



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LOS EPISODIOS FOSFÁTICOS DE LA PARTE INFERIOR Y MEDIA DEL GRUPO GUADALUPE EN EL SECTOR CENTRAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA**

**Hellen María Guarín Insignares**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias  
Bogotá, Colombia  
2011

# **ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LOS EPISODIOS FOSFÁTICOS DE LA PARTE INFERIOR Y MEDIA DEL GRUPO GUADALUPE EN EL SECTOR CENTRAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA**

**Hellen María Guarín Insignares**

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ciencias - Geología**

Director (a):

Ph.D. Javier Guerrero Díaz

Línea de Investigación:

Estratigrafía y sedimentología

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias

Bogotá, Colombia

2011

***A Giovanni, Isabella y Jackeline.***

# Agradecimientos

Inicialmente, quiero agradecer a Dios y a mi familia por el apoyo brindado a lo largo de toda mi vida y especialmente durante la elaboración de este trabajo de investigación.

A Isabella Moreno por ser el motor de mi vida.

A Giovanni Moreno por su apoyo y colaboración incondicional durante el desarrollo de esta investigación. Por darme la idea de la cual nació este trabajo de investigación y por el acompañamiento durante el levantamiento de las columnas estratigráficas y demás labores de campo.

A Jackeline Insignares por su dedicación, apoyo incondicional y entrega durante cada una de las etapas de mi vida.

Al Doctor Carlos Cáceres Girón en representación de la empresa Lara Exploration y Colombia Alliance LTD, por la financiación brindada para los trabajos de campo, la elaboración de las secciones petrográficas y análisis químicos.

Al Programa de Estudiantes Sobresalientes de Posgrado de la Vicerrectoría Académica por la financiación brindada durante el desarrollo de la maestría y del trabajo de grado.

Al Profesor Javier Guerrero por el apoyo, la colaboración y el acompañamiento permanente brindado durante el transcurso de la presente investigación.

Al Profesor Carlos Zuluaga por las facilidades brindadas para el acceso al laboratorio de petrografía.

A la Profesora María Páramo y al Geólogo Roberto Terraza por las sugerencias realizadas, las cuales contribuyeron al mejoramiento del manuscrito final.

A Antonio Mesa por su colaboración y paciencia durante el trabajo de campo.

A Luis Felipe Peña por la elaboración y rápida entrega de las secciones petrográficas analizadas durante esta investigación.

A Gustavo Sánchez por la elaboración y edición de los mapas presentados.

## Resumen

En el sector central de la Cordillera Oriental, en los alrededores de los municipios de Iza y Cuitiva en el departamento de Boyacá, aflora el Grupo Guadalupe compuesto por las Formaciones Arenisca Dura (Aloformación Guadalupe Inferior), Los Pinos (Aloformación Guadalupe Medio) y Labor-Tierna (Aloformación Guadalupe Superior). En las dos formaciones más antiguas (Dura y Los Pinos), se localizan varios yacimientos fosfáticos compuestos por capas de fosforita que alcanzan los 2 m de espesor. Los fosfatos se sitúan predominantemente en los intervalos transgresivos de la parte inferior de parasecuencias, suprayaciendo superficies de inundación marina. El retrabajamiento sedimentario de las partículas fosfáticas por acción de episodios de tormenta, produce la concentración económica de capas de fosforitas de espesores entre 1 m y 2 m. Las capas de fosforita se encuentran asociadas con capas de biomicrita, demostrando que las concentraciones económicas se producen en un ambiente de costa afuera debido a que la baja energía de este ambiente permite la preservación de las partículas fosfáticas.

**Palabras claves:** Grupo Guadalupe, fosforita, costa afuera superior y partículas fosfáticas.

## Abstract

In the central sector of the Eastern Cordillera, around the towns of Iza and Cuitiva in the department of Boyaca, the Guadalupe Group is composed of the following formations: Arenisca Dura (Lower Guadalupe Alloformation), Los Pinos (Middle Guadalupe Alloformation) and Labor-Tierna (Upper Guadalupe Alloformation). In the two older formations, Arenisca Dura and Los Pinos, there are several phosphate deposits composed of phosphorite beds that reach 2m thick. The phosphates are located predominantly within transgressive intervals in the lower part of parasequences, overlying marine flooding surfaces. The sedimentary reworking of phosphatic particles by the action of storm events produces the economic concentration of phosphorites, which in this deposit range between

1m and 2m thick. The phosphorites are associated with biomicrites, showing that economic concentrations occur in an offshore environment (Upper Offshore), because the low energy of this environment allows for the preservation of the phosphatic particles.

**Keywords:**Guadalupe Group, phosphorite, Upper Offshore and phosphatic particles.

# Contenido

	Pág.
Resumen.....	V
Lista de figuras .....	VIII
Lista de tablas .....	IX
Introducción .....	1
1. Objetivos .....	4
2. Localización del área de estudio .....	5
3. Metodología.....	7
4. Geología Regional .....	13
5. Resultados .....	16
6. Análisis petrográfico .....	67
7. Procesos Diagenéticos.....	80
8. Análisis químicos .....	81
9. Ambientes Sedimentarios .....	¡Error! Marcador no definido.
10. Discusión de Resultados.....	¡Error! Marcador no definido.
11. Conclusiones .....	¡Error! Marcador no definido.
12. Referencias .....	¡Error! Marcador no definido.

## Lista de figuras

Figura 2-1. Localización del área de estudio. Ubicación de las secciones de Iza y Cuitiva y del inicio de la columna estratigráfica en cada área.....	6
Figura 3-1. Convenciones y abreviaturas utilizadas en las figuras de las columnas estratigráficas del Grupo Guadalupe (Secciones de Iza y Cuitiva).....	9
Figura 4-1. Geología regional del área de estudio con la localización de las Secciones de Iza y Cuitiva. Modificado de ULLOA (2001). .....	14
Figura 5-1. Fotografía panorámica de la Sección Iza. Aflora el Grupo Guadalupe y se observa el contraste morfológico entre las tres formaciones que lo componen: Formación Arenisca Dura, Los Pinos y Labor-Tierna.....	17
Figura 5-2. Panorámica de la Formación Arenisca Dura en la Sección de Iza. ....	17
Figura 5-3. Panorámica de la parte inferior de la Formación Los Pinos en la sección de Iza .....	31
Figura 5-4. Panorámica de la parte superior de la Formación Labor-Tierna en la Sección de Iza.....	38
Figura 5-5. Panorámica de la parte superior de la Formación Arenisca Dura en la Sección de Cuitiva.....	51
Figura 5-6. Panorámica de la parte superior de la Formación Arenisca Dura, Sección Cuitiva. ....	52
Figura 5-7. Panorámica de la parte inferior de la Formación Los Pinos, Sección Cuitiva. Se observa una pendiente estructural de la Formación Arenisca dura y suprayaciendo un intervalo predominantemente lodolítico de la Formación Los Pinos.....	64
Figura 9-1. Lámina en la que se observan ejemplos de afloramiento de algunas de las asociación de facies identificadas. a. Capa tabular muy gruesa de arenita de cuarzo de grano muy grueso con láminas de conglomerado de gránulo (Fm. Labor-Tierna, Sección Iza, facies: AgX), b. Capas tabulares de arenita de cuarzo de grano fino (Fm. Arenisca Dura, Sección Iza, facies: AfS), c. Capa tabular gruesa de bioesparita arenosa de bivalvos y ostreidos de textura rudstone (Fm. Los Pinos, Sección Iza, facies: BsRL), e. Capa tabular muy gruesa de fosforita arenosa de pellets fecales fosfáticos y fragmentos fosfatizados de huesos de peces (facies: FH) suprayacida por capa tabulares medias de biomicrita de foraminíferos de textura packstone parcial a totalmente silicificada (Fm. Arenisca Dura, Sección Cuitiva, facies: BmrP) y f. Detalle de capa tabular media de biomicrita de foraminíferos con textura packstone y laminación plano paralela continua (Fm. Arenisca Dura, Sección Iza, facies: BmrP). .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 10-1. Ejemplo de parasecuencia de la Formación Arenisca Dura, Sección Iza (130 m -148 m). .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>



## Lista de tablas

Tabla 5-1. Análisis petrográfico de las rocas terrígenas presentes en la Formación Arenisca Dura, Sección Iza.....	68
Tabla 5-2. Análisis petrográfico de las rocas calcáreas presentes en la Formación Arenisca Dura, Sección Iza.....	69
Tabla 5-3. Análisis petrográfico de las rocas fosfáticas presentes en la Formación Arenisca Dura, Sección Iza.....	70
Tabla 5-4. Análisis petrográfico de las rocas terrígenas y calcáreas de la Formación Los Pinos, Sección Iza. ....	71
Tabla 5-5. Análisis petrográfico de las rocas terrígenas de la Formación Labor –Tierna, Sección Iza. ....	73
Tabla 5-6. Análisis petrográfico de las rocas fosfáticas de la Formación Labor –Tierna, Sección Iza.....	75
Tabla 5-7. Análisis petrográfico de las rocas terrígenas de la Formación Arenisca Dura y la parte inferior de la Formación Los Pinos, Sección Cuitiva.....	77
Tabla 5-8. Análisis petrográfico de las rocas calcáreas de la Formación Arenisca Dura y la parte inferior de la Formación Los Pinos, Sección Cuitiva.....	78
Tabla 5-9. Análisis petrográfico de las rocas fosfáticas de la Formación Arenisca Dura y la parte inferior de la Formación Los Pinos, Sección Cuitiva.....	79
Tabla 5-10. Resultados de los análisis químico de óxidos mayores (P2O5%) para las muestras de la Sección Iza. La ubicación se refiere al metro de base a tope en el que se tomó la muestra. ....	81
Tabla 5-11. Resultados de los análisis químico de óxidos mayores (P2O5%) para las muestras de la Sección Cuitiva. La ubicación se refiere al metro de base a tope en el que se tomó la muestra. ....	82
Tabla 6-1. Asociación de facies y ambientes de depósito identificados. ¡Error! Marcador no definido.	



# Introducción

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos a partir de los trabajos geológicos de campo y de laboratorio realizados en los alrededores de los municipios de Iza y Cuitiva, en el Departamento de Boyacá, con el fin de analizar estratigráfica, petrográfica y sedimentológicamente los intervalos fosfáticos que se han reportado en el Grupo Guadalupe.

La búsqueda de fosfatos en Colombia inicio hacia 1942 (HUBACH, 1952), con algunas investigaciones en depósitos de guano en cuevas y en las islas costeras colombianas (PABA SILVA, 1949). Posteriormente, BÜRGL & BOTERO (1962) comenzaron a estudiar los fosfatos en la Cordillera Oriental, este trabajo mostró que las fosforitas estaban concentradas en rocas del Cretácico Superior particularmente en el Sanoniano. SLANSKY (1963), condujo un estudio acerca de los fosfatos y concluyó que el Cretácico superior era el intervalo estratigráfico más favorable y que la parte centro-occidental de la Cordillera Oriental era la localización estructural más favorable para el desarrollo de fosforitas económicas.

En el área de estudio se han realizado diferentes investigaciones, principalmente con enfoque económico, debido a que en esta localidad se reporta minería artesanal de fosforitas desde principios del siglo XX. Entre los primeros trabajos de Geología se destaca el de RENZONI et al., (1967), quien hace un reconocimiento de los fosfatos del Departamento de Boyacá y propone que los intervalos fosfáticos de interés económico se encuentran en la "Formación Plaeners". Además, presenta una descripción de los afloramientos en la carretera Iza-Cuitiva y reporta un intervalo fosfático de 2,75 m de espesor, con valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> del 25%.

Un trabajo posterior es realizado por OSPINA (1968), quien se centra en el área de Iza-Cuitiva-Tota, presenta columnas estratigráficas de la Formación Plaeners en la Quebrada Chiguatá, en la vía Iza-Cuitiva y en la vía Iza-Dividive-Tota, debido a que en esta unidad es en donde se encuentran los bancos fosfáticos de interés. Además, realiza una descripción del yacimiento de fosforita, un muestreo de los intervalos fosfáticos encontrados y reporta una estimación de la longitud de estos intervalos y un cálculo de las reservas posibles.

CATHCART & ZAMBRANO (1969), realizan una exploración de fosforitas en Colombia, visitan diferentes localidades a lo largo de la Cordillera Oriental, estos autores partieron de la hipótesis de que los fosfatos se depositaban en miogeosinclinales adyacentes al cratón, en partes profundas del océano en donde la depositación de material clástico es mínima y se presentan corrientes de surgencia. Consideran que en estos ambientes se depositan un conjunto de rocas características tales como chert, shales negros, rocas calcáreas y

fosforitas. Partiendo de trabajos anterior, centra la búsqueda en la Formación La Luna y El Grupo Guadalupe (Cretácico Superior).

ULLOA et al., (1973 (a), leyenda de la Plancha 192; 2001), presentan la cartografía de la Plancha 192 – Laguna de Tota, los autores proponen que el Grupo Guadalupe está dividido en las siguientes formaciones: 1. “Formaciones Dura y Plaeners” que corresponden a un conjunto de limolitas silíceas con intercalaciones de areniscas y frecuentes niveles fosfáticos. 2. “Formaciones Labor y Pinos” que corresponden a un conjunto de lutitas y limolitas negras con intercalaciones de calizas y areniscas de poco espesor. 3. “Formación Arenisca Tierna” compuesta por areniscas cuarzosas macizas con laminación inclinada de grano fino a grueso.

Una investigación realizada con un enfoque estratigráfico, sedimentológico y con el fin de mejorar el entendimiento de la génesis de las rocas fosfáticas, es realizada por FÖLLMI et al. (1992), a partir de datos de diferentes localidades en las que afloran rocas del Cretácico Superior a lo largo de la Cordillera Oriental, dentro de las que se encuentran las Secciones de Iza y Cuitiva. En este trabajo se propone que los fosfatos se encuentran en delgados depósitos de flujos gravitacionales intercalados con sedimentos bio-silíceos de grano fino en la parte inferior de las parasecuencias.

ULLOA et al., (2001) actualizan la cartografía realizada previamente y mantienen la división del Grupo Guadalupe en la memoria explicativa de la plancha 192 – Laguna de Tota. Dividen el Grupo Guadalupe en tres formaciones: 1. “Dura - Plaeners”, 2. “Labor - Los Pinos” y 3. “Tierna”, basados en columnas estratigráficas descritas en la Quebrada Canoas y en el sector oriental de la Laguna de Tota. Dentro del capítulo de geología económica muestra la cartografía detallada de la Formación Plaeners y del intervalo fosfático en el área de Iza-Cuitiva-Tota. En ese trabajo se reporta para el área del Sinclinal de Balcones un intervalo fosfático con un espesor promedio de 1,30 m, un contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> menor al 12% y unas reservas probables de 15.000 MT (millones de toneladas) y para el área de Iza-Cuitiva un intervalo de 1,80 m de espesor, un contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> del 20% y reservas probables de 15.000 MT.

La unidad conocida como Guadalupe (HETTNER, 1982), se puede reconocer no solo en una gran extensión de la Cordillera Oriental, donde está su localidad tipo en el área de Bogotá, sino que también se encuentra aflorando en una gran extensión de su flanco oriental. RENZONI (1963), precisó los límites del Grupo Guadalupe, considerándolo como una unidad predominantemente arenosa que suprayace e infrayace unidades lodolíticas, que son respectivamente la Formación Chipaque y la Formación Guaduas. Este autor divide de base a techo el Grupo Guadalupe en tres formaciones: Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners y Formación Labor-Tierna. Esta nomenclatura difiere de la propuesta por PEREZ & SALAZAR (1978), en que estos autores dividen la Formación Labor-Tierna en Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna.

En el presente trabajo se reconoce el Grupo Guadalupe definido en la localidad tipo (HETTNER, 1982; RENZONI 1963) y se sigue la propuesta de GUERRERO & SARMIENTO (1996: p. 18-21 y fig. 9), quienes lo dividen en tres unidades aloestratigráficas que denominan Guadalupe Inferior, Guadalupe Medio y Guadalupe Superior, esta denominación evita confusiones en las correlaciones ya que resalta las

diferencias litológicas más importantes entre estas tres formaciones. Teniendo en cuenta la correlación de esta nueva nomenclatura con la utilizada en la localidad tipo proponen que la Formación Arenisca Dura corresponde al Guadalupe Inferior, la Formación Plaeners corresponde al Guadalupe Medio y la Formación Labor-Tierna corresponde al Guadalupe Superior.

En el área de estudio la Formación Guadalupe Medio presenta una litología predominantemente lodolítica con intercalaciones de capas de bioesparita, lo cual difiere con la litología de esta formación en la localidad tipo, en el área de Bogotá en donde está constituida por arcillolitas y lodolitas de colores grises, liditas, porcelanitas y limolitas silíceas y escasas arenitas tal como lo reportan PÉREZ & SALAZAR (1978). GUERRERO & SARMIENTO (1996), proponen que el Guadalupe Medio puede ser correlacionado con la Formación Los Pinos (ULLOA 1973a), unidad predominantemente lodolítica, por lo que en el presente trabajo se empleará este nombre para referirnos al Guadalupe medio.

Durante las etapas preliminares de revisión de literatura y observaciones de campo que condujeron al presente trabajo de tesis, se detectó que capas de liditas o cherts se encuentran presentes tanto en la parte inferior del Grupo Guadalupe (Fm. Arenisca Dura), como en su parte media (Fm. Los Pinos) y que algunos intervalos que se incluyeron en trabajos anteriores en la "Formación Plaeners" (RENZONI, 1967; OSPINA, 1968; ULLOA 1973 (a), 2001), en realidad son parte de la Formación Arenisca Dura.

Utilizando un enfoque de unidades aloestratigráficas y estratigrafía de secuencias, se separan unidades transgresivas de unidades regresivas con el fin de identificar claramente los contactos entre las unidades que conforman el Alogrupo Guadalupe: Aloformación Guadalupe Inferior (Formación Arenisca Dura), Aloformación Guadalupe Medio (Formación Los Pinos) y Aloformación Guadalupe Superior (Formación Labor-Tierna), teniendo como referencia las columnas estratigráficas descritas en las Secciones de Iza y Cuitiva. A partir de estos resultados se reconoce que los intervalos fosfáticos más importantes se encuentran localizados principalmente en la parte media y superior de la Formación Arenisca Dura, aunque también se presentan con menor espesor en la parte inferior de la Formación Los Pinos y en la parte inferior de la Formación Labor-Tierna.

# 1. Objetivos

## 1.1 Objetivo General

Caracterizar desde el punto de vista sedimentológico, estratigráfico, petrográfico y geoquímico los intervalos fosfáticos presentes en la parte inferior y media del Grupo Guadalupe, a partir del análisis de 2 secciones estratigráficas aflorantes en el sector centro – oriental de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Identificar la posición estratigráfica de los niveles fosfáticos presentes en la parte inferior y media del Grupo Guadalupe.
- Analizar y clasificar petrográficamente los diferentes componentes de origen biogénico y terrígeno de los niveles fosfáticos presentes en la parte inferior y media del Grupo Guadalupe.
- Determinar el ambiente de depósito de los niveles fosfáticos presentes en la parte inferior y media del Grupo Guadalupe.
- Determinar la variación en el contenido  $P_2O_5$  en función de la posición estratigráfica y del contenido de armazón fosfático de los niveles de fosforita presentes en la parte inferior y media del Grupo Guadalupe.

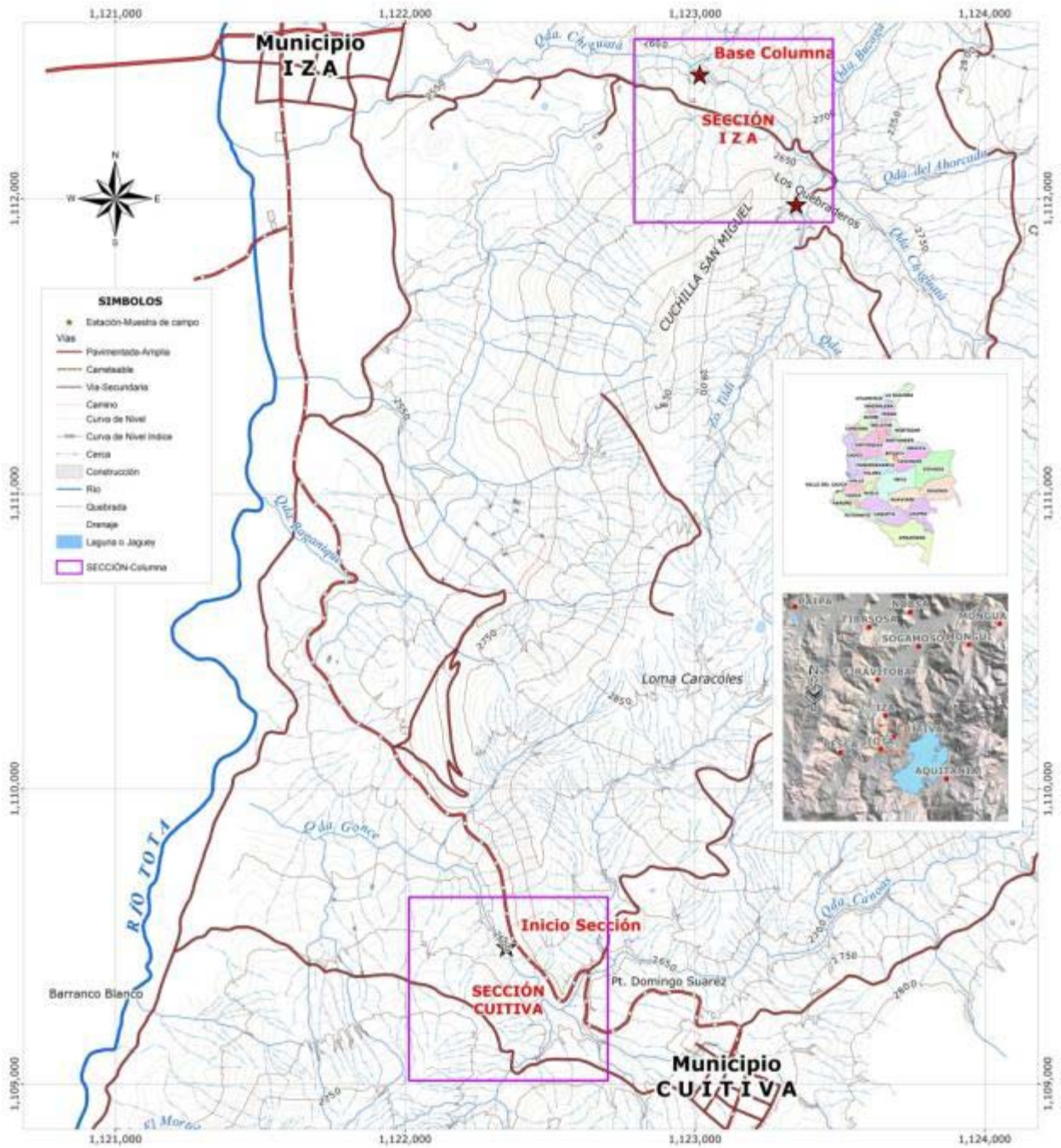
## **2. Localización del área de estudio**

El área de estudio se encuentra localizada en la parte media de la Cordillera Oriental, en el sector centro-oriental del Departamento de Boyacá, en los alrededores de los Municipios de Iza y Cuitiva, (Figura 2-1)

La sección Iza se localiza en los alrededores del Municipio de Iza, en la Vereda Centro, sobre el margen de la Quebrada Chiguatá y el camino que conduce de Iza al acueducto del municipio. En esta localidad, se encuentra aflorando de manera continua el Grupo Guadalupe compuesto por las Formaciones Arenisca Dura, Los pinos y Labor-Tierna (RENZONI 1963; GUERRERO & SARMIENTO, 1996). Coordenadas de inicio: (1.123.017 E, 1.112.421 N) y Coordenadas de finalización: (1.123.350 E, 1.111.981 N). La Sección Cuitiva se localiza en inmediaciones del Municipio de Cuitiva, en la vereda Canoas, sobre la carretera que conduce de Cuitiva a Tota. Se encuentra aflorando el Grupo Guadalupe representado por la Formación Arenisca Dura y la parte inferior de la Formación Los Pinos. Coordenadas de inicio: (1.122.350 E, 1.109.465 N) y Coordenadas de finalización: (1.122.595 E, 1.109.378 N).

Se seleccionaron las secciones de Iza y Cuitiva para el levantamiento de las columnas estratigráficas del Grupo Guadalupe debido a que presentan afloramientos continuos, sin presencia de fallamiento y evidencia física de repeticiones en las formaciones que lo conforman. En esta área de estudio se identificaron intervalos fosfáticos con capas de espesores que varían entre 30 cm y 2 m de espesor las cuales son adecuadas para el propósito de la presente investigación. Además, las localidades son de fácil acceso.

Figura 2-1. Localización del área de estudio. Ubicación de las secciones de Iza y Cuitiva y del inicio de la columna estratigráfica en cada área.





### **3. Metodología**

La metodología de trabajo empleada durante el desarrollo de esta investigación, tanto en los trabajos geológicos de campo como de laboratorio está dividida en varias etapas que se describen a continuación.

#### **3.1 Revisión Bibliográfica**

Durante esta etapa se consultaron los informes geológicos de estudios anteriores realizados en el área de estudio con el fin de mejorar el conocimiento de la estratigrafía, geología estructural y geología económica. La revisión de trabajos de grado e informes de INGEOMINAS (RENZONI, 1967; OSPINA, 1968; ULLOA, 1973a) permitieron la planeación de los primeros trabajos de campo, la selección de las localidades estratigráficas y mejoraron el entendimiento de las fosforitas. En cuanto a la clasificación y génesis de fosforitas, fueron importantes los trabajos de FÖLLMI et al. (1992-1996), TRAPPE (2001), PUFAHL et al., (2003) y BATURIN, G (2003).

#### **3.2 Trabajo de campo**

La localización de las secciones estratigráficas se realizó con GPS y mapa topográfico del área de estudio, el levantamiento de las columnas estratigráficas se hizo a escala 1:100 y la medición se llevó a cabo de manera directa por medio del bastón de Jacob y brújula (COMPTON, 1985). Con el fin de registrar la información de manera sistemática y de facilitar el archivo y posterior digitalización se utilizó el formato de descripción propuesto por ETAYO-SERNA (1985).

Con el objetivo de estandarizar las descripciones de campo se adoptaron los siguientes criterios: 1. La escala para describir el espesor de capas y láminas es tomada de la propuesta por INGRAM (1954) y modificada por CAMPBELL (1967), 2. La descripción geométrica de capas y láminas sigue a REINECK & SINGH (1980) 3. El diagrama de comparación para la forma de los granos es tomado de KRUMBEIN & SLOSS (1969), 4. El tipo de selección de las partículas es tomado de PETTIJOHN ET AL., (1973), 5. Los tipos de contactos entre granos sigue lo propuesto por TAYLOR (1950), 6. La clasificación composicional de las rocas terrígenas está basada en FOLK (1980) y textural en la escala granulométrica de WENTWORTH (1922), 7. La clasificación composicional de las rocas calcáreas sigue a FOLK (1980) y textural a DUNHAM (1962), 8. La clasificación composicional y textural de las fosforitas y rocas fosfóricas sigue a

HALLSWORTH & KNOX (1999), 9. El grado de destrucción de la laminación por bioturbación es tomado de MOORE & SCRUTTON (1957), 10. El color de las rocas está de acuerdo a la Tabla MUNSELL (2009) y 11. La clasificación de procesos diagenéticos en rocas sedimentarias es modificada de KRUMBEIN & SLOSS (1969) debido a que estos autores no incluyen la fosfatización como un proceso diagenético.

El muestreo de las fosforitas se realizó tomando dos muestras de la base y el tope de una misma capa; una muestra fue empleada en la elaboración de secciones delgadas y bloques pulidos y otra en análisis químicos. El objetivo de muestrear la base y el tope de las capas de fosforita es el de precisar la variación del contenido de armazón fosfático (análisis petrográficos) y su relación con los porcentajes de  $P_2O_5$  (análisis químicos). Para los demás tipos de rocas muestreados tales como arenitas de cuarzo, cherts, biomicritas y biosparitas se recolectó una sola muestra empleada en la elaboración de secciones delgadas y bloque pulidos. En todos los casos se tuvo en cuenta que las muestras no estuvieran afectadas por procesos de meteorización tales como oxidación y lixiviación.

### 3.2.1 Columnas estratigráficas

Las columnas estratigráficas se presentaron digitalizadas en el programa Corel Draw X4 (Figura 3-1) se mostrara la relación entre los tamaño de grano presentes (Arena-limolodo) para las rocas terrígenas y para las rocas calcáreas y fosfáticas la relación armazón versus matriz y/o cemento. Además, la figura incluirá características texturales tales como redondez y selección, espesor de capas y láminas y los principales componentes del armazón en donde se incluirán las partículas biogénicas presentes (Foraminíferos, bivalvos, pellets fecales fosfáticos y fragmentos fosfatizados de huesos de peces) y los minerales accesorios principales (Glaucónita, muscovita y piritita). También, podrá observarse el grado de bioturbación que presenta la roca, la posición estratigráfica de las muestras y las facies y ambientes sedimentarios para cada segmento.

### 3.3 Análisis petrográfico

Para la clasificación petrográfica composicional y textural de las 74 secciones delgadas de las rocas terrígenas, calcáreas y fosfáticas se empleó la metodología de conteo de 320 puntos (en promedio) perpendiculares a la laminación y distribuidos en toda la sección delgada (FOLK, 1980). Estos puntos están espaciados 1mm en la horizontal y 3mm en la vertical, en cada uno se tiene en cuenta la composición de la partícula observada, el tipo de contacto en el que se encuentra con las demás partículas del armazón o con la matriz y/o cemento y se mide su tamaño en micras. Para la realización de los análisis petrográficos se utilizó un microscopio petrográfico binocular con luz reflejada y transmitida con polarización Olympus BX-51.

Luego del conteo, se calculan los porcentajes de los componentes del armazón y de la matriz y/o cemento según cada caso y se describen los procesos diagenéticos deducidos. A continuación, se normalizan los porcentajes del armazón teniendo en cuenta los cuadros clasificatorios y se procede a dar un nombre composicional y textural

a cada roca. Los sistemas de clasificación composicional y textural y los esquemas y escalas adoptados para las características de las partículas son iguales a los indicados en la etapa de trabajo de campo.

Figura 3-1. Convenciones y abreviaturas utilizadas en las figuras de las columnas estratigráficas del Grupo Guadalupe (Secciones de Iza y Cuitiva).



En la actualidad, no existe un sistema de clasificación ampliamente aceptado para las fosforitas y rocas fosfáticas. Cada autor propone o sigue un sistema de clasificación de acuerdo a las muestras de sedimento o de rocas que requiere nombrar. A continuación se muestran dos de los sistemas de clasificación con mayor difusión y aceptación:

1. El sistema de clasificación recomendado por el British Geological Survey, HALLSWORTH & KNOX (1999) propone dar el nombre de fosforita a una roca que

contenga dentro del armazón un porcentaje de partículas fosfáticas mayor al 50%. El nombre de la roca debe incluir los dos componentes fosfáticos predominantes del armazón, el tamaño promedio de estos y su porcentaje.

En el caso de las fosforitas encontradas en el área de estudio la clasificación petrográfica incluye la palabra impura debido a que en la mayoría de los casos el contenido de partículas terrígenas (cuarzo) es mayor al 10%.

En el presente trabajo de investigación se sigue el sistema de clasificación propuesto por HALLSWORTH (1999), debido a que muestra de manera clara y concisa las características composicionales y texturales (partículas fosfáticas presentes, porcentajes y tamaño) de las fosforitas estudiadas. Además, permite incluir otros tipos de partículas presentes tales como cuarzo y glauconita los cuales son importantes en las consideraciones ambientales finales. Un ejemplo sería la clasificación de la muestra HG-063.

**Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (53.2%), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (29.6%), cuarzo tamaño arena muy fina (12.4%) y presencia de glauconita (7%).**

2. El sistema de clasificación propuesto por TRAPPE (2001), unifica la clasificación composicional y textural. Para la clasificación textural se sigue el esquema de clasificación de las rocas calcáreas, DUNHAM (1962) y para la clasificación composicional se toman las iniciales de los dos tipos de partículas predominantes del armazón y se antepone el prefijo **phos** (Derivado de la palabra en inglés *phosphate*), para resaltar que son partículas fosfáticas. Un ejemplo sería:

### **Phospelbiopackstone**

Este nombre indicaría que los principales componentes del armazón son pellets fecales fosfáticos (pel) y fragmentos de huesos de peces fosfatizados (bio) y el porcentaje de armazón se encuentra entre el 30% a 70% (packstone).

Este sistema de clasificación no fue empleado debido a la confusión que se presenta al nombrar las partículas únicamente por prefijos, no incluye el tamaño ni el porcentaje de la cada partícula y no permite la inclusión del nombre de otras partículas como cuarzo y glauconita.

## **3.4 Análisis sedimentológico**

El análisis sedimentológico de las secciones estratigráficas estudiadas (Secciones Iza y Cuitiva) se realizará por medio de la identificación de las facies presentes y a partir de estas se identificarán los ambientes de sedimentarios correspondientes (VAN WAGONER et al., 1990; KAMOLA & VAN WAGONER, 1995; HAMPSON & STORMS, 2003). Las abreviaturas utilizadas para describir los ambientes de depósito son tomadas

y modificadas de los autores anteriormente mencionados. A continuación, se presentan las equivalencias utilizadas y la traducción seguida en el presente trabajo: 1. Upper shoreface – Frente de playa superior (USF), 2. Proximal lower shoreface – Frente de playa inferior proximal (pLSF), 3. Distal lower shoreface – Frente de playa inferior distal (dLSF), 4. Upper offshore – Costa afuera superior (UO) y 5. Lower offshore – Costa afuera inferior (LO). Las abreviaturas seguidas para la descripción de las facies son modificadas de MIALL, (1978b).

### **3.5 Análisis químico**

Las muestras de fosforita y lilitas fueron enviadas al ALS Laboratory Group Ltda para que se realizaran los análisis de óxidos mayores con el fin de conocer el porcentaje de  $P_2O_5$ . Un total de 42 muestras fueron analizadas y los resultados se incluyen en las columnas estratigráficas de cada una de las secciones (ver anexos E y F).

El proceso de preparación de las muestras inicia con el pesaje, continúa con la trituración, la pulverización, el tamizado en malla 100, el cuarteo y el etiquetado en las instalaciones de ALS Laboratory Group Ltda en Colombia, bajo estándares internacionales para prevenir la contaminación de las muestras. Posteriormente, son enviadas a Lima, Perú en donde son analizadas por fluorescencia de rayos X.

### **3.6 Terminología de estratigrafía de secuencias**

La subdivisión de las cintas de sistemas deposicionales (systems tracts) producidas durante ciclos de cambio relativo del nivel del mar se toma de GUERRERO (2002a). Este autor propone que los estratos depositados durante un ciclo de cambio relativo del nivel del mar están compuestos por cuatro cintas de sistemas deposicionales: 1) Regressive Systems Tract (RST), que incluye estratos con patrón de apilamiento (conjunto de parasecuencias) progradacional. 2) Lowstand Systems Tract (LST) que corresponde a una cinta de estratos con patrón de apilamiento agradacional, que se depositan durante niveles relativamente bajos del mar. 3) Transgressive Systems Tract (TST), que incluye estratos con patrón de apilamiento retrogradacional y que se depositan durante el tiempo en el cual el nivel relativo del mar se encuentra subiendo. 4) Highstand Systems Tract (HST) que corresponde a estratos depositados durante niveles relativamente altos del mar y que exhiben un patrón de apilamiento agradacional. El límite de secuencia se sitúa en la base del Sistema Regresivo en el horizonte o Superficie Regresiva, donde comienza la caída del nivel relativo del mar.

#### **3.6.1 Discusión del concepto de Parasecuencia**

VAN WAGONER et al., (1988), definen una parasecuencia como “una sucesión relativamente conforme de estratos o conjunto de estratos limitados por superficies de inundación marina”, también propone que una superficie de inundación marina “es una

superficie que separa estratos jóvenes de estratos viejos por un incremento abrupto del nivel del agua”.

El problema con esa definición es la ambigüedad respecto a lo que significa “superficie de inundación marina”, que podría ser una superficie transgresiva, en cuyo caso los estratos suprayacentes a dicha superficie serían transgresivos o una superficie de máxima inundación, en cuyo caso los estratos de toda la parasecuencia serían solamente regresivos.

Posteriormente, autores como EMBRY et al (1995; 2006), discuten el concepto inicial propuesto por VAN WAGONER et al., (1988) y proponen que la parasecuencia no sea una unidad válida en estratigrafía de secuencias, debido a que la “superficie de inundación marina” es una superficie transgresiva y la parasecuencia incluye tanto estratos transgresivos como regresivos que podrían ser incluidos en una secuencia.

HAMPSON & STORMS (2003) discuten la variabilidad que se presenta dentro de una parasecuencia, que a su vez incluye otras parasecuencias de menor duración, que están compuestas por un segmento transgresivo suprayacido por un segmento regresivo.

En este trabajo se utiliza el concepto de parasecuencia para diferenciarlo del de secuencia, debido a que el límite de secuencia se sitúa en la superficie regresiva (RS), que puede ser erosiva y por lo tanto no está presente en las parasecuencias ya que las caídas del nivel del mar son de un orden menor que en las secuencias.

## **4. Geología Regional**

En esta área de estudio se han realizado numerosos trabajos con diferentes enfoques, la cartografía, la estratigrafía y la geología estructural actualizada de esta localidad se encuentran descritas en la memoria explicativa de la plancha 192 – Laguna de Tota, (ULLOA, 2001), (Figura 4-1)

### **4.1 Estratigrafía**

De base a tope, las formaciones presentes en el área de estudio son: 1. Formación Chipaque, 2. El Grupo Guadalupe dividido de base a tope, en tres unidades en rango formacional: Formación Arenisca Dura, Formación Los Pinos y Formación Labor-Tierna y 3. Formación Guaduas.

#### **4.1.1 Formación Chipaque**

El nombre de Formación Chipaque fue dado por HUBACH (1931) y redefinido por RENZONI (1963). La formación se caracteriza por lodolitas que suprayacen e infrayacen unidades areníticas que son respectivamente la Formación Une y el Grupo Guadalupe (GUERRERO & SARMIENTO, 1996). La localidad tipo se encuentra ubicada en los alrededores del municipio de Chipaque, en la carretera Bogotá-Chipaque.

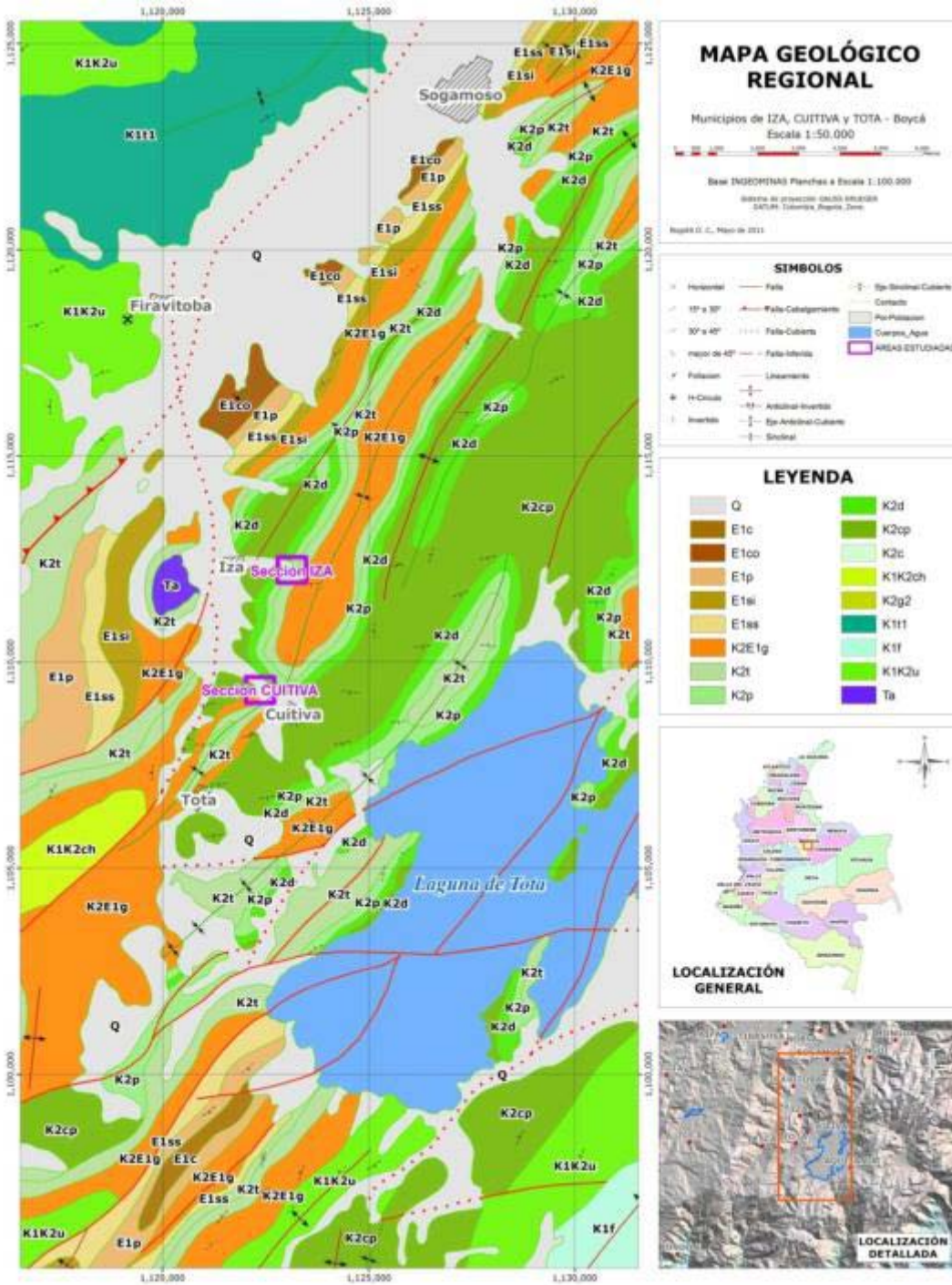
Durante los trabajos geológicos de campo realizados esta formación no fue descrita. Solamente se reconocieron los últimos metros aflorantes, representados por shales negros, para delimitar el contacto inferior del Grupo Guadalupe.

#### **4.1.2 Grupo Guadalupe**

El Grupo Guadalupe fue definido por HETTNER (1982) y se puede reconocer en gran parte de la Cordillera Oriental, donde se encuentra su localidad tipo en el área de Bogotá. RENZONI (1963), precisó los límites del Grupo Guadalupe, considerándolo una unidad predominantemente arenítica suprayacida e infrayacida por unidades lodosas que son respectivamente la Formación Chipaque y la Formación Guaduas. En este trabajo se divide el Grupo Guadalupe en tres formaciones: Formación Arenisca Dura, Formación Los Pinos y Formación Labor-Tierna, de acuerdo con RENZONI (1963) y GUERRERO & SARMIENTO (1996). El Grupo Guadalupe incluye desde el Campaniano temprano

hasta el Maastrichtiano temprano basado por la evidencia bioestratigráfica palinológica presentada por GUERRERO & SARMIENTO (1996).

Figura 4-1. Geología regional del área de estudio con la localización de las Secciones de Iza y Cuitiva. Modificado de ULLOA (2001).





### **4.1.3 Formación Guaduas**

El nombre de Guaduas se debe a HETTNER (1892), quien se refirió así a los estratos predominantemente lodolíticos, oscuros carbonosos, con intercalaciones de lodolitas abigarradas, que suprayacen concordantemente al Grupo Guadalupe en el área del Sinclinal de Guaduas.

En el área de estudio se reconoció la Formación Guaduas debido a la presencia de lodolitas negras físciles carbonosas suprayacentes a las arenitas de cuarzo de grano muy grueso de la parte superior de la Formación Labor-Tierna. Esta formación se encuentra aflorando en el núcleo del Sinclinal de San Miguel, en donde se reporta la presencia de minería de carbón. Esta unidad no es descrita en afloramientos, ya que sólo se reconoció para localizar con precisión el límite superior del Grupo Guadalupe.

## **4.2 Geología Estructural**

Las secciones de Iza y Cuitiva se encuentran localizadas en los flancos W y E del Sinclinal de San Miguel, respectivamente. El Sinclinal de San Miguel (MÓJICA, 1987), tiene un extensión de 6km y va desde el Alto de la Fragua, al NE de Iza, hasta la población de Tota. El flanco oriental está invertido al norte y afectado por una falla de rumbo y el occidental presenta en su mitad norte fallas que afectan la estructura. En el núcleo del sinclinal se encuentra aflorando la Formación Guaduas, en la cual se explota de manera artesanal carbón mientras en los flancos aflora el Grupo Guadalupe, del cual se extrae de manera artesanal fosforita.

## **5. Resultados**

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la descripción detallada de las columnas estratigráficas del Grupo Guadalupe (Sección Iza) y de la Formación Arenisca Dura (Sección Cuitiva). Ver Anexos A y B.

Con el fin de facilitar la descripción de las columnas estratigráficas presentadas estas se han dividido en segmentos que corresponden a parasecuencias. La descripción de cada segmento integra las observaciones de campo y los resultados de los análisis petrográficos realizados (Ver anexos C y D). Con el fin de precisar los porcentajes calculados se incluirá la letra A para referirse a porcentajes del armazón y la sigla RT para referirse a roca total.

### **5.1 Litología**

A continuación, se presentan las descripciones litológicas de las secciones de Iza y Cuitiva.

#### **5.1.1 Sección Iza**

En los alrededores del Municipio de Iza, sobre la margen de la Quebrada Chiguatá, se realizó el levantamiento de una columna estratigráfica del Grupo Guadalupe (Figura 5-1), Anexo A), que de base a techo comprende las siguientes formaciones: 1. Formación Arenisca Dura (Aloformación Guadalupe Inferior), 2. Formación Los Pinos (Aloformación Guadalupe Medio) y 3. Formación Labor-Tierna (Aloformación Guadalupe Superior). La descripción de esta sección estratigráfica permitió identificar la posición estratigráfica de los intervalos fosfáticos de interés dentro del Grupo Guadalupe y realizar el muestreo tanto de los niveles fosfáticos como de otros tipos de rocas de interés tales como chert y arenitas, con el fin de realizar análisis petrográficos y análisis químicos.

Figura 5-1. Fotografía panorámica de la Sección Iza. Aflora el Grupo Guadalupe y se observa el contraste morfológico entre las tres formaciones que lo componen: Formación Arenisca Dura, Los Pinos y Labor-Tierna.



### 5.1.1.1 Formación Arenisca Dura

En la sección de Iza la Formación Arenisca Dura tiene un espesor medido de 192.5m. Se encuentra formando pendientes escarpadas. Figura 5-2. Los contactos inferior y superior son netos con las Formaciones Chipaque y Los Pinos, respectivamente. Las capas buzcan al SE.

Figura 5-2. Panorámica de la Formación Arenisca Dura en la Sección de Iza.



### Segmento 1

Este segmento comprende desde 0 m hasta 2,1 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (80,9%) y arenita de cuarzo de grano muy fino fosilífera (10,1%).

Inicia con un conjunto de 1,7 m de espesor de capas tabulares y onduladas gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris oscuro a gris medio claro, selección moderada, partículas subredondeadas, con láminas medias y gruesas onduladas continuas de lodolita negra y lentes medios de arenita de cuarzo de grano medio. Se observan láminas irregulares como resultado de la bioturbación. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (3% A).

Suprayaciendo, se encuentra una capa tabular gruesa (40 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano muy fino, fosilífera, fosfática, color gris medio claro, selección pobre, subredondeada y láminas delgadas ondulada continuas de lodolita negra. El armazón está compuesto por cuarzo tamaño arena muy fina (49,2%), pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (21,8% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (13,7% A), foraminíferos tamaño arena fina (9,1%), fragmentos de equinodermos tamaño arena muy fina (0,5% A), intraclastos fosfáticos tamaño arena fina (0,5% A) y como minerales accesorios glauconita y zircón tamaño arena muy fina (5% A). Además, se presenta cemento calcáreo (25,2% RT) y matriz mezcla de lodo terrígeno y calcáreo parcial a totalmente fosfatizada (12,6% RT). Muestra HG-001.

### Segmento 2

Este segmento comprende desde 2.1m hasta 4.8m, tiene un espesor de 2.7m y está constituido por limolita de cuarzo (63%), biomicrita de foraminíferos (7,4%) y arenita de cuarzo de grano fino (29,6%).

Inicia con un conjunto de 1,7 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo, color gris oscuro, con láminas y lentes delgados y medios plano paralelos de arenita de cuarzo de grano muy fino, color blanco y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se encuentra una capa ondulosa media (20 cm de espesor) de biomicrita de foraminíferos, fosfática, con textura packstone y color gris medio. El armazón está compuesto por foraminíferos tamaño arena fina (30%), pellets fosfáticos tamaño arena fina (15% A), cuarzo tamaño arena muy fina (10% A) y muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Además, matriz de lodo calcáreo (40% RT).

Finalizando este segmento, se presenta un conjunto de 80 cm de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris oscuro, selección buena, partículas subangulares y láminas delgadas plano paralelas de lodolita negra. Se presenta cemento calcáreo (20% RT) y muscovita tamaño arena muy fina (2% A).

### Segmento 3

Este segmento comprende desde 4,8 m hasta 7,7 m, tiene un espesor de 2,9 m y está constituido por lodolita (34,5%) y bioesparita impura (65,5%).

Inicia con un conjunto de 1 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de lodolita negra grisácea, con láminas delgadas plano paralelas de limolita de cuarzo y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 1,9 m de capas tabulares y onduladas, medias de bioesparita de foraminíferos, fosfática, impura, con textura grainstone y color gris oscuro. El armazón está compuesto por cuarzo tamaño limo grueso (34,7% A), foraminíferos bentónicos tamaño arena fina (27,8% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (14,8% A), foraminíferos planctónicos tamaño arena muy fina (10,2%), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (6% A) y como mineral accesorio glauconita tamaño arena muy fina (6,5% A), además cemento calcáreo equant (26,5% RT). Se observan láminas delgadas onduladas continuas y lentes delgados de biomicrita de foraminíferos con textura packstone (16,2% A). Muestra HG-002. Se reconocen impregnaciones de hidrocarburo.

#### **Segmento 4**

Este segmento comprende desde 7,7 m hasta 9,6 m, tiene un espesor de 1,9 m y está constituido por lodolita (52,6%) y arenita de cuarzo de grano fino (47,4%).

Inicia con un conjunto de 1m de espesor de capas onduladas delgadas de lodolita de color gris medio oscuro, láminas delgadas onduladas continuas y lentes delgados de arenita de cuarzo de grano fino color gris claro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 90 cm de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio, selección buena, partículas subredondeadas, láminas delgadas onduladas continuas de lodolita negra y lentes delgados y gruesos de arenita de cuarzo de grano medio color gris claro. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (2% A).

#### **Segmento 5**

Este segmento comprende desde 9,6 m hasta 19,7 m, tiene un espesor de 10,1 m y está constituido por limolita de cuarzo (52,5% A), arenita de cuarzo de grano fino (19,8%), arenita de cuarzo de grano fino con cemento calcáreo (19,8%) y arenita de cuarzo de grano medio (7,9%).

Inicia con un conjunto de 5,3 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo, color gris oscuro, con láminas delgadas plano paralelas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Se observan intercalaciones menores (7,5%) de capas tabulares delgadas y medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro, selección moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A).

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 2 m de espesor de capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro, selección buena, partículas subredondeadas, láminas delgadas y medias plano paralelas y onduladas continuas de

arenita de cuarzo de grano medio de color blanco y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (2% A).

A continuación, se presenta un conjunto de 2 m de espesor de capas tabulares muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro, selección moderada, subredondeada, cemento calcáreo, láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (2% A).

Finalizando este segmento, se encuentra un conjunto de 80 cm de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris medio oscuro, selección moderada, subredondeada, láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (2% A).

### **Segmento 6**

Este segmento comprende desde 19,7 m hasta 25,1 m, tiene un espesor de 5,4 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano fino con cemento calcáreo (7,8%) y arenita de cuarzo de grano fino (22,2%).

Inicia con un conjunto de 3,4 m de espesor de capas tabulares muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro, selección moderada y partículas subredondeada y subangulares, cemento calcáreo (20% RT), láminas delgadas plano paralelas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A). Se observan impregnaciones de hidrocarburo color café rojizo moderado.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 1,2 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro, selección moderada, subangular, láminas delgadas onduladas discontinuas de limolita de cuarzo de color negro grisáceo y lentes medios de arenita de cuarzo de grano medio de color blanca. Se observan nódulos ferruginosos de 10 cm de diámetro ovalados y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finalizando este segmento, se presenta un conjunto de 80 cm de espesor de capas tabulares y onduladas gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris oscuro, selección moderada, subangular, láminas delgadas onduladas continuas de limolita de cuarzo y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (2%). Se observan concreciones calcáreas de 50cm de diámetro e impregnaciones de hidrocarburo.

### **Segmento 7**

Este segmento comprende desde 25,2 m hasta 31,9 m, tiene un espesor de 6,8m y está constituido por limolita de cuarzo (13,2%), arenita de cuarzo de grano muy fino con cemento calcáreo (17,6%), arenita de cuarzo de grano fino con cemento calcáreo (19,1%) y arenita de cuarzo de grano fino (50,1%).

Inicia con un conjunto de 90 cm de espesor de capas tabulares y onduladas delgadas de limolita de cuarzo, color negro grisáceo, láminas delgadas plano paralelas y onduladas

continuas de arenita de cuarzo de grano muy fino gris oscura media y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 1,2 m de espesor de capas tabulares y onduladas, delgadas y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris oscuro y gris medio oscuro, selección moderada, partículas subangulares, cemento calcáreo, láminas delgadas plano paralelas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (2% A).

A continuación, se presenta un conjunto de 1,3m de espesor de capas tabulares y onduladas, delgadas y gruesas, de arenita de cuarzo de grano fino, cemento calcáreo (20% RT), selección moderada y pobre, subangular, láminas muy delgadas plano paralelas de lodolita negra y pellets fosfáticos tamaño arena fina (5% A). Se observan impregnaciones de hidrocarburos color negro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (2% A). Las láminas son irregulares por bioturbación.

Finalizando este segmento, se encuentra un conjunto de 3,4 m de espesor de capas tabulares y onduladas, medias y gruesas, de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio, selección moderada, subangular y láminas muy delgadas onduladas paralelas discontinuas de lodolita negra. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (2% A) y bioturbación con moteado definido.

### **Segmento 8**

Este segmento comprende desde 32 m hasta 50,3 m, tiene un espesor de 18,4m y está constituido por arcillolita (10,9%), arenita de cuarzo de grano muy fino (64,6%) y arenita de cuarzo de grano fino (24,5%).

Inicia con un conjunto de 2 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de arcillolita negra, con láminas muy delgadas plano paralelas de limolita de cuarzo gris medio, con muscovita tamaño arena muy fina (2% A).

Suprayaciendo, un conjunto de 11,9 m de espesor de capas tabulares y onduladas muy gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris muy claro, selección moderada, partículas subangulares y subredondeadas, láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y láminas medias y gruesas de limolita de cuarzo gris oscura. Como minerales accesorios glauconita, muscovita, zircón y turmalina tamaño limo grueso (4,2% A). Muestra HG-003.

En contacto transicional se encuentra un conjunto de 4,5 m de espesor de capas tabulares muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris muy claro, selección buena, subredondeada, láminas delgadas onduladas continuas y lentes medios de limolita de cuarzo color gris oscuro. Bioturbación con moteado definido y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (2% A).

**Segmento 9**

Este segmento comprende desde 50,3 m hasta 61,7 m, tiene un espesor de 11,4 m y está constituido por arcillolita (46,5%), limolita de cuarzo (14%), arenita de cuarzo de grano muy fino (8,8%) y arenita de cuarzo de grano fino (30,7%).

Inicia con un conjunto de 5,3 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de arcillolita, color gris oscuro, con laminación plano paralela y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (2% A). Se observan intercalaciones (20%) de capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio, selección moderada, partículas subangulares, láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (2% A).

Suprayaciendo, un conjunto de 1.6m de espesor de capas tabulares delgadas de limolita de cuarzo, color gris oscuro, láminas delgadas plano paralelas y onduladas continuas de arenita de cuarzo de grano muy fino color blanco y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (2% A).

Finalizando este segmento, un conjunto de 3.5m de espesor de capas tabulares gruesas y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio, selección moderada, subangular, con láminas muy delgadas plano paralelas y onduladas continuas de lodolita negra y lentes medios y gruesos de arenita de cuarzo de grano medio de color blanco. Localmente, se observa bioturbación con moteado difuso. Hacia la parte media se observa una intercalación (5,7%) de un conjunto de capas muy delgadas de arcillolita negra con laminación plano paralela.

**Segmento 10**

Este segmento comprende desde 61,7 m hasta 78,1 m, tiene un espesor de 16,4 m y está constituido por arcillolita fosilífera (8,5%), lodolita (10,4%), limolita de cuarzo (11%), arenita de cuarzo de grano fino (49,4%) y arenita de cuarzo de grano medio (20,7%).

Inicia con un conjunto de 1,4 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de arcillolita fosilífera parcialmente silicificada, de color gris oscuro, con foraminíferos planctónicos tamaño limo medio (10% RT), matriz arcillosa (90% RT) con escasas partículas de cuarzo tamaño limo grueso, laminación plano paralela y bioturbación con moteado definido. Se observa partición ortogonal en muestra de mano. Muestra HG-004.

Suprayaciendo, conjunto de 1,4 m de espesor de capas tabulares delgadas y medias de limolita de cuarzo, de color gris oscuro, láminas plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy fino de color gris muy claro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

A continuación, se presenta una intercalación entre capas tabulares muy delgadas de lodolita de color gris medio oscuro, con laminación plano paralela y capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio, selección moderada, partículas subangulares, con láminas delgadas y medias de arenita de cuarzo de grano fino color gris medio. Se observan pellets fosfáticos tamaño arena gruesa (1% A) y como mineral accesorio pirita diseminada (1% A).



Suprayaciendo, conjunto de 8,1 m de espesor de capas tabulares y onduladas, medias y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, friable, de color gris claro a gris muy claro, con partículas subredondeadas y selección buena y moderada. Matriz lodosa terrígena (19,3% RT), láminas delgadas onduladas continuas, discontinuas y onduladas no paralelas discontinuas de lodolita negra y láminas muy delgadas de limolita de cuarzo de color negro grisáceo. Se observan ichnofósiles horizontales y subhorizontales en tubos de 0,5 cm de diámetro y como minerales accesorios glauconita tamaño arena fina (4,6% A), muscovita, zircón y turmalina tamaño limo grueso (3,1% A). Muestra HG-005.

Finalizando este segmento, se encuentra un conjunto de 3,4 m de espesor de capas tabulares gruesas y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris medio a gris medio claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas onduladas no paralelas discontinuas de lodolita negra y bioturbación con moteado definido. Se observan fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño gránulo (2% A) y como minerales accesorios muscovita tamaño arena muy fina (1% A) y glauconita tamaño arena fina (2% A).

### **Segmento 11**

Este segmento comprende desde 78,1 m hasta 87,2 m, tiene un espesor de 9,1 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (46,2%), arenita de cuarzo de grano fino (50,5%) y arenita de cuarzo de grano medio (3,3%).

Inicia con un conjunto de 4,2m de espesor de capas tabulares y onduladas, medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris oscuro a gris medio claro, selección moderada, partículas subangulares, matriz lodosa terrígena parcialmente fosfatizada (21,9% RT), láminas delgadas a medias onduladas paralelas continuas y discontinuas de lodolita negra. Como minerales accesorios glauconita tamaño arena fina (7% A), muscovita, turmalina y zircón tamaño arena muy fina (3,5% A). Muestra HG-006.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 4,6 m de espesor de capas tabulares y onduladas, gruesas y muy gruesas, de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro a gris claro, con selección moderada, partículas subangulares y láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra. Como minerales accesorios muscovita tamaño arena muy fina (1% A) y glauconita tamaño arena fina (3% A).

Finalizando, se reconoce una capa tabular media (30 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano medio fosfática, color gris medio claro, selección moderada, subangular, pellets fosfáticos tamaño arena media (10% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media y gruesa (10% A), con láminas delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y como mineral accesorio glauconita tamaño arena fina (2% A). Se observa estratificación cruzada.

### **Segmento 12**

Este segmento comprende desde 87,2 m hasta 111,5 m, tiene un espesor de 24,3 m y está constituido por biomicrita parcial a totalmente silicificada (66,7%), fosforita (11,5%),

limolita de cuarzo (2,5%), arenita de cuarzo de grano muy fino (12,3%) y arenita de cuarzo de grano fino (7%).

Inicia con un conjunto de 60 cm de capas tabulares delgadas de limolita de cuarzo, color negra grisáceo, con láminas medias y lentes gruesos de arenita de cuarzo de grano fino de color gris muy claro. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (2% A).

Suprayaciendo, se reconoce una capa tabular muy gruesa (2 m de espesor) de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (61,2% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (6,3% A). El armazón también incluye cuarzo tamaño arena fina (15,2% A), foraminíferos bentónicos tamaño arena media parcial a totalmente fosfatizados (9,7% A), ooides fosfáticos tamaño arena fina (7,2% A) y como mineral accesorio glauconita tamaño arena fina (0,4% A), además se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (31,1% RT). Muestra HG-08B y HG-08T.

A continuación, conjunto de 16,2 m de espesor de biomicrita de foraminíferos parcial a totalmente silicificada, con textura wackestone y color negro a gris oscuro. El armazón está compuesto por foraminíferos bentónicos tamaño arena media (63% A) y foraminíferos planctónicos tamaño arena fina (37% A). La matriz micrítica se encuentra totalmente silicificada (77,3% RT). Se presenta porosidad secundaria móldica (0,3% RT). Hay intercalaciones de láminas muy delgadas onduladas continuas de biomicrita de foraminíferos con textura packstone (10%). Muestra HG-009. Hacia la parte inferior de este conjunto se encuentran intercaladas capas medias de fosforita impura de fragmentos fosfatizados de huesos de peces (40% A) y pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (34,6% A). El armazón también incluye cuarzo tamaño arena muy fina (21% A), foraminíferos bentónicos parcial a totalmente fosfatizados (4,4%) y como mineral accesorio zircón tamaño limo grueso (1% A), además matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (36,3% RT). Muestra HG-011.

Localmente, se observa biomicrita de foraminíferos fosfática parcial a totalmente silicificada, con textura packstone y color gris claro. El armazón está compuesto por foraminíferos bentónicos tamaño arena media (41,4% A), foraminíferos planctónicos tamaño arena fina (25% A), cuarzo tamaño arena muy fina (14,8% A) e intraclastos fosfáticos tamaño arena gruesa (14,8%); además, matriz micrítica parcial a totalmente silicificada (61,2%). Muestra HG-010

Suprayaciendo, se reconoce un conjunto de 3 m de espesor de capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano muy fino, de color gris medio oscuro, con selección moderada y partículas subangulares; se observan láminas muy delgadas onduladas continuas de lodolita negra y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finalizando este segmento, se observa un conjunto de 1,7 m de espesor de capas onduladas medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio, selección moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas onduladas paralelas

continuas de lodolita negra y lentes medios de arenita de cuarzo de grano medio y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 13**

Este segmento comprende desde 111,5 m hasta 116,3 m, tiene un espesor de 4,8 m y está constituido por limolita de cuarzo (4,2%) y arenita de cuarzo de grano fino (95,8%).

Inicia con un conjunto de 20cm de espesor de capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo, color gris medio, con láminas muy delgadas y lentes medios de arenita de cuarzo de grano muy fino, con muscovita tamaño arena muy fina (1% A) como mineral accesorio.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 4,6 m de espesor de capas tabulares muy delgadas y delgadas de arenita de cuarzo de grano fino, de color gris medio, con selección moderada, partículas subangulares. Se presentan láminas onduladas continuas de limolita de cuarzo de color gris oscuro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 14**

Este segmento comprende desde 116,3 m hasta 124,1 m, tiene un espesor de 7,8 m y está constituido por limolita de cuarzo (13,5%), arenita de cuarzo de grano muy fino (59,4%) y arenita de cuarzo de grano fino (27,1%).

Inicia con un conjunto de 2,35 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo, color gris oscuro y laminación plano paralela, intercaladas con capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio oscuro, selección moderada y partículas subangulares; en estas últimas se observan láminas delgadas a gruesas onduladas continuas de limolita de cuarzo de color gris medio oscuro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se distingue un conjunto de 3,3 m de espesor de capas tabulares medias y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio a gris medio claro, selección moderada, partículas subangulares y subredondeadas, con láminas delgadas y medias onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Se observa estratificación cruzada.

Finalizando este segmento, se encuentra un conjunto de 1,7 m de espesor de capas tabulares y onduladas, medias y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro, selección moderada, partículas subangulares, láminas delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y lentes medios de arenita de cuarzo medio de color gris oscuro, con pellets fosfáticos tamaño arena media (1% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

**Segmento 15**

Este segmento comprende desde 124,1 m hasta 127,7 m, tiene un espesor de 3,6 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (77,8%) y arenita de cuarzo de grano fino (22,2%).

Inicia con un conjunto de 2,8 m de espesor de capas tabulares muy gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, fosfática, con pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (32% A), color gris muy claro, selección moderada, partículas subangulares y matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (32,3% RT). Se observan láminas muy delgadas onduladas paralelas discontinuas de lodolita negra. Como mineral accesorio zircón tamaño arena muy fina (1,6%). Muestra HG-007.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 80 cm de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro, selección moderada, subangular, con láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra. Incluye pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (5%) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

**Segmento 16**

Este segmento comprende desde 127,7 m hasta 132,1 m, tiene un espesor de 4,4 m y está constituido por arcillolita (63,6%), arenita de cuarzo de grano muy fino (18,2%) y arenita de cuarzo de grano fino (18,2%).

Inicia con un conjunto de 2,8 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de arcillolita negra con laminación plano paralela y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A), intercaladas con capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio oscuro, selección moderada, partículas subangulares, láminas delgadas plano paralelas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 80 cm de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, selección moderada y partículas subangulares. Incluye láminas muy delgadas onduladas paralelas continuas de lodolita negra y láminas medias onduladas paralelas continuas de arenita de cuarzo de grano medio de color gris medio claro. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

**Segmento 17**

Este segmento comprende desde 132,1 m hasta 134,5 m, tiene un espesor de 2,4 m y está constituido por limolita (25%), arenita de cuarzo de grano muy fino (8,3%) y arenita de cuarzo de grano fino (66,7%).

Inicia con un conjunto de 60 cm de espesor de capas tabulares y onduladas muy delgadas de limolita de cuarzo de color gris medio, láminas delgadas a medias onduladas continuas de arenita de cuarzo de grano muy fino color gris claro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Se observa intercalación de capa tabular media (20 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris

medio claro, selección moderada, partículas subangulares, láminas delgadas a medias onduladas continuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A).

Suprayaciendo, se observa un conjunto de 80 cm de espesor de capas tabulares y onduladas, delgadas a gruesas, de arenita de cuarzo de grano fino, de color gris medio oscuro a gris medio claro, selección moderada y partículas subangulares. Incluye láminas delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y lentes delgadas de arenita de cuarzo de grano medio. Se observan pellets fosfáticos tamaño arena media (3% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 18**

Este segmento comprende desde 134,5 m hasta 155,5 m, tiene un espesor de 21 m y está constituido por biomicrita parcial a totalmente silicificada (47,6%), fosforita (11,9%), arenita de cuarzo de grano fino (35,7%) y arenita de cuarzo de grano medio (4,8%).

Inicia con un conjunto de 10 m de espesor de capas tabulares delgadas a medias de biomicrita de foraminíferos, impura, parcial a totalmente silicificada (chert diagenético), con textura wackestone, color gris oscuro a gris medio y laminación plano paralela. El armazón está compuesto por foraminíferos bentónicos tamaño arena media (78,2% A), cuarzo tamaño limo grueso (10,9% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (8,7% A) y foraminíferos planctónicos tamaño arena muy fina (2,2% A), además se observa matriz micrítica parcial a totalmente silicificada (86,6% RT) y porosidad secundaria móldica (3,1% RT), Muestra HG-014.

En la parte inferior de este conjunto se encuentra una capa ondulosa muy gruesa (1,7 m de espesor) de fosforita impura de fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media (30,9% A) y pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (25,8% A). El armazón incluye cuarzo tamaño arena muy fina (41,5% A) y como minerales accesorios turmalina y zircón tamaño arena muy fina (1,7% A). Se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (31,8% RT). Hacia el tope de esta capa de fosforita impura se presenta disminución en el contenido de armazón fosfático por lo que pasa a una arenita de cuarzo fosfática, con un armazón compuesto por cuarzo tamaño arena muy fina (42,2% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (26,3% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (31,5%) y como mineral accesorio zircón tamaño limo grueso (1,7% A). Se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (31,8% RT) y el armazón fosfático concentrado en lentes medios. Presencia de icnofósiles ramificados (*Thalassinoides*) en tubos sub-horizontales de 2 cm de diámetro. Muestras HG-12B, HG-12C y HG-12T.

En la parte media del conjunto de biomicrita parcial a totalmente silicificada se encuentra una capa ondulosa gruesa (40 cm de espesor) de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (50,8% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces (13,5% A), intraclastos fosfáticos tamaño arena muy gruesa (0,5%), cuarzo tamaño arena muy fina (33,5% A) y como mineral accesorio turmalina tamaño arena muy fina (1,6% A); además, se presenta matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (42,9% RT). Muestra HG-013.

En la parte superior del conjunto de biomicrita parcial a totalmente silicificada se reconoce una capa ondulosa gruesa (40 cm de espesor) de fosforita de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (76,7% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media (22,6%). Se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (57,8% RT) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (0,8% A). Muestra HG-015.

Suprayaciendo, las biomicritas y las fosforitas se presenta un conjunto de 7,5 m de espesor de capas medias tabulares y onduladas de arenita de cuarzo de grano fino, de color gris oscuro a gris medio claro, selección buena y moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y láminas lenticulares delgadas y medias de arenita de cuarzo de grano medio de color blanco. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (2% A).

Finalizando el segmento, se encuentra un conjunto de 1 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris muy claro, selección moderada y buena y partículas subangulares. Incluye láminas muy delgadas onduladas continuas de lodolita negra y láminas lenticulares medias de arenita de cuarzo de grano grueso de color gris muy claro. Como minerales accesorios glauconita tamaño arena muy fina (1%) y muscovita tamaño arena fina (1%).

### **Segmento 19**

Este segmento comprende desde 155,5 m hasta 159,6 m, tiene un espesor de 4,1 m y está constituido por limolita (9,8%) y arenita de cuarzo de grano fino (90,2%).

Inicia con un conjunto de 20 cm de espesor de capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo de grano grueso, de color gris claro y láminas medias onduladas continuas de arenita de cuarzo de grano muy fino. El armazón está compuesto por cuarzo tamaño limo grueso (90,6% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (4,3% A) y como minerales accesorios glauconita tamaño arena muy fina (3,4% A), zircón y muscovita tamaño limo grueso (1,7% A). Se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (29,1% RT) Muestra HG-017 y HG-018.

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 3,7 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris muy claro, selección moderada y buena, partículas subangulares, láminas muy delgadas onduladas discontinuas y onduladas no paralelas discontinuas de lodolita negra. Incluye bioturbación con moteado definido y como minerales accesorios glauconita y muscovita tamaño arena muy fina (2% A). Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 cm de diámetro. Hacia la parte superior de este segmento se observa la intercalación de un conjunto de 20 cm de espesor de capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo, color gris claro y laminación plano paralela.

### **Segmento 20**

Este segmento comprende desde 159,6 m hasta 165,4 m, tiene un espesor de 5,8 m y está constituido por arcillolita (32,8%), lodolita (13,8%), arenita de cuarzo de grano fino (46,6%) y bioesparita impura (6,8%).

Inicia con un conjunto de 80 cm de espesor de capas tabulares muy delgadas de lodolita gris oscura, con láminas muy delgadas plano paralelas de arenita de cuarzo de grano fino color gris muy clara y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 80 cm de espesor de capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris oscuro a gris medio oscuro, selección moderada, partículas subangulares, láminas medias onduladas paralelas continuas y discontinuas de lodolita negra y láminas lenticulares medias de arenita de cuarzo de grano medio color gris muy clara. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

A continuación, se reconoce un conjunto de capas tabulares muy delgadas de arcillolita gris oscura con laminación plano paralela, intercaladas con capas onduladas medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro, selección moderada y partículas subangulares. Incluye láminas medias onduladas continuas de lodolita negra y láminas lenticulares medias de arenita de cuarzo de grano fino color gris muy claro. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Hacia la parte media de este conjunto se observa una capa ondulosa gruesa (40 cm de espesor) de bioesparita de bivalvos, fosfática, impura y parcialmente silicificada. El armazón está compuesto por bivalvos tamaño arena muy gruesa (43,8% A), cuarzo tamaño arena muy fina (40,6% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena muy gruesa (7% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena fina (3,2%), equinodermos tamaño arena fina (0,5%) y como minerales accesorios glauconita y zircón tamaño limo grueso (4,8%). Además, cemento calcáreo tipo equant (51,9%). Se reconoce silicificación parcial de bivalvos. Muestra HG-019.

Finalizando este segmento, se localiza un conjunto de 50 cm de espesor de capas onduladas gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro, cemento calcáreo, selección buena y moderada, subangular, láminas muy delgadas onduladas continuas de lodolita negra y láminas lenticulares medias de arenita de cuarzo de grano medio color gris claro, fragmentos de bivalvos tamaño gránulo (2% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 21**

Este segmento comprende desde 165,4 m hasta 179,6 m, tiene un espesor de 1,5m y está constituido por arcillolita (29,7%), lodolita (2,1%), limolita (1,4%), biomicrita (9,8%), bioesparita (3,5%), arenita de cuarzo de grano fino (42,2%) y arenita de cuarzo de grano medio (11,3%).

Inicia con un conjunto de 20 cm de espesor de capas onduladas muy delgadas de limolita de cuarzo, de color gris oscuro, con láminas medias de arenita de cuarzo de grano fino, fragmentos de bivalvos tamaño arena fina (2% A), ichnofósiles horizontales en tubos de 1cm de diámetro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1%).

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de capas tabulares muy delgadas de arcillolita de color gris oscuro, con laminación plano paralela, intercaladas con capas onduladas

medias de biomicrita, con textura packstone y color gris oscuro. Dentro del armazón de la biomicrita se observan fragmentos de bivalvos tamaño arena fina (80% A), foraminíferos bentónicos tamaño arena fina (20% A). La matriz de lodo calcáreo alcanza el 30% (RT). Se observan concreciones calcáreas ovaladas de 15 cm de diámetro.

Dentro de este conjunto se observan intercalaciones menores (15%) de capas onduladas medias y gruesas de bioesparita de bivalvos impura con textura rudstone. El armazón está compuesto por bivalvos tamaño guijo medio (65% A), cuarzo tamaño arena fina (20% A), y fragmentos de gasterópodos tamaño arena media (15% A). Además, se observa cemento calcáreo (30% RT). Se observan intraclastos de biomicrita tamaño arena media en la base de esta capa.

Suprayaciendo, se reconoce un conjunto de 6 m de espesor de capas tabulares y onduladas, medias a muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris claro a rosado naranja, selección moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y lentes medios de arenita de cuarzo de grano medio de color gris claro. Se observan ichnofósiles horizontales y subhorizontales en tubos de 1 cm de diámetro y bioturbación con moteado definido.

Finalizando este segmento, se observa un conjunto de 1,6 m de espesor de capas tabulares y onduladas, muy gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, de color gris muy claro, selección moderada, partículas subangulares y láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra. Bioturbación con moteado definido y presencia de ichnofósiles horizontales y subhorizontales en tubos de 1 cm de diámetro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 22**

Este segmento comprende desde 179,6 m hasta 191,5 m, tiene un espesor de 11,9 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano fino (95,8%) y arenita de cuarzo de grano fino fosilífera (4,2%).

Inicia con un conjunto de 11,4 m de espesor de capas onduladas medias a muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro a rosado naranja, selección moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra, bioturbación con moteado definido, ichnofósiles horizontales en tubos de 1cm de diámetro y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finaliza con una capa ondulosa gruesa (50 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano fino, fosilífera, color gris medio, selección moderada, partículas subangulares, fragmentos de bivalvos con ornamentación gruesa tamaño guijo medio (25%) y láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Se observan nódulos calcáreos de 15cm de diámetro, de forma ovalada.



### 5.1.1.2 Formación Los Pinos

En la sección Iza la Formación Los Pinos tiene un espesor medido de 148 m y está representada por un intervalo poco competente que forma un valle amplio entre las dos pendientes escarpadas de las Formaciones Arenisca Dura y Labor-Tierna. Figura 5-3. Los contactos inferior y superior son netos con las formaciones infra y suprayacentes, respectivamente.

Figura 5-3. Panorámica de la parte inferior de la Formación Los Pinos en la sección de Iza



#### Segmento 1

Este segmento comprende desde 0 m hasta 6,8 m y está constituido por arcillolita (88,2%), biomicrita (4,4%) y arenita de cuarzo de grano fino (7,4%).

Inicia con un conjunto de 6 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de arcillolita de color negro, con láminas delgadas a medias de arenita de cuarzo de grano fino color gris muy claro. Se observan intercalaciones (30 cm) de capas onduladas medias de biomicrita de bivalvos con textura packstone y color gris oscuro. Los bivalvos se presentan fragmentados, dispuestos en láminas plano paralelas con ornamentación delgada y de tamaño arena fina.

Suprayaciendo, conjunto de 50cm de espesor de capas onduladas medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro a gris medio claro, selección moderada, partículas subangulares, láminas medias de arenita de cuarzo de grano medio color gris claro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

**Segmento 2**

Este segmento comprende desde 6,8 m hasta 8,8 m, tiene un espesor de 2 m y está constituido por limolita (80%) y arenita de cuarzo de grano fino (20%).

Inicia con un conjunto de 1,6 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo, color gris medio oscuro, láminas delgadas a medias plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color blanco y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, capa ondulosa gruesa (40 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano fino, color gris oscuro, selección buena, partículas subredondeadas a subangulares, láminas medias onduladas continuas y lentes medios de arenita de cuarzo de grano medio y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

**Segmento 3**

Este segmento comprende desde 8,8 m hasta 14,4 m, tiene un espesor de 5,6 m y está constituido por lodolita (39,2%), biomicrita (8,9%), limolita (34%), arenita de cuarzo de grano muy fino (12,5%) y bioesparita (5,4%).

Se observa un conjunto de 1,9 m de espesor capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo, color gris oscuro, láminas delgadas plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris muy claro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Se presentan intercalaciones de capas onduladas medias de biomicrita de textura packstone, color gris medio oscuro, con fragmentos de bivalvos tamaño arena muy fina (40% A) y matriz lodosa calcárea (15% RT). Se observan concreciones calcáreas ovaladas de 15 cm de largo por 5 cm de ancho.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 2,2 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de lodolita color negro, con laminación plano paralela y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Dentro de este conjunto se presentan intercalaciones de capas onduladas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris oscuro, con selección moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas onduladas continuas de lodolita negra grisácea y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Dentro de las limolitas de cuarzo se observan concreciones calcáreas ovaladas de 15 cm de largo por 5 cm de ancho.

Finalizando este segmento, se presenta una capa ondulosa gruesa de 30 cm de espesor de bioesparita de bivalvos impura, fosfática, de textura rudstone y color gris medio oscuro. El armazón está compuesto por bivalvos tamaño guijo muy fino (43,6% A), cuarzo tamaño arena muy fina (28,9% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (19,9% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (2,4% A) y como minerales accesorios zircón, turmalina y glauconita tamaño limo grueso (5,2% A), además se observa cemento calcáreo (23,8% RT) y matriz lodosa calcárea (19% RT). Se reconoce silicificación parcial de fragmentos fósiles de bivalvos. Muestra HG-021.

**Segmento 4**

Este segmento comprende desde 14,4 m hasta 28,5 m, tiene un espesor de 14,1 m y está constituido por lodolita (68,8%), biomicrita (6,4%) y bioesparita (24,8%).

Inicia con un conjunto de 9,7 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de lodolita de color negro a gris medio oscuro, con laminación plano paralela y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Se observan intercalaciones de capas onduladas delgadas a gruesas de biomicrita de bivalvos, lodosa, con textura wackestone y packstone y color gris oscuro medio. Se observan fragmentos de ostreidos tamaño arena muy fina (35% A), tamaño arena muy fina (10% A) y cuarzo tamaño limo grueso (15% A), además matriz de lodo calcáreo (20% RT).

Suprayaciendo, conjunto de 3,5 m de espesor de capas tabulares y onduladas, muy gruesas de bioesparita de bivalvos, con textura rudstone y color gris medio oscuro a gris medio. El armazón está compuesto por fragmentos de bivalvos tamaño gránulo (80% A), fragmentos de bivalvos parcialmente silicificados tamaño arena media (11% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (8,4%) y foraminíferos bentónicos tamaño arena muy fina (0,6%), además cemento calcáreo tipo equant fino (47,8% RT) y localmente matriz lodosa calcárea (6,3% RT). Muestra HG-022.

**Segmento 5**

Este segmento comprende desde 28,5 m hasta 37,7 m, tiene un espesor de 9,2 m y está constituido por limolita (79,3%) y bioesparita (20,7%).

Inicia con un conjunto de 7,3 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo, color negro grisáceo, con láminas muy delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino de color gris claro. Se presentan intercalaciones de capas onduladas medias y muy gruesas de bioesparita de bivalvos, con textura grainstone y color gris oscuro. Los bivalvos están fragmentados y son de tamaño arena muy gruesa. Se observan niveles concrecionales en la base de las capas de bioesparita, las concreciones son aplanadas (15cm de largo por 5cm de ancho).

**Segmento 6**

Este segmento comprende desde 37,7 m hasta 59,5 m, tiene un espesor de 21,8 m y está constituido por arcillolita (91,3%), biomicrita (1,8%), arenita de cuarzo de grano fino (4,1%) y arenita de cuarzo de grano fino fosilífera (2,8%). Este segmento se encuentra parcialmente cubierto.

Inicia con un conjunto de 19,9 m de capas tabulares muy delgadas de arcillolita de color negro grisáceo, con laminación plano paralela y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). En la base de este conjunto se observa una capa ondulosa media (30 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro, selección moderada y buena, partículas subangulares, láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra, lentes medios de arenita de cuarzo de grano medio y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). En la parte media se reconoce una capa ondulosa gruesa (60cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano fino, fosilífera, con 10% (A) de fragmentos de bivalvos tamaño arena media,

color gris medio oscuro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas ondulosas continuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). En la parte superior, se presenta una capa ondulosa gruesa (40 cm de espesor) de biomicrita de bivalvos y ostreidos, con textura packstone y color gris oscuro. Los bivalvos y ostreidos se observan fragmentados (1 valva) y son de tamaño arena fina, además matriz lodosa calcárea (35% RT).

Suprayaciendo, capa tabular muy gruesa (60 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano fino, color gris claro, selección moderada y buena, partículas subangulares, láminas muy delgadas ondulosas paralelas discontinuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 7**

Este segmento comprende desde 59,5 m hasta 69,8 m, tiene un espesor de 10,3 m y está constituido por arcillolita (36%), biomicrita (37%), arenita de cuarzo de grano fino fosilífera (27%).

Inicia con un conjunto de 3,7 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de arcillolita color negro grisáceo, con láminas delgadas plano paralelas de limolita de cuarzo de color blanco y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina.

Suprayaciendo, conjunto de 3,8 m de espesor de biomicrita de foraminíferos y bivalvos, con textura wackestone y color negro grisáceo a gris medio oscuro. El armazón está compuesto por foraminíferos bentónicos tamaño arena media (45,7% A), fragmentos de foraminíferos y bivalvos tamaño arena muy fina (18,1% A), fragmentos de bivalvos tamaño arena fina (14,9% A), foraminíferos planctónicos tamaño arena fina (9,6% A), y restos de algas tamaño arena muy fina (11,7% A), además matriz de lodo calcáreo (71,9% RT). Se observan láminas delgadas plano paralelas de biomicrita de foraminíferos con textura packstone y silicificación parcial de los foraminíferos. Muestra HG-023.

Finalizando este segmento, conjunto de 2,8 m de espesor de capas tabulares medias y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, fosilífera, con 20% (A) de foraminíferos bentónicos tamaño gránulo, color gris oscuro medio a gris medio, selección moderada, partículas subangulares, láminas delgadas plano paralelas de lodolita negra y pellets fecales tamaño arena gruesa (2% A). Se observa que los fósiles están paralelos a la laminación y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 8**

Este segmento comprende desde 69,8 m hasta 80,6 m, tiene un espesor de 10,8 m y está constituido por chert (81,5%), arenita de cuarzo de grano muy fino (11,1%) y arenita de cuarzo de grano fino (7,4%).

Inicia con un conjunto de 8,8 m de espesor de capas tabulares delgadas de chert diagenético, color gris oscuro a gris medio claro, laminación plano paralela, 10% (A) de foraminíferos bentónicos tamaño gránulo dispuestos paralelos a la laminación.

Suprayaciendo, conjunto de 1,2 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio a gris medio claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas ondulosas continuas y discontinuas de lodolita negra, pellets fosfáticos tamaño arena fina (2% A), foraminíferos bentónicos tamaño arena gruesa (1% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finalizando, conjunto de 80cm de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro, selección moderada, subangular, láminas ondulosas discontinuas de lodolita negra, fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (2% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 9**

Este segmento comprende desde 80,6 m hasta 111,6 m, tiene un espesor de 31 m y está constituido por lodolita (3,2%), intervalo cubierto (91,6%), arenita de cuarzo de grano muy fino fosilífera (5,2%).

Inicia con un conjunto de 1m de espesor de capas tabulares muy delgadas de lodolita color negro grisáceo, con láminas muy delgadas plano paralelas de limolita de cuarzo y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, intervalo cubierto de 28,4 m de espesor, se infiere una composición lodolítica debido a que se observa un valle morfológico.

Finalizando, conjunto de 1,6 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, fosilífera, fosfática, color gris medio claro, selección moderada, subangular y láminas muy delgadas ondulosas discontinuas de lodolita negra. El armazón está compuesto por cuarzo tamaño arena muy fina (67,6% A), fragmentos de huesos calcáreos tamaño gránulo (15,1% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (12,4% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño gránulo (2,7% A), fragmentos de bivalvos con ornamentación gruesa tamaño guijo medio (10%) y como mineral accesorio glauconita tamaño arena muy fina (2,3% A), además matriz mezcla de lodo calcáreo y terrígeno parcialmente fosfatizada (25,8%). En muestra de mano se observan fragmentos de bivalvos con ornamentación gruesa tamaño guijo medio (10% A).

### **Segmento 10**

Este segmento comprende desde 111,6 m hasta 119,3 m, tiene un espesor de 7,7 m y está constituido por lodolita (89,6%) y arenita de cuarzo de grano muy fino (10,4%).

Está compuesto por un conjunto de 7,7 m de espesor de capas tabulares delgadas de lodolita de color gris oscuro, con láminas delgadas plano paralelas de limolita de cuarzo y arenita de cuarzo de grano muy fino color gris medio y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1%). Se observan intercalaciones (10%), de capas ondulosas medias de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio oscuro, selección moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas ondulosas paralelas

continuas de lodolita negra, fragmentos líticos tamaño arena muy fina (1% A) y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 11**

Este segmento comprende desde 119,3 m hasta 134,8 m, tiene un espesor de 15,5 m y está constituido por lodolita (71,6%), arenita de cuarzo de grano muy fino (0,6%) y arenita de cuarzo de grano fino (27,8%).

Inicia con un conjunto de 10 m de espesor de capas tabulares delgadas de lodolita de color gris oscuro, con láminas delgadas plano paralelas de limolita de cuarzo y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (2%). Se observan delgadas intercalaciones de capas onduladas delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino y color gris claro medio.

Se observa un conjunto de 5,5 m de espesor de capas medias a muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro a gris claro, selección moderada, partículas subredondeadas a subangulares, láminas muy delgadas onduladas paralelas continuas de lodolita negra, fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena muy gruesa (3% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Localmente, reconoce grado de bioturbación con moteado definido. Se presentan intercalaciones de capas tabulares muy delgadas de lodolita negra a gris oscuro con laminación plano paralela.

### **Segmento 12**

Este segmento comprende desde 134,8 m hasta 137,2 m, tiene un espesor de 2,4 m y está constituido por limolita (58,3%) y arenita de cuarzo de grano fino (41,7%).

Inicia con un conjunto de 1,4 m de espesor de capas tabulares delgadas de limolita de color negro, con láminas delgadas onduladas continuas y lentes delgados de arenita de cuarzo de grano muy fino color gris muy clara y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Se presentan intercalaciones de capas onduladas medias de arenita de cuarzo de grano fino, color negro grisáceo, selección moderada, partículas subangulares, con láminas muy delgadas onduladas continuas de lodolita negra y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, conjunto de 1m de espesor de capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas onduladas paralela continuas de lodolita negra, fragmentos de bivalvos tamaño guijo fino (5%) y muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Se observan intercalaciones menores de capas muy delgadas de limolita de cuarzo.

### **Segmento 13**

Este segmento comprende desde 137,2 m hasta 146,1 m, tiene un espesor de 8,9 m y está constituido por lodolita (84,3%), arenita de cuarzo de grano muy fino (12,4%) y arenita de cuarzo de grano muy fino fosilífera (3,3%). Segmento parcialmente cubierto.

Inicia con un conjunto de 7,5 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de lodolita color gris medio, con láminas muy delgadas y lentes muy delgados de arenita de cuarzo de grano muy fino y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, capa tabular gruesa (1,1 m de espesor) de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio oscuro, selección moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas ondulosas continuas de lodolita negra y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finaliza con un capa ondulosa media (30 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano muy fino, fosilífera, color gris medio, selección moderada, subangular, fragmentos de bivalvos tamaño gránulo a guijo fino (15% A), pellets fosfáticos tamaño arena media (5% A), láminas muy delgadas ondulosas discontinuas de lodolita negra y porosidad secundaria móldica (3% RT).

#### **Segmento 14**

Este segmento comprende desde 146,1 m hasta 148 m, tiene un espesor de 1,9 m y está constituido por lodolita (84,2%) y limolita de cuarzo (15,8%).

Inicia con una capa tabular media (30 cm de espesor) de limolita de cuarzo, color gris oscuro medio, con fragmentos de bivalvos tamaño guijo muy fino a guijo grueso (25%) paralelos a la laminación. Se observa porosidad secundaria móldica (5%)

Suprayaciendo, se presenta un conjunto 1,6 cm de capas tabulares muy delgadas de lodolita de color negro, con láminas muy delgadas plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy fino color gris muy claro, pellets fosfáticos tamaño arena media a gránulo concentrados en láminas (15% A), fragmentos de bivalvos con ornamentación gruesa tamaño guijo medio (5% A) y muscovita como mineral accesorio (1% A).

### 5.1.1.3 Formación Labor-Tierna

En la Sección de Iza la Formación Labor-Tierna tiene un espesor medido de 160,8 m y se encuentra formando pendientes más abruptas que las de la Formación Arenisca Dura, Figura 5-4. Su contacto inferior es neto con la Formación Los Pinos al igual que el contacto superior con la Formación Guaduas.

Figura 5-4. Panorámica de la parte superior de la Formación Labor-Tierna en la Sección de Iza.



#### Segmento 1

Este segmento comprende desde 0 m hasta 4,3 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano fino.

Se observa un conjunto de 4,3 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, color gris medio oscuro a gris medio, láminas muy delgadas a delgadas onduladas continuas, fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media (2% A), fragmentos de bivalvos tamaño arena gruesa (1% A) y grado de bioturbación con moteado definido. Se observan ichnofósiles horizontales y verticales en tubos de 2 mm a 0,5 cm de diámetro y muscovita tamaño arena muy fina (1% A) como mineral accesorio.

#### Segmento 2

Este segmento comprende desde 4,3 m hasta 7,9 m, tiene un espesor de 3.6 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (30,6%) y arenita de cuarzo de grano fino (69,4%).



Inicia con una capa tabular gruesa (1,1 m de espesor) de arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, fosfática, con selección moderada, partículas subangulares, color gris muy claro, láminas muy delgadas ondulosas discontinuas de lodolita negra, pellets fecales fosfáticos tamaño arena muy fina (15,5% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces (0,9 % A) y como minerales accesorios zircón, glauconita y turmalina tamaño arena muy fina (4,7%). Se observa bioturbación con moteado definido y difuso. Muestra HG-031.

Finalizando este segmento, se presenta conjunto de 2,5 m de espesor de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, color gris medio a gris medio claro, láminas muy delgadas ondulosas continuas de lodolita negra y como mineral accesorio glauconita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 3**

Este segmento comprende desde 7,9 m hasta 14,3 m, tiene un espesor de 6,4 m y está constituido por limolita (40,6%), arenita de cuarzo de grano muy fino (34,4%) y arenita de cuarzo de grano muy fino fosfática (25%).

Inicia con un conjunto de 2,6 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo, color gris medio oscuro, con láminas plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy fino, ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 mm de diámetro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Se observan intercalaciones de capas ondulosas medias de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, color gris medio, con láminas ondulosas continuas de lodolita negra, ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 mm de diámetro y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finalizando, se reconoce un conjunto de 1,6 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, fosfática, color gris medio a gris medio claro, con selección moderada, partículas subangulares y láminas muy delgadas ondulosas continuas de lodolita negra. El armazón está compuesto por cuarzo tamaño arena muy fina (62,7% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (16,7% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media (11,6% A), foraminíferos bentónicos tamaño arena media (1,7% A) y como minerales accesorios zircón, glauconita y turmalina tamaño limo grueso (7,3 % A). Además, se presenta matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (34,1 % RT) y porosidad secundaria móldica (1,4% RT). Muestras HG-032 y HG-033.

### **Segmento 4**

Este segmento comprende desde 14,3 m hasta 24 m, tiene un espesor de 9,7 m y está constituido por fosforita (41,2%), limolita (3,1%), arcillolita parcialmente silicificada (25,8%), arenita de cuarzo de grano muy fino (19,6%) y arenita de cuarzo de grano fino (10,3%).

Inicia con una capa tabular gruesa (1 m de espesor) de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos (49,1%) tamaño arena media y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño gránulo (24,7%). El armazón incluye cuarzo tamaño arena muy fina (25,6%),

foraminíferos bentónicos tamaño arena gruesa (0,3%) y glauconita tamaño limo grueso (0,3%), además matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (28,6% RT) y porosidad secundaria móldica (1,3%). Muestras HG-034B y HG-034T.

A continuación, se presenta una capa tabular media (30 cm de espesor) de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (29,7%). El armazón incluye cuarzo tamaño arena muy fina (37,9% A), foraminíferos bentónicos parcialmente fosfatizados tamaño arena media (15,9% A), foraminíferos planctónicos parcialmente fosfatizados tamaño arena fina (8,2% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño gránulo (3,7% A) y glauconita tamaño limo grueso (4,4% A), además se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (45,7% RT) y porosidad secundaria móldica (2,7% RT). Muestra HG-035.

Suprayaciendo, se reconoce una capa tabular gruesa (1,6 m de espesor) de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (45,4%) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (11,6%). El armazón incluye cuarzo tamaño arena muy fina (40,2% A), foraminíferos bentónicos parcialmente fosfatizados tamaño arena gruesa (0,8% A), equinodermos tamaño arena muy fina (0,4% A), fragmentos de algas tamaño arena gruesa (0,4%) y como minerales accesorios glauconita, zircón y turmalina tamaño arena muy fina (1,2%), además matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (41,2% RT). Muestras HG-036B y HG-036T.

A continuación, se localiza una capa tabular gruesa de (90 cm de espesor) de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (43,4%) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (16,3%). El armazón incluye cuarzo tamaño arena muy fina (37,8% A), intraclastos fosfáticos tamaño arena gruesa (0,8% A) y glauconita tamaño arena muy fina (1,6%), además matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (22,5% RT). Muestras HG-037B y HG-037T.

Suprayaciendo, se observa un conjunto de 2,5 m de espesor de capas tabulares delgadas a medias de arcillolita gris oscura parcialmente silicificada, con foraminíferos bentónicos tamaño arena muy fina (5% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena muy fina (2% A) y cuarzo tamaño limo fino (10%). Muestra HG-038.

A continuación, distingue un conjunto de 1,9 m de espesor de capas tabulares delgadas a medias de arenita de cuarzo de grano muy fino, con selección moderada, partículas subangulares, color gris medio oscuro, láminas lenticulares medias de arenita de cuarzo de grano medio y láminas muy delgadas onduladas continuas de lodolita negra. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A).

Finalizando este segmentos se presenta un conjunto de 1 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, color gris medio claro, láminas muy delgadas plano paralelas de lodolita negra. Se observan, pellets fecales fosfáticos tamaño arena media y gruesa (3% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño gránulo (2% A).

**Segmento 5**

Este segmento comprende desde 24 m hasta 27,2 m, tiene un espesor de 3,2 m y está constituido por lodolita (6,3%) y arenita de cuarzo de grano muy fino fosfática (93,7%).

Inicia con un conjunto de capas tabulares muy delgadas de lodolita color gris oscuro, con láminas delgadas plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy fino y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, reconoce un conjunto de 3 m de espesor de capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano muy fino, fosfática, con cemento calcáreo, selección moderada, partículas subangulares, color gris medio y láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Se observan, pellets fosfáticos tamaño arena media y gruesa (10% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa a gránulo (10% A) y bioturbación con moteado definido. Las partículas fosfáticas están dispuestas en láminas plano paralelas.

**Segmento 6**

Este segmento comprende desde 27,2 m hasta 35,6 m, tiene un espesor de 8,4 m y está constituido por lodolita (9,5%), limolita de cuarzo (17,9%), arenita de cuarzo de grano muy fino (40,5%) y arenita de cuarzo de grano fino (32,1%).

Inicia con un conjunto de 1,5 m de espesor de capas tabulares medias de limolita de cuarzo de grano grueso, color gris medio, con matriz lodosa terrígena (47,5% RT), pellets fecales fosfáticos (2,4% A), láminas delgadas onduladas discontinuas y lámina lenticulares de arenita de cuarzo de grano muy fino. Como minerales accesorios glauconita, turmalina, zircón y muscovita tamaño limo grueso (10,7% A). Muestra HG-039.

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 3,4 m de espesor de capas tabulares delgadas a medias de arenita de cuarzo de grano muy fino, con selección buena y moderada, partículas subangulares, color gris medio y láminas delgadas plano paralelas y onduladas continuas de arenita de cuarzo de grano fino. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finalizando, se localiza un conjunto de 41,6 m de capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, color gris medio claro y láminas muy delgadas de plano paralelas de lodolita negra. Se observan intercalaciones de capas tabulares muy delgadas lodolita negra (9,5%) con láminas muy delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

**Segmento 7**

Este segmento comprende desde 35,6 m hasta 40,3 m, tiene un espesor de 4,7 m y está constituido por limolita de cuarzo (10.6%) y arenita de cuarzo de grano fino (89.4%).

Inicia con un conjunto de 50 cm de espesor de capas tabulares delgadas de limolita de cuarzo de color gris medio claro, con láminas muy delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se reconoce un conjunto de 4,2 m de espesor de capas tabulares medias de arenita de cuarzo de grano fino, con selección buena y moderada, partículas subangulares, color gris medio a gris muy claro, láminas delgadas a medias plano paralelas y onduladas continuas de arenita de cuarzo de grano medio y muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Localmente, se observa estratificación cruzada.

### **Segmento 8**

Este segmento comprende desde 40,3 m hasta 44,7 m, tiene un espesor de 4,4 m y está constituido por limolita de cuarzo (31,8%) y arenita de cuarzo de grano fino (68,2%).

Inicia con un conjunto de 30 cm de espesor de limolita de cuarzo de grano grueso, con matriz lodosa (31,3% RT) y láminas delgadas plano paralela y láminas lenticulares delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino. Como minerales accesorios muscovita, glauconita, turmalina y zircón tamaño limo grueso (7,7% A). Muestra HG-040.

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 2,9 m de espesor de capas tabulares delgadas a medias de arenita de cuarzo de grano fino, con selección buena y moderada, partículas subangulares, color gris oscuro medio a gris claro, láminas delgadas onduladas continuas de lodolita negra y láminas lenticulares delgadas de arenita de cuarzo de grano medio color gris medio. Intercaladas, con capas tabulares muy delgadas de limolita de cuarzo de color gris medio oscuro, con láminas delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finalizando, se localiza un conjunto de 1,2 m de espesor de capas tabulares delgadas de arenita de cuarzo de grano fino, selección buena y partículas subangulares, color gris claro, láminas delgadas plano paralelas de limolita de cuarzo y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A). Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 cm de diámetro.

### **Segmento 9**

Este segmento comprende desde 44,7 m hasta 55,5 m, tiene un espesor de 10,8 m y está constituido por lodolita (14,8%), arenita de cuarzo de grano fino (73,1%) y arenita de cuarzo de grano medio (12,1%).

Inicia con un conjunto de 1,6 m de espesor de capas tabulares delgadas y medias lodolita de color gris claro, con cuarzo tamaño limo grueso (40,1% A), matriz arcillosa (50,9% RT), pellets fecales fosfáticos tamaño arena muy fina (1,3% A) y láminas delgadas plano paralelas y onduladas de arenita de cuarzo de grano fino color gris medio claro. Como minerales accesorios glauconita tamaño limo grueso (4,4% A), muscovita y zircón tamaño limo grueso (1,3% A). Muestra HG-041.

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 6,4 m de espesor de capas onduladas delgadas a gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, con selección buena y moderada, partículas subangulares, color gris claro, láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y láminas delgadas plano paralelas de limolita de cuarzo color gris medio. Se observan foraminíferos bentónicos tamaño arena gruesa (2% A) e ichnofósiles ramificados en tubos de 1cm de diámetro. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A). Localmente, se observa bioturbación con moteado definido y estratificación cruzada.

Suprayaciendo, se reconoce una capa ondulosa muy gruesa (1,5 m de espesor) de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, color gris medio claro y láminas muy delgadas plano paralelas de arenita de cuarzo de grano medio color gris claro. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finalizando, se distingue una capa ondulosa muy gruesa (1,3 m de espesor) de arenita de cuarzo de grano medio, con selección moderada, partículas subangulares, color gris muy claro y láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A).

### **Segmento 10**

Este segmento comprende desde 55,5 m hasta 72,6 m, tiene un espesor de 17,1 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (2,4%), arenita de cuarzo de grano fino (7%), arenita de cuarzo de grano medio (21%) y arenita de cuarzo de grano grueso (48%).

Inicia con un conjunto de 4,1 m de espesor de capas onduladas delgadas a gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, con matriz lodosa terrígena (26,4% RT), selección buena y moderada, partículas subangulares, color gris claro a gris muy claro y láminas muy delgadas y delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra. Como minerales accesorios glauconita tamaño arena muy fina (6,4% A), muscovita, zircón y turmalina tamaño arena muy fina (4.4% A). Muestra HG-042.

Suprayaciendo, se observa un conjunto de 1,2 m de espesor de capas onduladas medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares y láminas muy delgadas onduladas paralelas continuas de lodolita negra. Como mineral accesorio glauconita tamaño arena muy fina (2% A).

A continuación, se reconoce un conjunto de 3,6 m de espesor de capas onduladas medias a muy gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, con selección buena, partículas subangulares, friable, color gris muy claro y láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Se observan partículas de cuarzo bipiramidal rosado (2% A) y muscovita tamaño arena fina (1% A) como mineral accesorio.

Finalizando, se localiza un conjunto de 8,2 m de espesor de capas onduladas medias a muy gruesas de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección moderada, partículas subangulares, friable, color gris medio claro, láminas muy delgadas onduladas

discontinuas de lodolita negra. Se observan partículas de cuarzo bipiramidal rosado (1% A) y como minerales accesorios glauconita tamaño arena fina (2% A) y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 11**

Este segmento comprende desde 72,6 m hasta 83,8 m, tiene un espesor de 11,2 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano fino (60%) y arenita de cuarzo de grano medio (40%).

Inicia con un conjunto de 6,7 m de espesor de capas onduladas muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, friable, color gris claro a gris muy claro, matriz lodosa terrígena (18,7 % RT), láminas muy delgadas plano paralelas y onduladas continuas de lodolita negra y láminas medias de arenita de cuarzo de grano medio. Se observan ichnofósiles ramificados y como minerales accesorios glauconita y zircón tamaño arena muy fina (1,6% A). Muestras HG-043 y HG-044.

Suprayaciendo, se reconoce un conjunto de 4,5 m de espesor de capas onduladas muy gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, con selección buena y moderada, partículas subangulares, friable, color gris claro y láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Se observan fragmentos líticos tamaño arena media (2% A) y como minerales accesorios muscovita tamaño arena fina (1% A) y glauconita tamaño arena media (1% A).

### **Segmento 12**

Este segmento comprende desde 83,8 m hasta 93,3 m, tiene un espesor de 9,5 m y está constituido por limolita de cuarzo (1,1%), arenita de cuarzo de grano medio (57,9%) y arenita de cuarzo de grano grueso (41%).

Inicia con una capa delgada (10 cm de espesor) de limolita de cuarzo color gris medio, con laminación plano paralela y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se distingue un conjunto de 5,5 m de espesor de capas onduladas de arenita de cuarzo de grano medio, glauconítica (10,5% A), con selección moderada y buena, partículas subangulares, friable, matriz lodosa terrígena (7,6% RT), cemento silíceo (1,5% RT) y porosidad primaria interparticular (6,7% RT). Se observan, láminas muy delgadas y delgadas onduladas paralelas discontinuas de lodolita negra y cuarzo bipiramidal rosado tamaño arena gruesa a gránulo (2% A). Muestra HG-045.

Finalizando, se localiza un conjunto de 3,9 m de espesor de capas onduladas y lenticulares gruesas y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección moderada, partículas subangulares, friable, color gris claro, láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y láminas medias plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy grueso. Se observan partículas de cuarzo bipiramidal rosado (2% A) y como minerales accesorios glauconita tamaño arena media (3% A) y muscovita tamaño arena fina (1% A). Localmente se reconoce estratificación cruzada.

**Segmento 13**

Este segmento comprende desde 93,3 m hasta 106,5m, tiene un espesor de 13,2 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano medio (46,2%) y arenita de cuarzo de grano grueso (53,8%).

Inicia con un conjunto 6,1 m de espesor de capas onduladas gruesas y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, con selección moderada y pobre, partículas subangulares, friable, color gris medio claro a gris claro y láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Se observan, partículas de cuarzo bipiramidal rosado tamaño gránulo y como minerales accesorios glauconita y muscovita tamaño arena media (5% A).

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 7,1 m de espesor de capas onduladas gruesas de arenita de cuarzo de grano grueso, selección moderada, subangular, color gris claro, friable, láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y láminas medias plano paralelas de conglomerado de cuarzo tamaño gránulo. Se observan partículas de cuarzo bipiramidal rosado tamaño guijo fino (1% A) y estratificación cruzada.

**Segmento 14**

Este segmento comprende desde 106,5 m hasta 108 m, tiene un espesor de 1,5 m y está constituido por limolita de cuarzo (6,7%) y arenita de cuarzo de grano medio (93,3%).

Inicia con una capa ondulosa delgada (10 cm de espesor) de limolita de cuarzo de color negro, con laminación plano paralela y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 1,4 m de espesor de capas onduladas gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, friable, matriz lodosa terrígena (6,6% RT), cemento silíceo por sobrecrecimiento (3% RT) y porosidad primaria (13% RT). Se observan, láminas delgadas onduladas continuas de lodolita negra, fragmentos líticos sedimentarios tamaño arena media (0,8% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena media (0,8% A). Muestra HG-046.

**Segmento 15**

Este segmento comprende desde 108 m hasta 111,1 m, tiene un espesor de 3,1 m y está constituido por limolita de cuarzo (6,5%) y arenita de cuarzo de grano grueso (93,5%).

Inicia con un capa lenticular delgada (20 cm de espesor) de limolita de cuarzo de color negro, con láminas delgadas onduladas continuas de arenita de cuarzo de grano muy fino de color gris claro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena media (1% A).

Suprayaciendo, se localiza un conjunto de 2,9 m de espesor de capas onduladas medias a muy gruesas de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección moderada, partículas subangulares, friable, color gris claro a gris muy clara y láminas delgadas onduladas

continuas y discontinuas de lodolita negra. Se observan, partículas de cuarzo bipiramidal rosado tamaño arena muy gruesa a guijos muy fino (2% A).

### **Segmento 16**

Este segmento comprende desde 111,1 m hasta 117,2 m, tiene un espesor de 6,1 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano fino (9,8%), arenita de cuarzo de grano medio (39,5%) y arenita de cuarzo de grano grueso (50,8%).

Inicia con un conjunto 60 cm de espesor de capas onduladas medias de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, color gris muy claro, láminas delgadas onduladas paralelas continuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena media (1% A).

Suprayaciendo, se reconoce un conjunto de 2,4 m de espesor de capas onduladas delgadas y medias de arenita de cuarzo de grano medio, glauconítica (10,5% A), con matriz lodosa terrígena (6,2% RT), porosidad primaria (11,9%), selección moderada, partículas subangulares y friable. Se observan, láminas onduladas continuas y discontinuas delgadas y gruesas de lodolita negra y láminas gruesas de arenita de cuarzo de grano muy grueso de color gris muy claro. Se presenta fragmentos líticos sedimentarios tamaño arena media (0,7% A), cuarzo bipiramidal rosado tamaño gránulo (2% A) y como minerales accesorio turmalina y zircón tamaño arena fina (1,8% A). Muestra HG-047.

Finalizando este segmento, aflora un conjunto de 3,1 m de espesor de capas onduladas delgadas a muy gruesas de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección moderada, partículas subangulares y friable. Se observan, láminas delgadas y gruesas onduladas continuas de lodolita negra, cuarzo bipiramidal rosado tamaño gránulo (1% A) y como minerales accesorios glauconita y muscovita tamaño arena fina (3% A).

### **Segmento 17**

Este segmento comprende desde 117,2 m hasta 128,1 m, tiene un espesor de 10,9 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (13,8%), arenita de cuarzo de grano fino (5,5%), arenita de cuarzo de grano medio (22%), arenita de cuarzo de grano grueso (36,7%) y arenita de cuarzo de grano muy grueso (22%).

Inicia con un conjunto de 1,5 m de espesor de capas onduladas muy delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino, con selección moderada, partículas subangulares, friable, color gris muy claro, laminación flaser y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se localiza un conjunto de 60 cm de espesor de capas onduladas medias de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada y buena, partículas subangulares, friable, color gris claro, láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).



A continuación, se presenta un conjunto de 2,4 m de espesor de capas tabulares y onduladas medias de arenita de cuarzo de grano medio, con selección buena y moderada, partículas subangulares y color gris medio claro. Se observan, láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (3% A).

Suprayaciendo, se distingue un conjunto de 4 m de espesor de capas onduladas gruesas y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección moderada, partículas subangulares, friable, de color gris medio claro a gris claro y láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Se observan, partículas de cuarzo bipiramidal tamaño gránulo (2% A) y como minerales accesorios glauconita y muscovita tamaño media (3% A).

Finalizando este segmento, aflora un conjunto de 2,4 m de espesor de capas onduladas muy gruesas de arenita de cuarzo de grano muy grueso, con selección moderada, partículas subangulares, friable, de color gris medio claro y láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Se observan partículas de cuarzo bipiramidal rosado tamaño guijo fino (1% A) y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena gruesa (2% A). Localmente, se reconoce estratificación cruzada.

### **Segmento 18**

Este segmento comprende desde 128,1 m hasta 133,7 m, tiene un espesor de 5,6 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano medio (23,2%) arenita de cuarzo de grano grueso (60,7%) y arenita de cuarzo de grano muy grueso (16,1%).

Inicia con un conjunto de 1,3 m de espesor de capas onduladas muy gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, limosa y glauconítica, n selección moderada, partículas subangulares, matriz limosa terrígena (11% RT), friable, de color gris medio claro y láminas delgadas onduladas continuas de lodolita negra. Se observan, fragmentos líticos tamaño arena media (1,1% A) y como mineral accesorio zircón tamaño arena muy fina (1,8% A). Muestra HG-048.

Suprayaciendo, se reconoce un conjunto de 3,4 m de espesor de capas onduladas delgada a gruesas de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección buena y moderada, partículas subangulares, friable, de color gris oscuro a gris medio claro, láminas delgadas onduladas continuas de lodolita negra. Se observan partículas de cuarzo bipiramidal rosado tamaño arena media (2% A) y como glauconita y muscovita tamaño arena media (3% A).

Finalizando este segmento, aflora una capa ondulosa muy gruesa (90 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano muy grueso, con selección buena y moderada, partículas subangulares, friable, color gris medio claro, láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra, fragmentos líticos tamaño arena gruesa (1% A) y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena media (3% A). Localmente, se observa estratificación cruzada.

**Segmento 19**

Este segmento comprende desde 133,7 m hasta 139,7 m, tiene un espesor de 6 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano fino (85%), arenita de cuarzo de grano medio (6,7%) y arenita de cuarzo de grano grueso (8,3%).

Inicia con un conjunto de 5,1 m de espesor de capas onduladas delgadas y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, con selección buena y moderada, partículas subangulares, friable, color gris medio oscuro a gris muy claro, láminas delgadas onduladas continuas de lodolita negra, fragmentos líticos tamaño arena fina (2% A) y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena muy fina (2% A). Se observa estratificación cruzada.

Suprayaciendo, se localiza una capa ondulosa gruesa (40 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano medio, con selección buena y moderada, partículas subangulares, friable, color gris medio claro, láminas delgadas onduladas continuas y muscovita tamaño arena fina (1% A). Se observa estratificación cruzada.

Finalizando este segmento, aflora una capa ondulosa gruesa (50 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección moderada, partículas subangulares, friable, color gris medio, láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

**Segmento 20**

Este segmento comprende desde 139,7 m hasta 144,6 m, tiene un espesor de 4,9 m y está constituido por lodolita (85,7%), arenita de cuarzo de grano medio (10,2%) y arenita de cuarzo de grano muy grueso (4,1%).

Inicia con un conjunto de 4,2 m de espesor de capas tabulares delgadas de lodolita de color negro, con láminas gruesas onduladas continuas de arenita de cuarzo de grano fino color gris clara y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 50 cm de espesor de capas onduladas medias de arenita de cuarzo de grano medio, con selección buena y moderada, partículas subangulares, friable, color gris claro y láminas onduladas discontinuas de lodolita negra. Se observan partículas de cuarzo bipiramidal rosado tamaño gránulo (1% A) y glauconita tamaño arena gruesa (3% A). Se reconoce estratificación lenticular.

Finalizando este segmento, aflora una capa ondulosa media (20 cm de espesor) de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección buena y moderada, partículas subangulares, friable, color gris clara, láminas muy delgadas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (2% A) y glauconita tamaño arena media (1% A). Se observa estratificación cruzada.

**Segmento 21**

Este segmento comprende desde 144,6 m hasta 146.7 m, tiene un espesor de 2,1 m y está constituido por limolita de cuarzo (4,8%), arenita de cuarzo de grano medio (47,6%) y arenita de cuarzo de grano grueso (47,6%).

Inicia con una capa ondulosa media (10 cm de espesor) de limolita de cuarzo de color gris oscuro, con laminación plano paralela y muscovita tamaño arena muy fina (1% A) como mineral accesorio.

Suprayaciendo, se localiza un conjunto de 1 m de espesor de capas ondulosas gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, con selección mala, partículas subangulares, friable, matriz limosa terrígena (4,9% RT), porosidad primaria (12,2% RT), color gris medio claro y láminas delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y láminas lenticulares gruesas de arenita de cuarzo de grano muy grueso de color gris claro. Como minerales accesorios glauconita tamaño arena media (5,1% A) y turmalina tamaño arena muy fina (0,4% A). Se observa estratificación lenticular. Muestra HG-049.

Finalizando este segmento, aflora un conjunto de 1 m de espesor de capas onduladas gruesas de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección buena y moderada, partículas subangulares, friable, color gris medio a gris claro y láminas delgadas y medias onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra. Se observan partículas de cuarzo bipiramidal rosado tamaño guijo fino (2% A) y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (3% A).

**Segmento 22**

Este segmento comprende desde 146,7 m hasta 15,1 m, tiene un espesor de 6,4 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano fino (43,8%) y arenita de cuarzo de grano grueso (56,2%).

Inicia con un conjunto de 2,8 m de espesor de capas onduladas muy delgadas de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada y buena, partículas subangulares, friable, color gris medio claro, láminas muy delgadas y delgadas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se localiza un conjunto de 3,6 m de espesor de capas onduladas medias y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano grueso, con selección moderada, partículas subangulares, friable, matriz limosa terrígena (1,5% RT), cemento silíceo por sobrecrecimiento (6,1% RT), porosidad primaria (16% RT), color gris medio a gris muy claro y láminas delgadas y medias de lodolita de color negro. Se observan, pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (0,8% A), fragmentos de bivalvos tamaño arena media (0,4% A) y como minerales accesorios pirita tamaño arena muy fina, glauconita y turmalina tamaño arena media (1,2% A). Muestra HG-050.

**Segmento 23**

Este segmento comprende desde 153,1 m hasta 156,4 m, tiene un espesor de 3,3 m y está constituido por lodolita (3%), arenita de cuarzo de grano grueso (30,3%) y arenita de cuarzo de grano muy grueso (66,7%).

Inicia con una capa ondulosa media (10 cm de espesor) de lodolita negra con laminación plano paralela y muscovita tamaño arena muy fina (1% A) como mineral accesorio.

Suprayaciendo, presenta un conjunto de 1 m de espesor de capas ondulosas gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, con selección moderada, partículas subangulares, friable, color gris medio a gris claro y láminas muy delgadas ondulosas continuas de lodolita negra. Se observan partículas de cuarzo bipiramidal rosado tamaño guijo fino (2% A) y muscovita tamaño arena media (1% A). Se reconoce estratificación cruzada.

Finalizando este segmento, aflora un conjunto de 2,2 m de espesor de capas ondulosas medias de arenita de cuarzo de grano muy grueso, con selección moderada, partículas subangulares, friable, color gris muy claro y láminas muy delgadas ondulosas discontinuas. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena media (1% A). Se observa estratificación cruzada.

**Segmento 24**

Este segmento comprende desde 156,4 m hasta 160,8 m, tiene un espesor de 4,4 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano fino (77,3%) y arenita de cuarzo de grano medio (22,7%).

Inicia con un conjunto de 3,4 m de espesor de capas ondulosas medias de arenita de cuarzo de grano fino, con selección moderada, partículas subangulares, friable, color gris muy claro, láminas muy delgadas a gruesas ondulosas continuas de lodolita negra y como minerales accesorios glauconita tamaño arena fina (2% A) y muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se presenta una capa tabular gruesa (1m de espesor) de arenita de cuarzo de grano medio, con selección pobre, partículas subangulares, friable, color gris claro, láminas ondulosas discontinuas de lodolita negra, intraclastos de lodolita gris oscura tamaño guijo medio (3% A) y como mineral accesorio glauconita tamaño arena media (2% A).

## 5.1.2 Sección Cuitiva

En la carretera que comunica los municipios de Iza y Cuitiva, en jurisdicción de la Vereda Canoas, se realizó el levantamiento de la parte inferior del Grupo Guadalupe correspondiente a la Formación Arenisca Dura (Aloformación Guadalupe Inferior), debido a que esta formación es la que presenta la mayor concentración de intervalos fosfáticos (Figura 5-5, Anexo B). La base de la Formación Arenisca Dura fue descrita en la Quebrada Canoas, la cual corre paralela a la carretera que comunica los municipios de Iza y Cuitiva y la parte superior en la carretera.

Figura 5-5. Panorámica de la parte superior de la Formación Arenisca Dura en la Sección de Cuitiva.



### 5.1.2.1 Formación Arenisca Dura

En la Sección de Cuitiva la Formación Arenisca Dura tiene un espesor medido de 189 m en la, esta se encuentra formando pendiente escarpadas, Figura 5-6. Los contactos inferior y superior son netos con la Formación Chipaque y la Formación Los Pinos, respectivamente.

#### Segmento 1

Este segmento comprende desde 0 m hasta 3,3 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano fino.

Está compuesto por un conjunto de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio a gris claro, selección moderada, particulares subangulares y cemento calcáreo. Se observan láminas muy delgadas y delgadas plano paralelas y onduladas continuas de lodolita negra y láminas medias y gruesas plano paralelas de arenita de cuarzo fosfática con 15% (A) de pellets fosfáticos tamaño arena media. Además, ichnofósiles horizontales en tubos de 1 cm de diámetro y como mineral accesorio glauconita tamaño arena fina (1% A).

Figura 5-6. Panorámica de la parte superior de la Formación Arenisca Dura, Sección Cuitiva.



### Segmento 2

Este segmento comprende desde 3,3 m hasta 6,9 m, tiene un espesor de 3,6 m y está constituido por limolita de cuarzo 58,4%, arenita de cuarzo de grano muy fino 8,3%, arenita de cuarzo de grano fino 20,8% y arenita de cuarzo de grano medio 12,5%.

Inicia con un conjunto de 2,1 m de espesor de capas tabulares delgadas de limolita de cuarzo de color gris oscuro, con laminación plano paralela, foraminíferos bentónicos tamaño arena media y gruesa (1% A), pellets fosfáticos tamaño arena media (1% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 75 cm de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro, selección moderada, subangular y cemento calcáreo. Se observan láminas muy delgadas onduladas paralelas continuas, discontinuas y láminas lenticulares delgadas de lodolita negra, pellets fosfáticos tamaño arena media (1% A), ichnofósiles horizontales en tubos de 0,8 cm de diámetro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A). Hacia la parte superior de este conjunto se encuentra una capa tabular media (30 cm de espesor), de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris oscuro medio, selección moderada, partículas subangulares, con láminas delgadas a medias plano paralelas de arenita de cuarzo de grano fino con cemento calcáreo, color gris medio claro e intraclastos de lodolita tamaño arena muy gruesa (2% A). Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finalizando este segmento, se presenta un conjunto de 45 cm de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris medio claro, selección moderada, subangular y cemento calcáreo. Se observan láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y láminas lenticulares medias de arenita de cuarzo de grano fino. Además, ichnofósiles horizontales en tubos de 1 cm de diámetro, pellets fosfáticos tamaño arena fina (1% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media y gruesa (1% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A).

**Segmento 3**

Este segmento comprende desde 6,9 m hasta 10,05 m, tiene un espesor de 3,15 m y está constituido por lodolita (42,9%) y arenita de cuarzo de grano fino (57,1%).

Inicia con un conjunto de 1,35 m de espesor de capas tabulares delgadas de lodolita de color negro grisáceo, con láminas delgadas y medias plano paralelas de arenita de cuarzo calcárea de grano muy fino. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1%).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 1,8 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro, selección moderada, subangular y cemento calcáreo. Se observan láminas medias a gruesas plano paralelas de arenita de cuarzo fosfática de grano fino, con pellets fosfáticos tamaño arena media y gruesa (20% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (10% A). Como mineral accesorio glauconita tamaño arena fina (1% A).

**Segmento 4**

Este segmento comprende desde 10,05 m hasta 15,6 m, tiene un espesor de 5,55 m y está constituido por biomicrita (5,4%), arenita de cuarzo de grano fino (54,1%) y arenita de cuarzo de grano medio (40,5%).

Inicia con una capa tabular gruesa de 30 cm de espesor de biomicrita de foraminíferos impura, con textura packstone, color gris medio claro y matriz mezcla de lodo calcáreo y terrígeno (28,7% RT). El armazón está compuesto por foraminíferos bentónicos tamaño arena fina (51% A), cuarzo tamaño limo grueso (35% A), foraminíferos planctónicos tamaño arena muy fina (6% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (5% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces (3% A). Se observan láminas plano paralelas de bioesparita impura (15,7%) y como minerales accesorios glauconita tamaño limo grueso (2,7% A) y muscovita tamaño arena muy fina (0,5% A). Muestra HG-060.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 3 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo fosfática de grano fino, color gris medio oscuro a gris medio claro, selección moderada y partículas subangulares. Se observan láminas muy delgadas y delgadas onduladas continuas y plano paralelas de lodolita negra y lentes gruesos de arenita de cuarzo de grano fino. Además, pellets fosfáticos tamaño arena media y gruesa (10% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa a muy gruesa (15% A) y como minerales accesorios muscovita tamaño arena fina (1% A) y pirita diseminada (2% A).

Finalizando el segmento, se observa un conjunto de 2,25 m de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris medio oscuro, selección moderada, subangular, con láminas muy delgadas y delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y lentes gruesos de arenita de cuarzo de grano medio gris muy clara. Se presentan pellets fosfáticos tamaño arena media y gruesa (2% A), fragmentos de huesos de peces tamaño arena gruesa (1% A), bivalvos fosfatizados tamaño guijo medio (2% A), como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A) y porosidad secundaria móldica (2% RT).

**Segmento 5**

Este segmento comprende desde 15,6 m hasta 24 m, tiene un espesor de 8,4 m y está constituido por limolita (31%) y arenita de cuarzo de grano muy fino (54,8%) y arenita de cuarzo de grano muy fino fosfática (14,2%).

Inicia con un conjunto de 2,6 m de espesor de capas tabulares delgadas y medias de limolita de cuarzo, color gris medio oscuro, láminas muy delgadas y delgadas plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy fino gris clara, foraminíferos bentónicos tamaño arena fina (1% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto 3,85 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris oscuro medio y gris medio, selección moderada, partículas subangulares, con láminas muy delgadas plano paralelas de lodolita negra y lentes medios y gruesos de arenita de cuarzo de grano fino. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A).

A continuación, se presenta un conjunto de 75 cm de espesor de capas tabulares delgadas y medias de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio, selección moderada, subangular, matriz lodosa terrígena (33% RT), láminas onduladas discontinuas de lodolita negra, bioturbación con moteado definido, ichnofósiles horizontales en tubos de 1cm de diámetro y como minerales accesorios glauconita tamaño arena muy fina (4% A) y muscovita tamaño arena media (1% A). Muestra HG-061.

Este segmento finaliza con un conjunto de 1,2 m de espesor de capas tabulares delgadas y medias de arenita de cuarzo fosfática de grano muy fino, color gris medio claro, selección moderada, subangular y matriz lodosa terrígena fosfatizada (27% RT). El almacén está compuesto por cuarzo tamaño arena muy fina (63% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (29% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (8% A) y como minerales accesorios glauconita y turmalina tamaño arena muy fina (1% A). Se observan láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Muestra HG-062

**Segmento 6**

Este segmento comprende desde 24 m hasta 29,7 m, tiene un espesor de 5,7 m y está constituido por limolita (29%), fosforita (2,6%), arenita de cuarzo de grano muy fino (36,8%) y arenita de cuarzo de grano fino (31,6%).

Inicia con un conjunto de 1,65 m de espesor de capas tabulares delgadas de limolita de cuarzo, color gris oscuro, con láminas delgadas a medias plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy fino gris muy clara y lentes medios y gruesos de arenita de cuarzo de grano fino de color gris muy claro. Se observan pellets fosfáticos tamaño arena fina (2% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). En la base de este conjunto se encuentra una capa tabular media de 15 cm de espesor de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (53,2% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (28,6% A), el almacén también



incluye cuarzo tamaño arena media (12,4% A), foraminíferos bentónicos tamaño arena fina (4% A) parcial a totalmente fosfatizados. Se observa matriz lodosa terrígena fosfatizada (42% RT) y como minerales accesorios glauconita tamaño arena muy fina y zircón tamaño limo medio (1% A). Muestra HG-063.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 2,1 m de espesor de capas tabulares delgadas a gruesas de arenita de cuarzo de grano fino fosfática, color gris medio oscuro a gris medio, selección moderada, partículas subangulares y matriz lodosa terrígena parcialmente fosfatizada (26,4% RT). El armazón está compuesto por cuarzo tamaño arena muy fina (82,7% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (15% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (2,3% A) y como minerales accesorios zircón tamaño limo grueso y turmalina tamaño arena muy fina (2% A). Además, se observan láminas muy delgadas y delgadas de lodolita negra. Muestra HG-064.

Finalizando el segmento, se presenta un conjunto de 1,8 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro a gris medio claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas y delgadas de lodolita negra, lentes medios a gruesos de arenita de cuarzo de grano medio gris muy claro. Se observan pellets fosfáticos tamaño arena media (5% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (2% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 7**

Este segmento comprende desde 29,7 m hasta 36,8 m, tiene un espesor de 7,05 m y está constituido por limolita (31,2%) y arenita de cuarzo de grano fino (68,8%).

Inicia, con un conjunto de 1,8 m de espesor de capas tabulares medias de limolita de cuarzo, color gris medio claro, con láminas muy delgadas, delgadas y lentes delgados de arenita de cuarzo de grano fino de color gris muy claro. Como mineral accesorio muscovita tamaño arena media (1% A).

Suprayaciendo, se observa un conjunto de 2,1 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris oscuro a gris medio, selección moderada, partículas subangulares, con láminas muy delgadas y delgadas de lodolita negra y lentes medios de arenita de cuarzo de grano medio de color gris muy claro. Se observan pellets fosfáticos tamaño arena media y gruesa (5% A) y fragmentos fosfatizados de huesos y dientes de peces tamaño guijo muy fino (2% A), porosidad secundaria móldica (2% RT) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

A continuación, se encuentra una intercalación de 1,2 m de espesor entre capas tabulares delgadas de limolita de cuarzo con las mismas características de las anteriormente descritas y capas tabulares delgadas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra. Se observan ichnofósiles horizontales en tubos

de 0,5 cm de diámetro y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (1% A).

Finalizando este segmento, se presenta un conjunto de 1,95 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de grano fino, color gris oscuro a gris medio oscuro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y lentes medios a gruesos de arenita de cuarzo de grano fino de color gris medio claro. Se observan pellets fosfáticos tamaño arena media (2% A), ichnofósiles horizontales en tubos de 1 cm de diámetro y como minerales accesorios glauconita y muscovita tamaño arena fina (1% A).

### **Segmento 8**

Este segmento comprende desde 36,8 m hasta 41,2 m, tiene un espesor de 4,4 m y está constituido por limolita (11,4%) y arenita de cuarzo de grano fino (88,6%).

Inicia con un conjunto de 45 cm de espesor de capas tabulares delgadas de limolita de cuarzo, color gris oscuro, con láminas y lentes delgados de arenita de cuarzo de grano muy fino, pellets fosfáticos tamaño arena media (1% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 3,9 m de espesor de capas tabulares gruesas y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio a gris muy claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas a delgadas onduladas paralelas discontinuas y onduladas no paralelas discontinuas de lodolita negra. Se observa bioturbación con moteado definido, pellets fosfáticos tamaño arena media a gruesa (1% A), ichnofósiles horizontales en tubos de 1 cm de diámetro y como minerales accesorios glauconita y muscovita tamaño arena fina (2% A).

### **Segmento 9**

Este segmento comprende desde 41,2 m hasta 49,3 m, tiene un espesor de 8,1 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (33,3%), arenita de cuarzo de grano fino (55,6%) y arenita de cuarzo de grano medio (11,1%).

Inicia con un conjunto de 2,7 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris claro, selección moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas onduladas no paralelas discontinuas de lodolita negra y bioturbación con moteado definido. Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 cm a 1 cm de diámetro y como minerales accesorios glauconita, zircón, turmalina y muscovita tamaño arena muy fina (10,4 % A). Muestra HG-065.

A continuación, se encuentra un conjunto de 4,5 m de espesor de capas tabulares delgadas y medias de arenita de cuarzo de grano fino, color de gris medio a gris claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas plano paralelas y onduladas continuas de lodolita negra. Como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (2% A). Se observan intercalaciones menores (10%) de capas onduladas delgadas de arenita de cuarzo de grano medio, selección moderada y partículas subangulares.

Finalizando el segmento, se presenta un conjunto de 0,9 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas onduladas discontinuas y onduladas no paralelas discontinuas de lodolita negra y bioturbación con moteado definido. Se observan icnofósiles horizontales en tubos de 1 cm de diámetro y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (2% A).

### **Segmento 10**

Este segmento comprende desde 49,3 m hasta 66,1 m, tiene un espesor de 16,8 m y está constituido por lodolita (21,4%), arenita de cuarzo de grano muy fino (8,9%) y arenita de cuarzo de grano fino (69,7%)

Inicia con un conjunto de 3,6 m de espesor de capas tabulares delgadas de lodolita negra grisácea, con láminas muy delgadas plano paralelas y lentes medios de arenita de cuarzo gris muy clara. Se observan foraminíferos bentónicos tamaño arena media (1% A), pellets fosfáticos tamaño arena fina (1% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 1,5 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio oscuro, selección moderada, partículas subangulares, láminas muy delgadas plano paralelas de lodolita negra y de arenita de cuarzo de grano fino color gris claro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (2% A).

A continuación, se presenta un conjunto de 9 m de espesor de capas tabulares muy delgadas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro a gris medio, selección buena y moderada, subangular, láminas muy delgadas a delgadas plano paralelas y onduladas continuas de lodolita y como minerales accesorios muscovita tamaño arena media (1% A) y glauconita tamaño arena fina (1% A).

Finalizando el segmento, se encuentra un conjunto de 2,7 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris claro, selección buena, subangular, láminas muy delgadas a delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra grisácea y lentes medios y gruesos de arenita de cuarzo de grano fino. Se observa bioturbación con moteado definido, icnofósiles horizontales en tubos de 1 cm a 3 cm de diámetro y como minerales accesorios muscovita tamaño arena media (1% A) y glauconita tamaño arena fina (1% A).

### **Segmento 11**

Este segmento comprende desde 6,1 m hasta 81,6 m, tiene un espesor de 15,5 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (31,1%), arenita de cuarzo fino (48,5%) y arenita de cuarzo de grano medio (20,4%).

Inicia con un conjunto de 4,8 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris claro, selección moderada, partículas subangulares, láminas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra, matriz

lodosa terrígena (29% RT) y como minerales accesorios turmalina, zircón y glauconita tamaño arena muy fina (3,5% A). Muestra HG-066.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 7,5 m de espesor de capas tabulares gruesas y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro a gris claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas plano paralelas y onduladas discontinuas de lodolita negra y lentes medios de arenita de cuarzo de grano medio. Se observa grado de bioturbación de láminas irregulares y moteado definido, ichnofósiles horizontales en tubos de 1cm de diámetro y como minerales accesorios muscovita tamaño arena fina (1% A) y glauconita tamaño arena muy fina (1% A).

A continuación, se presenta un conjunto de 1,5 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris medio claro, selección moderada, subangular, cemento calcáreo, láminas muy delgadas onduladas discontinuas y onduladas no paralelas continuas de lodolita negra, bioturbación con moteado definido, ichnofósiles horizontales y en U en tubos de 1cm de diámetro. Se observan fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño guijo fino (2% A) y como minerales accesorios glauconita y muscovita tamaño arena fina (2% A).

Finalizando este segmento, se encuentra un conjunto de 1,65 m de espesor de capas muy gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris claro, selección buena, subangular, silíceo, con láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y lentes delgados y medios de arenita de cuarzo de grano fino color gris muy claro. Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 cm de diámetro y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (2% A).

### **Segmento 12**

Este segmento comprende desde 81,6 m hasta 97,8 m, tiene un espesor de 16,2 m y está constituido por limolita de cuarzo (6,5%), fosforita (2,7%), biomicrita parcial a totalmente silicificada (31,5%), arenita de cuarzo de grano fino (38,8%) y arenita de cuarzo de grano medio (20,5%).

Inicia con un conjunto de 1,1 m de espesor de capas tabulares delgadas de limolita de cuarzo color negro grisáceo, con láminas plano paralelas de arenita de cuarzo de grano muy fino color gris medio y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 45 cm de espesor de capas tabulares delgadas y gruesas de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (50,8% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (17,4% A). El armazón también incluye cuarzo tamaño arena muy fina (15,9% A), foraminíferos bentónicos y planctónicos parcial a totalmente fosfatizados tamaño arena fina (15,4% A), intraclastos fosfáticos tamaño arena muy gruesa (1% A) y como minerales accesorios glauconita y zircón tamaño arena muy fina (3% A), además se observa matriz lodosa terrígena fosfatizada (41,5% RT) y porosidad secundaria móldica (3% RT). Finalizando este conjunto el porcentaje de armazón fosfáticos disminuye a 38,6% por lo que la roca pasa a arenita de cuarzo de grano muy fino con pellets fecales fosfáticos tamaño arena

media (29,8%) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media (7,6% A), con matriz lodosa terrígena fosfatizada (47,1% RT) y como minerales accesorios glauconita y turmalina tamaño arena muy fina (3% A). Muestra HG-067B y HG-067T.

A continuación, se presenta un conjunto de 5,1 m de espesor de capas tabulares medias de biomicrita de foraminíferos, textura wackestone total a parcialmente silicificada, chert diagenético, color gris medio claro (Muestra HG-068). Se observan intercalaciones (15%) de láminas gruesas y capas muy delgadas de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (40% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media y muy gruesa (20% A) y como mineral accesorio pirita diseminada tamaño arena fina (2% A).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 6,3 m de capas tabulares muy delgadas a medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro a gris medio, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas onduladas continuas de lodolita negra y lentes medios de arenita de cuarzo de grano medio de color gris medio y como minerales accesorios glauconita tamaño arena muy fina (1% A) y muscovita tamaño arena fina (1% A).

Finalizando el segmento, se observa un conjunto de 3,3 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris medio a gris claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas y delgadas plano paralela y ondulada discontinua de lodolita negra y lentes medios a gruesos de arenita de cuarzo de grano medio. Se reconoce bioturbación con moteado definido, ichnofósiles horizontales en tubos de hasta 1 cm de diámetro y como minerales accesorios muscovita tamaño arena media (1% A) y glauconita tamaño arena fina (1% A).

### **Segmento 13**

Este segmento comprende desde 97,8 m hasta 104,4 m, tiene un espesor de 6,6 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (16%), arenita de cuarzo de grano fino (30%) y arenita de cuarzo de grano medio (54%).

Inicia con un conjunto de 1,05 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, glauconítica (15% A), color gris medio, selección moderada, partículas subangulares, cemento calcáreo (1,5%), matriz lodosa terrígena (34,4% RT), láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra, bioturbación con moteado definido y como minerales accesorios muscovita y zircón tamaño arena muy fina (4,7% A). Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 1 cm de diámetro. Muestra HG-069.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 1,95 m de espesor de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris claro, selección moderada, subangular, láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y láminas medias y gruesas onduladas continuas de arenita de cuarzo de grano medio color gris muy claro. Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 cm a 1 cm de diámetro y como minerales accesorio muscovita tamaño arena media (1% A) y glauconita tamaño arena fina (1% A).

Finalizando este segmento, se presenta un conjunto de 3,6 m de espesor de capas onduladas, medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color gris medio claro a gris claro, selección buena y moderada, subangular, láminas muy delgadas a delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra y lentes muy delgados a delgados de arenita de cuarzo de grano fino. Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 cm a 1 cm de diámetro y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (2% A).

#### **Segmento 14**

Este segmento comprende desde 104,4 m hasta 112,8 m, tiene un espesor de 8,4 m y está constituido por arcillolita (28,6%), lodolita (35,7%), limolita de cuarzo (10,7%) y arenita de cuarzo de grano fino (25%).

Inicia con un conjunto de 2,4 m de espesor de capas tabulares muy delgadas a delgadas de arcillolita negra sin laminación.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 3 m de espesor de capas tabulares y onduladas, muy delgadas y delgadas, de lodolita color gris medio, con láminas muy delgadas a delgadas onduladas continuas de arenita de cuarzo de grano muy fino color gris claro, lentes muy delgados y delgados de arenita de cuarzo de grano muy fino color gris claro y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena muy fina (2% A).

A continuación, se presenta un conjunto de 1,8 m de espesor de capas tabulares muy delgadas y delgadas de limolita de cuarzo color gris oscuro, con láminas delgadas y medias plano paralelas de arenita de cuarzo de grano fino intercaladas con capas onduladas medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro a gris medio, selección moderada, subangular, con láminas muy delgadas onduladas discontinuas de lodolita negra, pellets fosfáticos tamaño arena media (1% A) y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (2% A). Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 cm de diámetro.

Finalizando este segmento, se encuentra un conjunto de 1,2 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio oscuro, selección moderada, subangular, con láminas muy delgadas onduladas paralelas continuas y discontinuas de lodolita negra y como minerales accesorios muscovita tamaño arena media (1% A) y glauconita tamaño arena muy fina (1% A).

#### **Segmento 15**

Este segmento comprende desde 112,8 m hasta 130,4 m, tiene un espesor de 17,6 m y está constituido por lodolita 3,4%, arenita de cuarzo de grano muy fino (12%), arenita de cuarzo de grano fino (12%) y arenita de cuarzo de grano medio (72,6%).

Inicia con un conjunto de 60 cm de espesor de capas tabulares muy delgadas y delgadas de lodolita color gris medio oscuro, con láminas onduladas continuas y plano paralelas de arenita de cuarzo de grano fino color gris claro y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, un conjunto de 2,1 m de espesor de capas tabulares muy gruesas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio, selección buena, partículas subangulares, con láminas muy delgadas ondulosas discontinuas de lodolita negra y como minerales accesorios muscovita tamaño arena fina (1% A) y glauconita tamaño arena muy fina (1% A).

A continuación, un conjunto de 2,1 m de espesor de capas ondulosas, gruesas y muy gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris claro, selección moderada, subangular, con láminas muy delgadas y delgadas ondulosas continuas, discontinuas y ondulosas no paralelas discontinuas de lodolita negra, grado de bioturbación moteado definido y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (1% A). Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 cm de diámetro.

Suprayaciendo, un conjunto de 1,2 m de espesor de capas ondulosas muy gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color amarillo moderado, selección buena, subangular, friable, con láminas muy delgadas ondulosas discontinuas de lodolita negra, grado de bioturbación moteado difuso a homogéneo, pellets fosfáticos tamaño arena media a guijo medio (2% A) y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (2% A).

Finalizando el segmento, un conjunto de 11,6 m de espesor de capas ondulosas gruesas de arenita de cuarzo de grano medio, color amarillo moderado, selección buena, subangular, con láminas muy delgadas ondulosas no paralelas discontinuas de lodolita negra, grado de bioturbación moteado definido a homogéneo, fragmentos de huesos de peces tamaño arena media y gruesa (2% A) y como minerales accesorios muscovita tamaño arena media (1% A) y glauconita tamaño arena fina (1% A). Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 0,5 cm a 1 cm de diámetro.

### **Segmento 16**

Este segmento comprende desde 130,4 m hasta 148,9 m, tiene un espesor de 18,5 m y está constituido por fosforita (19,6%), biomicrita parcial a totalmente silicificada (31,6%), lodolita (3,2%), limolita de cuarzo (8,1%), limolita de cuarzo recristalizada (20,5%) y arenita de cuarzo de grano fino (17%).

Inicia con una capa tabular muy gruesa (1,5 m de espesor) de fosforita impura de ooides fosfáticos tamaño arena fina (35,5% A) y pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (32,2% A). El armazón también incluye cuarzo tamaño arena fina (21,1% A), foraminíferos bentónicos y planctónicos tamaño arena media (8,4% A) parcial a totalmente fosfatizados, fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (6,8% A), intraclastos fosfáticos tamaño arena gruesa (1% A) y como minerales accesorios glauconita, zircón y turmalina tamaño arena muy fina (2% A), además se observa matriz lodosa terrígena fosfatizada (19,1% RT). Muestras HG-070B y HG-070T.

A continuación, se presenta una delgada intercalación de 15 cm de espesor de una capa media de lodolita, color gris medio, con laminación plano paralela continua y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo se encuentra una capa tabular muy gruesa (1,8 m de espesor) de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (26,6% A) y ooides fosfáticos tamaño arena fina (23,6%). El armazón también incluye cuarzo tamaño arena fina (25,2% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena muy gruesa (18,4% A), foraminíferos planctónicos y bentónicos tamaño arena fina y media (15% A), intraclastos fosfáticos tamaño arena muy gruesa (3,4% A), además se observa matriz lodosa terrígena fosfatizada (17,7% RT) y como minerales accesorios muscovita y zircón tamaño arena fina (1% A). Muestra HG-071B y HG-071T.

A continuación, se presenta un conjunto de 4,65 m de espesor de capas tabulares delgadas y medias de biomicrita de foraminíferos de textura packstone totalmente silicificada con intercalaciones de láminas de textura wackestone (chert diagenético). El armazón está compuesto por foraminíferos bentónicos tamaño arena fina (77% A), foraminíferos planctónicos tamaño arena muy fina (18,5% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (3,4% A) y fragmento fosfatizados de huesos de peces (>1%). Muestra HG-072. Se presenta intercalaciones menores (15%) de láminas gruesas y capas muy delgadas de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos y fragmentos de huesos de peces fosfatizados tamaño arena gruesa (0,7%). Esporádicamente (5%), se observan capas delgadas de biomicrita de foraminíferos fosfática parcial a totalmente silicificada, con textura packstone y armazón compuesto por foraminíferos bentónicos tamaño arena media (54,7% A), foraminíferos planctónicos tamaño arena fina (19,5% A) y pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (25,8% A). Muestra HG-073.

Suprayaciendo, un conjunto de 5,25 m de espesor de capas tabulares medias de limolita de cuarzo recristalizada (Chert diagenético), por lo que en muestra de mano exhibe partición ortogonal. El armazón está compuesto por cuarzo tamaño limo grueso (86,4% A), pellets fecales fosfáticos tamaño limo grueso (8,7% A), foraminíferos bentónicos silicificados (4,9% A) y como minerales accesorios glauconita y zircón tamaño limo grueso y glauconita tamaño arena muy fina (12,7% A), además matriz lodosa terrígena (65,6% RT). Muestra HG-074.

A continuación, se encuentra un conjunto de 1,2 m de espesor de capas tabulares muy delgadas y delgadas de limolita de cuarzo de color gris medio, con láminas muy delgadas onduladas continuas, discontinuas y lentes medios de arenita de cuarzo de grano muy fino color gris muy claro. Se observan foraminíferos bentónicos tamaño arena fina (5%) paralelos a la laminación, fragmentos de huesos de peces fosfáticos (1%), ichnofósiles horizontales de 0,5 cm de diámetro y como minerales accesorios muscovita (1%) tamaño arena muy fina.

Este segmento finaliza, con un conjunto de 3,3 m de espesor de capas tabulares medias y gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, selección buena subangular, color gris muy claro, con láminas muy delgadas onduladas paralelas discontinuas y lentes delgados a medios de lodolita gris oscura. Como minerales accesorios muscovita (1% A) tamaño arena fina y glauconita tamaño arena muy fina (1% A).

### **Segmento 17**

Este segmento comprende desde 148,9 m hasta 182,5 m, tiene un espesor de 33,6 m y está constituido por chert diagenético (35,1%) y arenita de cuarzo de grano fino (64,9%).



Inicia con un conjunto de 11,8 m de espesor de capas tabulares, delgadas y medias de chert diagenético, color gris medio claro a gris claro, con laminación plano paralela, foraminíferos bentónicos tamaño arena fina paralelos a la laminación (5% A), pellets fosfáticos tamaño arena media a gruesa (2% A) y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A). Este conjunto exhibe partición ortogonal en muestra de mano.

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 21,8 m de espesor de capas tabulares y onduladas, delgadas y medias de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro a gris claro, buena selección, partículas subangulares, con láminas muy delgadas onduladas continuas, discontinuas y plano paralelas de lodolita negra, pellets fosfáticos tamaño arena media (2% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (1% A), fragmentos de bivalvos tamaño arena gruesa (1% A) y como minerales accesorios muscovita y glauconita tamaño arena fina (1% A). Se observan ichnofósiles horizontales y en U en tubos de 1 cm a 3 cm de diámetro.

### **Segmento 18**

Este segmento comprende desde 182,5 m hasta 189 m, tiene un espesor de 6,45 m y está constituido por arenita de cuarzo de grano muy fino (27,9%) y arenita de cuarzo de grano fino (72,1%).

Inicia con un conjunto de 1,8 m de espesor de capas muy delgadas a delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris claro, selección buena, partículas subangulares, con láminas muy delgadas a delgadas onduladas continuas de lodolita negra, pellets fosfáticos tamaño arena fina (1% A), fragmentos líticos sedimentarios tamaño arena muy fina (<1%) y como minerales accesorios glauconita, zircón, turmalina y muscovita tamaño arena muy fina (10% A), además matriz lodosa terrígena (26,9% RT). Se observan ichnofósiles horizontales en tubos de 1cm a 3cm de diámetro en la base de las capas. Muestra HG-075.

Suprayaciendo, se presenta un conjunto de 4,65 m de espesor de un conjunto de capas tabulares gruesas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio claro a gris medio, selección buena, subangular, con láminas muy delgadas onduladas continuas y discontinuas de lodolita negra y láminas lenticulares medias de arenita de cuarzo de grano medio y como minerales accesorios muscovita tamaño arena fina (1% A) y glauconita tamaño arena muy fina (1% A).

### 5.1.2.2 Formación Los Pinos

En esta sección estratigráfica solo se describieron los metros inferiores de la Formación Los Pinos, 35 m de espesor. Estos últimos metros están representados por un intervalo poco competente que forma un valle suave, Figura 5-7. El contacto inferior es neto con las formación infrayacente, Formación Arenisca Dura

Figura 5-7. Panorámica de la parte inferior de la Formación Los Pinos, Sección Cuitiva. Se observa una pendiente estructural de la Formación Arenisca dura y suprayaciendo un intervalo predominantemente lodolítico de la Formación Los Pinos.



#### Segmento 1

Este segmento comprende desde 0 m hasta 12 m y está constituido por biomicrita silicificada (63,3%), fosforita (5%), limolita de cuarzo (12,5%) y arenita de grano muy fino fosfática (19,2%).

Inicia con un conjunto de 7,6 m de espesor de capas delgadas a medias de biomicrita de foraminíferos parcial a totalmente silicificada, con textura wackestone y color gris medio claro a gris claro. El armazón está compuesto por foraminíferos bentónicos tamaño arena fina (71,1% A), foraminíferos planctónicos tamaño arena muy fina (15,8% A), cuarzo tamaño limo grueso (7,9% A) y pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (5,2% A), además matriz de lodo calcáreo parcial a totalmente silicificada (78,2% RT). Muestra HG-076. Hacia la parte media de este intervalo se observa una capa tabular gruesa (60 cm de espesor) de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (77,4% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (15,7% A). El armazón también incluye cuarzo tamaño arena muy fina (6,6% A), foraminíferos bentónicos parcial a totalmente fosfatizados (>1% A) y como minerales accesorios turmalina y zircón tamaño limo grueso (>1% A), además se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (22,9% RT).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 1,5 m de espesor de capas tabulares muy delgadas y delgadas de limolita de cuarzo color gris medio claro, físil, con láminas muy delgadas plano paralelas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finalizando este segmento, se encuentra una capa tabular muy gruesa (2,3 m de espesor) en la que se observa un aumento gradual, de base a tope, en el contenido de armazón fosfático, en la base se observan *Thalassinoides* en tubos de hasta 5 cm de diámetro. Esta capa inicia con una arenita de cuarzo de grano muy fino, fosfática, selección moderada, partículas subangulares, color gris claro, con láminas muy delgadas ondulosas no paralelas discontinuas de lodolita negra y bioturbación con moteado definido. El armazón está compuesto por cuarzo tamaño arena muy fina (61% A), pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (32,9% A), ooides fosfáticos tamaño arena fina (4,7% A) y fragmentos de huesos de peces fosfatizados tamaño arena muy fina (1,4% A), además se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (19,1% RT). Muestras HG-078B1 y HG-078B2. Hacia la parte media de la capa, se encuentra fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena muy fina (40% A), ooides fosfáticos tamaño arena fina (12,2% A), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media (5,1% A) y cuarzo tamaño arena muy fina (42,7% A), además se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (11,5%). Muestra HG-078C.

## **Segmento 2**

Este segmento comprende desde 12 m hasta 18,8 m, tiene un espesor de 6,8 m y está constituido por fosforita 11,8%, chert diagenético 44,1%, arenita de cuarzo 44,1% y.

Inicia, con una capa tabular gruesa (80 cm de espesor) de fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (60,5% A) y fragmentos de huesos de peces fosfatizados tamaño arena gruesa (12,5% A). El armazón también incluye cuarzo tamaño arena fina (20,6% A), ooides tamaño arena fina (6,4% A), además se observa matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (17,4% RT) y porosidad secundaria móldica (2,6% RT). Muestra HG-078T.

Suprayaciendo se encuentra un conjunto de 3 m de espesor de capas tabulares delgadas de chert diagenético, color gris medio oscuro, con laminación plano paralela y foraminíferos bentónicos tamaño arena media (5% A) dispuestos paralelos a la laminación. La roca exhibe partición ortogonal en muestra de mano.

Finalizando el segmento, se observan un conjunto de 3 m de espesor de capas tabulares delgadas de arenita de cuarzo de grano muy fino, buena selección, partículas subangulares, color gris medio oscuro, con laminación plano paralela y foraminíferos bentónicos tamaño arena media (5% A) dispuestos paralelos a la laminación y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

### Segmento 3

Este segmento comprende desde 18,8 m hasta 35 m, tiene un espesor de 16,2 m y está constituido por chert diagenético (69,4%), fosforita (0,9%), limolita (13%), arenita de cuarzo de grano muy fino (9,3%) y arenita de cuarzo de grano fino (7,4%).

Inicia con un conjunto de 2,1 m de espesor capas tabulares delgadas de limolita de cuarzo color gris medio oscuro, laminación plano paralela y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Suprayaciendo, se encuentra un conjunto de 11,3 m de espesor de capas tabulares muy delgadas y delgadas de chert diagenético, color gris oscuro a gris medio oscuro y con presencia de foraminíferos bentónicos tamaño arena media (3% A) dispuestos paralelos a la laminación. La roca exhibe partición ortogonal en muestra de mano. En la parte inferior de este intervalo, se observa un fosforita impura de pellets fecales tamaño arena media (40% A) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media y gruesa (20% A).

A continuación, se presenta un conjunto de 1,5 m de espesor de capas tabulares delgadas y medias de arenita de cuarzo de grano muy fino, color gris medio, buena selección, partículas subangulares, láminas muy delgadas plano paralelas y onduladas paralelas continuas de lodolita negra y como mineral accesorio muscovita tamaño arena muy fina (1% A).

Finaliza este segmento un conjunto de 1,2 m de capas tabulares muy delgadas de arenita de cuarzo de grano fino, color gris medio a gris medio oscuro, selección buena, partículas subredondeadas, láminas muy delgadas plano paralelas de lodolita negra y láminas lenticulares delgadas y medias de arenita de cuarzo de grano medio color gris muy claro. Se observa ichnofósiles horizontales en tubos de 1 cm de diámetro, estratificación cruzada y como mineral accesorio muscovita tamaño arena fina (1% A).

## 5.2 Análisis petrográfico

A continuación se presentan los resultados de los análisis petrográficos realizados a las secciones delgadas de las rocas muestreadas en las secciones de Iza y Cuitiva. Se tomaron muestras de rocas terrígenas tales como arenitas y limolitas, de rocas calcáreas tales como biomicritas y bioesparitas y de rocas fosfáticas. La posición de estratigráfica de cada muestra puede observarse en las columnas estratigráficas correspondientes a cada sección descrita (Anexos A y B). El análisis petrográfico detallado y fotografías de cada sección delgada pueden observarse en el anexo petrográfico (Anexo C y D).

### 5.2.1 Sección Iza

#### 5.2.1.1 Formación Arenisca Dura

Las rocas terrígenas muestreadas en la Formación Arenisca Dura (Tabla 5-1), corresponden principalmente a arenitas de cuarzo de grano muy fino, con matriz lodosa terrígena en porcentajes que varían entre 25% y 40% aunque localmente se observa cemento silíceo por sobrecrecimiento (20%, Muestra HG-003) y cemento calcáreo equant grueso (25% HG-001). Estas arenitas presentan un contenido de armazón fosfático representado por pellets fecales fosfáticos de tamaño arena fina y media entre el 10% y 30% y foraminíferos bentónicos y planctónicos en porcentajes no mayores a 10%. Otros tipos de rocas analizados corresponden a limolitas de cuarzo de grano grueso con matriz lodosa terrígena (29% a 39%) y arcillolitas fosilíferas. En todos los tipos de roca se observa glauconita como mineral accesorio principal en porcentajes que varían entre 3% y 7%.

Las rocas calcáreas analizadas (Tabla 5-2), corresponden predominantemente a biomicritas de foraminíferos bentónicos de tamaño arena media en porcentajes que varían entre 40% y 60%, con textura wackstone y packestone, parcial a totalmente silicificadas y fosfatizadas (Chert diagénético). Además, se observaron bioesparitas de bivalvos y foraminíferos, arenosas y con textura grainstone y margas. La glauconita es el mineral accesorio principal con porcentajes entre el 4% y 6%.

Las rocas fosfáticas observadas (Tabla 5-3), están compuestas principalmente por pellets fecales fosfáticos (30% y 70%), fragmentos fosfatizados de huesos de peces (15% y 40%) y partículas de cuarzo tamaño arena muy fina y fina (15% y 40%). La matriz es lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (30% y 40%) al igual que otras partículas del armazón tales como foraminíferos bentónicos y planctónicos (10%).

Tabla 5-1. Análisis petrográfico de las rocas terrígenas presentes en la Formación Arenisca Dura, Sección Iza.

MUESTRA	ARMAZÓN (%)												M (%)	C (%)	P (%)	NOMBRE
	Qz	Pl	FrHs	In	FBn	FPI	FEq	Accesorios								
								Gl	Mu	Zr	Tu	Py				
HG-001	49,2	21,8	13,7	0,5	8,6	0,5	0,5	3		2			12,6	25,2		Arenita de cuarzo de grano muy fino, fosfática con pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (23%), fosilífera (9,7%) y presencia de glauconita (3%).
HG-003	94,9	0,8						2,3	0,4	1	0,5			20,1		Arenita de cuarzo de grano muy fino, con cemento silíceo y presencia de glauconita (2,3%).
HG-004	20				80								85			Arcillolita fosilífera, con foraminíferos bentónicos (10%), parcialmente recristalizada.
HG-005	90,7	1,5						4,6		2	0,6	0,5	19,3			Arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, con presencia de glauconita (4.6%).
HG-006	89,5							7	1,1	0,9	0,6	0,5	21,9			Limolita de cuarzo de grano grueso, arenosa, presencia de glauconita (7%).
HG-007	66,9	32,1								1,6			32,3	3		Arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, fosfática (32%).
HG-012C	64,7	18,1	10,8					3,5	1,2	1,7			43,4			Arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, fosfática (19,4%) y presencia de glauconita (3,5%).
HG-012T	71,9	18,6	7,8						0,8	1			50,9			Arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, fosfática (18,9%).
HG-017	93,1	1						3,4	1	1,5			39,1			Limolita de cuarzo de grano grueso, matriz lodosa terrígena (39,1%) y presencia de glauconita (3,4%).
HG-018	90,6	4,3						5,1					29,1			Limolita de cuarzo de grano grueso, con matriz lodosa terrígena (29,1%) y presencia de glauconita (5,1%).

Tabla 5-2. Análisis petrográfico de las rocas calcáreas presentes en la Formación Arenisca Dura, Sección Iza.

MUESTRA	ARMAZÓN (%)										M (%)	C (%)	P (%)	NOMBRE	
	Qz	Pl	FrHs	In	FBn	FPI	FBv	FEq	Accesorios						
									GI	Py					
<b>HG-002</b>	34,7	14,8	6		27,7	10,1				6	0,5	16,1	26,5		Bioesparita de foraminíferos tamaño arena fina (29,7%), fosfática (15,8%), con textura grainstone y presencia de glauconita (6%).
<b>HG-009</b>					63	37						77,3		0,3	Biomicrota de foraminíferos (63%), con textura packstone, parcialmente silicificada y fosfatizada (Chert diagenético).
<b>HG-010</b>	14,8		3,9	14,8	41,4	25,1						61,2			Biomicrota de foraminíferos bentónicos tamaño arena media (42,2%), con textura packstone, parcial a totalmente silicificada y fosfatizada (Chert diagenético).
<b>HG-014</b>	10,9	8,7			78,2	2,2						86,6		3,1	Biomicrota de foraminíferos bentónicos, limosa con cuarzo tamaño limo grueso (10,9%), con textura wackestone, parcial a totalmente silicificada (Chert diagenético).
<b>HG-016</b>	91,4	2,9								5,7		89,2			Marga parcialmente silicificada y recristalizada.
<b>HG-019</b>	40,6	7	3,2				43,9	0,5	4,8			51,9			Bioesparita de bivalvos tamaño arena muy gruesa, con textura grainstone, arenosa con cuarzo tamaño arena muy fina (42,1%) y presencia de glauconita (4,8%) tamaño arena muy fina.

Tabla 5-3. Análisis petrográfico de las rocas fosfáticas presentes en la Formación Arenisca Dura, Sección Iza.

MUESTRA	ARMAZÓN (%)										M (%)	P (%)	NOMBRE
	Qz	Pl	Oo	FrHs	In	FBn	Accesorios						
							GI	Mu	Zr	Tu			
<b>HG-008</b>	15,1	61,1	7,1	6,3		9,7	0,4				31,1		Fosforita impura de pellets fecales tamaño arena media (61,4%), foraminíferos bentónicos tamaño arena media (9,7%), cuarzo tamaño arena fina (15,3%) y presencia de glauconita (0,4%).
<b>HG-011</b>	20,8	34,3		39,6		4,3			1		36,3		Fosforita impura de fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (40%), pellets fecales tamaño arena media (34,6%) y cuarzo tamaño arena muy fina (21%).
<b>HG-012B</b>	41,5	25,8		30,9					0,7	1	31,8		Fosforita impura de fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena media (31,5%), pellets fecales tamaño arena media (26,3%) y cuarzo tamaño arena muy fina (42,2%).
<b>HG-013</b>	33,5	50,8		13,5	0,5			0,6	1		42,9		Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena muy fina (51,6%), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (13,7%) y cuarzo tamaño arena muy fina (34,1%).
<b>HG-015</b>		76,7	22,6				0,8				57,8		Fosforita de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (77,3%) y fragmentos fosfatizados de huesos de peces (22,7%) y presencia de glauconita (0,8%).



### 5.2.1.2 Formación Los pinos

Las secciones delgadas analizadas de la Formación Los Pinos (Tabla 5-4), corresponden predominantemente a rocas calcáreas tales como bioesparitas de bivalvos, arenosas con pellets fecales fosfáticos (15% y 20%) y textura grainstone y en menor proporción biomicritas de foraminíferos con textura wackestone parcial a totalmente silificada (Chert diagenético). Además se observó una arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa y con pellets fecales fosfáticos. La glauconita es el principal mineral accesorio presente tanto en las bioesparitas como en las arenitas (2% a 3%).

Tabla 5-4. Análisis petrográfico de las rocas terrígenas y calcáreas de la Formación Los Pinos, Sección Iza.

MUESTRA	ARMAZÓN (%)									M (%)	C (%)	NOMBRE	
	Qz	PI	FrHs	FBn	FPI	FBv	FVg	Accesorios					
								Gl	Zr				Tu
HG-021	28,9	19,9	2,3			43,6		3,2	1	1	23,8	19	Bioesparita de (46%), impura, fosfática, textura grainstone y presencia de glauconita (3,2%).
HG-022		8,4		0,6		90,9					6,2	47,7	Bioesparita de bivalvos tamaño gránulo (70,2%), con textura grainstone.
HG-023				45,7	27,6	14,9	11,8				71,9		Biomicrita de foraminíferos, con textura wackestone, totalmente silificada.
HG-030	67,6	12,4	2,7		15,1			2,3			25,8		Arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, fosilífera (15,4%), fosfática (12,6%) y con presencia de glauconita (2,3%).

### 5.2.1.3 Formación Labor-Tierna

Las secciones delgadas analizadas de la Formación Labor-Tierna corresponden principalmente a rocas terrígenas (Tabla 5-5) aunque en la parte inferior de la formación se reconocen rocas fosfáticas (Tabla 5-6).

Las rocas terrígenas corresponden principalmente a arenitas de cuarzo de grano muy fino, lodosas, con pellets fecales fosfáticos (5% a 15%) y presencia de glauconita (2% a 5%). Además, se observan arenita de cuarzo de grano medio y grueso, limosas, glauconíticas (10% a 12%) y con porosidad primaria en porcentajes que varían entre 6% y 13%. Se presentan esporádicamente limolitas de cuarzo de grano grueso y lodolitas.

Las rocas fosfáticas analizadas corresponden a fosforitas con pellets fecales fosfáticos tamaño arena media y gruesa (30% a 60%), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa y gránulo (10% a 25%) y cuarzo tamaño arena muy fina (25% a 40%). El principal mineral accesorio es la glauconita (1% a 5%). Además, se reconoce matriz lodosa terrígena parcial a totalmente fosfatizada (20% a 35%).

Tabla 5-5. Análisis petrográfico de las rocas terrígenas de la Formación Labor –Tierna, Sección Iza.

MUESTRA	ARMAZÓN (%)														M (%)	C (%)	P (%)	NOMBRE
	Qz	Fk	Fl	Pl	Oo	FrHs	FBn	FPl	FBv	Accesorios								
										Gl	Mu	Zr	Tu	Py				
HG-031	78,9			15,5		0,8				4		0,3	0,4		30,1			Arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, fosfática (16,3%) y presencia de glauconita (4%).
HG-032	79,5	0,4		13,5		3,3				2		0,7	0,6		25,3	8,4		Arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, fosfática (14%) y presencia de glauconita (2%).
HG-033	74,4	3		11,9		3,6	3			3		1,1			35,1	9,8		Arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa, fosfática (12,4%) y presencia de glauconita (3%).
HG-038	90							10							10			Arcillolita con foraminíferos planctónicos (10%)
HG-039	87			2,4						3,6	2	3,1	2		47,5			Limolita de cuarzo de grano grueso, con matriz lodosa (47,5%) y presencia de glauconita (3,6%).
HG-040	89,7			2,6						4,1	1	2,1	0,5		31,3	7,8		Limolita de cuarzo de grano grueso, con matriz lodosa (31,3%) y presencia de glauconita (4,1%).
HG-041	93,1			1,3						4,4		0,6	0,7		50,9			Lodolita con partículas de cuarzo tamaño limo grueso (49,1%) y presencia de glauconita (4,4%).
HG-042	89,3									6,4	1,2	2,1	1		26,4			Arenita de cuarzo de grano muy fino, lodosa con presencia de glauconita (6,4%).

MUESTRA	ARMAZÓN (%)										M (%)	C (%)	P (%)	NOMBRE				
	Qz	Fk	Fl	Pl	Oo	FrHs	FBn	FPl	FBv	Accesorios								
										Gl					Mu	Zr	Tu	Py
<b>HG-043</b>	98,4									0,8		0,8			18,7			Arenita de cuarzo de grano fino, lodosa, con presencia de glauconita (0,8%).
<b>HG-044</b>	91,9			1,9						3,1		2	1,1		21,3			Arenita de cuarzo de grano fino, lodosa, con presencia de glauconita (3,1%).
<b>HG-045</b>	88,5		1,1							9,6				0,7	7,6	1,5	6,7	Arenita de cuarzo de grano medio, con presencia de glauconita (9,1%) y porosidad primaria (6,7%).
<b>HG-046</b>	98,4		0,8								0,3			0,5	6,6	3	13	Arenita de cuarzo de grano medio con porosidad primaria (13%).
<b>HG-047</b>	87		0,7							10,5		0,8	1		6,2		11,9	Arenita de cuarzo de grano medio, glauconítica (10,5%) y con porosidad primaria (11,9%).
<b>HG-048</b>	87,5		1,1							9,6		1,8			11	1,4	9,3	Arenita de cuarzo de grano medio, limosa, con glauconita (9,3%) y porosidad primaria (9,6%).
<b>HG-049</b>	94,5									5,1			0,4		4,9		12,1	Arenita de cuarzo de grano medio, con glauconita (5,1%) y porosidad primaria (12,1%).
<b>HG-050</b>	93,6			0,8					0,4	4			0,4	0,8	1,5	6,1	16	Arenita de cuarzo de grano grueso, con glauconita (4%) y porosidad primaria (16%).

Tabla 5-6. Análisis petrográfico de las rocas fosfáticas de la Formación Labor –Tierna, Sección Iza

MUESTRA	ARMAZÓN (%)											M (%)	P (%)	NOMBRE
	Qz	Pl	FrHs	In	FBn	FPI	FEq	FVg	Accesorios					
									Gl	Zr	Tu			
<b>HG-034B</b>	36,3	37,2	24,2								2,2	32,6		Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena gruesa (38,1%) y cuarzo tamaño arena muy fina (37,2%).
<b>HG-034T</b>	25,6	49,1	24,7		0,3					0,3		28,6	0,9	Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (49,2%) y cuarzo tamaño arena muy fina (25,7%), con presencia de glauconita (0,3%).
<b>HG-035</b>	37,9	30,2	2,7		15,9	8,2		0,5	4,6			45,7	2,7	Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (31,6K%) y cuarzo tamaño arena muy fina (39,7%), con presencia de glauconita (4,6%).
<b>HG-036B</b>	40,2	45,4	11,6		0,8		0,4	0,4	1,2			20,6		Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (45,6%) y cuarzo tamaño arena muy fina (40,7%), con presencia de glauconita (1,2%).
<b>HG-036T</b>	41,2	30,4	8,2		17				2,1	1		41,2		Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (31,4) y cuarzo tamaño arena muy fina (42,5%), con presencia de glauconita (2,1%).
<b>HG-037B</b>	37,8	43,2	16,3	0,8					1,6			22,5		Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (44,1%) y cuarzo tamaño arena muy fina (42,5%), con presencia de glauconita (1,6%).
<b>HG-037T</b>	31,2	54,3	12,6			0,4			1,5			23,1		Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (55,1%) y cuarzo tamaño arena muy fina (31,7%), con presencia de glauconita (1,5%).

## 5.2.2 Sección Cuitiva

En la sección Cuitiva se analizaron secciones delgadas de rocas provenientes tanto de la Formación Arenisca Dura como de la parte inferior del Formación Los Pinos.

Las rocas terrígenas observadas (Tabla 5-7), corresponden principalmente a arenitas de cuarzo de grano muy fino y fino, lodosas, con pellets fecales fosfáticos (15% a 30%) y como mineral accesorio glauconita (5% a 15%). Además, se reconocen limolitas de cuarzo de grano grueso parcial a totalmente recristalizadas (Chert diagenético).

Las rocas calcáreas analizadas (Tabla 5-8), son predominantemente biomicritas de foraminíferos bentónicos (30% a 60%) y foraminíferos planctónicos (10% a 20%), con textura wackestone y packstone parcial a totalmente silicificadas (Chert diagenéticos). Se reconoce una Bioesparita de foraminíferos arenosa con textura grainstone.

Las rocas fosfáticas observadas (Tabla 5-9), son fosforitas de pellets fecales fosfáticos (25% a 70%), ooides fosfáticos (10% a 30%), fragmentos fosfatizados de huesos de peces (5% a 30%) y cuarzo tamaño arena muy fina y fina (10% a 30%). Además, se reconoce matriz lódica terrígena parcial a totalmente fosfatizada y glauconita como el mineral accesorio principal (2% a 7%).

Tabla 5-7. Análisis petrográfico de las rocas terrígenas de la Formación Arenisca Dura y la parte inferior de la Formación Los Pinos, Sección Cuitiva.

MUESTRA	ARMAZÓN (%)											M (%)	C (%)	NOMBRE
	Qz	Fk	Fl	Pl	Oo	FrHs	FBn	Accesorios						
								Gl	Mu	Zr	Tu			
HG-061	90,0	0,9						4,3	0,9	2,6	1,3	35,1		Cuarzoarenita de grano muy fino, lodosa, con presencia de glauconita (9,1%).
HG-062	61,2			28,6		8,0		1,8	0,4			35,1		Cuarzoarenita de grano fino, lodosa, fosfática, y presencia de glauconita (1,8%).
HG-064	74,7			13,5		2,1		6,8		1,3	1,7	26,4		Cuarzoarenita de grano muy fino, lodosa, fosfática, (15%) y presencia de glauconita (6,8%).
HG-065	87,1	0,9						7,8	1,7	1,7	0,9	28,0		Limolita de cuarzo de grano grueso, contiene 28% de matriz lodosa y glauconita (7,8%).
HG-066	90,4	0,9						3,5		3,1	2,2	28,5		Cuarzoarenita de grano fino, lodosa, con presencia de glauconita (3,5%)
HG-067T	59,6			29,8		7,6		2,3			0,6	47,1		Cuarzoarenita de grano muy fino, lodosa, fosfática, (30,8%) y presencia de glauconita (2,3%).
HG-069	76,3							19,1	3,3	1,4		34,3	1,5	Cuarzoarenita de grano muy fino, lodosa, glauconítica (19,1%) con cemento calcáreo (1,5%).
HG-074	75,4			7,6			4,2	9,4	1,7	1,7		65,6		Limolita de cuarzo de grano grueso recristalizada, con pellets fecales fosfáticos tamaño limo grueso (8,7%) y presencia de glauconita (9,4%), Chert diagénético.
HG-075	87,8	0,6	0,4	0,8				4,6	2,4	2,4	1,2	26,9		Cuarzoarenita de grano muy fino, lodosa, con presencia de glauconita (2,4%).
HG-078B1	60,8			32,8	4,7	1,4					0,3	19,1		Cuarzoarenita de grano muy fino, lodosa, fosfática, con pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (32,9%).
HG-078B2	64,6			27,8		4,2					0,8	22,9		Cuarzoarenita de grano muy fino, lodosa, fosfática, con pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (28%).

Tabla 5-8. Análisis petrográfico de las rocas calcáreas de la Formación Arenisca Dura y la parte inferior de la Formación Los Pinos, Sección Cuitiva.

MUESTRA	ARMAZÓN (%)								M (%)	C (%)	P (%)	NOMBRE	
	Qz	Pl	FrHs	In	FBn	FPl	FVg	Accesorios					
								Gl					Mu
<b>HG-060</b>	34,3	4,9	3,3		50,8	6,0			0,5	28,7	15,7		Bioesparita de foraminíferos impura con láminas delgadas de biomicrita de foraminíferos, y presencia de glauconita (2,7%).
<b>HG-068</b>			1,0		38,2	20,6	39,2	1,0		61,4		9,2	Biomicrita de foraminíferos y fragmentos de algas, con textura wackestone, parcial a totalmente silicificada y fosfatizada (Chert diagenético).
<b>HG-072</b>		3,7	0,7		77,0	18,5				56,7		1,2	Biomicrita de foraminíferos bentónicos y planctónicos, de textura packstone, totalmente silicificada con intercalaciones de láminas de textura wackestone (Chert diagenético).
<b>HG-073</b>		14,8	10,9		54,7	19,5				22,7			Biomicrita de foraminíferos bentónicos y planctónicos, de textura packstone, totalmente silicificada (Chert diagenético).
<b>HG-076</b>	7,9	5,3			71,1	15,8				78,2		10,6	Biomicrita de foraminíferos de textura mudstone parcial a totalmente silicificada (Chert diagenético).
<b>HG-079</b>	12,7	29,4	7,8	1,0	33,3	14,7		1,0		70,8		0,8	Biomicrita de foraminíferos bentónicos tamaño arena media (33,7%) y pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (29,6%), parcial a totalmente silicificada (Chert diagenético), con textura wackestone y presencia de glauconita (1%).



Tabla 5-9. Análisis petrográfico de las rocas fosfáticas de la Formación Arenisca Dura y la parte inferior de la Formación Los Pinos, Sección Cuitiva.

MUESTRA	ARMAZÓN (%)											M (%)	P (%)	NOMBRE
	Qz	Pl	Oo	FrHs	In	FBn	FBv	Accesorios						
								Gl	Mu	Zr	Tu			
<b>HG-063</b>	11,0	49,0		27,4		4,0		7,0		0,5		41,9		Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (53,2%), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (29,6%), cuarzo tamaño arena muy fina (12,4%) y presencia de glauconita (7%).
<b>HG-067B</b>	15,3	48,8		16,7	1,0	14,7	0,5	2,5		0,5		41,5	3,0	Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (50,8%), cuarzo tamaño arena muy fina (15,9%) y presencia de glauconita (2,5%).
<b>HG-070B</b>	20,9	27,2	35,1	6,7	0,8	8,4		0,4	0,4			34,5	1,9	Fosforita impura de ooides fosfáticos tamaño arena fina (35,4%) y pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (27,4%) y cuarzo tamaño arena fina (21,1%), con presencia de glauconita.
<b>HG-070T</b>	22,2	31,9	35,1	5,4		4,3		0,7		0,4		19,1		Fosforita impura de ooides fosfáticos tamaño arena fina (35,5%) y pellets fecales arena media (32,2%) y cuarzo tamaño arena fina (22,5%), con presencia de glauconita.
<b>HG-071B</b>	24,8	26,3	25,9	6,5	0,4	14,7			0,7	0,7		17,8		Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (26,5%) y ooides fosfáticos tamaño arena fina (26,3%) y cuarzo tamaño arena fina (25,2%).
<b>HG-071T</b>	6,8	25,8	36,8	18,4	4,5	7,4						16,0		Fosforita de ooides fosfáticos tamaño arena fina (36,9%), pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (25,9%) y cuarzo tamaño arena media (6,8%).
<b>HG-077</b>	6,5	76,8		15,6		0,4				0,3	0,4	22,9		Fosforita de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (77,4%), fragmentos fosfatizados de huesos de peces tamaño arena gruesa (15,7%) y cuarzo tamaño arena muy fina (6,6%).
<b>HG-078C</b>	41,9	39,3	12,0	5,0						0,8	1,0	11,4		Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena fina (40%), y cuarzo tamaño arena muy fina (42,7%).
<b>HG-078T</b>	20,6	60,5	6,4	12,5								17,4	2,6	Fosforita impura de pellets fecales fosfáticos tamaño arena media (60,5%), fragmentos fosfatizados de huesos de peces (12,5%) y cuarzo tamaño arena fina (20,6%).

## 5.3 Procesos Diagenéticos

Durante los análisis petrográficos realizados a las muestras de roca de las secciones estratigráficas de Iza y Cuitiva, se observaron evidencias de tres procesos diagenéticos que han afectado estas rocas.

El primero de ellos es la silicificación, que afecta biomicritas y bioesparitas, esto se ve evidenciado por el reemplazamiento parcial a total de partículas calcáreas biogénicas tales como fragmentos de bivalvos y foraminíferos bentónicos y planctónicos por cristales de cuarzo microcristalino, además se observa un reemplazamiento parcial local de la matriz y cemento calcáreo por cuarzo. En muestra de mano, estas rocas no efervescen con el ácido clorhídrico, presenta fractura concoidea, partición ortogonal y se observan macizas; teniendo en cuenta estas características se les clasificó en campo como chert. Luego de realizar los análisis petrográficos se reconocen evidencias que permiten afirmar que no son cherts biogénicos sino cherts producto de los procesos diagenéticos que afectaron las rocas del Grupo Guadalupe.

Algunos ejemplos de este proceso diagenético pueden ser observados en rocas de la Formación Arenisca Dura y Los Pinos, en las secciones de Iza y Cuitiva (Muestras HG-068, 072, 073, 076 y 079)

La fosfatización es un proceso diagenético que afecta rocas tales como fosforitas, arenitas fosfáticas y menor proporción biomicritas. Se observa un reemplazamiento parcial a total de partículas biogénicas calcáreas, como foraminíferos, por cristales de minerales fosfáticos como el apatito (Muestra HG-079). También, se observa la formación de anillos de minerales fosfáticos, pristino, alrededor de partículas de cuarzo, foraminíferos u otros componentes del armazón, estos se han denominado ooides fosfáticos. La matriz lodosa terrígena presente en fosforitas y arenitas en la mayoría de los casos se presenta parcial a totalmente fosfatizada.

En las limolitas de grano grueso se observó la recristalización del cuarzo, lo que les confiere características de chert tales como fractura concoidea y partición ortogonal. Estos cherts son diagenéticos debido a que son producto de los procesos que afectaron estas rocas.

## 5.4 Análisis Químicos

Con el fin de identificar el contenido de  $P_2O_5$  (%) en las fosforitas y en algunas biomicritas (Muestras HG-013 y HG-009) identificadas se realizaron análisis químicos de óxidos mayores por el método de fluorescencia de rayos X. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada muestra analizada y la posición estratigráfica en la que se encuentra dentro de la columna estratigráfica (Tabla 5-10 y Tabla 5-11). Estos análisis además permitieron identificar la relación existente entre el porcentaje de armazón fosfático calculado a partir de los análisis petrográficos con el porcentaje de  $P_2O_5$  que estos representan. Las rocas que contenían el mayor porcentaje de armazón fosfático fueron las que presentaron los valores más altos de  $P_2O_5$  (Muestra HG-071B y HG-071T) mientras que biomicritas que tenían una fosfatización parcial no alcanzaron valores mayores de 3% (Muestra HG-13)

Tabla 5-10. Resultados de los análisis químico de óxidos mayores ( $P_2O_5$ %) para las muestras de la Sección Iza. La ubicación se refiere al metro de base a tope en el que se tomó la muestra.

FORMACIÓN	MUESTRA	UBICACIÓN (m.)	$P_2O_5$ (%)
<b>Fm. Labor-Tierna</b>	HG-037T	18.8	16.85
	HG-037B	18	13.55
	HG-036T	16.7	5.49
	HG-036B	16.1	13.45
	HG-035	15.7	4.05
	HG-034T	15.1	16.7
	HG-034B	14.3	14.6
<b>Fm. Arenisca Dura</b>	HG-015	145.2	11.4
	HG-013	141.3	2.46
	HG-012T	139.1	8.59
	HG-012B	138.2	13.2
	HG-011	94.7	13.3
	HG-010	93.8	14.75
	HG-009	92.1	1.27
	HG-008T	90.7	23.6
	HG-008B	88.8	23.1

Tabla 5-11. Resultados de los análisis químico de óxidos mayores (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%) para las muestras de la Sección Cuitiva. La ubicación se refiere al metro de base a tope en el que se tomó la muestra.

<b>FORMACIÓN</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>UBICACIÓN (m)</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>
<b>Fm. Los Pinos</b>	HG-078T	209.9	18,25
<b>Fm. Arenisca Dura</b>	HG-077	193.3	16,15
	HG-071T	133.7	28,7
	HG-071B	131.9	19,65
	HG-070T	131.5	18,5
	HG-070B	130.2	11,05
	HG-67T	85.5	4,93
	HG-067B	83.3	6