesión predominantemente granocreciente desde facies de arenitas medias hasta conglomerados en el último segmento (**Tabla 3.5**). Sobre la capa conglomerática de la base se desarrollan capas lenticulares de arenitas de grano medio, de color verde parduzco, contactos erosivos en la base y con estratificación subplana paralela (**Figura 3.25.b**). Hacia el tope de este segmento se presenta una capa gruesa con estratificación inclinada angular de bajo ángulo. Composicionalmente corresponden a sublitoarenitas, con líticos volcánicos, escasos feldespatos potásicos y cuarzos policristalinos derivados de cuarcitas (**Figura 3.25.c**). Los pocos aloquímicos presentes corresponden a peloides fosfáticos y como mineral autigénico hay glauconita.

El cemento es de sílice y hay sobrecrecimiento de caolinitas, adicionalmente óxidos de hierro y algunas muestras tienen más de 10% de cemento siderítico.

Muestras	Columna estratigráfica	Laminación	Fósiles	Descripción Litológica
(Ptr) SA-1961	360			
SA-1960	354			
SA-1959	348	6		Capas muy gruesas de arenitas de grano muy grueso a levemente conglomeráticas, sin estructura visible, con contactos netos. Capas muy gruesas de conglomerados granulares arenosos, polimícticos, sin estructura visible.
(Ptr) SA-1958	342			
SA-1957	336			
SA-1957	330	5		Capas muy gruesas lentiformes de arenitas de color amarillo anaranjado (por la oxidación), de grano medio, sin estratificación visible. Intercaladas con capas muy gruesas, sublentiformes de arenitas de grano medio a levemente conglomeráticas, lenticulares, con estratificación subplana paralela, algunas con granodecrecimiento.
(Ptr) SA-1956	324			
SA-1956A	318			
SA-1955	312	4		Capas medias a gruesas lentiformes de arenitas de grano medio, con estratificación plana paralela continua, en estas se presentan icnofósiles. Estas están intercaladas por un conjunto métrico de capas delgadas a medias, onduladas de arenitas de grano fino y lodolitas, de color gris parduzco a negro parduzco.
(Ptr) SA-1954	306			
SA-1953	300	3		Capas medias lentiformes de arenitas de grano medio a grueso, con contactos erosivos, color verde grisáceo con estratificación inclinada de bajo ángulo, intercaladas con conjuntos de capas delgadas a medias onduladas de arenitas de grano fino con láminas de lodolitas.
(Ptr) SA-1952	300			
SA-1951	300			
	294	2		Capas lentiformes muy gruesas a gruesas con estratificación cruzada planar de bajo ángulo de arenitas de grano grueso y medio con contactos netos.
(Ptr) SA-1950	288			
SA-1950A	288			
SA-1949	288			
(Ptr) SA-1948	288	1		En la base hay una capa media lenticular de conglomerado arenoso matriz soportado, con contacto erosivo en la base, con clastos de cuarzo tamaño guijo muy grueso. Sobre la capa conglomerática de la base se desarrollan capas lenticulares de arenitas de grano medio, de color verde parduzco. Al tope hay una capa gruesa con estratificación inclinada angular de bajo ángulo.

**Figura 3.24** Formación La Tabla en la quebrada Aico. Parte de la columna estratigráfica con los 74,4 m levantados (Columna completa en la **Figura 3.1**).

Eventualmente se reconocen intercalaciones de conjuntos de capas delgadas a medias onduladas de arenitas de grano fino con láminas de lodolitas, de color gris parduzco a negro parduzco (**Figura 3.25.d**). Hacia el tope de este segmento se presentan nódulos de siderita de color naranja rojizo.

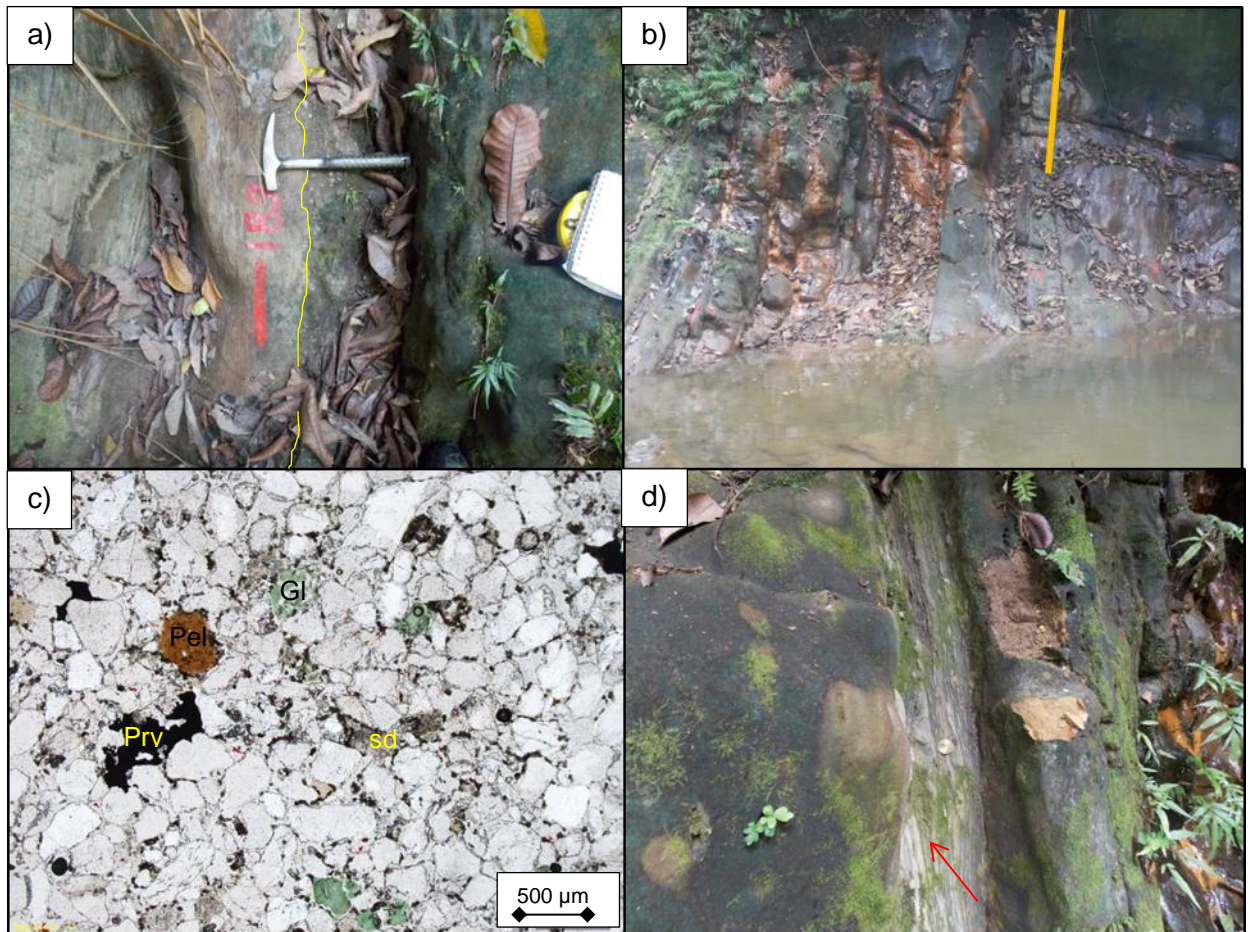
La capa de conglomerado arenoso de guijos con contacto erosivo de la base indica un cambio brusco en la energía de depósito, probablemente indicando una regresión forzada. Las capas posteriores de arenitas de grano medio intercaladas con las arenitas de grano fino con láminas de lodo indicarían un ambiente sedimentario con cambios entre alta y baja energía.

Las capas de arenita de grano medio presentan glauconita que estaría indicando que a pesar del aumento de energía en el depósito (comparado con el último segmento de la Formación Buscavida) las condiciones siguen siendo marinas, aunque la presencia de nódulos de siderita junto con cristales de siderita cementando las arenitas, además de la ausencia de cemento calcáreo, son también diagnósticas de posibles ambientes donde ocurren mezclas de agua del mar con agua dulce bajo condiciones reductoras (Nichols, 2001).

**Tabla 3.5** Facies de la Formación La Tabla.

<b>Facies</b>	<b>Aloquímicos</b>	<b>Estructuras sedimentarias-bioturbación-composición</b>	<b>Geometría-contactos-color-espesores</b>	<b>Interpretación del proceso sedimentario</b>
Arenitas de grano fino, con láminas de lodolita.	Foraminíferos bentónicos.	Laminación ondulosa no paralela a paralela discontinua-Bioturbación moderada (láminas irregulares)- Silíceas, minerales arcillosos y cristales de siderita.	Lenticular-contactos netos-gris parduzco a negro parduzco-1 cm a 10 cm.	Depósito por "saltación" (arenitas) y suspensión (lodolitas), en un ambiente con energía variable, moderada (Depósito de arenitas) y baja (Depósito de lodolitas), por encima del nivel base de acción de las olas.
Arenitas de grano medio.	Peloides fosfáticos.	Estratificación plana paralela a inclinada de bajo ángulo-No se observa laminación-¿Bioturbación completa? (Homogénea)- Silíceas y glauconítica.	Lenticular-contactos erosivos-verde parduzco- 10 cm a 30 cm.	Depósito por "saltación", en un ambiente de alta energía por encima del nivel base de acción de las olas.
Arenitas levemente conglomeráticas de grano medio.	Peloides fosfáticos.	Estratificación plana paralela-No se observa laminación -¿Bioturbación completa? (Homogénea)- Silíceas, con óxidos de hierro.	Lenticular-contactos netos-rojo anaranjado-30 cm a más de 1m.	Depósito por "saltación" y "rodamiento", en un ambiente con alta energía, por encima del nivel base de acción de las olas.
Arenita de grano grueso, levemente conglomerática.	Ausentes.	Estratificación inclinada de bajo ángulo-No se observa laminación- No presenta bioturbación - Silíceas.	Lenticular-contactos netos-rojo anaranjados (por oxidación)- más de 1m.	Depósito por "saltación" y "rodamiento", en un ambiente con alta energía.
Arenita de grano muy grueso, levemente conglomerática.	Ausentes	No se observa estratificación-No se observa laminación- No presenta bioturbación- Silíceas, con óxidos de hierro.	Lenticular-contactos netos-anaranjado (por oxidación)-más de 1m.	Depósito por "saltación" y "rodamiento", en un ambiente con alta energía.

Conglomerado arenoso de gránulos.	Ausentes	No se observa estratificación- No se observa laminación-No presenta bioturbación- Sílicea.	Lenticular- contactos netos- anaranjado (por oxidación)-más de 1m.	Depósito por "saltación" y "rodamiento", en un ambiente con alta energía.
Conglomerado arenoso de guijos.	Ausentes	No se observa estratificación- No se observa laminación- No presenta bioturbación- Sílicea.	Lenticular- contacto erosivo-verde parduzco-20 cm.	Depósito por "rodamiento y saltación", en un ambiente de muy alta energía, este nivel probablemente representa una regresión forzada, cambio súbito de la energía (solo presente en la base de la unidad).



**Figura 3.25.** Primer segmento de la Formación La Tabla, quebrada Aico. **a)** Contacto erosivo (línea amarilla) entre las arenitas con estratificación *flaser* de la Formación Buscavida y conglomerado arenoso de guijos y gránulos de la Formación La Tabla. Suprayaciendo al conglomerado una capa de arenitas de grano medio (Metro 283,5). **b)** Conjunto de capas medias lentiformes de arenitas de grano medio, con estratificación plana paralela continua. La línea amarilla es el comienzo del segundo segmento (Metro 285 a 302,5). **c)** Sección delgada de arenita de grano medio, sublitoarenita, con cemento de siderita, glauconítica. Se observa un

peloide fosfático (Pel), glauconita (Gl), y la pirita (Pry) y la siderita (sd) cementando los granos de cuarzo. SA-1950\_4x\_PPL. **d)** Capas gruesas a medias de arenitas de grano medio con intercalación de paquete de capas de arena y lodolita con estratificación ondulosa (flecha roja) (Metro 286).

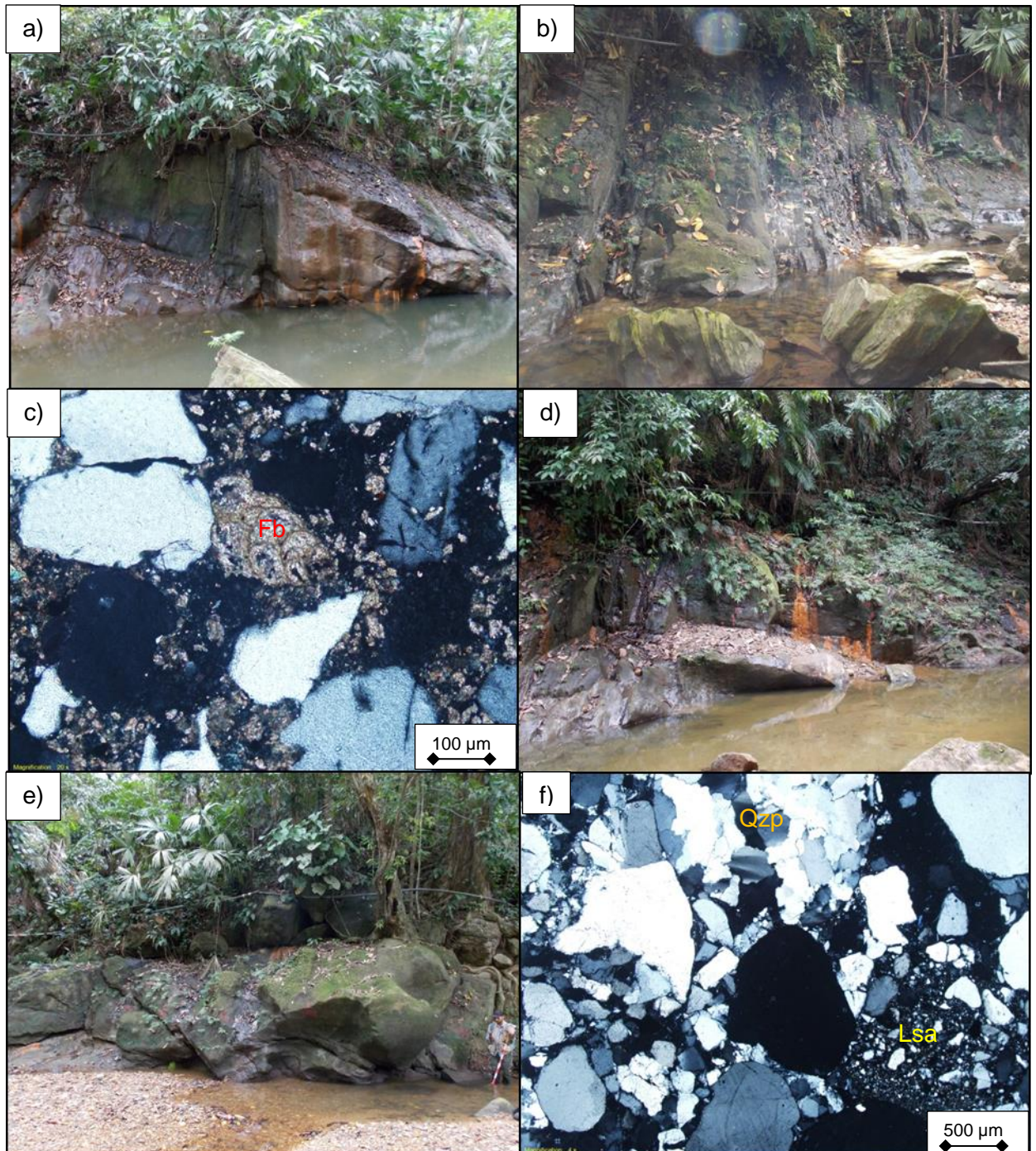
El segundo segmento de 6,0 m está conformado por capas lentiformes muy gruesas a gruesas con estratificación cruzada planar de bajo ángulo de arenitas de grano grueso y medio con contactos netos (**Figura 3.26.a**). La energía del medio de depósito aumenta progresivamente con relación al primer segmento, evidenciado en el tamaño de grano y la laminación inclinada de ángulo muy bajo que sugieren depósitos en ambientes de playas.

Los 7,95 m del tercer segmento corresponden a dos facies principales, capas medias lentiformes de arenitas de grano medio a grueso, con contactos erosivos, color verde grisáceo con estratificación inclinada de bajo ángulo, intercaladas con conjuntos de capas delgadas a medias onduladas de arenitas de grano fino con láminas de lodolitas (**Figura 3.26.b**). Las arenitas son sublitoarenitas, compuestas por cuarzos policristalinos (cuarcitas), líticos volcánicos y escasos feldespatos potásicos, los pocos aloquímicos presentes son peloides fosfáticos y como mineral autigénico hay glauconitas (oxidadas con colores amarillos).

La energía del medio de depósito es alta (capas de arenitas de grano medio) producto del desarrollo de playas con variaciones en los niveles de menor energía durante el proceso de redistribución de los sedimentos en la zona costera.

El cuarto segmento con 11,7 m de espesor está conformado por capas medias a gruesas lentiformes de arenitas de grano medio, con estratificación plana paralela continua, en estas se presentan icnofósiles. Estas están intercaladas por un conjunto métrico de capas delgadas a medias, onduladas de arenitas de grano fino y lodolitas, de color gris parduzco a negro parduzco. Son sublitoarenitas con cuarzos policristalinos (cuarcitas), escasos líticos volcánicos, feldespatos potásicos, como accesorios hay trazas de zirrones, turmalinas y titanitas y glauconita como mineral autigénico. Los escasos aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos biseriales (**Figura 3.26.c**) y en las capas de arenitas de grano medio se reconocen nódulos de siderita. La energía del medio de depósito es alta en los niveles donde se depositan las arenitas de grano medio y baja cuando se depositan las arenitas de grano fino y las lodolitas, las cuales tienen

bioturbación baja así como presencia de microfósiles (foraminíferos). Estas intercalaciones corresponden a episodios de baja energía que quedan como segmentos en la zona costera durante los procesos de redistribución de los sedimentos arenosos por la dinámica costera en las playas.





**Figura 3.26** Segmentos dos al seis de la Formación La Tabla, quebrada Aico. **a)** Arenitas de grano medio a grueso con estratificación cruzada de bajo ángulo. Se puede ver que son capas muy gruesas (Metro 290 a 302,5). **b)** Intercalación de arenitas de grano medio con arenitas de grano fino con láminas y lentes de lodolita. Formas lenticulares de las capas de arenita de grano medio (Metro 306 a 317). **c)** Sección delgada de arenita de grano fino, sublitoarenita, con cemento de siderita y caolinita, con láminas y lentes de lodolita. Foraminífero bentónico biserial (Fb), siendo reemplazado por siderita, entre cristales subangulares de cuarzo monocristalino. SA-1954\_20x\_XPL. **d)** Arenitas de grano medio con láminas y lentes de lodolitas, estas presentan estratificación inclinada de bajo ángulo, suprayaciendo a estas hay arenitas de grano medio a grueso, sin estratificación aparente (Metro 329 a 338,5). **e)** Tope de la Formación La Tabla capa de conglomerados de gránulos y guijos de cuarzo, sin estructuras visibles. No se observa el contacto con la Formación Seca (Metro 344 a 358). **f)** Sección delgada de conglomerado arenoso de gránulos, polimíctico, rico en cuarzos policristalinos (cuarcitas?) (Qzp). Se puede ver un lítico sedimentario de arenita de grano muy fino (Lsa), mal seleccionada (esquina inferior derecha). SA-1961\_4x\_XPL.

Los 20,0 m del quinto segmento están conformados por capas muy gruesas lentiformes de arenitas de color amarillo anaranjado (por la oxidación), de grano medio, sin estratificación visible. Intercaladas con capas muy gruesas, sublentiformes de arenitas de grano medio a levemente conglomeráticas, lenticulares, con estratificación subplana paralela, algunas con granodecrecimiento. En estas se presentan nódulos de pirita. Composicionalmente son sublitoarenitas compuestas de cuarzos policristalinos (cuarcitas), líticos volcánicos y fragmentos de chert (posiblemente biomicritas silicificadas) También se intercalan hacia el tope de este segmento conjuntos de capas de arenitas de grano medio con estratificación *flaser*, con laminas y lentes de lodolitas (**Figura 3.26.d**).

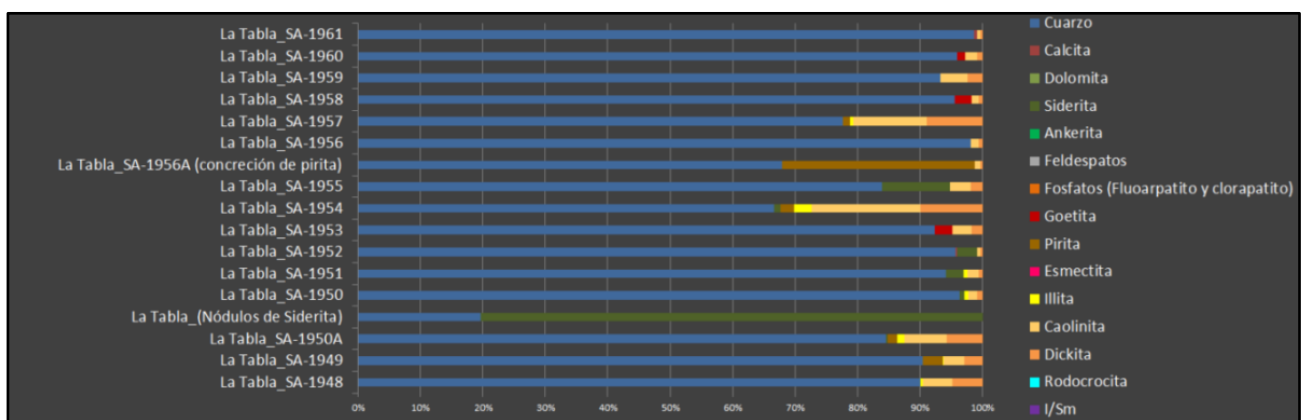
El carácter conglomerático de las arenitas y la disminución de las arenitas con láminas y lentes de lodolitas, además de la ausencia de glauconita (indicadora de ambientes marinos), evidencian que la energía de depósito es mayor a la del segmento anterior, asociado a canales distributarios.

El sexto segmento con 17,5 m de espesor está constituido por capas muy gruesas de arenitas de grano muy grueso a levemente conglomeráticas, sin estructura visible, con contactos netos. Composicionalmente son sublitorarenitas compuestas de cuarzos policristalinos (cuarcitas). Hacia el tope las facies son capas muy gruesas de conglomerados granulares arenosos, polimícticos, sin estructura visible (**Figura 3.26.e**).

Los clastos son cuarzos policristalinos de origen metamórfico (cuarcitas), líticos volcánicos, líticos sedimentarios de arenitas de grano medio y fragmentos de chert (**Figura 3.26.f**).

El aumento en el tamaño de grano hasta llegar a conglomerados arenosos de gránulos a guijos, mal seleccionados y bien a muy bien redondeados, además de la falta de estructuras sedimentarias (no identificadas) y la escasa a nula presencia de fósiles (poca preservación), indicarían un aumento mayor en la energía de depósito comparándola con los segmentos anteriores y se tratarían de canales distributarios de alta energía.

Con el análisis de DRX se encuentra que el cuarzo es el mineral más abundante en la Formación La Tabla, la calcita desaparece totalmente y el único carbonato identificado es la siderita, cuyo porcentaje excede el 80,0% en la muestra de un nódulo de color naranja. Otros minerales presentes son la goethita y la pirita, esta última con un porcentaje superior al 30,0% en la muestra SA-1956A (nódulo de color negro). Los minerales arcillosos corresponden a caolinita, dickita e illita, y sus concentraciones varían mucho dependiendo de la cantidad de lodo presente en la muestra, más del 15,0% en las muestras SA-1954 y SA-1957 (**Figura 3.27**).



**Figura 3.27.** Cuantificación mineralógica de las 17 muestras de la Formación La Tabla en Aico, a partir del DRX.

### 3.2 Sección estratigráfica río Yaguaracito

Los 238,5 m de columna en el río Yaguaracito (**Figura 3.28**), comienzan desde la Formación Loma Gorda hasta la Formación La Tabla. El contacto de la Formación Loma Gorda con la Formación Hondita está cubierto y Formación La Tabla no aflora totalmente por lo que no se observó el contacto con la Formación Seca.

La Formación Loma Gorda consta en la base de intercalaciones de capas medias a gruesas de biomicritas con capas delgadas de lodolitas terrígenas, las biomicritas presentan laminación ondulosa paralela continua. Hay además concreciones calcáreas de más de 2,0 m de espesor. Continúa un cubierto de 11,27 m. Hacia la parte media aparecen capas delgadas de fosforitas intercaladas con las biomicritas y capas medias de porcelanitas o rocas silicificadas. Continúa un cubierto de 12,82 m. La parte superior de la unidad está conformada por un paquete de lodolitas terrígenas y en el tope de la unidad las lodolitas se intercalan con capas medias de biomicritas terrígenas silicificadas.

Después de la intercalación de lodolitas y biomicritas terrígenas silicificadas sigue una intercalación de capas medias de cherts con capas delgadas a muy delgadas de lodolitas terrígenas, de la Formación Lidita Inferior. Continúa un cubierto de 15,43 m. La parte media de la unidad consta de capas medias de cherts, capas delgadas de lodolitas terrígenas y capas delgadas a medias y lentes de fosforitas. Continúa un cubierto de 2,1 m. La parte superior de la unidad está conformada por capas de cherts intercaladas con lodolitas terrígenas. En esta parte solo se identifica una capa delgada de fosforita.

Sigue un paquete de capas gruesas de limolitas con láminas y lentes de lodolitas de la Formación El Cobre, en la base presentan posibles estructuras de madrigueras y hay concreciones con más de 80 cm de espesor. Suprayaciendo a las limolitas hay capas muy gruesas de arenitas de grano fino a muy fino, sin estructuras visibles. Continúa un cubierto de 1,5 m.

Posterior al cubierto hay una intercalación de capas medias de porcelanitas con capas delgadas a muy delgadas de lodolitas terrígenas, predominando las primeras de la Formación Lidita Superior. Hay un cubierto de 2 m. En la parte media sigue la misma intercalación y solo se observa una capa delgada de fosforita. Continúa un cubierto de 8,6 m. El tope corresponde a una capa delgada de porcelanita o roca silicificada seguida de una capa muy delgada de lodolita.



### 3.2.1 Formación Loma Gorda

El contacto con la unidad subpryacente es neto y resalta morfológicamente; es colocado donde las capas de lodolitas del tope de la unidad pasan a las capas de liditas de la Formación Lidita Inferior.

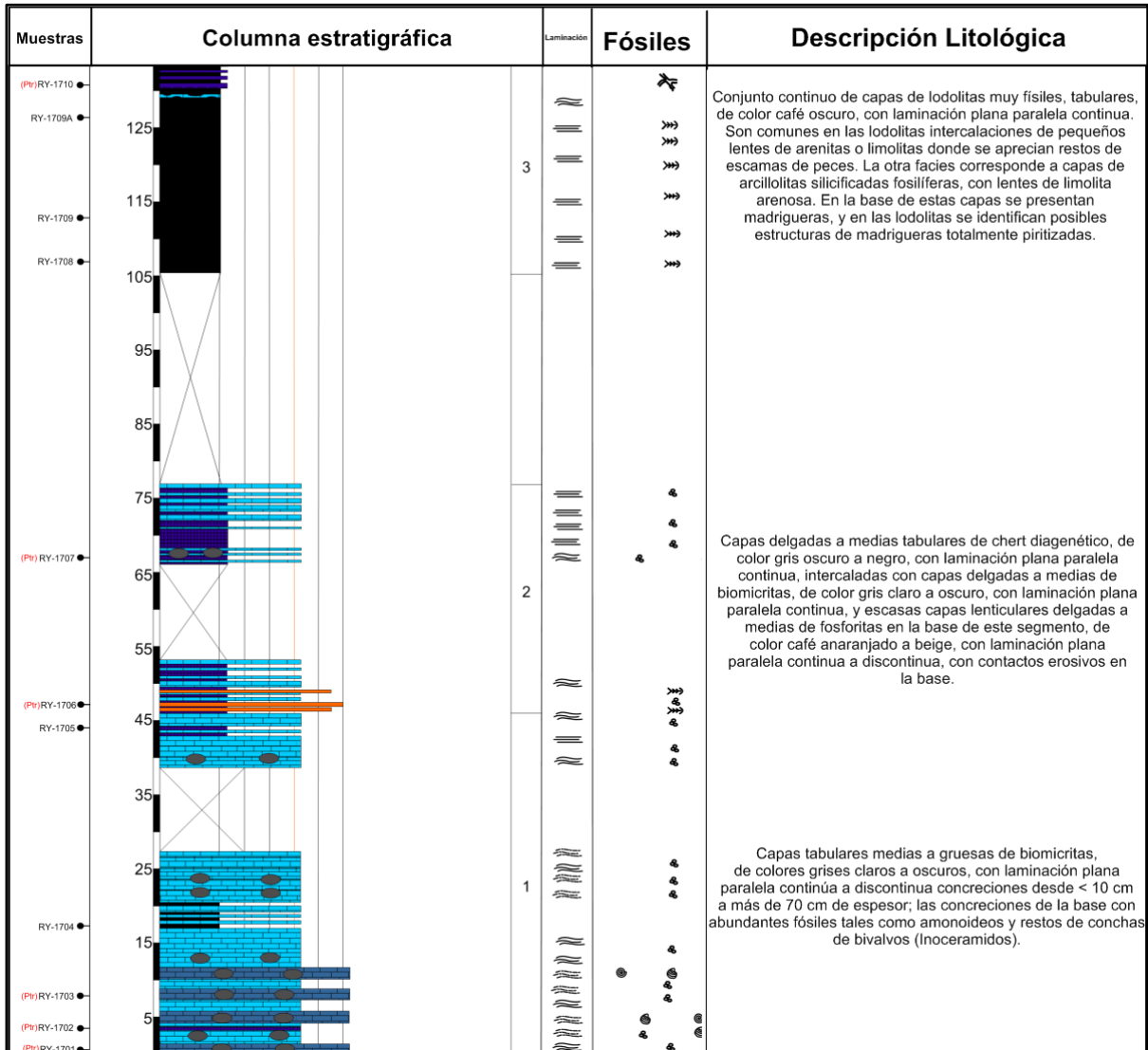
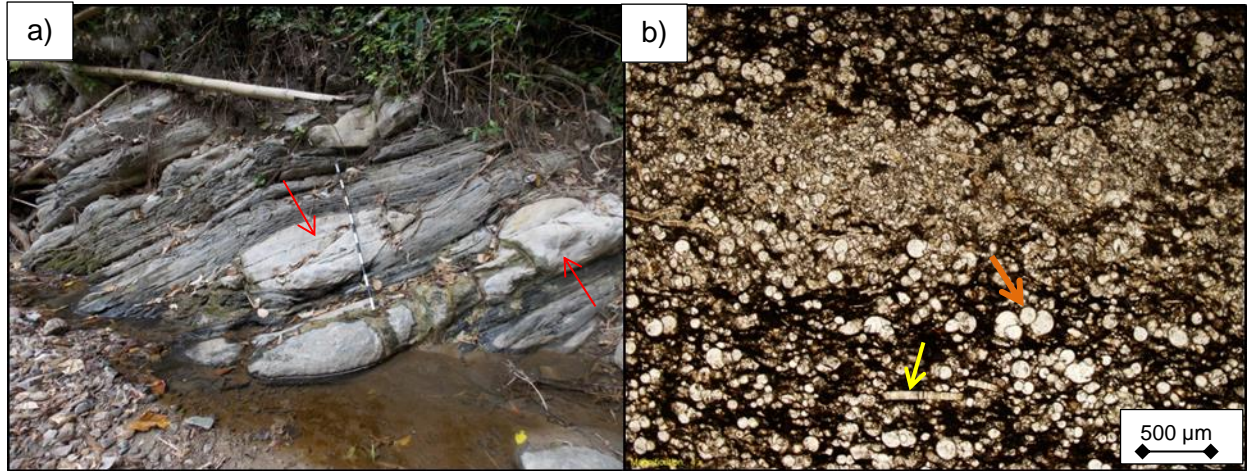


Figura 3.29 Formación Loma Gorda en el río Yaguaracito. Parte de la columna estratigráfica con los 137,7m levantados (Columna completa en el Figura 3.28).

Los 137,7 m levantados pueden ser divididos en tres segmentos (**Figura 3.29**), el primero con 46,2 m corresponde a capas tabulares medias a gruesas de biomicritas, de colores grises claros a oscuros, con laminación plana paralela continua a discontinua (**Figura 3.30.a**). Las microfacies corresponden a biomicritas de foraminíferos planctónicos empaquetadas, con texturas que pueden variar entre *packstone* y *wackestone* (**Tabla 3.6**). Otros componentes aloquímicos corresponden a bioclastos calcáreos sin diferenciar, restos de conchas de bivalvos y restos fosfáticos de peces. Otra facies son capas de cherts diagenéticos, en capas tabulares, medias, de color negro parduzco, con laminación plana paralela continua. Su microfacies corresponde a biomicritas silicificadas dispersas con textura *wackestone* con foraminíferos planctónicos, además de los foraminíferos también se reconocen bioclastos calcáreos, silicificados y restos fosfáticos de peces. Se intercalan capas de lodolitas, tabulares, delgadas, de color negro grisáceo, con laminación plana paralela continua, con abundantes minerales arcillosos (esmectitas, illitas, abundante caolinita y dickita). En este segmento se presenta una gran cantidad de concreciones de diferentes dimensiones, desde < 10 cm a más de 70 cm de espesor; las concreciones de la base con abundantes fósiles tales como amonoides y restos de conchas de bivalvos (Inoceramidos).

La gran abundancia de foraminíferos planctónicos (**Figura 3.30.b**), junto con la micrita y la arcilla, los cuales son depositados por decantación, indicarían que la energía de depósito es baja. No obstante, la gran cantidad de foraminíferos incompletos (cámaras sueltas) indican episodios de transporte por micro-corrientes de tracción. La escasa actividad bentónica y la baja a nula bioturbación presente (buena preservación de la laminación), indican que el ambiente en el que se depositaron estas rocas se puede considerar escaso de oxígeno (anóxico) (McCarthy *et al.*, 2011).



**Figura 3.30** Segmento uno de la Formación Loma Gorda, río Yaguaracito. **a)** Intercalación de biomicritas grises claras a oscuras, con concreciones calcáreas (flechas rojas) de diagénesis temprana de más de 50 cm de espesor y más de 1 m de largo (Metro 1). **b)** Sección delgada de biomicrita empaquetada con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos, muy rica en materia orgánica. Se pueden ver restos de conchas de bivalvos (flecha amarilla), entre la gran cantidad de foraminíferos planctónicos (flecha naranja) y la materia orgánica que mancha la matriz micrítica. RY-1703\_4x\_PPL.

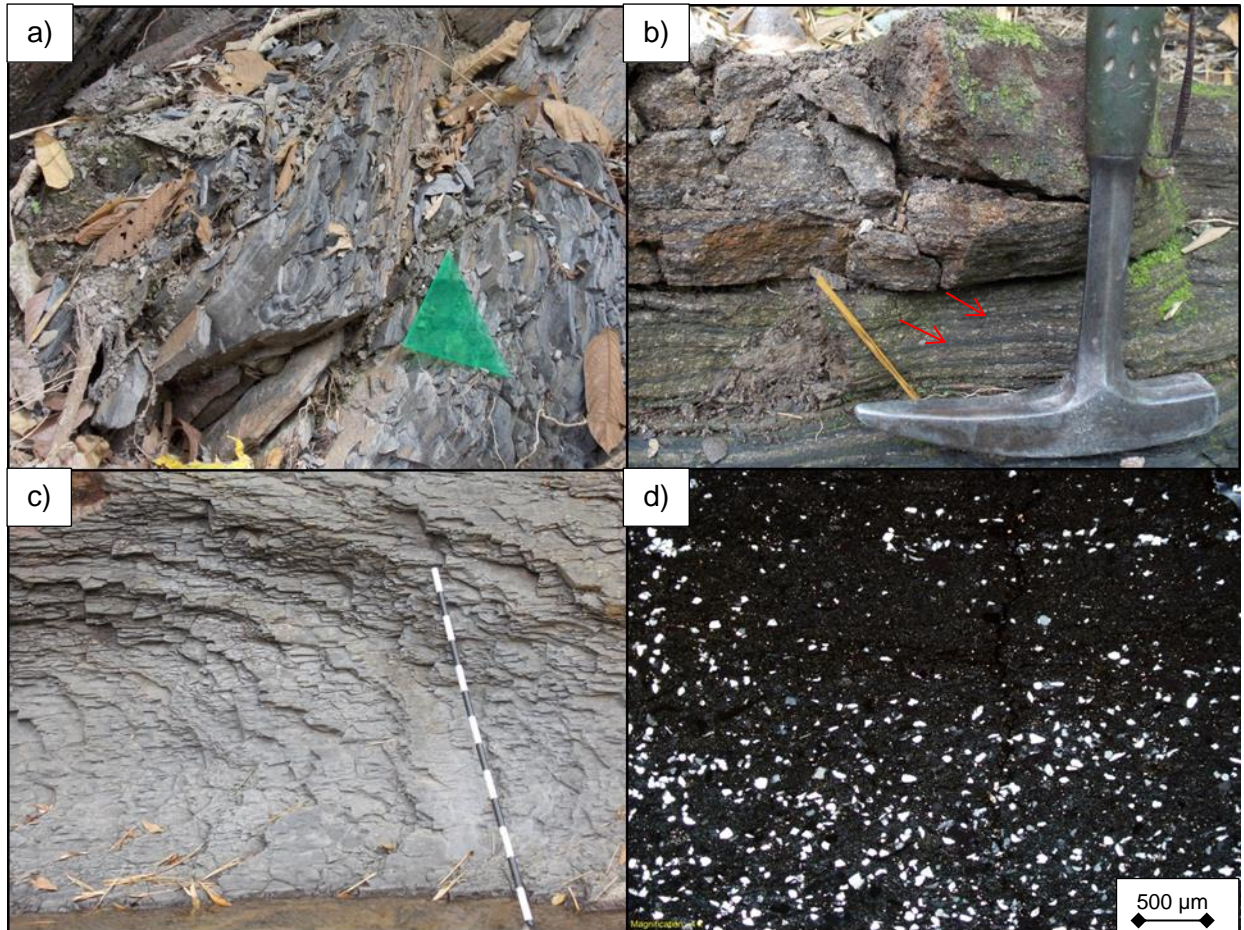
El segundo segmento de 30,8 m está conformado por capas delgadas a medias tabulares de chert diagenético, de color gris oscuro a negro, con laminación plana paralela continua (**Figura 3.31.a**), intercaladas con capas delgadas a medias de biomicritas, de color gris claro a oscuro, con laminación plana paralela continua, y escasas capas lenticulares delgadas a medias de fosforitas en la base de este segmento, de color café anaranjado a beige, con laminación plana paralela continua a discontinua, con contactos erosivos en la base. Las microfacies corresponden a micritas silicificadas fosilíferas con textura *mudstone*, los aloquímicos son foraminíferos planctónicos y *phosclast-packstone* de peloides fosfáticos y restos de peces, con otros aloquímicos como: bioclastos calcáreos sin diferenciar, ooides fosfáticos e intraclastos fosfáticos.

**Tabla 3.6** Microfacies de la Formación Loma Gorda.

Microfacies	Aloquímicos	Estructuras sedimentarias-bioturbación-composición	Geometría-contactos-color-espesores	Interpretación del proceso sedimentario
Micrita con textura <i>mudstone</i> (silicificada).	Foraminíferos planctónicos y bioclastos fosfáticos (¿restos de peces?).	Laminación plana paralela continua-Bioturbación baja a nula-Silícea, calcárea, y materia orgánica.	Tabular-contactos netos-negro grisáceo-1 cm a 30 cm.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de mar abierto de baja energía.
Biomicritas con textura <i>wackestone</i> (silicificadas).	Foraminíferos planctónicos, restos de peces.	Laminación plana paralela continua-Bioturbación baja a nula-Silícea, calcárea y materia orgánica.	Tabular-contactos netos-negro parduzco-10 a 30 cm.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de mar abierto de baja energía.
Biomicritas con textura <i>packstone</i>	Foraminíferos planctónicos, restos de conchas de bivalvos, restos de peces.	Laminación plana paralela continua a discontinua-Bioturbación baja-Calcárea y materia orgánica.	Tabular-contactos netos-gris claro a oscuro-10 cm a 1 m.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de baja energía.
Micrita silicificada lodosa, con láminas de limolita fosilífera	Foraminíferos planctónicos, restos de peces y peloides fosfáticos.	Laminación plana no paralela discontinua a continua-Bioturbación moderada-Silícea, fosfática, y arcillosa.	Tabular- contactos netos-negro parduzco a gris con manchas naranjas (por oxidación)-10 cm a 30 cm.	Depósito por suspensión, decantación vertical y "saltación", en un ambiente de baja a moderada energía, cerca de la acción base de las olas.
<i>Phosclast-packstone</i> .	Restos de peces, foraminíferos planctónicos, peloides fosfáticos, ooides fosfáticos e intraclastos fosfáticos.	Laminación ondulosa paralela discontinua. Bioturbación moderada-Fosfática, calcárea, silícea y arcillosa.	Lenticular-contactos erosivos-café a beige- 10 cm.	Depósito por rodamiento y saltación, en eventos de mayor energía (tormentas) por debajo de la acción base de las olas. Hay láminas y lentes de lodolitas, indicando disminución de la energía (¿fin de la tormenta?).

Comparando los componentes del primer segmento con los del segundo (foraminíferos planctónicos, micrita y escasas arcillas), se puede evidenciar que el depósito continúa siendo de baja energía, afectada por episodios marcados por la presencia de las capas de fosforitas con aloquímicos tamaño guijo, en los que su angulosidad (subredondeados a redondeados), mala selección y el escaso lodo calcáreo (micrita) indicarían eventos de mayor energía. En cuanto a la diagénesis, hay abundante cemento calcáreo, el cual se encuentra reemplazando a los componentes del armazón. Estas fosforitas parecen ser condensadas debido a que se pueden observar diferentes eventos con límites definidos y separados por láminas de arcillolitas que reflejan la disminución de la energía entre los eventos de mayor energía (tormentas) (**Figura 3.31.b**).





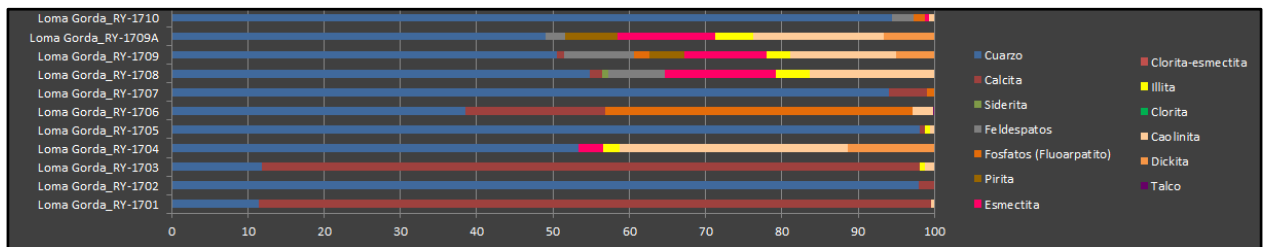
**Figura 3.31** Segundo y tercer segmento de la Formación Loma Gorda, río Yaguaracito. **a)** Intercalación de capas de biomicritas delgadas, con capas de cherts diagenético, predominando las últimas (Metro 44). **b)** Capas de fosforitas delgadas, intercaladas con lodolitas (flechas rojas), las últimas reflejando la terminación de los eventos de mayor energía (tormentas) que representan las fosforitas (Metro 46,5). **c)** Lodolitas oscuras (*shales*) con partición tipo *shaly* (muy físciles) (Metro 115). **d)** Sección delgada de micrita silicificada lodosa, con láminas de limolita arenosa. Se observan granos de cuarzo (la mayoría) y feldespato potásico, entre una matriz oscura de sílice microcristalina. RY-1710\_4x\_XPL.

Los 28,3 m del último segmento corresponden a un conjunto continuo de capas de lodolitas muy físciles, tabulares, de color café oscuro, con laminación plana paralela continua (**Figura 3.31.c**). Son comunes en las lodolitas intercalaciones de pequeños lentes de arenitas o limolitas donde se aprecian restos de escamas de peces. La otra facies corresponde a capas de arcillolitas silicificadas fosilíferas, con lentes de limolita arenosa. En la base de estas capas se presentan madrigueras, y en las lodolitas se identifican posibles estructuras de madrigueras totalmente piritizadas.

La abundancia de minerales arcillosos y foraminíferos planctónicos (más escasos que en los segmentos anteriores) depositados por decantación, indicarían que la energía de depósito es baja. Claramente se puede ver que hay un aumento en el contenido de componentes terrígenos tales como, minerales arcillosos (illita, esmectitas, caolinita y dickita), granos de cuarzo y feldespato potásico tamaño limo medio a arena muy fina (**Figura 3.31.d**), además de un mayor grado de bioturbación (laminas irregulares) y presencia de madrigueras, que indicarían una mayor cercanía a las áreas de aporte de material continental y somerización en la cuenca.

Al comparar la litología de la Formación Loma Gorda identificada en las dos secciones estratigráficas, se puede ver claramente que hay un mayor aporte de material terrígeno en la sección del río Yaguaracito, evidenciado en el segmento de lodolitas del tope.

Los minerales identificados con el DRX (**Figura 3.32**) corresponden a cuarzo y calcita principalmente, seguido de fluorapatito abundante en la muestra de fosforita RY-1706. Otros minerales reconocidos son feldespatos, pirita y siderita. Los minerales arcillosos son abundantes en las muestras de lodolitas (RY-1704, RY-1708, RY-1709 y RY-1709A), y estos son caolinita, esmectita, dickita e illita.



**Figura 3.32.** Cuantificación mineralógica de las 11 muestras de la Formación Loma Gorda en Yaguaracito, obtenida a partir del DRX.

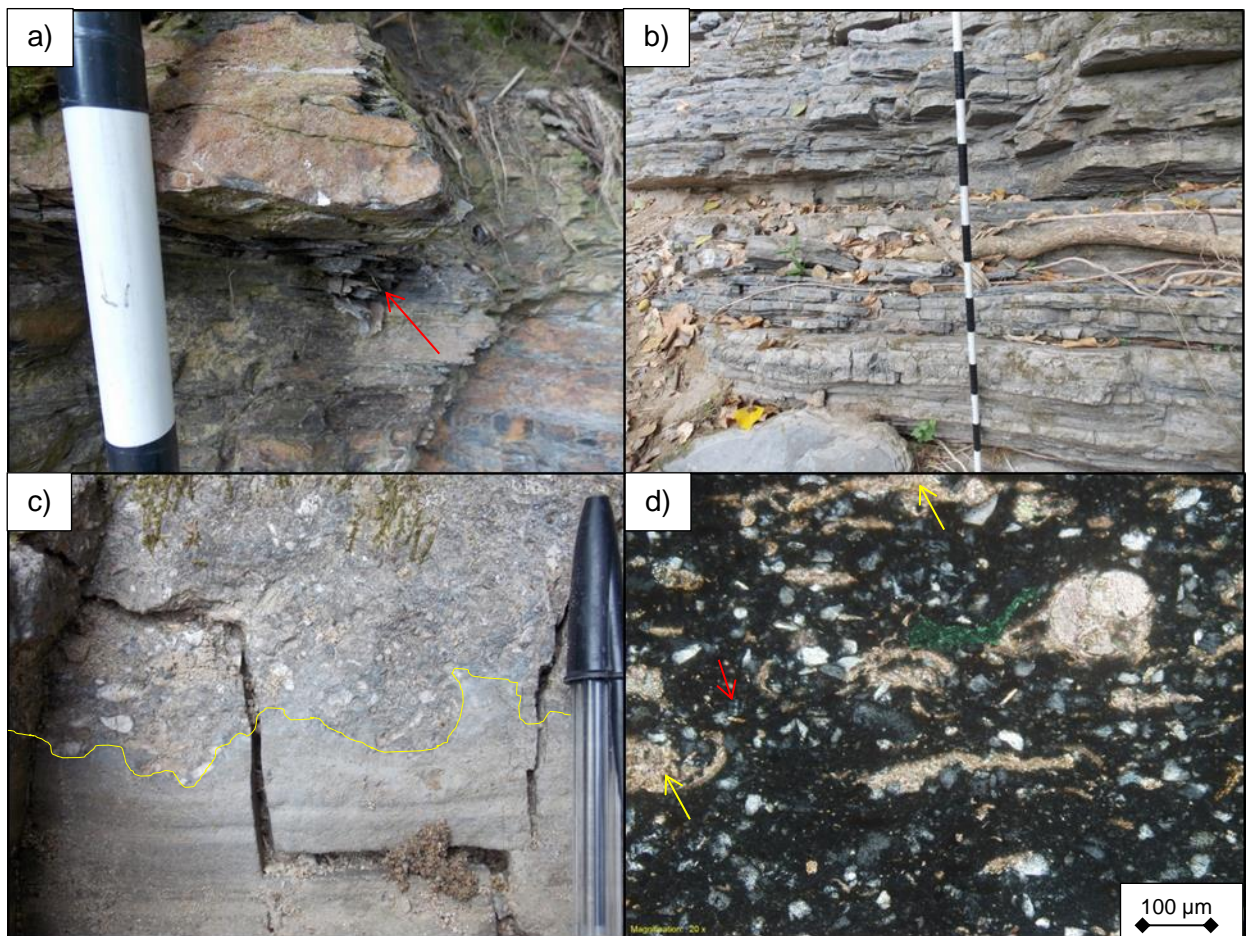
### 3.2.2 Formación Lidita Inferior

El contacto con la unidad subyacente es neto y resalta morfológicamente; es colocado donde las capas de lodolitas de la Formación Loma Gorda pasan a las capas de liditas de la Formación Lidita Inferior.

El espesor de esta unidad es de 30,5 m y puede ser dividida en dos segmentos (**Figura 3.33**), el primero con 6,2 m está conformado por capas tabulares, delgadas de cherts diagenético, de color negro parduzco, con laminación plana paralela continua,



<i>Phosclast-grainstone.</i>	Ooides con distintos núcleos, foraminíferos bentónicos y planctónicos (láminas de biomicritas), restos de peces, peloides fosfáticos e intraclastos fosfáticos.	Laminación ondulosa paralela discontinua- Bioturbación moderada a baja-Fosfática, calcárea y silícea.	Lenticular-contactos erosivos en la base-café anaranjado-1 a 10 cm.	Depósito por rodamiento y saltación, en eventos de mayor energía (tormentas) por debajo del nivel base de acción de las olas. Hay láminas y lentes de biomicritas, indicando disminución de la energía (¿fin de la tormenta?).
<i>Phosclast-rudstone.</i>	Restos de peces, foraminíferos bentónicos, peloides fosfáticos, e intraclastos fosfáticos.	Laminación ondulosa paralela continua. Bioturbación moderada-Fosfática, calcárea y silícea.	Lenticular-contactos erosivos-café a beige- 1 a 10 cm.	Depósito por rodamiento y saltación, en eventos de mayor energía (tormentas) por debajo del nivel base de acción de las olas. Hay láminas y lentes de biomicritas, indicando disminución de la energía (¿fin de la tormenta?).



**Figura 3.34** Primer y segundo segmento de la Formación Lidita Inferior, río Yaguaracito. **a)** Capas delgadas de cherts diagenéticos intercaladas con lodolitas fósiles (flecha roja) (Metro 137,5). **b)** Intercalación de cherts, lodolitas y fosforitas, predominando las primeras. Se observa la partición típica en panelitas de las capas de cherts diagenético (Metro 157). **c)** Contacto erosivo (línea amarilla) entre la capa de fosforita (con restos de peces, intraclastos y peloides) al tope, y la capa de chert diagenético en la base (Metro 158). **d)** Sección

delgada de biomicrita silicificada lodosa con textura *wackestone*, rica en materia orgánica. Se observan granos de cuarzo y feldespato potásico (flecha roja), entre una matriz oscura de sílice microcristalina diagenética. Hay además foraminíferos bentónicos (algunos aplastados, flechas amarillas) y glauconita (de color verde). RY-1723\_20x\_XPL.

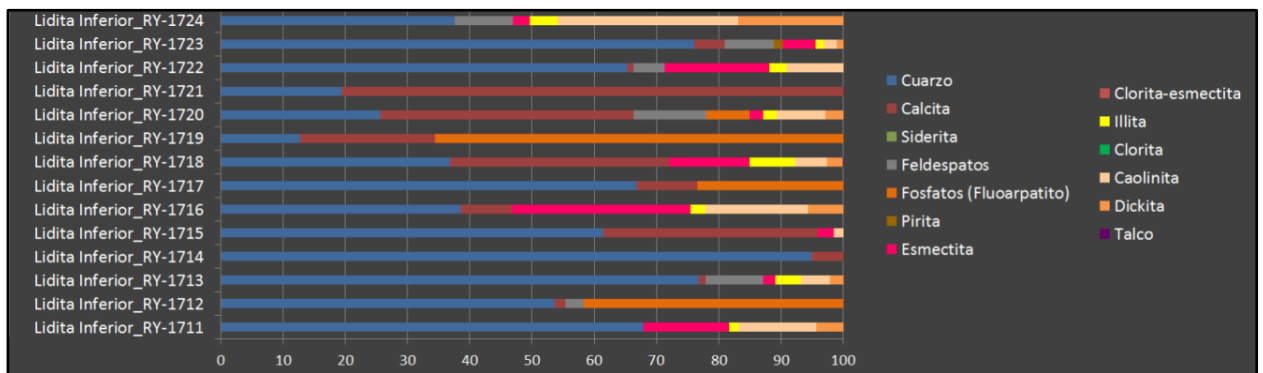
Posterior al cubierto de aproximadamente 15,4 m comienza el segundo segmento (13,7 m), conformado por capas tabulares delgadas a medias de cherts diagenético, de color negro grisáceo, con laminación plana paralela continua a discontinua a ondulosa paralela continua hacia el tope. Son frecuentes las intercalaciones de capas delgadas a medias, lenticulares de fosforitas, de color café anaranjado, con laminación ondulosa paralela continua a discontinua. Estas presentan contactos erosivos en sus bases como el observado en la **Figura 3.34.c**. Hay también capas delgadas tabulares de lodolitas, de color negro grisáceo a parduzco, con laminación ondulosa paralela continua (**Figura 3.34.b**). Las capas de lodolitas presentan fragmentos fósiles de conchas de bivalvos (¿?) y restos de peces. Las microfacies correspondientes a este segmento son biomicritas silicificadas dispersas con textura *wackestone* de foraminíferos, ricas en materia orgánica. Los aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos y planctónicos (predominando los primeros), bioclastos calcáreos y silicificados sin diferenciar y restos fosfáticos de peces; *phosclast-rudstone* de restos de peces y peloides, con cemento de calcedonia; *phosclast-grainstone* de ooides, foraminíferos bentónicos y restos fosfáticos de peces, con cemento esparítico y lodolitas silicificadas fosilíferas, siendo los aloquímicos foraminíferos bentónicos, bioclastos calcáreos sin diferenciar y peloides fosfáticos. En este segmento hay concreciones calcáreas y silíceas, con 8,0 cm de espesor a más de 1,0 m de largo.

En este segmento, las capas de fosforitas con contactos erosivos en la base (**Figura 3.34.c**), tamaño de los aloquímicos (granulo a guijos), mala selección y su angulosidad (subredondeados), indicarían alta energía de depósito. Mientras que la micrita, minerales arcillosos y escasos foraminíferos planctónicos depositados por decantación, de las capas de cherts (biomicritas silicificadas) y las lodolitas, evidenciarían una energía predominantemente baja. Hacia el tope de la unidad hay mayor contenido de componentes terrígenos, tales como granos de cuarzo y feldespato potásico tamaño limo fino a arena fina (**Figura 3.34.d**) y minerales arcillosos (esmectitas, illitas, caolinitas y

dickita), esto evidencia un mayor aporte de material continental, comparado con el segmento anterior.

Comparando la Formación Lidita Inferior entre las dos secciones, hay mayor aporte de material terrígeno en la sección del río Yaguaracito, evidenciado en la mayor proporción de capas de lodolitas, además de que las biomicritas silicificadas del tope son lodosas.

Con el DRX se identifica que los minerales más abundantes son el cuarzo y la calcita, el fluorapatito es abundante en las muestras con fosfatos (RY-1712, RY-1717 y RY-1719). También hay feldespatos y piritas. En cuanto a los minerales arcillosos estos son abundantes en las lodolitas, pero varían en porcentaje siendo la caolinita más abundante en RY-1924 y la esmectita en RY-1916, también hay dickita e illita (**Figura 3.35**).



**Figura 3.35.** Cuantificación de la mineralogía de 14 muestras de la Formación Lidita Inferior en Yaguaracito, obtenida a partir del DRX.

### 3.2.3 Formación El Cobre

El contacto con la unidad subyacente es neto erosivo y morfológicamente muy contrastante, pues las capas delgadas a medias de los cherts diagenéticos intercalados con lodolitas, pasan a conjuntos ondulados de capas gruesas a muy gruesas de limolitas.

Los 20,3 m de la unidad presentan una sola asociación de facies (**Figura 3.36**), conformada por capas gruesas a muy gruesas de limolitas con láminas discontinuas de lodolita, de color verde grisáceo, con laminación ondulosa sub-paralela continua, estas presentan estratificación cruzada de bajo ángulo (**Figura 3.37.a**). En la base se presentan distintas estructuras de madrigueras y hacia el tope hay capas muy gruesas

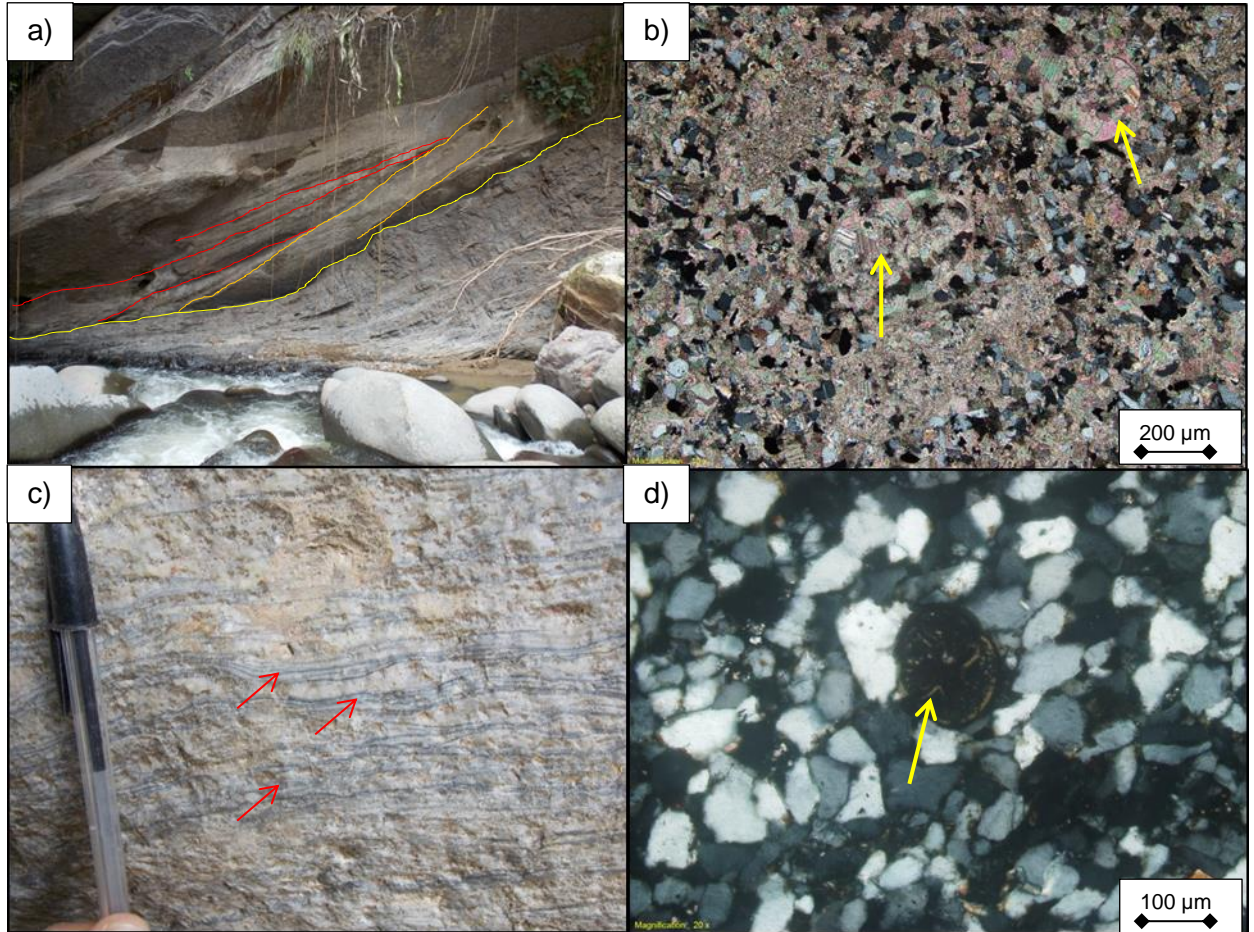
cuneiformes de arenitas de grano fino a muy fino, sin estructura visible al ser afectadas por bioturbación, de color amarillo parduzco anaranjado. La microfacies (**Tabla 3.8**) de limolitas arenosas de limo grueso presentan granos de cuarzos monocristalinos, feldespatos potásicos, plagioclasas y escasos líticos volcánicos. Los aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos y bioclastos calcáreos sin diferenciar.

Muestras	Columna estratigráfica	Laminación	Fósiles	Descripción Litológica
(P <sub>1</sub> ) RY-1729 (P <sub>1</sub> ) RY-1728	185			Capas muy gruesas cuneiformes de arenitas de grano fino a muy fino, sin estructura visible al ser afectadas por bioturbación, de color amarillo parduzco anaranjado.
(P <sub>1</sub> ) RY-1727 (P <sub>1</sub> ) RY-1726 (P <sub>1</sub> ) RY-1725	175	1		Capas gruesas a muy gruesas de limolitas con láminas discontinuas de lodolita, de color verde grisáceo, con laminación ondulosa sub-paralela continua, estas presentan estratificación cruzada de bajo ángulo.

**Figura 3.36** Formación El Cobre en el río Yaguaracito. Parte de la columna estratigráfica con los 20,3 m levantados (Columna completa en el **Figura 3.28**).

La otra microfacies (**Tabla 3.8**) son arenitas limosas, subarcosas, de grano muy fino, con granos de cuarzo monocristalino, feldespatos potásicos, plagioclasas, escasos líticos volcánicos y trazas de foraminíferos bentónicos. A lo largo de la unidad se presentan concreciones calcáreas con 80 cm de espesor, conformadas por cemento calcáreo que reemplaza a los componentes terrígenos (granos de cuarzo y feldespato potásico) y recristaliza a los foraminíferos bentónicos presentes (**Figura 3.37.b**).

La laminación ondulosa paralela continua (**Figura 3.37.c**), las estructuras de madrigueras que indican un mayor grado de bioturbación, la estratificación cruzada de bajo ángulo y el aumento del tamaño de grano de lodolitas y cherts (Formación Lidita inferior) a limolitas arenosas, indicarían un aumento en la energía de depósito con respecto a la unidad subyacente. Hacia el tope de la unidad la desaparición de las láminas de lodolitas, el alto grado de bioturbación y el aumento en el tamaño de grano de limolitas a arenitas (**Figura 3.37.d**), indicarían un aumento de energía de depósito aún mayor. Otro indicador del aumento de la energía es la escasa presencia de aloquímicos en las arenitas.



**Figura 3.37** Segmento uno de la Formación El Cobre, río Yaguaracito. **a)** Contacto (línea amarilla) entre las formaciones Lidita Inferior y El Cobre. De las capas de chert con estratificación plana paralela se pasa a limolitas con estratificación cruzada de bajo ángulo (líneas naranjas y rojas) (Metro 168,4). **b)** Sección delgada en concreción calcárea. Limolita arenosa, de limo grueso, con cemento calcáreo, fosilífera (formainiferos bentónicos recristalizados por calcita, flechas amarillas). **c)** Capa gruesa de limolitas arenosas con láminas continuas y discontinuas de lodolita (flechas rojas) con baja bioturbación (metro 170,2). **d)** Sección delgada de arenita limosa, subarcosa, muy fina. Nótese el foraminífero bentónico reemplazado por fosfato (flecha amarilla), en la arenita de cuarzos monocristalinos. RY-1729\_20X\_XPL.

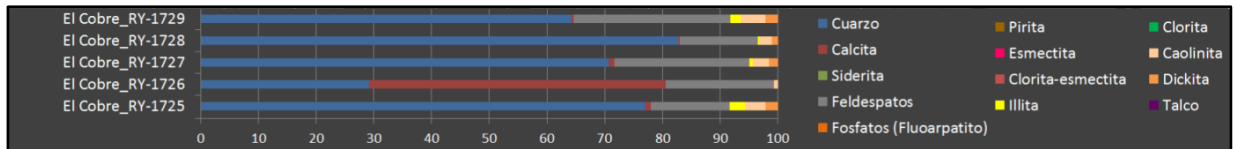
Al comparar esta unidad en las dos secciones levantadas, se puede ver que la somerización de la cuenca es mayor al sur, evidenciada en el depósito de limolitas y arenitas en el río Yaguaracito, a diferencia de las arcillolitas fosilíferas depositadas en “Aico Shale” en la quebrada Aico.



**Tabla 3.8** Microfacies de la Formación El Cobre.

Microfacies	Aloquímicos	Estructuras sedimentarias-bioturbación-composición	Geometría-contactos-color-espesores	Interpretación del proceso sedimentario
Limolita arenosa, limo grueso.	Foraminíferos bentónicos.	Laminación ondulosa no paralela continua a discontinua- Bioturbación moderada a completa (estructuras de madrigueras)-Silícea, calcárea y materia orgánica.	Lenticular-contactos netos-verde grisáceo-30 cm a más de 1 m.	Depósito por suspensión, decantación vertical (láminas de lodolitas) y saltación (arenitas y limolitas), en un ambiente de moderada energía por encima del nivel base de acción de las olas.
Arenitas limosas, muy finas.	Foraminíferos bentónicos y peloides fosfáticos.	¿Laminación tipo <i>flaser</i> ?-Bioturbación muy alta a completa-Silícea y arcillosa. Con glauconita.	Lenticular-contactos transicionales-amarillo parduzco anaranjado-más de 1 m.	Depósito por saltación, en un ambiente de alta energía por encima del nivel base de acción de las olas.

El cuarzo es el mineral más abundante identificado con DRX, seguido de los feldespatos (más del 10,0%). Otro mineral identificado es la calcita, abundante en la muestra RY-1726 (concreción calcárea). Los minerales arcillosos son menores al 10% y son caolinita, dickita e illita (**Figura 3.38**).



**Figura 3.38.** Cuantificación mineralógica de las cinco muestras de la Formación El Cobre en Yguaracito, obtenida a partir del DRX. En promedio las muestras tienen menos del 10% de minerales arcillosos y no se identificaron esmeritas.

### 3.2.4 Formación Lidita Superior

El contacto con la unidad subyacente no aflora debido a que está cubierto, aunque morfológicamente si se ve un cambio, con un relieve más suave en la Formación Lidita Superior.

Los 17,9 m de esta unidad (**Figura 3.39**) corresponden a una sola asociación de facies, conformada por capas delgadas a medias, tabulares de chert diagenético, de color negro grisáceo, con laminación ondulosa paralela continua, intercaladas con capas de lodolitas,

tabulares, delgadas, de color negro parduzco, con laminación plana paralela continua. También hay una capa de fosforita, lenticular, media, con laminación ondulosa paralela discontinua, de color anaranjado, y presenta contacto erosivo en su base. Las microfacies (**Tabla 3.9**) corresponden a biomicritas silicificadas dispersas con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos (**Figura 3.40.b**), los escasos componentes terrígenos son cuarzos monocristalinos, y micas muscovitas; lodolita arenosa parcialmente silicificada, fosilífera, fosfática, rica en materia orgánica, también hay granos de cuarzos monocristalinos, policristalinos, feldespatos potásicos y fragmentos de chert. Como aloquímicos se reconocen foraminíferos bentónicos, bioclastos calcáreos sin diferenciar, restos fosfáticos de peces, trazas de restos de peces y peloides fosfáticos; la capa de fosforita corresponde a *phosclast-packstone* de restos de peces y peloides fosfáticos, lodosa, rica en materia orgánica, con granos de cuarzos monocristalinos tamaño arena muy fina a fina.

Muestras	Columna estratigráfica	Laminación	Fósiles	Descripción Litológica
RY-1733A Pw RY-1733B  RY-1733 Pw RY-1732  RY-1731 Pw RY-1730		1 		Capas delgadas a medias, tabulares de chert diagenético, de color negro grisáceo, intercaladas con capas de lodolitas, tabulares, delgadas, de color negro parduzco. También hay una capa de fosforita, lenticular, media, de color anaranjado, y presenta contacto erosivo en su base.

**Figura 3.39** Formación Lidita Superior en el río Yaguaracito. Parte de la columna estratigráfica con los 17,9 m levantados (Columna completa en la **Figura 3.28**).

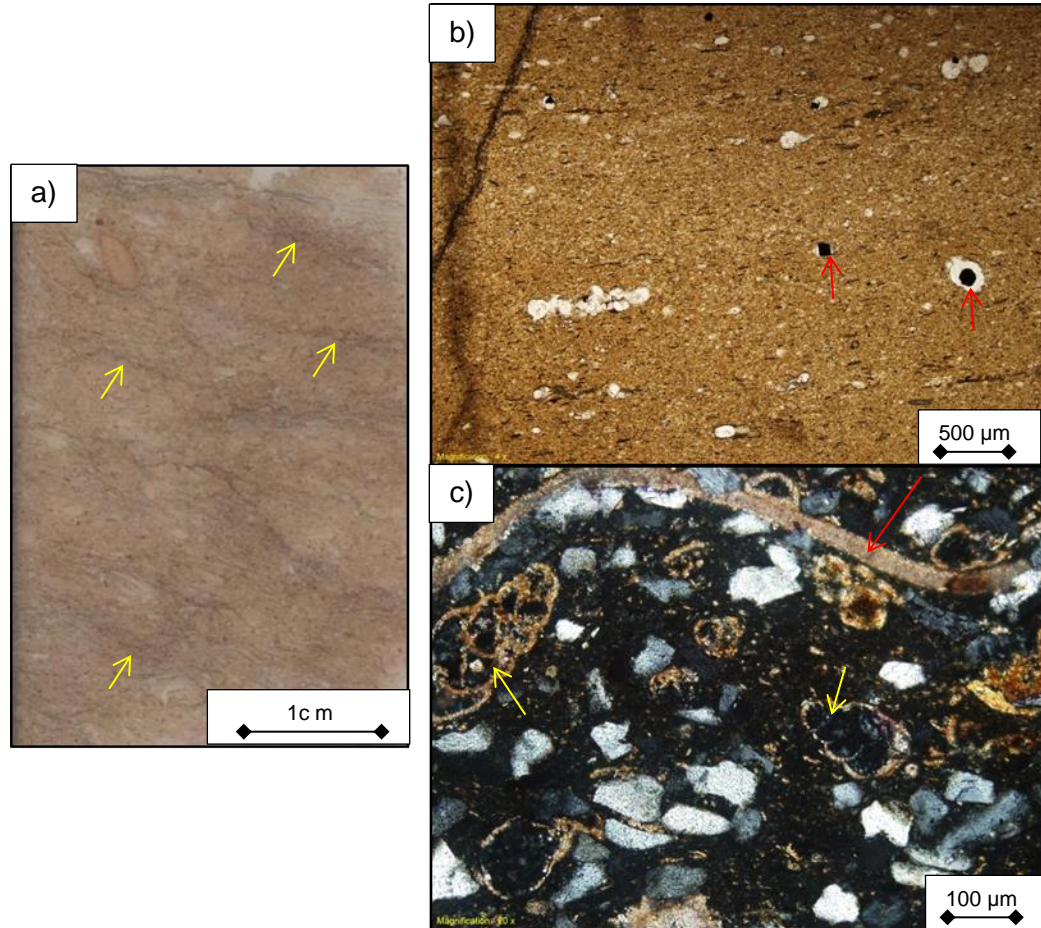
La energía de depósito es variable, en las capas de chert y las lodolitas donde la micrita y los minerales arcillosos se depositan por decantación vertical (**Figura 3.40.b**) la energía es baja, pero donde se depositan láminas con una mayor concentración de aloquímicos y con laminación ondulosa paralela continua indican que hay aumento de energía. Las láminas de lodolita con granos de cuarzo tamaño limo medio a arena fina y minerales arcillosos (esmectitas, illitas, caolinitas y dickitas) indicarían un mayor aporte de material continental.

**Tabla 3.9** Microfacies de la Formación Lidita Superior.

Microfacies	Aloquímicos	Estructuras sedimentarias-bioturbación-composición	Geometría-contactos-color-espesores	Interpretación del proceso sedimentario
Biomicrocrita silicificada con textura <i>wackestone</i> .	Foraminíferos bentónicos.	Laminación ondulosa paralela continua-Bioturbación baja a moderada-Silíceo, calcárea y materia orgánica.	Tabular-contactos netos-negro grisáceo-1 cm a 30 cm.	Depósito por suspensión y decantación vertical, en un ambiente de mar abierto de baja energía.
Arenita limosa micrítica, parcialmente silicificada.	Foraminíferos bentónicos, restos de peces, restos de conchas de bivalvos y peloides fosfáticos.	Laminación ondulosa paralela discontinua-Bioturbación moderada-Silíceo, arcillosa y calcárea.	Tabular-contactos netos-negro parduzco-1 cm a 10 cm.	Depósito por suspensión, decantación vertical y saltación, en un ambiente de baja a moderada energía cerca del límite del nivel base de acción de las olas, más de 25,0% de granos de cuarzo tamaño arena muy fina a fina.
<i>Phosclast-packstone</i> con láminas de lodolitas.	Restos de peces, foraminíferos bentónicos, peloides fosfáticos y ooides con distintos núcleos.	Laminación ondulosa paralela discontinua-Bioturbación moderada-Fosfática, silíceo y calcárea.	Lenticular-contactos erosivos-anaranjado-15 cm.	Depósito por rodamiento y saltación, en eventos de mayor energía (¿tormentas?) por debajo del nivel base de acción de las olas. Hay láminas y lentes de lodolitas, indicando disminución de la energía (¿fin de la tormenta?).

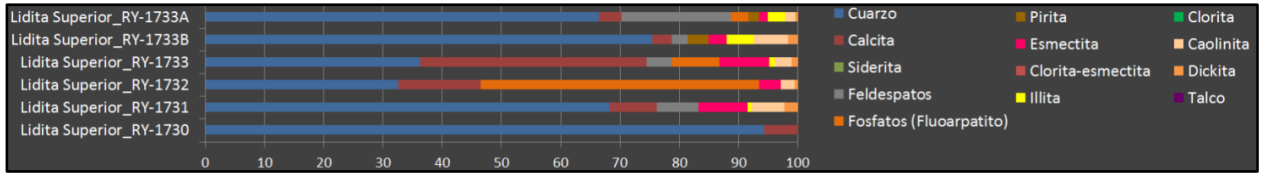
La capa de fosforita con aloquímicos tamaño gránulos y guijos, mala selección y granos de cuarzo tamaño arena muy fina a fina, estaría indicando un evento esporádico de alta energía (tormenta). Esta capa de fosforita se desarrolla en diferentes microeventos, los cuales se pueden diferenciar debido a la presencia de láminas de lodo que las separan (**Figura 3.40.a**), lo cual indica los múltiples componentes de los eventos de mayor energía. Hacia el tope de la unidad el cambio de lodolitas a arenitas limosas micríticas (**Figura 3.40.c**) evidenciaría un aumento en el porcentaje de componentes terrígenos y por lo tanto un mayor aporte continental.

La Formación Lidita Superior en la sección del río Yaguaracito presenta un mayor aporte de material continental comparado con la de la quebrada Aico y se evidencia en la intercalación de las biomicrocritas silicificadas con las lodolitas, la arenita micrítica del tope y en que la capa de fosforita encontrada en la sección del río Yaguaracito presenta una gran cantidad de granos de cuarzo tamaño limo y arena (evidenciando su origen por tormentas).



**Figura 3.40** Segmento uno de la Formación Lidita Superior, río Yaguaracito. **a)** Placa escaneada de *phosclast-packstone* de restos de peces, bioclastos calcáreos y peloides, lentes de lodolita, rica en materia orgánica. Los lentes y láminas de lodolita (flechas amarillas) representan disminución de la energía (RY-1732). **b)** Sección delgada de biomicrita silicificada dispersa con textura *wackestone* (conteo de la sección completa) de foraminíferos bentónicos (el campo visual de la foto sería *mudstone*). Se observan foraminíferos bentónicos con pirita framboidal (flechas rojas) en su interior. RY-1730\_4x\_PPL. **c)** Sección delgada de arenita limosa, micrítica, parcialmente silicificada, fosilífera. Se observan foraminíferos bentónicos con su interior ocupado por sílice microcristalina diagenética (flechas amarillas), sus caparzones siguen siendo de calcita, restos de conchas de bivalvos (flecha roja), granos de cuarzo monocristalino, y la matriz está siendo reemplazada por sílice microcristalina a criptocristalina (color negro). RY-1733B\_20x\_XPL.

Los minerales determinados con el DRX corresponden a cuarzo, calcita y más de 45,0% de fluorapatito en la muestra RY-1732 (fosforita), también hay feldespatos y pirita. Los minerales arcillosos son en promedio el 10% y corresponden a esmectitas, caolinita, dickita e illita (**Figura 3.41**).

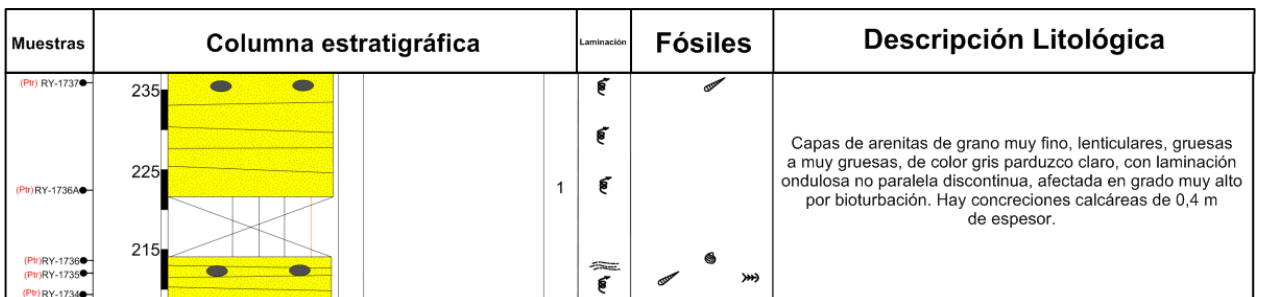


**Figura 3.41.** Cuantificación mineralógica de las seis muestras de la Formación Lidita Superior en Yaguaracito, obtenida a partir del DRX.

### 3.2.5 Formación La Tabla

El contacto con la unidad subyacente es neto erosivo y fácilmente reconocible, debido a que hay un cambio litológico de intercalación de liditas y lodolitas de la Formación Lidita Superior con relieve suave, a arenitas de la Formación La Tabla con un relieve más fuerte.

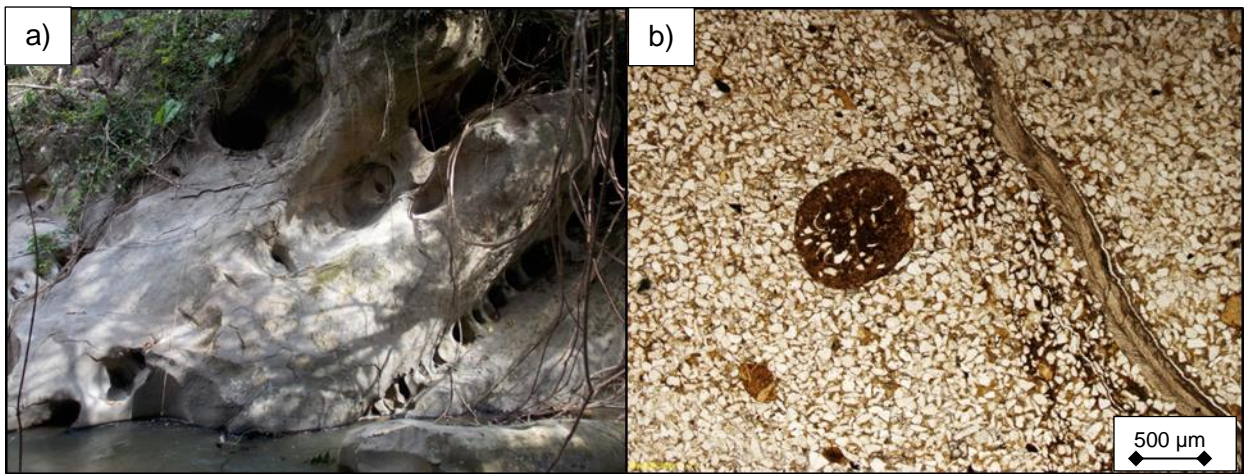
Esta unidad con un espesor de 32,2 m presenta una sola facies (**Figura 3.42**), conformada por capas de arenitas de grano muy fino, lenticulares, gruesas a muy gruesas, de color gris parduzco claro, con laminación ondulosa no paralela discontinua, afectada en grado muy alto por bioturbación. Hay concreciones calcáreas de 0,4 m de espesor (**Figura 3.43.a**). La microfacies corresponde a arenitas limosas de grano muy fino, subarcosas, con cemento calcáreo, fosilíferas, ricas en materia orgánica. Los granos terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos, feldspatos potásicos y plagioclasas. Los aloquímicos son foraminíferos bentónicos, bioclastos calcáreos sin diferenciar, restos fosfáticos de peces, fragmentos de conchas de bivalvos y peloides fosfáticos.



**Figura 3.42** Formación La Tabla en el río Yaguaracito. Parte de la columna estratigráfica con los 32,2 m levantados (Columna completa en la **Figura 3.28**).

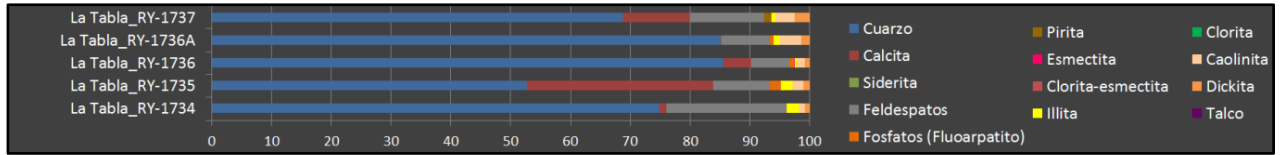
Los granos terrígenos (cuarzos y feldespatos) son depositados durante la migración de ondulitas, que a su vez arrastran caparazones de foraminíferos y restos de conchas de bivalvos (**Figura 3.43.b**), indicando ambientes de frente costero superior (“*upper shoreface*”). Las láminas de lodolitas conformadas por micrita y minerales arcillosos (illitas, caolinitas y dickita), se depositan por decantación y representan esporádicos eventos de baja energía durante los periodos de marea alta.

La Formación la Tabla en la sección del río Yaguracito no someriza tanto comparándola con la de la sección de la quebrada Aico, donde se presentan facies de canales distributarios y de depósitos de playas.



**Figura 3.43** Segmento uno de la Formación La Tabla, río Yaguaracito. **a)** Capas lenticulares, medias a gruesas de arenitas de grano fino. Se pueden observar las concreciones calcáreas (algunas totalmente diluidas) (Metro 210). **b)** Sección delgada de arenita limosa, subarcosa, muy fina, moderada. Se observa un resto de concha de bivalvo (fragmento alargado de color beige), peloides fosfáticos (al centro un pellet con granos en su interior), materia orgánica manchando la matriz de la roca. RY-1736\_4x\_PPL.

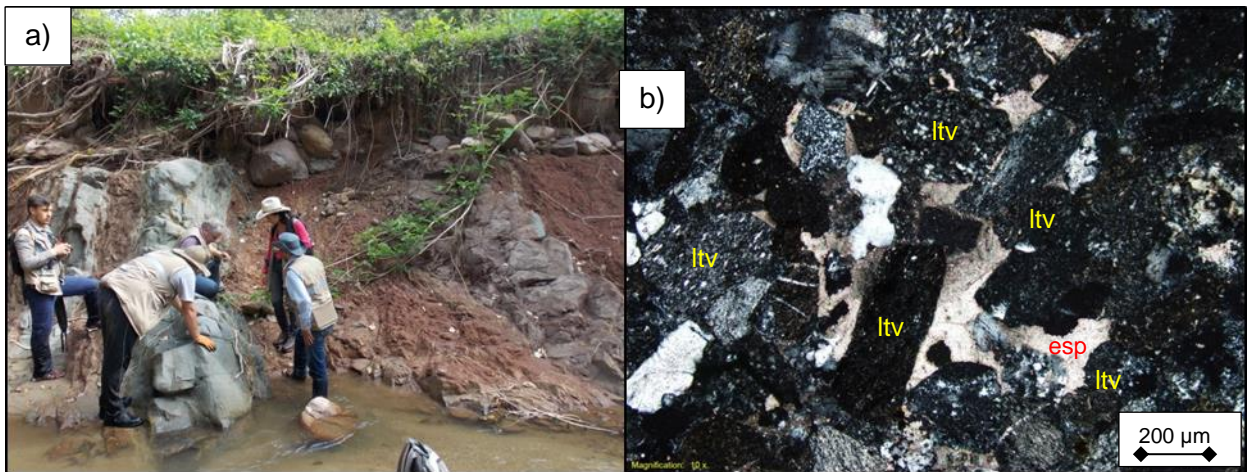
A partir del DRX se identifica cuarzo como el mineral más abundante seguido de feldespatos, y calcita. Hay más de 10,0% de calcita en la muestra RY-1735. Otros minerales son fluorapatito y pirita. La caolinita es el mineral más abundante seguido de la dickita y la illita (**Figura 3.44**).



**Figura 3.44.** Cuantificación mineralógica de las cinco muestras de la Formación La Tabla, obtenida a partir del DRX.

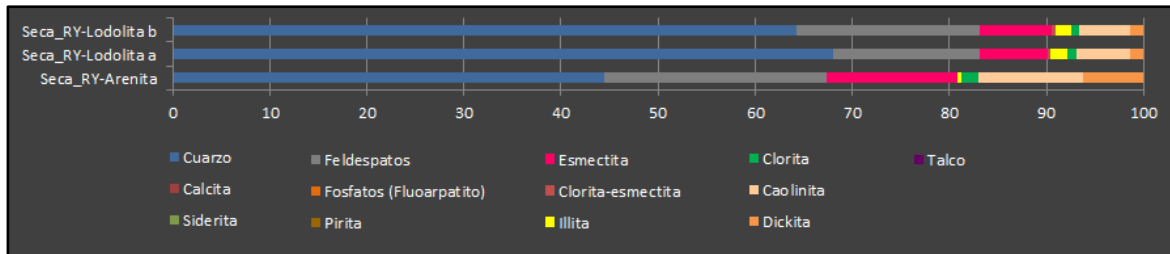
### 3.2.6 Formación Seca

Esta unidad aflora después de un cubierto de aproximadamente 200m y presenta un espesor aproximado (no se levanta columna) de 20 m. La asociación de facies está conformada por capas tabulares, muy gruesas de lodolitas de colores diversos tonos de rojo violáceo o varicoloreadas (paleosuelos), intercaladas con capas lenticulares, gruesas de arenitas de grano medio, de color verde grisáceo (**Figura 3.45.a**) y capas muy gruesas a gruesas canaliformes de conglomerados de guijos, de color gris verdoso la matriz y amarillo parduzco los clastos, con estratificación cruzada. Las arenitas de grano medio corresponden a litoarenitas muy ricas en líticos volcánicos alterados a arcillas (esmectitas, caolinitas; y en menor proporción illitas), con cemento calcáreo (**Figura 3.45.b**). Varios metros más adelante se encuentran capas de lodolitas de color gris parduzco.



**Figura 3.45** Formación Seca, río Yaguaracito. **a)** Capas muy gruesas canaliformes de arenitas de grano medio, intercaladas en lodolitas varicoloreadas predominando los tonos rojizos (paleosuelos). **b)** Sección delgada de arenita de grano medio, litoarenita, rica en líticos volcánicos (lvt), con cemento calcáreo (esp).

Con el DRX (**Figura 3.46**) se encuentra que el cuarzo es el mineral más abundante en las tres muestras de la Formación Seca, seguido de los feldespatos (más del 15,0%). Los minerales arcillosos son abundantes (más del 10,0%), y aparecen dos minerales que no se habían identificado en las unidades inferiores la clorita y el interestratificado clorita/esmética. También hay abundante esmética, junto con la caolinita, la dickita y la illita.



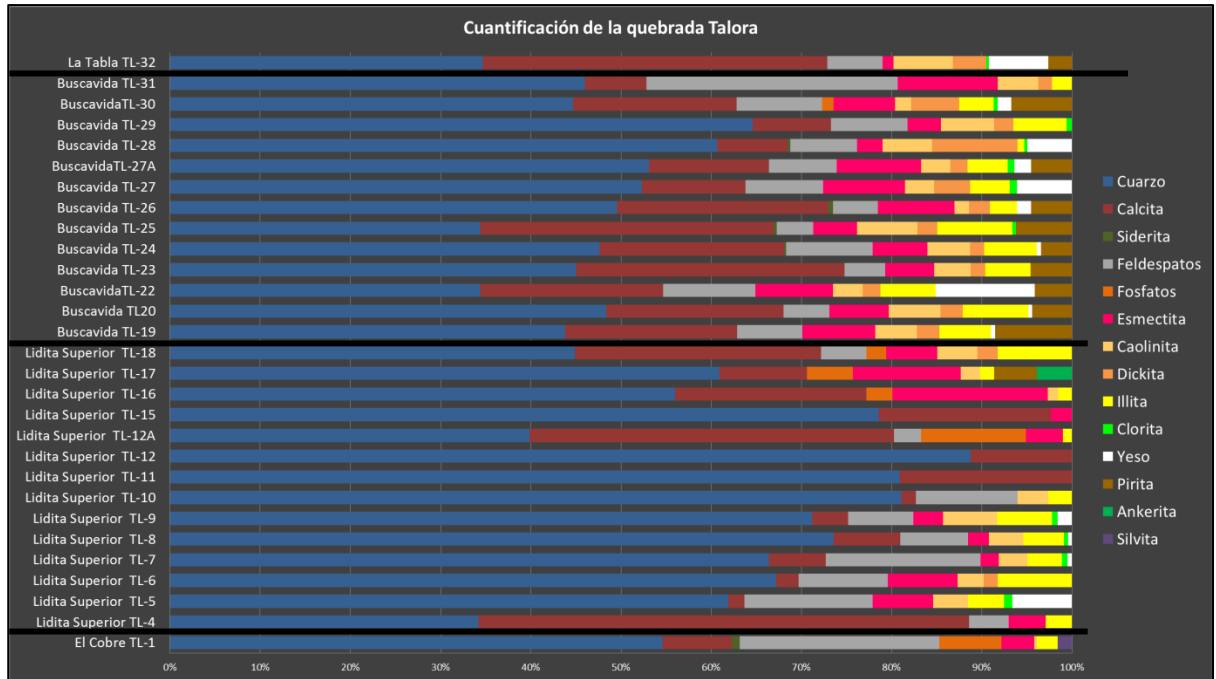
**Figura 3.46.** Cuantificación mineralógica de las tres muestras de la Formación Seca en Yaguaracito, obtenida a partir del DRX.

### 3.3 Sección estratigráfica quebrada Talora

En esta sección no se levantó una columna estratigráfica, si no que se realizó un muestreo detallado de las rocas de grano fino. Se tomaron un total de 32 muestras, a las que solo a 29 se les hizo DRX.

En la **Figura 3.47** queda evidenciado que el cuarzo es el principal componente en todas las muestras, seguido de la calcita. En la Formación Lidita Superior se puede ver una diferencia entre las muestras más cercanas a la Formación El Cobre (TL-10 a TL-5) donde hay feldespatos como minerales accesorios y un porcentaje de arcillas mayor al 10%. Las muestras más cercanas a la Formación Buscavida tienen una composición más variada dependiendo del tipo de roca, pocos minerales accesorios en las muestras TL-12 y TL-11, que corresponden a cherts.





**Figura 3.47.** Cuantificación por análisis de DRX de 29 muestras tomadas en la sección de la quebrada Talora.

Las muestras de la Formación Buscavida presentan unos porcentajes de minerales accesorios mayores que los identificados en la Formación Lidita Superior, siendo la pirita abundante y mayor al 5%.

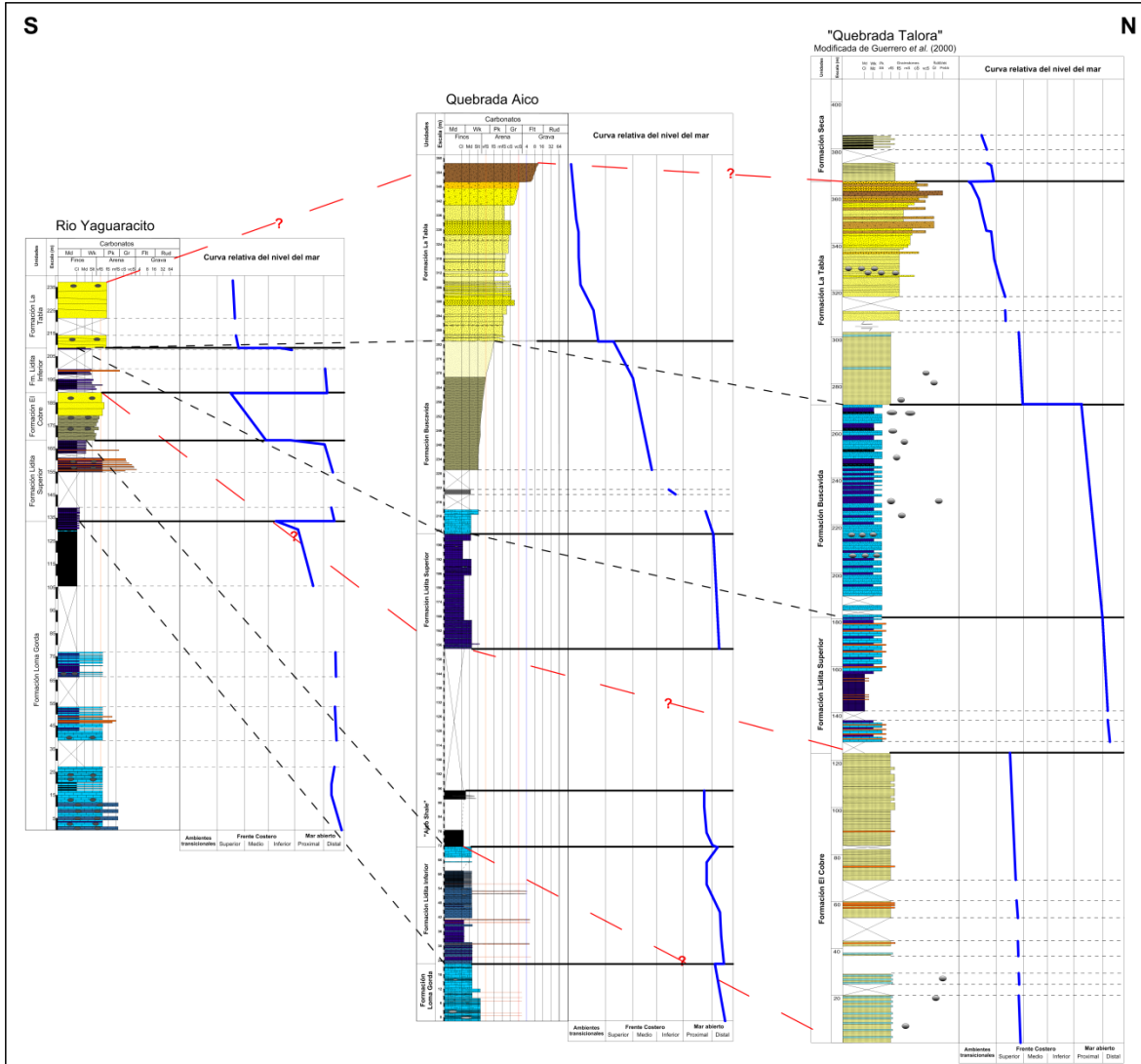
Los minerales arcillosos presentes en en casi todas las muestras son illita, caolinita, dickita, esmectitas y cloritas.

## **4. Discusión**

A partir de las facies y asociaciones de facies descritas de biomicritas-lodolitas-fosforitas-cherts diagenéticos (formaciones Loma Gorda, Lidita Inferior y Lidita Superior), arcillolitas-limolitas-arenitas finas (“Aico Shale” y Formación El Cobre), biomicritas-lodolitas-limolitas-arenitas finas (Formación Buscavida) y arenitas-conglomerados (Formación La Tabla), se interpretan los posibles ambientes de depósito, las áreas de aporte, así como la temporalidad de los eventos diagenéticos que afectaron a estas rocas durante los procesos de enterramiento y exhumación.

### **4.1 Facies, microfacies y ambientes sedimentarios**

La litología de las formaciones Loma Gorda y Lidita Inferior del Turoniano al Santoniano de la cuenca del Valle Medio del Magdalena, refleja facies que fueron acumuladas en ambientes de carbonatos con presencia abundante de foraminíferos planctónicos caracterizando las condiciones marinas más profundas de la cuenca Cretácica Colombiana, pero aún en el marco de un mar somero epicontinental. Estas facies van mostrando progresivamente, la participación de foraminíferos bentónicos de formas y características diferentes. Las facies se hacen más someras con la continua y constante aparición de material terrígeno, hasta que la proporción se invierte y las unidades se transforman en depósitos terrígenos desde lodolitas hasta arenitas e incluso el desarrollo de conglomerados. La sucesión termina en la Formación Seca, donde se presentan intercalaciones de arenitas de grano medio y conglomerados de guijos, con lodolitas rojizas (paleosuelos), que indican ambientes continentales (sección del río Yaguaracito).

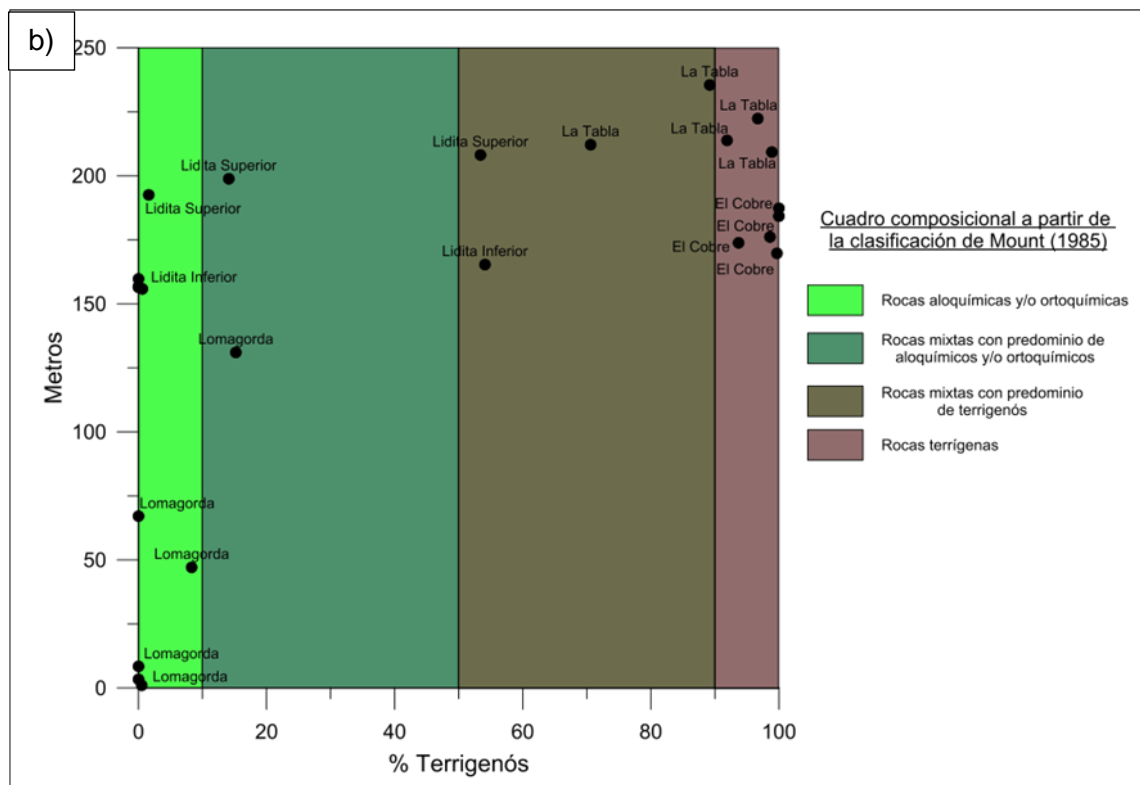
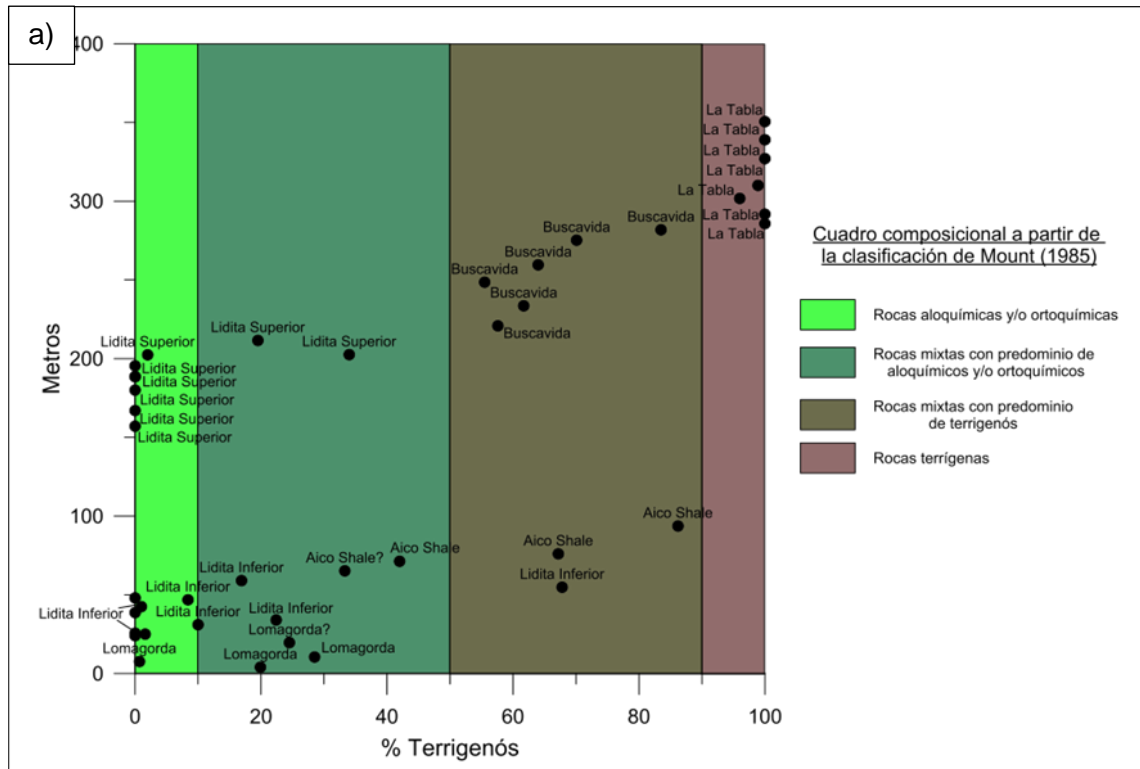


**Figura 4.1.** Curvas relativas del nivel del mar y posible correlación de las unidades presentes en las secciones estudiadas, teniendo en cuenta los ambientes de depósito interpretados a partir de las variaciones de facies. La columna de la quebrada Talora es modificada de la presentada en Guerrero *et al.* (2000).

Las variaciones en el nivel del mar quedan registradas en las formaciones estudiadas (**Figura 4.1**), evidenciado en los cambios litológicos de rocas calcáreas (biomicritas) y terrígenas de grano fino (lodolitas y limolitas), a terrígenas de grano más grueso (arenitas y conglomerados) y viceversa. La sucesión estudiada muestra una transición gradual de facies de mar abierto a facies someras e inclusive transicionales (Formación La Tabla en la sección de la quebrada Aico). Además de la transición también se puede comparar la tasa de sedimentación a lo largo de la cuenca (**Figura 4.1**), pues las unidades presentan un mayor espesor hacia el norte de esta, por ejemplo la Formación Lidita Superior tiene

58,0 m en la quebrada Talora, 48,0 m en la quebrada Aico y 17,9 m en el río Yaguaracito, además la Formación Buscavida no se deposita o sus facies fueron totalmente erosionadas en esta última (contacto claramente erosivo), lo que indicaría que la disminución progresiva del nivel del mar que se ve reflejada a lo largo de toda la cuenca, es más notoria al sur debido a que es menos profunda. Otro factor a considerar es que la litología que presenta la unidad entre las formaciones Lidita Inferior y Superior es variable, en la quebrada Aico la unidad "Aico Shale" que es equivalente en edad a la Formación El Cobre, está conformada por arcillolitas, mientras en el río Yaguaracito y en la quebrada Talora esta unidad está representada por arenitas y bioesparitas, y por limolitas y arenitas respectivamente. Este cambio litológico representa que en el área de la quebrada Aico habría una mayor profundidad o que en este sector de la cuenca no hubo una regresión marina tan fuerte comparada con las secciones del sur y el norte.

El carácter mixto de algunas rocas de las formaciones Loma Gorda (4), Lidita Inferior (3), "Aico Shale" (4), Lidita Superior (4), Buscavida (6) y La Tabla (1) (**Figura 4.2**), es un indicador de las condiciones paleoambientales y paleogeográficas en las que se depositaron los sedimentos. En las rocas predominantemente calcáreas (formaciones Loma Gorda, Lidita Inferior y Lidita Superior), el aporte terrígeno es una evidencia de la cercanía de las áreas de aporte (ver **sección 4.2**), mientras en las rocas con mayor material terrígeno (Formación Buscavida y "Aico Shale") el contenido de componentes calcáreos es un indicador de las condiciones marinas en las que la energía del medio permitió su acumulación y posterior preservación. Las rocas no mixtas pueden señalar tanto condiciones muy específicas del medio sedimentario, como procesos diagenéticos que enmascaran su carácter mixto. El primer caso se puede apreciar en las biomicritas de la Formación Loma Gorda que indicarían el ambiente de depósito de mayor profundidad, o las arenitas y conglomerados de la Formación La Tabla que marcarían ambientes de depósito más somero incluso en planicies costeras de canales distributarios de relativa alta energía. El segundo caso se vería reflejado en las rocas de las formaciones Lidita Inferior y Superior, donde la sílice microcristalina diagenética podría reemplazar tanto a la micrita como a los minerales arcillosos presentes.



**Figura 4.2** Cuadros composicionales a partir de la clasificación de rocas mixtas de Mount (1985) (Obtenidos de los resultados petrográficos). **a)** Sección de la quebrada Aico. **b)** Sección del río Yaguaracito.

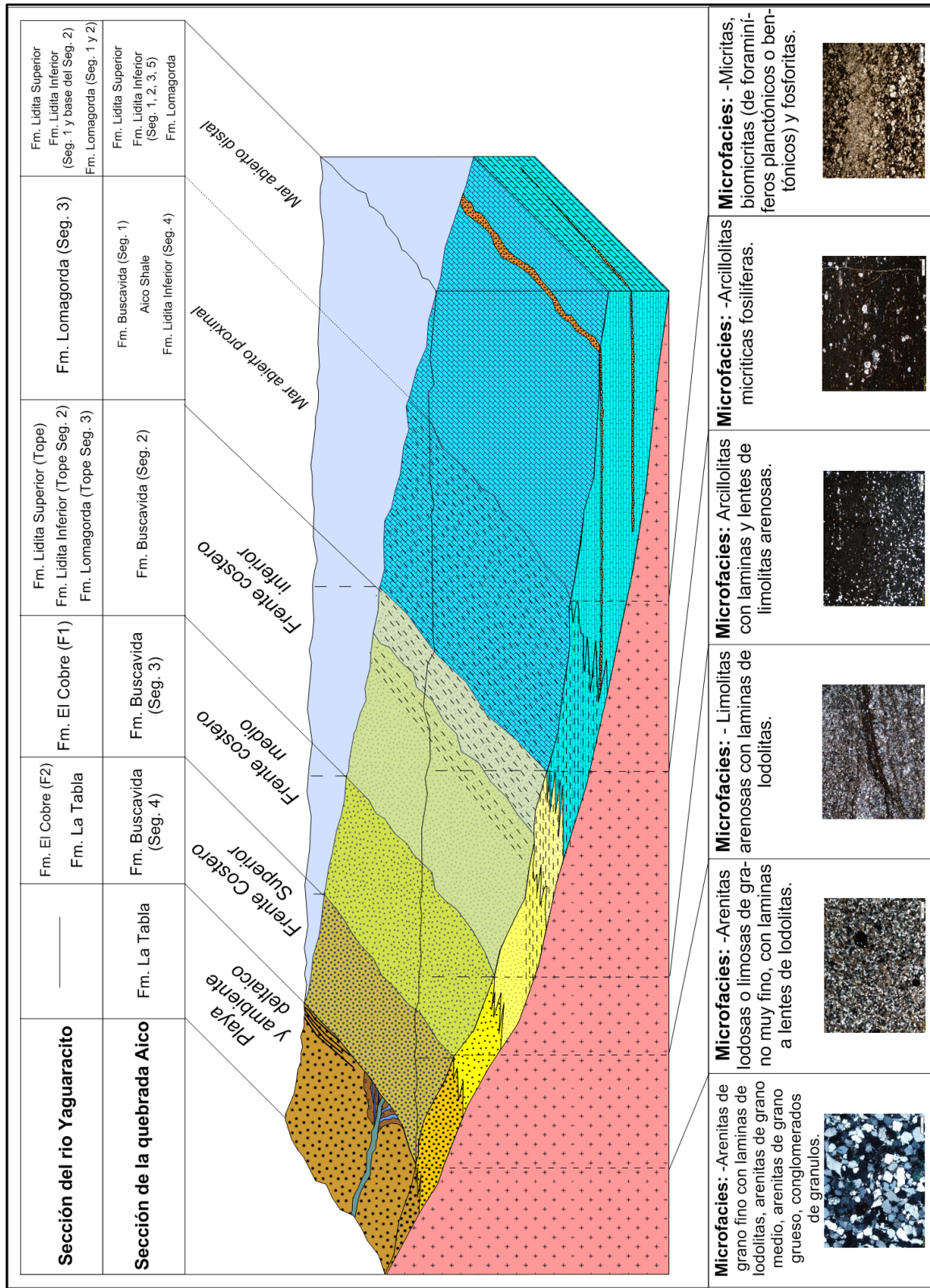
### Formación Loma Gorda

Las facies de la Formación Loma Gorda en la quebrada Aico, así como el primer y segundo segmento en el río Yaguaracito fueron depositadas en un ambiente marino de mar abierto (*Offshore*), por debajo del nivel base de acción de las tormentas (Tucker, 2001; Nichols, 2009) (**Figura 4.3**). Esto es evidenciado en la gran abundancia de foraminíferos planctónicos y de lodo calcáreo (micrita). La laminación plana paralela continua, así como la variación entre la textura de las láminas de *wackestone* a *packstone* indicarían ambientes tranquilos de baja energía, alternando con entradas de minerales arcillosos, restos fosfáticos de peces y algunos granos de cuarzo transportados por corrientes de tracción suave (Flügel, 2009).

La facies de fosforitas representa eventos episódicos de mayor energía, que transportan y acumulan partículas fosfáticas. Hay distintos orígenes para las fosforitas, pero en este caso las capas de fosforitas identificadas en las áreas del estudio, se pueden interpretar de dos maneras, la primera corresponde a fosfatos seleccionados y condensados por sus características de materiales alóctonos, que han experimentado una o más fases de erosión, transporte/selección y pueden haber sido concentrados en más de un ciclo de fosfogénesis (Fölmli, 1996). En el caso de varias fases de fosfogénesis, los fosfatos condensados pueden exhibir varias generaciones de fosfatos acrecentados, los cuales son diferenciados por la presencia de límites internos que separan las fases fosfáticas (muestras SA-1903 y SA-1909), y la inclusión de diferentes partículas detríticas de distintos tamaños (granos de cuarzo, líticos volcánicos y minerales arcillosos) en las generaciones de fosfato (**Figura 3.3.f** y **Figura 3.4.b**). El otro posible origen corresponde a fosfatos alóctonos, estos resultan del re-transporte sedimentario de fosfatos prístinos o condensados dentro de flujos que llevan sedimentos por corrientes inducidas por gravedad, tormentas, mareas, terremotos, etc. (Fölmli, 1996) (**Figura 3.3.e** y **Figura 3.31.b**). Los fosfatos son transportados y se reconocen por características de re-depósito, tales como presencia de un contacto erosivo (presente en las capas de fosforitas de la formación Loma Gorda), gradación interna, y la mezcla de partículas fosfáticas con no fosfáticas (se da en todas las capas de fosforitas de la unidad); Fölmli (1996) los describe en idénticas formas en el Grupo Guadalupe de la Cordillera Oriental. En el caso de las

capas

de



**Figura 4.3.** Ambientes de depósitos de las unidades del Cretácico Superior en la cuenca del VMM. Los ambientes van desde mar abierto en la Formación Loma Gorda a ambientes transicionales en la Formación La Tabla.

fosforitas de la Formación Loma Gorda los límites son erosivos y las partículas fosfáticas están mezcladas con partículas terrígenas, además que están intercaladas con las biomicritas, lo cual indica que estas capas de fosforitas se formaron como consecuencia de eventos de tormentas.

El tercer segmento de la Formación Loma Gorda en el río Yaguaracito, se desarrolla en facies diferentes en la quebrada Aico, está conformado por lodolitas fisiles (*shales*) y micritas silicificadas lodosas con lentes de limolita arenosa. Esta asociación de facies fue depositada en un ambiente cercano al nivel base de acción de las olas, esto es evidenciado en el tipo de laminación, así como en la presencia de madrigueras de la asociación de ichnofacies tipo Cruziana, tales como posibles *Planolites*, madriguera simple de ramificación horizontal, cilíndrica, recta ligeramente curvada (Nichols, 2009) (**Figura 4.4**). Esta asociación es típica de zonas de frente costero (*Shoreface*) de la plataforma continental (Nichols, 2009), pero también está presente en la zona de mar abierto proximal (*Upper Offshore*) y mar abierto distal (*Lower Offshore*) (Pemberton *et al.*, 2012), esto junto con la predominancia de las lodolitas, además de presentarse foraminíferos bentónicos, restos de peces y peloides fosfáticos, junto con una laminación heterolítica, intercalación de láminas onduladas finas de granos tamaño arena y lodo calcáreo, indicando un ambiente deposicional donde los flujos de corriente varían considerablemente (Flügel, 2009), indicarían un ambiente de mar abierto proximal (*Upper Offshore*) a frente costero inferior (*Lower Shoreface*) (Reineck y Singh, 1980; Nichols, 2009; Plint, 2010).

En la sección de la Quebrada Aico no se reconoce la intercalación de lodolitas fisiles hacia el tope, pero se puede ver que el contacto con la Formación Lidita Inferior es claro, pues el contenido de componentes terrígenos es relativamente abundante en el tope de la Formación Loma Gorda, y se reduce drásticamente en las biomicritas silicificadas de la base de la Formación Lidita Inferior. Este contacto en ambas secciones estaría indicando una profundización de la cuenca, el cual es más marcado hacia el sur.





**Figura 4.4** Base de una capa con posible ichnofósil de *Planolites*, madriguera horizontal ramificada, cilíndrica, recta a ligeramente curvada. Tercer segmento de la Formación Loma Gorda, Sección del río Yaguaracito.

### **Formación Lidita Inferior**

Las asociaciones de facies de biomicritas silicificadas y lodolitas del primer segmento y parte inicial del segundo de la Formación Lidita Inferior en la sección del río Yaguaracito, así como los tres primeros segmentos y el último en la quebrada Aico, corresponden a un ambiente de mar abierto (*Offshore*), por debajo del nivel base de acción de las olas (Tucker, 2001; Nichols, 2009) (**Figura 4.3**). Esto se ve reflejado en la laminación plana paralela continua, y la presencia de foraminíferos planctónicos y matriz micrítica.

La facies de fosforitas representa eventos de mayor energía, que transportan y acumulan partículas fosfáticas, estas son muy parecidas a las observadas en la Formación Loma Gorda tanto en la quebrada Aico como en el río Yaguaracito. Los límites en la base son erosivos (microerosivos) y las partículas fosfáticas están mezcladas con partículas terrígenas, además que están intercaladas con las biomicritas, lo cual indicaría que estas capas de fosforitas se formaron por eventos de tormentas. Una diferencia presente entre las dos secciones es la mayor cantidad de estos eventos en la sección del río Yaguaracito, lo que indicaría que la cuenca era más somera hacia el sur.

La parte final del segundo segmento de esta unidad en el río Yaguaracito corresponde a un ambiente de frente costero inferior (*Lower Shoreface*). La laminación ondulosa paralela continua así como láminas y lentes arenosos intercalados con lodo calcáreo indican un ambiente deposicional donde los flujos de corriente ocasionados por el efecto de la disipación de la energía en profundidad, que alcanza episódicamente a afectar el suelo marino, transporta material terrígeno y bioclástico y lo acumula como micro ondulitas subacuosas (lentes) (Flügel, 2009).

El cuarto segmento de la Lidita Inferior en la quebrada Aico a pesar de corresponder también a un ambiente de mar abierto (*Offshore*) es diferente a los otros segmentos debido a que hay intercalaciones de biomicritas con arcillolitas, es decir que hay un mayor aporte continental, pero la energía del medio continua siendo baja. Esta ciclicidad es generalmente atribuida a condiciones más húmedas durante el depósito de estas intercalaciones, el incremento en la escorrentía continental determina procesos de hidrólisis más fuertes, el desarrollo de caolinita pedogenética y el incremento en la erosión tanto de suelos como de minerales derivados de rocas (Chamley, 1989).

El contacto con la unidad suprayacente es transicional en la quebrada Aico, donde hay un aumento del material terrígeno (cambio en el depósito de biomicritas arcillosas a arcillolitas), mientras en la sección del río Yaguaracito el contacto es fuerte y erosivo (lodolitas y biomicritas silicificadas cambian a limolitas arenosas). En ambas secciones queda evidenciado que hay una somerización de la cuenca, pero es mucho más marcada hacia el sur de la cuenca.

### **Formación El Cobre y “Aico Shale”**

La facies de la parte inferior de la Formación El Cobre en el río Yaguaracito, fue depositada en un ambiente de frente costero medio (*Middle Shoreface*) (**Figura 4.3**), esto es indicado por la estratificación planar, la estratificación ondulosa en las limolitas arenosas con láminas de lodolitas onduladas paralelas continuas, el alto grado de bioturbación, los foraminíferos bentónicos presentes y la presencia de la asociación de ichnofacies tipo Cruziana, tales como posibles *Planolites*, madriguera simple de ramificación horizontal, cilíndrica, recta ligeramente curvada; y posibles *Thalassinoides*, madrigueras grandes (>10 mm de diámetro) en una compleja red tridimensional (Nichols, 2009) (**Figura 4.5**).

La segunda facies fue depositada en un ambiente de frente costero superior (*Upper Shoreface*), ya no se observa la estratificación cruzada, las capas son masivas, no hay láminas de lodolitas indicando un aumento en la energía por encima del nivel base de acción de las olas, y las rocas están completamente bioturbadas.



**Figura 4.5** Base de una capa de limolitas con posibles ichnofósiles de *Planolites* y *Thalassinoides*, madriguera horizontal ramificada, cilíndrica, recta a ligeramente curvada, y madrigueras grandes en una compleja red tridimensional, respectivamente. Base de la Formación El Cobre, Sección del río Yaguaracito.

En la quebrada Aico el intervalo equivalente a la Formación El Cobre, corresponde a arcillolitas micríticas fosilíferas (“Aico Shale”), estas son depositadas en un ambiente de mar abierto (*Offshore*), esto es reflejado en la laminación plana paralela continua, la presencia de foraminíferos bentónicos, planctónicos y radiolarios, y la baja a nula bioturbación. La diferencia con respecto a la unidad Lidita Inferior es el aumento en el contenido de componentes terrígenos, mayor proporción de minerales arcillosos y granos de cuarzo tamaño limo muy fino a arenita muy fina, este aumento en el contenido de terrígenos posiblemente se debe a una disminución en el nivel del mar, pero a diferencia de lo que ocurre en el río Yaguaracito y la quebrada Talora esa disminución no es tan notoria, esto quizás se deba a la posición más distal de la cuenca en la región de Aico.

Hacia el tope de ambas unidades, el cambio de limolitas y arenitas en el río Yaguaracito y arcillolitas en la quebrada Aico a biomicritas silicificadas de la Formación Lidita Superior en ambas secciones, estaría indicando una nueva profundización de la cuenca, con la diferencia de que esta es más notoria al sur (río Yaguaracito) y al norte (quebrada Talora) de la cuenca.

### **Formación Lidita Superior**

Los dos segmentos de la Formación Lidita Superior en la quebrada Aico, y la asociación de facies en el río Yaguaracito, se depositaron en un ambiente de *Offshore* (**Figura 4.3**), esto es evidenciado en la laminación plana paralela continua, los foraminíferos bentónicos presentes, el grado bajo a nulo de bioturbación y el escaso a nulo contenido de componentes terrígenos (escasos minerales arcillosos, aunque estos pueden ser reemplazados por sílice microcristalina diagenética). Hay cambios en la tasa acumulación de los microfósiles, este se evidencia en la variación entre láminas con textura *packstone* a *wackestone*. La escasa a nula presencia de foraminíferos planctónicos indicaría un ambiente más somero, que en el que se depositan las formaciones Loma Gorda y Lidita Inferior.

La facies de fosforitas solo está presente en la sección del río Yaguaracito, mientras en la sección de la quebrada Aico solo hay pequeños lentes fosfáticos. Esta facies representa eventos de mayor energía que transportan y acumulan partículas fosfáticas debido a posibles tormentas, las fosforitas de la Lidita Superior tienen un mayor contenido de granos de cuarzo tamaño arena muy fina a fina con respecto a las capas de fosforitas de las formaciones Loma Gorda y Lidita Inferior, esto puede deberse a una mayor cercanía a la línea de costa y por lo tanto a las áreas de aporte (mar abierto proximal).

En ambas secciones hacia el tope de la unidad, hay un aumento en el contenido de materiales terrígenos (granos de cuarzo y minerales arcillosos), esto puede ser el resultado de un progresivo descenso del nivel del mar (somerización de la cuenca), pero como en el caso de la Formación El Cobre es más notorio en la sección del río Yaguaracito, donde las biomicritas silicificadas pasan a arenitas limosas micríticas parcialmente silicificadas, estas fueron depositadas en un ambiente más somero de frente costero inferior (*Lower Shoreface*), reflejado en un mayor grado de bioturbación y mayor contenido de granos de cuarzo tamaño limo medio a arena fina.

El contacto con la unidad suprayacente es erosivo en el río Yaguaracito y transicional en la quebrada Aico, en ambas se ve reflejado en un aumento en el contenido de componentes terrígenos, con la diferencia de que en el río Yaguaracito no se deposita la Formación Buscavida o esta fue erosionada debido a la rápida somerización y a que la cuenca tiene una menor profundidad hacia el sur.

### **Formación Buscavida**

La Formación Buscavida en la quebrada Aico muestra claramente la transición de ambientes marinos profundos a someros, desde el primer segmento depositado en un ambiente de mar abierto (*Offshore*), a frente costero superior (*Upper Shoreface*) en el cuarto segmento (**Figura 4.3**). El primer segmento conformado por biomicritas arcillosas con textura *wackestone* localmente *packstone*, se depositó en un ambiente de mar abierto (*Offshore*), esto es evidenciado en el escaso a nulo contenido de granos de cuarzo (los pocos que hay son de tamaño limo medio a grueso), la matriz de estas rocas está conformada principalmente por micrita y minerales arcillosos, indicando la baja energía del medio. Las láminas con textura *packstone*, indicarían un ambiente de depósito donde los flujos de corriente varían considerablemente (Flügel, 2009). La gran abundancia de foraminíferos bentónicos y escasos a nulos planctónicos indicaría un posible ambiente de mar abierto proximal (*Upper Offshore*), esto comparándolo con la gran abundancia de foraminíferos planctónicos en las muestras de la Formación Loma Gorda que indicarían un ambiente semejante pero más restringido o anóxico.

El segundo segmento de la unidad se deposita en un ambiente de mar abierto proximal (*Upper Offshore*) a frente costero inferior (*Lower Shoreface*) variando en el nivel base de acción de las tormentas (Reineck y Singh, 1980; Tucker, 2001; Nichols, 2009), esto reflejado en el depósito de lodolitas con laminación plana paralela continua y con granodecrecimiento, se presentan láminas con mayor contenido de granos de cuarzo y bioclastos fragmentados, reflejando un ambiente de depósito donde continúan las variaciones en los flujos de corriente. Las condiciones paleo-ecológicas de este segmento son muy diferentes con respecto al segmento anterior, esto se ve reflejado en una asociación de foraminíferos bentónicos de mucho menor tamaño y en menor cantidad.

El tercer segmento conformado por limolitas con láminas de arcillolitas y lodolitas estaría indicando un ambiente de frente costero inferior (*Lower Shoreface*) a frente costero medio (*Middle Shoreface*), esto se ve reflejado en la laminación ondulosa paralela a no paralela continua a discontinua, el alto grado de bioturbación, y el depósito de limolitas con láminas y lentes de arcillolitas y lodolitas que indicarían disminución de la energía, probablemente por debajo del nivel base de acción de las olas.

El último segmento de la unidad conformado por arenitas de grano muy fino a fino con lentes de lodolitas, se depositó en un ambiente de frente costero medio (*Middle Shoreface*) a frente costero superior (*Upper Shoreface*), esto es evidenciado en el alto grado de bioturbación, la disminución de los lentes y láminas de lodo con respecto al segmento anterior, y la presencia de posibles madrigueras del tipo *Skolithos*, tubos verticales (**Figura 4.6**) formados por organismos que vivieron en regiones de alta energía (Nichols, 2009), esta Ichnofacies *Skolithos* es dominante en el frente costero medio (*Middle Shoreface*) (Pemberton *et al.*, 2012).

El progresivo aumento del contenido de material terrígeno a lo largo de la unidad refleja la continua somerización de la cuenca, además el contacto erosivo con la Formación La Tabla en la quebrada Aico estaría indicando el final de las condiciones netamente marinas (no ambientes transicionales), esto se evidencia en el aumento en el tamaño de los granos terrígenos (arena media a guijos) y la disminución de componentes aloquímicos y ortoquímicos. Además, en la sección de la quebrada Aico la capa de conglomerados de guijos e intraclastos de la base de la Formación La Tabla podría indicar una regresión forzada (?).



**Figura 4.6** Muestra de arenita con posibles ichnofósiles de *Skolithos* (en amarillo), tubos verticales formados por organismos en ambientes de alta energía. Tope de la Formación Buscavida, sección de la quebrada Aico.

### **Formación La Tabla**

La Formación La Tabla, al igual que la Formación El Cobre, varía entre las dos secciones. En la sección del río Yaguaracito las arenitas de grano fino se depositaron en un ambiente de frente costero medio (*Middle Shoreface*) a frente costero superior (*Upper Shoreface*) (**Figura 4.3**), esto es evidenciado en el tamaño de grano (arena fina a muy fina), los escasos lentes y láminas de lodolitas, el grado muy alto a completo de bioturbación, y la presencia de foraminíferos bentónicos y restos de conchas de bivalvos. En cambio, en la sección de la quebrada Aico el ambiente de depósito es más complejo, desde posibles depósitos deltaicos hasta fluviales (**Figura 4.3**). Una de las principales razones para considerar esos ambientes es la sucesión de facies grano-crecientes, desde arenitas finas con láminas de lodo hasta conglomerados de gránulos y guijos. El primero, tercero y cuarto segmento de la unidad corresponden a posibles canales distributarios, los cuales corresponden a las capas de arenitas de grano medio, con grano-decrecimiento, las condiciones son subacuáticas evidenciado en la presencia de peloides fosfáticos y la glauconita. Estas están intercaladas con capas lenticulares de arenitas de grano fino con láminas de lodolitas, representando posibles variaciones en la descarga fluvial (Bhattacharya, 2010), estas son más abundantes en el tercer segmento, y hay presencia de foraminíferos bentónicos indicando la influencia marina. En las capas de arenitas de grano medio hay abundantes nódulos de siderita que pueden producirse por diagénesis temprana, los cuales comúnmente requieren entrada de agua dulce para reducir la actividad del sulfato (Bhattacharya, 2010).

El segundo segmento representa posibles depósitos de playa evidenciado en las capas muy gruesas de arenitas de grano medio a grueso con estratificación inclinada de bajo ángulo, estas capas evidencian un grano-decrecimiento, y presentan glauconita. El quinto segmento representa una transición entre los canales distributarios de los segmentos anteriores y los conglomerados del último segmento. Las capas de arena son conglomeráticas y no hay presencia de glauconita indicando una disminución de la influencia marina. El último segmento representado por arenitas de grano muy grueso conglomeráticas y conglomerados de gránulos y guijos, corresponden a canales distributarios de alta energía.

## 4.2 Áreas de aporte

Para determinar la procedencia de los componentes terrígenos, se utilizaron técnicas con diferentes escalas de trabajo, por ejemplo a partir de la petrografía se determina la composición de los granos tamaño limo hasta guijo, mientras que para los granos más finos (tamaño arcilla) se emplea el DRX. La composición elemental de las rocas obtenida a partir del FRX es utilizada para corroborar la cuantificación del DRX, además de que a partir de esta se puede realizar una comparación en la composición obtenida con la petrografía.

### 4.2.1 Petrografía de arenitas y geoquímica de rocas terrígenas

A partir de la petrografía de 24 secciones delgadas (la petrografía de la sección de la quebrada Talora se encuentra en la Tesis de pregrado de Hernández, (2016)), 23 **arenitas y un conglomerado**, se pueden reconocer las posibles áreas de aporte de las unidades terrígenas presentes en las tres secciones estudiadas. Los resultados obtenidos, tanto texturales como composicionales, se adjuntan en los **Anexos B, C, D y E**. Los resultados petrográficos son comparados con el cuadro de clasificación geoquímica de arenitas terrígenas y *shales* de Herron (1988), esto con el fin de corroborar que los cambios mineralógicos entre las secciones también se pueden ver reflejados en su composición elemental.

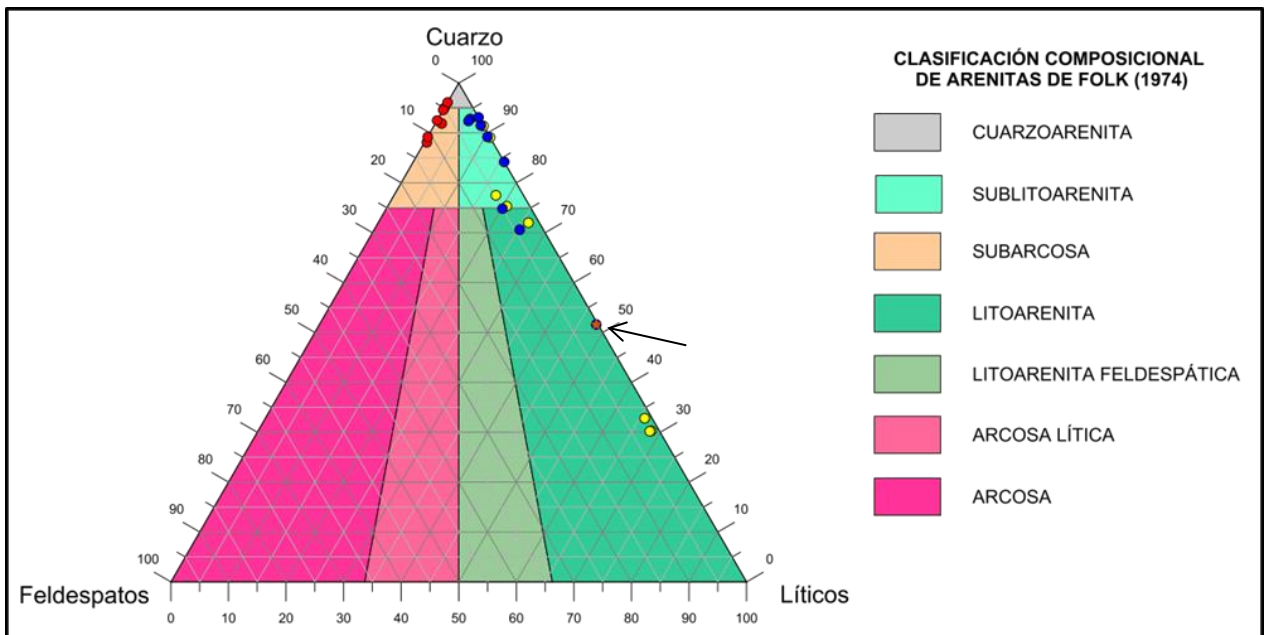
Las arenitas son clasificadas composicionalmente a partir del cuadro de Folk (1974), correspondiendo la gran mayoría a sublitoarenitas (10 muestras). Se puede observar una clara diferencia composicional entre las arenitas de la sección del río Yaguaracito con las demás, siendo estas las únicas subarcosas (**Figura 4.7**).

El cuadro de Folk (1974) no tiene en cuenta a las rocas de grano más fino (limolitas), pero la composición de estas también pueden ser indicadores de las áreas de aporte. En la sección del río Yaguaracito tres muestras de la Formación El Cobre, que corresponden a limolitas arenosas, pueden ser clasificadas al equivalente de subarcosas, mientras dos de las limolitas de la sección de la quebrada Aico pueden corresponder a subarcosas y una a sublitoarenita.



A partir de la petrografía se identifica una variación en la abundancia de los líticos, cuyo contenido aumenta hacia el norte. En la sección de la quebrada Talora las tres muestras de arenitas de la formación la Tabla, corresponden a litoarenitas con más del 65,0% de líticos (cuarcitas, líticos volcánicos y escasos esquistos), mientras en la sección de la quebrada Aico la mayoría de arenitas corresponden a sublitoarenitas con un contenido de líticos entre 5,0% y 15,0% (cuarcitas y líticos volcánicos). Este cambio en el contenido de líticos puede deberse a la configuración paleo-geográfica de la Paleo-Cordillera Central.

Otra característica observada con la petrografía es el cambio en la composición de las arenitas dependiendo del ambiente sedimentario en el que se depositan las rocas, por ejemplo en la quebrada Aico las arenitas de la Formación Buscavida son litoarenitas con más del 20,0% de fragmentos líticos (cuarcitas y líticos volcánicos), estas fueron depositadas en un ambiente marino de moderada energía (*Middle Shoreface*), en cambio las arenitas de la Formación La Tabla ya no son litoarenitas y fueron depositadas en un ambiente de mayor energía (canales distributarios de un delta), en donde los clastos más débiles (líticos volcánicos y esquistos) son destruidos más fácilmente.



**Figura 4.7** Diagrama de clasificación composicional de las arenitas (Folk, 1974). Arenitas de la sección de la quebrada Talora en amarillo (8), sección de la quebrada Aico en azul (9) y sección del río Yaguaracito en rojo

(7). La muestra con una estrella naranja (flecha negra) corresponde a un conglomerado arenoso de la sección de Aico.

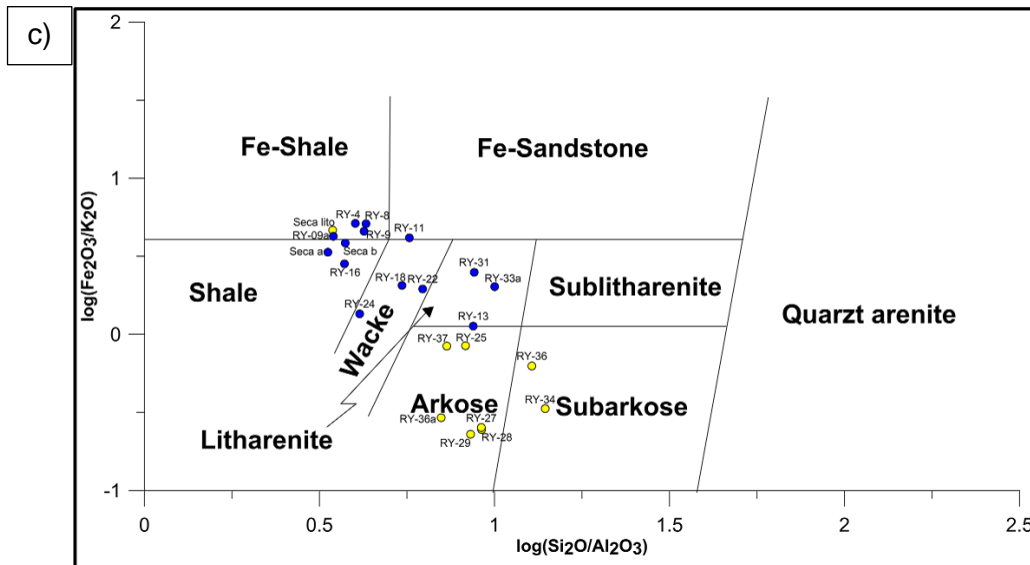
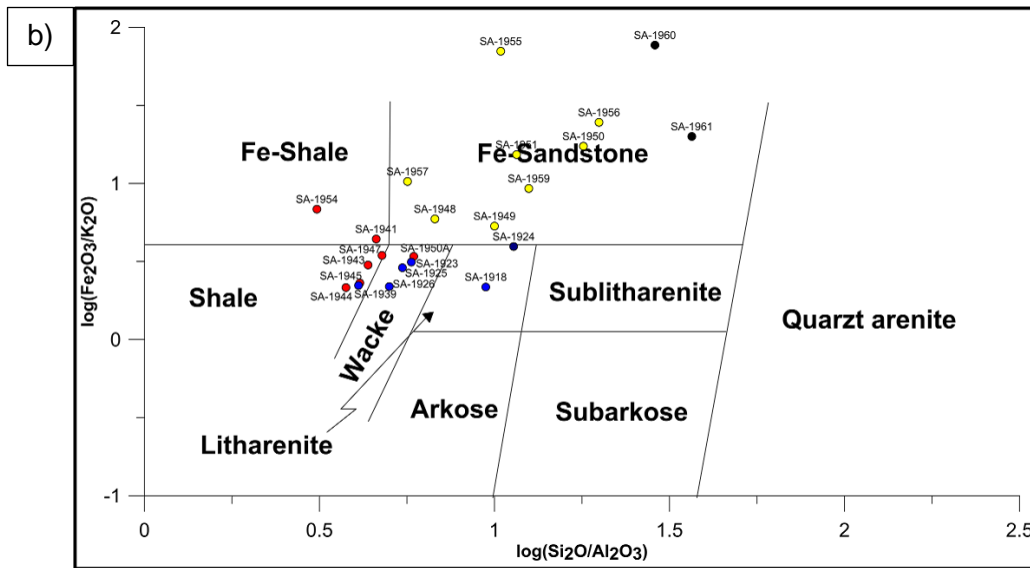
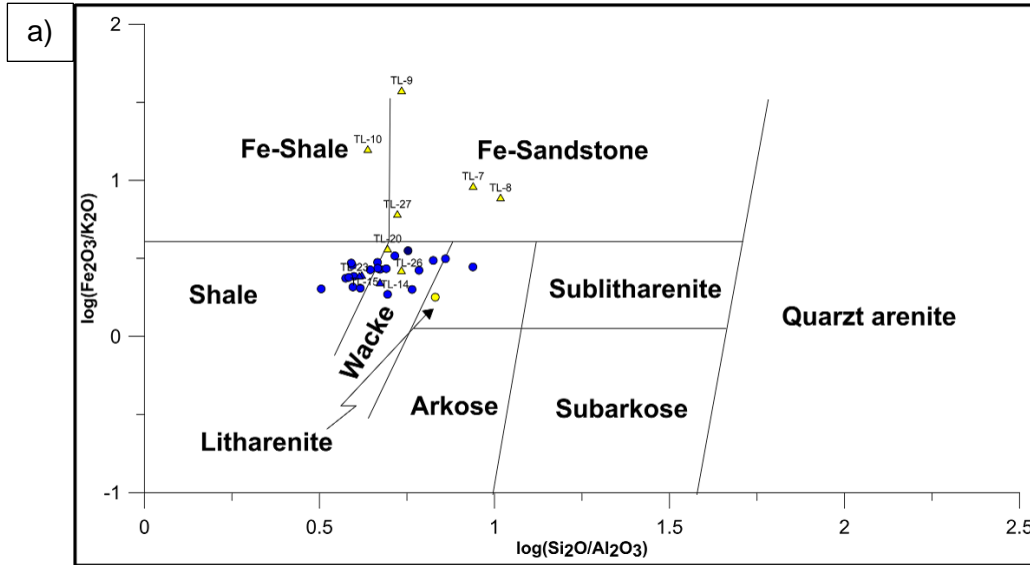
Comparando la composición de las arenitas entre las tres secciones estudiadas se puede concluir que el área de aporte corresponde a la Paleo-Cordillera Central, por los abundantes fragmentos de rocas metamórficas, volcánicas y feldespatos. Pero como se puede apreciar en la **Figura 4.7**, la sección del río Yaguaracito que esta ubicada más al sur de la cuenca presenta una mayor abundancia de feldespatos (principalmente ortoclasa y microclina) que de fragmentos líticos, lo que indicaría la parte del orógeno que aporta material y que es diferente al de las secciones de Aico y Talora. La abundancia de feldespatos ha sido reportada hacia el sur de la cuenca, Veloza (2005) a partir de análisis petrográfico de 18 secciones delgadas clasifica siete subarcosas, siete cuarzoarenitas y cuatro sublitoarenitas, estas muestras fueron tomadas en nueve secciones ubicadas al sur de la ciudad de Neiva. La unidad subyacente a estas unidades, que probablemente aporta ese feldespato potásico, es la **Formación Saldaña**, cuya litología corresponde a rocas piroclásticas de composición acida riolítica, ignimbritas, derrames lávicos ácidos a intermedios, riolitas, dacitas, traquitas, andesitas, pórfidos intrusivos andesíticos y muy escasos derrames basálticos (Mojica y Llinás, 1984). La gran mayoría de estas litologías son ricas en feldespatos potásicos (ortoclasa y microclina).

En la secciones de las quebradas Aico y Talora los líticos más abundantes encontrados en las arenitas y el conglomerado, corresponden a cuarzos policristalinos de origen metamórfico (cuarcitas) y a líticos volcánicos, otros líticos presentes son líticos metamórficos fragmentos de esquistos micáceos y en el conglomerado de la Formación La Tabla hay también fragmentos de cherts y líticos sedimentarios de arenitas cuarzosas. Los cuarzos policristalinos (Ver **Anexo E**) probablemente provengan del **Batolito de Ibagué** y el **Complejo Cajamarca**, que corresponden al basamento de la Paleo-Cordillera Central. El primero está conformado por cuarzodioritas hasta granitos (Acosta *et al.*, 2002) y el segundo por esquistos pelíticos, cuarcitas, mármoles y anfibolitas (Blanco *et al.*, 2014).

A partir de la composición elemental obtenida del FRX se usa la clasificación de arenitas y *shales* de Herron (1988), la cual emplea la relación de concentraciones  $\log (\text{Fe}_2\text{O}_3 [\text{total}]/\text{K}_2\text{O})$  vs  $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ . Esta clasificación se usa para comparar los resultados obtenidos con la petrografía además de que la relación  $\text{Fe}_2\text{O}_3 [\text{total}]/\text{K}_2\text{O}$  permite que las arcosas sean clasificadas más fácilmente. Para esta clasificación (**Figura 4.8**) se tuvieron en cuenta las rocas terrígenas con un porcentaje de CaO menor al 15,0% (>15,0% son rocas carbonáticas). Las muestras de la quebrada Talora y la quebrada Aico son muy parecidas, correspondiendo en la primera a *shales* (12), wacas (12), litoarenitas (2), *shales* ferrosos (1), y arenitas ferrosas (4), mientras en la segunda hay *shales* (5), wacas (4), litoarenitas (2), *shales* ferrosos (2) y arenitas ferrosas (10). La sección del río Yaguaracito claramente muestra una diferencia en cuanto a la composición elemental, la cual concuerda con los resultados petrográficos obtenidos, en esta las rocas son *shales* (3), wacas (3), litoarenitas (3), arcosas (6), subarcosas (2), *shales* ferrosos (5) y arenitas ferrosas (1). Los *shales* y arenitas ferrosas corresponden a rocas que presentan minerales con un alto contenido de Fe, como es la pirita en las lodolitas de Yaguaracito, o las arenitas de Aico y Talora, que presentan glauconita, siderita y óxidos de hierro.

La ausencia de cuarzoarenitas concuerda con la clasificación petrográfica, e indicaría que las rocas no son maduras composicionalmente como resultado de una relativa cercanía a las áreas de aporte. Con respecto al diagrama de clasificación de Herron (1988), hay que tener cuidado con las rocas que sufrieron procesos diagenéticos que puedan alterar la composición elemental, como es el caso de la silicificación que aumenta el contenido de  $\text{Si}_2\text{O}$  en las rocas (SA-1918 en Aico o RY-16 en Yaguaracito).

La composición de los granos terrígenos obtenida con la petrografía y la composición elemental con el FRX, claramente están relacionadas y evidencian que hacia el sur de la cuenca (río Yaguaracito) la Formación Saldaña corresponde a la principal fuente de material terrígeno, mientras que hacia la parte media y norte son el Batolito de Ibagué y el Complejo Cajamarca. Además, la proporción y el tipo de líticos está intrínsecamente relacionada con los medios sedimentarios en los que las limolitas, arenitas y conglomerados se depositan.



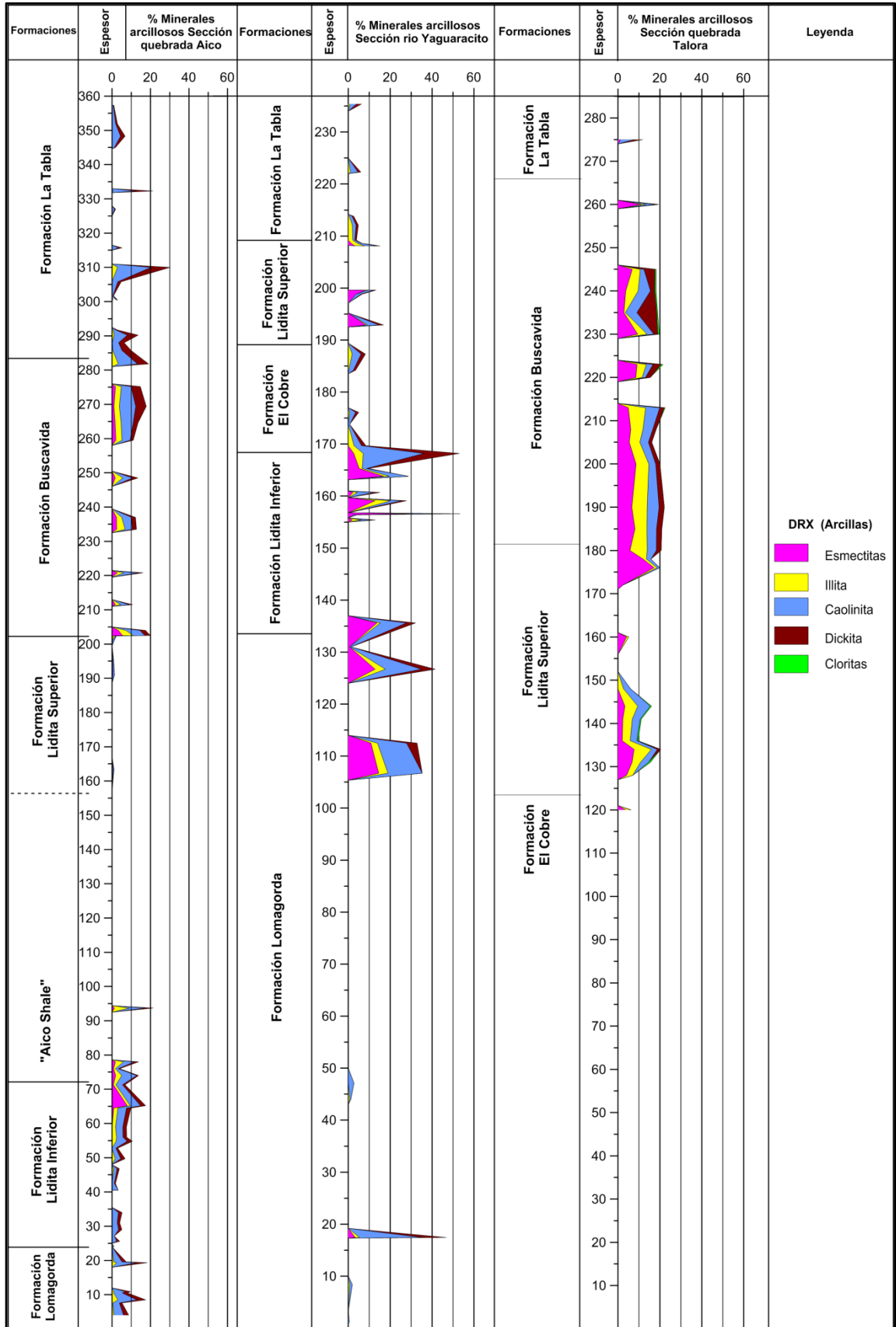
**Figura 4.8** Diagrama de clasificación geoquímica (Herron, 1988) de las rocas terrígenas de las secciones estudiadas. **a)** Sección de la quebrada Talora. **b)** Sección de la quebrada Aico. **c)** Sección del río Yaguaracito. Los colores de los puntos representan la clasificación en muestra de mano y/o petrográfica: conglomerados (negro), arenitas (amarillo), lodolitas (azul) y arenitas y/o limolitas con láminas de lodolitas (rojo).

#### 4.2.2 Cristalinidad y posibles orígenes de los minerales arcillosos

Los minerales arcillosos identificados en las diversas muestras estudiadas durante esta investigación corresponden a caolinita, dickita, illitas, esmectitas, cloritas e interestratificados illito-esmectita (Ver **Anexo F**). Estos son identificados en la mayoría de las rocas pero su abundancia aumenta notoriamente en las rocas terrígenas de grano fino (lodolitas y arcillolitas), aunque también son abundantes en las rocas mixtas. La presencia y proporción de los diferentes tipos de minerales arcillosos están relacionadas principalmente a las áreas de aporte, más que a los procesos diagenéticos, y esto se verá reflejado en sus índices de cristalinidad.

El índice de cristalinidad es un factor que ayuda a determinar el posible origen de los minerales arcillosos identificados (Ehrmann, 2001; Do campo *et al.*, 2010; Bonilla *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2012; Fathy *et al.*, 2018), por lo que este, junto con la asociación de minerales encontrados en cada unidad, constituyen las principales herramientas para determinar su origen.

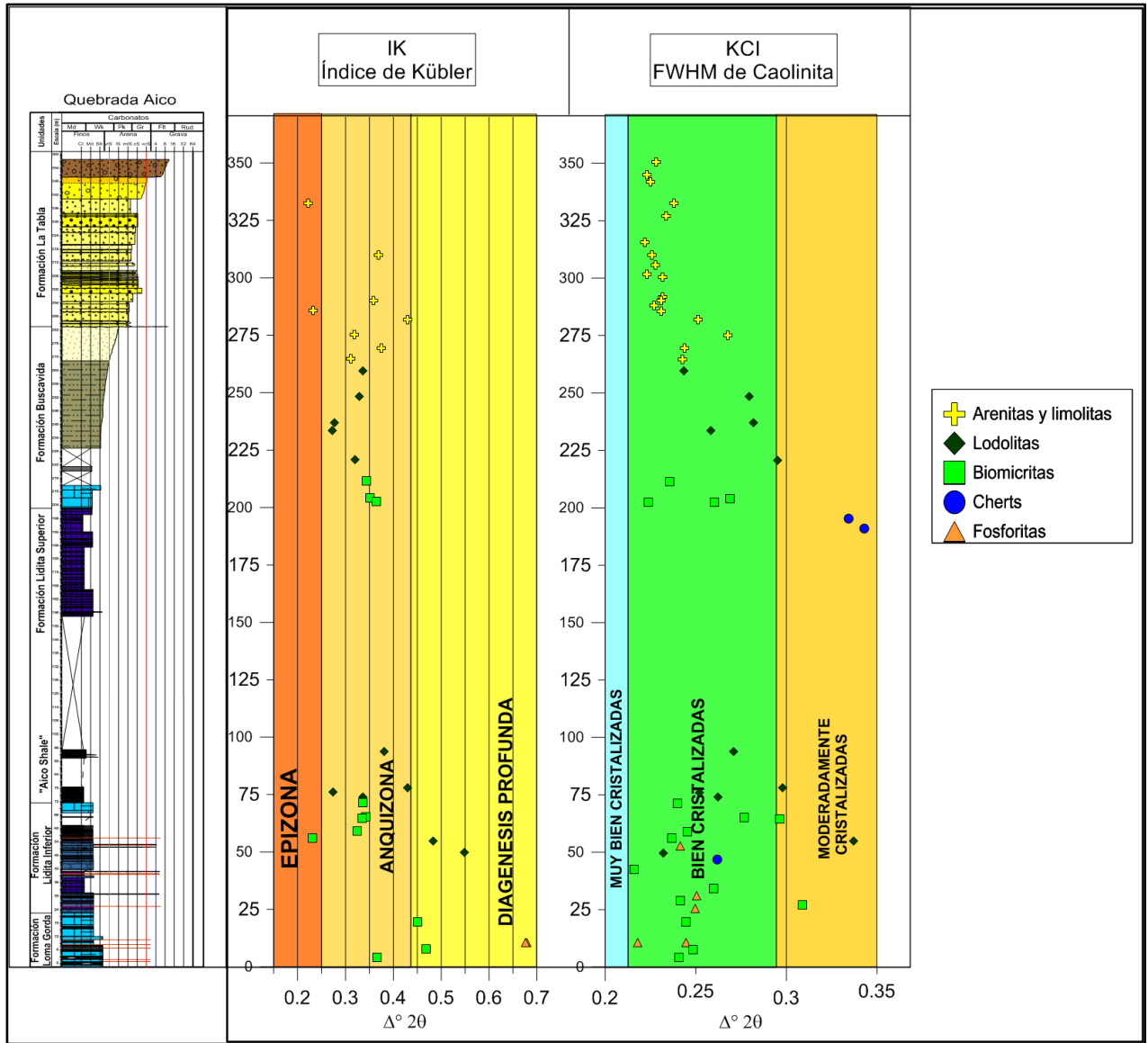
Comparando el contenido de arcillas entre las secciones estudiadas (**Figura 4.9**), se puede evidenciar una mayor proporción de minerales arcillosos en la sección del río Yaguaracito, en especial los del grupo de la esmectita. La sección de la quebrada Talora se caracteriza por la presencia de clorita, la cual se encuentra ausente en la sección de la quebrada Aico y solo aparece en la sección del río Yaguaracito en la Formación Seca. A partir de las cristalinidades obtenidas en las deconvoluciones, se puede corroborar que estas cloritas tienen una buena cristalinidad pues caen en las zonas de epizona y anquizona propuestas por Arkai (1991). Lo anterior permite concluir que debido a que estas rocas no presentan ningún indicio de metamorfismo, las cloritas son minerales heredados producto de la meteorización de rocas metamórficas, posiblemente del Complejo Cajamarca.



**Figura 4.9** Minerales arcillosos de las secciones estudiadas. Nótese la mayor proporción de minerales arcillosos, principalmente del grupo de la esméctica en las secciones del río Yaguaracito (Grafica del medio) y de la quebrada Talora (Grafica de la derecha). En la seccion de la quebrada Talora hay cloritas, no presente en las otras secciones, aunque en muy poco porcentaje.

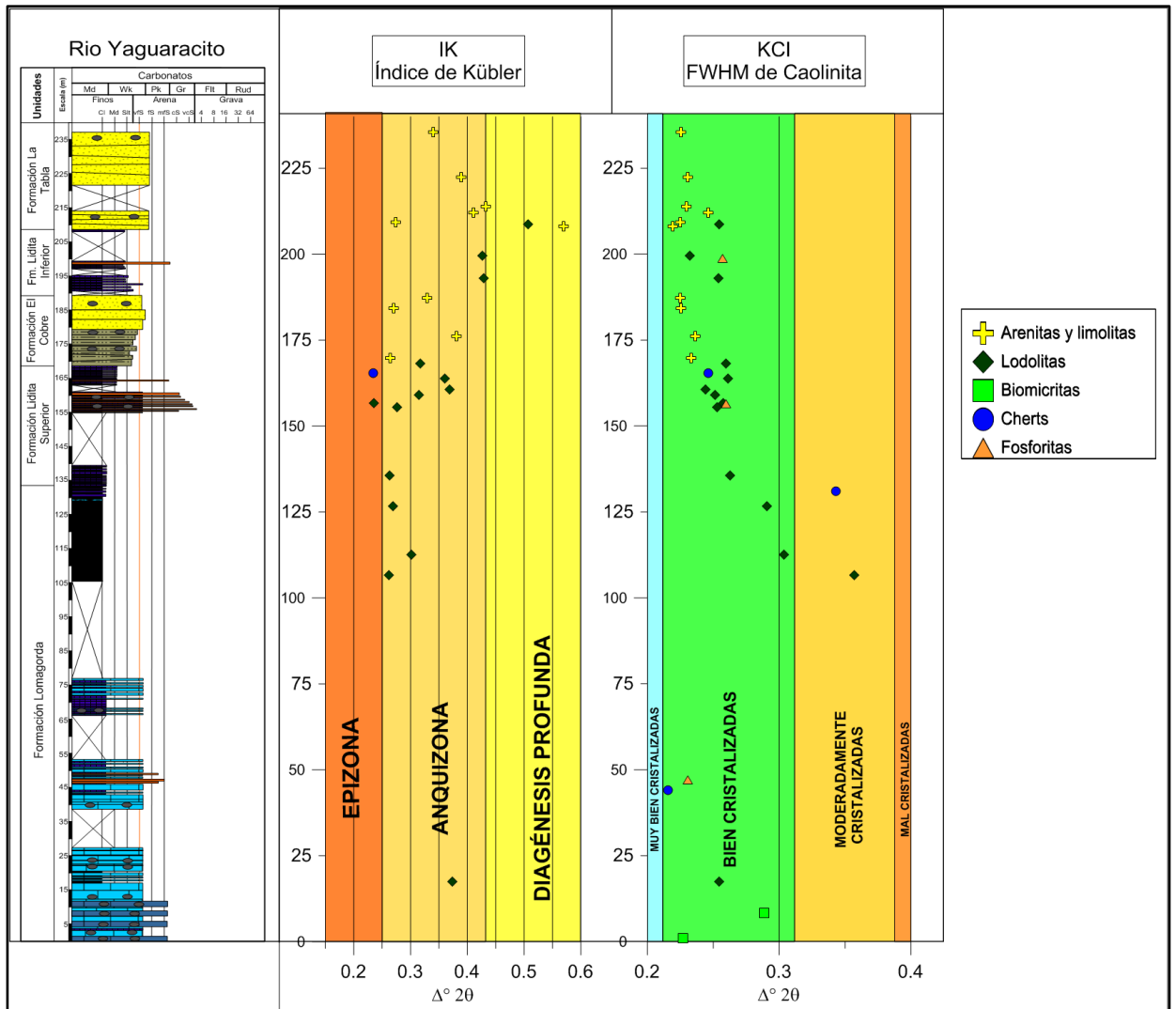
Los índices de Kübler en los FWHM medidos para las illitas y la cristalinidad de las caolinitas obtenidas de las muestras de la quebrada Aico, Yaguaracito y Talora, son mostrados en la **Figura 4.10**, **Figura 4.11** y **Figura 4.12**, respectivamente. Se puede observar, como la gran mayoría de valores caen en el rango de Epizona (zona de metamorfismo bajo) y Anquizona (zona límite entre el metamorfismo de bajo grado y la diagénesis profunda) para los índices de Kübler. Debido a que estas rocas no presentan ningún indicio de metamorfismo, esto indicaría que las illitas son minerales heredados producto de la meteorización de rocas metamórficas, posiblemente del Complejo Cajamarca. Otro dato a tener en cuenta es que este índice fue medido en distintos tipos de roca y no solo en lodolitas, donde algunas illitas presentan valores de cristalinidad en el rango de diagénesis profunda pero sin evidenciarse una tendencia con el enterramiento a lo largo de la columna.

Algo parecido sucede con las cristalinidades de las caolinitas, estando la gran mayoría en el rango de bien cristalizadas; según Bonilla *et al.*, (2011) esto indicaría que se formaron como resultado del proceso de meteorización por exposición de rocas en ambientes continentales. Si partimos de las evidencias genéticas discutidas y sustentadas, que todas las unidades estudiadas se depositaron en ambientes marinos, lo que se estaría indicando a partir de las caolinitas, es que son minerales heredados producto de la meteorización de rocas ígneas ricas en feldespatos, posiblemente correspondiendo a la Formación Saldaña y al Batolito de Ibagué. Los valores de cristalinidad, en las secciones de Aico y Yaguaracito, que caen en el rango de moderadamente cristalizadas corresponden en su mayoría a caolinitas presentes en rocas silicificadas, este proceso diagenético afecta su cristalinidad. Las caolinitas de la sección de la Talora que caen en el rango de moderadamente cristalizadas pueden tener un origen diferente relacionado a un cambio ya sea climático, o distancia relativa a las áreas de aporte. Se puede ver una tendencia de mejor cristalinidad en las caolinitas presentes en las arenitas y limolitas (ver **Sección 4.3**).

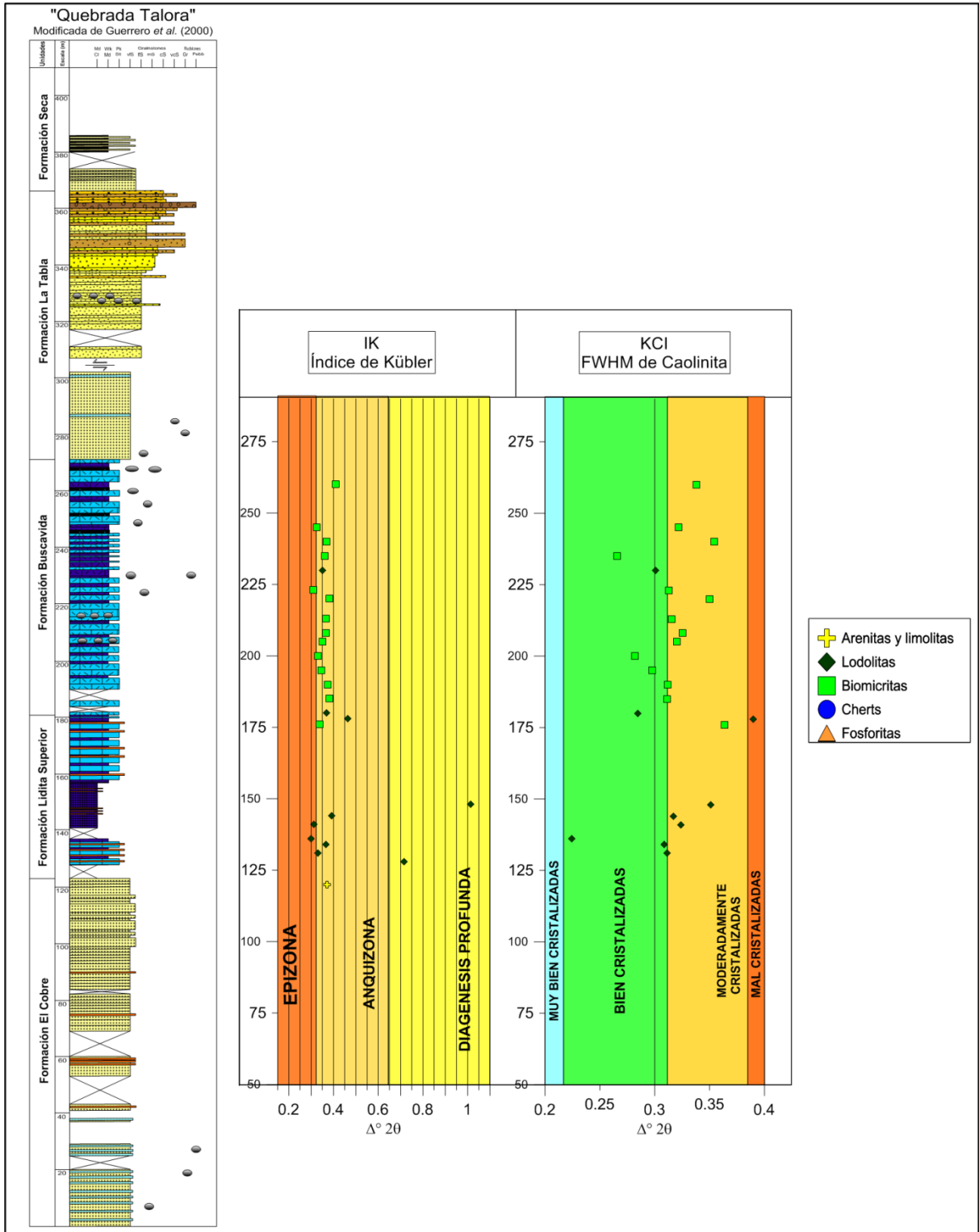


**Figura 4.10** Índices de Kübler de las Illitas y cristalinidad de las Caolinitas, en la sección de Aico. Los rangos de las zonas para el índice de Kübler son tomadas de Warr y Rice (1994) y el de las caolinitas son modificados de acuerdo a lo propuesto por Bonilla *et al.*, (2011).





**Figura 4.11** Índices de Kübler de las Illitas y cristalinidad de las Caolinitas, en la sección de Yaguaracito. Los rangos de las zonas para el índice de Kübler son tomadas de Warr y Rice (1994) y el de las caolinitas son modificados de acuerdo a lo propuesto por Bonilla *et al.*, (2011).



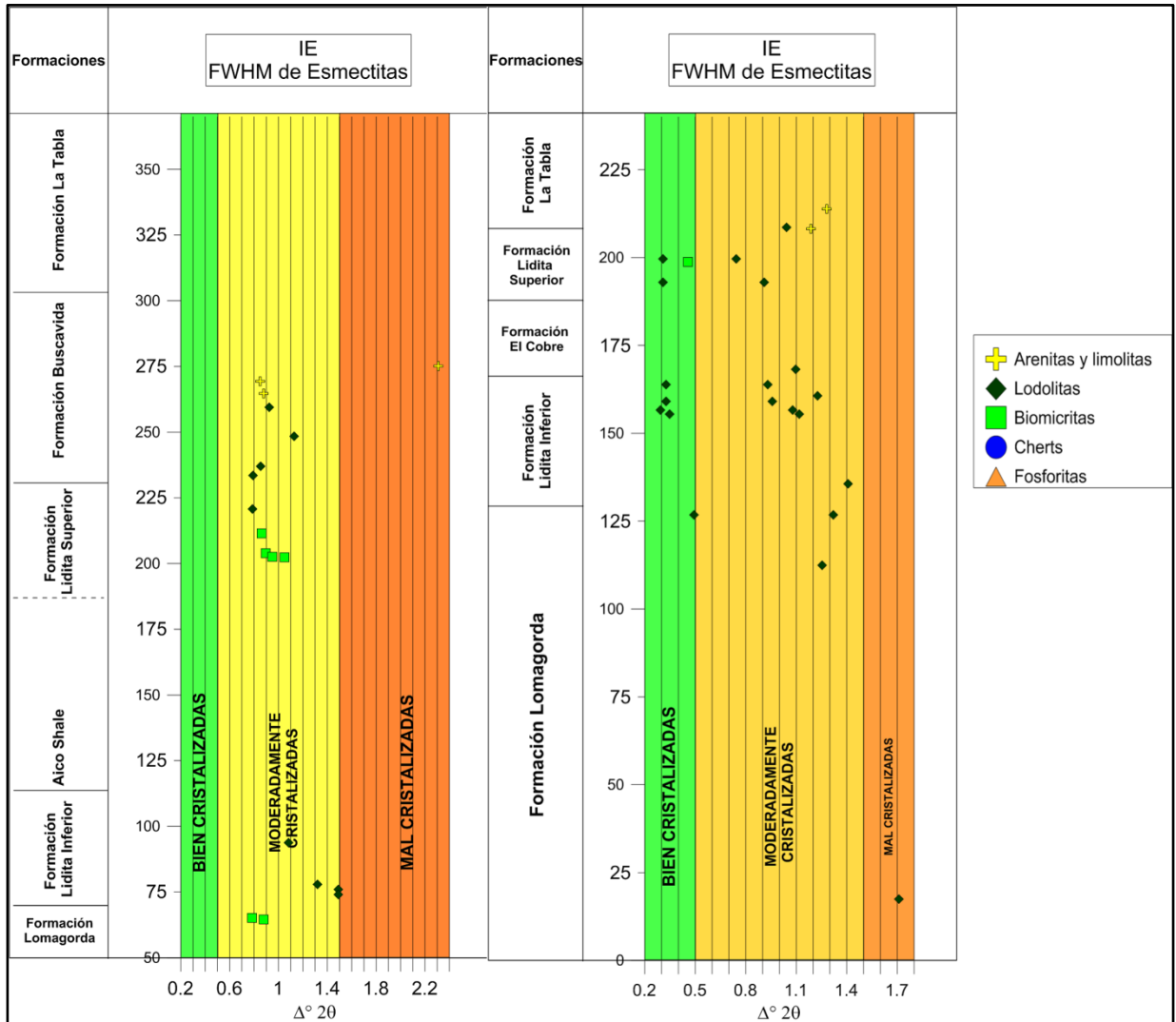
**Figura 4.12.** Índices de Kübler de las Illitas y cristalinidad de las Caolinitas, en la sección de Talora, columnas Modificada de Guerrero *et al.* (2000). Los rangos de las zonas para el índice de Kübler son tomadas de Warr y Rice (1994) y el de las caolinitas son modificados de acuerdo a lo propuesto por Bonilla *et al.*, (2011).

Los minerales arcillosos del grupo de la esmectita presentan un origen más diverso comparándolo con el de las illitas y las caolinitas. A partir de las cristalinidades medidas en las deconvoluciones, se determina que hay dos posibles orígenes. El primero corresponde a la formación de esmectita de origen diagenético a partir de la caída de ceniza volcánica en un ambiente medianamente alcalino, como puede ser un ambiente marino, en el cual la ceniza usualmente se altera a esmectita (Moore y Reynolds, 1997). El segundo corresponde a un material detrítico heredado como producto de la erosión de la roca fuente o de suelos pobremente drenados, o la meteorización de rocas volcánicas (Gao *et al.*, 2012). La cristalinidad de las esmectitas es clave para determinar su origen de manera rápida, sin necesidad de recurrir a métodos para determinar su composición elemental. Las esmectitas neoformadas por alteración de ceniza volcánica, presentan generalmente una buena cristalinidad, mientras las esmectitas heredadas de la erosión y la meteorización presentan malas cristalinidades (Ehrmann, 2001; Do Campo, 2010; Gao *et al.*, 2012). Además las mal cristalizadas por lo general están acompañadas por otros minerales arcillosos (Setti *et al.*, 2001). Teniendo en cuenta esto, la mayoría de las esmectitas identificadas en las secciones Aico, Yaguaracito y Talora corresponden en su mayoría a esmectitas heredadas, solo algunas muestras presentan los dos tipos de esmectitas las bien y las mal cristalizadas indicando una mezcla entre las esmectitas neoformadas y las heredadas por meteorización y erosión, estas últimas se encuentran en las secciones del río Yaguaracito (**Figura 4.13**) y la quebrada Talora, indicando una posible mayor actividad volcánica hacia los extremos sur y norte respectivamente, en la cuenca del Valle Superior del Magdalena.

Solo en dos muestras de la base de la Formación Loma Gorda en la sección de la quebrada Aico, se identificaron interestratificados de illita/esmectita, lo que indicarían que estas muestras sufrieron un mayor grado de diagénesis (transformación mineral de las esmectitas a illita).

La dickita es un politipo de la caolinita, cuyo origen es principalmente relacionado a un grado de diagénesis muy alto, por enterramiento (Worden y Morad, 2003). Al observar las diferentes características diagenéticas (ver **Sección 4.3**) presentes en las rocas, no hay tal grado de diagénesis por lo que la dickita presente posiblemente esté relacionada a

otro origen, como puede ser producto de la disolución de feldespatos potásicos y otros silicatos ricos en Al con el incremento en la temperatura, probablemente en presencia de ácidos orgánicos (Galán, 2006).



**Figura 4.13** Cristalinidad de las esmectitas de las secciones Aico (izquierda) y Yaguaracito (derecha). El rango presentado en este estudio es modificado del propuesto por Ehrmann (2001).

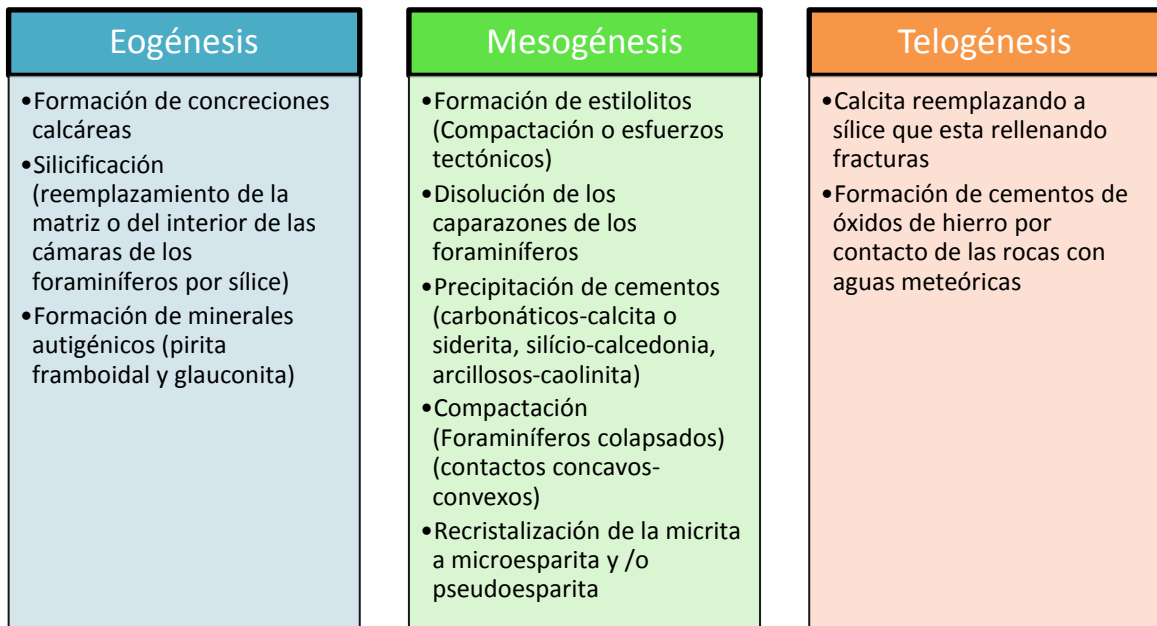
Los minerales arcillosos identificados pueden tener diferentes orígenes. Como se demostró, puede haber mezclas de minerales detríticos y neoformados. El origen de los minerales varía en el tiempo y el espacio, de hecho en un instante dado, los ríos y el viento llevan minerales que son derivados de grandes superficies como son montañas, colinas o planicies. No obstante, llevar la interpretación netamente a conclusiones paleo-

climáticas de conjuntos arcillosos en sedimentos puede conducir a errores, si la historia global de las condiciones genéticas no es tomada en cuenta (Meunier, 2005).

Al observar la alta cristalinidad de la mayoría de los minerales arcillosos identificados (illitas, caolinitas y cloritas), se puede concluir que estos son producto de la meteorización de las rocas en las áreas de aporte, que posteriormente son transportadas al interior de la cuenca. Solo algunas esmectitas encontradas en las secciones de Yaguaracito y Talora indicarían que son neoformadas producto de la alteración de ceniza volcánica en un ambiente marino. Por último, la mayor cantidad de minerales arcillosos presentes en las muestras de la sección del río Yaguaracito reflejan la mayor cercanía a las áreas de aporte, comparándola con la sección de la quebrada Aico.

### 4.3 Anotaciones sobre la diagénesis

Los procesos diagenéticos identificados en las dos secciones son variados y presentan diferentes grados de intensidad, por lo que serán discutidos desde los regímenes diagenéticos: eogénesis, mesogénesis y por último telogénesis (**Figura 4.14**).



**Figura 4.14.** Procesos diagenéticos identificados en las rocas de las formaciones estudiadas, y su temporalidad en los tres regímenes diagenéticos.

La Formación Loma Gorda en ambas secciones presenta un gran número de concreciones calcáreas, estas pueden variar en tamaño desde más de 1 m a menos de 1

cm de espesor, estas concreciones pueden formarse durante dos etapas: singenéticas formadas en el tiempo del depósito del sedimento que las contiene, o epigenéticas formadas posterior a la litificación del estrato que los contiene. Una característica para determinar si es singenética es la manera en la cual los estratos se curvan o “fluyen” alrededor de la concreción, lo cual indicaría un desarrollo temprano, y la subsecuente compactación del lodo más blando alrededor de ellas (Weeks, 1953). Dentro de las concreciones también hay varios procesos diagenéticos como son: recristalización de la micrita a microesparita, y el reemplazamiento de radiolarios y granos de cuarzo por el carbonato de calcio. Las biomicritas presentan un reemplazamiento de la matriz de lodo calcáreo (micrita) y algunos aloquímicos por sílice microcristalina, lo que se conoce como silicificación. Esta presenta diferentes grados desde rocas parcialmente silicificadas hasta totalmente silicificadas (segundo segmento en la sección del río Yaguaracito). La formación de pirita framboidal como mineral autigénico, es común en las biomicritas y en ocasiones se encuentra reemplazando los caparazones de los foraminíferos, esta se forma en ambientes reductores o en microambientes reductores asociados con la descomposición de materia orgánica (Scholle y Ulmer-Scholle, 2003).

Las biomicritas también presentan disolución de los caparazones de los foraminíferos, esto se debe a la compactación generada por el enterramiento, esa disolución junto con la presencia de estilolitos (concentración de materiales insolubles a lo largo de una superficie irregular) como consecuencia de esa compactación, reflejarían el régimen de la mesogénesis. En las capas de fosforitas este régimen se ve reflejado en la precipitación de cemento calcáreo, el cual rellena la porosidad primaria de las rocas y al mismo tiempo reemplaza a los aloquímicos del armazón. El tercer segmento de la unidad en el río Yaguaracito está conformada por lodolitas fósiles (*shales*), compuestas por los minerales arcillosos: esmectitas, illitas, caolinita y dickita, la no presencia de inter-estratificados illita/esmectita permitiría concluir que la diagénesis no fue lo suficientemente alta para que la esmectita comenzara a transformarse a illita (diagenética) (Moore y Reynolds, 1997; Meunier, 2005). Algunas de las biomicritas presentan fracturas las cuales pueden estar rellenas de dos tipos de cemento, sílice microcristalina y calcita. La calcita parece estar reemplazando a la sílice microcristalina, lo que indicaría que esta corresponde a un evento posterior, posiblemente reflejando la telogénesis.

En las Formaciones Lidita Inferior y Lidita Superior el principal proceso diagenético corresponde a la silicificación, esta se ve evidenciada en un reemplazamiento parcial a

total de la matriz calcárea por microcristales de cuarzo, al igual que los aloquímicos que pueden estar parcial (solo el interior de las cámaras) o totalmente reemplazados (solo se puede observar un molde). También hay concreciones calcáreas pero en menor cantidad, que por la deformación de las capas circundantes se confirma su formación temprana (eogénesis). Al igual que en las rocas de la Formación Loma Gorda es común encontrar cristales de pirita framboidal, algunos reemplazando los caparzones de los foraminíferos y de los radiolarios.

La compactación de las capas de biomicritas silicificadas se ve reflejada en la presencia de foraminíferos colapsados. En las capas de fosforitas de la Formación Lidita Inferior en el río Yaguaracito, es común encontrar cristales de calcedonia como cemento relleno llenando la porosidad primaria y reemplazando a los componentes del armazón, mientras en las fosforitas de la misma unidad pero en la quebrada Aico el cemento calcáreo es más común. Hay nódulos de chert totalmente silicificados en la Lidita Superior de Aico, estos presentan un gran número de fracturas rellenas primero por sílice microcristalina y posteriormente reemplazadas por carbonatos, esto podría indicar el régimen de telogénesis.

Los procesos diagénéticos sufridos por las rocas de "Aico Shale" corresponden a silicificación parcial de la matriz mixta (minerales arcillosos y micrita), también hay formación de pirita framboidal, ocupando en ocasiones el interior de las cámaras de los foraminíferos. Como diagénesis rmedia (mesogénesis?), hay estilolitos verticales al igual que fracturas rellenas de calcita. A pesar que los estilolitos se forman horizontalmente en respuesta a la sobrecarga, también pueden ser respuesta a la presión tectónica a altos ángulos con respecto a la laminación (Nichols, 2009). Las arcillolitas de esta unidad están conformadas por minerales arcillosos como son: esmectitas, illitas, caolinita y dickita, la falta de inter-estratificados illito/esmectita indicaría que la diagénesis sufrida por estas rocas no fue lo suficientemente alta, para que empezara el proceso de transformación de illita a partir de la esmectita (Moore y Reynolds, 1997; Meunier, 2005).

En la Formación El Cobre en el río Yaguaracito, la diagénesis es muy diferente debido a que estas son rocas clásticas, por lo que primero hay formación de minerales autigénicos como la glauconita, generada en la interface agua sedimento durante la eogénesis (Velde, 1992). Segundo, la compactación sufrida por estas rocas es evidenciada en los

contactos cóncavos-convexos predominantes entre los granos de cuarzo y feldespatos, estos se forman por el comienzo de la disolución en los bordes de los granos por sobrecarga (Nichols, 2009). Posterior a la compactación, el cemento calcáreo y el sobrecrecimiento de caolinita rellenan la escasa porosidad primaria, el primero además corroe los bordes de los granos terrígenos. Estos cementos indican el régimen de la mesogénesis.

La diagénesis sufrida por las rocas de la Formación Buscavida es variable y depende de la litología predominante, el primer segmento conformado por biomicritas arcillosas presenta como minerales autigénicos pirita framboidal, y una leve silicificación de la matriz mixta (micrita y minerales arcillosos), estos se dan durante la eogénesis. Hay foraminíferos colapsados además de estilolitos con materia orgánica, indicando la compactación sufrida durante la mesogénesis. En el tercer y cuarto segmento hay glauconita formada durante la eogénesis. El cemento calcáreo es común y se encuentra reemplazando a los granos terrígenos, o recristalizando a los foraminíferos bentónicos. En el cuarto segmento conformado por arenitas los contactos longitudinales predominan e indican una compactación moderada durante la mesogénesis.

Para la Formación La Tabla los procesos diagenéticos son variables entre las dos columnas, en el río Yaguaracito es común la presencia de concreciones calcáreas y de glauconita formada durante la diagénesis temprana (eogénesis). En la mesogénesis la precipitación de cemento calcáreo reemplaza a los granos terrígenos y/o recristaliza los escasos foraminíferos bentónicos, además hay sobrecrecimiento de sílice en los bordes de los granos de cuarzo. Los contactos cóncavos-convexos son dominantes e indican un grado de compactación moderado a fuerte. En la quebrada Aico también hay glauconita formada durante la diagénesis temprana, con la diferencia que esta se encuentra oxidada (colores amarillosos). Los contactos entre los granos son principalmente longitudinales indicando una compactación moderada.

No hay cemento calcáreo, pero predomina el cemento de siderita, que puede ocurrir donde hay una mezcla de agua de mar y agua dulce bajo condiciones reductoras (Nichols, 2009). También puede formarse durante la eogénesis en depósitos marinos, donde es precipitado de aguas de poro marinas o meteóricas, no sulfúricas o subóxicas. En adición, el cemento de siderita puede comúnmente precipitar durante la mesogénesis



(Ulmer-Scholle *et al.*, 2015). Además del cemento de siderita también hay nódulos conformados por más del 80,0% del mismo mineral. Otro tipo de cemento en las arenitas de la Tabla es el de pirita, presente en nódulos entre los granos de cuarzo y este puede formarse durante la eogénesis. Algunos granos terrígenos posiblemente feldespatos son reemplazados en su totalidad por caolinita. Hacia los segmentos superiores de la unidad el cemento más común corresponde a óxidos de hierro (goethita), este puede haberse formado durante la telogénesis, cuando las rocas entran en contacto con aguas meteóricas (Boggs, 2009).

#### **4.4 Importancia económica de las unidades del Cretácico Superior**

La cuenca del Valle Superior del Magdalena es una de las cuencas de hidrocarburos más prolíficas en Colombia, esto se ve reflejado en los más de 18 millones de barriles de petróleo que produce por año en 28 campos (Barrero *et al.*, 2007). Los mayores reservorios en la cuenca están principalmente asociados a la sucesión Cretácica, que corresponde a buena parte de las unidades estudiadas. Las rocas de la Formación Loma Gorda pertenecerían a una de las rocas generadoras de la cuenca, las cuales podrían en un futuro ser exploradas para yacimientos no convencionales, mientras las rocas de la Formación La Tabla son una de las principales rocas reservorio. Estudios, como los que se llevaron a cabo, permiten comprender mejor la correlación de las unidades a lo largo de toda la cuenca. Por ejemplo, la Formación el Cobre puede comportarse como una roca reservorio hacia el norte y sur de la Cuenca, pero en la parte media lo que sería la unidad "Aico Shale" se comportaría más como una roca sello, debido a que se compone principalmente de lodolitas. La diagénesis es un factor a tener en cuenta al momento tanto de explorar como explotar los hidrocarburos generados y acumulados, ya que esta puede ayudar o afectar tanto la porosidad como la permeabilidad. Por ejemplo, la gran cantidad de cementos presentes en las arenitas de la Formación La Tabla disminuyen la porosidad primaria. Los análisis de proveniencia pueden mejorar el entendimiento de la distribución y calidad del reservorio (Smyth *et al.*, 2014). La Formación La Tabla, a pesar que su área de aporte corresponde a la ancestral Cordillera Central, las unidades que aportan el material terrígeno son distintas al sur y al norte de la cuenca, en el sur abundan los feldespatos mientras en el norte predominan los líticos metamórficos de cuarcitas.

Además que estas unidades son importantes para la exploración y explotación de hidrocarburos, también son fuente de un elemento esencial para la agricultura, el fósforo. El interés inicial es derivado de la importancia como materia prima para la producción de fosfato fertilizante. Junto con el potasio y el nitrógeno, el fósforo es crítico para el crecimiento de las plantas; pero mientras el K y el N están relativamente disponibles en varias fuentes, el fósforo puede solo ser obtenido en grandes cantidades de depósitos de fosforitas (Glenn y Garrison, 2003). Por esta razón las formaciones Loma Gorda, Lidita Inferior y Lidita Superior presentan un gran valor económico, pues son las unidades que presentan la mayor cantidad de capas de fosforitas y con mayor espesor. En la quebrada Aico las capas de fosforitas no son tan abundantes ya que su espesor máximo es de 10 cm, mientras en el río Yaguaracito pueden tener una mayor probabilidad de explotación, debido a que contiene mayor cantidad de capas (en especial en la Lidita Inferior) y presentan mayores espesores (hasta 25 cm). El esbozo de las facies presentado en este estudio permite plantear criterios de exploración al entender de manera más precisa las direcciones en las que la cuenca presenta las mejores posibilidades. Hay que tener en cuenta que rocas con componentes fosfáticos entre 5 y 50% (en volumen), son fosfáticas; mientras rocas fosfáticas con altas concentraciones de fosfatos (10-15% de  $P_2O_5$ ) son llamadas fosforitas (Ptáček, 2016). Esto último es muy importante ya que, al revisar los análisis de fluorescencia, hay capas de fosforitas que presentan un porcentaje de  $P_2O_5$  mucho menor debido a que sufrieron procesos diagenéticos que reemplazan los fosfatos por sílice o carbonato.

## 5. Conclusiones

Las unidades del Cretácico Superior se depositaron en ambientes marinos en una plataforma continental, como queda evidenciado en su composición, textura, contenido fósil y estructuras sedimentarias, con excepción de las rocas de la Formación Seca, como lo indican la presencia de conglomerados y arenitas intercaladas con arcillolitas varicoloreadas (paleosuelos).

Las biomicritas de la Formación Loma Gorda se depositaron en un ambiente de mar abierto (*Offshore*), donde eventos de mayor energía (tormentas) quedan registrados por las capas de fosforitas. En la sección del río Yaguaracito el segmento del tope se depositó en un ambiente de mar abierto (*Offshore*) a frente costero inferior (*Lower Shoreface*). Posterior a las biomicritas se depositan las biomicritas silicificadas (capas chert) de la Formación Lidita Inferior, también en un ambiente de mar abierto (*Offshore*) hacia la base a frente costero inferior (*Lower Shoreface*) al tope, en este intervalo también son abundantes las capas de fosforitas indicando eventos de mayor energía (tormentas). Las limolitas y arenitas de la Formación El Cobre en la sección del Yaguaracito se depositaron en un ambiente de frente costero inferior (*Lower Shoreface*) a frente costero medio (*Middle Shoreface*), mientras en la sección de la quebrada Aico la unidad equivalente ("Aico Shale") se depositó en un ambiente de mar abierto (*Offshore*). Las biomicritas silicificadas (capas de chert) de la Formación Lidita Superior se depositaron en un ambiente de mar abierto (*Offshore*), pero el tope de la unidad en el río Yaguaracito se deposita en un ambiente de frente costero inferior (*Lower Shoreface*); en este intervalo las capas de fosforitas son menos comunes y presentan poco espesor. Las rocas mixtas de la Formación Buscavida se depositaron en un ambiente de mar abierto proximal/frente costero inferior (*Upper Offshore/Lower Shoreface*) en la base, a frente costero superior (*Upper Shoreface*) en el tope. El ambiente de depósito de la Formación La Tabla fue muy diferente entre las dos secciones, en la sección de Yaguaracito las arenitas se depositaron en el frente costero medio (*Middle Shoreface*) a frente costero

superior (*Upper Shoreface*), mientras en la sección de la quebrada Aico las arenitas se depositaron en ambientes deltaicos, representados por canales distributarios en el primero, tercero y cuarto segmento, ambientes de playa en el segundo segmento, el quinto y el sexto son canales distributarios de mayor energía. Por último, las arenitas conglomeradas y lodolitas rojizas (paleosuelos) de la Formación Seca se depositaron en un ambiente fluvial.

Los límites entre las unidades se pueden identificar con el aumento y la disminución de los componentes terrígenos (granos de cuarzo, líticos, feldespatos y minerales arcillosos), además de indicar las somerizaciones y profundizaciones que tienen lugar en la cuenca del VSM.

El área de aporte para las unidades del Cretácico Superior en el Valle Superior del Magdalena corresponde a la ancestral Cordillera Central, esto es evidenciado en la abundancia de líticos metamórficos de cuarcitas, líticos volcánicos, escasos líticos de esquistos, feldespatos potásicos, y en la buena cristalinidad de las illitas y las caolinitas presentes en las lodolitas, que indicarían que son minerales heredados producto de la meteorización de rocas metamórficas e ígneas. A pesar de que el área de aporte es la ancestral Cordillera Central, hay diferencias en las unidades que aportan el material terrígeno de norte a sur de la cuenca, por ejemplo, hacia el norte y centro de la cuenca correspondería al Batolito de Ibagué y el Complejo Cajamarca, mientras hacia el sur el mayor aporte sería de la Formación Saldaña. Esto se ve reflejado no solo en la proporción de líticos y feldespatos, sino también en la presencia de minerales arcillosos que no se identifican en todas las secciones, por ejemplo, la clorita solo está presente en la sección de la quebrada Talora.

Los procesos diagenéticos son variados a lo largo de todas las secciones, siendo la silicificación la que más afecta a las biomicritas de las formaciones Loma Gorda, Lidita Inferior y Lidita Superior. Las concreciones calcáreas están presentes a lo largo de las dos secciones y se formaron durante la eogénesis. La precipitación de distintos cementos se da en la mesogénesis, siendo común el calcáreo en las arenitas y limolitas de las formaciones El Cobre, Buscavida y La Tabla en la sección de Yaguaracito. Otros cementos son el sobrecrecimiento de sílice sobre los bordes de los granos de cuarzo, el sobrecrecimiento de caolinita, calcedonia (presente solo en algunas fosforitas), cristales

de siderita y pirita, los dos últimos presentes en las arenitas y conglomerados de la Formación La Tabla, pero en la sección de Aico. La compactación de las rocas durante la mesogénesis se ve reflejada en la presencia de foraminíferos colapsados y estilolitos en las biomicritas y en los contactos cóncavos-convexos y longitudinales en las arenitas y limolitas. En las lodolitas de las formaciones Loma Gorda y “Aico Shale”, la falta de interestratificados illita/esméctica indicaría una diagénesis baja. La telogénesis se ve reflejada en el reemplazamiento de la sílice, que se encuentra relleno de las fracturas en cherts, por calcita, y en la precipitación de óxidos de hierro en las arenitas de la Formación La Tabla en la sección de Aico.

Las unidades del Cretácico Superior presentan un gran valor económico debido a que corresponden a las principales rocas generadoras, reservorio y sello en la cuenca del Valle Superior del Magdalena. Además de su importancia en la industria de los hidrocarburos también son fuente de fósforo, presente en las capas de fosforitas, el cual es utilizado para la fabricación de fertilizantes.

## Bibliografía

ACOSTA, J., GUATAME, R., CAICEDO, J. C. y CÁRDENAS J. (2002): Memoria explicativa mapa geológico de Colombia Plancha 245, Girardot.

ACOSTA, J. GUATAME, R., TORRES, O. y SOLANO, F. (1999): Geología de la Plancha 245 Girardot, INGEOMINAS, Bogotá.

ALLEN, P y ALLEN, J. (2005): Basin Analysis, Principles and Applications, Second Edition. 562 p., Blackwell Publishing.

ÁRKAI, P. (1991): Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity, coal rank and mineral facies as exemplified by Palaeozoic and Mesozoic rocks of northeast Hungary. *Journal of Metamorphic Geology*, 9(6), 723–734. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1991.tb00561.x>

BARRAGÁN, S y SANCHEZ, C.A. (2021): Paleoenvironmental inferences based on benthic foraminifera from the Uitpa Formation (Guajira, Colombia). *Micropaleontology*. In press.

BARRERO, D., PARDO, A., VARGAS, C. a., y MARTÍNEZ, J. F. (2007): Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Agencia Nacional de Hidrocarburos - A.N.H.-. <https://doi.org/ISBN: 978-958-98237-0-5>

BARRIO, C. A., y COFFIELD, D. Q. (1992): Late Cretaceous stratigraphy of the Upper Magdalena Basin in the Payande-Chaparral segment (western Girardot Sub-Basin), Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 5, 2, 123–139. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90034-V](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90034-V).

BERMUDÉZ, H. D. (2004): Estratigrafía del Grupo Olini en el borde occidental de la Cuenca. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. Ciudad Universitaria, 1–37. Retrieved from [http://www.academia.edu/1595554/Estratigrafía\\_del\\_Grupo\\_Olini\\_en\\_el\\_borde\\_occidental\\_de\\_la\\_Cuenca\\_del\\_Valle\\_Superior\\_del\\_Magdalena\\_Colombia](http://www.academia.edu/1595554/Estratigrafía_del_Grupo_Olini_en_el_borde_occidental_de_la_Cuenca_del_Valle_Superior_del_Magdalena_Colombia).

BHATTACHARYA, J. (2010): Deltas –In James N. y Dalrymple R. (ed.) *Facies Model 4*. Geological Association of Canada, pp. 233-264.

BLANCO, I., GARCÍA, A., TORO, L., MORENO, M., RUIZ, E., VINASCO, C., CARDONA, A., LÁZARO, C. y MORATA, D. (2014): Late Jurassic terrane collision in the northwestern

margin of Godwana (Cajamarca Complex, eastern flank of the Central Cordillera, Colombia). *International Geology Review*, <http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2014.963710>

BOGGS, S. (2009): *Petrology of Sedimentary Rocks* (2nd ed.), 612 p., Cambridge University Press, New York.

BONILLA, G., SARMIENTO, G., y GAVIRIA, S. (2011): Proveniencia y transformación diagenética de minerales arcillosos del Maastrichtiano - Paleoceno al norte de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia. *Geología Colombiana.*, 36(1), 179–195.

BÜRGL, H. (1961): Geología de los alrededores de Ortega, Tolima. *UIS, Boletín de Geología*. 8, 21-38.

BÜRGL, H., y DUMMIT, T. (1954): El Cretácico Superior de la región de Girardot. *INGEOMINAS, Boletín Geológico*, 2, 1, 23–48. Bogotá.

CAMPBELL, C. V. (1967): Lamina, laminaset, bed and bedset. *Sedimentology* 8, 7-26.

CARVAJAL, C., FUQUEN, J., y GÓMEZ, L. (1993): Geología de la Plancha 282 Chaparral. *INGEOMINAS*, 88. Bogotá.

CHAMLEY, H. (1989): *Clay Sedimentology*. 626 p., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

DÍAZ, L. (1994): Reconstrucción de la cuenca del Valle Superior del Magdalena, a finales del Cretácico. *Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena*, pp XI-1-XI-13, Bogotá.

DO CAMPO, M., DEL PAPA, C., NIETO, F., HONGN, F., y PETRINOVIC, I. (2010): Integrated analysis for constraining palaeoclimatic and volcanic influences on clay-mineral assemblages in orogenic basins (Paleogene Andean foreland, Northwestern Argentina). *Sedimentary Geology*, 228(3–4), 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.04.002>

DUNHAM, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. – In: Ham, W.E. (ed.): *Classification of carbonate rocks. Memoir 1, American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, OK; 108–121.

EHRMANN, W. (2001): Variations in Smectite Content and Crystallinity in Sediments from CRP-3. *Terra Antarctica*, 8 (4), 533–542.

EMBRY, A.F. y KLOVAN, J.E. (1971): A late Devonian reef tract on north-eastern Banks Island, Northwest Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19, 730–781.

ETAYO SERNA, F. y FLOREZ, M. (1994): Estratigrafía y estructura de la quebrada Calambe y El Cerro El Azúcar, Olaya Herrera, Tolima. *Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena*, pp XII-1-XI-23, Bogotá.

FATHY, D., WAGREICH, M., GIER, S., MOHAMED, R. S. A., ZAKI, R., y EL NADY, M. M. (2018): Maastrichtian oil shale deposition on the southern Tethys margin, Egypt:

Insights into greenhouse climate and paleoceanography. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 505(May), 18–32. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.05.017>

FLÜGEL, E. (2010): *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application* (2nd ed.). 1006 p., Springer-Verlag, Berlin.

FOLK, R. L. (1954): The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature. *The Journal of Geology*, 62, 4, 344–359. <https://doi.org/10.1086/626171>.

FOLK, R.L. (1959): Practical petrographical classification of limestones. – *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 43, 1-38.

FOLK, R. L. (1974): *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Pub Co, 170p. Austin, Texas.

FÖLLMI, K.B. (1996): The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich deposits. *Earth-Science Reviews* 40: 55-124.

FRISCH, W., Meschede, M., and Blakey, R. (2011): *Plate Tectonics: Continental Drift and Mountain Building*. Heidelberg: Springer.

FUQUEN, J., TELLO, A. y ACOSTA, J. (1993): *Geología de la Plancha 282 “Chaparral-Tolima” Colombia*.

GALÁN, E. (2006): Genesis of Clay Minerals. –In Bergaya, F., Theng B. y Lagaly, G (ed.) *Developments in Clay Science*, 1(C), 1129–1162. [https://doi.org/10.1016/S1572-4352\(05\)01042-1](https://doi.org/10.1016/S1572-4352(05)01042-1)

GAO, Y., WANG, C., LIU, Z., ZHAO, B., y ZHANG, X. (2013): Clay mineralogy of the middle Mingshui Formation (upper Campanian to lower Maastrichtian) from the SKIn borehole in the Songliao Basin, NE China: Implications for paleoclimate and provenance. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 385, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.10.038>

GLENN, C. y GARRISON, E. (2003): Phosphorites. –In Middleton, G. (ed.) *Encyclopedia of Sediments and sedimentary rocks*, pp. 519-526, Springer.

GÓMEZ, E., y PEDRAZA, P. (1994): *Análisis estratigráfico del Cretácico Superior terminal en el extremo sur del Valle Medio del Magdalena*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.

GÓMEZ, E., JORDAN, T. E., ALLMENDINGER, R. W., HEGARTY, K., KELLEY, S., y HEIZLER, M. (2003): Controls on architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic southern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. *Bulletin of the Geological Society of America*, 115(2), 131–147. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2003\)115<0131:COAOTL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2003)115<0131:COAOTL>2.0.CO;2)



GUERRERO, J., SARMIENTO, G., y NAVARRETE, R. E. (2000): The Stratigraphy of the W Side of the Cretaceous Colombian Basin in the Upper Magdalena Valley. Reevaluation of Selected Areas and Type Localities Including Aipe, Guaduas, Ortega, and Piedras. *Geología Colombiana*, 25(25), 45–110. <https://doi.org/10.15446/gc>

GUERRERO J., MEJÍA A. & OSORNO J. (2020): Detrital U–Pb Provenance, Mineralogy, and Geochemistry of the Cretaceous Colombian Back–Arc Basin. Gómez, J. & Pinilla–Pachon, A.O., editors. 2020. *The Geology of Colombia, Volume 2 Mesozoic*. 261–298. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales, Bogotá.

HERNÁNDEZ, S. (2016): Mineralogía del Cretácico Superior de las unidades aflorantes de la Quebrada Talora, Piedras Tolima. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.

HERRERA, S. (2021): Procesos de Silicificación de las Unidades del Turoniano – Campaniano en la Cuenca Cretácica Colombiana. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.

HERRON, M. (1988): Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data. *Journal of Sedimentary Petrology* 58 (5), 820–829.

LECKIE, R. M., YURETICH, R. F., WEST, O. L. O., FINKELSTEIN, D., y SCHMIDT, M. (1998): Paleooceanography of the Southwestern Western Interior Sea During the Time of the Cenomanian-Turonian Boundary (Late Cretaceous). *Stratigraphy and Paleoenvironments of the Cretaceous Western Interior Seaway, USA*, 6(6), 101–126. <https://doi.org/10.2110/csp.98.06.0101>

MARQUÍNEZ G., MORALES, C. y CAICEDO, J. (2002): Memoria Explicativa mapa geológico de Colombia Plancha 344, Tesalia.

MARQUÍNEZ G., MORALES, C. y NUÑEZ, A. (2006): Geología de la Plancha 344 Tesalia, INGEOMINAS, Bogotá.

MCCARTHY, K., ROJAS, K., NIEMANN, M., PALMOWSKI, D., PETERS, K. y STANKIEWICZ, A. (2011): La geoquímica básica del petróleo para la evaluación de las rocas generadoras. *Oilfield Review*, 23(2): 36–47.

MEUNIER, A. (2005): *Clays*. 472 p., Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

MOJICA, J. y LLINAS, R. (1984): Observaciones recientes sobre las características del basamento económico del Valle Superior del Magdalena en la región de Payane-Rovira (Tolima, Colombia), y en especial sobre la estratigrafía y petrografía del Miembro Chicala (=parte baja de la Formación Saldaña). *Geología Colombiana* 13, pp. 81–128, Bogotá.

MOJICA, J. y FRANCO, R. (1990): Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena.- *Geología Colombiana* 17, pp. 41–64, Bogotá.

MOORE, D. y REYNOLDS, R. (1997): X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. 373 p., Oxford University Press, New York.

MOUNT, J. (1985): Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. *Sedimentology* 32(3), 435-442.

NICHOLS, G. (2009): *Sedimentology and Stratigraphy* (2nd ed.). 432 p., Wiley-Blackwell, Chichester, UK.

PATARROYO, P. (2011): Sucesión de amonitas del Cretácico Superior (Cenomaniano-Coniaciano) de la parte más alta de la Formación Hondita y de la Formación Loma Gorda en la Quebrada Bambucá, Aipe-Huila (Colombia, S.A.). *Boletín de Geología UIS*, 33(1), 69–92. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttextpid=S0120-02832011000100006&lng=en&nrm=isoyt&lng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0120-02832011000100006&lng=en&nrm=isoyt&lng=es).

PEMBERTON, G., MACEACHERN, J., DASHTGARD, S., BANN, K., GINGRAS, M. y ZONNEVELD, J. (2012): Shorefaces. –In Knaust D. y Bromley R. (ed.) *Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments*. *Developments in sedimentology* 64, Elsevier, pp. 562-603.

PETTERS, V. (1954): Typical foraminiferal horizons in the Lower Cretaceous of Colombia. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research Contributions*, Contract, 112, 5, 128–137.

PETTIJOHN, F.J. (1975) *Sedimentary Rocks* (3rd edition). Harper and Row, New York.

PLINT, G. (2010): Wave- and Storm-Dominated Shoreline and Shallow-Marine Systems. –In James N. y Dalrymple R. (ed.) *Facies Model 4*. Geological Association of Canada, pp. 167-200.

PORTA, J. D. (1965): Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el extremo sur del Valle Medio del Magdalena. *UIS, Boletín de Geología*, 19, 1–50 p., Bucaramanga.

PTÁČEK, P. (2016): Phosphate Rocks. –In: Ptáček, P. (2016) *Apatites and their Synthetic Analogues. Synthesis, Structure, Properties and Applications*, pp. 335-381, IntechOpen, Rijeka, Croatia.

REINECK, H. y SINGH, I. (1980): *Depositional Sedimentary Environments With Reference to Terrigenous Clastics*. 565 p., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

RONCANCIO, J y MARTÍNEZ, M. (2011): Upper Magdalena Basin. Cediél, F. y Colmenares, F. (ed) *Petroleum Geology of Colombia*. 183 p, Fondo Editorial Universidad EAFIT, Medellín.

SARMIENTO, L.F., VAN WESS, J.D. y CLOETINGH, S. (2006): Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. *Journal of South American Earth Sciences* 21 (2006) 383–411.

- SARMIENTO, L.F. (2019): Cretaceous Stratigraphy and Paleo-Facies Maps of Northwestern South America. Cediell, F y Shaw, R. (ed) *Geology and Tectonics of Northwestern South America: The Pacific-Caribbean-Andean Junction*, 673-748, Springer, Switzerland.
- SCHOLLE, P. A., y ULMER-SCHOLLE, D. S. (2003): *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: grains, textures, porosity, diagenesis*. AAPG Memoir 77.
- SETTI, M., MARINONI, L., y LÓPEZ-GALINDO, A. (2001): Crystal-chemistry of smectites in sediments of CRP-3 drillcore (Victoria Land Basin, Antarctica): Preliminary results. *Terra Antarctica*, 8(4), 543–550.
- SMYTH, H., MORTON, A., RICHARDSON, N. y SCOTT, R. (2014): *Sediment provenance studies in hydrocarbon exploration and production: an introduction*. Geological Society, London, Special Publications, 386, 1-6.
- TERRAZA, R. (1999): *Metodología para la descripción y análisis de rocas sedimentarias siliciclásticas y calcáreas en sección delgada*. Instituto de Investigaciones en Geociencias Minería y Química, Bogotá.
- TERRAZA, M. (2016): *Estratigrafía del grupo Olini, al SE de Tesalia, Huila*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá.
- THOREZ, J. (1976): *Practical Identification of Clay Minerals*. Institute of Mineralogy, Liège state University, Belgium.
- TRAPPE, J. (2001): A nomenclature system for granular phosphate rocks according to depositional texture. *Sedimentary Geology*, 145(1–2), 135–150. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00103-8](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00103-8)
- TUCKER, M. (2001): *Sedimentary Petrology*. 288 p., Blackwell Science, Oxford.
- ULMER-SCHOLLE, D., SCHOLLE, P., SCHIEBER, J. y RAINE, R. (2015): *A Color Guide to the Petrography of Sandstones, Siltstones, Shales and Associated Rocks*. AAPG Memoir 109.
- VELDE, B. (1992): *Introduction to Clay Minerals. Chemistry, origins, uses and environmental significance*. 205 p., Springer-science+Business Media, B.V. Hong Kong.
- VELOZA, G. (2005): *Relaciones faciales de la Formación Monserrate, Municipios de Palermo, Teruel y Tesalia, Valle Superior del Magdalena, Colombia*. 22 p. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias, Bogotá.
- VELOZA, G., DE FREITAS, M., y MANTILLA, M. (2001): Campanian-Maastrichtian paleogeography and reservoir distribution in. *AAPG Bulletin*, (116).
- VERGARA, L. S. (1997): Stratigraphy, foraminiferal assemblages and paleoenvironments in the Late Cretaceous of the Upper Magdalena Valley, Colombia (part I). *Journal of*

South American Earth Sciences, 10(2), 111–132. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(97\)00010-2](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(97)00010-2)

VILLAGÓMEZ, D., y SPIKINGS, R. (2013): Thermochemistry and tectonics of the Central and Western Cordilleras of Colombia: Early Cretaceous-Tertiary evolution of the Northern Andes. *Lithos*, 160–161(1), 228–249. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.12.008>

VILLAMIL, T. (1998): Chronology, relative sea-level history and a new sequence stratigraphic model for Basinal Cretaceous facies of Colombia, p. 161-216, SEPM Special Publication N° 58.

WARR, L. N., y RICE, A. H. N. (1994): Interlaboratory standardization and calibration of day mineral crystallinity and crystallite size data. *Journal of Metamorphic Geology*, 12(2), 141–152. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1994.tb00010.x>

WEEKS, L. (1953): Environment and mode of origin and facies relationships of carbonate concretions in shales. *Journal of Sedimentary Petrology* 23(3), 162-173, New York.

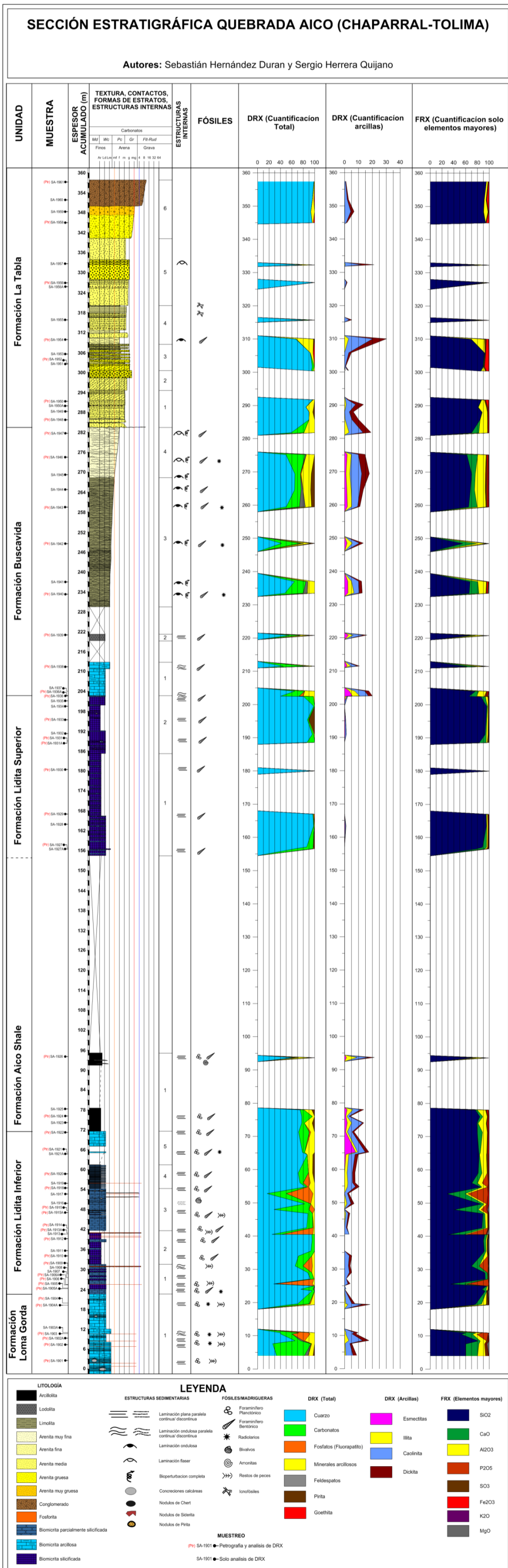
WENTWORTH, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377–394.

WILLIAMS, H., TURNER, F.J., AND GILBERT, C.M. (1954): *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*; W.H. Freeman and Company, San Francisco, California, 406 p.

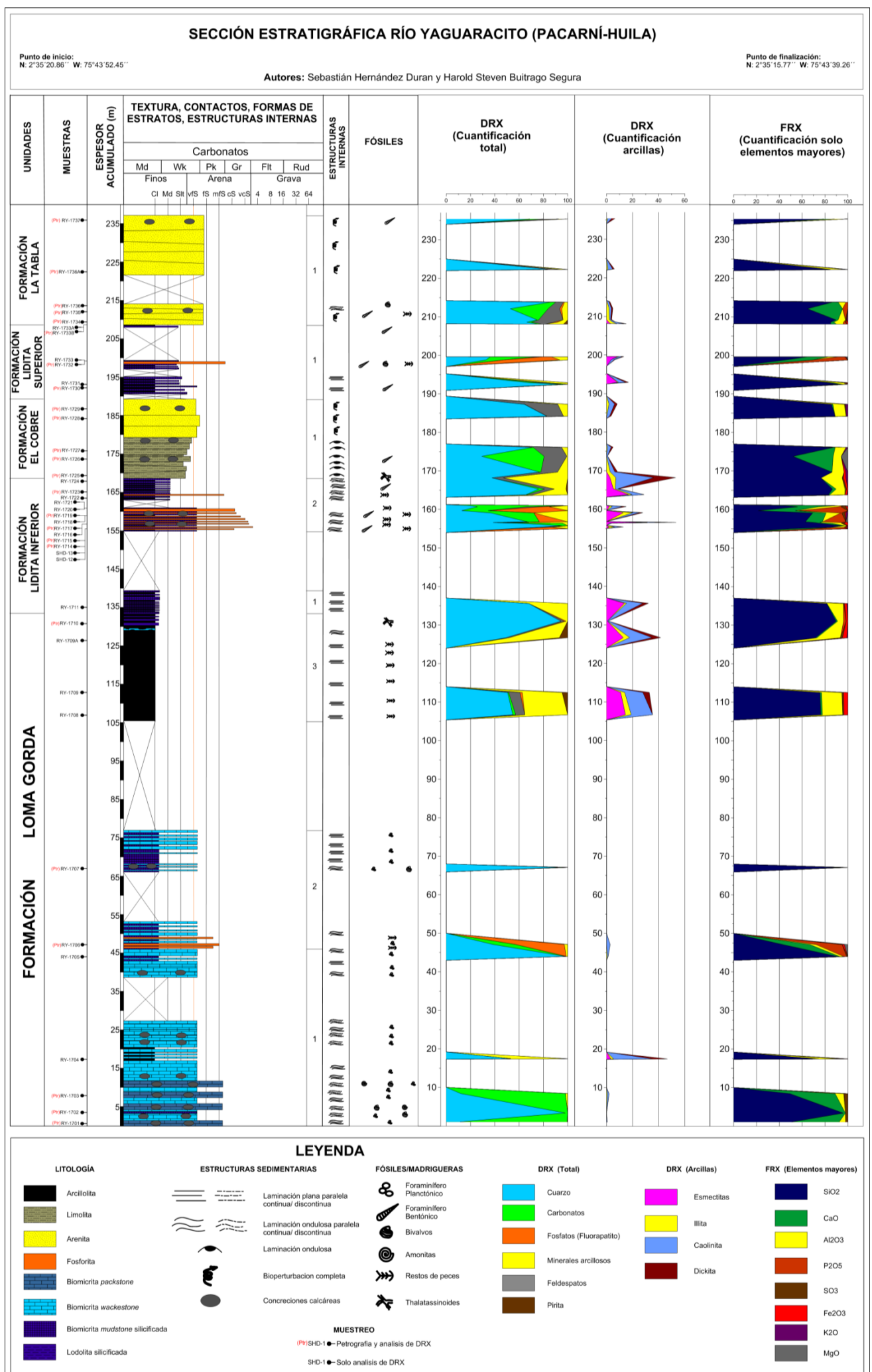
WORDEN, R. y MORAD, S. (2003): Clay minerals in sandstones: control on formation, distribution and evolution. –In Worden, R. y Morad, S. (ed.) *Clay Mineral Cements*, pp. 3-41. Blackwell Publishing, Malden, Oxford, Victoria, Berlin.

# A. ANEXO: Columnas estratigráficas

Columna Estratigráfica de la quebrada Aico, mostrando las características litológicas de cada unidad así como la composición mineral total obtenida por el método de DRX, el contenido discriminado de cada mineral arcilloso y la composición elemental obtenida por FRX.



Columna Estratigráfica del río Yaguaracito, mostrando las características litológicas de cada unidad así como la composición mineral total obtenida por el método de DRX, el contenido discriminado de cada mineral arcilloso y la composición elemental obtenida por FRX.



## **B.ANEXO: Microfacies obtenidas a partir de la petrografía**

A continuación se da una descripción de cada una de las microfacies encontrada en las formaciones de las dos columnas levantadas.

### **Sección de la quebrada Aico**

#### Formación Loma Gorda

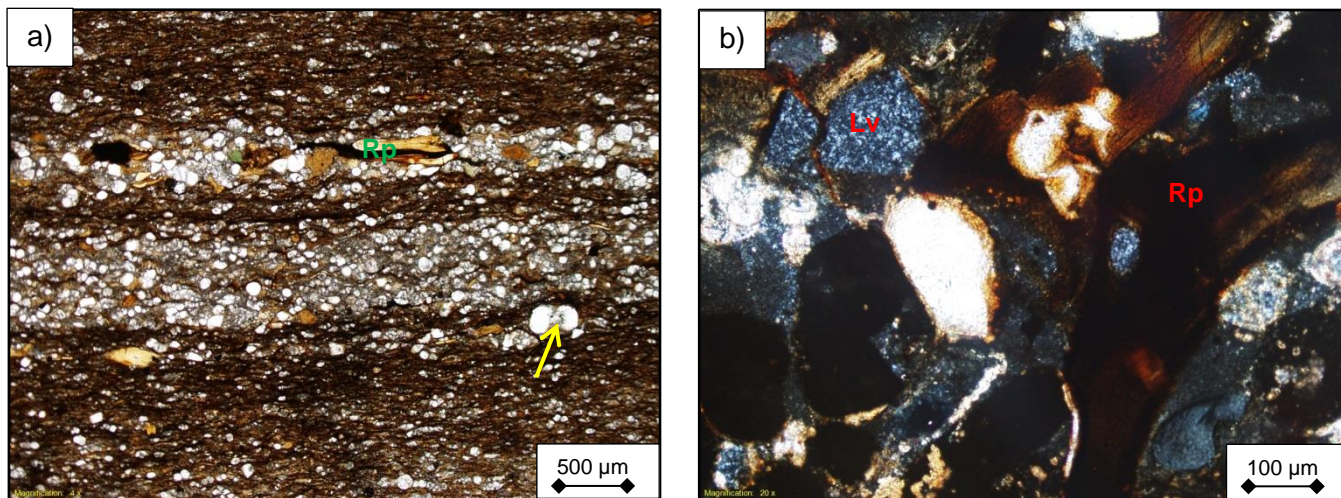
A partir del análisis petrográfico de ocho secciones estratigráficas se reconocen cinco microfacies principales:

- 1) Biomicritas con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos (SA-19(-02), SA-1904A y SA-1904):

Esta facies comprende rocas soportadas por micrita, materia orgánica, minerales arcillosos, y sílice microcristalina diagenética, y presenta laminación plana paralela continua a discontinua. Hay láminas y lentes donde se concentra una mayor cantidad de aloquímicos, además de granos terrígenos, por lo tanto estas tienen una textura *packstone*.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos planctónicos en su mayoría biseriales de tamaño limo grueso a arena muy fina, bioclastos calcáreos sin identificar y restos de peces tamaño arena muy fina a granulo. La muestra SA-19(-02) contiene restos de conchas de bivalvos y la SA-1904 tiene trazas de radiolarios.

Las muestras SA-1904 y SA-1904A contienen como componentes terrígenos, además de los minerales arcillosos de la matriz, granos de cuarzo monocristalino tamaño limo mediano a arena muy fina, también hay cuarzos policristalinos y líticos volcánicos. Otra diferencia de estas muestras con respecto a la muestra SA-19(-02), es la presencia de sílice microcristalina diagenética la cual está reemplazando a la micrita. Como minerales autigénicos hay pirita framboidal, y glauconita la cual solo está presente en las muestras SA-1904 y SA-1904A.



- a) Biomicrita con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos (flecha amarilla), con láminas con textura *packstone*. Se puede ver en las láminas *packstone* un mayor contenido de restos de peces fosfáticos (Rp). SA-1904\_4x\_PPL. b) Líticos volcánicos (Lv), restos de peces fosfáticos (Rp), peloides fosfáticos (Pf), cemento calcáreo y sílice microcristalina diagenética; en una de las láminas con textura *packstone*. SA-1904\_20x\_XPL.

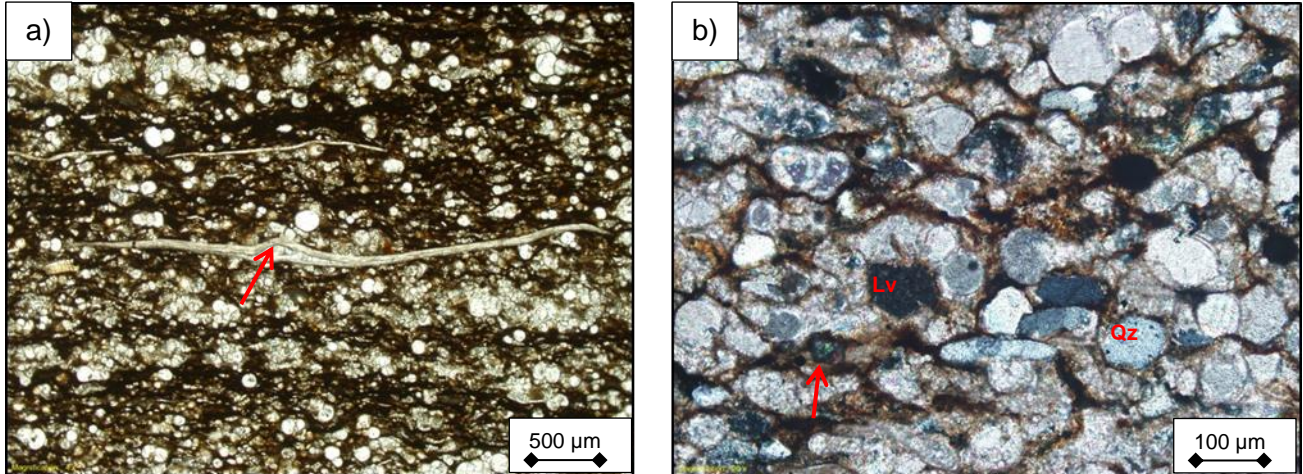
## 2) Biomicritas con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos (SA-19(-01) y SA-1901):

Rocas soportadas en su mayoría por aloquímicos (SA-1901 con granos terrígenos), con gran contenido de materia orgánica opaca (más del 10,0%). Presenta laminación ondulosa paralela continua a discontinua.

Los aloquímicos corresponden en su mayoría a foraminíferos planctónicos biseriales tamaño limo grueso a arena mediana, bioclastos calcáreos sin identificar, restos de conchas de bivalvos y restos de peces.

Como componentes terrígenos hay minerales arcillosos en la matriz, y la muestra SA-1901 tiene más de 5,0% de cuarzos monocristalinos, policristalinos y líticos volcánicos, tamaño limo mediano a arena muy fina. Como minerales autigénicos hay pirita framboidal y la muestra SA-1901 contiene también glauconita.





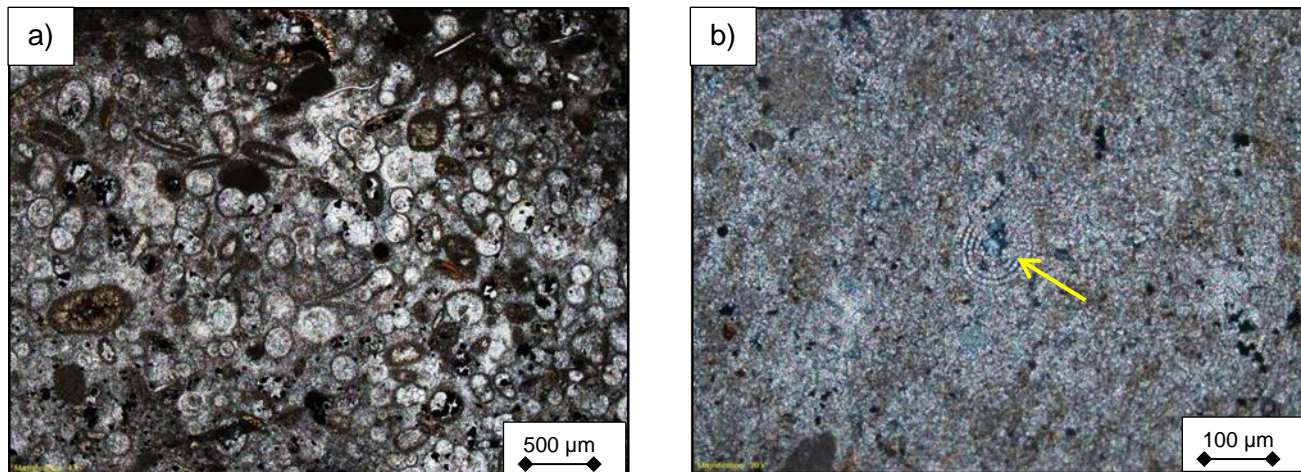
- a)** Biomicrita con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos, en el centro un resto de concha de bivalvo (flecha roja). SA-19(-01) \_4x\_PPL. **b)** Lítico volcánico (Lv), cuarzo monocristalino (Qz), zircón (flecha amarilla), entre los foraminíferos hay materia orgánica manchando la matriz de micrita. SA-1901\_20x\_XPL.

3 Biomicroesparitas con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos (**concreciones**) (SA-1902):

Roca soportada por aloquímicos y granos terrígenos, la matriz está conformada por microesparita y micrita. Presenta laminación plana paralela continua a discontinua y hay láminas con textura *wackestone*.

Los aloquímicos corresponden principalmente a foraminíferos planctónicos tamaño arena muy fina a gruesa, bioclastos calcáreos sin identificar, restos de peces y radiolarios siendo reemplazados por el carbonato. Otros aloquímicos son peloides fosfáticos, y ooides con núcleos de bioclastos calcáreos, foraminíferos y granos terrígenos, tamaño arena mediana.

Los granos terrígenos son principalmente cuarzos monocristalinos tamaño arena fina, minerales opacos y trazas de cuarzos policristalinos. Como minerales autigénicos hay piritita framboidal y glauconita.

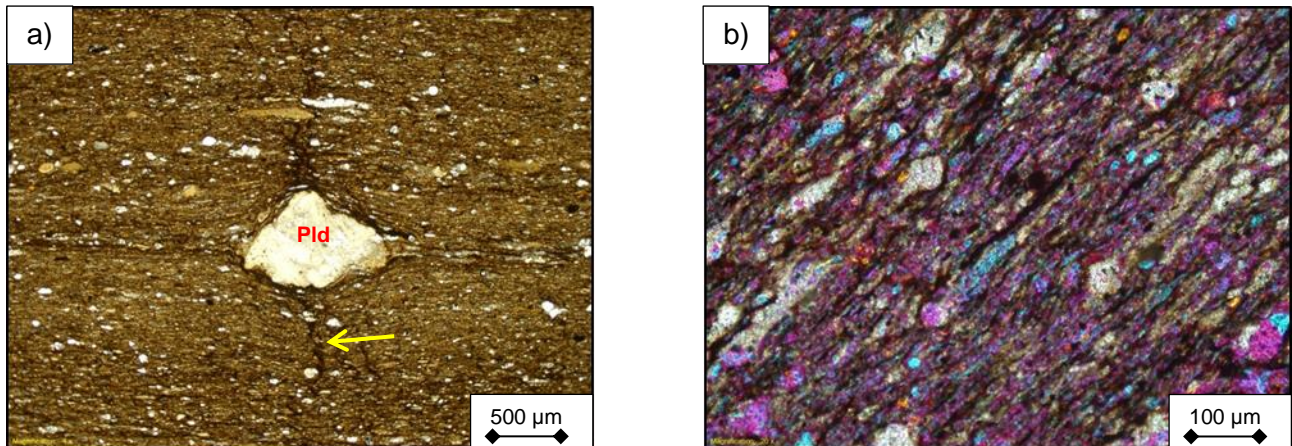


- a) Biomicroesparita con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos. SA-1902\_4x\_PPL. b) Recristalización de la matriz micritica a microesparita, radiolario síliceo siendo reemplazado por el carbonato (flecha amarilla). SA-1902\_20x\_XPL.

#### 4 Micrita con textura *mudstone* (SA-1902A):

Roca soportada por minerales arcillosos, sílice microcristalina diagenética y micrita. Presenta laminación plana paralela continua a discontinua con lentes claros, además de estilolitos perpendiculares a la laminación.

Los aloquímicos presentes son foraminíferos planctónicos tamaño limo grueso a arena muy fina, bioclastos calcáreos sin identificar, trazas de restos de peces y radiolarios piritizados. Algunos foraminíferos se encuentran reemplazados totalmente por pirita, o solo el interior de las cámaras por sílice microcristalina. Además de los minerales arcillosos de la matriz también hay como componentes terrígenos granos de cuarzo monocristalino con extinción recta y ondulosa, tamaño limo muy fino a grueso. El carbonato se encuentra reemplazando a los granos terrígenos dificultando su reconocimiento. Como minerales autigénicos hay pirita framboidal y glauconita.

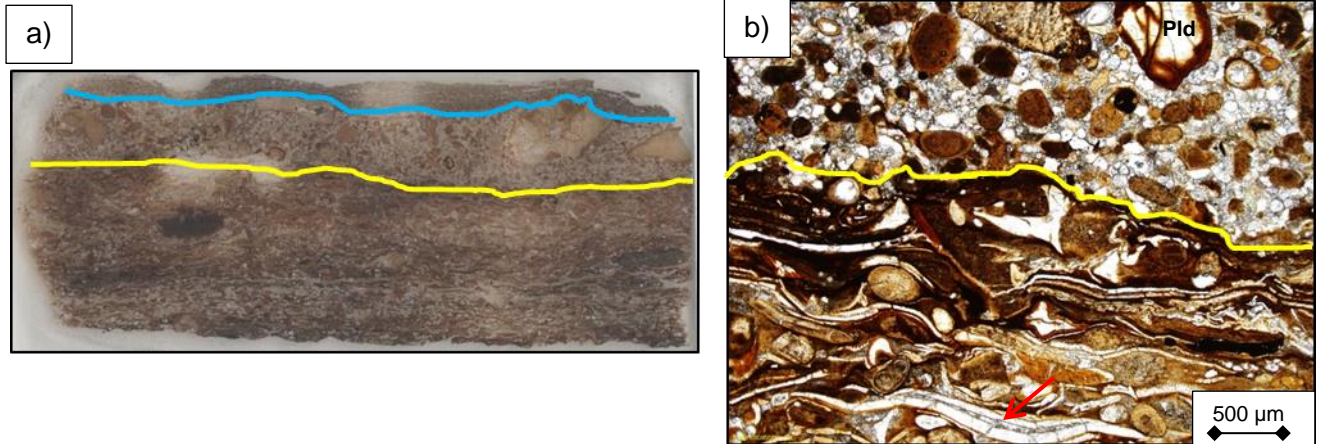


**a)** Micrita con textura *mudstone*, con foraminíferos planctónicos. Peloide fosfático (Pld), y estilolitos perpendiculares a la laminación (flecha amarilla). SA-1902A\_4x\_PPL. **b)** Matriz con minerales arcillosos (en azul), sílice microcristalina (en fucsia), color beige (bioclastos calcáreos, algunos aplastados y micrita) y materia orgánica. SA-1902A\_20x\_XPL\_Cuña de Yeso.

#### 5 *Phosclast-packstone* de restos peces y peloides fosfáticos (SA-1903):

Roca soportada en su mayoría por aloquímicos y granos terrígenos. La matriz está conformada por micrita, minerales arcillosos y sílice microcristalina diagenética. Presenta laminación ondulosa paralela continua, tiene cemento calcáreo (esparita) y venillas vacías (porosidad secundaria). En la muestra hay láminas con distinta composición, a la base un mayor contenido de aloquímicos (restos de peces y peloides fosfáticos); la lámina media, un mayor contenido de cemento calcáreo y granos terrígenos; y la lámina del tope desaparecen los restos de peces y peloides, y solo hay arcillas y foraminíferos planctónicos.

Los aloquímicos se componen en su mayoría por restos de peces (más del 20%) tamaño arena muy fina a guijos, foraminíferos planctónicos tamaño limo grueso a arena mediana, y bioclastos calcáreos sin identificar. Otros aloquímicos son peloides fosfáticos (más del 15%) tamaño arena muy fina a muy gruesa, ooides con núcleos de peloides, restos de peces, foraminíferos, e intraclastos fosfáticos. Como componentes terrígenos hay cuarzos monocristalinos tamaño limo grueso a arena fina, líticos volcánicos y trazas de zircones. Los minerales autigénicos son pirita framboidal y glauconita.



**a)** *Phosclast-packstone* de restos peces y peloides fosfáticos. Lamina de arcillita fosilífera al tope (línea azul). SA-1903\_Escaneada. **b)** Limite (en amarillo) entre la lámina del medio y la lámina de la base. Restos de peces (¿espinas?) de formas alargadas (flecha roja) orientadas con la laminación a la base. Cemento calcáreo y mayor cantidad de peloides fosfáticos (Pld) en la lámina del tope. SA-1903\_4x\_PPL.

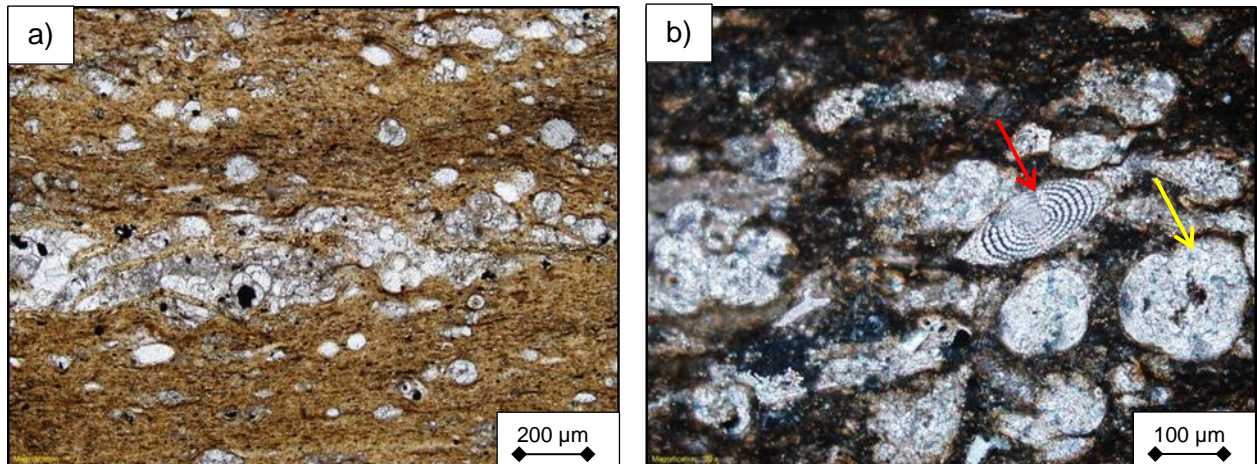
### Formación Lidita Inferior

A partir del análisis petrográfico de 15 secciones estratigráficas se reconocen seis microfacies principales.

- 1 Biomicrita con textura *wackestone* de foraminíferos (SA-1905A, SA-1906, SA-1914, SA-1920, SA-1921 y SA-1922):

Roca soportada por sílice microcristalina diagenética, micrita, minerales arcillosos y materia orgánica, la proporción de los minerales arcillosos es inversamente proporcional a la sílice microcristalina, por ejemplo la muestra SA-1905A presenta 66,0% de sílice y 2,2% de minerales arcillosos mientras la muestra SA-1922 contiene 2,1% de la primera y 39,0% de los segundos. Tiene laminación plana paralela continua y hay láminas con textura *packstone* donde se acumula una mayor cantidad de aloquímicos, igualmente en las muestras SA-1906 y SA-1920 hay estilolitos con materia orgánica.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos planctónicos (aunque también hay escasos bentónicos) de tamaño limo mediano a arena mediana, bioclastos calcáreos sin identificar, restos de peces y radiolarios reemplazados por calcita. Otros aloquímicos aunque escasos (menos del 5,0%) son peloides fosfáticos (algunos reemplazados por sílice microcristalina) e intraclastos de micrita. Como componentes terrígenos, además de los minerales arcillosos, hay cuarzos monocristalinos (menos del 5,0%) de extinción recta tamaño limo fino a arena muy fina, asimismo las muestras SA-1921 y SA-1922 presentan trazas de líticos volcánicos. Los minerales autigénicos son pirita framboidal y glauconita.

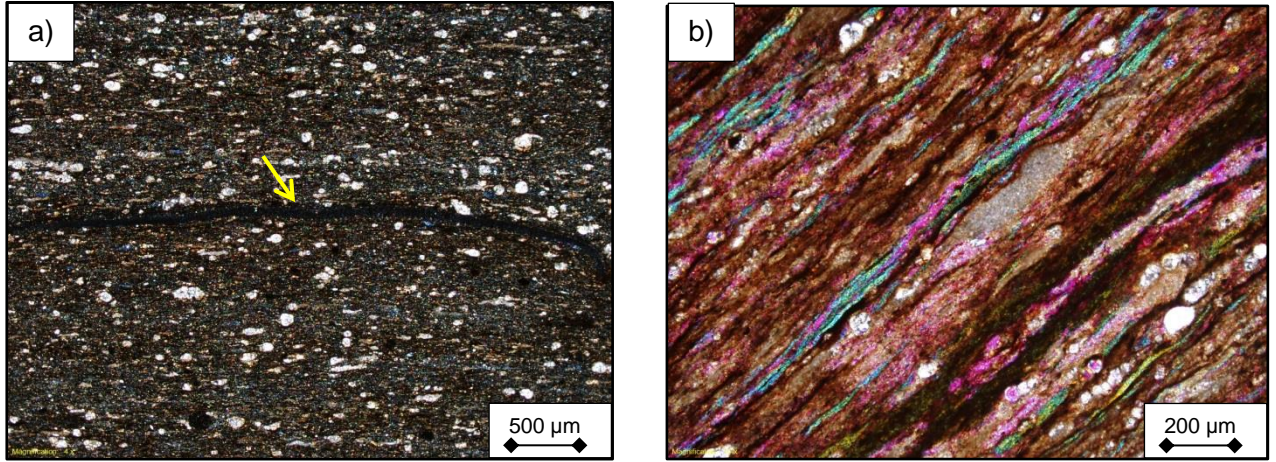


**a)** Biomicrita de textura *wackestone* con láminas con textura *packstone*. SA-1914\_10x\_PPL. **b)** Radiolario reemplazado por calcita (flecha roja), con matriz de sílice microcristalina diagenética y micrita, además de foraminíferos planctónicos (flecha amarilla). SA-1921\_20x\_XPL.

## 2 Micrita con textura *mudstone* con foraminíferos (SA-1910, SA-1912 y SA-1915A):

Roca soportada por sílice microcristalina diagenética, micrita, minerales arcillosos y materia orgánica (más del 5,0%). La muestra SA-1910 también tiene microesparita cerca de la concreción. El porcentaje de sílice microcristalina depende del grado de silicificación de la roca, la muestra SA-1910 es la de menor proporción de sílice (15,8%), mientras la SA-1912 la de mayor (71,5%). Presenta laminación plana paralela continua, igualmente hay venillas rellenas de sílice microcristalina y carbonato, que en la muestra SA-1912 alcanzan el 16,0%.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos en su mayoría planctónicos, con algunos biserials bentónicos tamaño limo grueso a arena fina, también hay restos de peces y bioclastos sin diferenciar. La muestra SA-1915A también contiene peloides fosfáticos. Como componentes terrígenos además de los minerales arcillosos en la matriz también hay pequeños granos de cuarzo monocristalino tamaño limo mediano (menos del 1,0%). Los minerales autigénicos son pirritas framboidales, las cuales en ocasiones se encuentran relleno el interior de las cámaras de los foraminíferos.

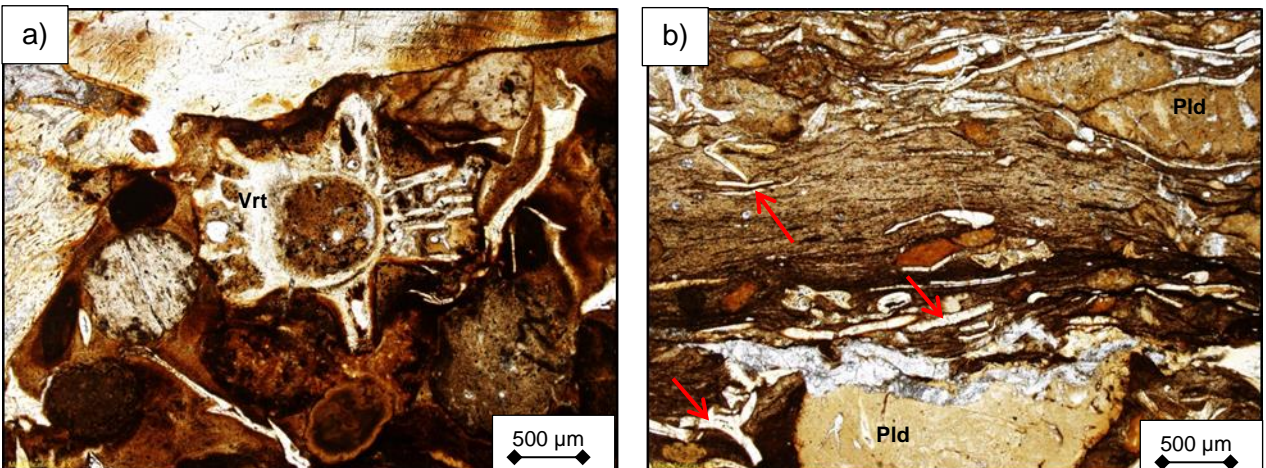


- a) Biomicrita silicificada con textura *mudstone* con foraminíferos. Se observa en el centro un resto fosfático de pez (isotrópico) (flecha amarilla). SA-1915A\_4x\_XPL. b) En azul los minerales arcillosos, en fucsia la sílice microcristalina y en beige (altos tonos de interferencia) la micrita. Hay materia orgánica manchando la matriz. SA-1910\_20x\_XPL\_Yeso.

### 3 *Phosclast-packstone* de restos de peces y peloides (SA-1906A, SA-1909 y SA-1913A):

Roca soportada por peloides fosfáticos y restos de peces. La muestra SA-1909 tiene también foraminíferos, y solo esta exhibe una laminación ondulosa paralela continua, esto debido a que presenta láminas de micrita, igualmente tiene venillas rellenas de calcita.

Los aloquímicos de la roca corresponden a restos de peces (más del 15,0%) de tamaño arena muy fina a guijo, peloides fosfáticos (más del 25,0%) de tamaño arena fina a guijo, y a foraminíferos bentónicos. Como componentes terrígenos presenta cuarzos monocristalinos tamaño limo grueso a arena muy fina, y trazas de feldespato potásico. Entre los aloquímicos hay sílice microcristalina (más del 10,0%) y tienen cemento calcáreo (más del 10,0% en la muestra SA-1913A). El contenido de materia orgánica es variable, más del 5,0% en la muestra SA-1909 y no se identificó en la muestra SA-1913A.

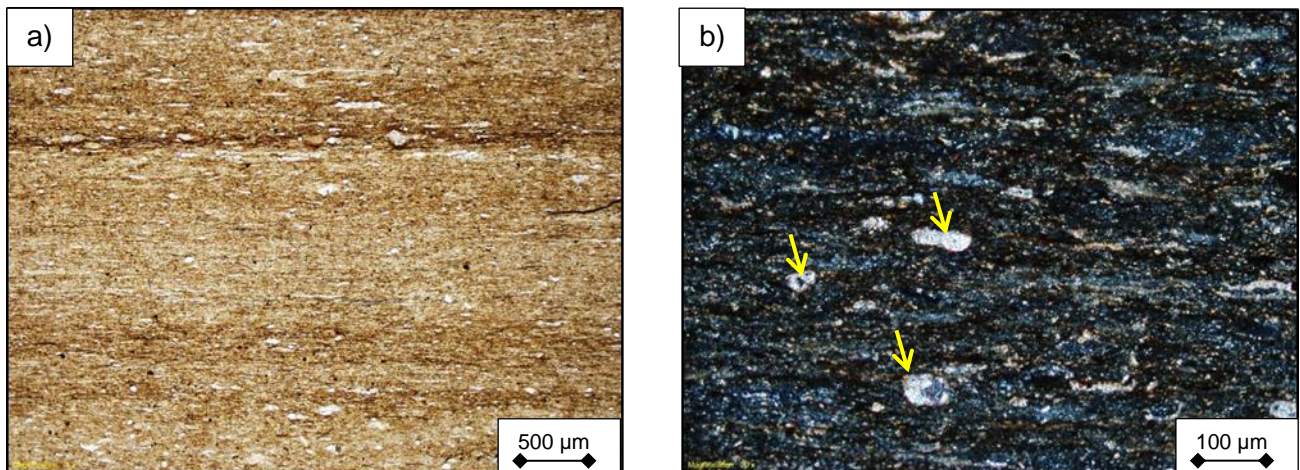


- a) *Phosclast-packstone* de peloides y restos de peces. Al centro vertebra de pez (Vrt). SA-1906A\_4x\_PPL. b) Lámina de biomicrita con textura *mudstone* al centro. Hacia la base y el tope láminas de fosforita. Se observan los peloides fosfáticos (Pld) y restos de peces alaragaos (flechas rojas) SA-1909\_4x\_PPL.

#### 4 Arcillolita (SA-1918):

Roca soportada por minerales arcillosos (más del 63,0%), sílice microcristalina diagenética (reemplazando a la matriz), micrita y materia orgánica, y presenta laminación plana paralela continua.

Los componentes terrígenos además de las arcillas corresponden a cuarzos monocristalinos tamaño limo muy fino a grueso, con extinción recta y suavemente ondulosa. Los pocos aloquímicos (menos del 2,0%) corresponden a foraminíferos sin enrollamiento reconocible tamaño arena muy fina, bioclastos calcáreos sin identificar, restos de peces tamaño limo grueso a arena fina, y trazas de foraminíferos planctónicos. Otros aloquímicos corresponden a trazas de peloides fosfáticos. Como minerales autigénicos hay pirita framboidal y hematitas.

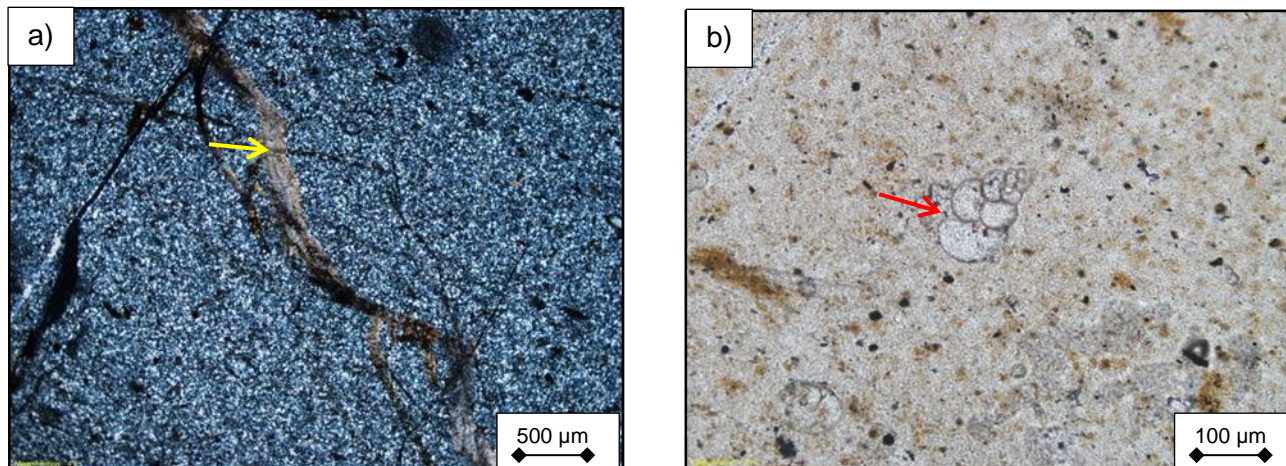


a) Arcillolita con laminación plana paralela continua. SA-1918\_4x\_PPL. b) Se observan escasos foraminíferos (flechas amarillas), y la matriz siendo reemplazada por la sílice microcristalina diagenética (color oscuro). SA-1918\_20x\_XPL.

#### 5 Micrita con textura *mudstone* (nódulos de chert) (SA-1905):

Roca soportada por sílice microcristalina diagenética (más del 90,0%) y materia orgánica. Hay 4,5% de venillas rellenas de carbonatos y de sílice microcristalino diagenético. No presenta laminación.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos sin enrollamiento reconocible totalmente silicificados (algunos con cámaras rellenas de carbonato sin reemplazar) tamaño arena mediana. Otros aloquímicos corresponden a ooides totalmente silicificados tamaño arena mediana. Como mineral autigénico hay pirita framboidal, igualmente hay trazas de granos de cuarzo.



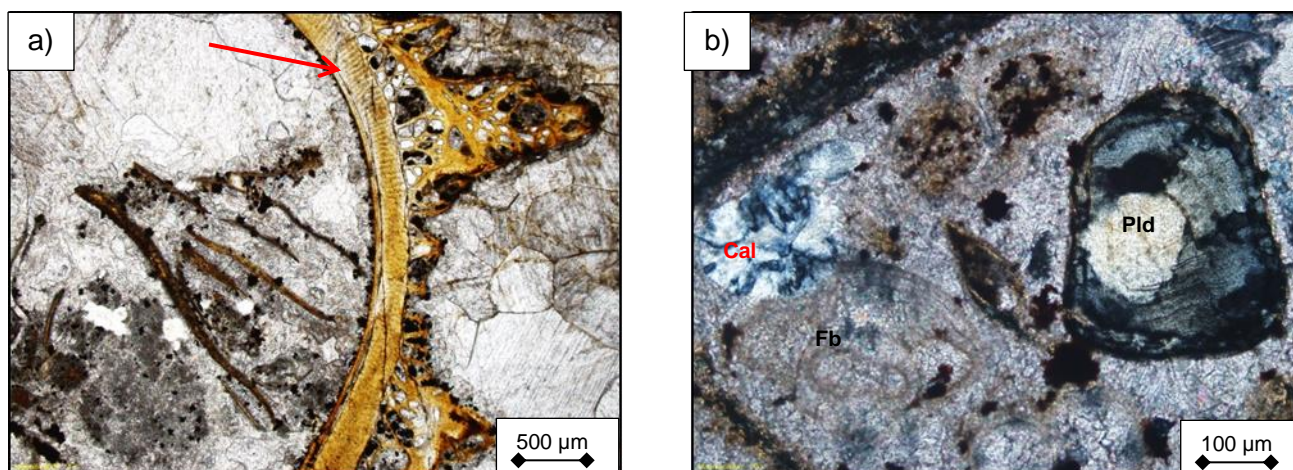
**a)** Micrita silicificada con textura *mudstone*. Se observa una venilla rellena de calcita (flecha amarilla). SA-1905\_4x\_XPL.

**b)** Foraminífero planctónico biserial (flecha roja). Manchas de materia orgánica (color café claro) y pirita framboidal (pepitas negras). SA-1905\_20x\_PPL.

#### 6 Biopseudoesparita con textura *wackestone* de restos de peces (lente fosfático)(SA-1915):

Roca soportada por microesparita, pseudoesparita, sílice microcristalina diagenética (además de calcedonia) y materia orgánica. Hay 19,7% de cemento calcáreo (esparita). No presenta laminación, pero los bioclastos están orientados.

Los aloquímicos corresponden a restos de peces (más del 25,0%) tamaño arena fina a guijo, foraminíferos sin enrollamiento reconocible tamaño arena mediana a gruesa, bentónicos uniseriales tamaño arena mediana y planctónicos planoespirales tamaño arena mediana. Otros aloquímicos corresponden a peloides fosfáticos tamaño arena fina a muy gruesa y ooides con núcleos de restos de peces. Como mineral autigénico hay pirita framboidal.





**a)** Biopseudoesparita con textura *wackestone* de restos de peces. Se observa una vértebra de pez (flecha roja), entre cristales de calcita. SA-1915\_4x\_PPL. **b)** Se observa un cristal de calcedonia (¿reemplazando un aloquímico?) (Cal), foraminíferos bentónicos siendo reemplazado por carbonato (Fb) y con materia orgánica en el interior, y un peloide fosfático totalmente reemplazado por sílice microcristalina (Plid), entre los cristales de calcita. SA-1915\_20x\_XPL.

### “Aico Shale”

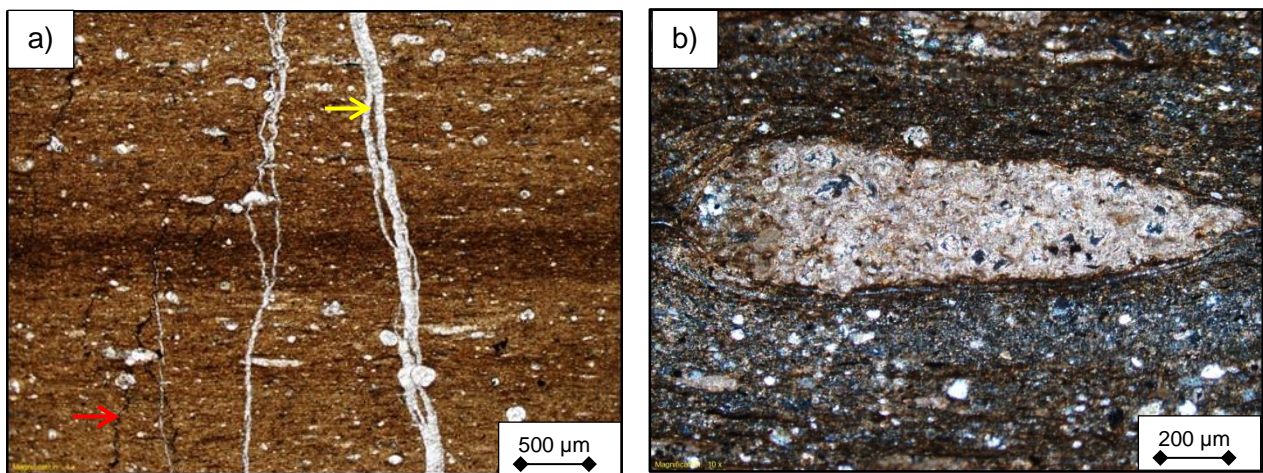
A partir del análisis petrográfico de dos secciones estratigráficas se reconoce una microfacies principal.

#### 1 Arcillolita micritica (SA-1924 y SA-1926):

Roca soportada por minerales arcillosos (más del 60,0%), micrita, sílice microcristalina diagenética y materia orgánica. Presenta laminación plana paralela continua y la muestra SA-1924 tiene venillas rellenas de calcita y estilolitos con materia orgánica cortando la laminación.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos con extinción recta y ondulosa tamaño limo muy fino a arena fina, además de cuarzos policristalinos de origen metamórfico (cuarcitas?), la muestra SA-1926 también evidencia líticos volcánicos y trazas de micas muscovitas, mientras la muestra SA-1924 exhibe intraclastos de arenitas.

Los aloquímicos son foraminíferos planctónicos y bentónicos (más de los primeros), tamaño limo mediano a arena fina, bioclastos calcáreos sin identificar y restos de peces. Otros aloquímicos corresponden a intraclastos calcáreos y peloides fosfáticos. Como minerales autigénicos hay pirita framboidal y trazas de glauconita.



**a)** Arcillolita micritica con foraminíferos. Se observan las venillas rellenas de calcita (flecha amarilla) y los estilolitos (flecha roja) cortando la laminación. SA-1924\_4x\_PPL. **b)** Intraclasto calcáreo, posiblemente de biomicrita con textura

*packstone*, se puede observar como las láminas se curvan alrededor de este por la compactación. (¿?) SA-1926\_10x\_XPL.

### Formación Lidita Superior

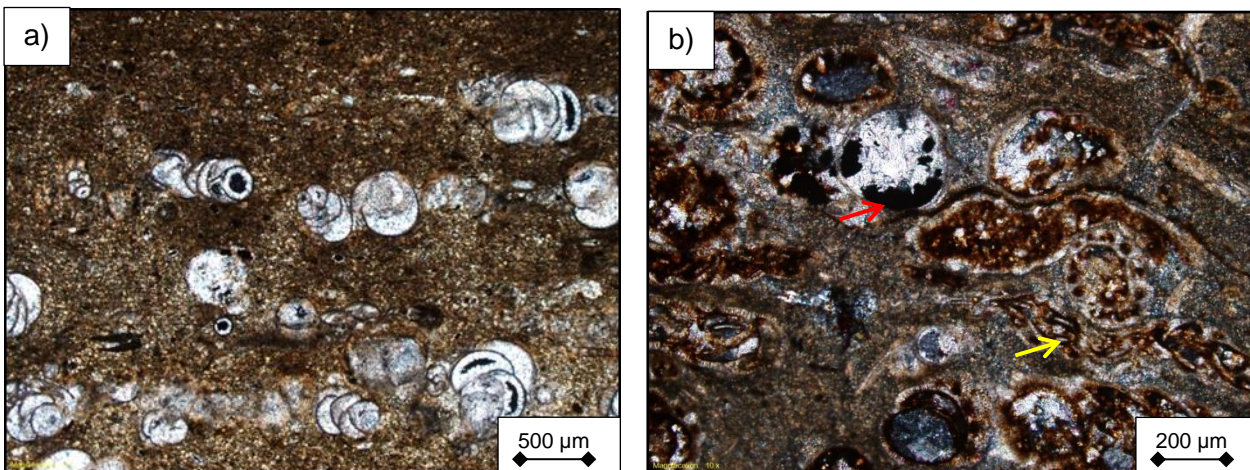
A partir del análisis petrográfico de nueve secciones estratigráficas se reconocen cuatro microfacies principales.

- 1 Biomicrita con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos (SA-1927, SA-1931 y SA-1936):

Roca soportada por sílice microcristalina diagenética, micrita, minerales arcillosos y materia orgánica. El contenido de minerales arcillosos aumenta hacia el tope de la unidad (muestra SA-1936 con 1,2%). La muestra SA-1936 presentan estilolitos con materia orgánica y la SA-1927 tiene venillas rellenas con calcita. Exhiben laminación plana paralela continua.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos parcial o totalmente silicificados de tamaño limo grueso a arena muy gruesa, bioclastos calcáreos sin identificar y restos de peces. Otros aloquímicos equivalen a peloides fosfáticos (algunos silicificados) e intraclastos micríticos (¿?).

Como componentes terrígenos se evidencian además de los minerales arcillosos, cuarzos monocristalinos tamaño limo mediano a grueso, solo presentes en la muestra SA-1936. Los minerales autigénicos son piritas framboidales, en ocasiones presentes en el interior de las cámaras de los foraminíferos.



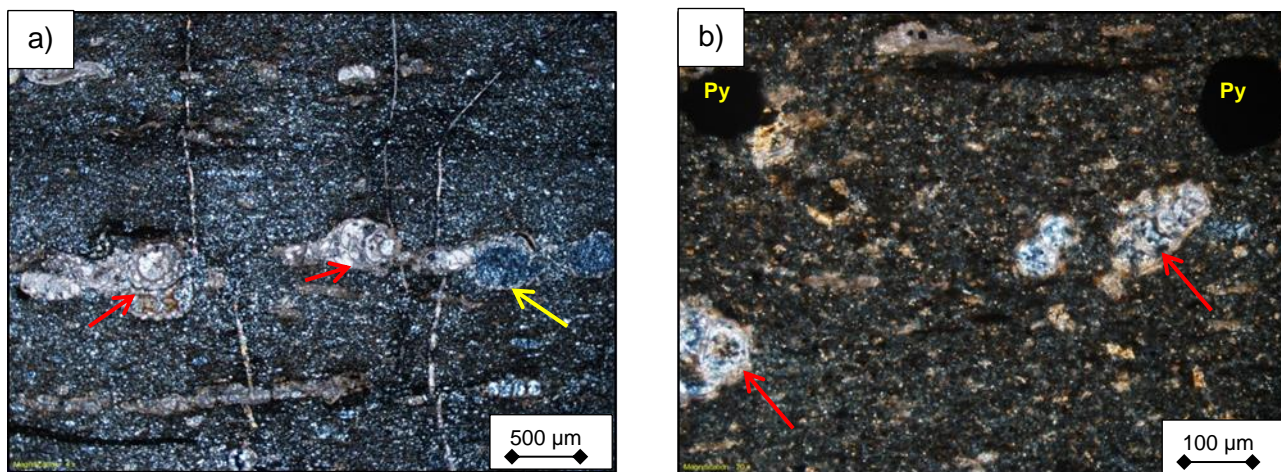
**a)** Biomicrita con textura *wackestone* silicificada de foraminíferos bentónicos. Se observa la matriz con microcristales de cuarzo. SA-1927\_4x\_XPL. **b)** Foraminíferos bentónicos con diferentes tipos de enrollamientos y cortes, con materia orgánica manchando la calcita que se encuentra en el interior de las cámaras, además algunos tienen cristales de pirita

framboidal (flecha roja) dentro del caparazón. Se observan varios foraminíferos colapsados (flecha amarilla). SA-1931\_10x\_XPL.

2 Micrita con textura *mudstone* con foraminíferos bentónicos (SA-1929, SA-1930 y SA-1933):

Roca soportada por sílice microcristalina diagenética (más del 80,0%), micrita y materia orgánica. Hay venillas rellenas de calcita y de sílice microcristalina, además de estilolitos con materia orgánica, y tiene laminación plana paralela continua.

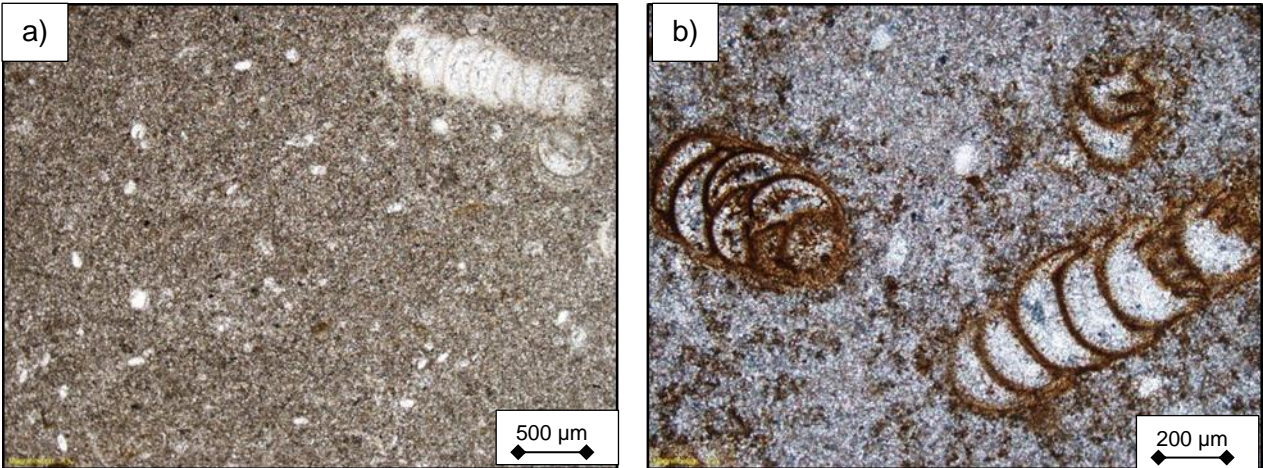
Los aloquímicos son foraminíferos bentónicos tamaño limo grueso a arena fina, bioclastos calcáreos y silicificados sin identificar, y restos de peces. No se evidencian componentes terrígenos y como minerales autigénicos hay pirita framboidal.



**a)** Biomicrita con textura *mudstone* silicificada. Se observa la matriz totalmente reemplazada por microcristales de cuarzo, y los foraminíferos están totalmente (flecha amarilla) o parcialmente (flechas rojas) reemplazados por sílice. SA-1933\_4x\_XPL. **b)** Pirita framboidal (Py), foraminíferos bentónicos con el interior de sus cámaras reemplazado en sílice (flechas rojas) al igual que la matriz. SA-1930\_20x\_XPL.

3 Microesparita con textura *mudstone* con foraminíferos bentónicos (concreción calcárea) (SA-1931A):

Roca soportada por microesparita, pseudoesparita y materia orgánica. No presenta laminación. Los aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos (Siphogenerinoides) tamaño arena fina a granulo, bioclastos calcáreos sin identificar tamaño limo grueso a arena mediana y trazas de restos de peces.



**a)** Microesparita con textura *mudstone*. Se puede ver la recristalización de la matriz micrítica. Foraminífero bentónico en la esquina superior derecha. SA-1931A\_4x\_PPL. **b)** Foraminíferos bentónicos, uno biserial a la izquierda y otro uniserial (Siphogenerinoides), con el borde de su caparazón relleno o reemplazado (¿?) con materia orgánica (color anaranjado). SA-1931A\_10x\_XPL.

### Formación Buscavida

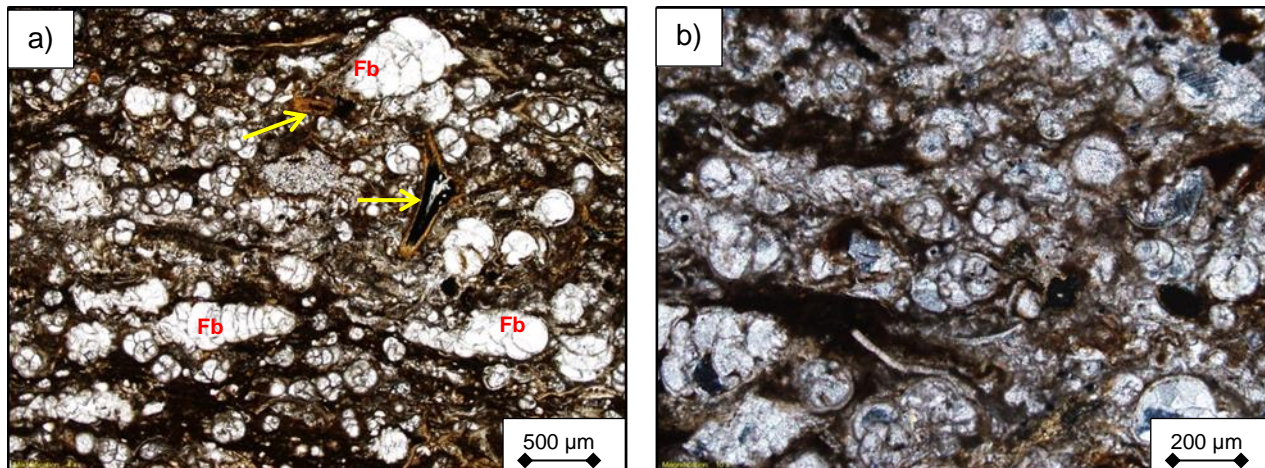
A partir del análisis petrográfico de seis secciones estratigráficas se reconocen seis facies principales las cuales serán descritas como sigue:

#### 1 Biomicrita con textura *packstone* de foraminíferos bentónicos (SA-1938):

Roca soportada por aloquímicos y granos terrígenos. Hay venillas rellenas de carbonato, y presenta laminación ondulosa paralela continua a discontinua. Los contactos flotantes y tangenciales predominan en las láminas con textura *wackestone*.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos (más del 30,0%) tamaño limo mediano a arena muy gruesa, bioclastos calcáreos sin identificar (algunos silicificados) y restos de peces tamaño arena muy fina a guijo. Otros aloquímicos corresponden a peloides fosfáticos tamaño arena fina.

En cuanto a los componentes terrígenos hay granos de cuarzo monocristalino con extinción recta y suavemente ondulosa tamaño limo fino a grueso; granos terrígenos reemplazados por carbonatos tamaño limo grueso a arena muy fina, y minerales arcillosos en la matriz, además también hay en esta micrita, microesparita, sílice microcristalina diagenética y materia orgánica (más del 15,0%). Como minerales autigénicos hay pirita framboidal y trazas de glauconita.



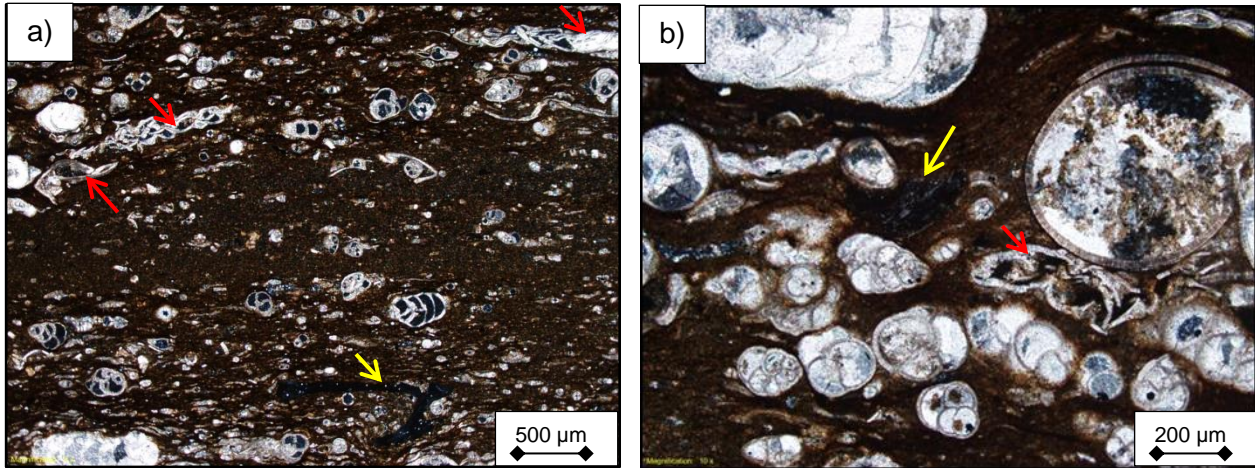
**a)** Biomicrita con textura *packstone* de foraminíferos bentónicos. Se observan restos de peces (flechas amarillas) junto a los foraminíferos bentónicos (Fb) entre la matriz micritica. SA-1938\_4x\_PPL. **b)** Foraminíferos bentónicos con distintos enrollamientos y cortes, en contactos longitudinales y cóncavos-convexos, además la matriz esta manchada por la gran cantidad de materia orgánica. SA-1938\_10x\_XPL.

## 2 Biomicrita con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos (SA-1936A):

Roca soportada por micrita, minerales arcillosos, sílice microcristalina diagenética, y materia orgánica. El contenido de minerales arcillosos es de más del 25,0%. Presenta estilolitos con materia orgánica. Exhibe laminación ondulosa paralela continua.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos la gran mayoría calcáreos de tamaño limo grueso a arena muy gruesa, bioclastos calcáreos sin identificar y restos de peces. Otros aloquímicos equivalen a peloides fosfáticos (algunos silicificados) e intraclastos micriticos (?).

Como componentes terrígenos se evidencian además de los minerales arcillosos, cuarzos monocristalinos tamaño limo mediano a grueso. Los minerales autigénicos son piritas framboidales, en ocasiones presentes en el interior de las cámaras de los foraminíferos.



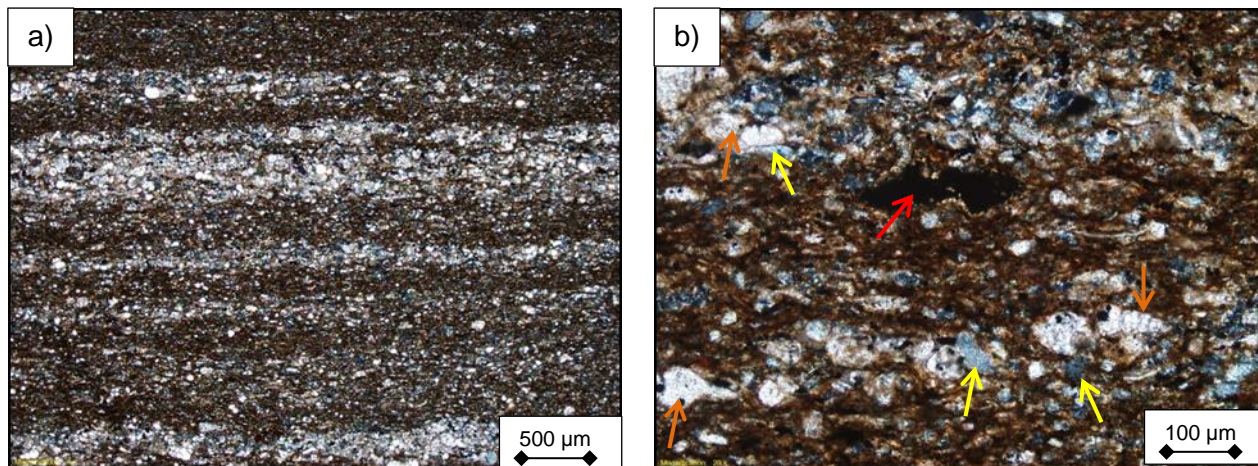
**a)** Biomicrita con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos, en la parte inferior se observa un resto de pez (isotrópico) (flecha amarilla), también se observan algunos foraminíferos colapsados (flechas rojas). **b)** Foraminíferos bentónicos con diferentes tipos de enrollamientos y cortes, al interior de las cámaras hay cristales de calcita, además de un bioclasto fosfático (flecha amarilla). La matriz corresponde a micrita la cual se encuentra manchada por la materia orgánica. Hacia el margen derecho en el centro se observa un foraminífero colapsado (flecha roja). SA-1936A\_10x\_XPL.

### 3 Lodolita con laminas de biomicrita lodosa (SA-1939):

Roca soportada por minerales arcillosos (más del 30,0%), micrita, sílice microcristalina diagenética y materia orgánica, además presenta laminación plana paralela continua.

Junto a los minerales arcillosos de la matriz, los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos tamaño limo muy fino a arena muy fina, con extinción recta, suavemente ondulosa, ondulosa y algunos cuarzos son compuestos; feldespatos potásicos tamaño arena muy fina; granos terrígenos reemplazados por carbonato tamaño limo mediano; y micas muscovitas tamaño limo grueso.

Los aloquímicos son foraminíferos bentónicos tamaño limo fino a arena fina, bioclastos calcáreos sin identificar tamaño limo fino a arena muy fina y trazas de bioclastos fosfáticos (¿restos de peces?). Otros aloquímicos corresponden a trazas de peloides fosfáticos. Como minerales autígenicos hay pirita framboidal y trazas de glauconita.



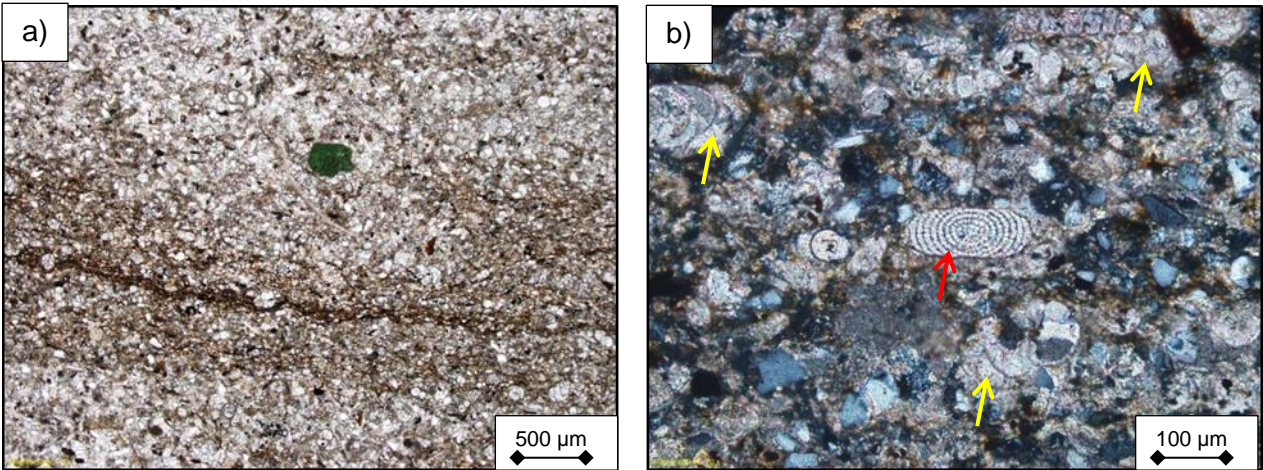
**a)** Predominan las láminas oscuras (lodolita micritica, rica en materia orgánica) sobre las láminas claras (biomicrita lodosa con textura *wackestone*). SA-1939\_4x\_XPL. **b)** Se observa la matriz arcillosa manchada por la materia orgánica, granos de cuarzo (flechas amarillas) tamaño limo en las láminas claras, foraminiferos bentonicos (flechas naranjas) y un resto fosfático (¿de pez?) oscuro (flecha roja). SA-1939\_20x\_XPL.

#### 4 Limolita arenosa con laminas de lodolita (SA-1940, SA-1942 y SA-1943):

Roca soportada por granos terrígenos y aloquímicos, con laminación ondulosa paralela continua a discontinua. Las muestras SA-1942 y SA-1943 tienen cemento calcáreo.

Junto a los minerales arcillosos, los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 20,0%) tamaño limo fino a arena fina, con extinción recta, suavemente ondulosa y ondulosa. Hay también cuarzos policristalinos de origen metamórfico, feldespatos potásicos, líticos volcánicos, granos terrígenos reemplazados por el cemento calcáreo y como accesorios micas muscovitas.

Los aloquímicos son foraminíferos bentónicos (más del 8,0%) tamaño limo grueso a arena mediana, bioclastos calcáreos sin identificar y trazas de radiolarios reemplazados por calcita. La muestra SA-1940 contiene además peloides fosfáticos. La matriz de la roca presenta microesparita, pseudoesparita y materia orgánica. Los minerales autigénicos son piritita framboidal y trazas de glauconita.



a) Limolita arenosa, con láminas de arcillolita. Se observa un grano de glauconita (grano verde del centro). SA-1942\_4x\_PPL. b) Radiolario reemplazado por calcita (flecha roja), granos de cuarzo tamaño limo a arena y foraminíferos bentónicos (flechas amarillas). SA-1940\_20x\_XPL.

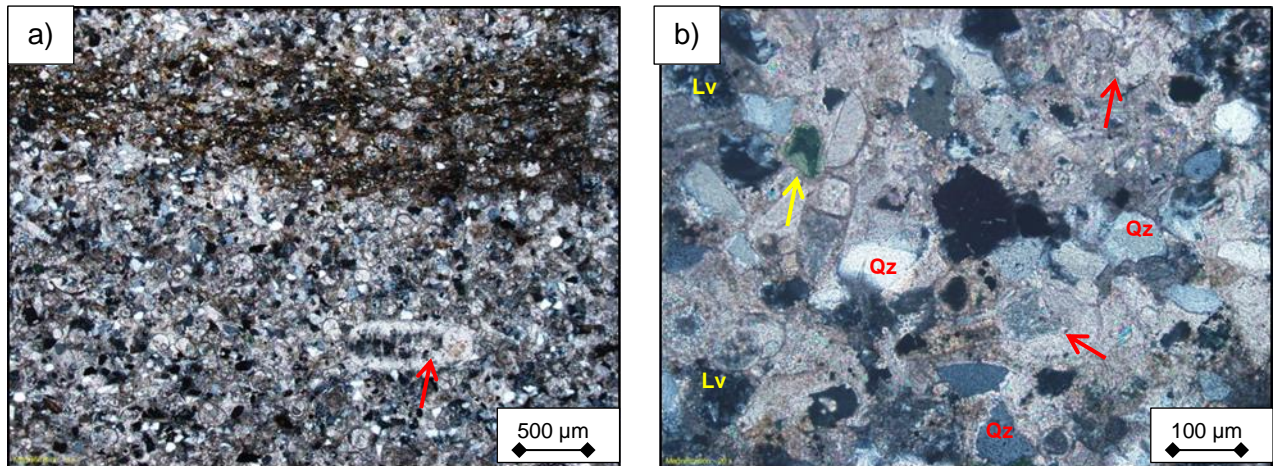
##### 5 Arenita lodosa, litoarenita, con laminas y lentes de lodolita (SA-1946):

Roca soportada por granos terrígenos y aloquímicos, con laminación ondulosa paralela discontinua. Hay cemento calcáreo (esparita) reemplazando a los diferentes componentes del armazón. Los granos están bien seleccionados y son angulares a subangulares.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 25,0%) tamaño limo fino a arena fina, con extinción recta, suavemente ondulosa y ondulosa; cuarzos policristalinos tamaño limo grueso a arena fina; líticos volcánicos tamaño limo grueso a arena fina; líticos metamórficos (esquistos) tamaño arena fina; feldespatos potásicos tamaño limo mediano a arena fina; granos terrígenos reemplazados por carbonato tamaño limo grueso a arena fina; como accesorios mica muscovita tamaño limo grueso; trazas de zircones y turmalinas, y minerales arcillosos en la matriz y las láminas de lodolita.

Los aloquímicos son foraminíferos bentónicos (más del 10,0%) tamaño limo grueso a arena gruesa, bioclastos calcáreos sin identificar tamaño limo grueso a arena fina, trazas de restos de peces y de radiolarios reemplazados por calcita. Igualmente la matriz está conformada por microesparita, pseudoesparita y materia orgánica. Como minerales autigénicos hay trazas de pirita framboidal y de glauconita.





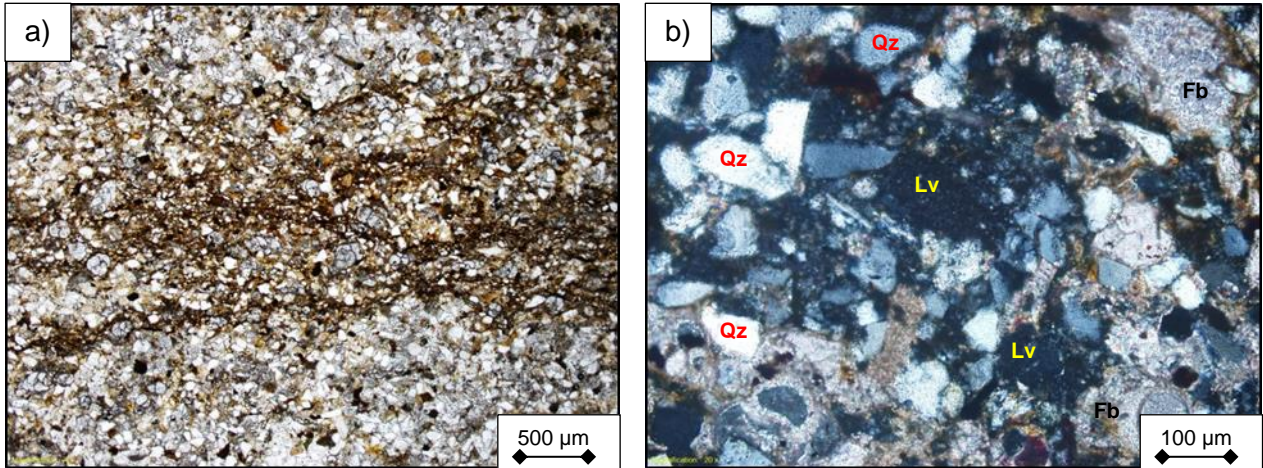
**a)** Arenita lodosa con láminas de lodolita fosilífera. Se observa un foraminífero bentónico de más de 500  $\mu\text{m}$  (flecha roja). SA-1946\_4x\_XPL. **b)** Granos de cuarzo monocristalino (Qz) y líticos volcánicos (Lv) siendo reemplazados por el cemento calcáreo. También hay granos de glauconita (flecha amarilla) y foraminíferos bentónicos (flechas rojas). SA-1946\_20x\_XPL.

#### 6 Arenita limosa, litoarenita, con lentes y laminas de lodolita (SA-1947):

Roca soportada por granos terrígenos y aloquímicos, con laminación ondulosa paralela continua a discontinua, interrumpida por posibles estructuras de madrigueras. Hay cemento calcáreo (esparita), sobrecrecimiento de caolinita y óxidos de hierro.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 35,0%) tamaño limo mediano a arena fina, con extinción recta, suavemente ondulosa, ondulosa y algunos son compuestos; cuarzos policristalinos tamaño limo grueso a arena muy fina; líticos volcánicos tamaño limo grueso a arena muy fina; feldespatos potásicos tamaño limo grueso a arena fina; granos terrígenos reemplazados por carbonato tamaño limo mediano a arena muy fina; como accesorios mica muscovita tamaño limo mediano a arena muy fina; turmalinas tamaño arena muy fina; trazas de líticos metamórficos de esquistos y de zircones, y minerales arcillosos.

Los aloquímicos son foraminíferos bentónicos tamaño arena muy fina a mediana, bioclastos calcáreos sin identificar tamaño limo mediano a arena fina, restos de conchas de bivalvos tamaño arena muy fina a fina y trazas de restos de peces. Otro aloquímico corresponde a peloides fosfáticos tamaño limo grueso a arena muy fina. Además en la matriz hay micrita y materia orgánica. Como minerales autigénicos hay glauconita, hematitas y trazas de piritas framboidales.



a) Arenita lodosa, con láminas de lodolita. SA-1947\_4x\_PPL. b) Lítico volcánico (Lv), granos de cuarzo monocristalino (Qz), siendo reemplazados por cemento calcáreo. Además de foraminíferos bentónicos (Fb) y materia orgánica. SA-1947\_20x\_XPL.

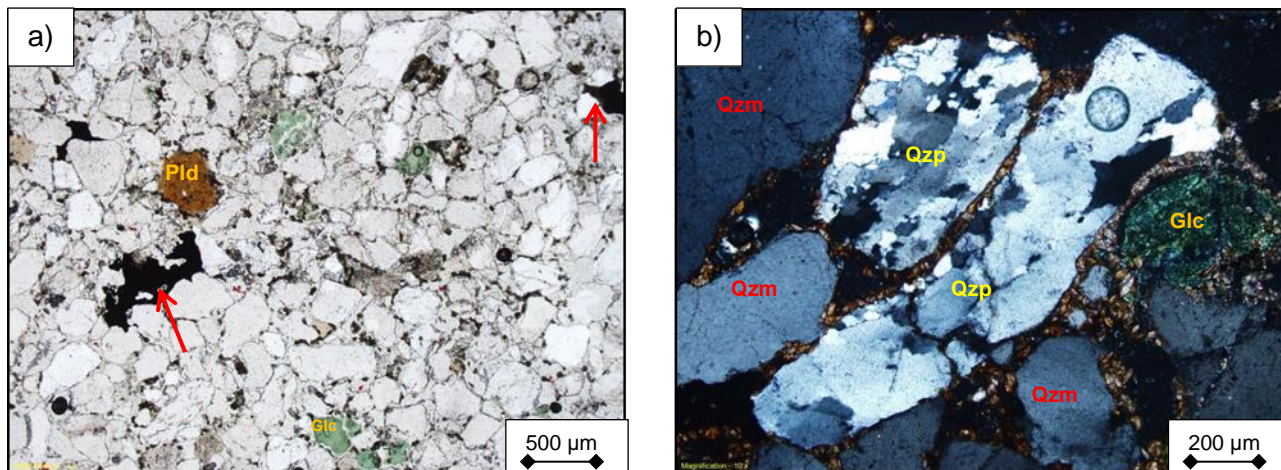
### Formación La Tabla

A partir del análisis petrográfico de siete secciones estratigráficas se reconocen cinco microfacies principales.

#### 1 Arenita de grano medio, sublitoarenita (SA-1948, SA-1950 y SA-1952):

Roca soportada por granos terrígenos, sin laminación aparente. Presentando diferentes tipos de cementos desde sobrecrecimiento de caolinita, sobrecrecimiento de sílice (en los bordes de los granos de cuarzo), sílice microcristalino, óxidos de hierro, calcáreo y siderítico (más del 10,0% en las muestras SA-1950 y SA-1952), y la porosidad primaria varía desde 0,6% hasta 6,1% (muestra SA-1948). Los granos están bien (SA-1948 y SA-1950) a moderadamente (SA-1952) seleccionados, y son subangulares a subredondeados.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 65,0%) tamaño limo mediano a arena muy gruesa, con extinción recta, suavemente ondulosa, ondulosa y algunos son compuestos; cuarzos policristalinos de origen metamórfico (cuarcitas) tamaño arena fina a arena muy gruesa; feldespato potásico tamaño arena fina a arena mediana; líticos volcánicos tamaño arena muy fina a arena mediana; trazas de líticos metamórficos esquistos (SA-1950) y de zircones (SA-1950 y SA-1952), y minerales arcillosos en la matriz (SA-1948). Los escasos aloquímicos son peloides fosfáticos tamaño granulo (SA-1950 y SA-1952). Como minerales autigénicos hay glauconita (oxidada con colores amarillos), y pirita cementando los granos terrígenos (SA-1950 y SA-1952). El contenido de materia orgánica es inferior al 2,0%.

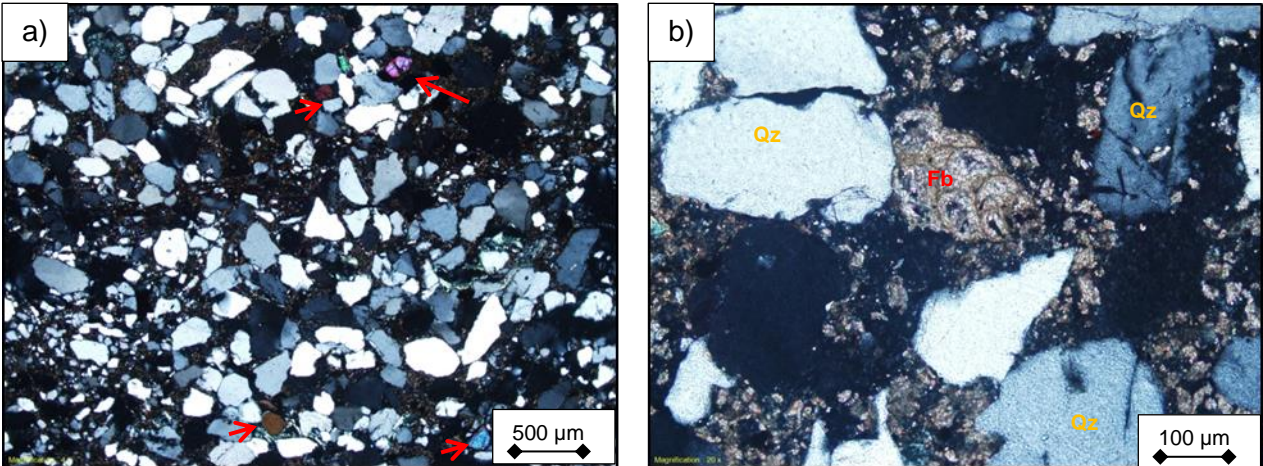


**a)** Arenita de grano medio, sublitoarenita, se observa el peloide fosfático (Pld), glauconitas (Glc), y la pirita cementando los granos de cuarzo (flechas rojas). SA-1950\_4x\_PPL. **b)** Cuarzos monocristalinos (Qzm) y policristalinos (Qzp), de origen metamórfico (cuarzitas), granos de glauconita (Glc) y entre los granos cristales de siderita, estos se están oxidando (colores naranja oscuro). SA-1952\_10x\_XPL.

## 2 Arenita de grano fino, sublitoarenita, con laminas de lodolita (SA-1954):

Roca soportada por granos terrígenos y aloquímicos, con laminación ondulosa no paralela a paralela discontinua, presentando láminas y lentes de lodolita. Hay cemento carbonatico (cristales de siderita, más del 10,0%), óxidos de hierro, sobrecrecimiento de caolinita y sobrecrecimiento de sílice. Los granos están moderadamente seleccionados y son subangulares a angulares.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 60,0%) tamaño limo grueso a arena gruesa, con extinción recta, suavemente ondulosa, ondulosa, algunos son compuestos y otros tienen bahías de corrosión (origen volcánico); cuarzos policristalinos tamaño limo grueso a arena mediana; líticos volcánicos tamaño arena muy fina; feldespatos potásicos tamaño arena muy fina a fina; plagioclasas tamaño arena fina; micas muscovitas tamaño arena muy fina; minerales arcillosos (presentes en las láminas y lentes de lodolita), y trazas de zircones, turmalinas y titanitas (esfenas). Hay trazas de foraminíferos bentónicos biseriales. Además hay como minerales autigénicos glauconita, pirita cementando a los granos y arcillas diagenéticas (caolinita).

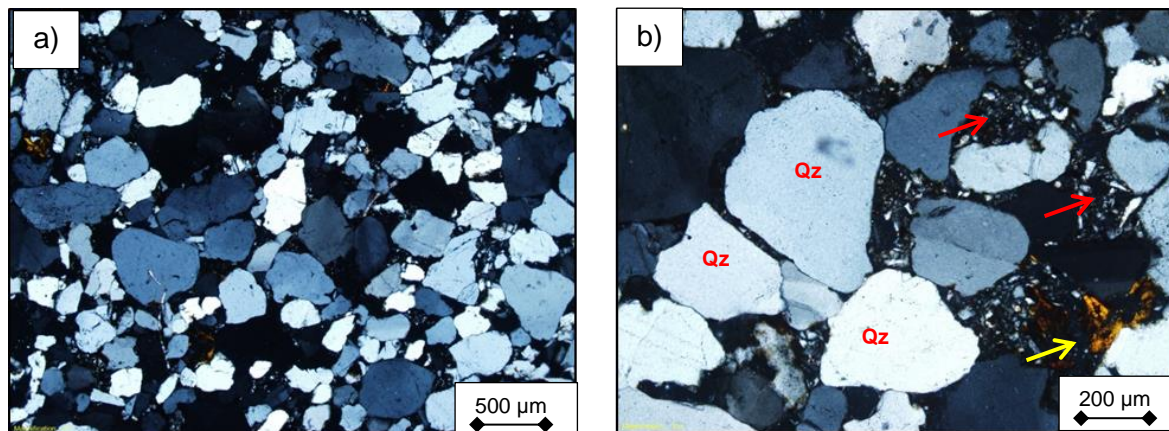


**a)** Arenita de grano fino, sublitoarenita. Se observan distintos granos de minerales pesados (zircones, turmalinas y esfenas) (flechas rojas). Se puede ver la moderada a mala selección de la roca. SA-1954\_4x\_XPL. **b)** Foraminífero bentónico biserial (Fb), siendo reemplazado por siderita, entre cristales subangulares de cuarzo monocristalino (Qz). SA-1954\_20x\_XPL.

### 3 Arenita levemente conglomerática de grano medio, sublitoarenita (SA-1956):

Roca soportada por granos terrígenos, sin laminación interna aparente. Hay óxidos de hierro, sobrecrecimiento de caolinita y sobrecrecimiento de sílice, además de 0,9% de porosidad primaria. Los granos están mal seleccionados y son subangulares a subredondeados.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 70,0%) tamaño limo grueso a granulo, con extinción recta, suavemente ondulosa, ondulosa y algunos con bahías de corrosión; cuarzos policristalinos tamaño arena fina a granulo; líticos volcánicos tamaño arena fina a gruesa; líticos sedimentarios tamaño arena mediana a gruesa, de arenita y de lodolita; feldespato potásico tamaño arena gruesa; minerales arcillosos, y trazas de zircones y micas muscovitas. Hay trazas de peloides fosfáticos, además de materia orgánica.

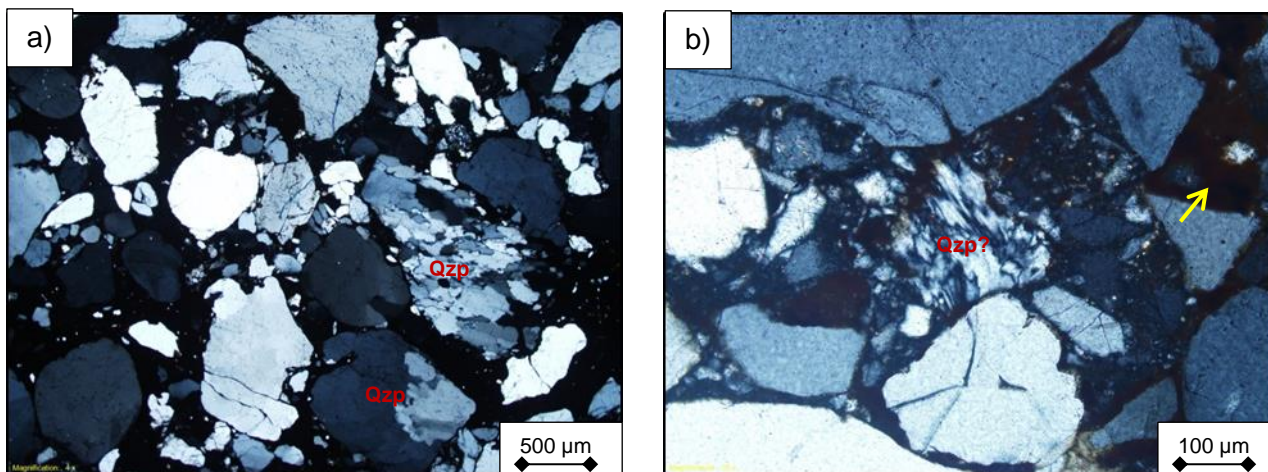


**a)** Arenita levemente conglomerática de grano medio, sublitoarenita. Se observan granos de cuarzo monocristalinos con selección mala a moderada. SA-1956\_4x\_XPL. **b)** Óxidos de hierro (¿glauconitas oxidadas?) (flecha amarilla) entre los granos de cuarzo monocristalinos (Qz), hay pequeños granos de cuarzo angulares entre los granos de mayor tamaño (¿líticos sedimentarios de arenitas?) (flechas rojas). SA-1956\_10x\_PPL.

#### 4 Arenita levemente conglomerática de grano muy grueso, sublitoarenita (SA-1958):

Roca soportada por granos terrígenos, sin laminación interna aparente. Hay óxidos de hierro (más del 10,0%) y sobrecrecimiento de caolinita, además de 2,2% de porosidad primaria. Los granos están mal seleccionados y son subredondeados a subangulares.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 70,0%) tamaño limo mediano a granulo, con extinción recta, suavemente ondulosa, ondulosa; cuarzos policristalinos tamaño arena fina a granulo, y trazas de feldespatos potásicos y zircones.

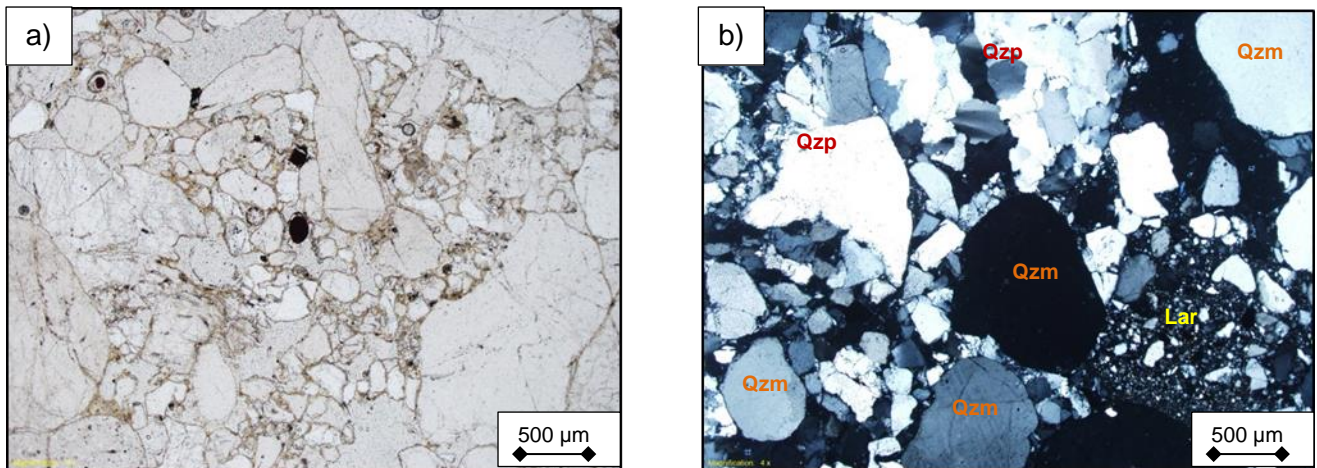


**a)** Arenita levemente conglomerática de grano grueso. Se observan granos de cuarzo monocristalinos, cuarzos policristalinos (Qzp) de origen metamórfico, y óxidos de hierro entre los granos. Mala selección de los granos. SA-1958\_4x\_XPL. **b)** Cuarzo con textura de deformación plástica (origen metamórfico) (Qzp?). Entre los granos hay óxidos de hierro (flecha amarilla). SA-1958\_20x\_XPL.

#### 4 Conglomerado arenoso de gránulos, polimíctico (SA-1961):

Roca soportada por granos terrígenos, sin laminación interna aparente. Hay óxidos de hierro y sobrecrecimiento de sílice, además de 3,2% de porosidad primaria. Los granos están muy mal seleccionados y son subredondeados a redondeados.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 45,0%) tamaño limo mediano a guijo, con extinción recta, suavemente ondulosa, ondulosa, algunos son compuestos y otros tienen bahías de corrosión (origen volcánico); cuarzos policristalinos (más del 40,0%) tamaño arena fina a guijo; fragmentos de chert tamaño arena muy gruesa a guijo; líticos volcánicos tamaño arena muy gruesa a granulo; líticos de lodolitas tamaño arena muy gruesa; líticos de arenitas tamaño arena mediana (250  $\mu\text{m}$ -500  $\mu\text{m}$ ); feldespato potásico tamaño arena mediana; minerales arcillosos, y trazas de zircones.



**a)** Conglomerado arenoso de granos, polimíctico. Se observa la muy mala selección de los granos y la alta porosidad primaria de la roca. SA-1961\_4x\_PPL. **b)** Mayoría de clastos son cuarzos monocristalinos (Qzm), también hay un lítico de arenita mal seleccionada (Lar) y cuarzos policristalino (Qzp). SA-1961\_4x\_XPL.

### Sección del río Yaguaracito

Se realizaron 24 secciones delgadas de muestras tomadas en la sección del río Yaguaracito y se realiza una descripción general de las microfacies petrográficas identificadas para cada unidad.

#### Formación Loma Gorda

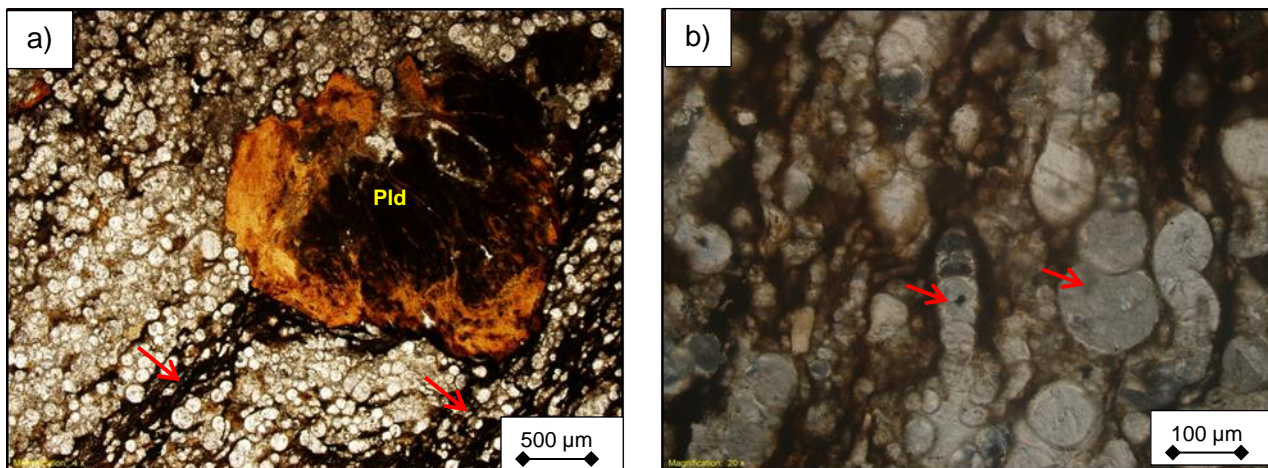
A partir del análisis petrográfico de seis secciones estratigráficas se reconocen cinco facies principales las cuales serán descritas como sigue:

- 1 Biomicrita con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos (RY-1701 y RY-1703):

Roca soportada por aloquímicos, con laminación plana paralela continua a discontinua. El contenido de materia orgánica es superior al 30,0%.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos planctónicos (más del 45,0%) tamaño limo grueso a arena mediana, bioclastos calcáreos sin identificar, restos de conchas de bivalvos y restos fosfáticos de peces.

Solo la muestra RY-1701 presenta como componentes terrígenos minerales arcillosos en la matriz, la cual está conformada por micrita, microesparita y pesudoesparita.



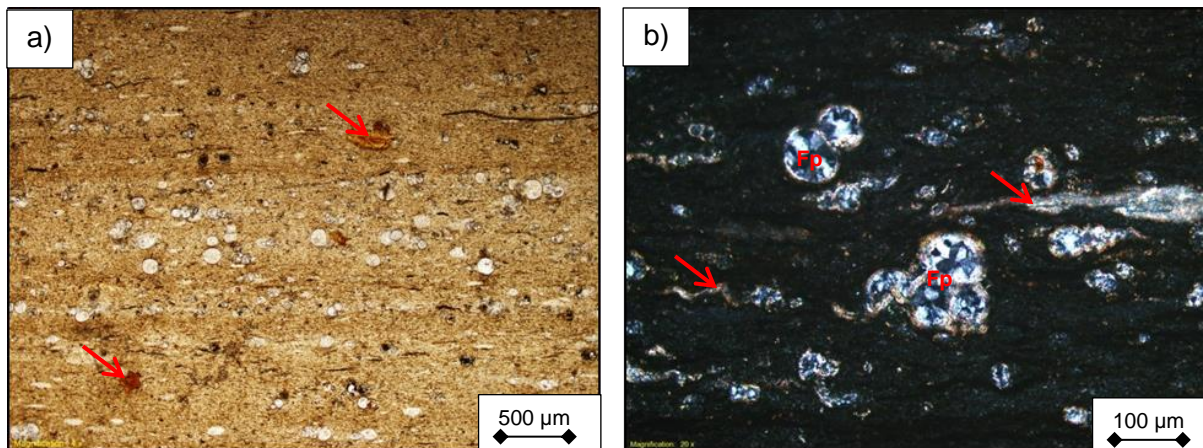
**a)** Biomicrita con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos. Peloide fosfático (Pld), laminas con alto contenido de materia orgánica (flechas rojas). RY-1701\_4x\_PPL. **b)** Foraminíferos planctónicos (flechas rojas) con diferentes cortes y tipos de enrollamiento (¿biseriales?), se encuentran con sus bordes diluidos debido a la compactación. La materia orgánica se encuentra manchando la matriz micritica. RY-1703\_20x\_XPL.

## 2 Biomicrita silicificada con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos (RY-1702):

Roca soportada por sílice microcristalina diagenética (más del 80,0%), con laminación plana paralela continua. Presenta más de 1,0% de materia orgánica.

Los aloquímicos corresponden en su totalidad a bioclastos, estos son foraminíferos planctónicos la gran mayoría silicificados (más del 5,0%) de tamaño limo grueso a arena mediana, bioclastos calcáreos de tamaño limo grueso a arena fina, bioclastos silicificados tamaño arena fina a arena muy gruesa y restos de peces tamaño arena muy fina.

Como minerales autigénicos hay pirita framboidal. La roca presenta venillas rellenas de sílice microcristalina diagenética.

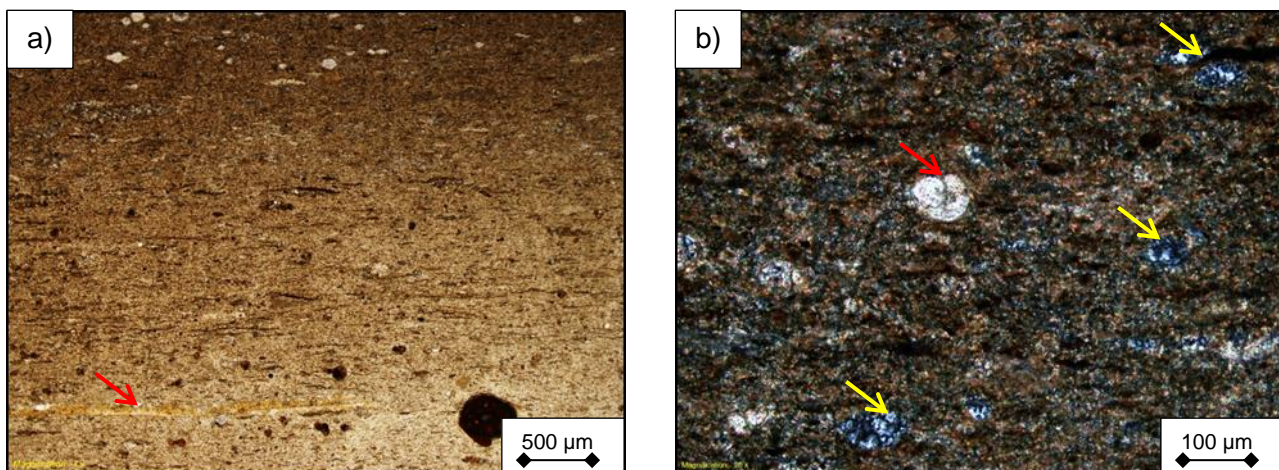


**a)** Biomicrita silicificada con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos. Se observan restos fosfáticos de color naranja (¿restos de peces?) (flechas rojas). RY-1702\_4x\_PPL. **b)** Foraminíferos planctónicos (Fp) con el interior de sus cámaras reemplazado por sílice microcristalina diagenética, mientras el caparazón sigue siendo calcáreo. Algunos foraminíferos se encuentran colapsados (flechas rojas) debido a la compactación. La matriz se encuentra totalmente reemplazada por sílice microcristalina a criptocristalina, por eso presenta ese color negro oscuro. RY-1702\_20x\_XPL.

### 3 Micritas silicificadas con textura *mudstone* (RY-1707):

Roca soportada por sílice microcristalina diagenética (más del 80,0%), micrita y materia orgánica (más del 1,0%), con laminación plana paralela continua. Como porosidad secundaria presenta venillas vacías y otras rellenas de calcita.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos planctónicos tamaño limo grueso a arena fina, bioclastos calcáreos tamaño arena muy fina y bioclastos fosfáticos tamaño limo mediano (¿restos de peces?). Como mineral autigénico hay pirita framboidal.



**a)** Biomicrita con textura *mudstone*. Se observan un resto fosfático alargado (flecha roja), y bioclastos manchados con materia orgánica (esquina inferior derecha). RY-1707\_4x\_PPL. **b)** Foraminífero planctónico sin silicificar (flecha roja),

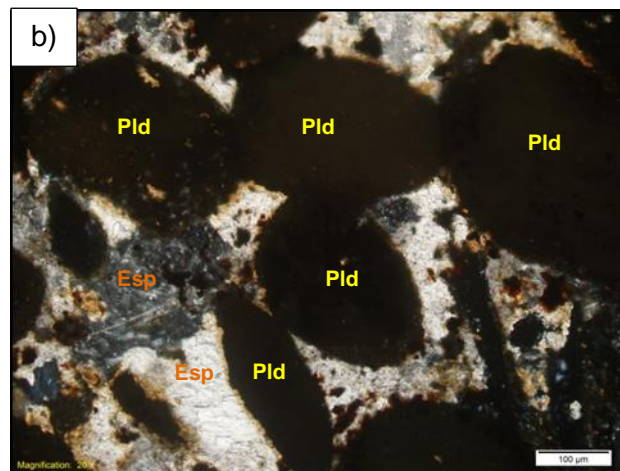
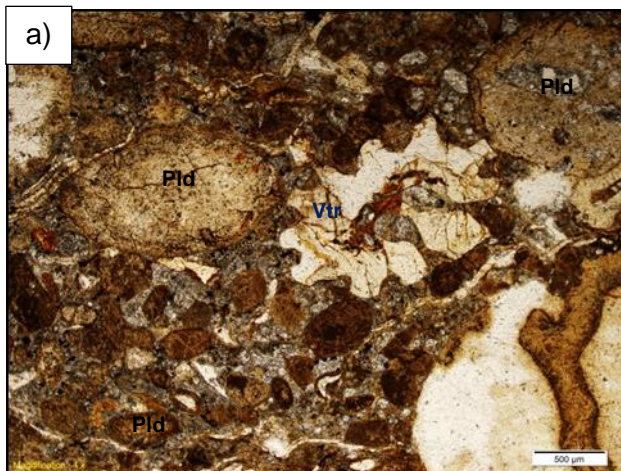


posibles foraminíferos totalmente silicificados (solo se observa el molde) (flechas amarillas), la matriz está totalmente silicificada (microcristales de cuarzo). RY-1707\_20x\_XPL.

#### 4 *Phosclast-packstone* de peloides y restos de peces (RY-1706):

Roca soportada por aloquímicos y granos terrígenos, con laminación ondulosa paralela discontinua, hay además cemento calcáreo (más del 15,0%). La selección de los granos es mala y presenta gran variación en la redondez de estos, desde subangulares hasta redondeados.

Los aloquímicos corresponden a peloides fosfáticos (más del 25,0%) tamaño arena muy fina a gruesa, restos de peces (más del 20,0%) tamaño arena fina a guijo, foraminíferos planctónicos tamaño limo grueso a arena mediana, bioclastos calcáreos tamaño arena fina, ooides fosfáticos tamaño arena fina a gruesa e intraclastos fosfáticos tamaño arena muy gruesa. La matriz de la roca está conformada por sílice microcristalina diagenética (más del 10,0%), y como componente terrígeno hay minerales arcillosos (lamina al tope) además de materia orgánica (más del 1,0%).



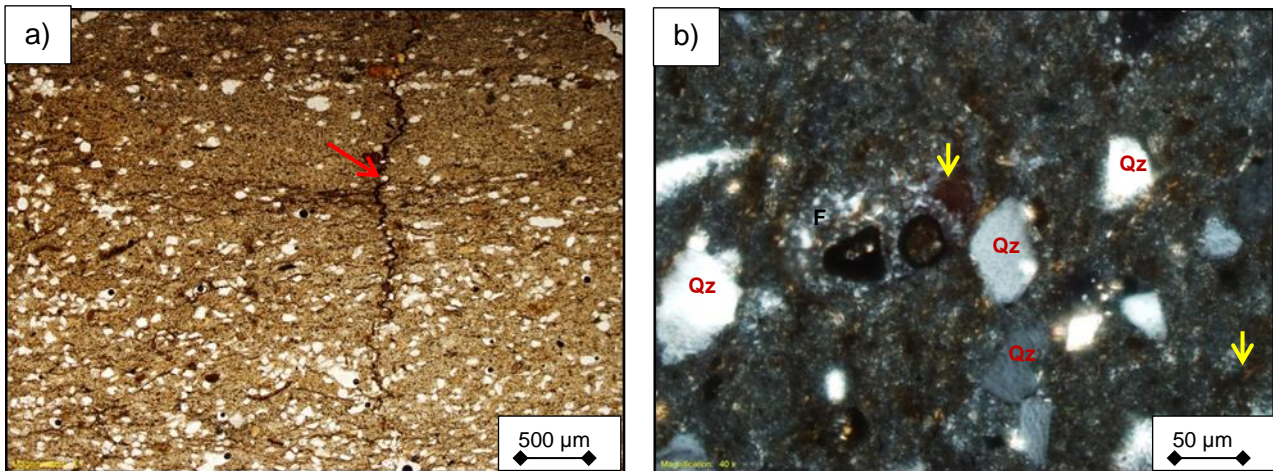
- a)** *Phosclast-packstone* de peloides y restos de peces. Se observa una vértebra de pez (Vtr) de color amarillo claro, las formas redondeadas de color amarillo parduzco corresponden a peloides fosfáticos (presentando diferentes tamaños) (Pld) RY-1706\_4x\_PPL. **b)** Peloides fosfáticos (isotrópicos) (Pld), posiblemente correspondan a pellets fecales, entre estos hay cemento calcáreo (esparita) (Esp). RY-1706\_20x\_XPL.

#### 5 Micrita lodosa silicificada con laminas de limolita arenosa (RY-1710):

Roca soportada por sílice microcristalina diagenética (más del 75,0%) y materia orgánica (más del 1,0%), con laminación plana no paralela discontinua a continua, presenta lentes claros de granos tamaño limo grueso a arena muy fina. Hay estilolitos con materia orgánica cortando la laminación. Los granos están moderadamente seleccionados y son subangulares a subredondeados.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos tamaño limo mediano a arena muy fina, con extinción recta y ondulosa; feldespato potásico tamaño limo mediano a arena muy fina; como accesorios micas muscovita tamaño arena muy fina; minerales arcillosos y minerales opacos tamaño limo grueso.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos sin enrollamiento reconocible silicificados tamaño limo grueso a arena fina, restos de peces tamaño limo mediano a arena muy fina y peloides fosfáticos tamaño arena muy fina a mediana.



- a) Micrita lodosa silicificada, con laminas de limolitas arenosas. Se observa un estilolito (flecha roja) perpendicular a la laminación, además de granos de cuarzo (la mayoría). RY-1710\_4x\_PPL. b) Foraminífero (¿?) totalmente silicificado (con microcristales de cuarzo) (F), granos de cuarzo monocristalinos (Qz) de color grises a blancos, manchas de materia orgánica (flecha amarilla), y la matriz está totalmente reemplazada por sílice micro a criptocristalina. RY-1710\_40x\_XPL.

### Formación Lidita Inferior

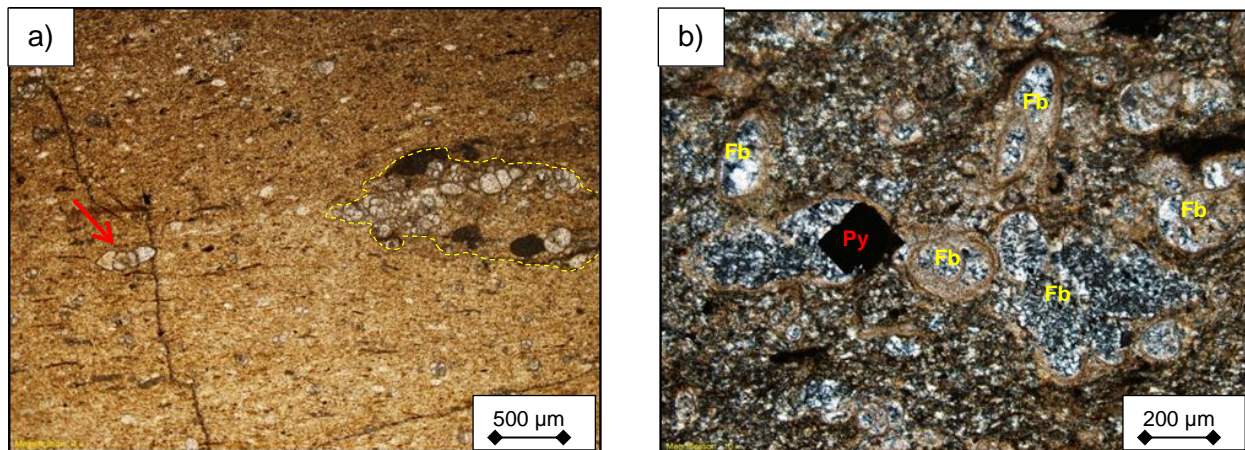
A partir del análisis petrográfico de cinco secciones estratigráficas se reconocen cuatro microfacies principales.

#### 1 Biomicrita silicificada con textura *wackestone* de foraminíferos (RY-1714):

Roca soportada por sílice microcristalina diagenética (más del 70,0%), micrita (más del 5,0%) y materia orgánica (más del 1,0%), con laminación plana paralela continua a discontinua.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos (más del 20,0%) planctónicos y bentónicos (predominando los segundos) totalmente silicificados tamaño limo mediano a arena gruesa, bioclastos calcáreos tamaño arena fina, bioclastos silicificados tamaño limo grueso a arena muy

finas y restos de peces tamaño granulo. Como componente terrígeno hay granos de cuarzo monocristalinos tamaño limo mediano.



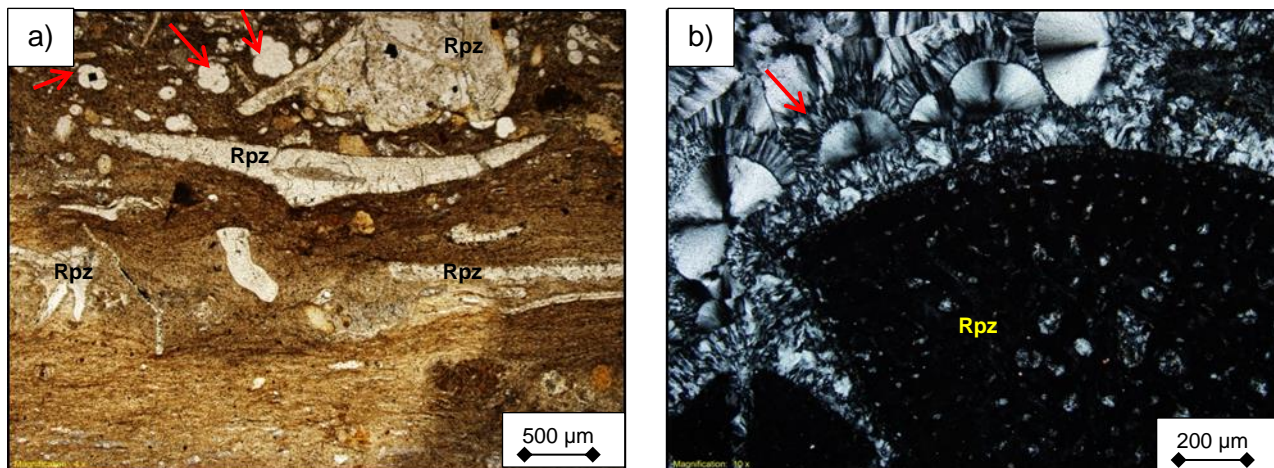
**a)** Biomicrita silicificada con textura *wackestone* de foraminíferos. Se observa un lente con un mayor contenido de foraminíferos (línea amarilla). Foraminífero bentónico a la izquierda (Flecha roja). RY-1714\_4x\_PPL. **b)** Foraminíferos bentónicos (la mayoría), totalmente reemplazados por sílice microcristalina (Fb), solo el caparazón sigue siendo calcáreo. Hay un gran cristal de pirita framboidal (cristal euhedral totalmente negro) (Py), este creció desde el interior del caparazón de un foraminífero. La matriz también se encuentra totalmente reemplazada por la sílice (microcristales de cuarzo). RY-1714\_10x\_XPL.

## 2 *Phosclast-rudstone* de restos de peces y peloides (RY-1915 y RY-1917):

Roca soportada por aloquímicos, la lámina de biomicrita presente tanto en la base (RY-1715) como en el tope (RY-1717) presenta laminación ondulosa paralela continua. Hay más de 25,0% de cemento de calcedonia entre los aloquímicos, además estos están mal seleccionados y son subangulares a subredondeados.

Los aloquímicos son restos de peces (más del 40,0%) tamaño arena muy fina a guijo, algunos se encuentran reemplazados por sílice microcristalino. En la lámina de biomicrita los aloquímicos son foraminíferos bentónicos tamaño arena muy fina a mediana. También hay peloides fosfáticos tamaño arena fina a granulo e intraclastos.

La matriz en la lámina de biomicrita corresponde a micrita, y sílice microcristalina diagenética. Como minerales autigénicos hay pirita framboidal dentro de los caparazones de los foraminíferos.

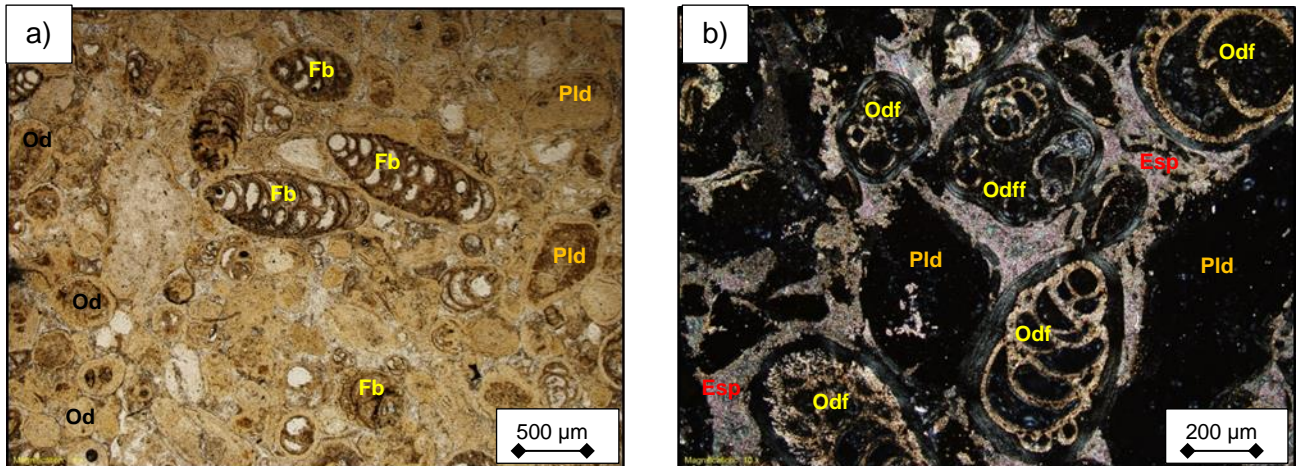


**a)** *Phosclast-rudstone* de restos de peces y peloides con lámina de biomicrita. Se observa el contacto erosivo entre la lámina de biomicrita en la base y la fosforita, hay restos de peces (Rpz) y foraminíferos bentónicos (flechas rojas). RY-1717\_4x\_PPL. **b)** Resto de pez fosfático (Rpz), parcialmente silicificado. Se observa la estructura radial del cemento de calcedonia (flecha roja). RY-1715\_10x\_XPL.

### 3 *Phosclast-grainstone* de ooides, foraminíferos bentónicos y restos de peces (RY-1719):

Roca soportada por aloquímicos, con laminación ondulosa paralela discontinua (laminas oscuras), además hay más de 10,0% de cemento calcáreo reemplazando a los componentes del armazón. Los aloquímicos están mal seleccionados y son subangulares a subredondeados.

Los aloquímicos corresponden foraminíferos bentónicos y escasos planctónicos (más del 5,0%) tamaño arena muy fina a mediana, restos de peces tamaño arena mediana a granulo, peloides fosfáticos tamaño arena fina a gruesa y ooides fosfáticos tamaño arena muy fina a arena muy gruesa con núcleos de foraminífero bentónico uniserial, biserial, trocoespiral, planctónico trocoespiral, peloide fosfático, resto de pez y algunos con más de un núcleo. Otro aloquímico corresponde a intraclastos fosfáticos tamaño granulo. La matriz está conformada por micrita.



**a)** *Phosclast-grainstone* de ooides, foraminíferos bentónicos y restos de peces. Se observa como los foraminíferos (Fb) están reemplazados por fosfatos, peloides fosfáticos (Plid) y los ooides son fosfáticos (Od). RY-1719\_4x\_PPL. **b)** Ooides con núcleos de foraminíferos bentónicos (Odf), algunos como el arriba al centro presentan más de un núcleo (odff). Cemento calcáreo (Esp) entre los ooides y peloides fosfáticos (Plid). RY-1719\_10x\_XPL.

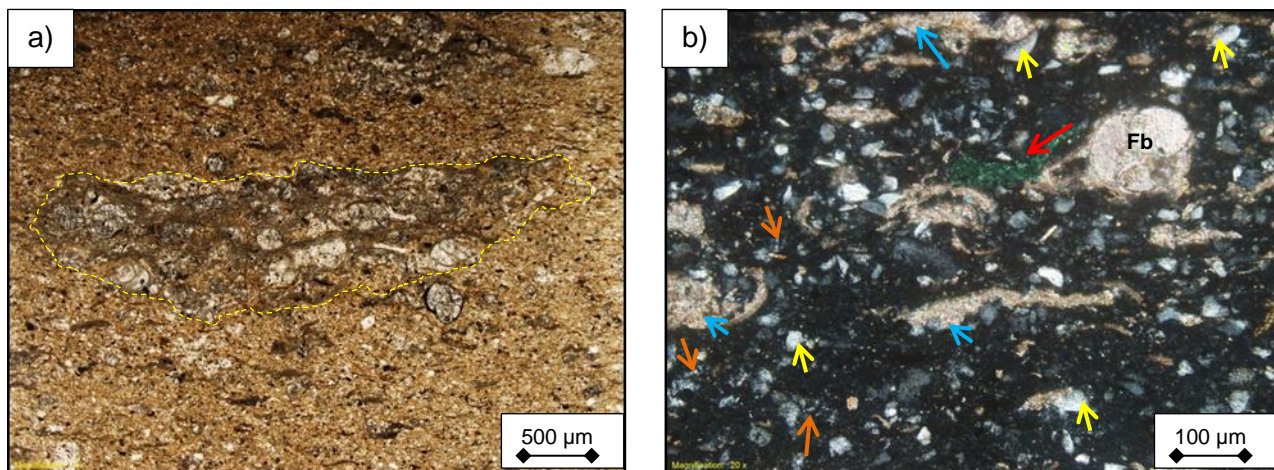
#### 4 Biomicrita lodosa con textura *wackestone* silicificada con lentes y láminas de limolitas fosilíferas (RY-1723):

Roca soportada por aloquímicos y granos terrígenos, con laminación muy variable, ondulosa paralela continua hacia la base, plana paralela continua en la parte media y ondulosa paralela discontinua en el tope. Además tiene 1,5% de porosidad secundaria la cual corresponde a venillas rellenas de calcita. La selección de los granos es moderada y estos son angulares a subangulares.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 30%) de tamaño limo muy fino a arena fina con extinción recta y ondulosa, feldespato potásico tamaño limo mediano a grueso y minerales arcillosos en la matriz.

Los aloquímicos son foraminíferos bentónicos (más del 10,0%) tamaño limo grueso a arena mediana, bioclastos calcáreos sin identificar tamaño limo grueso a arena mediana y peloides fosfáticos tamaño arena mediana.

La roca presenta materia orgánica opaca y subtranslúcida, además de glauconita como mineral autigénico y más de 20,0% de sílice microcristalina diagenética en la matriz.



- a) Biomicrita lodosa con textura *wackestone* silicificada, con láminas de limolita fosilífera. Se observan lentes con un mayor contenido de foraminíferos bentónicos (línea amarilla). RY-1723\_4x\_PPL. b) Granos de cuarzo (flecha amarilla) y feldespato potásico (flecha naranja), entre una matriz oscura de sílice microcristalina diagenética. Hay además foraminíferos bentónicos (Fb) algunos colapsados (flecha azul) y glauconita (flecha roja). RY-1723\_20x\_XPL.

### Formación El Cobre

A partir del análisis petrográfico de cinco secciones estratigráficas se reconocen dos microfacies principales.

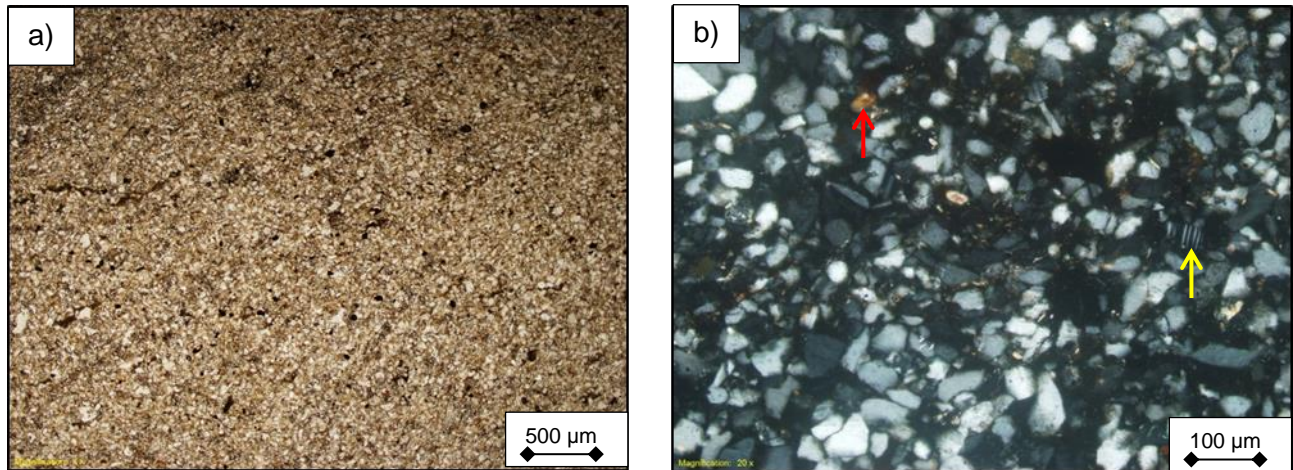
#### 1 Limolita arenosa (RY-1725, RY-1726 y RY-1727):

Roca soportada por granos terrígenos (la muestra RY-1726 presenta aloquímicos), sin laminación aparente debido a la bioturbación a excepción de la muestra RY-1725 con laminación ondulosa no paralela continua a discontinua, con madrigueras que la interrumpen. Hay distintos tipos de cementos desde esparita (más del 40,0% en la muestra RY-1726), sobrecrecimiento de caolinita y de sílice. La selección es buena y los granos son subangulares a subredondeados.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 50,0%) tamaño limo mediano a arena fina, con extinción recta, ondulosa, fuertemente ondulosa y algunos son compuestos, feldespatos potásicos y plagioclasas tamaño limo mediano a arena muy fina, escasos líticos volcánicos (solo en RY-1725) tamaño arena muy fina a fina, granos terrígenos completamente reemplazados por carbonatos (solo en RY-1726) tamaño limo mediano a arena muy fina y minerales accesorios como micas muscovitas, zircones y opacos.

Los aloquímicos son foraminíferos bentónicos tamaño arena fina a gruesa (solo presentes en la muestra RY-1726) y bioclastos calcáreos sin identificar tamaño arena muy fina a fina. La matriz

está conformada por minerales arcillosos (solo en RY-1725), y como minerales autigénicos hay glauconita.

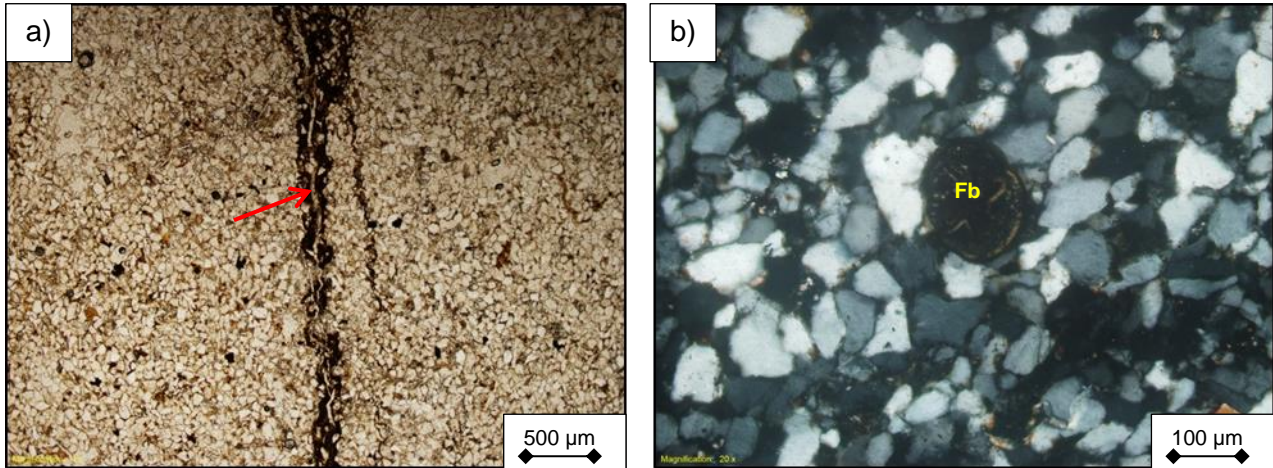


**a)** Limolita arenosa, gruesa, moderada. Se observa el tamaño fino de la roca y la buena selección, además de los minerales opacos. RY-1727\_4x\_PPL. **b)** Granos de cuarzo monocristalino, feldespato potásico (microclinas) (flecha amarilla) y pequeñas micas muscovitas (flecha roja). RY-1725\_20x\_XPL.

## 2 Arenita limosa, subarcosa (RY-1728 y RY-1729):

Roca soportada por granos terrígenos, sin laminación aparente (pequeños lentes de lodo en la muestra RY-1728). Hay distintos tipos de cementos, esparita (RY-1728) y sobrecrecimiento de sílice en los bordes de los granos de cuarzo (RY-1729). La selección es moderada a buena y los granos son subangulares.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 75,0%) tamaño limo mediano a arena fina, con extinción recta, suavemente ondulosa y ondulosa, feldspatos potásicos y plagioclasas (más del 5,0%) tamaño limo mediano a arena fina, líticos volcánicos tamaño limo grueso a arena muy fina (solo en RY-1728), y como minerales accesorios hay zircones, opacos y trazas de turmalinas. Los aloquímicos son trazas de foraminíferos bentónicos (solo en RY-1729). Hay minerales arcillosos en la matriz (solo en RY-1728), más de 1,0% de materia orgánica y trazas de glauconita como mineral autigénico.



a) Arenita limosa, subarcosa, muy fina, moderada, submadura. Se observa un lente de lodo con materia orgánica (flecha roja), además de la selección moderada a buena. RY-1728\_4x\_PPL. b) Foraminífero bentónico reemplazado por fosfatos (Fb), rodeado de granos de cuarzo monocristalino. RY-1729\_20X\_XPL.

### Formación Lidita Superior

A partir del análisis petrográfico de tres secciones estratigráficas se reconocen tres microfacies principales.

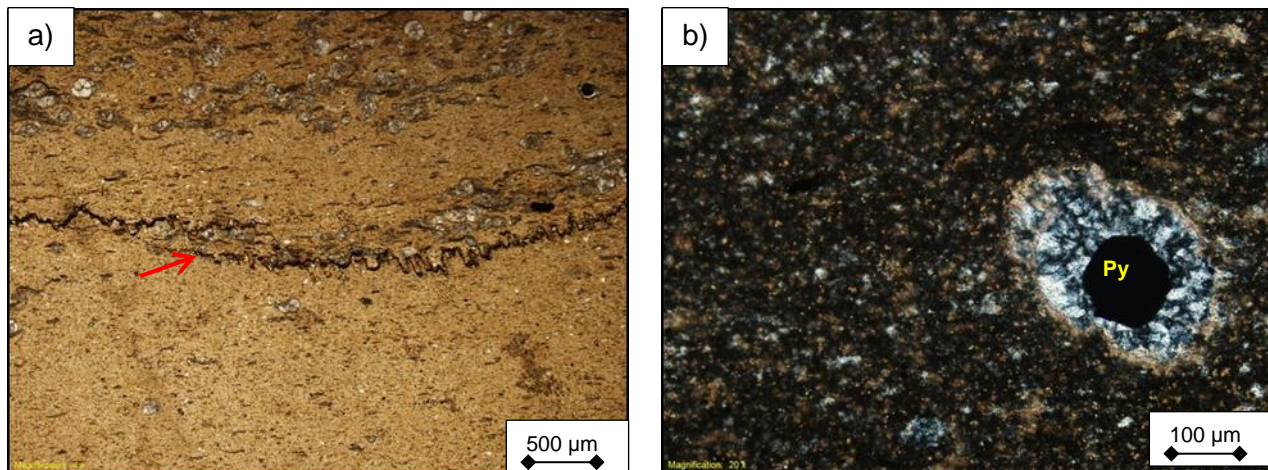
#### 1 Biomicrita silicificada con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos (RY-1730):

Roca soportada sílice microcristalina diagenética (más del 75,0%), con laminación ondulosa paralela continua, además presenta venillas rellenas de calcita como porosidad secundaria y estilolitos con materia orgánica.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos (más del 5,0%) varios siendo reemplazados por sílice microcristalina o calcedonia (algunos están colapsados) tamaño limo grueso a mediana y bioclastos calcáreos sin identificar tamaño limo grueso a arena fina.

Como componentes terrígenos hay cuarzos monocristalinos tamaño limo fino a grueso y micas muscovitas tamaño limo grueso, además hay pirita framboidal como mineral autigénico dentro de los caparzones de los foraminíferos. La matriz de la roca está conformada, además de la sílice microcristalina, por micrita (lentes) y materia orgánica.





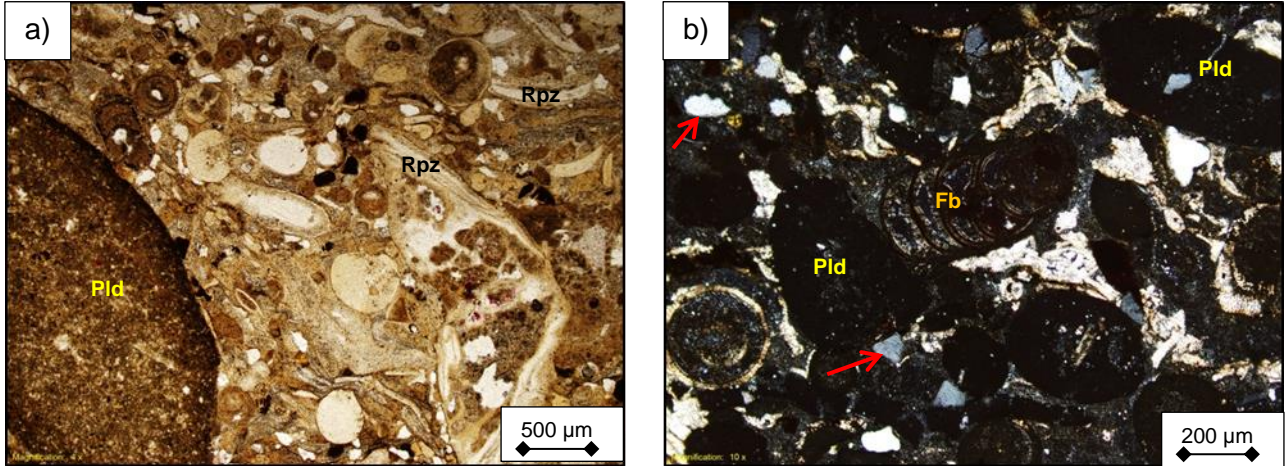
**a)** Biomicrocrista silicificada con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos. Se observa un estilolito paralelo a la laminación con materia orgánica (flecha roja). RY-1730\_4x\_PPL. **b)** Foraminífero bentónico con el interior reemplazado por sílice microcristalina diagenética, el caparazón aun es de calcita. Dentro del caparazón hay un cristal de pirita framboidal (Py). La matriz está totalmente reemplazada por sílice microcristalina a criptocristalina (color negro, las manchas de color beige son pequeños parches de lo que era la matriz calcárea anterior al reemplazamiento). RY-1730\_20x\_XPL.

## 2 *Phosclast-packstone* de restos de peces, bioclastos calcáreos sin identificar y peloides (RY-1732):

Roca soportada por aloquímicos y componentes terrígenos, con laminación ondulosa paralela discontinua, además hay cemento calcáreo. La selección es mala y los granos son subangulares a subredondeados.

Los aloquímicos corresponden a restos de peces (más del 20,0%) tamaño arena muy fina a granulo; bioclastos calcáreos sin identificar (más del 15,0%) tamaño limo grueso a arena muy gruesa; foraminíferos bentónicos (más del 5,0%) (Algunos colapsados) tamaño arena muy fina a gruesa; peloides fosfáticos (más del 10,0%) tamaño arena muy fina a gruesa y ooides tamaño arena muy fina a mediana con núcleos de peloides, foraminíferos y fragmentos de chert (?).

Como componentes terrígenos hay cuarzos monocristalinos tamaño arena muy fina a fina y minerales arcillosos (más del 5,0%). Además hay pirita framboidal como mineral autigénico, sílice microcristalina diagenética (más de 15,0%) en la matriz, y materia orgánica.



**a)** *Phosclast-packstone* de restos de peces (Rpz), bioclastos calcáreos sin identificar y peloides fosfáticos (Pld). Se observa la mala selección de los aloquímicos, al igual que la gran variedad de estos. RY-1732\_4x\_PPL. **b)** Foraminífero bentónico biserial reemplazado por fosfatos (Fb). Granos de cuarzo monocristalino (flechas amarillas), entre los peloides fosfáticos (Pld) y los bioclastos calcáreos sin identificar (¿foraminíferos colapsados?). La matriz oscura es la sílice microcristalina a criptocristalina diagenética. RY-1732\_10X\_XPL.

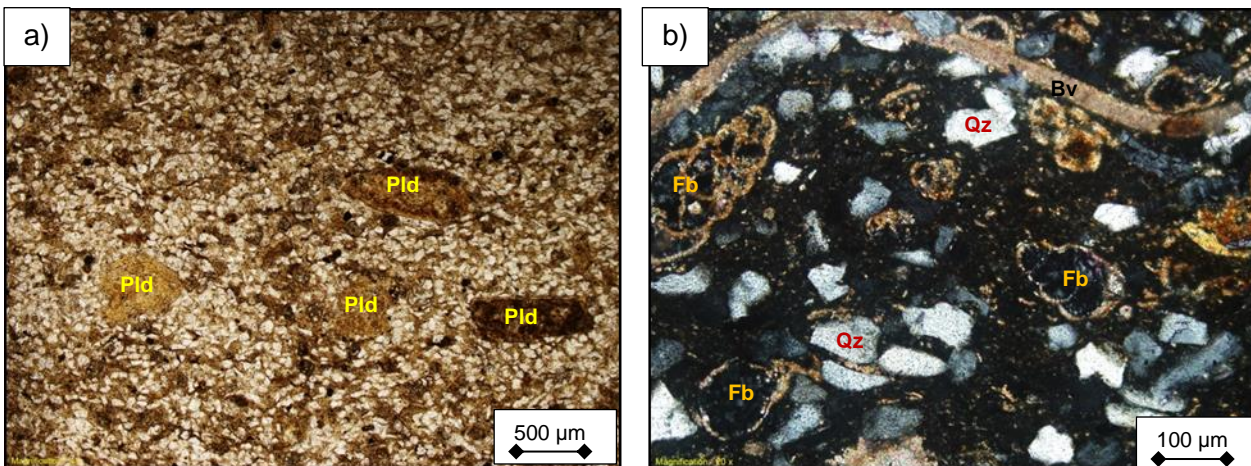
### 3 Arenita limosa micritica parcialmente silicificada, subarcosa (RY-1733B):

Roca soportada por componentes terrígenos y aloquímicos, con laminación ondulosa paralela discontinua. Presenta cemento calcáreo y sobrecrecimiento de sílice en los bordes de los granos de cuarzo. La selección es moderada y los granos son subangulares.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 35,0%) tamaño limo mediano a arena fina, con extinción recta, ondulosa y fuertemente ondulosa; cuarzos policristalinos tamaño limo fino; feldespatos potásicos (más del 5,0%) tamaño limo grueso a arena muy fina; fragmentos de chert tamaño arena muy fina; como minerales accesorios hay zircones tamaño limo grueso y rutilos tamaño arena muy fina, y minerales arcillosos en la matriz.

Los aloquímicos corresponden a foraminíferos bentónicos (algunos silicificados) tamaño arena muy fina a muy gruesa; bioclastos calcáreos sin identificar tamaño limo grueso a arena fina; restos de peces tamaño arena mediana a gruesa; trazas de restos de conchas de bivalvos y peloides fosfáticos (más del 5,0%) tamaño arena muy fina a muy gruesa.

La matriz está conformada por sílice microcristalina diagenética (más del 25,0%) y materia orgánica, además hay cristales de carbonato autigénicos.



- a)** Arenita limosa micrítica, parcialmente silicificada, fosilífera. Se observan peloides fosfáticos (Pld) entre los granos de cuarzo. RY-1733B\_4x\_PPL. **b)** Foraminíferos bentónicos con su interior reemplazado por sílice microcristalina diagenética (Fb), sus caparazones siguen siendo de calcita, restos de conchas de bivalvos (Bv), granos de cuarzo monocristalino (Qz), y la matriz está siendo reemplazada por sílice microcristalina a criptocristalina (color negro). RY-1733B\_20x\_XPL.

### Formación La Tabla

A partir del análisis petrográfico de cinco secciones estratigráficas se reconoce una microfacies principal.

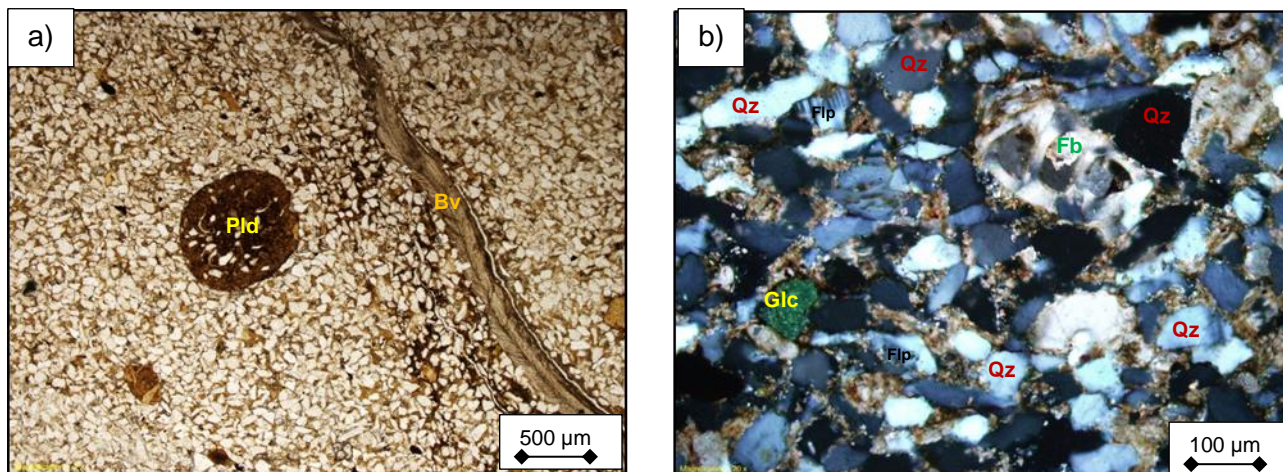
- 1 Arenita limosa, subarcosa (RY-1734, RY-1735, RY-1736, RY-1736A y RY-1737):

Roca soportada por granos terrígenos y aloquímicos, sin laminación aparente debido al alto grado de bioperturbación, a excepción de la muestra RY-1736 que presenta láminas de lodo onduladas no paralelas discontinuas. Se evidencian diferentes tipos de cementos desde calcáreo (más del 25,0% en RY-1735 y más del 15,0% en RY-1737), sobrecrecimiento de sílice en los bordes de los granos de cuarzo y sílice microcristalino, igualmente hay venillas como porosidad secundaria. La selección es moderada a buena y los granos son subangulares a subredondeados.

Los componentes terrígenos corresponden a cuarzos monocristalinos (más del 60,0%, a excepción de la muestra RY-1735 menos del 45,0%) tamaño limo fino a arena gruesa, con extinción recta, suavemente ondulosa y ondulosa, feldespatos potásicos y plagioclasas tamaño limo grueso a arena fina, granos terrígenos reemplazados por el cemento calcáreo tamaño limo mediano a arena muy fina, como minerales accesorios hay micas muscovitas, zircones, rutilos y opacos, además hay minerales arcillosos (más del 5,0% en RY-1736A) en la matriz.

Los aloquímicos son foraminíferos bentónicos tamaño limo grueso a arena gruesa, bioclastos calcáreos sin identificar tamaño limo grueso a arena fina, restos de peces tamaño arena muy fina

a granulo, restos de conchas de bivalvos (solo RY-1736) tamaño guijo, y peloides fosfáticos tamaño arena muy fina a muy gruesa. Como minerales autigénicos hay cristales de carbonato (solo RY-1736A) y glauconita (solo RY-1737), y presenta materia orgánica (más del 5,0% en RY-1734).



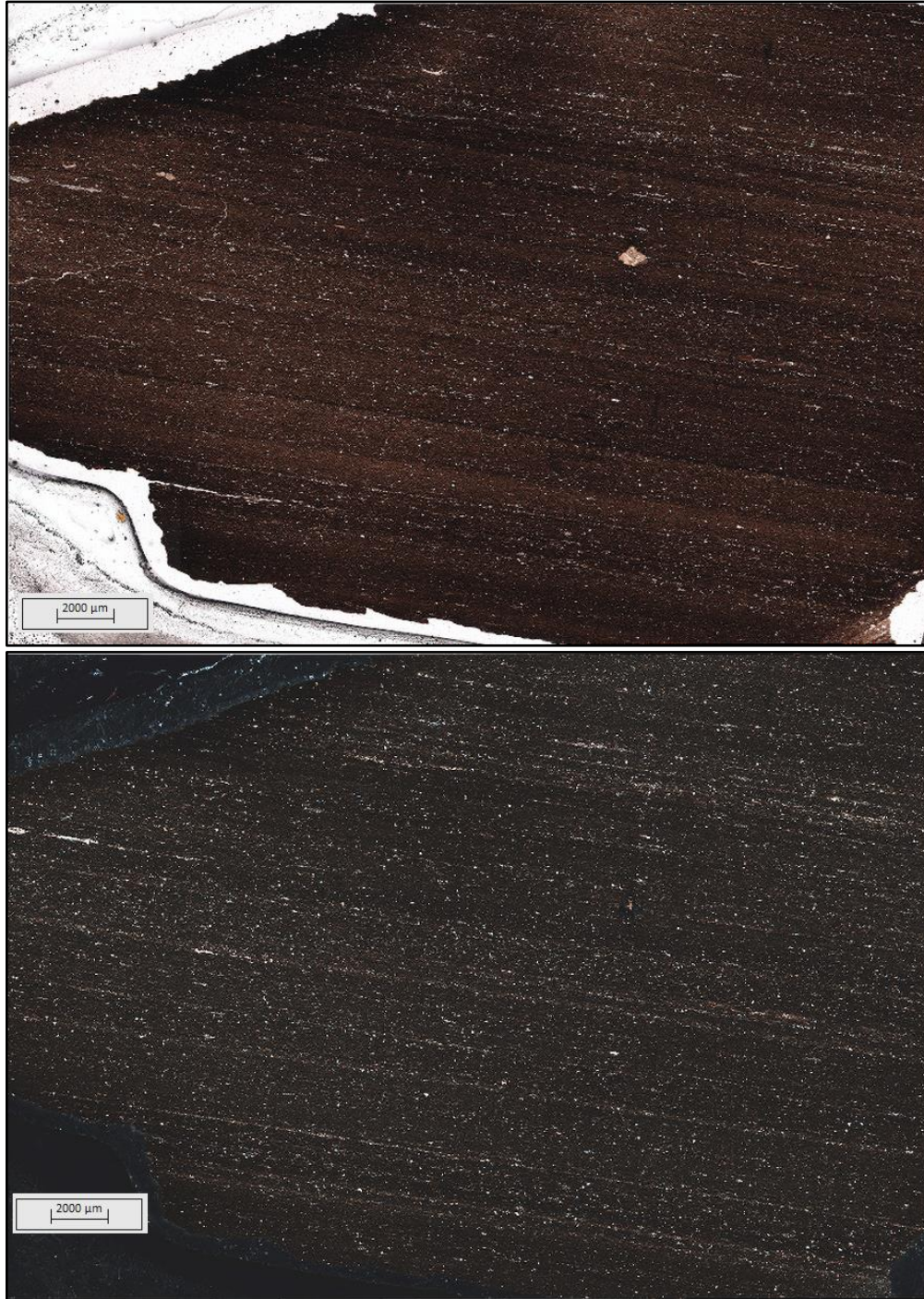
- a) Arenita limosa, subarcosa, muy fina, moderada. Se observa un resto de concha de bivalvo (Bv), peloides fosfáticos (al centro un pellet con granos en su interior) (Pld), materia orgánica manchando la matriz de la roca. RY-1736\_4x\_PPL. b) Granos de cuarzo monocristalino (Qz), feldespatos potásicos (Fip), un foraminífero bentónico (Fb), y un grano de glauconita (Glc). Entre el armazón hay cemento calcáreo, corroyendo los bordes de los granos terrígenos. RY-1737\_20x\_XPL.

## c. ANEXO: Secciones digitalizadas

A continuación se adjuntan las imágenes de la sección completa tanto en PPL como en XPL, de las 12 secciones digitalizadas de la sección de la quebrada Aico. Las cuales sirvieron para detallar y entender las microestructuras de las rocas y reafirmar y/o revisar los análisis petrográficos.



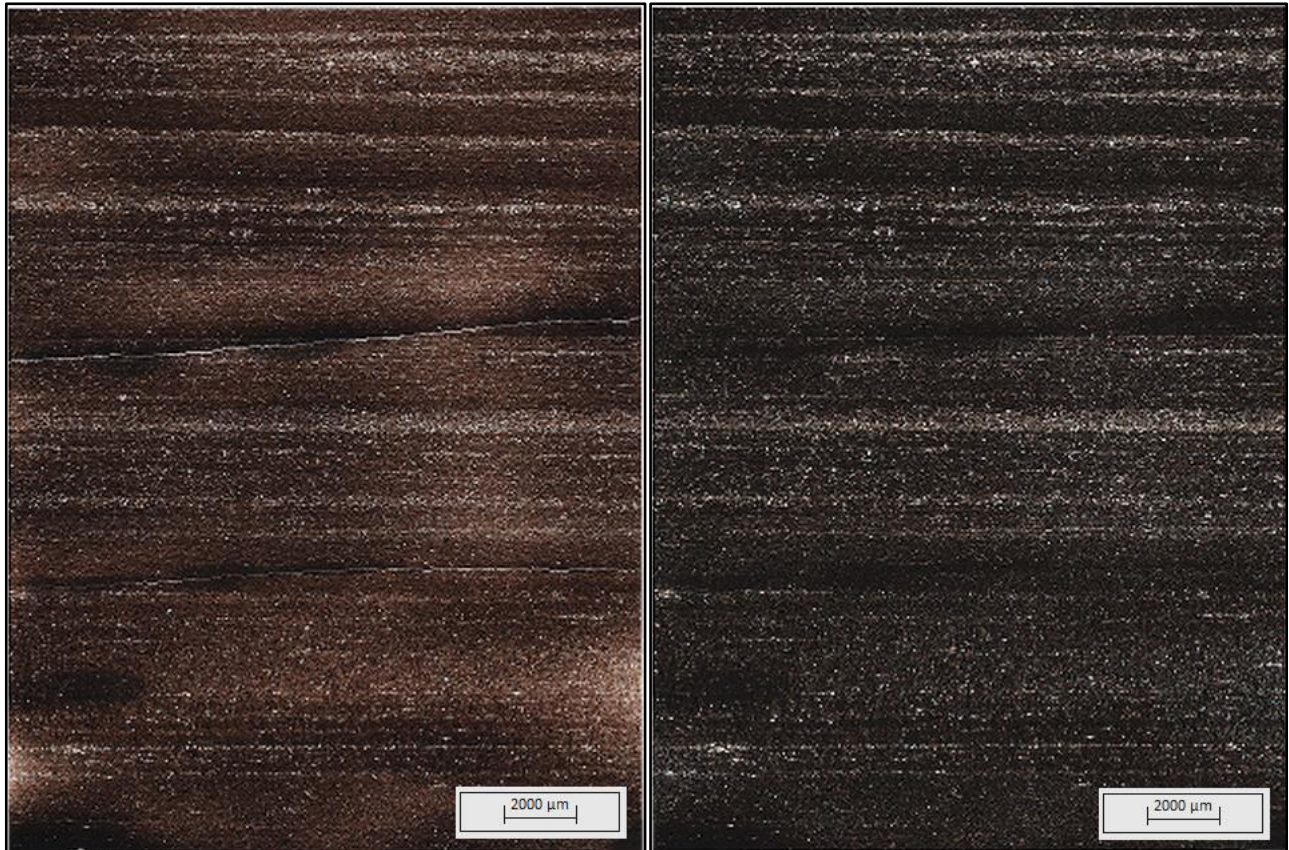
**Sección 19(-01)** de la Formación Loma Gorda. Biomicrita empaquetada con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos, muy rica en materia orgánica. Microestructura compleja se observan láminas discontinuas unas paralelas y otras no, así como lentes.



**Sección SA-1902A** de la Formación Loma Gorda. Micrita arcillosa, parcialmente silicificada, fosilífera con textura *mudstone*, rica en materia orgánica, pirítica. Laminación plana paralela continua a discontinua.

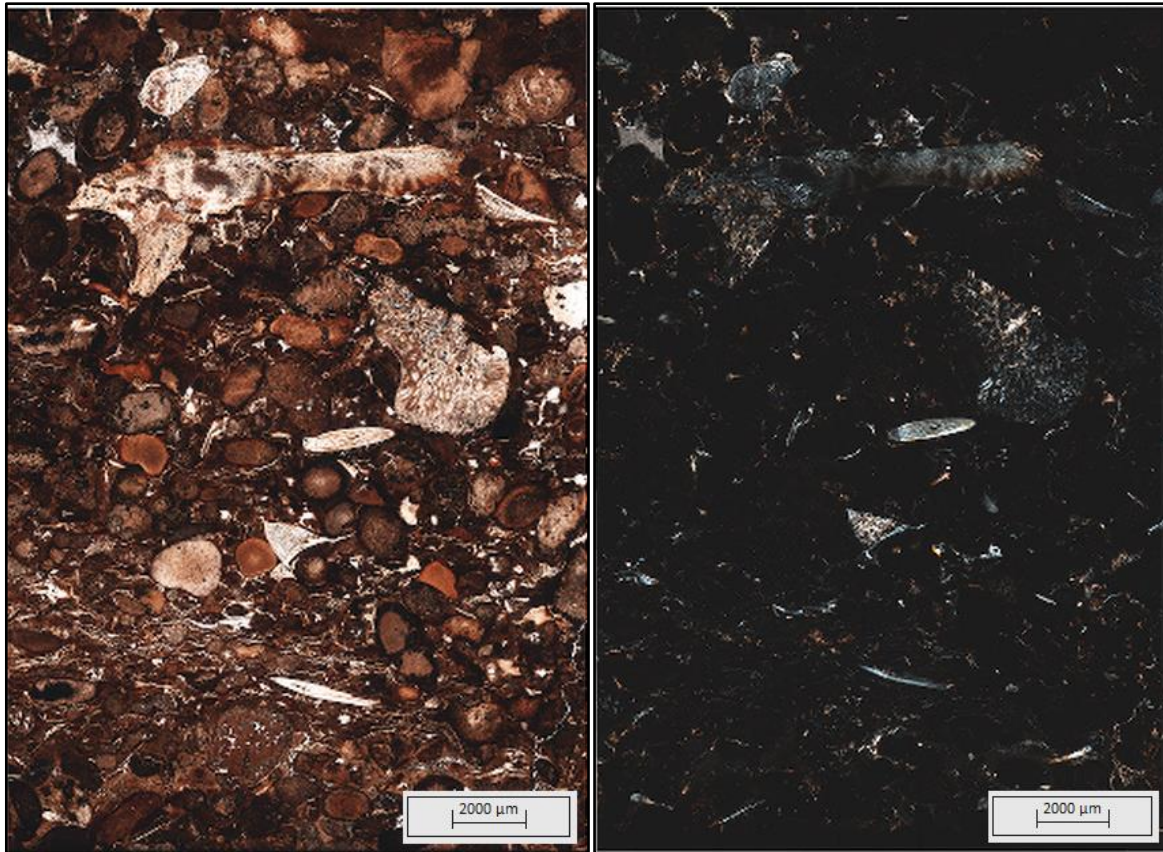


**Sección SA-1903** de la Formación Loma Gorda. *Phosclast-packstone*. Fosforita empaquetada con textura *packstone* de restos de peces y peloides, arcillosa, rica en materia orgánica; con lámina de arcillolita fosilífera al tope. Laminación ondulosa paralela continua.



**Sección SA-1904A** de la Formación Loma Gorda. Biomicrita dispersa, arcillosa, con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos, parcialmente silicificada, rica en materia orgánica; con láminas de biomicrita con textura *packstone*. Laminación plana paralela continua.



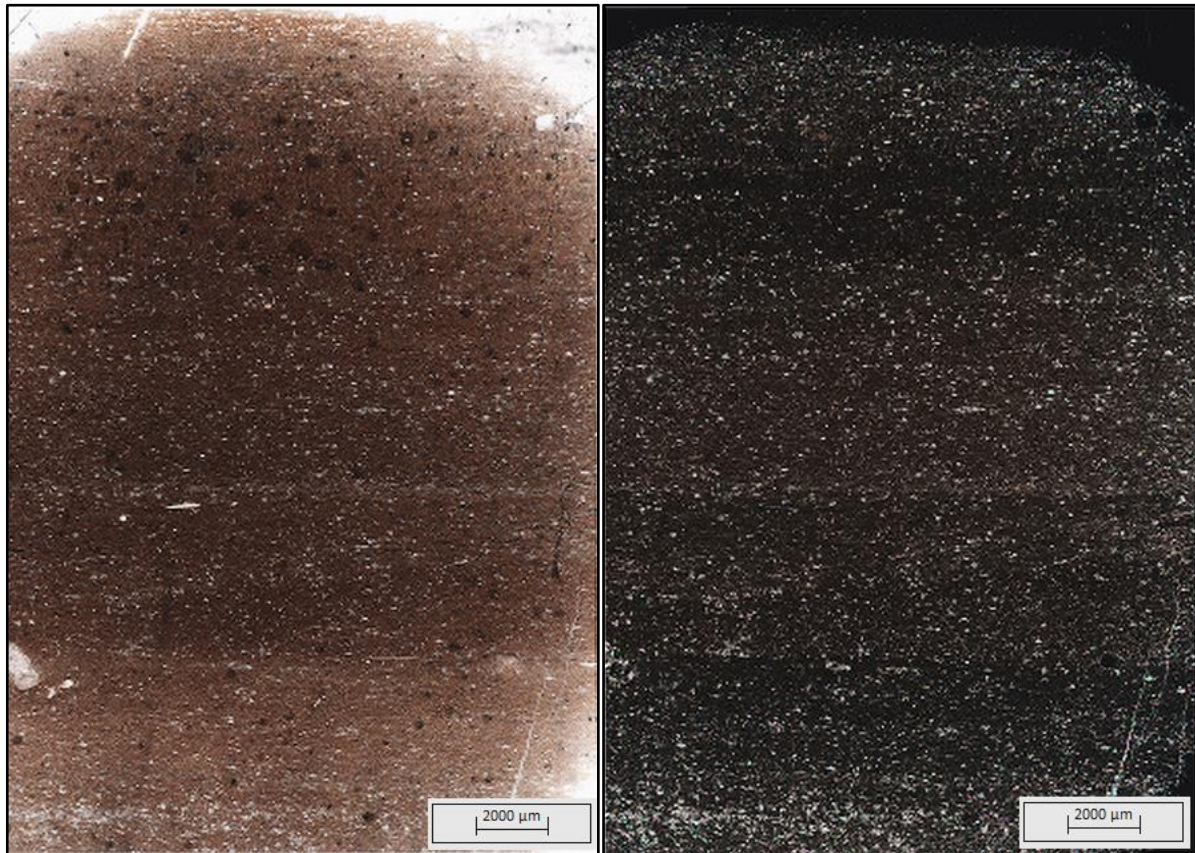


**Sección SA-1906A** de la Formación Lidita Inferior. *Phosclast-packstone*. Fosforita empaquetada con textura *packstone* de restos de peces y peloides, parcialmente silicificada, rica en materia orgánica. Sin microestructura visible, algunos restos de peces con su eje más largo paralelo a la estratificación.



**Sección SA-1910** de la Formación Lidita Inferior. Micrita arcillosa parcialmente silicificada fosilífera con textura *mudstone*, rica en materia orgánica. Laminación plana paralela continua a discontinua.

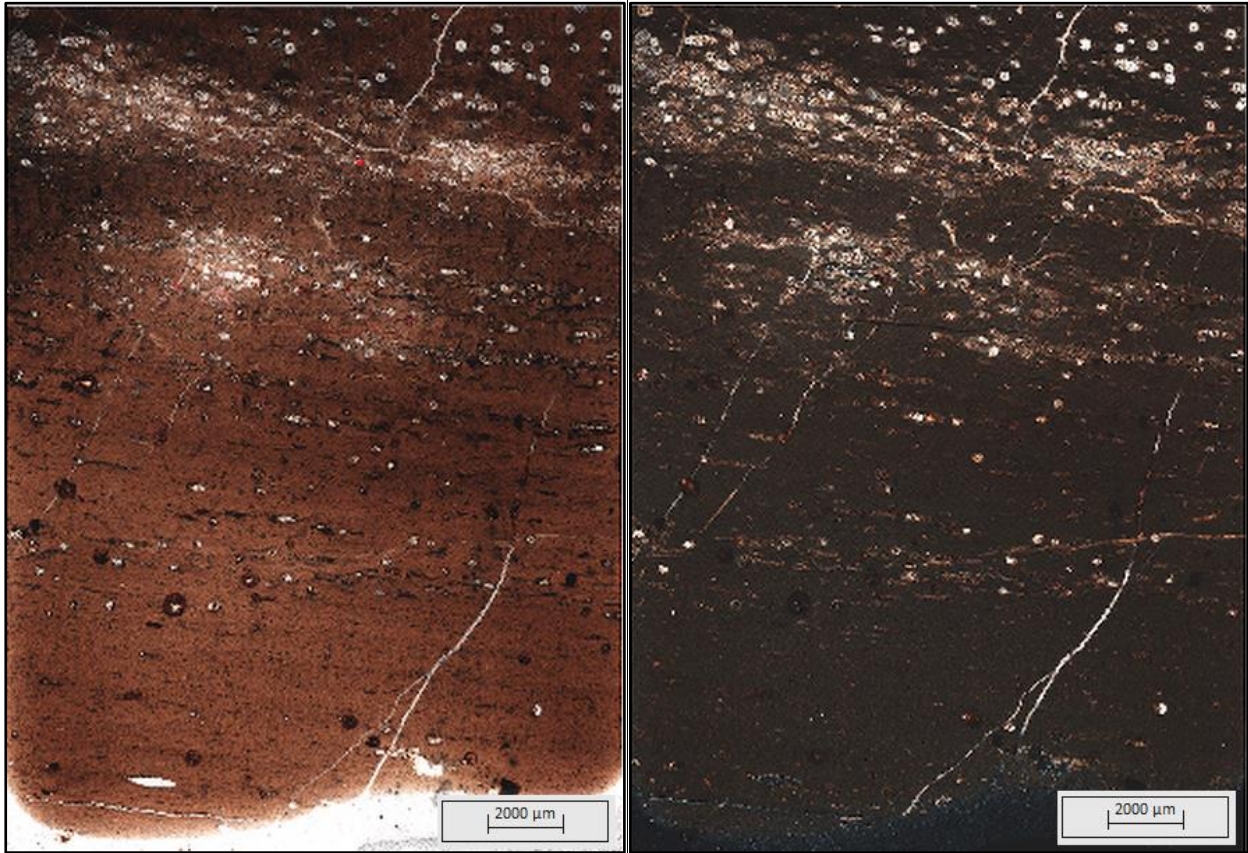
Se puede ver la deformación en la esquina superior izquierda causada por una concreción calcárea, así como la deformación de las láminas alrededor del peloide fosfático (Pld) a causa de la compactación de la roca.



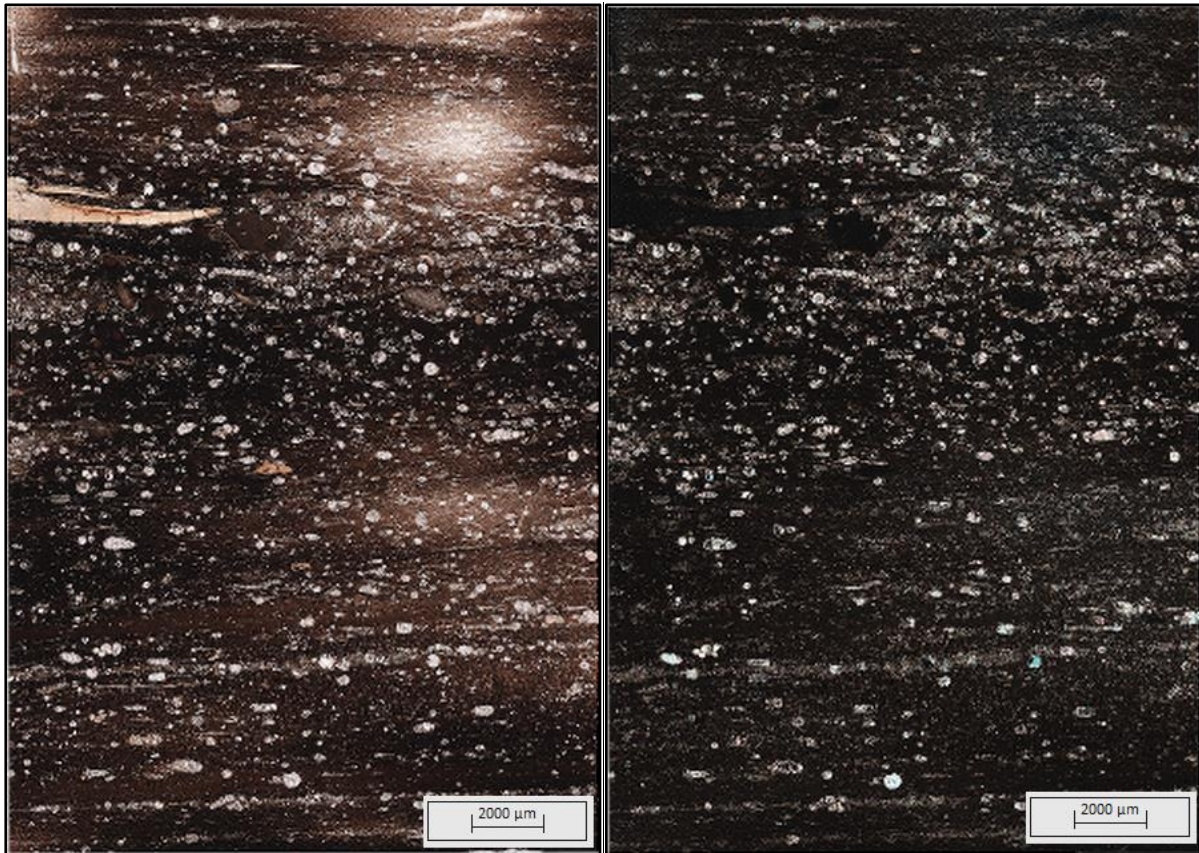
**Sección SA-1921** de la Formación Lidita Inferior. Biomicrita arcillosa dispersa con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos, parcialmente silicificada, rica en materia orgánica. Laminación plana paralela continua, muy difusa. Solo se observan una lámina en el medio y en la base.



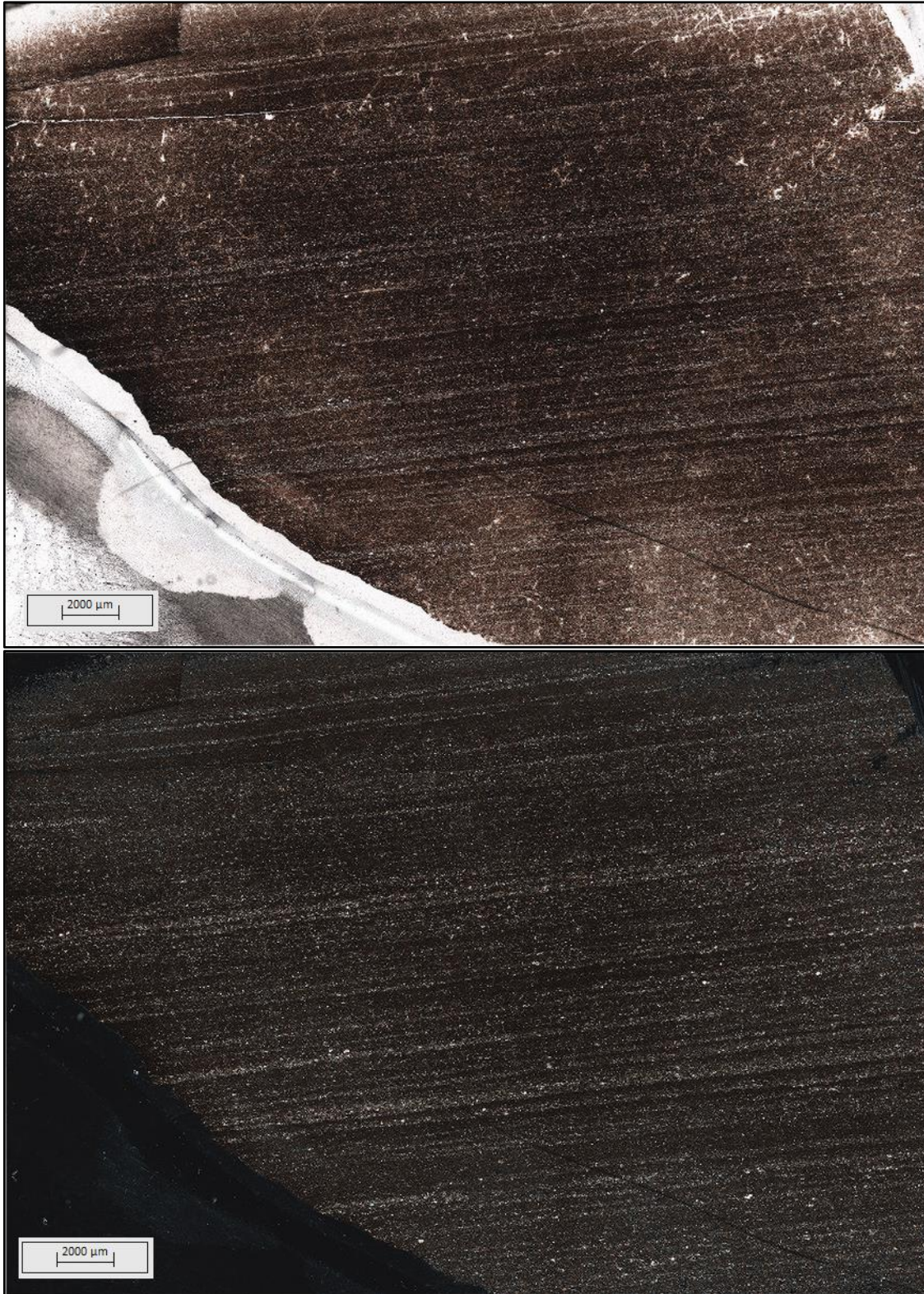
**Sección SA-1926** de "Aico Shale". Arcillolita micrítica, fosilífera, rica en materia orgánica. Laminación plana paralela continua a discontinua. Se presentan pequeños lentes paralelos con la laminación.



**Sección SA-1931** de la Formación Lidita Superior. Biomicrita silicificada dispersa con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos, rica en materia orgánica. (Chert). No se observa una clara laminación. Al tope una lámina discontinua y posible lente debajo de esta, con mayor acumulación de foraminíferos bentónicos. Los foraminíferos en su mayoría con el eje más largo paralelo con la laminación.



**Sección SA-1936A** de la Formación Buscavida. Biomicrita dispersa con textura *wackestone* de foraminíferos bentónicos, arcillosa, rica en materia orgánica. Laminación ondulosa paralela continua a discontinua, algo difusa por la bioturbación. Bioclastos con su eje más largo paralelo con la laminación.



**Sección SA-1939** de la Formación Buscavida. Lodolita de cuarzo, micritica, rica en materia orgánica, con láminas de biomicrita lodosa con textura *wackestone*. Laminación plana paralela continua.



**Sección SA-1947** de la Formación Buscavida. Arenita limosa de grano muy fino, litoarenita, fosilífera, con cemento calcáreo, rica en líticos volcánicos, con láminas de lodolita; rica en materia orgánica. Laminación ondulosa paralela a no paralela discontinua. Hay posibles estructuras de madrigueras verticales (al medio) que interrumpen la laminación.



## D.ANEXO: Tablas nombres de las rocas y porcentajes de componentes

Este anexo corresponde a las tablas con **todos** los componentes identificados en la petrografía de 71 muestras, 47 tomadas en la sección de la quebrada Aico y 24 tomadas en la sección del río Yaguaracito, así como la tabla con el nombre de cada roca.

La primera tabla corresponde a los componentes terrígenos identificados: cuarzos monocristalinos, cuarzos policristalinos, feldespatos (plagioclasas y feldespatos potásicos), líticos (sedimentarios, ígneos, metamórficos) y minerales accesorios como: micas, zircones, turmalinas, opacos, etc.

La segunda tabla corresponde a todos los componentes aloquímicos, la materia orgánica y la sílice producto de la diagénesis. Los aloquímicos van desde bioclastos como: foraminíferos (planctónicos y bentónicos), restos de peces, bivalvos, radiolarios, etc., otros aloquímicos son ooides, pellets y/o peloides, pisoides e intraclastos.

La tercera tabla corresponde a los cementos (calcita, siderita, sobrecrecimiento de sílice, de arcillas, etc.), minerales autigénicos (pirita framboidal y glauconita) y componentes de la matriz de la roca como son la micrita y recristalizaciones de esta, así como minerales arcillosos. Por último también se encuentra la porosidad primaria (poros entre los componentes) y la porosidad secundaria (principalmente fracturas).

La cuarta y última tabla corresponde al nombre asignado a cada roca de acuerdo a los resultados de la petrografía y siguiendo las clasificaciones texturales, composicionales y descriptores más importantes, todo esto mencionado en la metodología análisis de petrografía (pág.27).



Metro	Formación	Muestra	Bioclastos						Peloides	Ooides	Pisoides	Intraclastos	Materia Orgánica	Silicificación (Diagénesis)	
			Foraminíferos			Restos de peces	Restos de conchas de bivalos	Bioclastos calcáreos (y/o silicios)							Radiolarios
			Sin reconocer	Bentónicos	Planctónicos										
357,4	La Tabla	SA-1961													
345,0	La Tabla	SA-1958													
327,0	La Tabla	SA-1956										1,6			
310,0	La Tabla	SA-1954													
301,7	La Tabla	SA-1952							0,3			1,3			
291,7	La Tabla	SA-1950													
285,7	La Tabla	SA-1948										1,0			
281,8	Buscavida	SA-1947	3,2	3,7			0,6	2,9	0,9			3,2			
275,2	Buscavida	SA-1946	7,1	6,1				3,5				1,9			
259,5	Buscavida	SA-1943	10,0	5,2				4,2				6,2			
248,5	Buscavida	SA-1942	8,6	2,8				3,2				5,2			
233,5	Buscavida	SA-1940	4,7	4,1				4,1	0,3			8,2			
220,8	Buscavida	SA-1939	7,1		0,3			5,6				11,5	2,4		
211,5	Buscavida	SA-1938	21,9	14,0		2,3		10,0	0,3			17,8	0,6		
202,5	Buscavida	SA-1936A	11,8	10,9		1,7		7,1	1,2			10,4	8,0		
202,4	Lidita Superior	SA-1936	2,7	1,5	0,6	0,3		4,5	0,3		0,3	6,4	26,1		
195,4	Lidita Superior	SA-1933	4,8	0,3		0,3		0,3	0,3				90,1		
188,6	Lidita Superior	SA-1931	13,0	5,1				3,3				1,8	72,0		
188,5	Lidita Superior	SA-1931A (Concreción calcárea)	2,8	4,5				2,6				2,2			
180,0	Lidita Superior	SA-1930	1,8	0,6	0,3			2,1				1,8	84,2		
167,0	Lidita Superior	SA-1929	3,0	0,3				4,5	0,3			6,8	83,3		
157,1	Lidita Superior	SA-1927	18,7	9,3	0,3	0,6		3,0				1,8	64,8		
93,7	Aico Shale	SA-1926	0,8		0,3	0,3		1,1			0,5	12,0	1,9		
76,0	Aico Shale	SA-1924	6,6		2,8	0,3		0,3				1,9	9,7		
71,3	Lidita Inferior	SA-1922	6,6	0,3	0,9	1,8		4,2	1,5			2,1	2,1		
65,2	Lidita Inferior	SA-1921	6,7		1,5	0,6		10,4	0,3		0,9	3,6	14,9		
59	Lidita Inferior	SA-1920	8,6		4,3	3,3		7,6	0,7			5,3	33,1		
54,8	Lidita Inferior	SA-1918	0,3			0,8		0,3				4,2	19,9		
48	Lidita Inferior	SA-1915 (Lente fosfático)	1,1	0,9		27,3			2,8	0,3		0,3	13,2		
46,8	Lidita Inferior	SA-1915A	2,1		1,2	0,6		3,0	0,9			8,5	65,5		
42,5	Lidita Inferior	SA-1914	14,6		5,3	1,6		4,7	0,3			1,9	17,8		
40,5	Lidita Inferior	SA-1913A				18,3			57,9	1,2			9,8		
38,7	Lidita Inferior	SA-1912				0,6		0,9				9,5	71,5		
34	Lidita Inferior	SA-1910	3,2		0,9	1,5		0,6				17,9	15,9		
31,0	Lidita Inferior	SA-1909	0,6		0,3	24,1		0,6	11,3			5,1	36,7		
25,6	Lidita Inferior	SA-1906A				30,3		1,2	40,8	2,1	2,7	1,8	20,2		
25,0	Lidita Inferior	SA-1906	6,9		2,1				1,5		0,6	4,5	77,8		
24,0	Lidita Inferior	SA-1905A	9,3		2,5			5,0	0,6		0,3	1,2	66,1		
24,0	Lidita Inferior	SA-1905 (Nódulo de chert)	0,6		0,6					0,3		0,9	92,0		
19,6	Loma Gorda	SA-1904	27,6		1,9	2,6		3,1	0,8		0,8	11,8	1,6		
19,35	Loma Gorda	SA-1904A	12,5		1,9	1,1		7,5				9,6	11,9		
10,5	Loma Gorda	SA-1903	11,5		1,2	24,5		3,1	16,6	3,1	1,4	6,0	1,4		
8,5	Loma Gorda	SA-1902A	3,3		0,3			3,6				11,0	23,3		
7,6	Loma Gorda	SA-1902 (Concreción calcárea)	27,0		6,1	0,6		11,8	0,9	3,9		0,6			
4,0	Loma Gorda	SA-1901	22,0		4,5	1,8		17,2				14,2			
-12,0	Loma Gorda	SA-19(-01)	29,0		5,7		0,3	16,5			0,3	24,1			
-24,0	Loma Gorda	SA-19(-02)	15,2		1,1	1,0	1,0	13,1				39,9			

Metro	Formación	Muestra	Cementos			Autigénicos		Matriz			Porosidad		Total	
			Carbonatos (Calcita o Siderita)	Sobrecrecimiento de silice o microcristalino (o fosfático)	Óxidos e hidroxidos (hematitas autigenicas)	Pirita framboidal (tambien como cemento)	Glauconita	Minerales arcillosos	Micrita	Microesparita	Pseudoesparita	Primaria		Secundaria
357,4	La Tabla	SA-1961		0,3	0,3			1,3				3,2		100
345,0	La Tabla	SA-1958			13,5							2,2		100
327,0	La Tabla	SA-1956		0,3	6,3			7,2				0,9		100
310,0	La Tabla	SA-1954	11,8	1,2	0,3	0,6	0,9	10,8						100
301,7	La Tabla	SA-1952	19,1	0,3	2,6	2,9	2,6					0,6		100
291,7	La Tabla	SA-1950	10,5				4,1					2,9		100
285,7	La Tabla	SA-1948		3,3			2,0	3,3				6,1		100
281,8	Buscavida	SA-1947	15,4		2,6		0,6	3,2	0,9					100
275,2	Buscavida	SA-1946	11,2					8,3		2,9	6,4			100
259,5	Buscavida	SA-1943	1,6			1,6		17,4		9,1	3,9			100
248,5	Buscavida	SA-1942	2,3			0,6		8,1		15,6	10,6			100
233,5	Buscavida	SA-1940				0,3		13,9		9,8	12,0			100
220,8	Buscavida	SA-1939				3,8		30,8	20,5					100
211,5	Buscavida	SA-1938				2,6		12,6	10,6	4,2			0,3	100
202,5	Buscavida	SA-1936A				2,6		28,6	16,5				0,3	100
202,4	Lidita Superior	SA-1936				0,3		1,2	54,9				0,3	100
195,4	Lidita Superior	SA-1933							0,3				3,6	100
188,6	Lidita Superior	SA-1931	0,6			0,3			2,1	0,6			1,2	100
188,5	Lidita Superior	SA-1931A (Concreción calcárea)								86,3	1,6			100
180,0	Lidita Superior	SA-1930				0,9			4,9				3,4	100
167,0	Lidita Superior	SA-1929				0,3			0,3				1,2	100
157,1	Lidita Superior	SA-1927							1,5					100
93,7	Aico Shale	SA-1926				0,3		64,7	7,3					100
76,0	Aico Shale	SA-1924				1,6		60,4	10,4				1,3	100
71,3	Lidita Inferior	SA-1922				0,6		39,1	37,5	1,5				100
65,2	Lidita Inferior	SA-1921				0,6		31,5	28,1				0,3	100
59	Lidita Inferior	SA-1920				0,7		14,4	19,4				1,3	100
54,8	Lidita Inferior	SA-1918			0,3	0,3		62,9	9,0					100
48	Lidita Inferior	SA-1915 (Lente fosfático)	19,7			2,3				8,7	23,4			100
46,8	Lidita Inferior	SA-1915A				0,9		7,3	9,7					100
42,5	Lidita Inferior	SA-1914				0,3	0,3	0,9	42,1	9,0			1,2	100
40,5	Lidita Inferior	SA-1913A	11,3			0,3		0,3						100
38,7	Lidita Inferior	SA-1912							1,5				16,0	100
34	Lidita Inferior	SA-1910						17,9	23,6	17,6			0,6	100
31,0	Lidita Inferior	SA-1909	0,9					8,4	7,8				3,6	100
25,6	Lidita Inferior	SA-1906A	0,9											100
25,0	Lidita Inferior	SA-1906						1,5	1,5				3,6	100
24,0	Lidita Inferior	SA-1905A				0,6		2,2	10,4				0,3	100
24,0	Lidita Inferior	SA-1905 (Nódulo de chert)				1,1							4,5	100
19,6	Loma Gorda	SA-1904				0,3	0,3	20,6	18,2	9,2	0,3			100
19,35	Loma Gorda	SA-1904A				0,6		34,4	18,8					100
10,5	Loma Gorda	SA-1903	3,1			0,9	0,3	21,4	0,9				0,6	100
8,5	Loma Gorda	SA-1902A				2,4	0,3	29,8	20,9					100
7,6	Loma Gorda	SA-1902 (Concreción calcárea)				3,3	0,3	18,8	18,8	26,1				100
4,0	Loma Gorda	SA-1901				0,9	0,3	8,4	21,4				0,9	100
-12,0	Loma Gorda	SA-19(-01)				0,3		3,8	19,1		0,9			100
-24,0	Loma Gorda	SA-19(-02)				1,6		12,0	15,1					100

Formación	Muestra	Clasificación de la roca
La Tabla	SA-1961	Conglomerado arenoso de gránulos, polimíctico, rico en cuarcitas.
La Tabla	SA-1958	Arenita levemente conglomerática de grano muy grueso, sublitoarenita, con cemento de óxidos de hierro.
La Tabla	SA-1956	Arenita de grano medio, sublitoarenita, con laminas de arenita de grano grueso levemente conglomeráticas; biotítica (?), rica en materia orgánica.
La Tabla	SA-1954	Arenita de grano fino, sublitoarenita, con cemento de siderita, con láminas y lentes de lodolita.
La Tabla	SA-1952	Arenita de grano medio, sublitoarenita, con cemento de siderita, glauconítica, con óxidos de hierro.
La Tabla	SA-1950	Arenita de grano medio, sublitoarenita, con cemento de siderita, glauconítica.
La Tabla	SA-1948	Arenita de grano medio, sublitoarenita, glauconítica, rica en materia orgánica.
Buscavida	SA-1947	Arenita limosa de grano muy fino, litoarenita, fosilífera, con cemento calcáreo, rica en líticos volcánicos, con láminas de lodolita; rica en materia orgánica.
Buscavida	SA-1946	Arenita lodosa de grano muy fino, litoarenita, fosilífera, con cemento calcáreo, rica en líticos de cuarcitas, con láminas de lodolitas fosilíferas; rica en materia orgánica.
Buscavida	SA-1943	Limolita arenosa de cuarzo, fosilífera, con láminas de lodolita, rica en materia orgánica.
Buscavida	SA-1942	Limolita arenosa de cuarzo, micritica, fosilífera, con láminas de arcillolita, rica en materia orgánica.
Buscavida	SA-1940	Limolita arenosa de cuarzo, micritica, fosilífera, con láminas de arcillolita, fosilífera, rica en materia orgánica.
Buscavida	SA-1939	Lodolita de cuarzo, micritica, rica en materia orgánica, con láminas de biomicrita lodosa con textura <b>wackestone</b> .
Buscavida	SA-1938	Biomicrita empaquetada con textura <b>packstone</b> de foraminíferos bentónicos, con láminas de biomicrita dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos bentónicos, arcillosa; ricas en materia orgánica.
Buscavida	SA-1936A	Biomicrita dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos bentónicos, arcillosa, rica en materia orgánica.
Lidita Superior	SA-1936	Biomicrita parcialmente silicificada dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos, rica en materia orgánica.
Lidita Superior	SA-1933	Micrita silicificada fosilífera con textura <b>mudstone</b> . ( <b>Chert</b> )
Lidita Superior	SA-1931	Biomicrita silicificada dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos bentónicos, rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
Lidita Superior	SA-1931A (Concreción calcárea)	Microsparita fosilífera con textura <b>mudstone</b> , rica en materia orgánica.
Lidita Superior	SA-1930	Micrita silicificada fosilífera con textura <b>mudstone</b> , rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
Lidita Superior	SA-1929	Micrita silicificada fosilífera con textura <b>mudstone</b> , rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
Lidita Superior	SA-1927	Biomicrita silicificada dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos bentónicos, rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
Aico Shale	SA-1926	Arcillolita micritica, fosilífera, rica en materia orgánica.
Aico Shale	SA-1924	Arcillolita micritica, fosilífera, rica en materia orgánica.
Lidita Inferior	SA-1922	Biomicrita arcillosa dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos, rica en materia orgánica.
Lidita Inferior	SA-1921	Biomicrita arcillosa dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos planctónicos, parcialmente silicificada, rica en materia orgánica.
Lidita Inferior	SA-1920	Biomicrita parcialmente silicificada arcillosa dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos planctónicos, rica en materia orgánica.
Lidita Inferior	SA-1918	Arcillolita parcialmente silicificada, fosilífera, rica en materia orgánica.
Lidita Inferior	SA-1915 (Lente fosfático)	Biopseudosparita dispersa con textura <b>wackestone</b> de restos de peces, parcialmente silicificada, con piritita.
Lidita Inferior	SA-1915A	Micrita silicificada arcillosa fosilífera con textura <b>mudstone</b> , rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
Lidita Inferior	SA-1914	Biomicrita dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos planctónicos, parcialmente silicificada, rica en materia orgánica.
Lidita Inferior	SA-1913A	Fosforita empaquetada con textura <b>packstone</b> de peloides y restos de peces, parcialmente silicificada, con cemento calcáreo.
Lidita Inferior	SA-1912	Micrita silicificada fosilífera con textura <b>mudstone</b> , rica en materia orgánica, con venillas rellenas de calcita y silice microcristalino. ( <b>Chert</b> )
Lidita Inferior	SA-1910	Micrita arcillosa parcialmente silicificada fosilífera con textura <b>mudstone</b> , rica en materia orgánica.
Lidita Inferior	SA-1909	Fosforita empaquetada con textura <b>packstone</b> de restos de peces y peloides, con láminas de micrita fosilífera con textura <b>mudstone</b> , arcillosa; parcialmente silicificada, rica en materia orgánica.
Lidita Inferior	SA-1906A	Fosforita empaquetada con textura <b>packstone</b> de restos de peces y peloides, parcialmente silicificada, rica en materia orgánica.
Lidita Inferior	SA-1906	Biomicrita dispersa silicificada con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos planctónicos, rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
Lidita Inferior	SA-1905A	Biomicrita dispersa silicificada con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos planctónicos, rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
Lidita Inferior	SA-1905 (Nódulo de chert)	Micrita silicificada fosilífera con textura <b>mudstone</b> , con venillas rellenas de calcita y silice microcristalino ( <b>Chert</b> ).
Loma Gorda	SA-1904	Biomicrita dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos planctónicos, arcillosa, rica en materia orgánica; con lamina de fosforita con textura <b>packstone</b> y lamina de biomicrita con textura <b>packstone</b> .
Loma Gorda	SA-1904A	Biomicrita dispersa, arcillosa, con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos planctónicos, parcialmente silicificada, rica en materia orgánica; con láminas de biomicrita con textura <b>packstone</b> .
Loma Gorda	SA-1903	Fosforita empaquetada con textura <b>packstone</b> de restos de peces y peloides, arcillosa, rica en materia orgánica; con lamina de arcillolita fosilífera.
Loma Gorda	SA-1902A	Micrita arcillosa, parcialmente silicificada, fosilífera con textura <b>mudstone</b> , rica en materia orgánica, piritita.
Loma Gorda	SA-1902 (Concreción calcárea)	Biomicrita empaquetada con textura <b>packstone</b> de foraminíferos planctónicos, con láminas de biomicrita con textura <b>wackestone</b> , piritita.
Loma Gorda	SA-1901	Biomicrita empaquetada con textura <b>packstone</b> de foraminíferos planctónicos, lodosa, rica en materia orgánica.
Loma Gorda	SA-19(-01)	Biomicrita empaquetada con textura <b>packstone</b> de foraminíferos planctónicos, muy rica en materia orgánica.
Loma Gorda	SA-19(-02)	Biomicrita dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos planctónicos, arcillosa, muy rica en materia orgánica; piritita; con lentes de biomicrita con textura <b>packstone</b> de foraminíferos planctónicos.



Metro	Formación	Muestra	Bioclastos						Peloides	Ooides	Intraclastos	Materia Orgánica	Silicificación (Diagénesis)
			Foraminíferos			Restos de peces	Restos de conchas de	Bioclastos calcáreos					
			Sin reconocer	Bentónicos	Planctónicos								
235,4	La Tabla	RY-1737	1,8%	1,8%		1,2%		2,7%	0,6%			2,1%	
222,3	La Tabla	RY-1736A				0,6%			1,9%			0,6%	
213,8	La Tabla	RY-1736	0,9%			0,6%	0,9%	0,6%	2,8%			2,2%	
212,1	La Tabla	RY-1735	3,3%	8,0%		1,6%		1,3%	1,3%			0,6%	
209,2	La Tabla	RY-1734				0,3%			0,6%				
208,1	Lidita Superior	RY-1733B	2,2%	1,8%		1,5%		2,5%	7,1%			1,8%	29,6%
198,8	Lidita Superior	RY-1732	2,6%	7,0%		24,6%		17,9%	14,7%	1,2%		1,0%	15,3%
192,5	Lidita Superior	RY-1730	5,1%	0,6%				7,8%				0,6%	77,8%
187,3	El Cobre	RY-1729										5,7%	
184,2	El Cobre	RY-1728										1,6%	
176,1	El Cobre	RY-1727						1,0%					
173,8	El Cobre	RY-1726	1,7%	1,3%				0,7%					
169,7	El Cobre	RY-1725										1,1%	
165,3	Lidita Inferior	RY-1723	7,9%	5,0%				6,9%	0,3%			1,4%	23,9%
159,7	Lidita Inferior	RY-1719	2,9%	3,0%		5,6%		1,0%	5,2%	62,2%	0,7%		
156,8	Lidita Inferior	RY-1717	0,9%	1,5%		39,9%		3,4%	5,9%		0,3%	0,3%	16,8%
156,4	Lidita Inferior	RY-1715	0,6%	0,9%		42,5%		1,0%	5,8%				15,8%
155,8	Lidita Inferior	RY-1714	12,8%	9,7%	1,3%	0,3%		1,9%				1,3%	63,4%
131	Loma Gorda	RY-1710	1,9%			1,6%			1,0%			2,6%	78,7%
67,1	Loma Gorda	RY-1707	3,2%		2,8%	0,3%		0,6%				2,5%	80,3%
47,1	Loma Gorda	RY-1706	5,8%		1,9%	21,3%		0,3%	29,3%	1,3%	0,3%	2,0%	14,2%
8,4	Loma Gorda	RY-1703	41,3%	0,3%	6,4%	0,3%		3,9%				30,5%	
3,36	Loma Gorda	RY-1702	5,8%		1,3%	0,3%		4,5%				3,5%	83,6%
1,05	Loma Gorda	RY-1701	42,1%		6,6%	0,7%	1,0%	3,9%				36,5%	

Metro	Formación	Muestra	Cementos			Autigénicos		Matriz			Porosidad		Total	
			Calcaréo	Sobrecrecimiento de sílice o microcristalino (o fosfático)	Sobrecrecimiento de caolinita	Pirita framboidal	Glauconita	Minerales arcillosos	Micrita	Microesparita	Pseudoesparita	Primaria		Secundaria
235,4	La Tabla	RY-1737	16,0%	0,9%			0,6%							100,0%
222,3	La Tabla	RY-1736A	0,6%	1,9%				9,7%						100,0%
213,8	La Tabla	RY-1736	20,6%	3,7%				0,3%						100,0%
212,1	La Tabla	RY-1735	25,1%						6,1%				1,0%	100,0%
209,2	La Tabla	RY-1734	3,5%	3,1%				0,6%					2,5%	100,0%
208,1	Lidita Superior	RY-1733B	1,2%	0,3%				4,3%		0,3%				100,0%
198,8	Lidita Superior	RY-1732		1,6%			0,3%	9,6%						100,0%
192,5	Lidita Superior	RY-1730				0,3%			5,3%				0,9%	100,0%
187,3	El Cobre	RY-1729		0,3%				5,7%						100,0%
184,2	El Cobre	RY-1728	1,7%					1,7%						100,0%
176,1	El Cobre	RY-1727	5,5%	0,3%			0,3%							100,0%
173,8	El Cobre	RY-1726	41,7%											100,0%
169,7	El Cobre	RY-1725			1,1%		0,3%	8,4%						100,0%
165,3	Lidita Inferior	RY-1723					0,7%	18,0%					1,6%	100,0%
159,7	Lidita Inferior	RY-1719	14,8%						4,6%					100,0%
156,8	Lidita Inferior	RY-1717		29,8%		1,2%								100,0%
156,4	Lidita Inferior	RY-1715	27,6%			0,3%			5,5%					100,0%
155,8	Lidita Inferior	RY-1714							8,7%					100,0%
131	Loma Gorda	RY-1710						2,3%						100,0%
67,1	Loma Gorda	RY-1707				0,3%			8,1%				1,9%	100,0%
47,1	Loma Gorda	RY-1706	16,8%					6,8%						100,0%
8,4	Loma Gorda	RY-1703							12,7%	3,0%	1,6%			100,0%
3,36	Loma Gorda	RY-1702				0,6%							0,3%	100,0%
1,05	Loma Gorda	RY-1701						0,3%		8,9%				100,0%

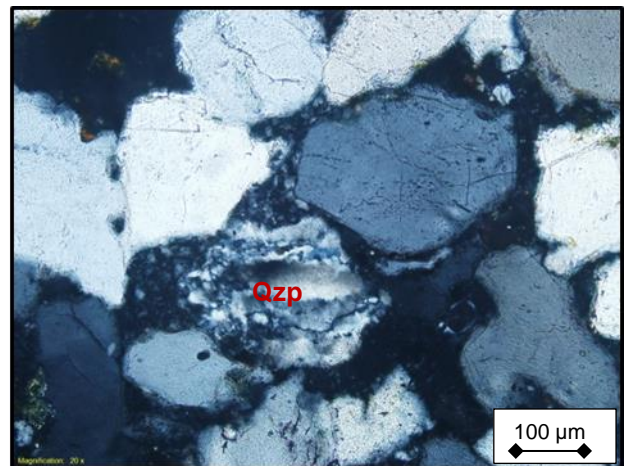
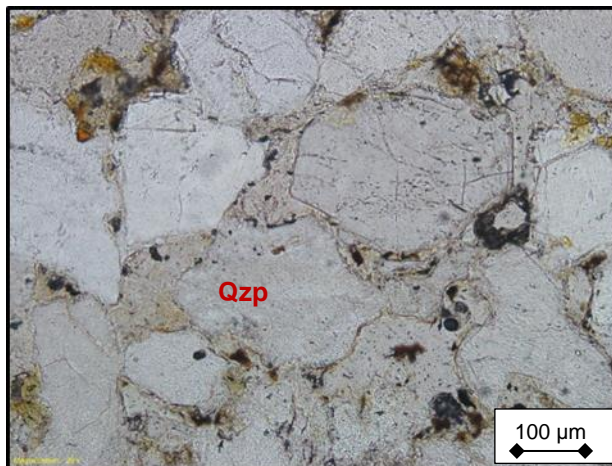


Metro	Formación	Muestra	Clasificación de la roca
235,4	La Tabla	RY-1737	Arenita limosa, " <b>cuarzoarenita</b> ", muy fina, moderada, submadura, con cemento calcáreo, fosilífera, rica en materia orgánica.
222,3	La Tabla	RY-1736A	Arenita limosa, subarcosa, muy fina, moderada, inmadura, rica en ortolasa, rica en pellets fosfáticos.
213,8	La Tabla	RY-1736	Arenita limosa, subarcosa, muy fina, moderada, inmadura, con cemento calcáreo y "fosfático", fosilífera, rica en materia orgánica.
212,1	La Tabla	RY-1735	Arenita limosa, subarcosa, muy fina, moderada, submadura, con cemento calcáreo, fosilífera.
209,2	La Tabla	RY-1734	Arenita limosa, subarcosa, muy fina, moderada, submadura, con cemento calcáreo y siliceo, rica en ortoclasa, rica en materia orgánica.
208,1	Lidita Superior	RY-1733B	Arenita limosa micrítica, parcialmente silicificada, muy fina, subarcosa, fosilífera, rica en ortoclasa, fosfática, rica en materia orgánica.
198,8	Lidita Superior	RY-1732	Fosforita empaquetada, con textura <b>packstone</b> de restos de peces, bioclastos calcáreos y peloides, lodosa, rica en cuarzo, rica en materia orgánica.
192,5	Lidita Superior	RY-1730	Biomicrota silicificada dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos bentónicos. ( <b>Chert</b> )
187,3	El Cobre	RY-1729	Arenita limosa, subarcosa, muy fina, moderada, inmadura, rica en ortoclasa.
184,2	El Cobre	RY-1728	Arenita limosa, subarcosa, muy fina, moderada, submadura, con cemento calcáreo, rica en ortoclasa, rica en materia orgánica
176,1	El Cobre	RY-1727	Limolita arenosa, limolita de cuarzo, gruesa, moderada, con cemento calcáreo, fosilífera.
173,8	El Cobre	RY-1726	Limolita arenosa-limolita de cuarzo-gruesa, moderada, con cemento calcáreo, fosilífera. ( <b>CONCRECIÓN</b> )
169,7	El Cobre	RY-1725	Limolita arenosa-limolita de feldespato-gruesa, moderada, rica en ortoclasa, rica en materia orgánica.
165,3	Lidita Inferior	RY-1723	Biomicrota silicificada lodosa dispersa con textura <b>wackestone</b> , rica en materia orgánica, con laminas y lentes de limolita fosilífera.
159,7	Lidita Inferior	RY-1719	Fosforita mal seleccionada con textura <b>grainstone</b> de ooides, foraminíferos bentónicos y restos de peces, con cemento espartítico.
156,8	Lidita Inferior	RY-1717	Fosforita mal seleccionada con textura <b>rudstone</b> de restos de peces y peloides, con cemento de calcedonia; con lámina en el tope de micrita fosilífera con textura <b>mudstone</b> .
156,4	Lidita Inferior	RY-1715	Fosforita pobremente lavada con textura <b>rudstone</b> de restos de peces y peloides, con cemento de calcedonia; con lámina en la base de biomicrota dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos bentónicos.
155,8	Lidita Inferior	RY-1714	Biomicrota silicificada dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos bentónicos, rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
131	Loma Gorda	RY-1710	Micrita silicificada lodosa fosilífera con textura <b>mudstone</b> , rica en materia orgánica, con laminas de limolita arenosa.
67,1	Loma Gorda	RY-1707	Micrita silicificada fosilífera con textura <b>mudstone</b> con foraminíferos planctónicos, rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
47,1	Loma Gorda	RY-1706	Fosforita empaquetada con textura <b>packstone</b> de peloides y restos de peces, rica en materia orgánica.
8,4	Loma Gorda	RY-1703	Biomicrota empaquetada con textura <b>packstone</b> de foraminíferos planctónicos, muy rica en materia orgánica.
3,36	Loma Gorda	RY-1702	Biomicrota silicificada dispersa con textura <b>wackestone</b> de foraminíferos planctónicos, rica en materia orgánica. ( <b>Chert</b> )
1,05	Loma Gorda	RY-1701	Biomicrota empaquetada con textura <b>packstone</b> de foraminíferos planctónicos, muy rica en materia orgánica.

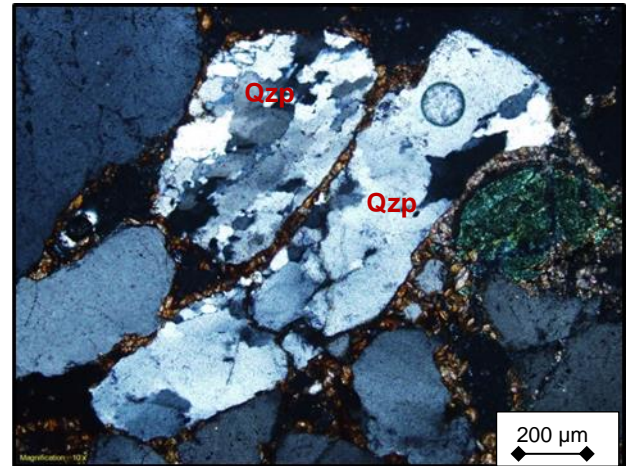
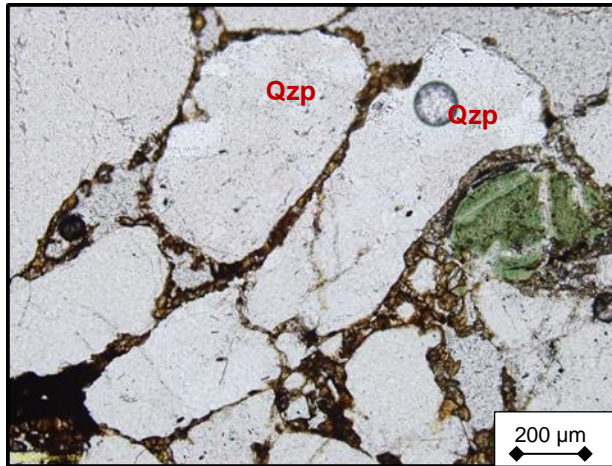
## E. ANEXO: Líticos encontrados en las secciones delgadas

- Líticos metamórficos

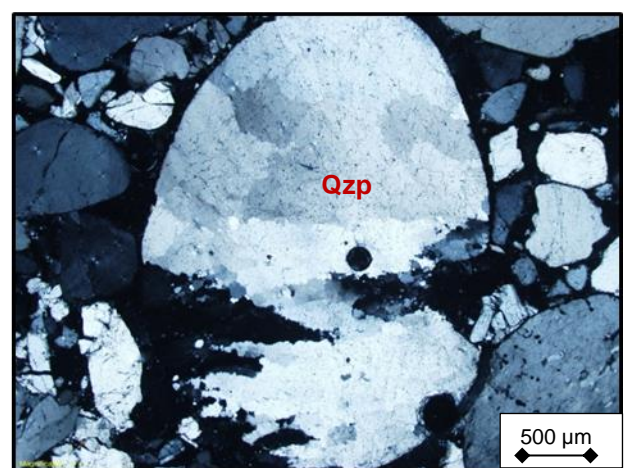
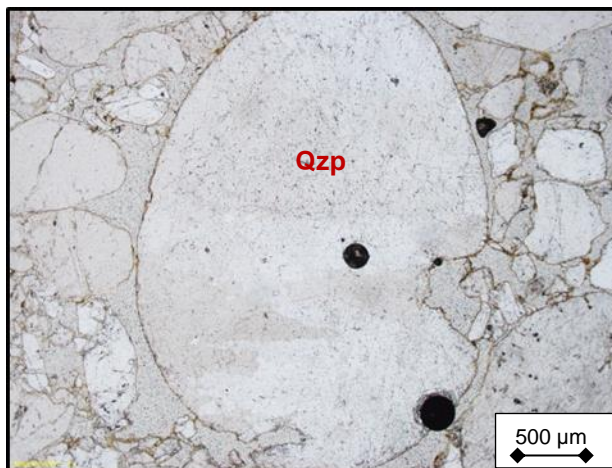
Cuarzo policristalino (Qzp) con bordes crenulados y cristales elongados con extinción ondulosa (cuarcita), aumento de 20x (escala 100  $\mu\text{m}$ ). Muestra SA-1948



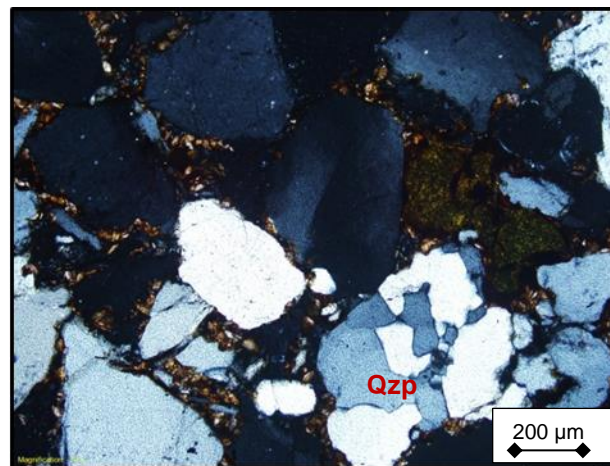
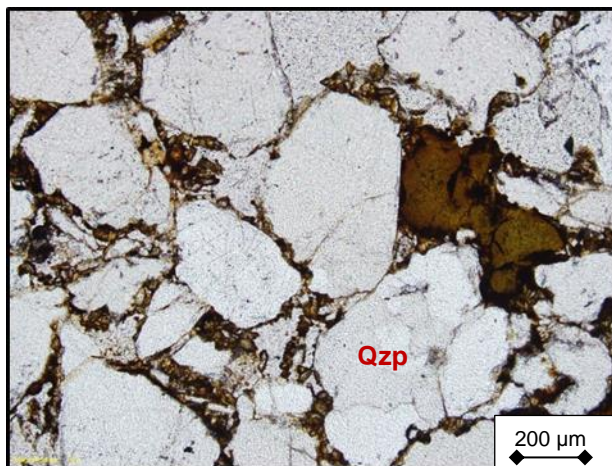
Cuarzos policristalinos (Qzp) con bordes crenulados y cristales elongados (cuarcita), aumento 10x (escala 200  $\mu\text{m}$ ). Muestra SA-1952



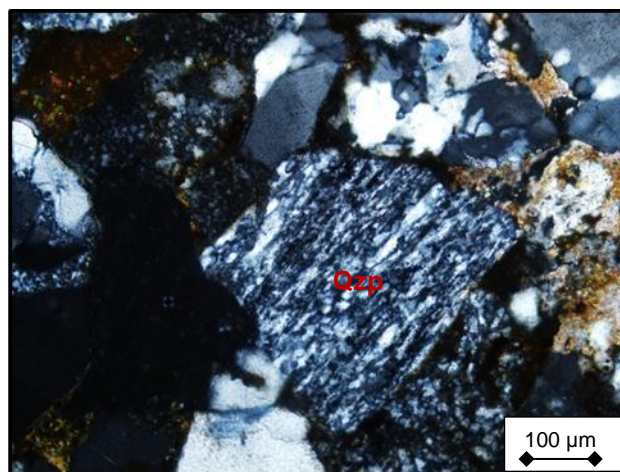
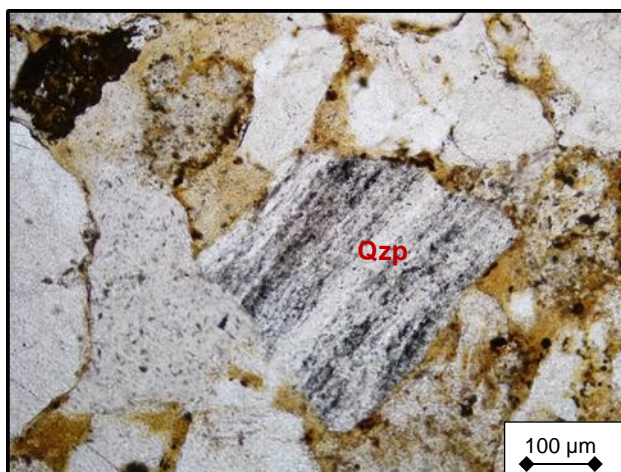
Cuarzo policristalino (Qzp) con bordes crenulados (cuarcita), aumento 4x (escala 500  $\mu\text{m}$ ). Muestra SA-1961



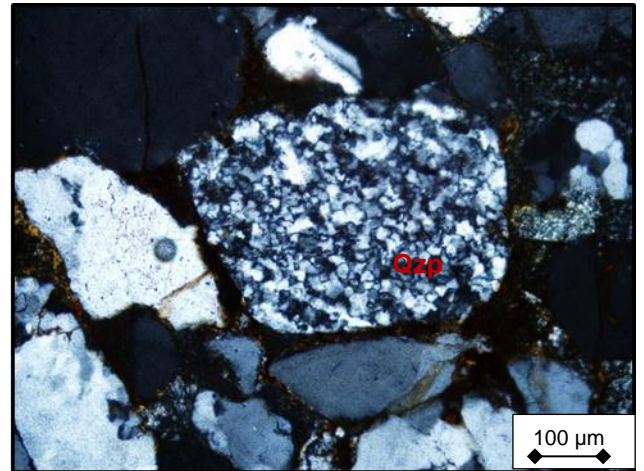
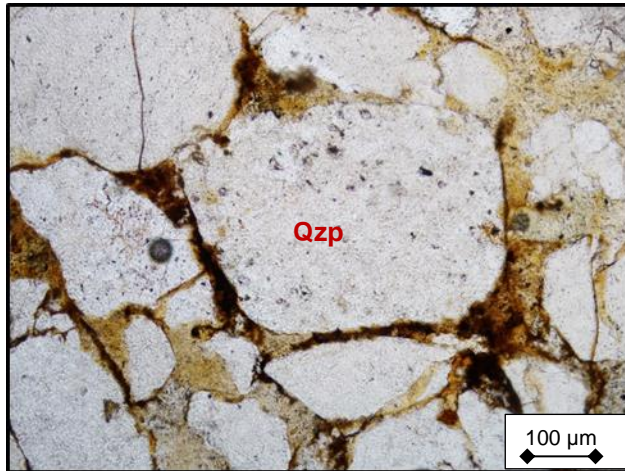
Cuarzo policristalino (Qzp) totalmente recrystalizado con grandes cristales anhedrales (textura granoblástica en cuarcitas), aumento 10x (escala 200  $\mu\text{m}$ ). Muestra SA-1952



Cuarzo policristalino (Qzp) epigranular, fuertemente aplastado con bordes de grano aserrados (tipo esquistos), aumento 20x (escala 100  $\mu\text{m}$ ). Muestra TL-9

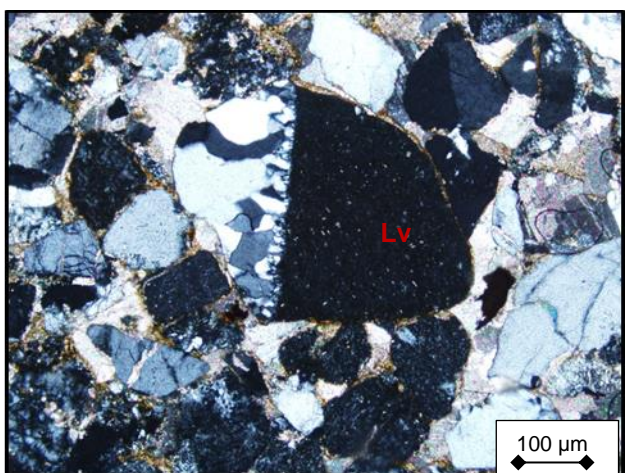
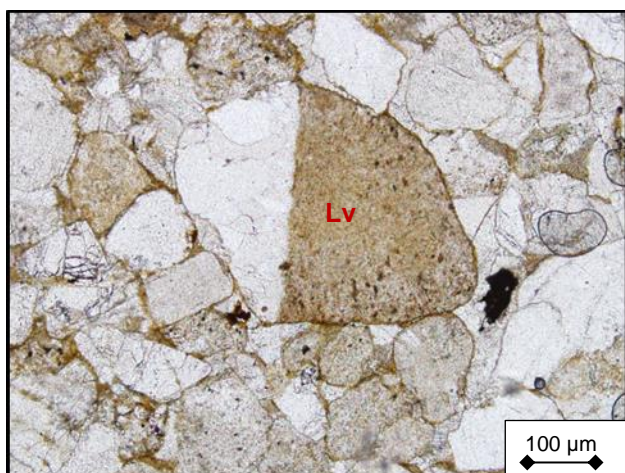


Cuarzo policristalino (Qzp) epigranular, recristalizado (cuarcita), aumento 20x (escala 100  $\mu\text{m}$ ). Muestra TL-9

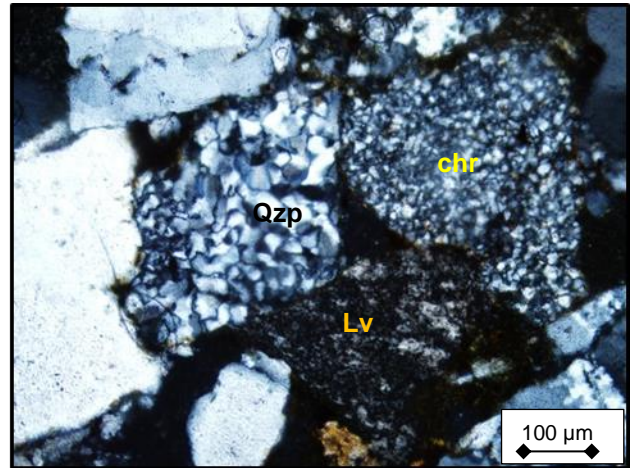
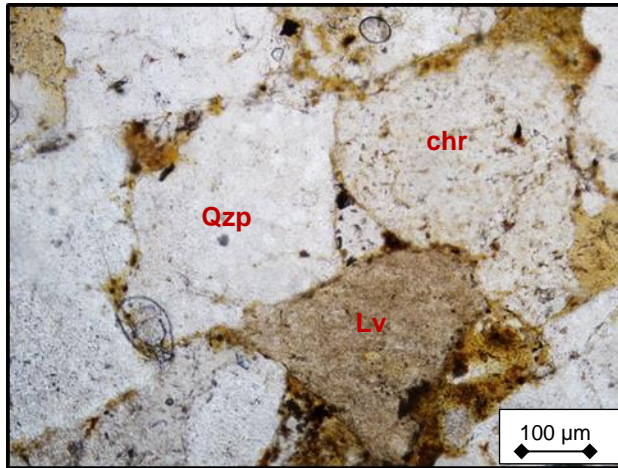


- **Líticos volcánicos y plutónicos**

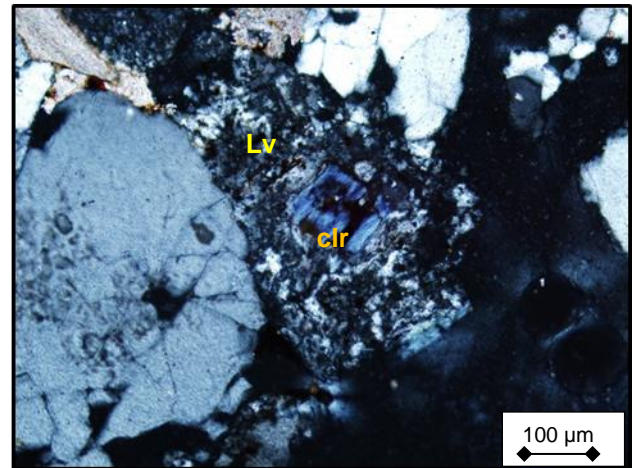
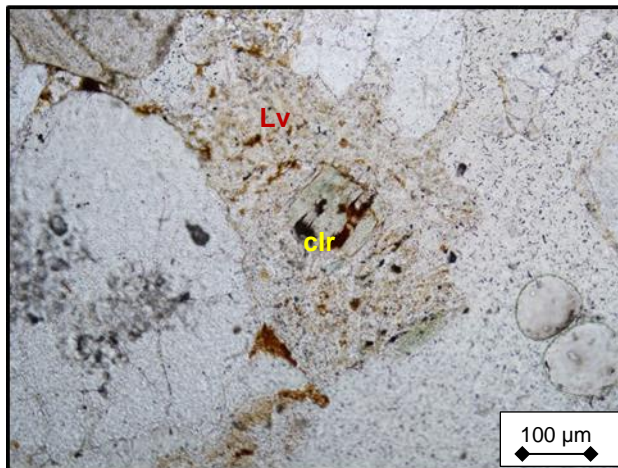
Lítico volcánico (Lv) con posible vena de cuarzo recristalizada, aumento 10x (escala 200  $\mu\text{m}$ ). Muestra TL-27



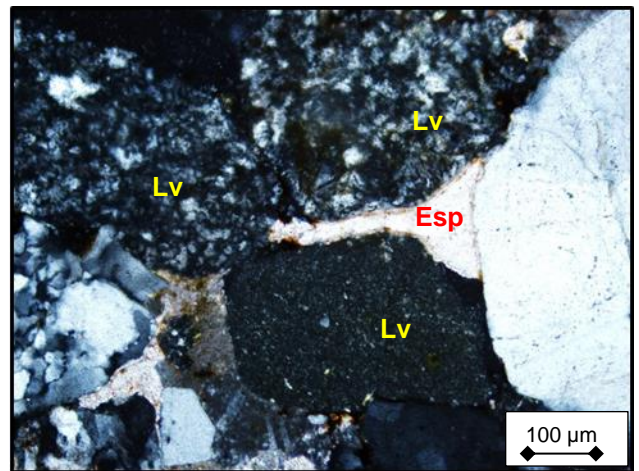
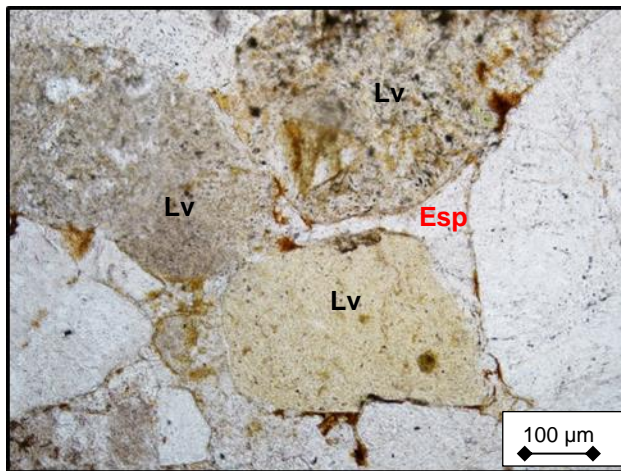
Lítico volcánico (Lv) con proceso de desvitrificación (apariencia sucia, grano inferior de la foto) también hay cuarzo policristalino de origen metamórfico (Qzp) (microcristales de cuarzo y apariencia limpia) (cuarcita?) y posible fragmento de chert (chr) (cristales más pequeños y algo sucio), aumento 20x (escala 100  $\mu\text{m}$ ). Muestra TL-9



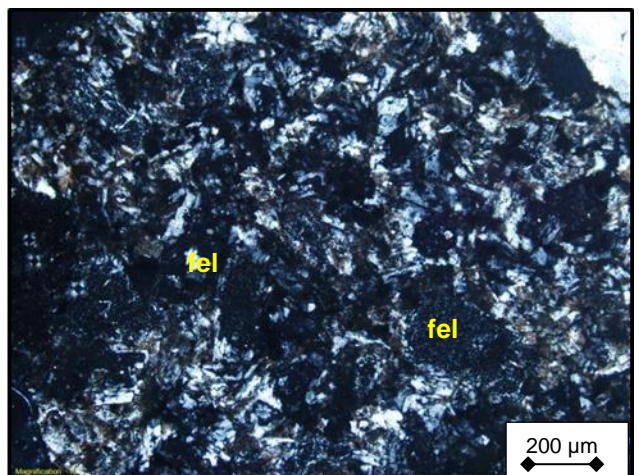
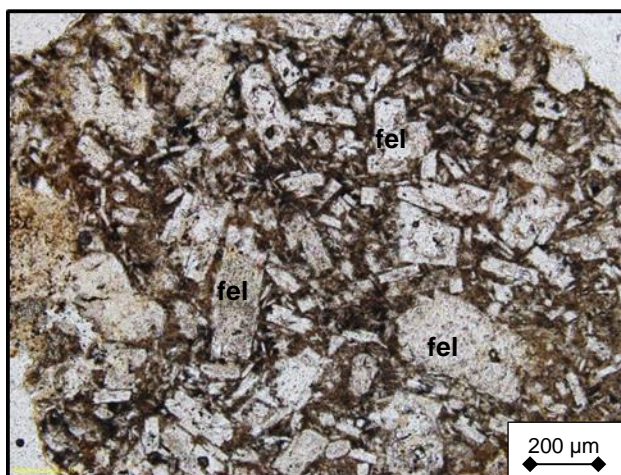
Lítico volcánico (Lv) con grano alterándose a clorita (clr) (color verdoso en PPL y azul en XPL), aumento 20x (escala 100  $\mu\text{m}$ ). Muestra TL-26



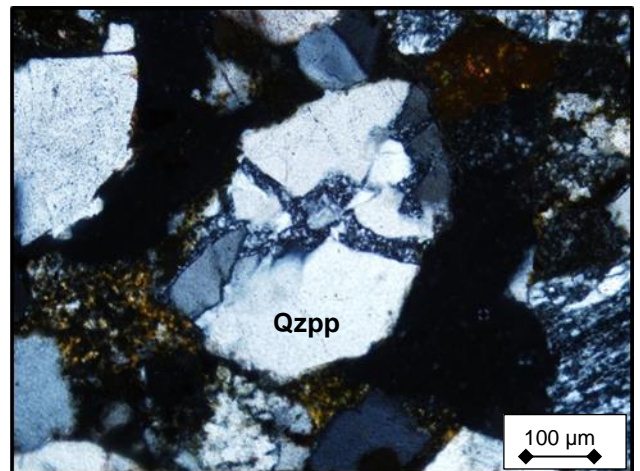
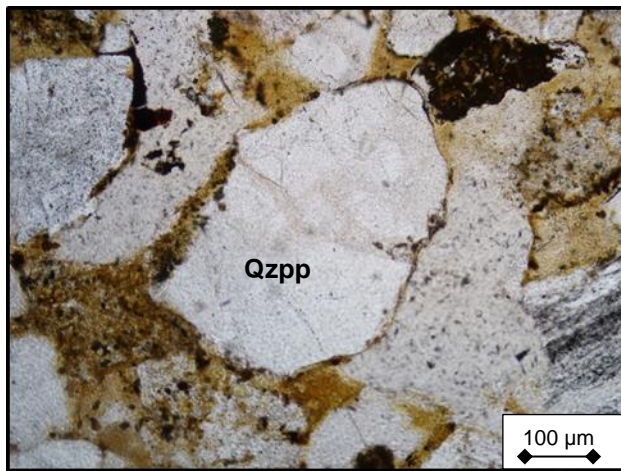
Líticos volcánicos (Lv), con proceso de desvitrificación (aparición sucia) y alterados, hay cemento calcáreo entre los cristales (Esp) aumento 20x (escala 100  $\mu\text{m}$ ). Muestra TL-26



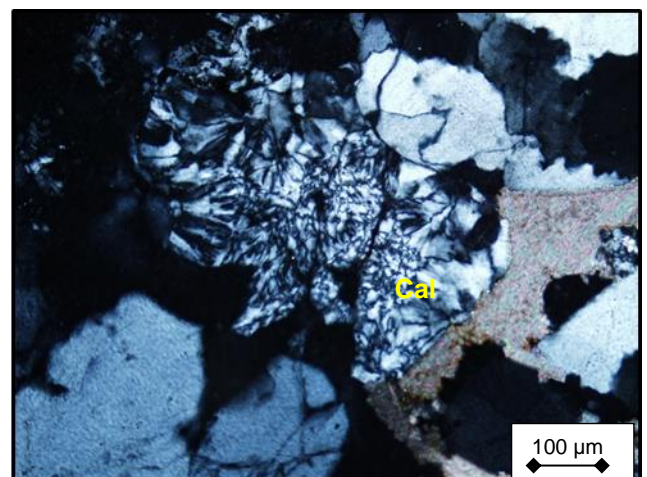
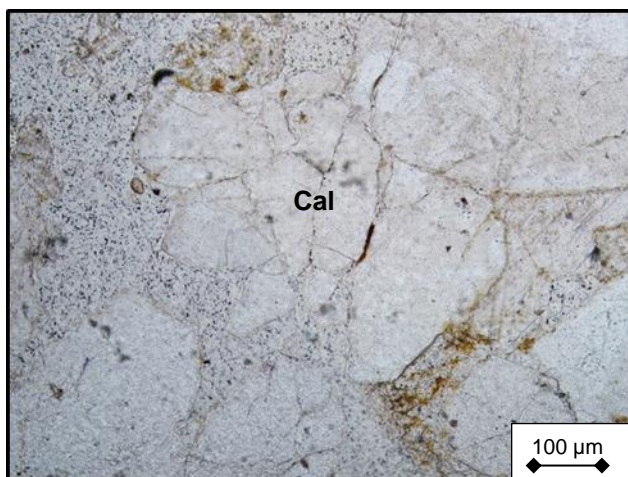
Lítico volcánico con fenocristales de feldspatos (fel) (¿plagioclasas alteradas?), aumento de 10x (escala 200  $\mu\text{m}$ ). Muestra SA-1961



Cuarzo policristalino (Qzpp) plutónico con algunas partes recrystalizadas, aumento de 20x (escala 100  $\mu\text{m}$ ). Muestra TL-9



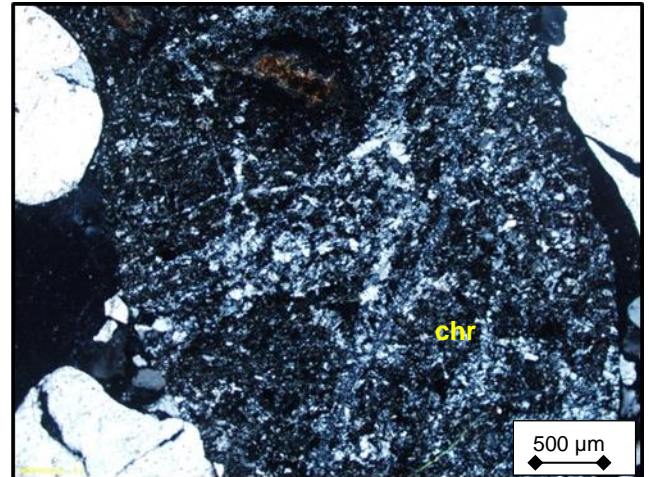
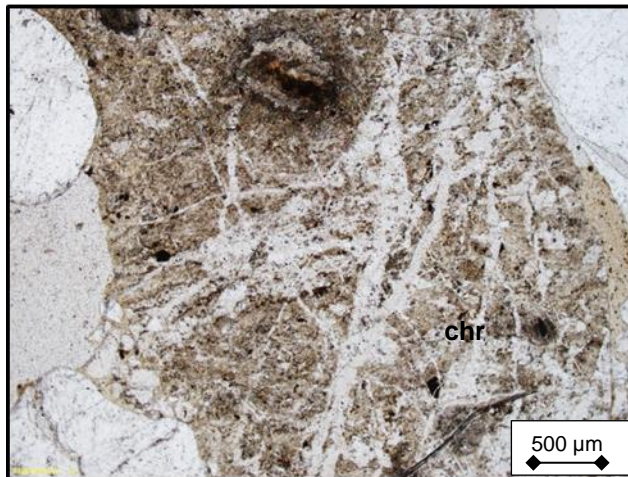
Granos de calcedonia (Cal) de origen ígneo, aumento 20x (escala 100  $\mu\text{m}$ ). Muestra TL-27



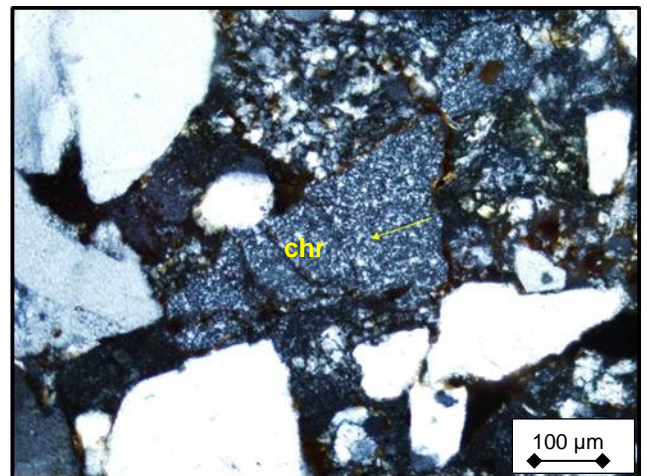
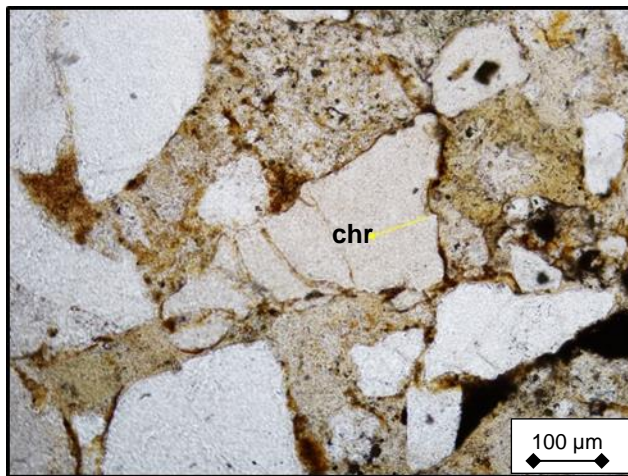


- **Líticos sedimentarios**

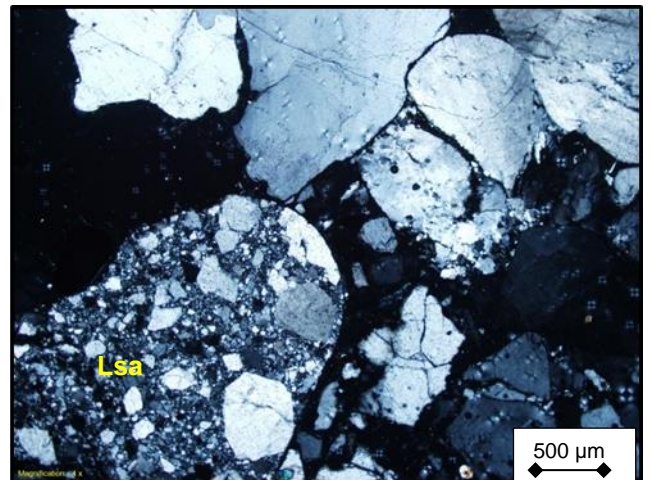
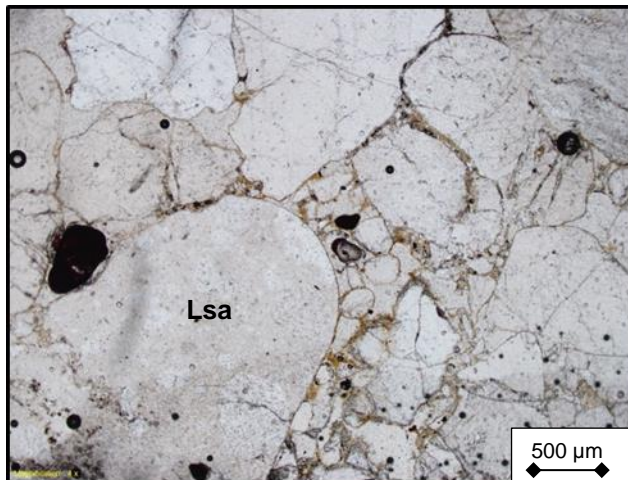
Fragmento de chert (chr), cuarzo microcristalino, aumento 4x (escala 500  $\mu\text{m}$ ). Muestra SA-1961



Fragmento de chert (chr), cuarzo microcristalino, aumento 20x (escala 100  $\mu\text{m}$ ). Muestra SA-1961



Lítico sedimentario de arenita de grano fino a medio (Lsa), con mala selección, compuesta principalmente de cuarzo (cuarzoarenita), aumento 4x (escala 500  $\mu\text{m}$ ). Muestra SA-1961



## F. ANEXO: Cuadros y gráficas con la semi-cuantificación obtenida del DRX y difractogramas característicos

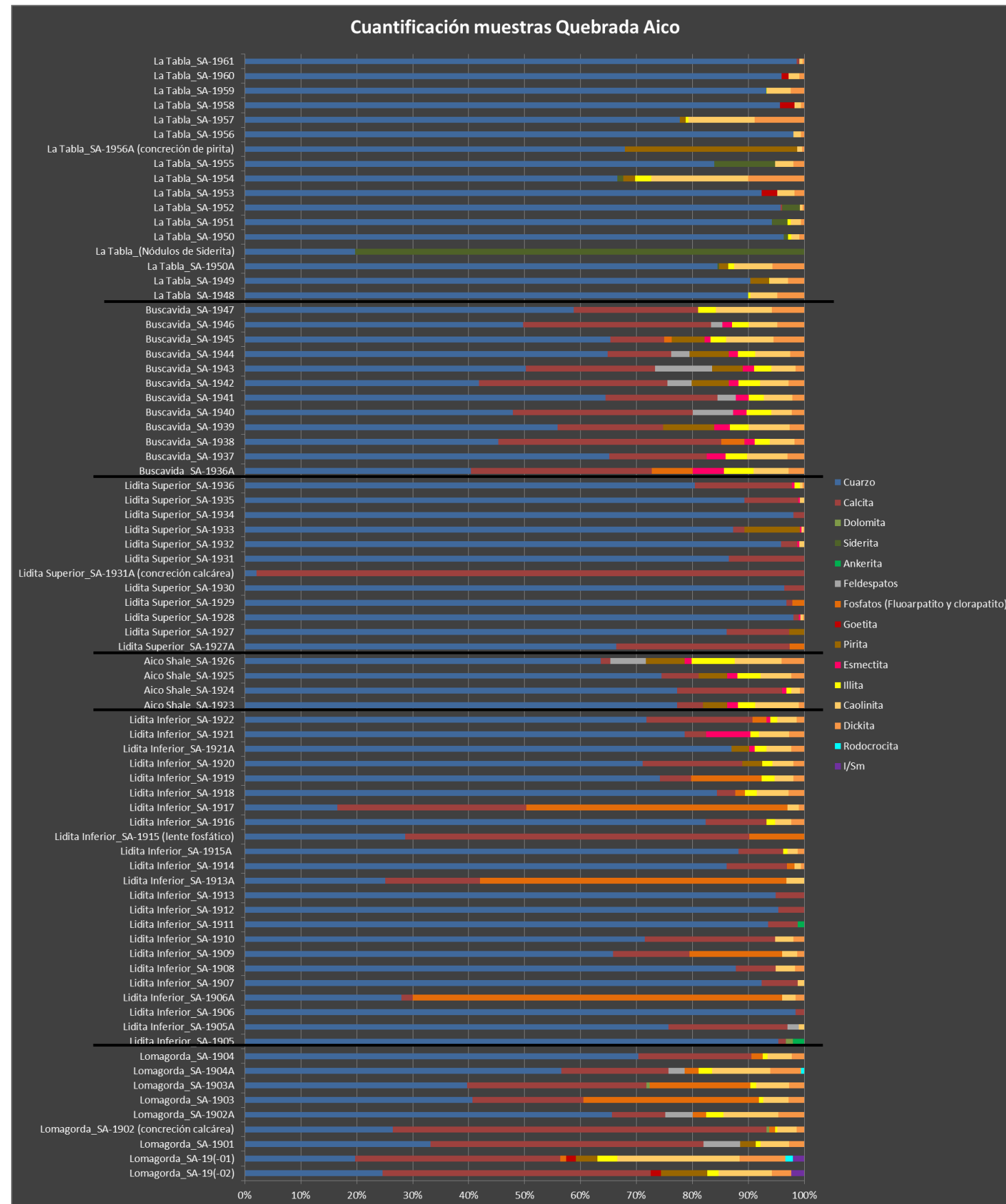
F1. Sección del río Yaguaracito

Metro	Formación	Muestra	Cuarzo	Calcita	Siderita	Albita	Ortoclasa	Microclina	Fosfatos (Fluorapatite)	Pirita	Esmectit	Illito-esmectit	Illita	Clorita	Caolinit	Dickita	Yeso	Talco	TOTAL
	Seca	RY-seca b	64.2			18.9					7.4	0.4	1.6	0.9	5.2	1.4			100
	Seca	RY-seca a	68.1			15					7.1	0.2	1.8	0.9	5.5	1.4			100
	Seca	RY-seca lito	44.4			22.9					13.6		0.4	1.7	10.8	6.2			100
235.4	La Tabla	RY-1737	68.7	11.3				12.4		1.2			0.7		3.2	2.5			100
222.3	La Tabla	RY-1736a	85.1	0.1				8.1	0.7				1		3.6	1.4			100
213.8	La Tabla	RY-1736	85.6	4.6				6.4	0.8		0.1		0.4		1.3	0.8			100
212.1	La Tabla	RY-1735	52.7	31.2		5.4		4.1	1.8				1.9		1.8	1.1			100
209.2	La Tabla	RY-1734	74.8	1.3		0.8		19.2					2.1		1	0.8			100
208.6	Lidita Superior	RY-1733b	66.4	3.8				18.5	3	1.8	1.4		2.9		1.8	0.4			100
208.1	Lidita Superior	RY-1733a	75.4	3.3				2.7		3.5	3.1		4.6		5.7	1.7			100
199.6	Lidita Superior	RY-1733	36.2	38.3			4.2		8.1		8.4		1		2.7	1.1			100
198.8	Lidita Superior	RY-1732	32.6	13.9					47		3.6				2.3	0.6			100
192.9	Lidita Superior	RY-1731	68.3	7.9		2.8		4.2			8.3		0.8		5.4	2.3			100
192.5	Lidita Superior	RY-1730	94.3	5.7															100
187.3	El Cobre	RY-1729	64.2	0.4			10.6	16.6					1.8		4.3	2.1			100
184.2	El Cobre	RY-1728	82.8	0.2			3.4	10.1					0.2		2.2	1.1			100
176.1	El Cobre	RY-1727	70.7	1				23.3					0.6		2.9	1.5			100
173.8	El Cobre	RY-1726	29.2	51.4				18.7							0.7				100
169.7	El Cobre	RY-1725	77	1			6.8	6.8					2.7		3.6	2.1			100
168.2	Lidita Inferior	RY-1724	37.6					9.4			2.6		4.5		29	16.9			100
165.3	Lidita Inferior	RY-1723	76.1	4.8				8		1.4	5.2		1.4		2.1	1			100
163.8	Lidita Inferior	RY-1722	65.4	0.9				5			16.8		2.8		9.1				100
161	Lidita Inferior	RY-1721	19.4	80.6															100
160.7	Lidita Inferior	RY-1720	25.6	40.7				11.7	6.9		2.2		2.2		7.8	2.9			100
159.7	Lidita Inferior	RY-1719	12.8	21.6					65.6										100
159.1	Lidita Inferior	RY-1718	36.8	35.3							12.8		7.4		5.1	2.5		0.1	100
156.8	Lidita Inferior	RY-1717	66.8	9.8					23.4										100
156.6	Lidita Inferior	RY-1716	38.6	8.1							28.8		2.4		16.4	5.7			100
156.4	Lidita Inferior	RY-1715	61.4	34.5							2.5				1.6				100
155.8	Lidita Inferior	RY-1714	94.9	5.1															100
155.4	Lidita Inferior	RY-1713	76.8	1.1		2.4		6.8			2		4.1		4.7	2.1			100
155	Lidita Inferior	RY-1712	53.7	1.7				2.9	41.7										100
135.6	Lidita Inferior	RY-1711	67.9								13.7		1.6		12.4	4.4			100
131	Lomagorda	RY-1710	94.5					2.8	1.4		0.6				0.7				100
126.7	Lomagorda	RY-1709a	49					2.6		6.9	12.8		4.9		17.2	6.6			100
112.5	Lomagorda	RY-1709	50.5	0.9		4.6		4.6	2	4.6	10.8		3.1		13.9	5			100
106.7	Lomagorda	RY-1708	54.8	1.6	0.8	3		4.5			14.5		4.4		16.4				100
67.1	Lomagorda	RY-1707	94.1	4.9					1										100
47.1	Lomagorda	RY-1706	38.5	18.4					40.3						2.7			0.1	100
44	Lomagorda	RY-1705	98.1	0.7									0.6		0.6				100
17.43	Lomagorda	RY-1704	53.3								3.3		2.1		30	11.3			100
8.4	Lomagorda	RY-1703	11.9	86.2									0.6		1.3				100
3.36	Lomagorda	RY-1702	98	2															100
1.05	Lomagorda	RY-1701	11.4	88.1											0.5				100



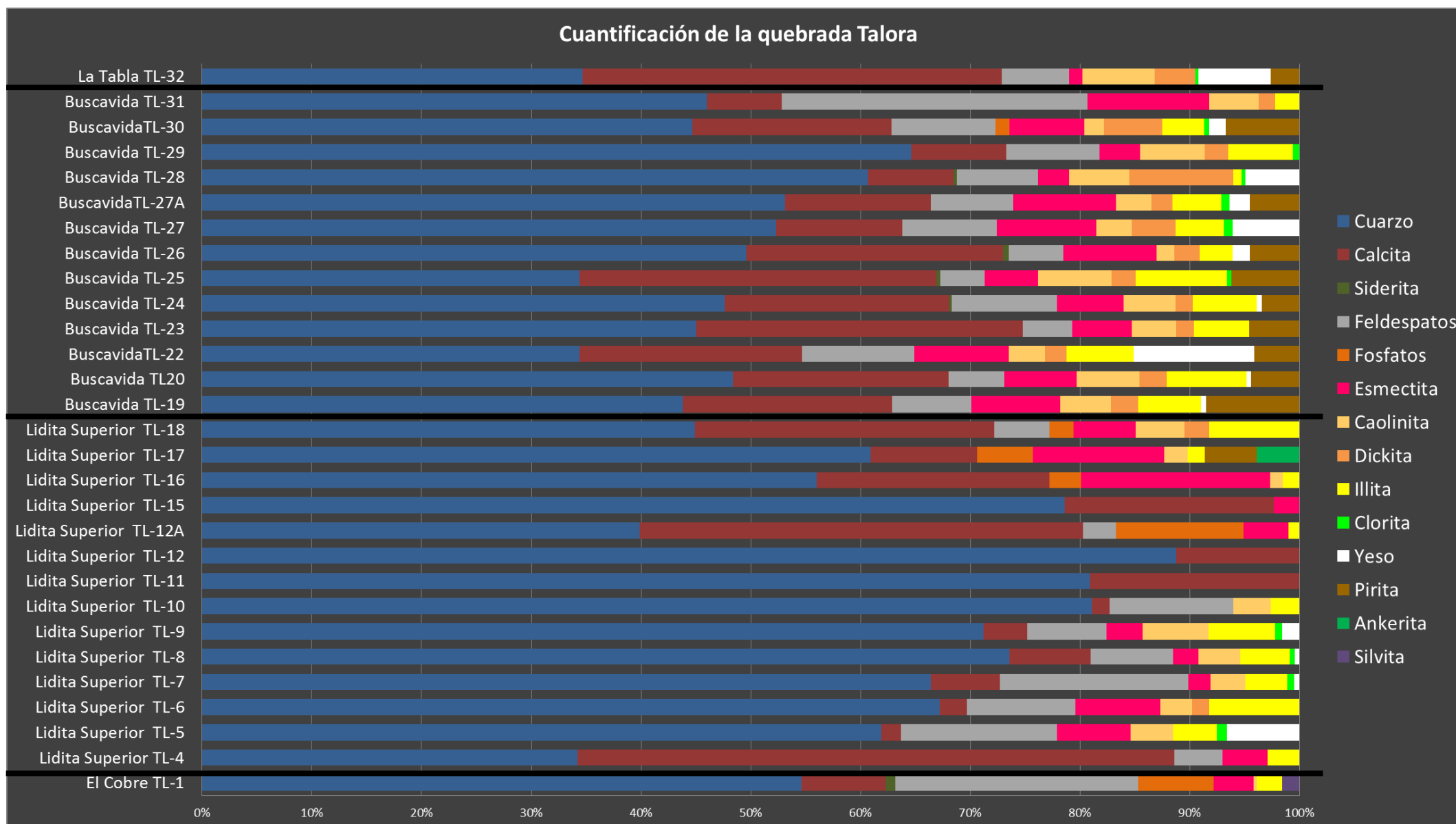
F2. Sección de la quebrada Aico

Metro	Formación	Muestra	Cuarzo	Cristobalita?	Calcita	Dolomita	Siderita	Ankerita	Nodocrosita?	Albita	Ortoclasa	Microclina	Clorapatito	Fluorapatito	Goetita	Pirita	I/Sm	Esmeclita	Illita	Caolinita	Dickita	TOTAL	
357.4	La Tabla	SA-1961	98.6		0.5															0.6	0.3	100	
351.9	La Tabla	SA-1960	95.9												1.3					1.9	0.9	100	
348.3	La Tabla	SA-1959	93.2															0.1		4.3	2.4	100	
345.0	La Tabla	SA-1958	95.6												2.6					1.2	0.6	100	
339.7	La Tabla	SA-1957	77.7													1.1			0.5	11.8	8.9	100	
327.0	La Tabla	SA-1956	98.1																	1.3	0.6	100	
326.8	La Tabla	SA-1956A (concreción de pirita)	67.9													30.8				0.9	0.4	100	
315.7	La Tabla	SA-1955	83.9				10.9													3.3	1.9	100	
310.0	La Tabla	SA-1954	66.6				1.0									2.2			2.8	17.4	10.0	100	
305.8	La Tabla	SA-1953	92.4												2.8					3.0	1.8	100	
301.7	La Tabla	SA-1952	95.7		0.3		3.2													0.5	0.3	100	
300.4	La Tabla	SA-1951	94.2				2.8												0.6	1.8	0.6	100	
291.7	La Tabla	SA-1950	96.3				0.8												0.6	1.4	0.9	100	
290.2	La Tabla	(Nódulos de siderita)	19.7				80.3															100	
290.2	La Tabla	SA-1950A	84.5				0.3									1.6			1.1	6.8	5.7	100	
288.0	La Tabla	SA-1949	90.4													3.3			0.1	3.3	2.9	100	
285.7	La Tabla	SA-1948	90.0																0.4	4.8	4.8	100	
281.8	Buscavida	SA-1947	58.8		22.2														3.2	10.0	5.8	100	
275.2	Buscavida	SA-1946	49.7		33.6							2.0						1.8	3.0	5.1	4.8	100	
269.4	Buscavida	SA-1945	65.3		9.7									1.3		5.9		1.0	2.8	8.5	5.5	100	
264.6	Buscavida	SA-1944	64.8		11.4					3.3						7.0		1.6	3.1	6.3	2.5	100	
259.5	Buscavida	SA-1943	50.2		23.1					10.2						5.5		2.0	3.1	4.3	1.6	100	
248.5	Buscavida	SA-1942	41.8		33.7					4.4						6.6		1.7	3.9	5.1	2.8	100	
237.0	Buscavida	SA-1941	64.5		20.0					3.3								2.3	2.7	5.1	2.1	100	
233.5	Buscavida	SA-1940	47.9		32.2					7.2								2.4	4.4	3.7	2.2	100	
220.8	Buscavida	SA-1939	55.9		18.9											9.1		2.8	3.4	7.3	2.6	100	
211.5	Buscavida	SA-1938	45.3		39.9									4.1				1.8	2.7	4.4	1.8	100	
204.0	Buscavida	SA-1937	65.1		17.5													3.3	3.9	7.2	3.0	100	
202.5	Buscavida	SA-1936A	40.4		32.3									7.4				5.5	5.3	6.3	2.8	100	
202.4	Lidita Superior	SA-1936	80.4		17.4													0.4	1	0.5	0.3	100	
201.0	Lidita Superior	SA-1935	89.3		9.6													0.3		0.8		100	
199.5	Lidita Superior	SA-1934	98.1		1.9																	100	
195.4	Lidita Superior	SA-1933	87.3		2.0											9.9		0.3		0.4	0.1	100	
191.0	Lidita Superior	SA-1932	95.8		2.9													0.4		0.9		100	
188.6	Lidita Superior	SA-1931	86.5		13.5																	100	
188.5	Lidita Superior	SA-1931A (concreción calcarea)	2.1		97.9																	100	
180.0	Lidita Superior	SA-1930	96.4		3.6																	100	
167.0	Lidita Superior	SA-1929	96.8		1.1									2.1								100	
163.4	Lidita Superior	SA-1928	98.1		0.9													0.3		0.5	0.2	100	
157.1	Lidita Superior	SA-1927	86.1		11.2											2.7						100	
157.0	Lidita Superior	SA-1927A	65.6	0.8	31.0								2.6									100	
93.7	Aico Shale	SA-1926	63.6		1.7					6.4						6.9		1.3	7.7	8.3	4.1	100	
78.0	Aico Shale	SA-1925	74.5		6.6											5.1		1.8	4.2	5.5	2.3	100	
76.0	Aico Shale	SA-1924	77.3		18.7													0.8	0.9	1.5	0.8	100	
74.0	Aico Shale	SA-1923	77.3		4.6													1.9	3.1	7.8	1.0	100	
71.3	Lidita Inferior	SA-1922	71.8		18.9									2.5				0.7	1.3	3.4	1.4	100	
65.2	Lidita Inferior	SA-1921	78.6		3.9													7.9	1.5	5.4	2.7	100	
64.5	Lidita Inferior	SA-1921A	87.0															0.9	2.1	4.5	2.3	100	
59.0	Lidita Inferior	SA-1920	71.1		17.8														1.8	3.8	1.9	100	
56.0	Lidita Inferior	SA-1919	74.2		5.6								12.6						2.3	3.4	1.9	100	
54.8	Lidita Inferior	SA-1918	84.4		3.3									1.7					2.1	5.7	2.8	100	
52.8	Lidita Inferior	SA-1917	16.5		33.8								46.7							2.0	1.0	100	
49.7	Lidita Inferior	SA-1916	82.4		10.8														1.6	2.9	2.3	100	
48.0	Lidita Inferior	SA-1915 (lente fosfatico)	28.7		61.5									9.8								100	
46.8	Lidita Inferior	SA-1915A	88.2		8.0														0.8	1.8	1.2	100	
42.5	Lidita Inferior	SA-1914	86.1		10.8									1.3						1.2	0.6	100	
40.5	Lidita Inferior	SA-1913A	25.1		16.9									54.8						3.2		100	
40.5	Lidita Inferior	SA-1913	94.9		5.1																	100	
38.7	Lidita Inferior	SA-1912	95.4		4.6																	100	
35.5	Lidita Inferior	SA-1911	93.5		5.3			1.2														100	
34.0	Lidita Inferior	SA-1910	71.5		23.3															3.3	1.9	100	
31.0	Lidita Inferior	SA-1909	65.8		13.7										16.5					2.7	1.3	100	
29.0	Lidita Inferior	SA-1908	87.8		7.1															3.4	1.7	100	
27.1	Lidita Inferior	SA-1907	92.4		6.4															1.2		100	
25.6	Lidita Inferior	SA-1906A	28.0		2.0									66.0						2.4	1.6	100	
25.0	Lidita Inferior	SA-1906	98.4		1.6																	100	
24.0	Lidita Inferior	SA-1905A	75.7		21.3							2.0								1.0		100	
24.0	Lidita Inferior	SA-1905	95.4		1.3	1.3		2.0														100	
19.6	Lomagorda	SA-1904	70.3		20.2								0.8	1.3						0.8	4.4	2.2	100
19.35	Lomagorda	SA-1904A	56.6		19.1				0.6	2.9				2.5						2.4	10.4	5.5	100
10.6	Lomagorda	SA-1903A	39.7		32.1	0.6							6.0	12.0						1.0	5.9	2.7	100
10.5	Lomagorda	SA-1903	40.7		19.8									31.4						0.8	4.5	2.8	100
8.5	Lomagorda	SA-1902A	65.6		9.5					2.9				2.4						3.0	9.9	4.6	100
7.6	Lomagorda	SA-1902 (concreción calcarea)	26.4		66.8	0.5								1.1						0.4	3.4	1.4	100
4.0	Lomagorda	SA-1901	33.2		48.8						6.5									0.9	5.1	2.7	100
-12.0	Lomagorda	SA-19(-01)	19.7		36.7				1.4					1.0	1.8	3.8	2.0			3.6	21.8	8.2	100
-24.0	Lomagorda	SA-19(-02)	24.6		47.9										1.9	8.3	2.3			2.0	9.5	3.5	100



F3. Sección de la quebrada Talora

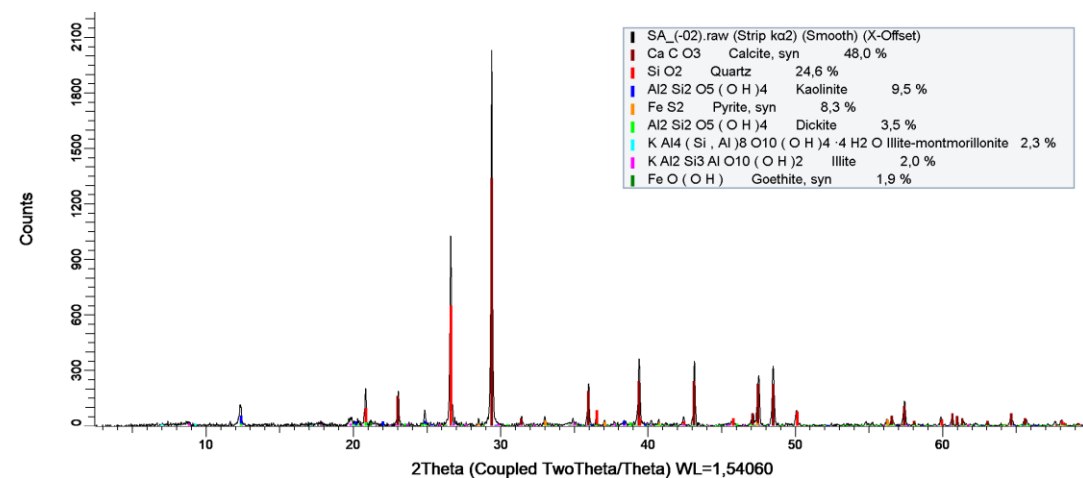
Metro	Formación	Muestra	Cuarzo	Calcita	Siderita	Feldespatos	Fosfatos	Esmectita	Caolinita	Dickita	Illita	Clorita	Yeso	Pirita	Ankerita	Silvita	Cuantificacion Total
275	La Tabla	TL-32	34,7	38,2	0	6,1	0	1,2	6,6	3,7	0	0,3	6,6	2,6	0	0	100
260	Buscavida	TL-31	46	6,8	0	27,9	0	11,1	4,5	1,5	2,2	0	0	0	0	0	100
245	Buscavida	TL-30	44,7	18,1	0	9,5	1,3	6,8	1,8	5,3	3,8	0,5	1,5	6,7	0	0	100
240	Buscavida	TL-29	64,6	8,7	0	8,5	0	3,7	5,9	2,1	5,9	0,6	0	0	0	0	100
235	Buscavida	TL-28	60,7	7,8	0,3	7,4	0	2,8	5,5	9,5	0,7	0,4	4,9	0	0	0	100
230	Buscavida	TL-27A	53,1	13,3	0	7,5	0	9,4	3,2	1,9	4,5	0,7	1,9	4,5	0	0	100
223	Buscavida	TL-27	52,3	11,5	0	8,6	0	9,1	3,2	4	4,4	0,8	6,1	0	0	0	100
220	Buscavida	TL-26	49,6	23,4	0,5	5	0	8,5	1,6	2,3	3	0	1,6	4,5	0	0	100
213	Buscavida	TL-25	34,4	32,5	0,4	4	0	4,9	6,7	2,2	8,3	0,4	0	6,2	0	0	100
208	Buscavida	TL-24	47,6	20,5	0,2	9,6	0	6,1	4,7	1,6	5,8	0	0,5	3,4	0	0	100
205	Buscavida	TL-23	45	29,8	0	4,5	0	5,4	4,1	1,6	5	0	0	4,6	0	0	100
200	Buscavida	TL-22	34,4	20,3	0	10,2	0	8,6	3,3	2	6,1	0	11	4,1	0	0	100
190	Buscavida	TL20	48,4	19,6	0	5,1	0	6,6	5,7	2,5	7,3	0	0,4	4,4	0	0	100
185	Buscavida	TL-19	43,8	19,1	0	7,2	0	8,1	4,6	2,5	5,7	0	0,5	8,5	0	0	100
180	Lidita Superior	TL-18	44,9	27,3	0	5	2,2	5,7	4,4	2,3	8,2	0	0	0	0	0	100
178	Lidita Superior	TL-17	60,9	9,7	0	0	5,1	12	2,1	0	1,6	0	0	4,7	3,9	0	100
176	Lidita Superior	TL-16	56	21,2	0	0	2,9	17,2	1,2	0	1,5	0	0	0	0	0	100
172	Lidita Superior	TL-15	78,6	19,1	0	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	100
160	Lidita Superior	TL-12A	39,9	40,4	0	3	11,6	4,1	0	0	1	0	0	0	0	0	100
156	Lidita Superior	TL-12	88,8	11,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
152	Lidita Superior	TL-11	80,9	19,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
148	Lidita Superior	TL-10	81,1	1,6	0	11,3	0	0	3,4	0	2,6	0	0	0	0	0	100
144	Lidita Superior	TL-9	71,2	4	0	7,2	0	3,3	6	0	6,1	0,6	1,6	0	0	0	100
141	Lidita Superior	TL-8	73,6	7,4	0	7,5	0	2,3	3,8	0	4,5	0,5	0,4	0	0	0	100
136	Lidita Superior	TL-7	66,4	6,3	0	17,2	0	2	3,2	0	3,8	0,6	0,5	0	0	0	100
134	Lidita Superior	TL-6	67,2	2,5	0	9,9	0	7,7	2,9	1,6	8,2	0	0	0	0	0	100
131	Lidita Superior	TL-5	61,9	1,8	0	14,2	0	6,7	3,9	0	4	0,9	6,6	0	0	0	100
128	Lidita Superior	TL-4	34,2	54,4	0	4,4	0	4,1	0	0	2,9	0	0	0	0	0	100
120	El Cobre	TL-1	54,6	7,7	0,9	22,1	6,9	3,6	0,3	0	2,3	0	0	0	0	1,6	100



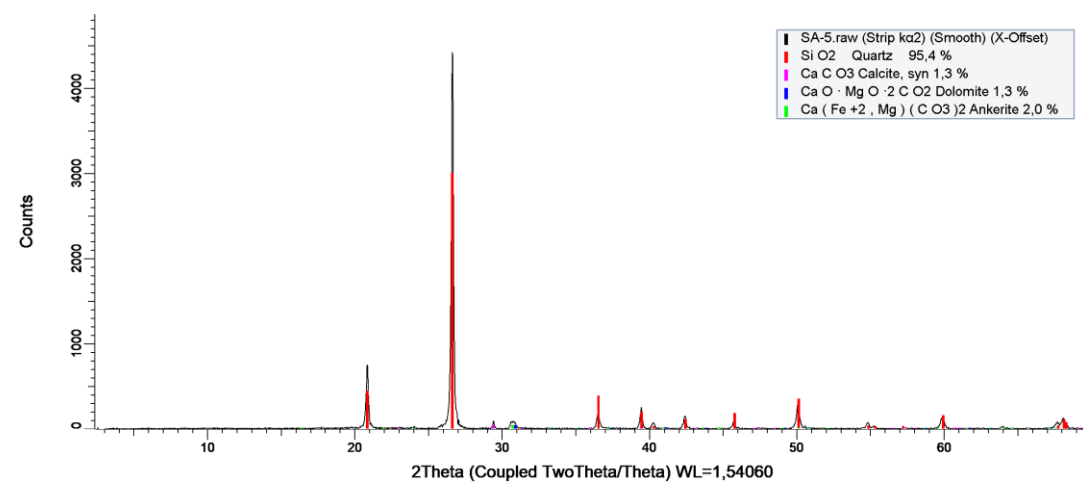
3. Difractogramas de lodolitas, arenitas, biomicritas, cherts y fosforitas.



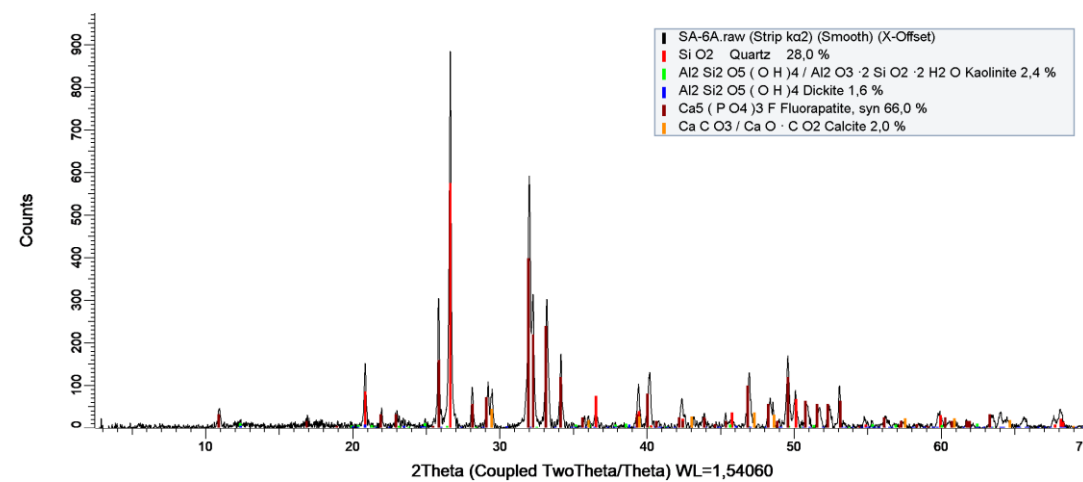
Biomicrita de la Formación Loma Gorda (Q. Aico). Se observa en rojo los picos principales de la **calcita**.



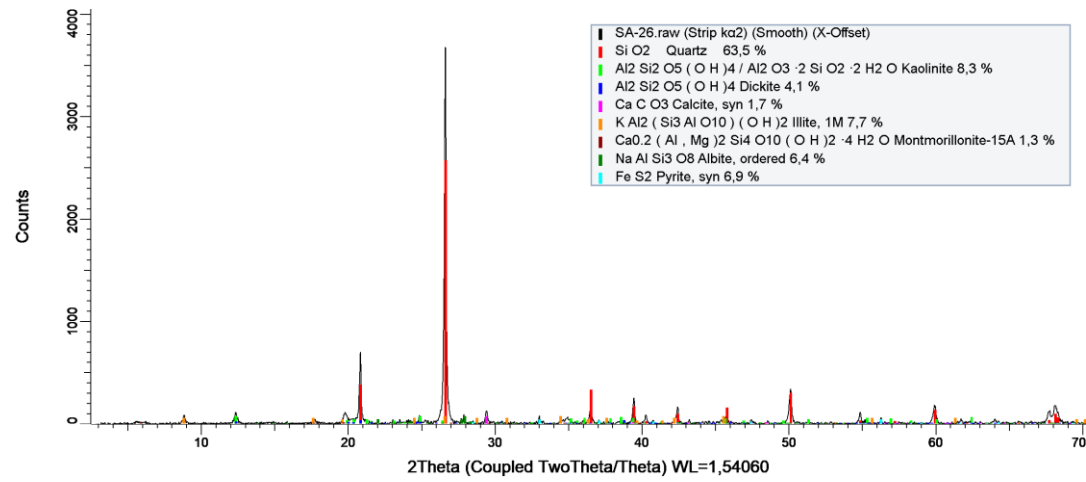
Nódulo silíceo de la Formación Lidita Inferior (Q. Aico). En rojo se observan los picos principales del **Cuarzo**.



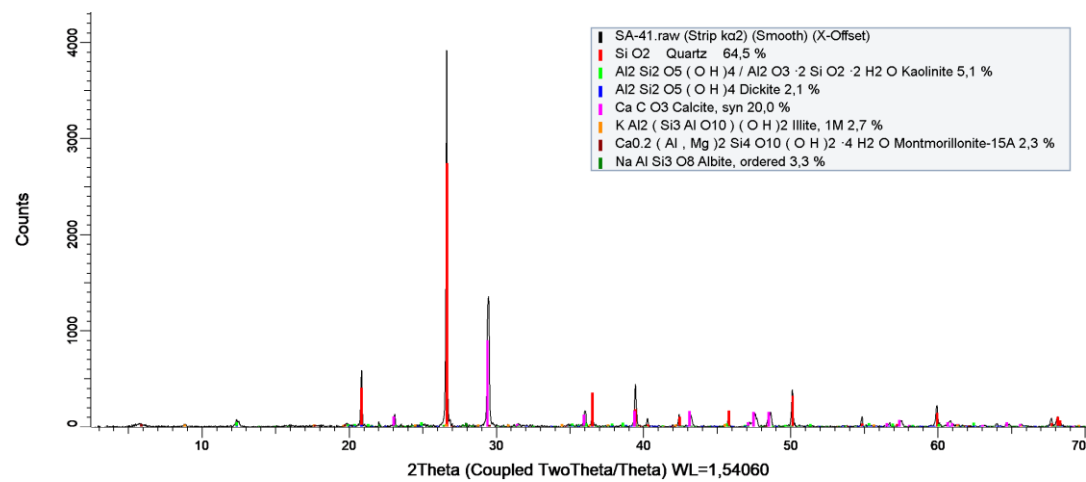
Fosforita de la Formación Lidita Inferior (Q. Aico). En color café rojizo se observan los picos principales de los **fosfatos**.



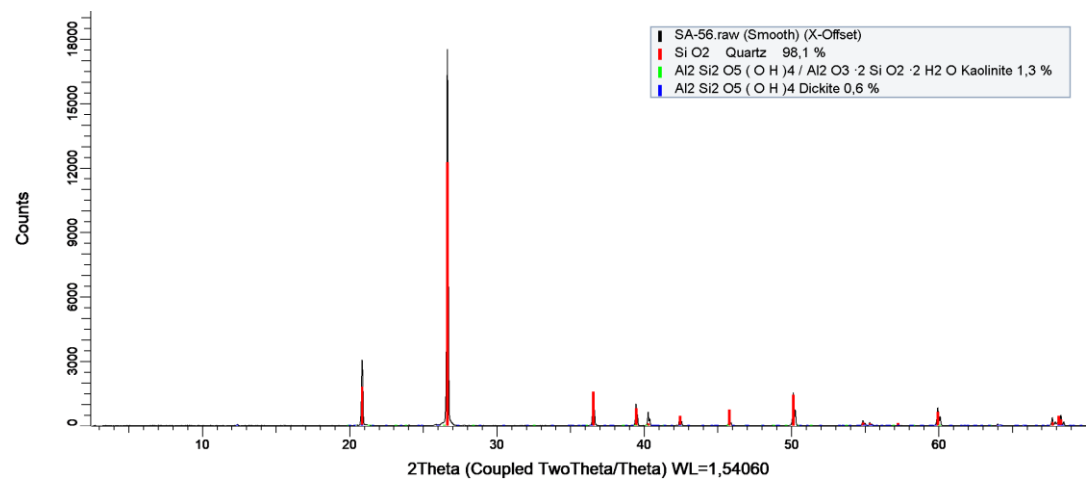
Arcillolita de "Aico Shale" (Q. Aico). Los picos predominantese corresponden al **cuarzo** en rojo.



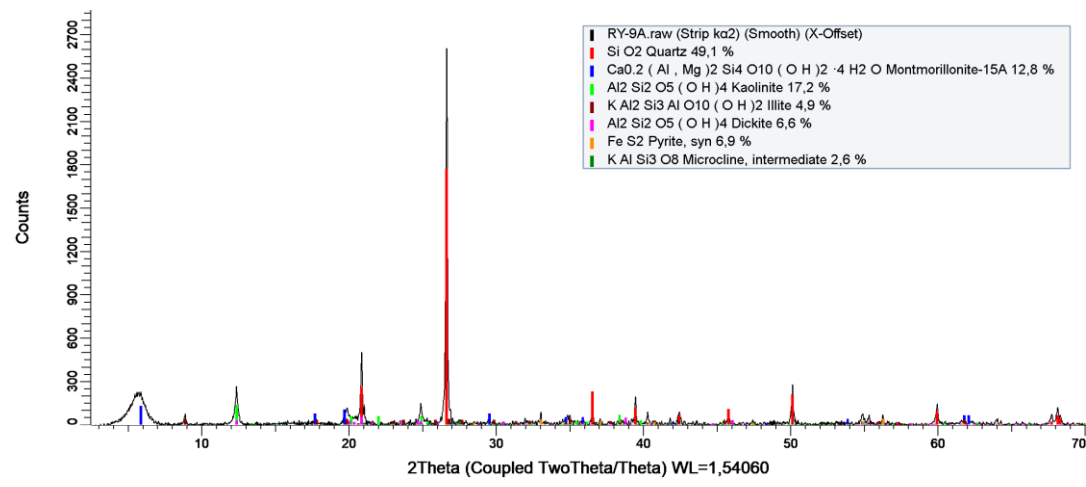
Limolita de la Formación Buscavida (Q. Aico). En fucsia resaltan los picos de **calcita**, segundo mineral más abundante.



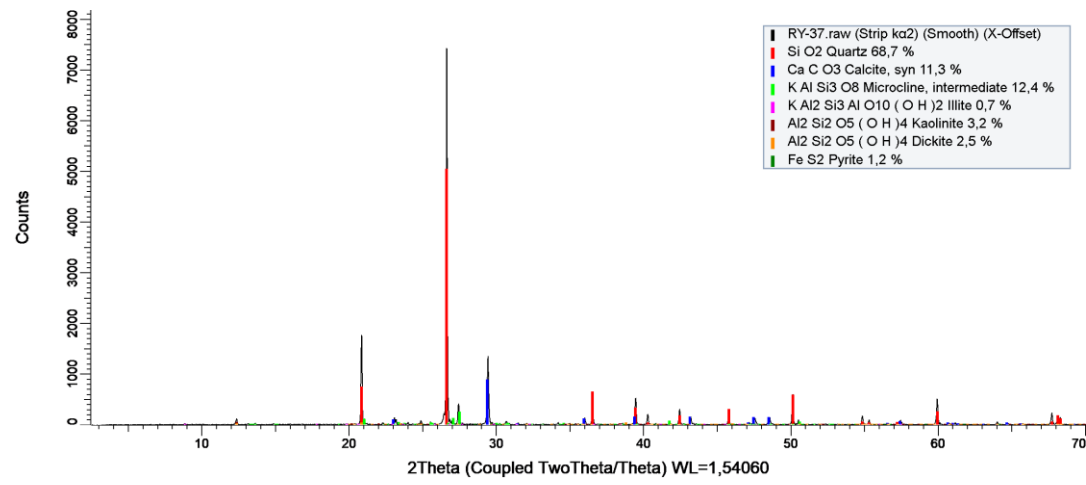
Arenita de la Formación La Tabla (Q. Aico). En rojo los picos principales del **cuarzo**.



Lodolita de la Formación Lidita Inferior (R. Yaguaracito). Picos en azul y verde, corresponden a las **esmectitas** y **calolinita** respectivamente.



Arenita de la Formación La Tabla (R. Yaguaracito). Picos pequeños en verde corresponden a los **feldespatos**.



## G. ANEXO: Cuadro con la cuantificación obtenida del FRX

### G.1 Sección del rio Yaguaracito

Metro	Formación	Field1	Concentración (%)										
			MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	K2O	CaO	TiO2	Cr	MnO	Fe2O3
		RY-seca b	0.00	19.49	73.01	0.28	0.71	1.01	0.98	0.46	0.00	0.06	3.89
		RY-seca a	0.85	21.10	70.51	0.20	0.75	1.05	1.00	0.52	0.05	0.05	3.53
		RY-seca lito	1.36	20.80	71.72	0.28	0.57	0.53	1.58	0.43	0.00	0.16	2.44
235.4	La Tabla	RY-1737	0.00	10.48	76.62	0.88	0.80	1.01	9.03	0.18	0.00	0.02	0.85
222.3	La Tabla	RY-1736a	0.69	11.70	82.41	2.09	0.00	1.12	1.31	0.23	0.00	0.02	0.33
213.8	La Tabla	RY-1736	0.00	6.65	85.08	1.68	0.14	0.75	4.97	0.16	0.00	0.02	0.47
212.1	La Tabla	RY-1735	0.00	0.00	63.55	4.60	0.00	0.71	30.24	0.17	0.00	0.05	0.58
209.2	La Tabla	RY-1734	0.47	6.31	88.06	0.57	0.90	1.17	1.82	0.17	0.00	0.03	0.39
208.6	Lidita Superior	RY-1733b	0.00	5.50	84.29	3.42	0.00	0.70	4.94	0.14	0.00	0.02	0.88
208.1	Lidita Superior	RY-1733a	0.00	8.38	83.91	1.51	0.93	0.69	2.82	0.23	0.01	0.03	1.40
199.6	Lidita Superior	RY-1733	0.82	8.09	63.99	6.41	0.27	0.30	18.66	0.17	0.10	0.03	0.78
198.8	Lidita Superior	RY-1732	0.00	0.00	44.82	30.50	0.00	0.00	23.50	0.10	0.00	0.02	0.81
192.9	Lidita Superior	RY-1731	0.00	9.44	82.62	0.44	2.07	0.47	3.48	0.20	0.01	0.02	1.16
192.5	Lidita Superior	RY-1730	1.20	3.03	90.84	0.26	1.06	0.09	2.67	0.09	0.00	0.02	0.67
187.3	El Cobre	RY-1729	0.00	9.87	84.38	0.71	1.05	1.96	1.17	0.26	0.00	0.01	0.45
184.2	El Cobre	RY-1728	0.00	9.39	86.23	0.53	0.83	1.44	0.57	0.21	0.03	0.02	0.35
176.1	El Cobre	RY-1727	0.00	9.30	85.31	0.36	0.56	1.58	1.74	0.26	0.02	0.02	0.40
173.8	El Cobre	RY-1726	5.69	6.78	50.56	0.07	0.85	0.75	34.16	0.16	0.04	0.09	0.41
169.7	El Cobre	RY-1725	0.00	10.13	83.72	0.76	0.69	1.79	0.62	0.34	0.00	0.02	1.52
168.2	Lidita Inferior	RY-1724	0.00	18.11	74.59	0.64	1.11	1.61	0.81	0.48	0.06	0.02	2.18
165.3	Lidita Inferior	RY-1723	0.00	7.74	85.38	0.34	1.37	0.64	3.13	0.25	0.00	0.02	1.05
163.8	Lidita Inferior	RY-1722	0.00	13.09	81.65	0.36	0.79	0.87	1.09	0.32	0.01	0.02	1.69
161.0	Lidita Inferior	RY-1721	2.40	5.35	44.47	0.77	1.41	0.00	44.61	0.05	0.00	0.03	0.83
160.7	Lidita Inferior	RY-1720	0.00	16.45	55.17	2.93	4.21	0.91	18.13	0.29	0.02	0.04	1.64
159.7	Lidita Inferior	RY-1719	0.00	2.81	21.34	42.91	0.00	0.00	32.36	0.01	0.00	0.03	0.40
159.1	Lidita Inferior	RY-1718	0.00	12.71	69.21	0.88	2.68	0.54	11.79	0.22	0.17	0.02	1.12
156.8	Lidita Inferior	RY-1717	1.71	0.00	62.03	20.26	0.00	0.00	14.84	0.07	0.01	0.02	0.77
156.6	Lidita Inferior	RY-1716	0.00	18.75	69.92	0.73	3.07	0.77	3.96	0.34	0.02	0.03	2.17
156.4	Lidita Inferior	RY-1715	0.00	8.01	75.50	0.63	2.01	0.15	9.97	0.13	0.00	0.05	3.50
155.8	Lidita Inferior	RY-1714	0.00	1.71	92.59	0.58	1.00	0.04	2.75	0.04	0.08	0.02	0.77
155.4	Lidita Inferior	RY-1713	0.61	9.69	84.25	0.29	0.89	1.18	0.94	0.37	0.05	0.03	1.33
155.0	Lidita Inferior	RY-1712	0.09	0.00	48.87	30.39	0.00	0.00	19.57	0.06	0.00	0.04	0.70
135.6	Lidita Inferior	RY-1711	0.00	14.25	81.42	0.35	0.61	0.52	0.36	0.26	0.00	0.00	2.15
131.0	Lomagorda	RY-1710	0.00	5.19	89.26	2.32	0.00	0.38	1.22	0.12	0.00	0.02	1.44
126.7	Lomagorda	RY-1709a	0.00	20.45	70.89	0.33	1.73	0.90	1.24	0.47	0.00	0.03	3.83
112.5	Lomagorda	RY-1709	0.00	17.52	74.29	0.43	1.45	0.80	1.29	0.39	0.01	0.03	3.67
106.7	Lomagorda	RY-1708	0.00	17.48	75.09	0.44	1.06	0.66	1.43	0.35	0.00	0.03	3.38
67.1	Lomagorda	RY-1707	0.98	1.80	90.86	1.07	0.59	0.02	4.01	0.02	0.01	0.02	0.59
47.1	Lomagorda	RY-1706	3.20	5.19	42.88	22.82	0.00	0.00	23.79	0.05	0.00	0.03	1.80
44.0	Lomagorda	RY-1705	0.00	3.47	90.01	2.55	1.04	0.14	1.78	0.10	0.01	0.02	0.83
17.43	Lomagorda	RY-1704	0.00	18.08	72.39	0.51	2.72	0.75	1.17	0.31	0.02	0.03	3.85
8.4	Lomagorda	RY-1703	0.00	7.35	48.81	0.16	3.58	0.03	39.08	0.12	0.00	0.03	0.58
3.36	Lomagorda	RY-1702	0.60	0.00	94.24	0.38	2.10	0.06	1.80	0.03	0.01	0.02	0.72
1.05	Lomagorda	RY-1701	0.00	5.42	50.11	0.81	1.99	0.00	40.99	0.14	0.00	0.02	0.33

Metro	Formación	Field1	Concentración (ppm)																							
			Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ba	Ce	W	Pb	Th	U	Ti	Cr	Mn					
		RY-seca b	26.4	28.1	113.2	0.0	46.8	70.6	17.9	143.0	4.3	8.5	0.0	611.0	19.6	0.0	0.0	0.0	2770.1	17.9	444.2					
		RY-seca a	1899.7	309.6	384.5	0.0	152.5	232.9	18.3	190.9	3.7	21.9	0.0	774.5	0.0	62.1	14.6	0.0	3120.9	452.1	403.2					
		RY-seca litro	22.3	30.3	137.9	13.5	24.7	59.0	15.9	76.5	0.8	8.8	287.7	575.4	27.9	20.7	4.8	6.4	2589.3	11.2	1240.6					
235.4	La Tabla	RY-1737	10.2	5.6	37.1	0.0	54.7	300.6	25.0	480.5	3.7	0.0	0.0	239.3	26.9	12.1	0.0	0.0	1090.0	39.9	185.4					
222.3	La Tabla	RY-1736a	6.6	18.1	17.3	5.8	36.3	47.8	31.3	340.4	10.7	21.4	122.8	304.1	14.0	2.5	14.8	6.6	1358.6	12.4	134.0					
213.8	La Tabla	RY-1736	1.7	10.2	28.1	11.9	28.1	128.5	7.7	315.6	6.0	22.1	0.0	214.4	15.3	0.0	0.0	8.5	974.2	18.7	155.5					
212.1	La Tabla	RY-1735	0.0	14.8	24.6	0.0	28.3	406.9	14.8	252.0	18.4	25.8	0.0	218.8	36.9	0.0	0.0	0.0	1009.6	20.9	360.8					
209.2	La Tabla	RY-1734	0.9	28.2	19.4	3.5	29.9	43.1	10.6	318.8	7.9	22.9	284.4	230.7	5.3	0.0	0.0	0.0	1045.3	47.6	225.1					
208.1	Lidita Superior	RY-1733b	0.0	15.2	59.0	1.7	27.8	162.7	9.3	217.5	5.1	16.0	324.5	191.3	22.8	0.0	0.0	0.0	859.1	35.4	143.0					
208.6	Lidita Superior	RY-1733a	24.2	15.2	101.3	1.8	39.4	135.4	19.7	196.3	7.2	19.7	0.0	292.2	36.8	5.4	9.9	0.0	1348.9	62.8	213.8					
199.6	Lidita Superior	RY-1732	2223.5	154.0	369.9	0.0	23.9	689.8	55.3	104.1	1.1	0.0	0.0	225.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1001.3	1016.3	221.8					
198.8	Lidita Superior	RY-1731	21.9	17.5	80.9	0.0	21.9	1847.4	223.0	0.0	1.1	14.2	0.0	126.8	52.5	0.0	17.5	28.4	571.5	470.0	165.1					
192.9	Lidita Superior	RY-1731	45.1	39.3	242.3	0.0	25.9	132.8	10.0	77.7	0.0	20.9	0.0	273.2	53.5	0.8	3.3	12.5	1201.9	58.5	117.1					
192.5	Lidita Superior	RY-1730	31.5	21.3	28.5	0.0	8.1	115.8	1.0	3.0	3.0	16.3	344.5	116.9	11.2	0.0	0.0	2.0	531.2	33.5	136.2					
187.3	El Cobre	RY-1729	5.9	14.3	16.9	0.0	45.6	36.3	21.1	641.3	4.2	32.1	0.0	359.5	21.9	0.0	2.5	0.0	1588.5	0.0	92.2					
184.2	El Cobre	RY-1728	1973.2	183.4	166.0	105.2	75.6	51.3	15.6	485.9	3.5	16.5	423.3	329.5	0.0	34.8	0.0	0.0	1276.8	291.2	140.7					
176.1	El Cobre	RY-1727	1919.5	156.1	822.4	54.6	99.0	91.3	31.6	807.9	17.1	39.2	0.0	395.0	75.1	17.1	0.0	0.0	1544.6	193.7	128.2					
173.8	El Cobre	RY-1726	2946.2	255.6	58.5	0.0	52.7	348.5	17.2	639.7	11.5	19.5	0.0	241.9	0.0	42.4	27.5	0.0	941.5	408.1	665.9					
169.7	El Cobre	RY-1725	1841.9	327.4	108.8	10.0	108.8	85.4	15.1	937.7	18.4	51.1	15.1	528.3	0.0	25.1	0.0	0.0	2047.8	41.0	131.6					
168.2	Lidita Inferior	RY-1724	1802.2	232.8	74.3	13.3	117.6	172.7	25.0	604.1	17.5	23.4	160.2	717.6	0.0	27.5	0.0	0.0	2901.2	604.9	120.2					
165.3	Lidita Inferior	RY-1723	10.2	12.8	66.6	0.0	26.5	121.2	16.2	177.6	0.0	6.8	0.0	333.8	12.0	5.1	0.0	0.0	1499.7	30.7	145.5					
163.8	Lidita Inferior	RY-1722	19.2	11.7	116.8	0.0	48.4	68.4	9.2	221.0	8.3	20.0	0.0	418.7	21.7	15.0	20.0	8.3	1890.0	93.4	152.4					
161.0	Lidita Inferior	RY-1721	16.2	16.2	80.9	0.0	8.1	443.4	14.5	29.6	0.0	14.8	0.0	66.0	41.8	8.1	8.1	6.7	305.4	12.1	240.1					
160.7	Lidita Inferior	RY-1720	91.8	59.3	324.5	0.0	33.6	512.5	14.5	78.3	3.4	17.9	546.1	384.9	88.4	0.0	0.0	0.0	1764.3	219.3	281.7					
159.7	Lidita Inferior	RY-1719	4.6	20.9	97.4	0.0	11.6	973.1	51.0	54.5	8.1	4.6	0.0	16.2	59.2	0.0	0.0	37.1	68.1	46.4	212.0					
156.8	Lidita Inferior	RY-1718	2512.2	244.0	2132.8	0.0	54.3	516.8	22.6	82.0	4.1	18.5	197.9	347.6	355.8	7.2	0.0	41.0	1290.9	1712.4	169.2					
156.4	Lidita Inferior	RY-1717	8.6	18.1	394.8	0.0	16.2	1227.3	56.1	0.0	0.0	11.4	867.6	90.4	105.6	0.0	13.3	58.0	436.3	66.6	132.6					
156.6	Lidita Inferior	RY-1716	98.0	46.2	894.3	0.0	70.7	316.6	21.7	98.9	23.6	84.8	0.0	449.5	226.2	16.0	9.4	0.0	2039.3	233.7	259.1					
156.4	Lidita Inferior	RY-1715	58.1	0.0	103.2	0.0	4.3	37.6	3.2	25.8	6.5	22.6	0.0	182.8	0.0	0.0	0.0	8.6	773.7	0.0	401.5					
155.8	Lidita Inferior	RY-1714	2222.3	190.7	685.2	0.0	13.9	155.6	0.0	13.0	3.7	33.3	695.4	108.3	13.9	6.5	2.8	0.0	223.7	765.8	175.0					
155.4	Lidita Inferior	RY-1713	1845.0	185.3	383.3	0.0	69.1	137.3	9.3	357.2	11.0	19.4	0.0	539.2	0.0	9.3	0.0	0.0	2217.2	535.8	231.6					
155.0	Lidita Inferior	RY-1712	16.4	0.0	183.7	0.0	21.9	2197.6	125.7	0.0	0.0	7.7	0.0	79.8	62.3	0.0	0.0	30.6	355.9	5.5	291.3					
135.6	Lidita Inferior	RY-1711	0.9	0.0	42.9	28.0	33.2	84.8	12.2	71.7	7.0	7.0	0.0	355.9	15.7	10.5	4.4	0.0	1578.0	0.0	0.0					
131.0	Lomagorda	RY-1710	16.1	19.6	88.4	0.0	17.9	91.9	25.9	106.2	4.5	14.3	0.0	157.1	18.7	8.9	0.0	0.0	695.7	49.1	136.9					
126.7	Lomagorda	RY-1709a	16.6	5.0	80.3	0.0	45.5	120.9	24.0	189.6	15.7	7.5	0.0	625.2	28.2	0.0	9.9	0.0	2839.7	45.5	214.2					
112.5	Lomagorda	RY-1709	12.9	12.9	54.9	0.0	42.8	191.4	21.8	182.5	12.9	12.9	0.0	519.2	24.2	12.1	18.6	9.7	2347.9	61.4	236.4					
106.7	Lomagorda	RY-1708	24.6	8.5	39.9	0.0	39.0	117.1	17.8	112.8	10.2	11.0	0.0	468.3	12.7	5.9	0.0	0.0	2121.0	44.1	207.6					
67.1	Lomagorda	RY-1707	21.7	6.9	41.3	21.7	6.9	142.7	5.9	0.0	0.0	9.8	0.0	28.5	18.7	4.9	15.8	18.7	129.2	53.2	130.4					
47.1	Lomagorda	RY-1706	74.4	25.9	525.9	14.6	30.7	1263.8	29.1	16.2	12.9	58.3	0.0	66.3	163.4	21.0	12.9	131.1	272.6	45.3	198.0					
44.0	Lomagorda	RY-1705	14.4	29.7	116.1	0.0	3.6	92.7	4.5	18.0	0.0	4.5	0.0	138.6	25.2	4.5	0.0	0.0	609.8	89.1	128.3					
17.43	Lomagorda	RY-1704	104.1	50.8	723.0	0.0	43.3	79.1	19.2	65.8	0.8	43.3	115.0	419.0	136.6	17.5	15.0	0.0	1887.6	179.9	211.0					
8.4	Lomagorda	RY-1703	32.5	13.2	177.9	0.0	15.6	947.4	6.0	56.5	0.0	39.7	1149.4	150.3	0.0	0.0	13.2	16.8	705.7	8.4	221.6					
3.36	Lomagorda	RY-1702	33.9	15.1	151.7	0.0	8.5	76.3	6.6	0.0	6.6	39.6	82.9	36.8	34.9	0.0	0.0	0.0	152.0	111.2	121.2					
1.05	Lomagorda	RY-1701	16.2	3.7	428.7	0.0	5.0	916.0	2.5	53.7	0.0	32.5	0.0	183.7	123.7	10.0	0.0	0.0	831.6	41.2	167.4					

## G.2 Sección de la quebrada Aico

Metro	Formación	Field1	Concentración (%)										
			MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	K2O	CaO	TiO2	Cr	MnO	Fe2O3
357.4	La Tabla	SA-1961	0.00	2.59	95.03	0.25	0.74	0.04	0.17	0.06	0.00	0.02	0.79
351.9	La Tabla	SA-1960	0.00	3.18	91.39	0.36	0.63	0.05	0.14	0.06	0.00	0.03	3.84
348.3	La Tabla	SA-1959	0.32	7.20	90.21	0.27	0.71	0.07	0.36	0.16	0.00	0.04	0.61
345.0	La Tabla	SA-1958	0.00	0.00	93.35	0.38	0.72	0.06	0.51	0.20	0.00	0.04	4.68
339.7	La Tabla	SA-1957	0.00	14.33	80.91	0.25	2.03	0.17	0.34	0.16	0.00	0.02	1.74
327.0	La Tabla	SA-1956	0.00	4.57	90.98	0.42	0.81	0.10	0.41	0.14	0.00	0.03	2.49
326.8	La Tabla	SA-1956A (concreción de pirita)	0.00	4.21	61.60	0.39	27.78	0.02	0.18	0.11	0.00	0.06	5.49
315.7	La Tabla	SA-1955	0.00	7.88	82.14	0.39	1.42	0.10	0.73	0.20	0.00	0.19	6.89
310.0	La Tabla	SA-1954	0.00	22.21	69.08	0.26	2.96	0.53	0.67	0.44	0.00	0.05	3.63
305.8	La Tabla	SA-1953	0.00	0.00	92.18	0.40	0.92	0.15	0.57	0.18	0.00	0.10	5.32
301.7	La Tabla	SA-1952	0.00	0.00	89.27	0.36	1.31	0.18	1.17	0.19	0.00	0.17	7.10
300.4	La Tabla	SA-1951	0.00	7.37	85.20	0.56	1.42	0.25	0.92	0.21	0.00	0.13	3.78
291.7	La Tabla	SA-1950	0.00	4.80	86.25	0.42	1.78	0.29	0.80	0.23	0.00	0.08	5.02
290.2	La Tabla	(Nodulos de siderita)	0.00	14.76	29.96	0.32	3.24	0.25	2.81	0.67	0.00	1.09	44.53
290.2	La Tabla	SA-1950A	0.00	13.75	80.88	0.31	2.00	0.37	0.74	0.54	0.00	0.02	1.25
288.0	La Tabla	SA-1949	0.00	8.76	87.63	0.39	0.80	0.22	0.48	0.21	0.02	0.02	1.15
285.7	La Tabla	SA-1948	0.00	12.45	84.14	0.25	0.75	0.24	0.38	0.23	0.00	0.02	1.43
281.8	Buscavida	SA-1947	0.00	14.69	70.10	0.35	0.44	0.38	12.26	0.32	0.01	0.04	1.30
275.2	Buscavida	SA-1946	0.84	14.32	62.15	0.01	1.35	0.59	18.23	0.34	0.00	0.05	2.02
269.4	Buscavida	SA-1945	0.00	17.02	70.22	1.19	2.29	0.76	6.18	0.37	0.01	0.04	1.76
264.6	Buscavida	SA-1944	0.00	18.05	67.95	0.40	3.01	0.89	7.15	0.48	0.00	0.03	1.92
259.5	Buscavida	SA-1943	0.00	14.96	65.10	0.23	2.27	0.65	14.37	0.34	0.01	0.03	1.95
248.5	Buscavida	SA-1942	0.00	15.22	55.13	0.13	2.73	0.53	23.79	0.33	0.00	0.07	1.97
237.0	Buscavida	SA-1941	0.41	14.66	67.32	0.17	0.77	0.55	13.24	0.34	0.01	0.03	2.41
233.5	Buscavida	SA-1940	1.89	11.93	65.94	0.23	0.76	0.46	16.48	0.27	0.00	0.04	1.92
220.8	Buscavida	SA-1939	0.00	17.05	69.71	0.29	2.53	0.92	6.91	0.40	0.01	0.02	2.04
211.5	Buscavida	SA-1938	1.39	12.84	62.59	1.96	1.42	0.50	16.99	0.24	0.00	0.03	1.94
204.0	Buscavida	SA-1937	0.00	13.42	76.29	0.36	1.08	0.67	5.79	0.33	0.01	0.07	1.89
202.5	Buscavida	SA-1936A	1.71	13.01	65.72	2.27	2.18	0.56	12.71	0.23	0.00	0.02	1.49
202.4	Lidita Superior	SA-1936	0.00	4.10	86.21	0.25	0.96	0.10	7.40	0.08	0.00	0.11	0.75
201.0	Lidita Superior	SA-1935	0.00	3.34	90.39	0.20	0.79	0.10	4.62	0.06	0.00	0.02	0.45
199.5	Lidita Superior	SA-1934	0.00	1.14	95.75	0.41	1.04	0.02	1.46	0.02	0.00	0.02	0.12
195.4	Lidita Superior	SA-1933	0.24	2.36	94.56	0.35	0.78	0.05	1.34	0.04	0.00	0.02	0.22
191.0	Lidita Superior	SA-1932	0.00	2.78	92.87	0.65	0.86	0.07	2.21	0.04	0.00	0.03	0.45
188.6	Lidita Superior	SA-1931	0.00	1.94	83.32	0.46	2.10	0.00	11.50	0.02	0.06	0.02	0.31
188.5	Lidita Superior	SA-1931A (concreción calcarea)	3.87	5.77	16.93	0.00	1.77	0.00	69.88	0.02	0.01	0.05	0.81
180.0	Lidita Superior	SA-1930	0.00	1.67	94.42	0.28	1.27	0.02	2.00	0.02	0.00	0.02	0.24
167.0	Lidita Superior	SA-1929	0.00	1.84	94.45	0.97	0.73	0.06	0.84	0.04	0.04	0.07	0.65
163.4	Lidita Superior	SA-1928	0.00	2.02	95.05	1.02	0.55	0.06	0.68	0.03	0.01	0.02	0.23
157.1	Lidita Superior	SA-1927	0.00	1.72	88.59	0.97	1.16	0.00	6.87	0.02	0.02	0.02	0.37
157.0	Lidita Superior	SA-1927A	1.30	2.89	78.41	1.71	0.49	0.02	13.95	0.04	0.04	0.02	0.74
93.7	Aico Shale	SA-1926	0.00	15.23	76.22	0.18	2.82	0.90	1.54	0.37	0.10	0.01	1.96
78.0	Aico Shale	SA-1925	0.00	14.02	76.57	0.65	1.73	0.77	3.17	0.35	0.04	0.03	2.21
76.0	Aico Shale	SA-1924	0.21	7.41	84.02	0.24	1.07	0.32	5.17	0.16	0.00	0.02	1.26
74.0	Aico Shale	SA-1923	0.00	13.65	79.02	0.35	1.55	0.67	2.19	0.31	0.01	0.02	2.10
71.3	Lidita Inferior	SA-1922	0.00	8.06	79.69	1.01	0.81	0.30	8.82	0.14	0.00	0.02	1.08
65.2	Lidita Inferior	SA-1921	0.00	10.92	82.38	0.41	1.14	0.43	2.55	0.22	0.00	0.03	1.83
64.5	Lidita Inferior	SA-1921A	0.00	11.58	83.00	0.32	2.19	0.55	0.72	0.25	0.01	0.02	1.28
59.0	Lidita Inferior	SA-1920	0.00	8.67	81.29	0.68	1.46	0.41	6.33	0.16	0.00	0.02	0.87
56.0	Lidita Inferior	SA-1919	0.00	7.79	70.59	10.21	0.00	0.27	9.68	0.15	0.00	0.03	1.15
54.8	Lidita Inferior	SA-1918	0.00	9.07	85.66	0.57	0.97	0.48	1.89	0.18	0.01	0.02	1.05
52.8	Lidita Inferior	SA-1917	0.00	4.56	28.71	34.08	0.00	0.00	30.42	0.03	0.00	0.03	1.72
49.7	Lidita Inferior	SA-1916	0.00	4.78	86.34	0.42	1.13	0.20	4.53	0.15	0.01	0.31	2.07
48.0	Lidita Inferior	SA-1915 (lente fosfatico)	2.44	4.60	41.04	9.61	0.00	0.00	40.48	0.03	0.00	0.05	1.21
46.8	Lidita Inferior	SA-1915A	0.00	4.39	89.28	0.74	0.75	0.17	3.36	0.08	0.05	0.07	0.79
42.5	Lidita Inferior	SA-1914	0.00	3.64	87.64	0.52	1.47	0.10	6.02	0.06	0.00	0.01	0.49
40.5	Lidita Inferior	SA-19013A	4.01	4.36	31.03	33.11	0.00	0.00	26.23	0.03	0.00	0.02	0.98
40.5	Lidita Inferior	SA-1913	0.00	1.39	92.48	0.39	1.53	0.01	3.75	0.04	0.00	0.01	0.36
38.7	Lidita Inferior	SA-1912	1.34	2.00	90.24	0.45	1.34	0.03	3.85	0.03	0.03	0.01	0.40
35.5	Lidita Inferior	SA-1911	1.37	1.64	91.61	0.41	1.65	0.02	2.97	0.02	0.00	0.00	0.30
34.0	Lidita Inferior	SA-1910	0.00	6.03	84.98	0.52	1.39	0.18	6.02	0.08	0.01	0.02	0.71
31.0	Lidita Inferior	SA-1909	0.82	0.00	69.91	15.50	0.00	0.13	12.93	0.09	0.01	0.00	0.46
29.0	Lidita Inferior	SA-1908	0.00	0.00	92.82	0.77	1.69	0.14	3.99	0.11	0.01	0.01	0.37
27.1	Lidita Inferior	SA-1907	0.00	0.00	93.27	0.65	1.50	0.05	4.15	0.03	0.01	0.00	0.30
25.6	Lidita Inferior	SA-1906A	0.00	4.17	34.61	37.04	0.00	0.00	23.48	0.05	0.00	0.00	0.44
25.0	Lidita Inferior	SA-1906	0.00	1.51	95.40	0.30	1.48	0.04	0.97	0.02	0.00	0.00	0.22
24.0	Lidita Inferior	SA-1905A	0.00	2.78	87.69	0.66	1.27	0.07	7.09	0.06	0.01	0.00	0.33
24.0	Lidita Inferior	SA-1905	2.07	0.00	93.00	0.19	1.48	0.01	2.66	0.01	0.00	0.02	0.53
19.6	Lomagorda	SA-1904	0.00	8.20	77.22	0.64	2.71	0.34	9.78	0.13	0.01	0.01	0.70
19.35	Lomagorda	SA-1904A	0.00	13.63	73.54	0.24	3.73	0.57	6.80	0.22	0.02	0.02	1.05
10.6	Lomagorda	SA-1903A	0.00	10.11	60.05	10.80	0.00	0.22	17.34	0.18	0.01	0.01	0.75
10.5	Lomagorda	SA-1903	0.00	7.10	52.52	19.01	0.00	0.15	19.34	0.12	0.02	0.00	0.86
8.5	Lomagorda	SA-1902A	0.00	10.57	81.14	0.28	2.31	0.55	3.65	0.22	0.01	0.01	1.17
7.6	Lomagorda	SA-1902 (concreción calcarea)	3.55	9.57	60.30	1.57	1.24	0.18	22.11	0.17	0.01	0.01	1.12
4.0	Lomagorda	SA-1901	0.00	13.41	60.31	1.09	3.41	0.41	19.88	0.21	0.01	0.00	1.05
-12.0	Lomagorda	SA-19(-01)	0.00	21.41	56.36	0.02	5.61	0.77	13.92	0.37	0.02	0.02	1.31
-24.0	Lomagorda	SA-19(-02)	0.00	19.28	50.88	0.02	7.40	0.94	19.07	0.34	0.02	0.04	1.76

Metro	Formación	Field1	Concentración (ppm)																						
			Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	Ba	Ce	W	Pb	Th	U	Ti	Cr	Mn			
357.4	La Tabla	SA-1961	2252.3	180.6	177.7	80.8	12.4	37.1	5.7	55.1	3.8	22.8	0.0	144.5	0.0	12.4	0.0	13.3	358.4	0.0	173.7				
351.9	La Tabla	SA-1960	1910.0	229.4	268.7	92.3	1.8	83.2	1.8	49.3	0.0	5.5	0.0	475.2	0.0	58.5	0.0	0.0	333.1	0.0	210.9				
348.3	La Tabla	SA-1959	5.4	9.9	23.1	0.0	0.9	13.5	4.5	0.0	0.0	21.6	0.0	315.7	0.0	0.0	0.0	0.0	951.8	0.0	286.4				
345.0	La Tabla	SA-1958	14.9	16.8	23.3	0.0	3.7	27.1	7.5	141.9	0.0	21.5	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	5.6	1220.0	0.0	335.5				
339.7	La Tabla	SA-1957	12.3	0.0	146.6	0.0	3.3	18.0	8.2	95.0	9.8	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	967.1	0.0	153.5				
327.0	La Tabla	SA-1956	9.9	8.7	21.1	28.5	3.7	24.8	3.7	114.0	0.0	11.2	0.0	0.0	0.0	5.0	13.6	0.0	832.2	0.0	255.4				
326.8	La Tabla	SA-1956A (concreción de pirita)	0.0	0.0	20.8	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1217.4	0.0	169.6	62.4	0.0	0.0	0.0	686.1	0.0	45.3				
315.7	La Tabla	SA-1955	0.0	0.0	41.5	0.0	0.0	3.6	2.4	0.0	1.2	27.3	0.0	286.8	151.7	13.0	0.0	0.0	1215.0	0.0	1505.4				
310.0	La Tabla	SA-1954	20.1	6.1	148.6	0.0	21.9	43.7	14.9	299.0	13.1	23.6	0.0	443.3	578.0	0.0	3.5	13.1	2642.0	29.7	378.6				
305.8	La Tabla	SA-1953	45.0	10.7	0.0	3.6	0.0	0.0	1.2	24.9	2.4	26.1	1386.3	240.5	0.0	8.3	0.0	0.0	1065.5	0.0	783.7				
301.7	La Tabla	SA-1952	0.0	0.0	91.4	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	29.7	1258.4	269.5	318.2	32.1	2.4	0.0	1131.6	0.0	1278.0				
300.4	La Tabla	SA-1951	0.0	0.0	31.9	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	19.5	1295.0	0.0	135.8	0.0	2.1	3.1	1246.0	0.0	1028.0				
291.7	La Tabla	SA-1950	1914.6	242.1	421.6	46.9	46.0	53.4	5.5	41.4	0.0	15.6	0.0	118.7	404.1	0.0	98.5	5.5	2.8	1352.0	32.2	585.3			
290.2	La Tabla	(Módulos de siderita)	0.0	709.8	91.8	0.0	94.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1743.4	0.0	234.8	0.0	4044.8	0.0	8465.4				
290.2	La Tabla	SA-1950A	8.1	17.8	67.1	12.1	9.7	25.9	9.7	452.9	2.4	26.7	0.0	0.0	720.6	24.3	0.8	0.0	3224.3	21.8	180.4				
288.0	La Tabla	SA-1949	2006.7	258.5	253.3	0.0	20.2	31.5	0.0	135.8	0.0	10.5	0.0	0.0	351.4	0.0	42.1	0.0	1276.6	169.1	187.3				
285.7	La Tabla	SA-1948	4.2	13.5	20.2	0.0	5.0	12.6	3.4	88.3	2.5	7.6	0.0	538.5	312.2	6.7	1.7	0.0	1402.3	0.0	171.4				
281.8	Buscavida	SA-1947	2.8	10.3	48.7	0.0	22.5	268.6	26.2	143.8	20.6	20.6	0.0	129.2	418.4	32.8	0.0	22.5	1896.5	0.0	281.3				
275.2	Buscavida	SA-1946	13.0	8.3	28.4	0.0	21.3	204.8	0.0	95.9	3.6	8.3	0.0	0.0	454.6	10.7	0.0	0.0	2065.3	33.1	865.8				
269.4	Buscavida	SA-1945	7.9	3.5	77.6	0.0	27.3	175.5	28.2	137.6	12.3	25.6	0.0	475.5	493.1	46.8	8.8	12.3	2242.2	74.1	287.6				
264.6	Buscavida	SA-1944	19.7	26.6	38.5	6.9	28.6	202.2	15.8	167.7	4.9	0.0	0.0	0.0	631.2	0.0	0.0	0.0	2891.3	0.0	240.6				
259.5	Buscavida	SA-1943	10.8	14.7	113.4	0.0	27.4	265.9	14.7	113.4	0.0	10.8	0.0	0.0	444.8	30.3	0.0	29.3	2039.3	64.5	202.9				
248.5	Buscavida	SA-1942	10.1	15.8	42.8	0.0	14.7	293.1	6.8	83.4	4.5	12.4	0.0	0.0	437.4	27.1	0.0	0.0	1993.8	31.6	564.1				
237.0	Buscavida	SA-1941	2.0	12.1	85.9	0.0	24.3	287.1	6.1	105.1	2.0	15.2	0.0	0.0	450.8	35.4	0.0	0.0	2066.4	61.7	238.0				
233.5	Buscavida	SA-1940	5.8	9.7	47.5	0.0	20.4	277.3	6.8	115.4	0.0	11.6	0.0	0.0	356.8	26.2	22.3	0.0	1610.2	7.8	278.6				
220.8	Buscavida	SA-1939	23.0	12.4	128.1	0.0	47.7	242.1	13.3	56.4	0.0	7.1	0.0	0.0	523.0	53.9	9.7	2.7	2394.1	85.7	181.3				
211.5	Buscavida	SA-1938	10.1	16.2	66.7	0.0	19.2	370.1	14.2	95.6	0.0	10.1	0.0	0.0	316.5	26.3	2.0	10.1	1424.6	49.5	251.4				
204.5	Buscavida	SA-1937	28.4	17.6	112.6	11.8	39.2	227.2	6.9	92.1	0.0	8.8	0.0	0.0	435.8	30.4	2.9	15.7	1990.2	0.0	520.1				
202.5	Buscavida	SA-1936A	47.3	27.6	71.9	0.0	34.5	389.2	6.9	50.3	0.0	12.8	0.0	0.0	301.5	12.8	0.0	17.7	1376.3	26.6	170.2				
202.4	Lidita Superior	SA-1936	10.8	16.2	37.8	0.0	19.8	209.9	5.4	26.1	0.0	6.3	0.0	0.0	101.8	33.3	0.0	0.0	458.5	30.6	823.2				
201.0	Lidita Superior	SA-1935	11.8	0.0	36.2	0.0	7.2	157.3	0.0	16.3	0.0	13.6	0.0	0.0	79.5	18.1	0.0	0.0	378.2	0.0	119.0				
199.5	Lidita Superior	SA-1934	1.9	10.5	11.5	0.0	1.9	46.9	1.0	11.5	1.9	13.4	0.0	0.0	25.9	7.7	0.0	0.0	117.7	0.0	128.3				
195.4	Lidita Superior	SA-1933	3.8	6.6	7.6	0.0	5.7	53.0	4.7	0.0	2.8	14.2	0.0	0.0	224.1	47.3	0.0	1.9	214.3	23.6	120.1				
191.0	Lidita Superior	SA-1932	7.4	11.1	30.6	0.0	4.6	82.7	2.8	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	59.4	11.1	0.0	0.0	264.3	47.4	248.9				
188.6	Lidita Superior	SA-1931	2063.4	152.3	73.7	30.5	6.9	301.7	2.9	12.8	2.0	14.7	0.0	0.0	38.3	0.0	16.7	0.0	129.0	594.5	131.7				
188.0	Lidita Superior	SA-1931A (concreción calcarea)	5773.1	483.9	259.7	0.0	28.0	648.3	0.0	9.3	9.3	35.5	0.0	1350.8	37.4	0.0	233.5	82.2	52.3	135.5	110.2	360.3			
180.5	Lidita Superior	SA-1930	0.0	6.6	25.5	0.0	0.0	80.3	0.0	8.5	0.0	6.6	0.0	425.8	26.4	17.9	0.0	2.8	118.3	0.0	136.0				
167.0	Lidita Superior	SA-1929	2332.9	308.8	277.7	0.0	4.7	85.9	0.0	0.0	3.8	16.1	0.0	0.0	120.9	0.0	0.0	7.6	253.7	360.8	525.2				
163.4	Lidita Superior	SA-1928	2205.2	199.6	200.6	0.0	12.4	60.8	0.0	9.5	4.8	13.3	0.0	596.0	92.2	0.0	6.7	11.4	170.9	106.5	125.9				
157.1	Lidita Superior	SA-1927	1913.6	155.9	143.5	0.0	7.1	200.2	8.0	15.1	0.0	8.0	0.0	0.0	70.0	0.0	18.6	0.0	139.1	153.3	163.3				
157.0	Lidita Superior	SA-1927A	2260.8	235.7	229.9	142.4	23.1	574.4	26.0	40.4	20.2	26.9	0.0	206.8	127.9	0.0	0.0	45.2	260.1	366.5	178.1				
93.7	Alco Shale	SA-1926	2363.2	318.7	2488.0	0.0	81.5	181.4	20.0	131.5	8.3	16.6	0.0	0.0	574.2	445.2	32.5	21.6	7.5	2209.9	965.3	110.2			
78.0	Alco Shale	SA-1925	1946.1	232.0	1325.7	0.0	73.9	213.3	22.1	132.6	0.0	0.8	0.0	0.0	549.0	157.2	36.5	0.8	0.0	2088.8	435.1	216.3			
76.0	Alco Shale	SA-1924	10.4	11.4	56.0	1.9	29.4	202.2	9.5	68.4	3.8	15.2	0.0	478.5	213.6	35.1	0.0	0.0	956.2	39.9	134.6				
74.0	Alco Shale	SA-1923	35.0	23.6	329.9	0.0	42.9	107.6	7.9	81.4	3.5	13.1	0.0	215.3	409.5	85.8	2.6	0.0	187.1	81.4	162.7				
65.2	Lidita inferior	SA-1922	35.7	14.3	75.5	0.0	26.5	221.4	8.2	46.9	1.0	11.2	0.0	0.0	189.8	27.6	1.0	16.3	844.2	17.3	188.1				
64.5	Lidita inferior	SA-1921	27.1	18.3	206.2	26.2	26.2	99.6	14.0	73.4	6.1	13.1	0.0	0.0	294.4	49.8	0.0	0.9	1319.8	21.8	240.2				
59.0	Lidita inferior	SA-1920	58.4	17.3	175.1	0.0	83.9	66.6	14.6	62.9	0.0	12.8	0.0	0.0	340.2	62.0	0.0	0.0	1525.5	68.8	120.1				
56.0	Lidita inferior	SA-1919	27.1	21.9	189.5	0.0	20.8	571.6	39.6	52.1	10.4	14.6	0.0	0.0	386.3	214.2	33.9	0.0	965.9	33.0	154.6				
54.8	Lidita inferior	SA-1918	58.8	14.7	168.0	0.0	66.1	283.7	11.0	14.7	5.5	17.4	0.0	0.0	243.3	63.3	0.0	7.2	1101.8	86.3	135.8				
52.8	Lidita inferior	SA-1917	23.2	21.0	496.8	0.0	9.8	1699.0	105.1	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	45.7	389.3	0.0	9.8	191.1	0.0	215.1				
49.7	Lidita inferior	SA-1916	24.2	14.7	50.3	198.5	14.8	143.3	0.9	21.6	0.0	15.5	0.0	199.4	15.5	0.0	7.8	0.0	890.2	54.4	2420.6				
46.8	Lidita inferior	SA-1915 (lente fosforol)	2477.0	284.7	50.6	0.0	25.9	161.6	4.5	36.6	3.6	12.5	0.0	0.0	122.0	0.0	0.0	0.0	122.9	188.4	0.0	383.3			
42.5	Lidita inferior	SA-1914	15.8	17.5	31.6	0.0	7.9	133.2	0.0	23.7	2.6	7.9	0.0	0.0	80.6	24.5	10.5	0.0	2.6	370.4	34.2	108.6			
40.5	Lidita inferior	SA-1913A	31.2	19.5	235.0	0.0	5.2	1817.7	107.8	0.0	0.0	18.2	0.0	0.0	111.7	2.6	13.0	0.0	0.0	173.6	10.4	164.9			
38.7	Lidita inferior	SA-1913	1.8	4.6	1.8	3.7	5.5	70.3	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	348.7	48.1	12.9	0.0	0.0	220.1	4.6	103.3				
35.5	Lidita inferior	SA-1912	2057.5	157.9	157.0	57.8	7.2	146.4	11.7	10.8	0.0	10.8	0.0	0.0	82.1	0.0	17.1	35.2	188.8	327.6	103.8				
34.0	Lidita inferior	SA-1911	11.9	8.2	17.4	15.6	2.7	68.7	2.7	0.0	0.0	11.9	0.0	0.0	33.0	15.6	10.1	0.0	146.6	0.0	0.0				
31.0	Lidita inferior	SA-1910	40.7	9.7	163.0	0.0	15.5	178.5	7.8	16.5	0.0	19.4	0.0	0.0	106.7	35.9	6.8	7.8	486.8	74.7	166.0				
29.																									

## G3 Sección de la quebrada Talora

Metro	Formación	Field1	Concentracion (%)										
			MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	K2O	CaO	TiO2	Cr	MnO	Fe2O3
275	La Tabla	TL-32	0,93	13,78	54,93	0,14	5,13	0,66	21,45	0,20	0,00	0,16	2,52
260	Buscavida	TL-31	0,95	18,08	71,25	0,63	0,56	0,95	4,72	0,41	0,08	0,02	1,98
245	Buscavida	TL-30	0,68	16,27	64,51	1,48	2,97	0,97	9,81	0,39	0,12	0,03	2,36
240	Buscavida	TL-29	0,16	18,23	68,49	0,56	2,01	0,86	7,11	0,40	0,01	0,02	2,02
235	Buscavida	TL-28	0,16	15,29	70,86	1,58	3,43	0,42	6,69	0,20	0,01	0,02	1,26
230	Buscavida	TL-27A	0,58	14,89	70,11	0,40	2,99	0,89	7,17	0,43	0,01	0,02	2,38
223	Buscavida	TL-27	0,08	13,89	64,44	0,39	9,03	0,82	8,56	0,38	0,01	0,02	2,25
220	Buscavida	TL-26	0,45	10,59	70,79	1,08	2,73	0,60	11,51	0,27	0,01	0,02	1,84
213	Buscavida	TL-25	0,04	18,58	59,43	0,83	3,30	1,01	14,19	0,41	0,01	0,02	2,03
208	Buscavida	TL-24	0,00	16,38	64,28	0,70	2,80	0,73	12,45	0,41	0,01	0,01	2,08
205	Buscavida	TL-23	0,00	14,58	61,64	0,57	2,19	0,67	18,00	0,34	0,00	0,03	1,83
200	Buscavida	TL-22	0,47	16,04	61,55	0,70	5,98	0,96	11,01	0,40	0,11	0,02	2,28
195	Buscavida	TL-21	0,58	16,32	63,62	0,57	3,93	0,85	10,63	0,41	0,12	0,03	2,51
190	Buscavida	TL-20	0,18	16,27	67,30	0,53	2,41	1,01	9,17	0,41	0,14	0,02	2,06
185	Buscavida	TL-19	0,59	15,08	66,63	0,54	3,18	0,86	9,87	0,38	0,11	0,02	2,29
180	Lidita Superior	TL-18	0,00	16,23	62,58	1,69	0,44	0,72	15,62	0,32	0,08	0,02	1,83
178	Lidita Superior	TL-17	0,91	10,78	78,09	0,61	2,36	0,71	3,90	0,26	0,01	0,04	2,23
176	Lidita Superior	TL-16	0,67	8,82	76,51	1,10	1,50	0,40	9,60	0,16	0,01	0,02	1,13
172	Lidita Superior	TL-15	0,00	3,33	86,50	0,60	0,95	0,09	7,85	0,07	0,00	0,01	0,53
169	Lidita Superior	TL-14	1,88	3,12	85,67	0,72	0,88	0,07	7,02	0,06	0,00	0,01	0,49
164	Lidita Superior	TL-13	0,66	2,35	88,95	0,79	0,59	0,03	5,81	0,08	0,01	0,02	0,64
160	Lidita Superior	TL-12A	0	6,81	65,91	8,23	0,00	0,29	17,70	0,12	0,01	0,01	0,73
156	Lidita Superior	TL-12	0	1,92	90,63	0,36	1,11	0,01	5,37	0,07	0,00	0,02	0,46
152	Lidita Superior	TL-11	0	2,23	86,81	0,67	0,96	0,04	8,86	0,05	0,00	0,01	0,24
148	Lidita Superior	TL-10	0,47	13,17	74,57	1,34	0,72	1,57	2,24	0,23	0,02	0,03	5,55
144	Lidita Superior	TL-9	0,84	14,17	73,60	0,84	1,69	1,12	3,59	0,33	0,01	0,04	3,67
141	Lidita Superior	TL-8	0	15,27	74,91	0,36	1,62	0,77	4,45	0,36	0,00	0,02	2,10
136	Lidita Superior	TL-7	1,18	12,88	78,41	0,34	0,91	0,68	3,33	0,35	0,00	0,02	1,80
134	Lidita Superior	TL-6	0,38	15,51	76,76	0,40	0,85	1,15	2,16	0,48	0,00	0,02	2,14
131	Lidita Superior	TL-5	0,90	13,05	75,85	0,54	3,99	0,85	2,62	0,37	0,01	0,02	1,70
128	Lidita Superior	TL-4	1,90	0,00	70,13	0,62	0,61	0,86	24,21	0,27	0,01	0,01	1,24
120	El Cobre	TL-1	0,13	11,31	76,65	3,92	0,00	0,68	5,71	0,25	0,01	0,01	1,22



Metro	Formación	Field1	Concentración (ppm)																							
			Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ba	Ce	W	Pb	Th	U	Ti	Cr	Mn					
275	La Tabla	TL-32	9,71	22,32	52,41	5,82	23,29	482,36	11,65	64,06	0,00	4,85	0,00	261,08	13,59	0,00	0,00	1175,32	30,09	1210,21						
260	Buscavida	TL-31	1792,79	241,07	543,18	22,89	51,88	334,91	25,94	159,44	6,10	3,81	0,00	589,71	0,00	11,44	0,00	2442,26	793,40	147,71						
245	Buscavida	TL-30	1865,93	254,37	438,57	0,00	58,21	713,68	33,49	185,00	0,00	3,19	0,00	579,72	0,00	3,99	0,00	2313,74	1180,16	196,39						
240	Buscavida	TL-29	15,06	29,33	86,41	0,00	32,50	262,40	21,40	150,62	3,96	9,51	0,00	528,77	21,40	3,17	0,00	2400,06	90,37	186,65						
235	Buscavida	TL-28	3,88	24,06	50,45	0,00	15,52	217,31	15,52	64,42	0,78	3,88	0,00	261,54	15,52	0,00	0,00	1172,48	83,82	162,89						
230	Buscavida	TL-27A	17,71	28,17	120,74	2,41	37,83	349,33	16,90	137,64	0,00	4,02	0,00	568,27	25,76	0,00	0,00	2581,61	101,42	183,28						
223	Buscavida	TL-27	18,84	38,46	111,45	10,99	33,75	477,20	11,77	125,58	0,00	3,14	0,00	504,67	24,33	3,92	0,00	2296,18	73,78	181,15						
220	Buscavida	TL-26	21,68	32,52	95,88	0,00	29,18	503,59	10,84	73,37	1,67	6,67	0,00	356,85	21,68	0,00	0,00	2296,18	73,78	181,15						
213	Buscavida	TL-25	31,82	42,14	147,93	0,00	43,86	532,38	11,18	97,19	0,00	5,16	0,00	535,82	60,20	3,44	0,00	2444,00	146,21	131,89						
208	Buscavida	TL-24	27,58	31,76	107,83	25,91	31,76	465,59	11,70	134,58	5,02	14,21	0,00	546,67	28,42	5,85	0,00	2480,50	74,39	86,75						
205	Buscavida	TL-23	14,40	28,79	83,68	2,70	51,29	935,82	28,79	27,89	2,70	11,70	0,00	447,21	37,79	7,20	0,00	2033,72	47,69	204,20						
200	Buscavida	TL-22	1878,99	278,61	486,75	0,00	73,70	711,10	20,25	155,50	0,00	0,81	0,00	638,21	575,84	8,10	20,25	2388,86	1109,57	156,82						
195	Buscavida	TL-21	1870,83	267,03	433,51	0,00	62,64	681,58	28,85	171,42	3,30	0,00	0,00	210,98	601,63	8,24	13,19	2475,35	1186,78	217,66						
190	Buscavida	TL-20	1942,56	392,37	741,56	33,15	89,42	630,56	23,13	176,53	9,25	7,71	0,00	193,48	615,91	0,77	30,83	2458,52	1449,21	178,51						
185	Buscavida	TL-19	1780,30	227,01	556,63	1,55	78,52	747,88	14,77	144,60	0,00	2,33	0,00	359,95	566,74	0,00	20,99	2269,74	1065,07	191,47						
180	Lidita Superior	TL-18	2048,44	278,62	348,93	0,00	116,31	725,63	23,44	142,35	0,00	2,60	0,00	315,08	498,22	0,00	12,15	1935,73	817,64	164,70						
178	Lidita Superior	TL-17	48,42	49,98	255,35	14,06	37,48	226,46	10,93	61,69	1,56	9,37	0,00	344,38	39,83	0,00	0,78	1535,53	103,08	296,96						
176	Lidita Superior	TL-16	32,27	29,12	112,56	0,00	27,55	377,02	7,08	58,25	3,94	11,02	0,00	216,45	16,53	0,00	7,08	967,33	56,67	148,13						
172	Lidita Superior	TL-15	24,22	17,30	82,17	0,00	6,92	353,78	0,00	25,95	0,00	4,32	0,00	94,28	17,30	0,00	0,00	425,22	38,06	113,89						
169	Lidita Superior	TL-14	31,70	26,56	100,23	11,14	3,43	308,41	0,86	20,56	0,00	6,85	0,00	82,24	12,85	0,00	3,43	380,57	37,69	98,20						
164	Lidita Superior	TL-13	8,01	22,24	56,04	0,00	4,45	251,73	0,00	18,68	0,00	2,67	0,00	181,46	109,41	0,00	0,89	486,33	50,70	163,27						
160	Lidita Superior	TL-12A	48,82	34,00	175,24	0,00	39,23	751,52	27,90	54,93	0,00	15,69	0,00	542,28	163,90	0,00	17,44	736,95	54,93	55,37						
156	Lidita Superior	TL-12	17,22	17,22	47,13	0,00	3,63	228,39	1,81	19,03	0,00	5,44	0,00	88,82	12,69	0,00	0,00	402,06	0	136,17						
152	Lidita Superior	TL-11	15,63	26,91	59,03	0,00	7,81	379,38	0,00	19,10	0,00	5,21	0,00	594,68	69,45	0,00	3,47	311,75	12,15	75,31						
148	Lidita Superior	TL-10	26,84	13,42	98,14	0,00	62,07	161,89	33,55	67,10	4,19	2,52	0,00	311,20	21,81	0,00	5,87	1387,91	240,74	218,93						
144	Lidita Superior	TL-9	19,58	14,88	155,82	0,00	43,07	180,88	19,58	155,82	5,48	2,35	0,00	436,15	20,36	3,13	0	1962,20	78,30	279,58						
141	Lidita Superior	TL-8	11,07	18,19	110,74	24,52	26,89	197,75	15,03	174,81	0,79	7,12	0,00	346,46	479,35	0,00	0	2157,67	34,01	180,73						
136	Lidita Superior	TL-7	8,05	15,30	95,00	0,00	24,15	164,23	12,08	165,84	4,03	6,44	0,00	457,27	18,52	0,00	0,00	2070,50	28,18	162,12						
134	Lidita Superior	TL-6	19,19	29,17	154,29	18,42	49,13	135,87	19,96	252,55	8,44	12,28	0,00	645,57	23,80	2,30	6,14	2885,40	44,52	158,74						
131	Lidita Superior	TL-5	18,20	23,51	121,36	13,65	34,13	169,91	18,20	218,45	5,31	9,86	0,00	491,52	11,38	0,76	0,00	2196,34	65,23	145,69						
128	Lidita Superior	TL-4	49,08	32,72	281,38	0,00	31,63	477,69	0,00	98,16	6,54	12,00	0,00	356,63	58,89	7,63	1,09	1614,96	63,26	110,65						
120	El Cobre	TL-1	25,31	20,57	164,54	0,79	29,27	288,74	27,69	94,93	3,96	6,33	0,00	327,50	23,73	3,96	5,54	1479,63	86,23	94,35						