

**CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA
DE ALGUNOS NIVELES FOSFÁTICOS DE LA FORMACIÓN ERMITAÑO (Kse)
AFLORANTES EN LOS MUNICIPIOS DE IZA (VEREDA CENTRO) Y
SOGAMOSO (VEREDA PILAR Y CEIBITA).**

**HARIN LIZETH CUY BUITRAGO
ALEJANDRA JOHANNA GIRÓN MARTIN**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA.
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA.
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
SOGAMOSO - BOYACA**

2016

**CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA
DE ALGUNOS NIVELES FOSFÁTICOS DE LA FORMACIÓN ERMITAÑO (Kse)
AFLORANTES EN LOS MUNICIPIOS DE IZA (VEREDA CENTRO) Y
SOGAMOSO (VEREDA PILAR Y CEIBITA).**

**HARIN LIZETH CUY BUITRAGO
ALEJANDRA JOHANNA GIRÓN MARTIN**

Trabajo de grado en modalidad monografía como requisito parcial para optar por el
título de ingeniero geólogo

LAURA ALEXANDRA BARRANTES PÉREZ

(DIRECTORA)

Ingeniero Geólogo y Magister

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA.

ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA.

SEDE SECCIONAL SOGAMOSO

SOGAMOSO - BOYACA

2016

Nota de aceptación

Firma Director de Escuela

Firma Director del Proyecto

Firma del Jurado

Firma del Jurado

“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y
TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO,
RESIDE EN ELLA MISMA, POR LO TANTO NO RESPONDE A LAS OPINIONES
EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”.

SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN DEL MISMO INDICANDO SU ORIGEN.

DEDICATORIA

A Dios, mis padres, mi esposo, compañeros y docentes.

Gracias.

HARIN LIZETH CUY BUITRAGO

DEDICATORIA

A Dios a por permitirme obtener y alcanzar una meta más en mi vida, por darme la sabiduría necesaria para llegar aquí y por guiarme siempre en su camino.

A mi madre, la mujer que me dio la vida, me apoya y me brinda palabras de aliento y amor en todo este proyecto para poder tomar siempre las decisiones correctas; a mi hijo quien fue mi amigo y motor, me brindó su apoyo día tras día para seguir adelante a pesar de todo, con sus risas y abrazos me hizo este largo camino un poco más corto; a mi esposo por su apoyo y paciencia durante todos estos años. Gracias.

A mis compañeros, amigos, familiares y profesores quienes a lo largo de estos años han estado para mí siempre que les he necesitado ofreciéndome sus consejos, su apoyo y sabiduría.

ALEJANDRA JOHANNA GIRON MARTÍN

AGRADECIMIENTOS

Las autoras de este proyecto expresan sus más sinceros agradecimientos:

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

A la Facultad Seccional Sogamoso

Al cuerpo administrativo y docente de la Escuela de Ingeniería Geológica.

A la Ingeniera Geóloga Laura Alexandra Barrantes Directora del proyecto

Al PhD Jorge Mariño y Jurados.

A la ingeniera Geóloga Sandra Rojas, Laboratorista de Petrografía.

A Rosa Rodríguez, Secretaria de la Escuela de Ingeniería Geológica.

A la Ingeniera de Minas Carolina Ibáñez, asesora Fosfatos de Boyacá. S.A.

CONTENIDO

1. OBJETIVOS.....	3
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. GENERALIDADES	4
2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	4
2.3. METODOLOGIA.....	7
3. GEOLOGÍA.....	22
3.1. GEOLOGÍA REGIONAL	23
3.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	25
3.3. GEOMORFOLOGÍA.....	40
3.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	42
4. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA.....	46
5. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.....	72
6. FACIES Y AMBIENTES SEDIMENTARIOS.....	81
7. RESULTADOS	84
7.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	92
8. CONCLUSIONES	94
9. RECOMENDACIONES.....	97

10. BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFÍA.....100

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Localización Área De estudio.....	5
Gráfica 2. Esquema Metodológico.....	8
Gráfica 3. Esquema de elaboración de una sección delgada.....	16
Gráfica 4. Esquema de elaboración de una probeta pulida	17
Gráfica 5. Distribución de las rocas sedimentarias según las proporciones de terrígenos, aloquímicos, ortoquímicos.....	49
Gráfica 6. Porcentaje de componentes minerales de las secciones delgadas del municipio de Iza.....	53
Gráfica 7. Porcentual de los componentes minerales de las secciones delgadas de Sogamoso.....	56
Gráfica 8. Resultados de los componentes químicos de la roca PyC	73
Gráfica 9. Resultados de los componentes químicos de la roca M.S.M. M11	74
Gráfica 10. Histogramas de las muestras tomadas en la Vereda Pilar y Ceibita (Sogamoso)	77
Gráfica 11. Histogramas de las muestras tomadas en la Vereda Centro (Iza)	79
Gráfica 12. Modelo esquemático del ambiente de depósito de las facies	83
Gráfica 13. Columna Estratigráfica tipo de la Formación Ermitaño (Kse)	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Correlación Litoestratigráfica Del Cretácico y Terciario de La Parte Central de la Cordillera Oriental de Colombia.....	22
Tabla 2 . Descripción composicional % (secciones delgadas) de las muestras de la formación Ermitaño (Kse) en el municipio de Iza (Boyacá)	51
Tabla 3. Descripción textural de las secciones delgadas tomadas en la formación Ermitaño (Kse) en el municipio de Iza (Boyaca)	52
Tabla 4. Descripción composicional % (secciones delgadas) de las muestras de la formación Ermitaño (Kse) en el municipio de Sogamoso (Boyacá).....	54
Tabla 5. Descripción textural de las secciones delgadas tomadas en la formación Ermitaño (Kse) en el municipio de Sogamoso (Boyacá).....	55
Tabla 6. Componentes químicos de la roca PyC M ₃	73
Tabla 7. Componentes químicos de la roca M.S.M. M ₁	74
Tabla 8. Resultados de análisis químicos realizados por Fosfatos Boyacá S.A. en la vereda Pilar y Ceibita (Sogamoso)	76
Tabla 9. Resultados de análisis químicos realizados por Fosfatos Boyacá S.A. en la vereda San Miguel (Iza)	78
Tabla 10. Resumen de Sección Estratigráfica Vereda San Miguel (Iza).....	84
Tabla 11. Resumen de Sección Estratigráfica Vereda Pilar y Ceibita (Sogamoso).....	87

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1: Representación gráfica del levantamiento de la Columna Estratigráfica N°1 (Iza).....	11
Imagen 2: Representación gráfica del levantamiento de la Columna Estratigráfica N°2 (Iza)	12
Imagen 3: Representación gráfica del levantamiento la Columna Estratigráfica N°3 (Iza)	12
Imagen 4: Representación gráfica del levantamiento la Columna Estratigráfica N°1 (Sogamoso)	13
Imagen 5. Representación gráfica del levantamiento de la Columna Estratigráfica N°1 (Sogamoso)	13
Imagen 6. Afloramiento de la Formación Chipaque (Ksc)	27
Imagen 7. Afloramiento de la Formación Dura y Plaeners (Ksgpl)	29
Imagen 8. Formación Dura y Plaeners (Ksgpl)	29
Imagen 9. Formación Labor y Pinos (Ksgp)	31
Imagen 10. Formación Arenisca Tierna (Ksgt)	32
Imagen 11. Formación Guaduas (Tkg)	33
Imagen 12. Cuaternario Coluvial (Qc).	35
Imagen 13. Afloramiento de la Formación Chipaque (Ksc)	36
Imagen 14. Afloramiento de la Formación Dura y Plaeners (Ksgpl)	37
Imagen 15. Afloramiento de la Formación Labor y Pinos (Ksgp)	38
Imagen 16. Afloramiento de la Formación Arenisca Tierna (Ksgt)	39
Imagen 17. Imagen de la Falla El Pilar y Falla El volador	43
Imagen 18. Muestra HAS 01 Macroscópica.....	59

Imagen 19. Muestra HAS 01 Microscópica.....	59
Imagen 20. Muestra HAS 02 Macroscópica.....	60
Imagen 21. Muestra HAS 02 Microscópica.....	60
Imagen 22. Muestra HAS 03 Macroscópica.....	61
Imagen 23. Muestra HAS 03 Microscópica.....	61
Imagen 24. Muestra HAS 04 Macroscópica.....	62
Imagen 25. Muestra HAS 04 Microscópica.....	62
Imagen 26. Muestra HAS 05 Macroscópica.....	63
Imagen 27. Muestra HAS 05 Microscópica.....	63
Imagen 28. Muestra HAS 07 Macroscópica.....	64
Imagen 29 - 30. Muestra HAS 07 Microscópica.....	64
Imagen 31. Muestra HAS 09 Macroscópica.....	65
Imagen 32 - 33. Muestra HAS 09 Microscópica.....	65
Imagen 34. Muestra HAI 01 Macroscópica.....	66
Imagen 35. Muestra HAI 01 Microscópica.....	66
Imagen 36. Muestra HAI 03 Macroscópica.....	67
Imagen 37. Muestra HAI 03 Microscópica.....	67
Imagen 38. Muestra HAI 05 Macroscópica.....	68
Imagen 39 - 40. Muestra HAI 05 Microscópica.....	68
Imagen 41. Muestra HAI 06 Macroscópica.....	69
Imagen 42 - 43. Muestra HAI 06 Microscópica.....	69
Imagen 44. Muestra HAI 07 Macroscópica.....	70
Imagen 45 - 46. Muestra HAI 07 Microscópica.....	70

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Mapa Geológico de la zona de estudio en el municipio de Iza.
- Anexo 2.** Mapa Geológico de la zona de estudio en el municipio de Sogamoso
- Anexo 3.** Columnas estratigráficas del municipio de Iza. 1
- Anexo 4.** Columnas estratigráficas del municipio de Iza. 2
- Anexo 5.** Columnas estratigráficas del municipio de Iza. 3
- Anexo 6.** Columnas estratigráficas del municipio de Sogamoso. 1
- Anexo 7.** Columnas estratigráficas del municipio de Sogamoso. 2
- Anexo 8.** Correlación estratigráfica de la Formación Ermitaño (Kse).
- Anexo 9.** CD.
- Anexo 10.** Formatos de identificación de muestras macro HAS 01, 03, 07, 08, 09 HAI 01, 03, 05, 06, 07.
- Anexo 11.** Formatos de identificación de muestras micro HAS 01, 03, 07, 08, 09 HAI 01, 03, 05, 06, 07.
- Anexo 12.** Formato para el levantamiento de columnas estratigráficas en campo.

RESUMEN

El presente proyecto caracteriza petrográficamente y analiza los cambios faciales de algunos de los mantos explotables de roca fosfórica existentes en la Formación Ermitaño (Kse) correlacionados entre los municipios de Sogamoso e Iza (Boyacá).

La correlación litoestratigráfica realizada en los municipios de Iza y Sogamoso pertenecientes al departamento de Boyacá sobre la Cordillera Oriental describen unidades rocosas con capas tabulares masivas y estructuras internas paralelas continuas en areniscas con tamaño de grano medio a fino que se encuentran expuestas en las formaciones Dura y Plaeners (Ksgpl), Labor y Pinos (Ksgp) de edad Fanerozoico.

Los cambios laterales derivados de los episodios transgresivos y regresivos en las columnas litoestratigráficas afectaron más los espesores de los estratos en el municipio de Iza por el aumento de la solubilidad modificando la composición mineralógica y disminuyendo la concentración fosfática. Las rocas fosfáticas con altos contenidos de pentóxido de fósforo se localizan en asociaciones de facies transgresivas suprayaciendo superficies de inundación marina donde se evidenció un proceso sindiagénico seguido de acumulación de partículas fosfáticas derivados de corrientes; las capas de roca fosfórica aflorantes con potencial en la industria agronómica tienen espesores entre 1,7 metros y 2,5 metros. La formación de estas capas de roca fosfórica se llevó a cabo en un ambiente de plataforma somera y Lagoon en mareas de baja energía. Los bajos contenidos de magnesio (Mg) y los altos contenidos de Calcio (Ca) registrados en las muestras obtenidas confirman el ambiente deposicional marino somero.

ABSTRACT

The present project characterizes petrographically and analyze the facial changes of some of the exploitable layers of phosphoric rock existing in the Ermitaño Formation (Kse) correlated between the municipalities of Sogamoso and Iza (Boyacá).

The lithostratigraphic correlation conducted in the municipalities of Iza and Sogamoso belonging to the department of Boyacá on the Eastern Cordillera describe rock units with massive tabular layers and internal structures parallel continuous in sandstones size medium to fine grain that are exposed in the Dura and Plaeners (Ksgpl) formations and Labor and Pinos (Ksgp) of Phanerozoic age. The side changes resulting from the transgressive and regressive episodes in the stratigraphic columns affected more thicknesses of the layers in the municipality of Iza by increasing the solubility modifying the mineralogical composition and decreasing the phosphate concentration. The phosphatic rocks with high content of phosphorus pentoxide are located in transgressive facies associations overlaying marine flooding surfaces where sin-diagenetic process followed by accumulation of particles derived from phosphatic streams was evident; layers outcropping rock phosphate with agronomic potential have thicknesses between 1.7 meters and 2.5 meters. The formation of these layers of rock phosphate was conducted in a shallow platform environment and Lagoon low tides energy. The low magnesium content (Mg) and (Ca) Calcium high levels recorded in the samples obtained confirm the shallow marine depositional environment.

INTRODUCCIÓN

En la elaboración del siguiente proyecto se llevaron a cabo diferentes ensayos de carácter físico y químico, con ayuda de estudios petrográficos y estratigráficos para dar explicación de las variaciones de espesor, composición y continuidad de los niveles fosfáticos presentes en la formación Ermitaño (Kse) correlacionable con el Grupo Guadalupe (Formación Dura y Plaeners (Ksgpl), Formación Labor y Pinos (Ksgp) y la Formación Arenisca Tierna (Ksgt)), en ausencia de estudios que soporten y expliquen estos cambios, brindamos un aporte al conocimiento geológico con fines mineros de explotación, para evitar dificultades en el aprovechamiento de este recurso; ya que la roca fosfórica es usada como materia prima en la industria de fertilizantes y por ello tiene diferentes requerimientos de calidad y cantidad del contenido fosfático, en la región se explota la fosforita de manera artesanal desde los años 60; al ejecutar este proyecto esperamos incentivar al sector minero en el uso de la caracterización petrográfica para potenciar sus recursos minerales.

Entre los estudios realizados en la zona encontramos a Renzoni (1963), quien hace un reconocimiento de los fosfatos del Departamento de Boyacá y propone que los intervalos fosfáticos de interés se encuentran en la Formación Plaeners; dando una descripción de los afloramientos en la carretera Iza-Cuitiva con un intervalo fosfático de 2,75 m de espesor, con valores de P_2O_5 del 25% sobre la quebrada Chiguatá; donde se encuentran los bancos fosfáticos de interés.

Según Cathcart & Zambrano (1969), quienes hicieron una exploración de fosforitas en Colombia, partiendo de la hipótesis de que los fosfatos se depositaban en

miogeosinclinales adyacentes al cratón en ambientes donde se depositaron rocas como: chert, shales negros, rocas calcáreas y fosforitas.

En la cartografía de la Plancha 192 – Laguna de Tota (Ulloa E. Carlos, Rodriguez Erasmo, Fuquen Jaime, 2001), los autores proponen que el Grupo Guadalupe está dividido en las siguientes formaciones: 1. Formación Dura y Plaeners (Kspl) que corresponden a un conjunto de limolitas silíceas con intercalaciones de areniscas y frecuentes niveles fosfáticos. 2. Formación Labor y Pinos (Ksgp) conjunto de lutitas y limolitas negras con intercalaciones de calizas y areniscas de poco espesor. 3. Formación Arenisca Tierna (Ksqt) compuesta por areniscas cuarzosas macizas con laminación inclinada de grano fino a grueso.

En las áreas de estudio el miembro Guadalupe Medio presenta una litología predominantemente lodolítica silícea con intercalaciones de capas de arcillolitas y capas de arenisca cuarzosa con trazas fosfáticas en color amarillo, marrón y ocasionalmente gris, lo cual difiere con la litología de esta formación en el área de Bogotá en donde está constituida por arcillolitas y lodolitas de colores grises, liditas, porcelanitas, limolitas silíceas y escasas arenitas tal como lo reportan Pérez & Salazar 1978.

Empleando las características composicionales de las unidades litoestratigráficas y la asociación de facies sedimentarias, separamos las unidades transgresivas de unidades regresivas con el fin de identificar claramente los contactos entre las unidades que conforman el grupo Guadalupe: Formación Dura y Plaeners y formación Labor y Pinos para ser finalmente correlacionados entre los municipios de Sogamoso e Iza.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Correlación estratigráfica y caracterización petrográfica de algunos de los niveles fosfáticos con potencial minero, pertenecientes a la formación Ermitaño (Kse), en los municipios de Iza (vereda Centro) y Sogamoso (vereda Pilar y Ceibita).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y ubicar estratigráficamente los bancos de roca fosfórica con potencial minero pertenecientes al miembro inferior y medio de la formación Ermitaño en los municipios de Iza (vereda San Miguel) y Sogamoso (veredas Pilar y Ceibita).
- Caracterizar petrográficamente y químicamente los bancos de roca fosfórica de interés.
- Caracterización de litofacies y biofacies de los bancos de roca fosfórica correlacionados.
- Análisis de la relación entre caracterización química y petrográfica.
- Correlacionar estratigráficamente los bancos de roca fosfórica con potencial minero en la zona de estudio.

2. GENERALIDADES

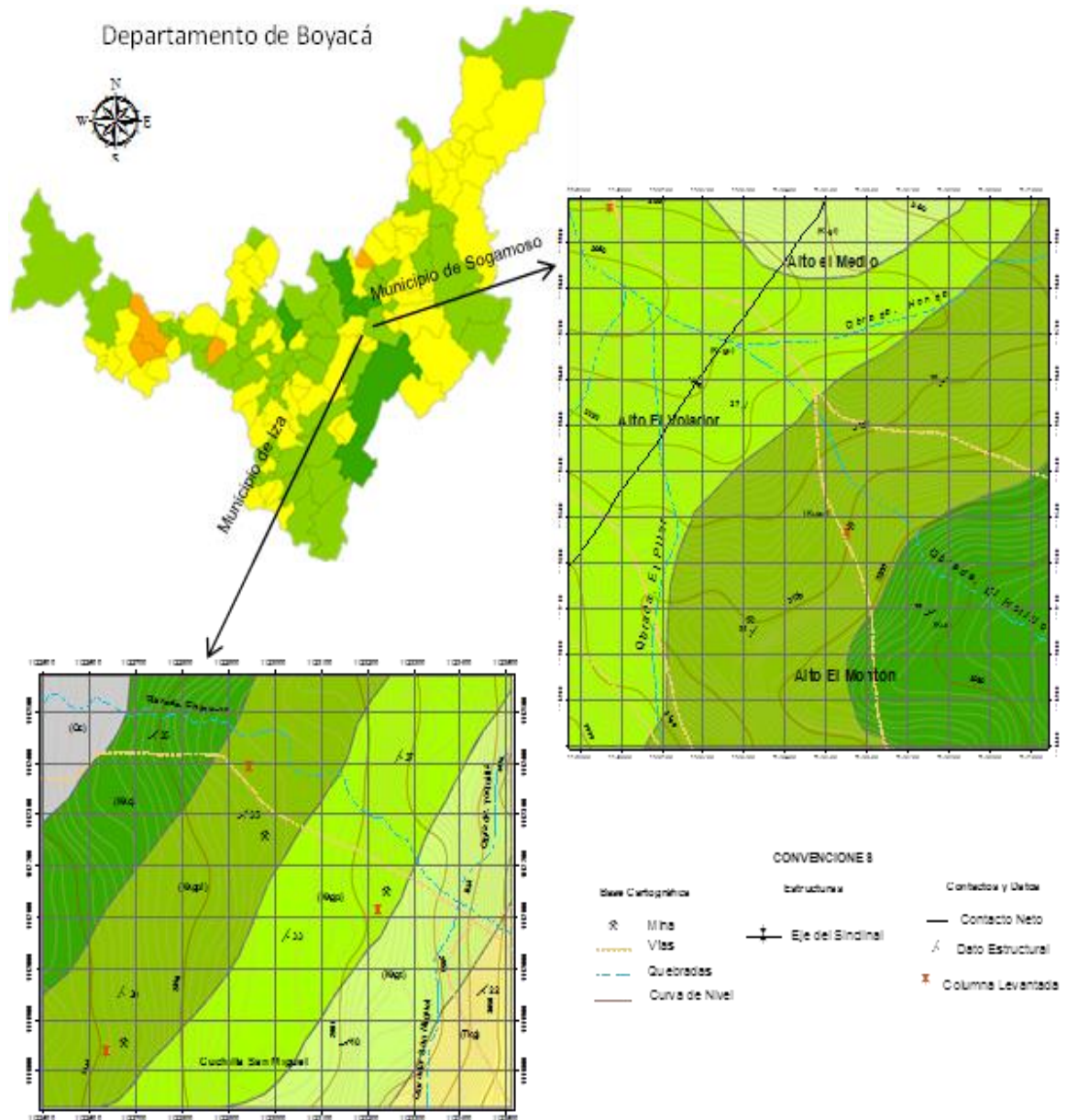
2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

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 Sogamoso.

La sección Iza se localiza en los alrededores del municipio, en la vereda Centro o San Miguel y sobre la margen de la quebrada Chiguatá por el camino que conduce de la cabecera municipal al acueducto. En este sector se encuentra aflorando el grupo Guadalupe, compuesto por las Formaciones Dura y Plaeners (Ksgpl), Labor y Pinos (Ksgp) y Arenisca Tierna (Ksgt); esta zona se encuentra delimitada por las coordenadas de inicio (N 1.112.421 y E 1.123.017) y coordenadas de finalización (N 1.111.981 y E 1.123.350).

La sección de Sogamoso se localiza hacia la parte sur oriental del municipio sobre la vereda Pilar y Ceibita cerca a la vereda El Hatillo donde aflora el grupo Guadalupe correlacionable con la formación Ermitaño (Kse) y se encuentra dentro de las coordenadas de inicio (N 1.119.255 y E 1.130.576) y coordenadas de finalización (N 1.118.950 y E 1.130.889).

Gráfica 1. Localización Área De Estudio.



Fuente: Autores.

- **Vías De Acceso**

Al área de estudio en el sector del municipio de Iza (Vereda Centro), se llega por la vía principal que conduce de Sogamoso a Iza y desde ahí se toma la vía que parte del parque principal del municipio y conduce hacia la vereda San Miguel. En el sector del municipio de Sogamoso (Vereda Pilar y Ceibita) se toma la carrera 11, que del centro del municipio conduce a la vereda Monquirá hasta Pie de Cuesta y luego por carretera secundaria se llega a la vereda Pilar y Ceibita.

- **Topografía Del Área**

La topografía de la región se encuentra entre abrupta a plana, con alturas que van desde los 2400 – 3200 m.s.n.m. y en ella observamos valles y montañas, que dan cuenta de una geomorfología en crecimiento ya que el paisaje observado es típicamente un paisaje juvenil intramontano.

En este estudio se utilizó la base topográfica a escala 1:25000 de 1965, Plancha 192 I A, proporcionada por el IGAC, de la cual se extrajo el área de estudio y se complementó generando curvas de nivel cada 10 metros y se actualizó la infraestructura superficial como son: carreteras principales, caminos, bocaminas y otras construcciones importantes en el sector.

- **Clima**

La región boyacense al estar ubicada en la zona cercana al paralelo Ecuatorial posee un clima templado. En el que encontramos una temperatura mínima promedio de 17°C durante los periodos que comprenden Diciembre y Enero; y la temperatura máxima es de 21°C; según los datos proporcionados por el IDEAM la temperatura promedio es de 18,4°C para los sectores de los municipios de Sogamoso e Iza.

- **Precipitación**

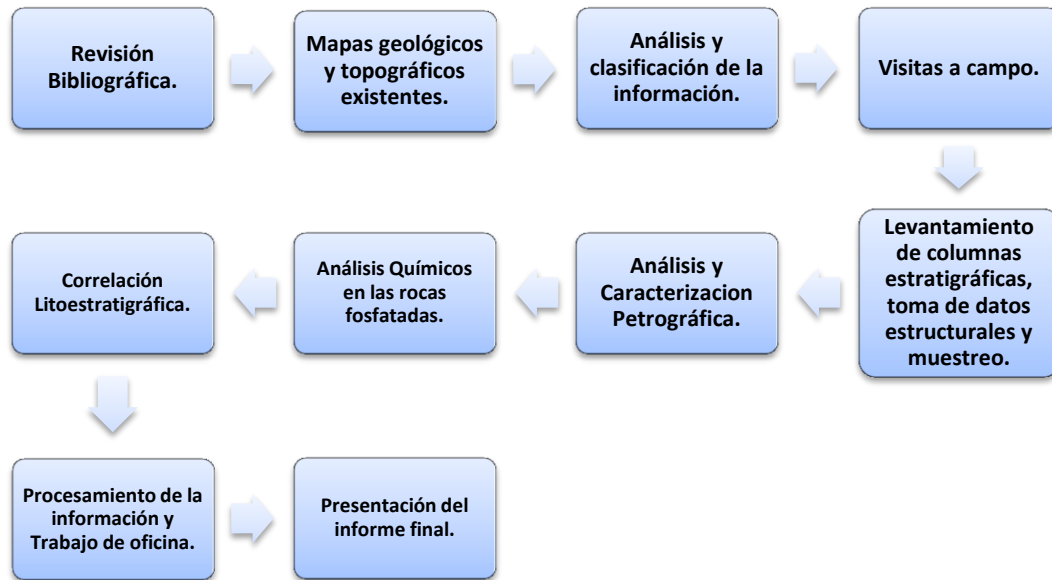
La precipitación anual promedio oscila entre los 500 mm y 700 mm teniendo en cuenta los análisis finales de los registros meteorológicos proporcionados por el IDEAM. Las temporadas de lluvia anuales que marcan el territorio se presentan semestralmente; la primera entre los meses de Mayo y Junio, y la segunda entre los meses de Septiembre y Octubre, incluyendo parte de Noviembre.

2.3. METODOLOGIA

La metodología utilizada para realizar la correlación estratigráfica y caracterización petrográfica de los bancos inferior y medio del grupo Guadalupe, se lleva a cabo

teniendo en cuenta los trabajos geológicos de campo y de laboratorio descritos a continuación.

Gráfica 2. Esquema metodológico.



Fuente: Autores

a. Revisión bibliográfica

Se realizó la consulta de trabajos geológicos, artículos, revista, proyectos de grado, libros base, review y demás información pertinente. Ubicación de los afloramientos de roca fosfórica con ayuda de imágenes satelitales, fotografías

aéreas e información bibliográfica, planchas topográficas y geológicas a escala 1:25000.

b. Columnas estratigráficas

Para llevar a cabo el levantamiento de las columnas estratigráficas escala 1:25 en los puntos de afloramiento y mapa geológico local a escala 1:5000, toma de muestras y medición de los espesores de las capas, se partió de columnas estratigráficas existentes regionales y locales, mediante software, para así ubicar las columnas realizadas e identificar la secuencia regional y los bancos de roca fosfórica con potencial minero y de los cuales se van a extraer las muestras para ser correlacionadas posteriormente llevándose a cabo las siguientes etapas:

1ª. Etapa del levantamiento de columnas estratigráficas se realizó un reconocimiento del área e identificación de los bancos fosfáticos y afloramientos para el muestreo, en ambos municipios Iza y Sogamoso.

2ª. Etapa se ubicaron los puntos de muestreo, teniendo en cuenta las rocas aflorantes con altos contenidos fosfáticos, ayudándonos con la identificación y la ubicación de las explotaciones mineras en la zona. Las muestras recolectadas se ubicaron dentro de las capas fosfáticas que se delimitaron por la diferencia del tamaño de grano; las muestras fueron tomadas de base, techo y medio; aunque en algunas de estas capas delgadas y muy delgadas (-10 cm) no fue posible dar una ubicación a la muestra sino que se tomó completa una sección de la capa.

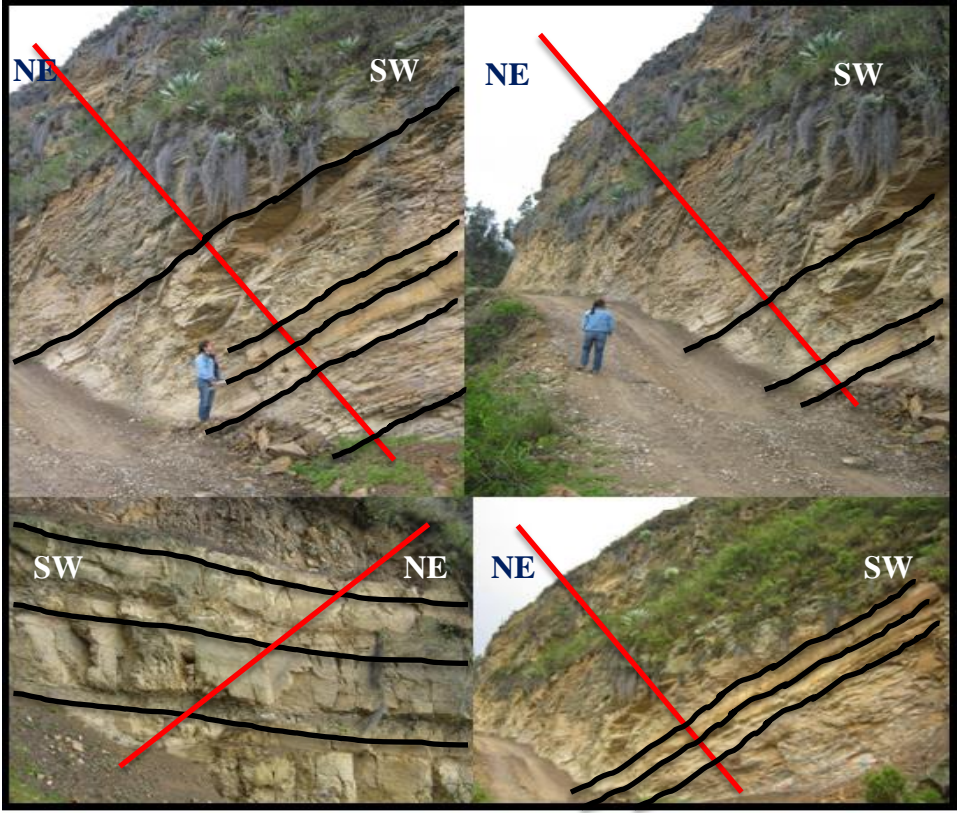
3ª. Etapa se fijaron los parámetros a tener en cuenta para realizar la correlación Litoestratigráfica (Características físicas de las rocas, color, dureza, porosidad, disposición de los granos, esfericidad y redondez, selección, empaquetamiento y contacto, así como la estimación visual del porcentaje en volumen de los diferentes clastos.); las características de las capas y láminas (Escala de espesores, geometría y el contacto entre las mismas), niveles especiales (fosfatizados) y los cambios observables a simple vista.

4ª. Etapa se realizó el levantamiento de las columnas litoestratigráficas. 5ª. Etapa se digitalizaron las columnas litoestratigráficas (Autocad y Sedlog) con los datos obtenidos en campo; independientemente de la zona en la que se levantaron.

6ª. Etapa se describieron las columnas litoestratigráficas levantadas y digitalizadas para así poder definir las facies, la asociación facial y ambientes sedimentarios.

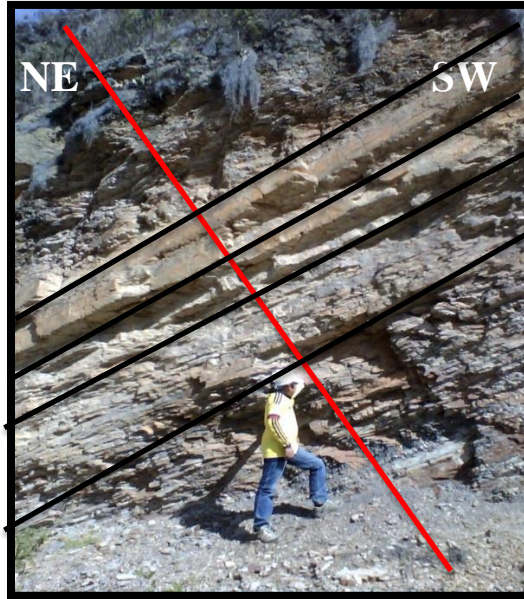
7ª. Etapa se correlacionaron las columnas litoestratigráficas de los municipios de Iza y Sogamoso.

Imagen 1. Representación gráfica del levantamiento de la Columna Estratigráfica N°1. N: 1122637
E: 1111835 Altura de 2.704 m.s.n.m.de la vereda San Miguel (Iza) (Ver anexo No.3)



Fuente: Autores

Imagen 2. Representación gráfica del levantamiento de la Columna Estratigráfica N°2. Columna Estratigráfica N°1. N: 1122948 E: 1112389 Altura de 2.694 m.s.n.m.de la vereda San Miguel (Iza). (Ver anexo No.4).



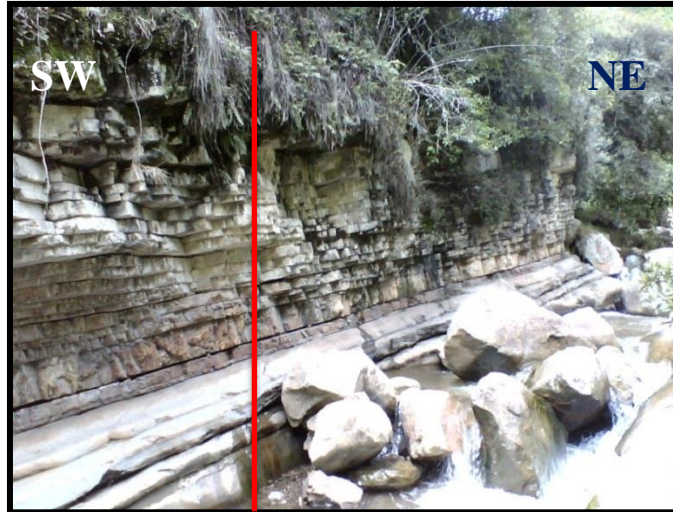
Fuente: Autores.

Imagen 3. Representación gráfica del levantamiento de la Columna Estratigráfica N°3. Columna Estratigráfica N°1. N: 1122637 E: 1111835 Altura de 2.704 m.s.n.m.de la vereda San Miguel (Iza) (Ver anexo No.5)



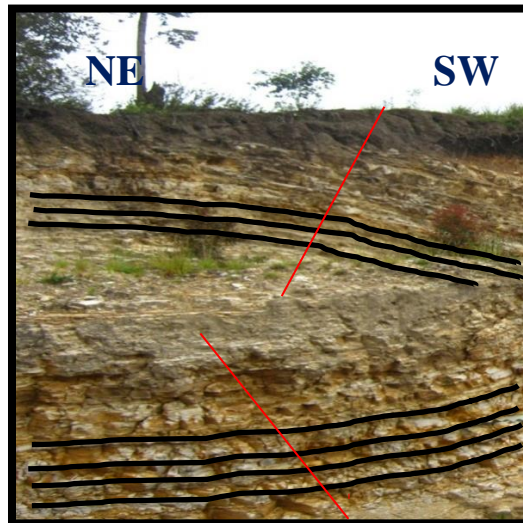
Fuente: Autores

Imagen 4. Representación gráfica del levantamiento la Columna Estratigráfica N°1. (Sogamoso) Formación Labor y Pinos (Ksgp). Coordenadas: E: 1130367 N: 1119636, Altura (H: 2763 m.s.n.m.) Rumbo: N85°W/15°NE. (Ver anexo 6)



Fuente: Autores

Imagen 5. Representación gráfica del levantamiento de la Columna Estratigráfica N°2. Columna Estratigráfica N°1. N: 1122637 E: 1111835 Altura de 2.704 m.s.n.m.de la vereda Pilar y Ceibita (Sogamoso) (Ver anexo 7)



Fuente: Autores

c. Datos de campo

Elaboración de formatos de muestreo y recolección de información en campo; Toma de datos estructurales, levantamiento de 2 columnas estratigráficas a escala 1:25 en cada municipio, identificación de litofacies, identificación de los bancos de roca fosfórica con potencial minero; muestreo de la roca fosfórica para análisis petrográficos y químicos, los datos adquiridos son consignados en la cartera de campo, las muestras se enumeraron, georreferenciaron y diligenciaron formatos de muestreo proporcionados por la universidad, así también se llenaron los formatos para el levantamiento de columnas estratigráficas.

d. Análisis y Caracterización Petrográfica

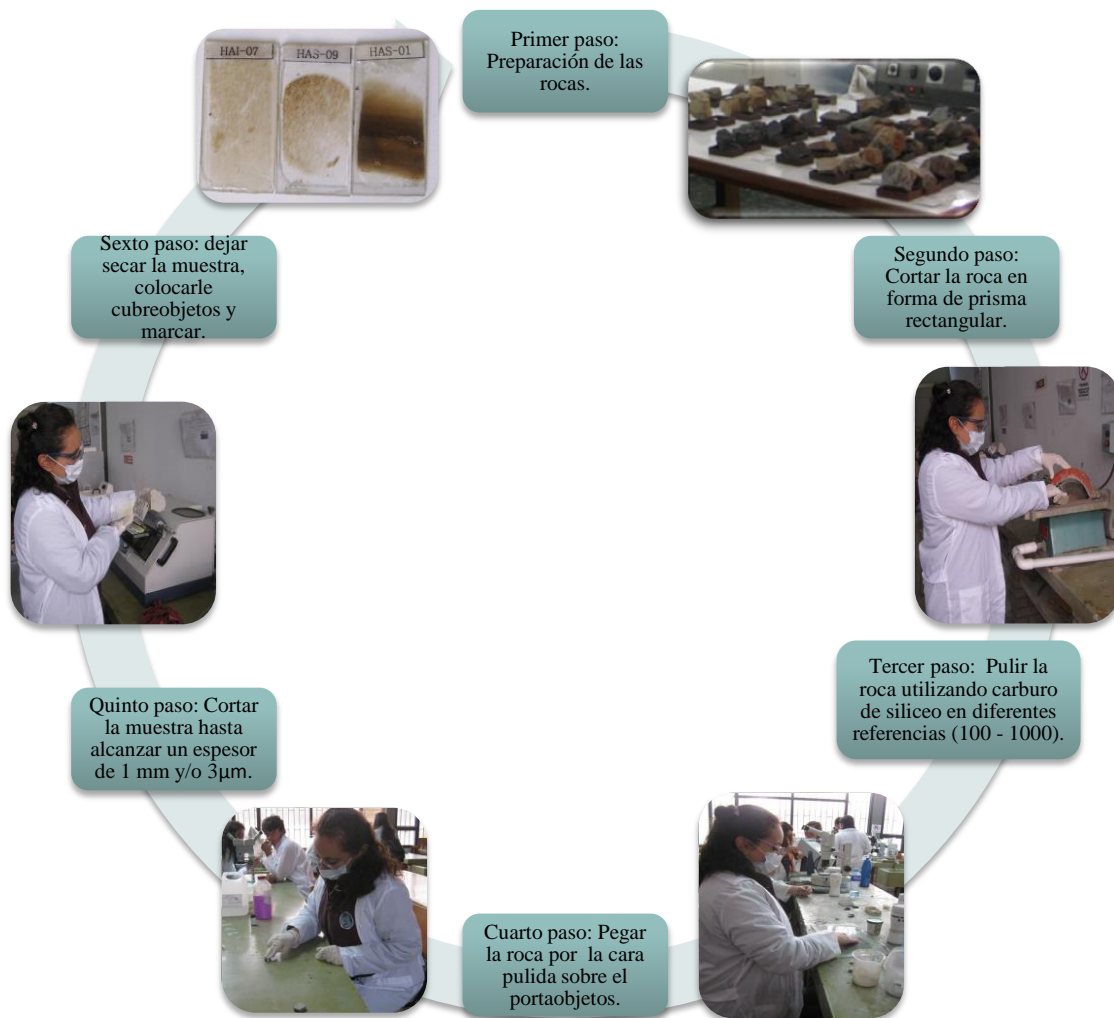
Caracterización petrográfica a nivel macroscópico y microscópico de cada muestra tomada en campo, para describir textural, mineralógicamente la roca fosfórica e identificar las facies.

Macroscópico: La descripción a nivel macro se realiza en cada muestra de tamaño puño, la cual es observada bajo el estereoscopio (Stereoscopic Zoom Microscope SMZ 1000) y se realiza inicialmente una estimación, descripción e identificación de los materiales presentes en la muestra, se llenan los formatos utilizando las siguientes clasificaciones: la clasificación de Folk 1980, clasificación de rocas sedimentarias Castro D. Antonio 1989 y Clasificación de rocas fosforita con el $P_2O_5 > 18\%$ tomada del El Servir's Mineral and Rock Table Compiled by P. Lof.

(1982), se toma el archivo fotográfico y se realiza la selección de las muestras a las que se les va a realizar la sección delgada.

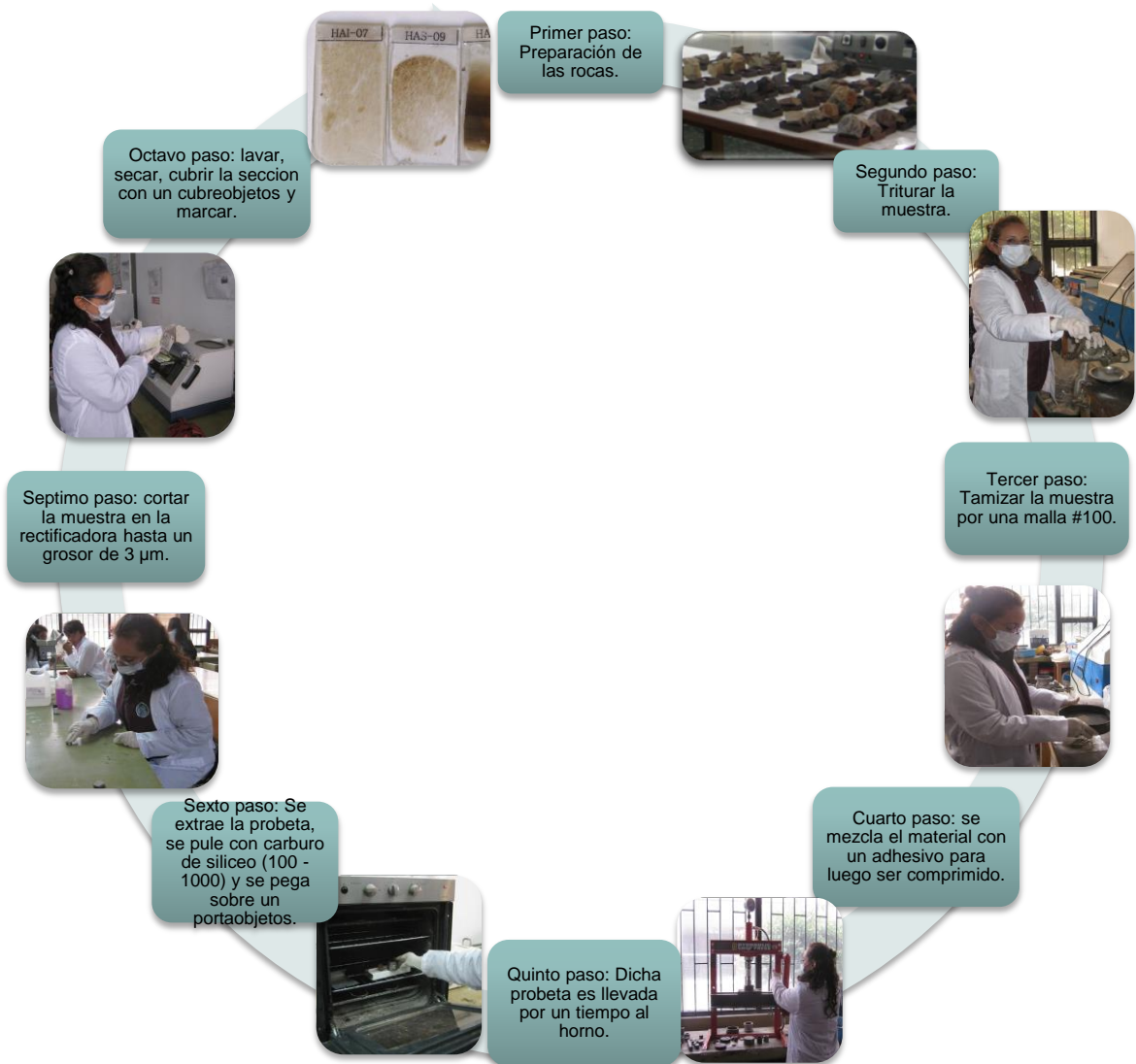
Microscópico: La caracterización a nivel micro se realiza con ayuda del microscopio (Olympus BX 51), inicialmente se toma la muestra de mano seleccionada y se elabora una sección delgada. Al concluir este proceso la muestra está lista para ser descrita; en este paso se lleva a cabo el conteo de 500 puntos en promedio teniendo en cuenta la norma internacional ASTM E112, utilizando el método planímetro que involucra el conteo de puntos dentro de un área 5000 mm^2 , distribuidos en toda la sección delgada, con lo que nos es más exacto determinar el contenido mineralógico de la muestra (Cuarzo, Colofana, Fluorapatito, Glauconita, Hematite, Limonita, Ilmenita, Pellets, Fósiles, trazas de otros minerales, así como el cemento que puede ser clasificado como Carbonatado y/o silíceo); estos valores son recalculados, llevados a porcentaje y de esta forma se obtiene el contenido mineralógico de cada muestra. (Ver tablas 2 a 5).

Gráfica 3. Esquema de elaboración de una sección delgada



Fuente: Autores.

Gráfica 4. Esquema de elaboración de una probeta pulida.



Fuente: Autores.

e. Análisis químico

El proceso de caracterización química se llevó a cabo por medio del método de fluorescencia de rayos X en el laboratorio de materiales en la U.P.T.C. sede Central, para una muestra de cada banco de roca fosfórica (2), utilizando en *Equipo de Fluorescencia de Rayos X por energías dispersivas (Panalitica minipal 2 PW4030/45)*, donde se obtuvo cantidad en porcentaje de elementos químicos presentes en las muestras. Este procedimiento se describe a continuación: **a)** Recolección de la muestra e identificación de minerales a nivel macroscópico en el laboratorio de petrografía. **b)** Esta muestra es molida y puesta a secar para luego ser tamizada sobre una malla #100. **c)** La muestra ya seca es pesada (200 gr) y enviada al laboratorio de materiales en la sede Central de la universidad. **d)** La muestra es nuevamente pesada y de ella se toma una parte representativa de la muestra total a la que se le realizara el procedimiento de fluorescencia de rayos X. **e)** En este proceso se excitan los átomos de la muestra con un haz primario proveniente de una fuente de rayos X, con esto los átomos se combinan y emiten radiación X secundaria, esta emisión es registrada en un histograma mostrando un numero de fotones emitidos por intervalo de energía. **f)** Cada emisión de rayos X es asociada a un elemento químico diferente con lo que en los resultados de este análisis se logra diferenciar el contenido porcentual de cada elemento presente.

f. Correlación de columnas litoestratigráficas

Digitalización de las columnas estratigráficas a escala 1:25 correlacionándolas entre municipios, teniendo en cuenta la identificación de las facies (litofacies y

biofacies) presentes en la zona de estudio; para esto se realizó una correlación litoestratigráfica basándonos en la descripción de las características físicas generales de las rocas (color, dureza, forma, porosidad, disposición de los granos, esfericidad y redondez, selección, empaquetamiento, contacto, y estimación visual del porcentaje en volumen de los diferentes clastos); características de las capas y láminas (espesor de las capas y láminas, geometría interna de las capas y contacto entre las capas). Se establece la correspondencia entre los diferentes puntos de afloramiento de los miembros inferior y medio de la formación Ermitaño (Kse). Luego con la descripción de facies y ambientes se hace una comparación visual entre espesores de capas, ciclicidad y litología, con la cual se correlacionan las columnas primero a nivel de municipio y posteriormente en su totalidad, para así hacer más evidentes los cambios laterales dentro de la formación.

g. Análisis y discusión de resultados

La determinación de las variaciones faciales y asociaciones se llevan a cabo teniendo en cuenta las diferencias composicionales y litológicas, así como las similitudes entre capas de un mismo estrato, la forma de depositación y la presencia o no de microfósiles, para ser correlacionadas entre sí, un ejemplo de esta clasificación es la asociación asimétrica negativa granocreciente en la sección 1 del municipio de Iza donde las capas de cuarzo arenitas de color gris oscuro a medio con fragmentos de bioclastos se encuentran en una estratificación plana paralela con un espesor entre (45 cm - 136 cm) intercaladas con capas de limolitas grises con pellets en espesor de (8 cm – 35 cm); de igual manera la afinidad o discrepancia entre los resultados obtenidos en el ensayo de caracterización química y petrográfica, resaltando la utilidad de cada técnica. Para

realizar esta correlación utilizamos en la parte petrográfica la estadística descriptiva, cualitativa y cuantitativa; con los datos obtenidos; esta técnica permitió una fácil correlación entre los contenidos mineralógicos de cada muestra tomada en campo. El ensayo de fluorescencia de rayos X confirmo que la información obtenida en el laboratorio petroográfico era correlacionable, los datos de los análisis químicos proporcionados por la empresa Fosfatos Boyacá S.A. dejaron al descubierto que esta empresa está explotando un manto fosfático con características similares.

2.3.1. Equipo e Instrumentación

El equipo utilizado en la elaboración de este estudio se puede dividir en 2 etapas:

- Campo: Para realizar el trabajo de campo, el reconocimiento de la zona, el levantamiento de las columnas estratigráficas y el registro fotográfico se utilizaron: Brújula, GPS, martillo geológico, cinta métrica, cámara y cartera de campo.
- Laboratorio: Fue necesario emplear los laboratorios de Petrografía y Materiales:
 - Macroscopía: Estereoscopio (Stereoscopic Zoom Microscope (SMZ 1000/SMZ800)); en las secciones delgadas se utilizó: Cortadora y Re-seccionadora de Rocas (Petrothim sectioning system), Cortadora de Rocas, Prensa Hidráulica (Hydraulic shop press) y Horno Eléctrico.

- Microscopía: Microscopio eléctrico binocular de luz reflejada (Olympus BX51).
- Materiales: *Equipo de Fluorescencia de Rayos X por energías dispersivas (Panalitical minipal 2 PW4030/45).*

3. GEOLOGÍA

El presente capítulo describe las características litológicas de las formaciones aflorantes en el área de estudio. Así mismo expone los acontecimientos geológicos ocurridos a partir del Cretáceo, con su influencia tectónica regional.

La tabla de Correlación Litoestratigráfica nos muestra las diferentes formaciones y con cuales son correlacionables en la zona de estudio.

Tabla 4. Correlación Litoestratigráfica Del Cretacico Y Terciario De La Parte Central De La Cordillera Oriental De Colombia

EDAD	V ANDER HAMEN 19 58 HUBACH 1957a	RENZONI 1969 (L11)	PEREZ Y SALAZAR 1973 Sabana de Bogotá	RENZONI 1967 (J12)	ALV ARADO Y SARMIENTO 1944	PRESENTE TRABAJO		
MAESTRIEHT. TAR	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS	FORMACION GUADUAS		
MAESTRIEHT. TEM	GRUPO GUADALUPE	NIVEL DOS AR. TIERNA	GRUPO GUADALUPE	FORMACION LABOR Y TIERNA	FORMACION ERMITAÑO	GRUPO GUADALUPE	Fm. Ar. Tierna	
							Fm. Ar. Labor	
CAMPANIANO TAR.		MIEMBRO DE LOS PLEANERS		FORMACION PLEANERS			Formación Plaeners	Formación Labor y Los Pinos
CAMPANIANO TEM.		AR. DURA		FM. RAIZAL			Fm. Ar. Dura	Formación Plaeners
CONICIANO	PISO DE VILLETA	FM. CHIPAQUE	FM. CHIPAQUE		VILLETA		FM. CHIPAQUE	
TURONIANO		FORMACION UNI	FORMACION UNE				FM. UNE	FM. UNE
ALBIANO		FM. FOMEQUE	FM. FOMEQUE				FM. TIBASOSA	FM. TIBASOSA

Fuente: Memoria explicativa de la plancha geológica 192 Laguna de Tota.

La nomenclatura usada en este capítulo para las diferentes formaciones aflorantes en la zona de estudio, se basa en las Memorias de la plancha 192 (Ulloa E. Carlos, Rodríguez Erasmo, Fuquen Jaime, 2001).

- Formación Chipaque (Ksc)
- Grupo Guadalupe
 - Formación Dura y Plaeners (Ksgpl).
 - Formación Labor y Pinos (Ksgp).
 - Formación Arenisca Tierna (Ksgt).
- Formación Guaduas (Tkg)

3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

La geología en la zona de estudio está compuesta por formaciones que hacen parte de la Edad Cretácica donde encontramos las siguientes formaciones:

Formación Chipaque (Ksc): Nombre dado por Hubach (1931) y redefinido por Renzoni (1963) caracterizada por lodolitas negras con intercalaciones de cuarzo arenitas de grano muy fino a fino. La localidad tipo se encuentra en la población de Chipaque presenta un espesor promedio de 565 m.

Formación Ermitaño (Kse): Esta formación la nombro así Alvarado y Sarmiento (1944) a la sección aflorante del Cretáceo Superior marino a la localidad de El

Ermitaño al noreste de Paz del Rio constituida por arcillolitas fisibles grises con intercalaciones de areniscas calcáreas y shale calcáreo. Esta formación es correlacionable con el Grupo Guadalupe.

Formación Guaduas (Tkg): Según Alvarado y Sarmiento (1944) denominaron Guaduas al conjunto de estratos compuestos de areniscas calcáreas fosilíferas que contiene mantos de carbón explotables, por analogía con la formación homónima definida por Hettner (1892) “todos los materiales que se encuentran por encima del Guadalupe en la región de Bogotá”, en Cundinamarca.

Formación Socha Inferior (Tpasi): La formación Areniscas del Socha propuesta por Alvarado y Sarmiento (1944) representa una gruesa secuencia de areniscas que reposan sobre la formación Guaduas. La sección tipo de esta formación aflora en las cercanías de Socha Viejo, área de Paz de Rio. El contacto inferior es discordante con la Infrayacente Formación Guaduas.

El ambiente de depósito de la unidad según Fabre (1981 y 1983), es de depósitos de barras litorales y playas. Osorno (1994) sugiere un ambiente de depósito de ríos trezados, meandriformes y llanuras aluviales, en el área corresponde a ambientes fluviales. La formación Socha Inferior se correlaciona con la formación barco del área de Santander, con la Arenisca del Cacho en la Sabana de Bogotá y con la Arenisca del Morro del Grupo Palmichal.

Formación Socha Superior (Tpars): Definida por Alvarado y Sarmiento (1944), la unidad presenta una morfología de valles que contrasta con la de escarpes de las

infra y suprayacentes Areniscas del Socha y Picacho. El ambiente de depósito corresponde a llanuras de aluviales de inundación con canales distributarios, la edad de la formación de acuerdo con Van der Hammen (1957) es del Paleoceno superior.

La unidad es correlacionable con la parte superior de la formación Bogotá, con la formación Arcillas, El Limbo en el Borde Llanero y con parte de la formación Los Cuervos en Santander.

Depósitos Cuaternarios (Qal y Qc): Son depósitos producto de procesos aluviales y glaciares ocurridos durante el Plio-Pleistoceno, se reconocen por morfologías de cerros de baja altura generando un terreno con aspecto ondulado y conformado por gravas de clastos angulares mal seleccionados embebidos en una matriz arcillo-limosa.

3.2. GEOLOGÍA LOCAL

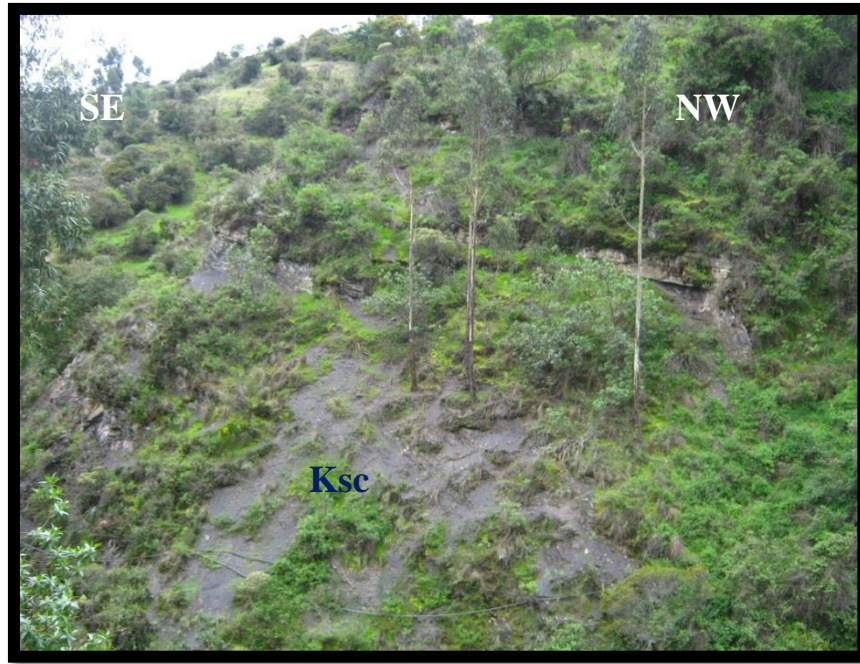
El capítulo describe las características geológicas de las formaciones aflorantes en las áreas de estudio (Sogamoso e Iza), en donde afloran rocas sedimentarias de edades Cretácico, además depósitos recientes aluviales y coluviales influenciados por procesos tectónicos de tipo regional.

Las formaciones descritas a continuación presentes en la zona de estudio correspondiente al municipio de Sogamoso (vereda Pilar y Ceibita), llevan la siguiente secuencia cronoestratigrafía de base a techo.

- **Formación Chipaque (Ksc)**

En la zona de estudio la formación se caracteriza por presentar capas de areniscas cuarzosas de grano fino a medio en colores amarillo claro (10YR 8/6), amarillo oscuro (10YR 6/6), amarillo medio (5Y 7/6), gris claro (5Y 8/4) a verde amarillento (10Y 8/2), blanco (9) y algunas poseen oxidación lo que les da tonos rojizos; intercaladas con lodolitas en tonos gris oscuro (3) a amarillo medio (5Y 7/6) (The geological society of America, 2008) hacia el techo; en la base de la formación se presentan clastos angulares a subangulares de arenisca cuarzosas de diferentes tamaños (5 cm a 50 cm). Esta formación presenta ocasionales capas de roca fosfórica de poco espesor.

Imagen 6: Formación Chipaque (Ksc) en la zona de estudio sobre la Vereda El Hatillo (Sogamoso)
E: 1131917 N: 1118450, Altura (H: 3093 m.s.n.m.). Rumbo: N34°E



Fuente: Autores.

- **Grupo Guadalupe correlacionable con la formación Ermitaño (Kse):**

En la zona de estudio las encontramos de la siguiente manera:

- **Formación Dura y Plaeners (Ksgpl)**

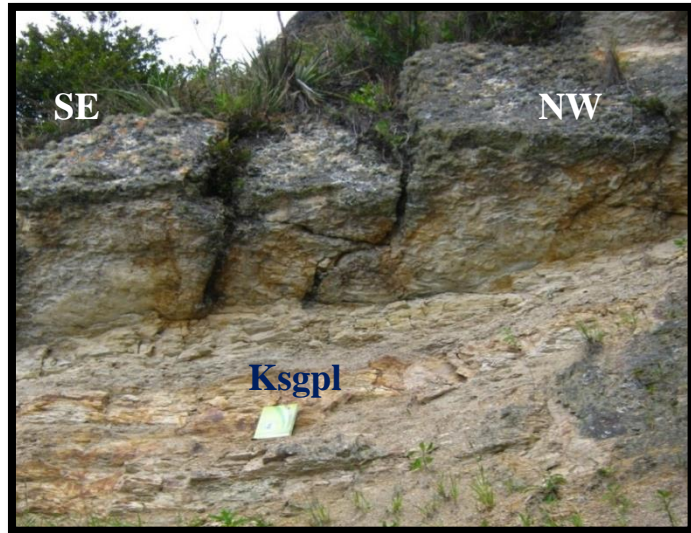
Esta formación en la zona de estudio está formada por capas de cuarzo arenitas de color amarillo grisáceo (5Y 8/1) y gris verdoso (10Y 5/2) (Munsell Color, 2009), masivas, de grano fino a medio, bien seleccionadas, en bloques muy angulosos de gran espesor (3.5m aprox.), que poseen fractura cóncava y evidencia de alta

meteorización, constituyendo escarpes; éstas areniscas van intercaladas con arcillolitas silíceas de color blanco a crema en espesores variables de hasta 40 cm, friable.

En la parte superior del cerro El Volador afloran rocas con alto contenido calcáreo y algunos fósiles de Filum Foraminíferos como: esponjas, caparazones y bivalvos.

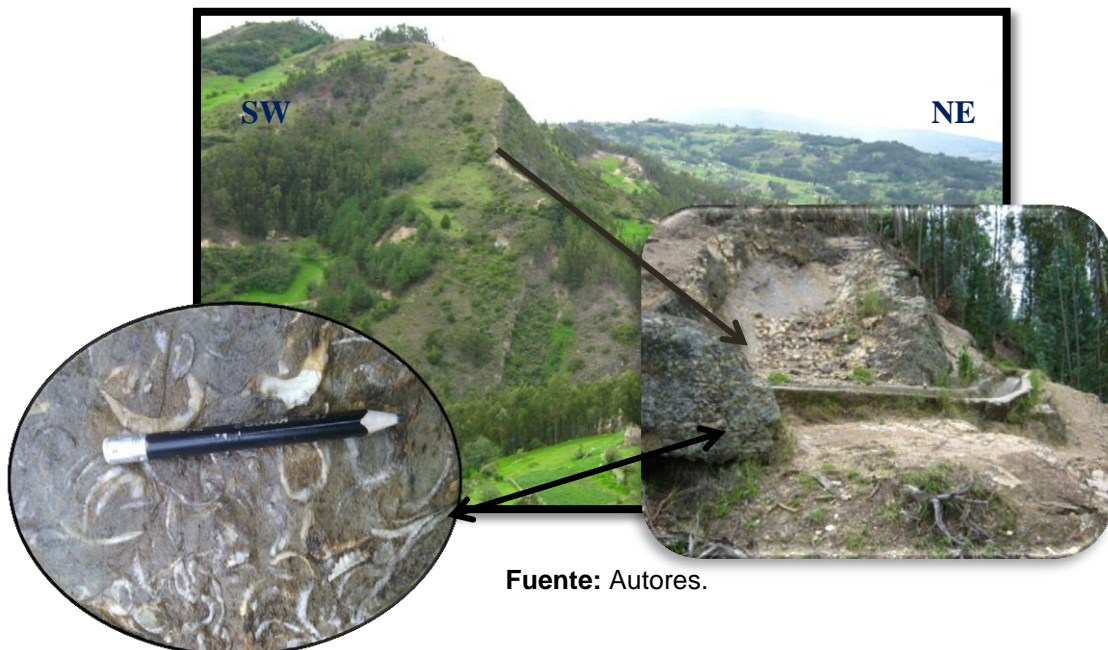
En esta formación encontramos fosforitas estratificadas de colores naranja claro (10Y 8/2) y amarillo grisáceo (5Y 8/1) (Munsell Color, 2009), de espesores variables, asociadas con capas de lodolitas carbonosas y sedimentitas carbonáticas. Suelen estar compuestas por aloquímicos (pellets, ooides y restos de braquiópodos fosfáticos) y cemento carbonatado; se les considera depositados en ambientes marinos de plataforma vinculados con corrientes de surgencia (upwelling).

Imagen 7: Afloramiento de la Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) en la zona de estudio sobre la Vereda Pie de Cuesta (municipio de Sogamoso) E: 1129719 N: 1119766, Altura (H: 2830 m.s.n.m.) Rumbo: N68°E/30°NW



Fuente: Autores.

Imagen 8: Afloramiento de la Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) en el Cerro el Volador en el municipio de Sogamoso E: 1129508 N: 1119791, Altura (H: 2793 m.s.n.m.).



Fuente: Autores.

- **Formación Labor y Pinos (Ksgp)**

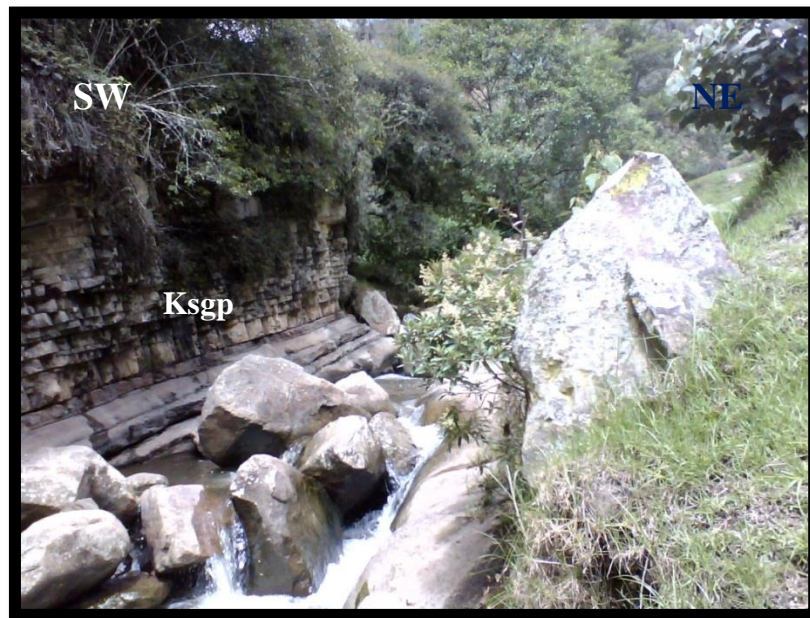
Esta formación aflora en la zona de estudio tiene un espesor aproximado de 340 cm, aparece en la zona de estudio conformada por cuarzo arenitas de colores naranja pálido (10 YR 8/6), naranja oscuro (10YR 6/6), amarillo medio (5Y 7/6) y marrón claro (5Y 5/6), en bloques angulosos de gran espesor (5 m aprox.), presenta alta meteorización y grandes fracturas; con intercalaciones de lodolitas en tonos gris medio (4) y gris oscuro (5) (Munsell Color, 2009), friables y fisibles en espesores de 30 cm.

Sobre esta formación encontramos explotaciones de roca fosfórica como lo son la mina Chalet y Orduña en las cuales no hay extracción del mineral en el momento, también están la mina Santa María y la mina artesanal San Martín. En ésta formación se encuentran fosforitas bioclásticas con fragmentos esqueléticos de vertebrados como: huesos, dientes y escamas de peces, fragmentos de invertebrados como algunas conchas de braquiópodos, junto con coprolitos, poseen cementos que pueden ser fosfáticos o silíceos. Así como también existen Fosforitas Nodulares, donde se observan nódulos de diferentes tamaños que van desde centímetros a metros, masivos o con estructuras bandeadas.

Sobre la vía que conduce de la vereda Pie de Cuesta hacia la vereda Pilar y Ceibita se localizan areniscas fosfáticas de colores naranja claro (10YYR 8/2), amarillo verdoso claro (10Y 8/2) a amarillo medio (5Y 7/6), con cemento silíceo en mantos de poco espesor. Aguas abajo de la quebrada Honda se logran observar liditas fosfáticas en color negro (1) a marrón oscuro (5YR 2/1) (Munsell Color, 2009), expuestas sobre la margen nor-oriental del cauce, estas liditas forman

grandes bancos de hasta 5 m, adquiriendo una geoforma de risco, ya que han sido morfológicamente moldeados por las aguas de la quebrada.

Imagen 9: Afloramiento de la Formación Labor y Pinos (Ksgp). Quebrada Honda y exposición de roca lidada fosfática afectada por el curso de la corriente, vereda Pilar en el municipio de Sogamoso E: 1130367 N: 1119636, Altura (H: 2763 m.s.n.m.) Rumbo: N85°W/15°NE.



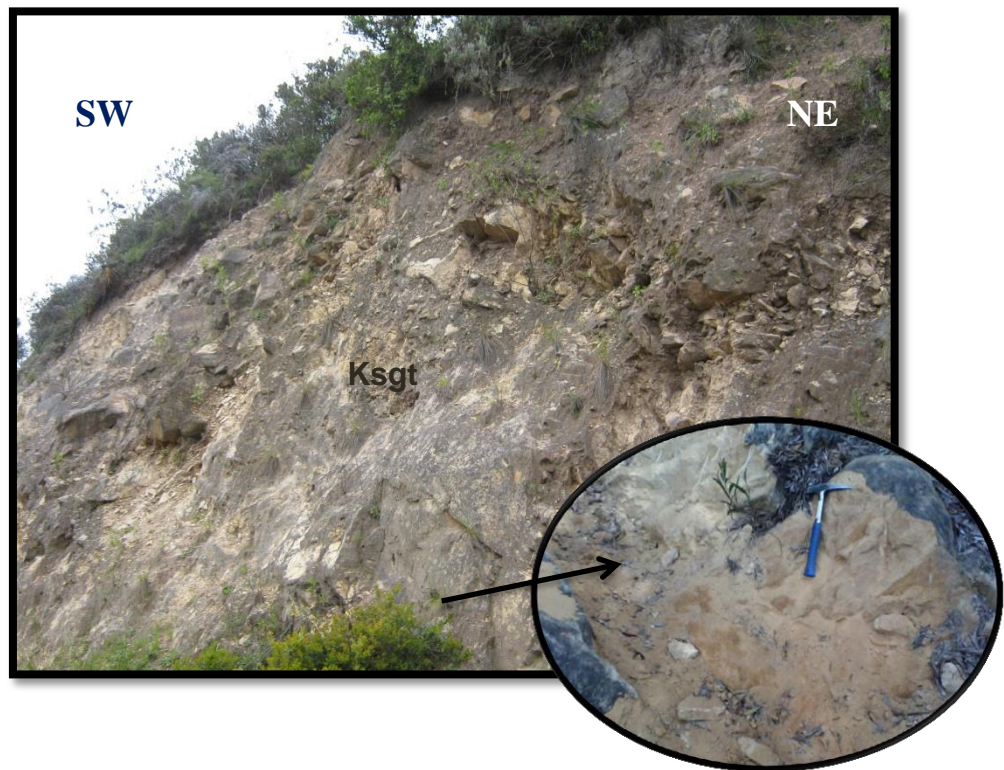
Fuente: Autores.

- **Formación Arenisca Tierna (Ksgt)**

Esta formación aflora en la vereda Mortiñal hacia la parte nor-oriental, de la vía que conduce desde la vereda Quebrada Honda hacia la escuela El Hatillo. Presentando una litología de cuarzo arenitas de grano grueso a medio en colores

naranja claro (10YR 8/6), amarillo medio (5Y 7/6) y amarillo grisáceo (5Y 8/4) a amarillo verdoso claro (10Y 8/2) con clastos subangulares y subredondeados en una matriz silíceea y grano soportada, masivos con fracturas a la vista; donde encontramos algunas capas delgadas de lodolitas y arcillolitas de color gris medio (4) (Munsell Color, 2009). Sin evidencia de meteorización.

Imagen 10. Afloramiento de la Formación Arenisca Tierna (Ksgt) en la vereda Pilar y Ceibita en el municipio de Sogamoso: E: 1131349 N: 1120700, Altura (H: 3064 m.s.n.m.) Rumbo: N 18°/25°NW.

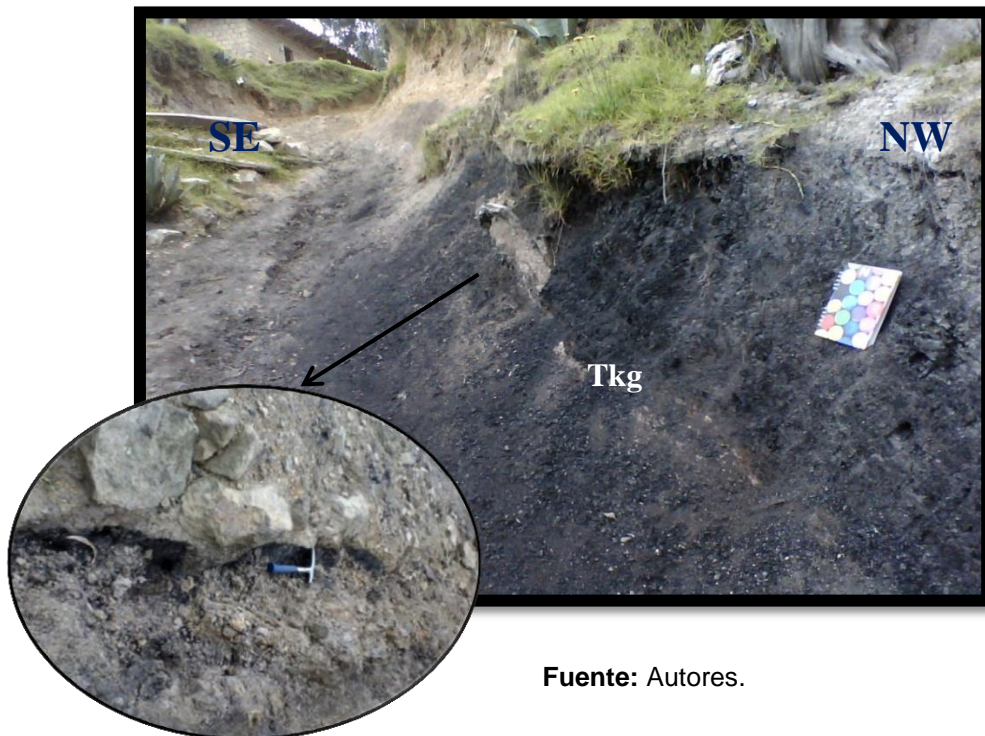


Fuente: Autores.

- **Formación Guaduas (Tkg)**

La Formación Guaduas en la zona de estudio aflora en la vereda El Mortiñal en Sogamoso y en la vereda Toquilla; a la altura de la zona con mayor concentración de habitantes, donde también se localizan algunas minas dedicadas a la explotación carbonífera. Esta formación presenta desde su base una continuidad en capas delgadas de arenisca de color amarillo medio (5Y 7/6) de grano medio a fino, arcillolitas violeta medio (5RP 8/2), violeta grisácea (5YR 8/1) y morado medio (5RP 6/2) a morado claro (5P 6/2), lodos de color gris medio (5) a gris muy oscuro (2) y carbón bituminoso.

Imagen 11. Afloramiento de la Formación Guaduas (Tkg) vereda El Mortiñal en el municipio de Sogamoso E: 11311171 N: 1121171, Altura (H: 3031 m.s.n.m.) Rumbo: N15°W/33°NE.



Fuente: Autores.

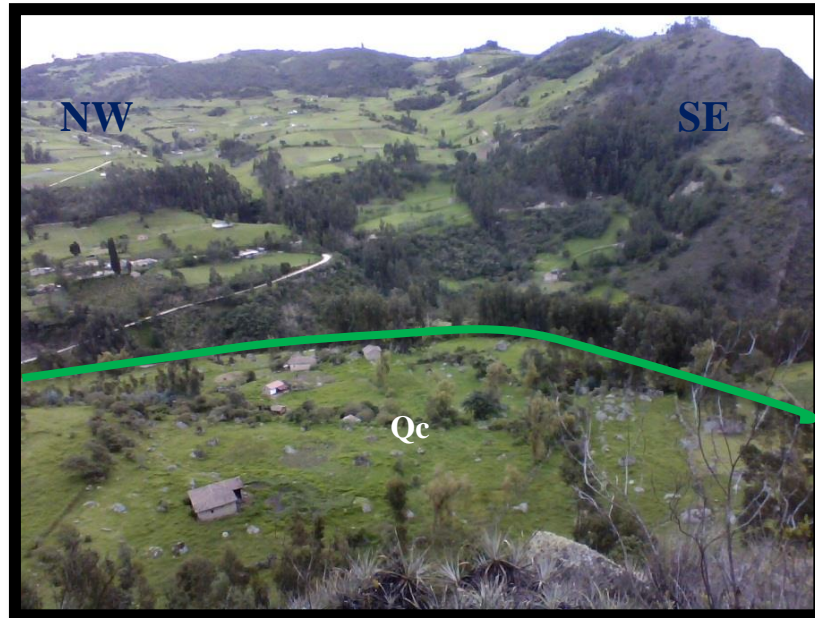
- **Depósitos Cuaternarios**

Los cuaternarios presentes en la zona de estudio son depósitos de material heterogéneo reciente, sin estratificación y sin consolidación, lo que es aprovechado para el pastoreo. En el área de estudio se encuentra el Cuaternario Coluvial.

- **Cuaternario Coluvial (Qc)**

El Cuaternario Coluvial (Qc) aflora en varios sectores de la zona de estudio presentando una pequeña extensión de 150 m² (aprox), estos depósitos se presentan en zonas de laderas cerca a grandes escarpes, en depósitos de derrubios con bloques de diferentes tamaños que van desde los 15 cm a 60 cm, son angulosos y están compuestos por cuarzo arenitas bien consolidadas en colores gris muy claro (5B 9/1), gris claro (7) a gris medio (5) (Munsell Color, 2009), presentando un alto grado de meteorización y la mayoría de estos provienen de la Formación Dura y Plaeners (Ksgpl), por lo que los bloques del cuaternario que se encuentra en la vereda el Hatillo así como en la vereda Centro en Iza presentan impregnaciones fosfáticas.

Imagen 12. Afloramiento del Cuaternario Coluvial (Qc) en la vereda Ceibita en el municipio de Sogamoso E: 1131678 N: 1118586, Altura (H: 3044 m.s.n.m.).



Fuente: Autores.

En el sector del municipio de Iza (vereda San Miguel) la geología se encuentra distribuida de la siguiente manera y esta descrita de base a techo:

- **Formación Chipaque (Ksc)**

La formación Chipaque (Ksc) aflora al NE del municipio de Iza hacia el kilómetro 2 vía Iza – Cuitiva vereda (San Miguel) y se encuentra sobre el sinclinal que lleva el mismo nombre; en donde afloran bancos de areniscas silíceas de color amarillo

claro (5Y 7/6) a oscuro (5Y 8/4) con intercalaciones de lodolitas en tonos grises oscuros (5) (Munsell Color, 2009) y capas de chert; en el área de estudio se encuentra en paquetes muy fracturados que forman escarpes.

Imagen 13. Afloramiento de la Formación Chipaque (Ksc) en la zona del municipio de Iza sobre la Vereda San Miguel E: 1121748 N: 1110737, Altura (H: 3087 m.s.n.m.).



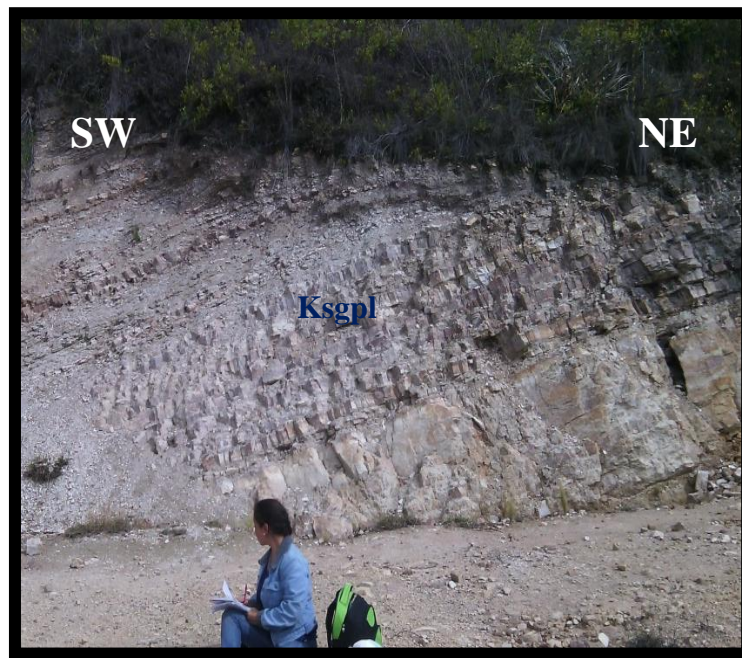
Fuente: Autores.

- **Formación Dura y Plaeners (Ksgpl)**

La Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) en la zona de estudio en el municipio de Iza aflora en el la vereda San Miguel cerca al casco urbano está constituida por

areniscas muy fracturadas de color amarillo claro (5Y 8/4) y medio (5Y 7/6) e intercalaciones de lodolitas grises oscuras (5) y limolitas silíceas e intercalaciones de cuarzo arenitas en color amarillo claro (5Y 8/4) a gris claro (3), de grano fino, presentando ocasionalmente capas tabulares de poco espesor de areniscas fosfáticas.

Imagen 14. Afloramiento de la Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) vereda San Miguel en el municipio de Iza E: 1122637 N: 1111835, Altura (H: 2704 m.s.n.m.).

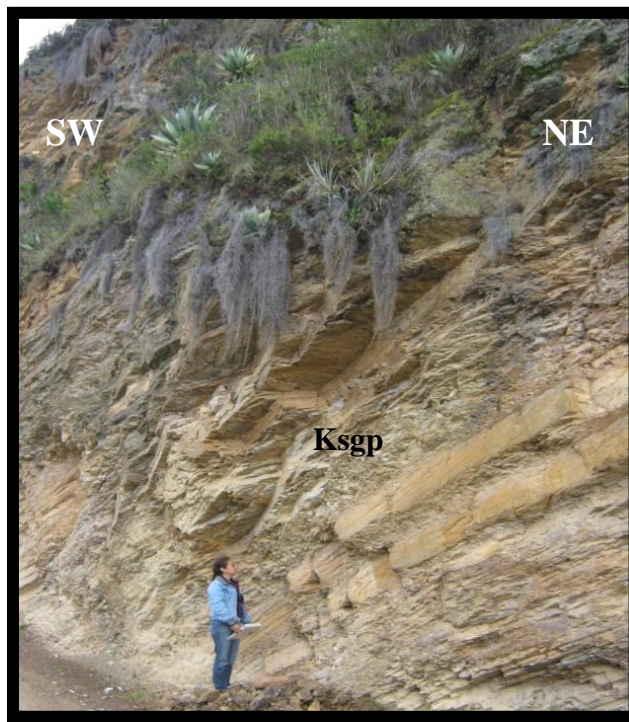


Fuente: Autores.

- **Formación Labor y Pinos (Ksgp)**

La Formación Labor y Pinos (Ksgp) está constituida por lodolitas silíceas en color gris claro (3), medio (4) y blanco (0), en capas muy delgadas; con intercalaciones de cuarzo arenitas y esporádicos paquetes de arenisca fosfática, en capas tabulares donde encontramos restos fosfáticos de fósiles, escamas, espículas y vertebras de peces; en capas tabulares gruesas y muy gruesas, con laminación plana paralela.

Imagen 15. Afloramiento de la Formación Labor y Pinos (Ksgp) en el municipio de Iza sobre la carretera que conduce del casco urbano hacia la vereda Chiguatá. E: 1122850 N: 1112442, Altura (H: 2684 m.s.n.m.).

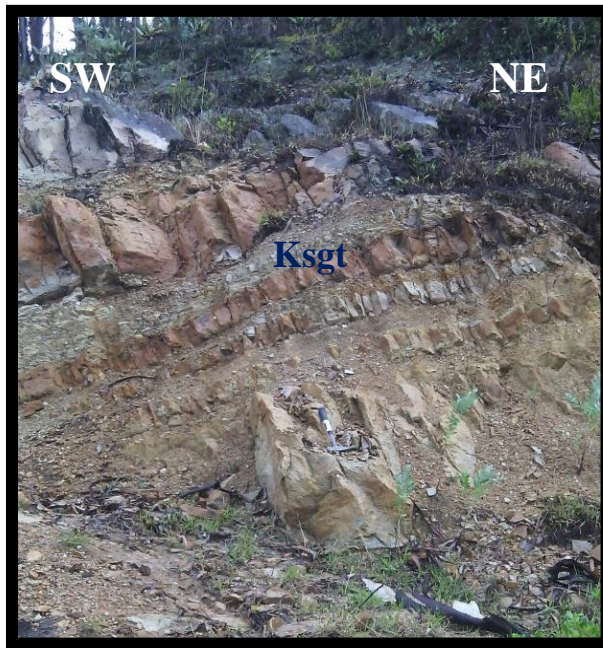


Fuente: Autores.

- **Formación Arenisca Tierna (Ksgt)**

La Formación Arenisca Tierna (Ksgt) conserva en su base capas muy gruesas de cuarzo arenitas en capas gruesas y muy gruesas, subredondeados de grano fino a medio, friables de color amarillo claro (5Y 8/4) a medio (5Y 7/6); intercaladas con capas delgadas de arcillolitas en tonos gris verdoso claro (10Y 8/2); hacia la parte superior de las capas se encuentra evidencia de óxido ferruginoso, se diferencia de la formación Labor y Pinos (Ksgp) por presentar espesores en sus capas muy gruesas de areniscas cuyo tamaño de grano es grueso a grava.

Imagen 16. Afloramiento de la Formación Arenisca Tierna (Ksgt) en el municipio de Iza sobre la carretera que conduce del casco urbano hacia la vereda Chiguatá E: 1122948 N: 1112318, Altura (H: 2696 m.s.n.m.).



Fuente: Autores.

3.3. GEOMORFOLOGÍA

En cuanto a la geomorfología de la zona de estudio tanto en el municipio de Sogamoso como en Iza, está compuesta por valles, montañas y grandes escarpes, que dejan ver que las geoformas en el sector están en crecimiento; ya que el paisaje observado es típicamente un paisaje juvenil intramontano. Donde encontramos además de valles de depósitos Coluviales; montañas, escarpes típicos de la Formación Plaeners, fallas locales, anticlinales y sinclinales.

Los procesos geomorfológicos que se presentan en el área, están relacionados estrechamente a las condiciones litológicas, hidrológicas y morfométricas, en donde los principales agentes modeladores del relieve son la meteorización, erosión, actividad humana y condiciones hídricas.

- **Unidad genética del relieve**

Teniendo en cuenta las características de sedimentación de las rocas presentes en la zona de estudio, sistema corresponde a un relieve Montañoso, Colinoso Estructural, característico de las rocas derivadas de la corteza terrestre que presentan plegamientos y después de soportar los procesos de denudación conservan la elevación.

- **Procesos Morfogenéticos**

La morfología característica de las rocas sedimentarias es producto de los procesos exógenos ocurridos en la superficie del terreno como plegamiento y basculamiento creando así planos de inclinación o pendientes estructurales en las unidades blandas originando geoformas en contra de la pendiente.

- **Geoformas**

Debido a que en la zona de interés las rocas aflorantes son sedimentarias consolidadas forman montañas y colinas que se caracterizan por presentar grandes escarpes con estratificación paralela, separados por depresiones en la misma dirección siguiendo un rumbo rectilíneo describiendo las siguientes geoformas:

- **Cresta Monoclinal Abrupta**

Forma del relieve montañoso en donde se presenta un estrato macizo, verticalizado producto del tectonismo cuyas capas tienen la misma inclinación y dirección.

Se encuentran en la zona de estudio en lugares donde las formaciones presentan estratos compactos como areniscas y lutitas; caracterizado por evidenciar cerros que sobresalen en la topografía y que comúnmente se conocen con el nombre de cuchillas; esta geoforma predomina en la formación Ermitaño (Kse) y Formación Socha Inferior (Tpasi).

- **Ladera Estructural**

Superficie topográfica que buza en la misma dirección que los estratos subyacentes y es normalmente más o menos paralela a ellos. Esta geoforma es característica de lugares donde el plano estratigráfico es paralelo a la pendiente topográfica; se observa en el techo de la formación Guaduas (Tkg).

3.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

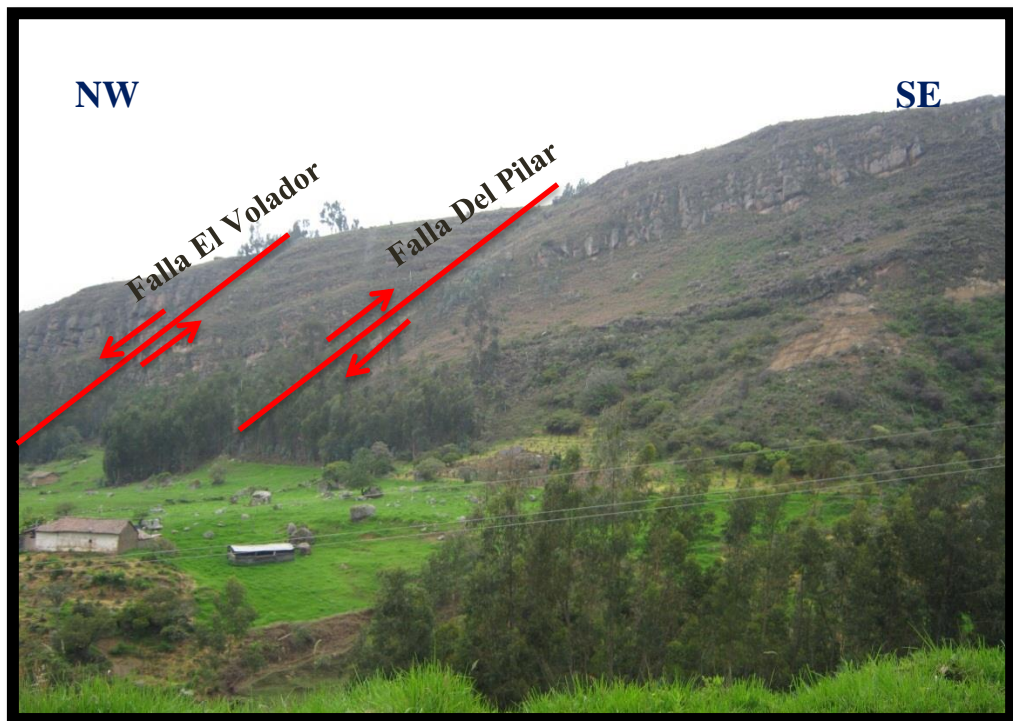
El área de estudio fue sometida a esfuerzos compresionales y de distensión generados durante la orogenia Andina. Estos esfuerzos generaron una tectónica compleja, que se manifiesta en dirección preferencial NE-SW sobre las estructuras; esta orientación de los estratos obedece a la directriz tectónica de la Cordillera Oriental.

En los sectores donde los esfuerzos excedieron la resistencia de los materiales se originaron fallas como las nombradas a continuación: Falla del Pilar, Falla El Volador y Falla de Iza; pliegues como el Sinclinal del Pilar y el Sinclinal de San miguel.

- **Falla del Pilar**

Esta falla de rumbo dextral local, con mayor extensión, atraviesa la vereda El Pilar y la vereda Mortiñal, al ser una falla de rumbo afecta a las formaciones Chipaque (Ksc), Dura y Plaeners (Ksgpl) y la Formación Labor y Pinos (Ksgp). Lo que genera un cambio en la continuidad y disposición de las capas que hacen parte de estas formaciones.

Imagen 17. Imagen de la Falla El Pilar y Falla El volador. E: 1130926 y N: 1119702. (H: 2886 m.s.n.m.). La siguiente imagen ubica dos fallas locales de rumbo que afectan a las formaciones: Chipaque (Ksc), Dura y Plaeners (Ksgpl) y Labor y Pinos (Ksgp).



Fuente: Autores.

- **Falla el Volador**

Es una falla de Rumbo N 50° a 70° W con un Buzamiento de 85°NW aproximadamente, se observa en el cerro el Volador se considera direccional dextral, esta falla afecta a las Formaciones: Chipaque (Ksc), Dura y Plaeners (Ksgpl) y Labor y Pinos (Ksgp).

- **Falla de Iza**

Es una falla de tipo inversa con dirección NE-SW afectando toda la secuencia estratigráfica. Se puede observar desde el alto de la Fragua al NW del Sinclinal de San Miguel.

- **PLIEGUES**

- **Sinclinal Del Pilar**

El sinclinal normal Del Pilar toma su nombre de la vereda Del Pilar por donde atraviesa, tiene dirección NE-SW afectando las formaciones: Chipaque (Ksc), Dura y Plaeners (Ksgpl), Labor y Pinos (Ksgp); en el municipio de Sogamoso sobre la vereda Pilar y Ceibita.

- **Sinclinal De San Miguel**

El sinclinal de San Miguel invertido se localiza al este del municipio de Iza posee una dirección SW-NE afectando las Formaciones: Guaduas (Tkg), Dura y Plaeners (Ksgpl) y Labor y Pinos (Ksgp).

4. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA

La descripción petrográfica se realiza en dos pasos, a nivel macroscópico y microscópico con el fin de aumentar el detalle en la identificación de las facies relacionadas con los bancos fosfáticos.

El análisis macroscópico se efectuó describiendo composicional y texturalmente las muestras representativas de los sectores donde la formación estaba aflorando evitando las zonas altamente meteorizadas, se empleó la clasificación de Folk (1980), clasificación de rocas sedimentarias Castro (1989) y Clasificación de rocas fosforita con el $P_2O_5 > 18\%$ tomada del El Servir's Mineral and Rock Table Compiled by P. Lof. (1982), además teniendo en cuenta la norma internacional ASTM E112, utilizando el método planímetro que involucra el conteo de puntos dentro de un área 5000 mm^2 , distribuidos en toda la sección delgada, se llevó a cabo la metodología de conteo de 500 puntos (en promedio) perpendiculares a la laminación y distribuidos en toda la sección delgada; estos puntos espaciados 1 mm en la horizontal y 1 mm en la vertical teniendo en cuenta la composición de placa observada, el tipo de contacto entre los granos que conforman el armazón y la clase de cemento que une los granos, así como el grado de selección de los granos, esfericidad y redondez junto con la estimación visual de porcentaje en volumen.

- **ANÁLISIS MACROSCÓPICO**

Macroscópicamente, la roca fosfática es de color pardo claro, gris a gris claro, en algunas ocasiones se encuentra también en tonalidades amarillentas o rojizas por contener óxidos y minerales arcillosos, de estructura maciza, blanda a dura, tamaño del grano arena media a muy fina y limo, rica en micro fauna, se observan bioclastos vertebrados (huesos y fragmentos de peces); dentro de los componentes principales encontramos:

COLOFANA. $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{Ca}(\text{CO}_3, \text{F}_2, \text{O})(\text{H}_2\text{O})$.

Es un carbono fosfático amorfo de calcio y es considerado generalmente como una forma amorfa del apatito, aunque se diferencia de este por su estructura concrecionaría y debe ser clasificado por separado como un mineraloide, generalmente se presenta de color pardo oscuro a amarillo o gris, y en raras ocasiones es incolora.

CUARZO. (SiO_2) .

Se encuentra en la mayoría de las muestras, y se presenta en fragmentos de tamaños limo a Arena muy Fina, reemplazado por calcita y en los granos de cuarzo son más pequeños que los pellets fosfáticos, conserva una forma del grano subangular y en ocasiones subredondeados, es incoloro y se logra diferenciar por su brillo.

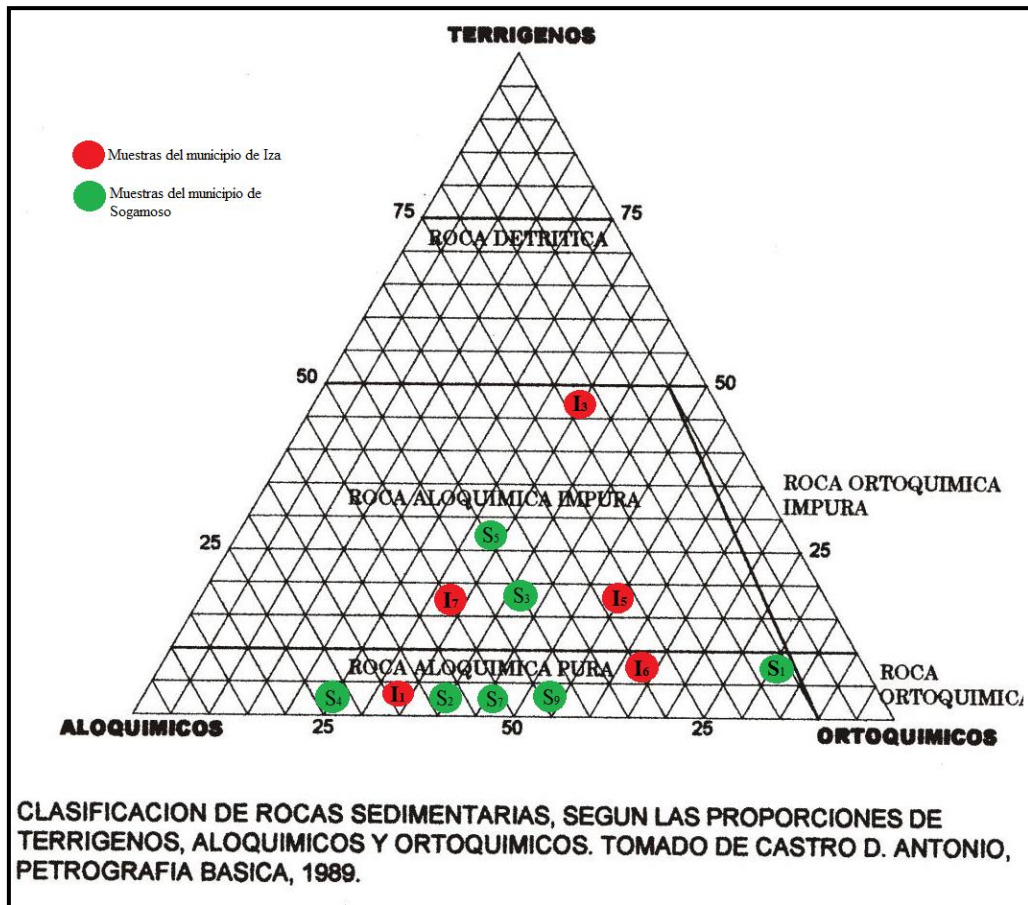
APATITO. $(\text{PO}_4)_3\text{Ca}_5(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$.

El apatito de la roca fosfórica se encuentra en una de sus variedades como fluofosfato cálcico o fluorapatito $(\text{PO}_4)_3\text{Ca}_5\text{F}$, también conocido como colofana Danna (1960) constituyendo los pellets, ooides y algunos microfósiles, dentro de las muestras encontradas. Se presenta en color verde, blanco o gris y en las secciones delgadas en color marrón grisáceo, marrón y ocasionalmente incoloro (en estructuras mal conservadas, posiblemente destruidas por micritización).

CALCITA. CaCO_3

Este mineral se caracteriza por ser estable dentro de los carbonatos de calcio, siempre efervesce al contacto con el ácido clorhídrico (HCl), se presenta como componente del cemento y en ocasiones reemplazando las cavidades de los fósiles ya existentes, en las muestras de mano tiene color blanco opaco y en las secciones delgadas presenta colores de interferencia verde y rosa de alto orden.

Gráfica 5. Distribución de las rocas sedimentarias según las proporciones de terrígenos, aloquímicos, ortoquímicos tomado de Petrografía Básica Castro D. Antonio (1989).



Fuente: Autores.

- **ANÁLISIS MICROSCÓPICO**

El análisis microscópico consistió en la descripción micropetrográfica a partir de secciones delgadas correspondientes a cada una de las muestras descritas macroscópicamente, con el fin de evaluar las características mineralógicas de las muestras de roca fosfórica recolectadas en el área de estudio; las cuales fueron tomadas de base, medio y techo de la formación; a estas muestras se les determinó la composición mineralógica porcentual realizando un conteo de puntos (500) por sección delgada, con retículo ortogonal y usando la platina metálica, se tuvo en cuenta el tipo de contacto entre los granos que conforman el armazón y la clase de cemento; para esto se empleó la Clasificación dada por Folk (1980), Clasificación de rocas sedimentarias Castro (1989) y Clasificación de rocas con el $P_2O_5 > 18\%$ tomada del El Servir's Mineral and Rock Table Compiled by P. Lof. (1982).

En las muestras tomadas para análisis se identificó: el mineraloide Colofana, como el más abundante, el cuarzo está presente en todas las muestras en pequeñas proporciones junto con el apatito, la calcita y algunas trazas de Glauconita, pirita y limonita; el cemento de las muestras se clasificó como calcáreo y silíceo por su composición.

Tabla 5 . Descripción composicional % (secciones delgadas) de las muestras de la formación Ermitaño (Kse) en el municipio de Iza (Boyacá).

MUESTRA	CLASIFICACIÓN SEGÚN CASTRO D. ANTONIO (1989)	CUARZO	COLOFANA	FLUORAPATITO	CALCITA	GLAUCONITA	LIMONITA	HEMATITA	CEMENTO (Carbonatado y/o Silíceo)
HAI 01	Roca Aloquímica Pura	5,23	65,54	0,763	0,76	0,76	0	0	26,94
HAI 03	Roca Aloquímica Impura	46	22,91	0,093	0	0	0,09	0,46	30,54
HAI 05	Roca Aloquímica Impura	18,4	18,07	0	26	0,09	0	0	37,44
HAI 06	Roca Aloquímica Pura	11,04	20,36	0	41,6	0	0	0	27
HAI 07	Roca Aloquímica Pura	16,52	48,5	0	0	0	0	0	35,2

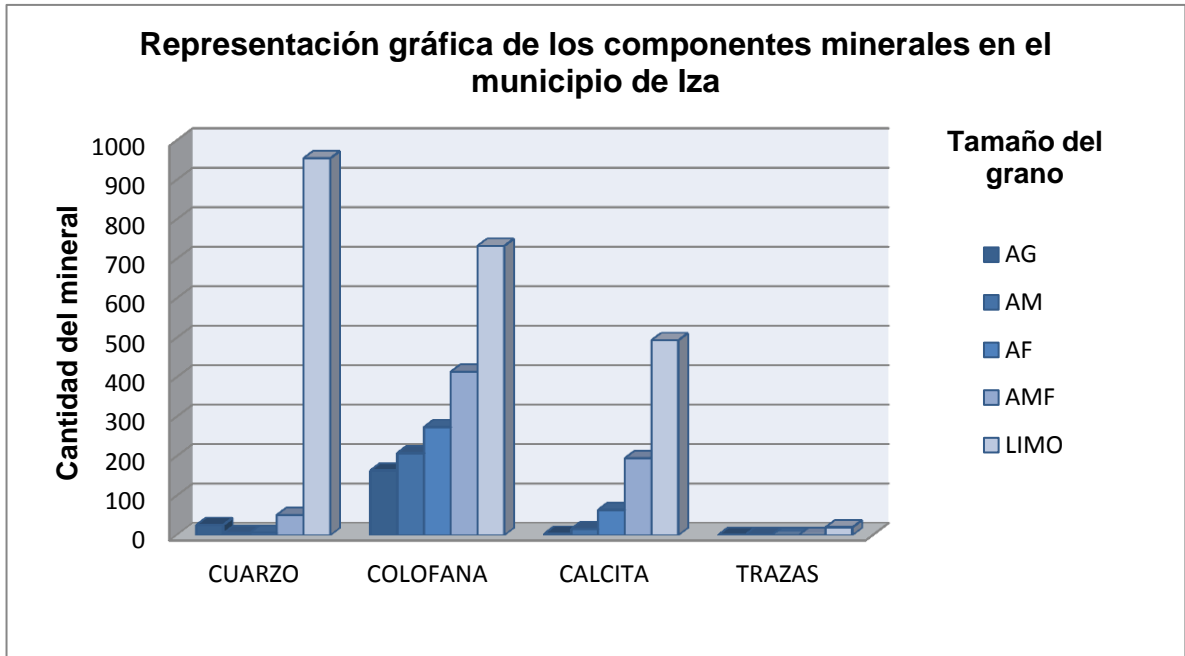
Fuente: Autores

Tabla 6. Descripción textural de las secciones delgadas tomadas en la formación Ermitaño (Kse) en el municipio de Iza (Boyacá)

MUESTRA	CLASIFICACIÓN SEGÚN CASTRO D. ANTONIO (1989)	LIMO	ARENA MUY FINA	ARENA FINA	ARENA MEDIA	ARENA GRUESA	CONTACTO	SELECCION	REDONDEZ	ESFERICIDAD
HAI 01	Roca aloquímica pura	29,23	17,15	12,2	9,73	4,8	Cóncavo – convexo	Bien seleccionada	Sub redondeado	Alta esfericidad
HAI 03	Roca aloquímica Impura	54,85	4,53	3,34	3,43	3,34	Cóncavo – convexo	Moderadamente seleccionado	Sub Angular	Alta Esfericidad
HAI 05	Roca Aloquímica Impura	38,18	13,62	5,37	2,78	2,6	Flotante	Moderadamente seleccionado	Sub Redondeado	Alta esfericidad
HAI 06	Roca Aloquímica Pura	45,41	14,82	7,12	3,3	2,4	Flotante	Bien seleccionada	Sub Redondeado	Alta Esfericidad
HAI 07	Roca Aloquímica Pura	37,92	12,9	5,2	5,3	5,6	Flotante	Moderadamente Seleccionado	Sub Redondeado	Alta esfericidad

Fuente: Autores

Gráfica 6. Componentes minerales a partir del análisis micropetrográfico de rocas fosfáticas del municipio de Iza.



Dónde:

AG: Arena Gruesa

AM: Arena Media

AF: Arena Fina

AMF: Arena muy Fina

LIMO: Limo

Fuente: Autores.

Tabla 4. Descripción composicional % (secciones delgadas) de las muestras de la formación Ermitaño (Kse) en el municipio de Sogamoso (Boyacá).

MUESTRA	CLASIFICACION SEGÚN CASTRO D. (1989)	CUARZO	COLOFANA	FLUORAPATITO	GLAUCONITA	APATITO	LIMONITA	CALCITA	ILMENITA	TRAZAS	CEMENTO (Carbonatado y/o silíceo)
HAS 01	Roca Aloquímica Pura	7,8	0,085	0	0	0,09	0	0	1,02	2,035	89,44
HAS 02	Roca Aloquímica Pura	10,19	41,13	8,34	3,45	0,2	0	0	0,68	2,1	34,1
HAS 03	Roca Aloquímica Impura	22,18	38	0	3,1	0	5	0	3	0.2	37,16
HAS 04	Roca Aloquímica Pura	4,5	63,73	5,53	0,302	0,3	0,102	0,102	1,53	0	23,87
HAS 05	Roca Aloquímica Impura	26,83	38,3	0,64	0,08	0	0,73	0,08	0,24	0	33,09
HAS 07	Roca Aloquímica Pura	2,34	50	0,22	0	0	0	0	0	0	48
HAS 09	Roca Aloquímica Pura	3,5	50,8	0	0	0	2,3	2,4	0	0,65	40,52

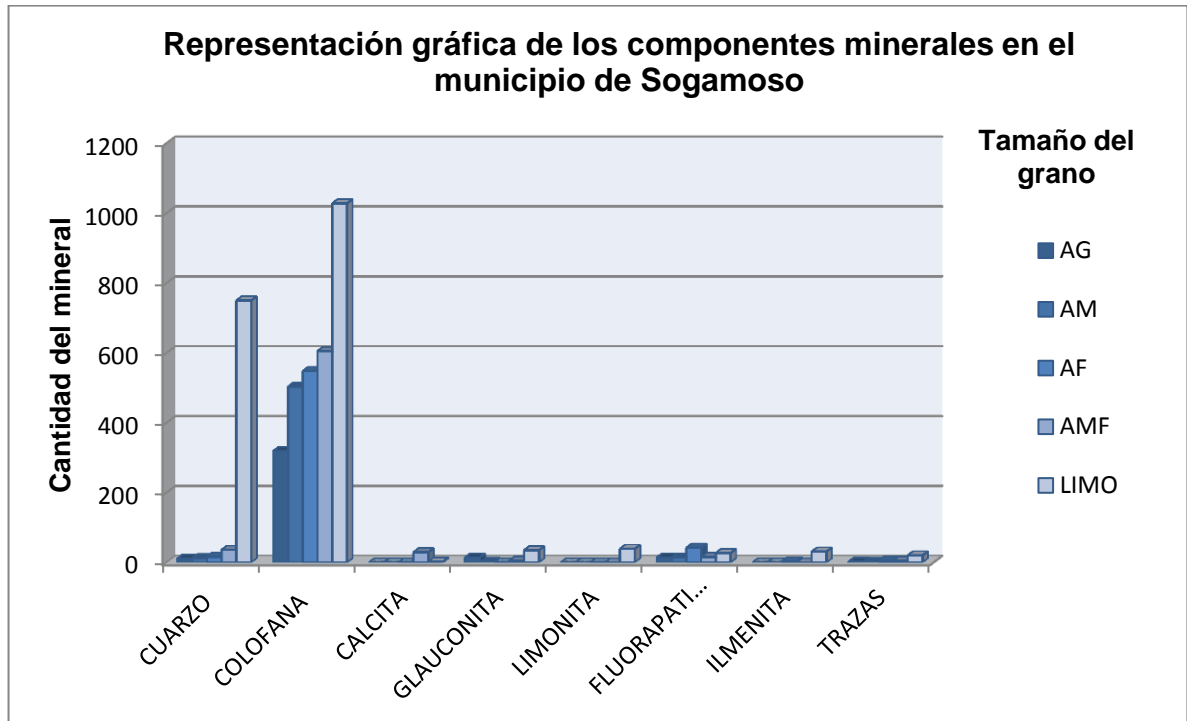
Fuente: Autores.

Tabla 5. Descripción textural de las secciones delgadas tomadas en la formación Ermitaño (Kse) en el municipio de Sogamoso (Boyacá)

MUESTRA	CLASIFICACION SEGÚN CASTRO D. (1989)	LIMO	ARENA MUY FINA	ARENA FINA	ARENA MEDIA	ARENA GRUESA	CONTACTO	SELECCIÓN	REDONDEZ	ESFERICIDAD
HAS 01	Roca Aloquímica Pura	10,1	0	0	0	0	Puntual	Muy Bien Seleccionado	Sub Redondeado	Alta Esfericidad
HAS 02	Roca Aloquímica Pura	12,3	3,1	19,02	14,5	17,42	Cóncavo – convexo	Moderadamente Seleccionado	Sub Angular	Alta Esfericidad
HAS 03	Roca Aloquímica Impura	48,1	9	3	2	1,2	Cóncavo – convexo	Moderadamente Seleccionado	Sub Redondeado	Alta Esfericidad
HAS 04	Roca Aloquímica Pura	9,42	11,1	17,1	24,25	14,33	Cóncavo – convexo	Moderadamente seleccionado	Sub Redondeado	Alta Esfericidad
HAS 05	Roca Aloquímica Impura	40	11,4	8,32	3,54	4,2	Flotante	Moderadamente Seleccionado	Sub Redondeado	Alta Esfericidad
HAS 07	Roca Aloquímica Pura	26,8	11,6	6,3	5,12	2,5	Cóncavo – convexo	Pobrementemente Seleccionado	Sub Redondeado	Alta Esfericidad
HAS 09	Roca Aloquímica Pura	26,5	14,3	10,22	6,5	2,2	Flotante	Bien Seleccionado	Sub Redondeado	Alta Esfericidad

Fuente: Autores

Gráfica 7. Componentes minerales a partir del análisis micropetrográfico de rocas fosfáticas del municipio de Sogamoso.



Dónde:

AG: Arena Gruesa

AM: Arena Media

AF: Arena Fina

AMF: Arena muy Fina

LIMO: Limo

Fuente: Autores.

Las secciones delgadas se obtuvieron de las muestras de mano tomadas en campo, donde la roca se encuentra menos alterada. Se clasificaron teniendo como base los porcentajes de terrígenos, aloquímicos y ortoquímicos, recalculados al 100% donde los componentes aloquímicos representan en general el componente predominante de las muestras.

Para la clasificación de las muestras de roca fosfórica se utilizó el diagrama propuesto por Folk (1980), Castro D. Antonio (1989) y la clasificación para rocas con $P_2O_5 > 18\%$, quienes muestran términos esenciales que forman las rocas sedimentarias como son: Los constituyentes terrígenos, los constituyentes aloquímicos y los constituyentes ortoquímicos.

Los constituyentes terrígenos son cristales sueltos, fragmentos de cristales y fragmentos de roca, procedentes de rocas preexistentes por alteración y disgregación. Los materiales terrígenos se caracterizan, además, por haber sufrido un transporte energético, desde la roca fuente (área madre) hasta la cuenca de depósito, en la que ahora aparecen formando sedimentos y rocas. Los procesos de transporte y sedimentación son los responsables de la morfología de los clastos y de otras características estructurales. Ejemplos de estos son: (cuarzo, arcilla y líticas principalmente). Los constituyentes aloquímicos son todos los materiales formados por la precipitación química o bioquímica en el ámbito de la cuenca de sedimentación, pero que están organizados en agregados y que han sido transportados dentro de la misma cuenca. Los constituyentes ortoquímicos son todos los precipitados químicos normales, formados en la cuenca de sedimentación durante o inmediatamente después del depósito y que presentan poca o ninguna evidencia de transporte.

Las diferentes proporciones entre los tres términos dan lugar a varios tipos de roca que según el diagrama triangular se puede clasificar en cinco grupos. Los minerales de reemplazamiento son todos aquellos que se forman después de la sedimentación y dentro del sedimento mismo por sedimentación química o recristalización. El contenido promedio de material terrígeno oscila entre 19% y 28% debido a la heterogeneidad del banco. Entre los minerales del material terrígeno el cuarzo y los minerales arcillosos son los más frecuentes.

Al realizar esta clasificación se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Análisis Petrográfico En El Área De Sogamoso Vereda Pilar Y Ceibita**

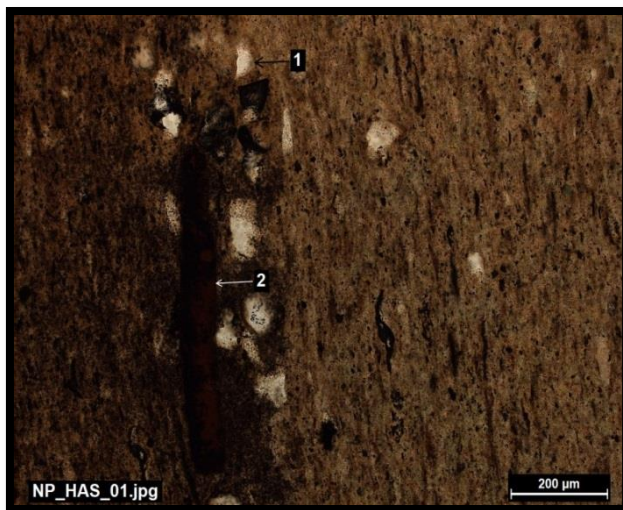
Imagen 18. Muestra HAS 01 Macroscópica

Descripción: Microfosforita o Chert Fosfático de grano fino microcristalino rica en sílice, Roca aloquímica Pura,



evidencia un proceso diagenético de compactación; se extrajo a 17.62 metros del base de la formación Labor y Pinos (Ksgp), presenta fractura concoidea, masiva, laminación plana paralela continua, roca débilmente meteorizada, grado de selección muy bien seleccionada, color gris oscuro a negro, dentro de sus componentes encontramos terrigenos (cuarzo detrítico) en un porcentaje del 5%, aloquímicos (pellets fecales fosfáticos, fragmentos de huesos fósiles) 13% y autigenicos (cemento silíceo y carbonatado) 82 % al ser rayada con acero expele un fuerte olor a fósforo.

Imagen 19. Muestra HAS 01 Microscópica en aumento de 20x en Nícoles Paralelos



Descripción: Lutita fosfática, en donde el armazón está compuesto por cuarzo detrítico tamaño limo en un 8,5%, aloquímicos 0,17% representado en pellets, fragmentos de vertebrados y un 90 % de cemento lodoso terrígeno y calcáreo parcial o totalmente fosfatizado. Se observa una laminación plana

paralela discontinua, procesos diagenéticos de compactación y reemplazamiento, además se encontraron minerales accesorios como: ilmenita y corindón.

En la microfotografía NP_HAS_01.jpg (1) Cuarzo; (2) Colofana.

Imagen 20. Muestra HAS 02 Macroscópica



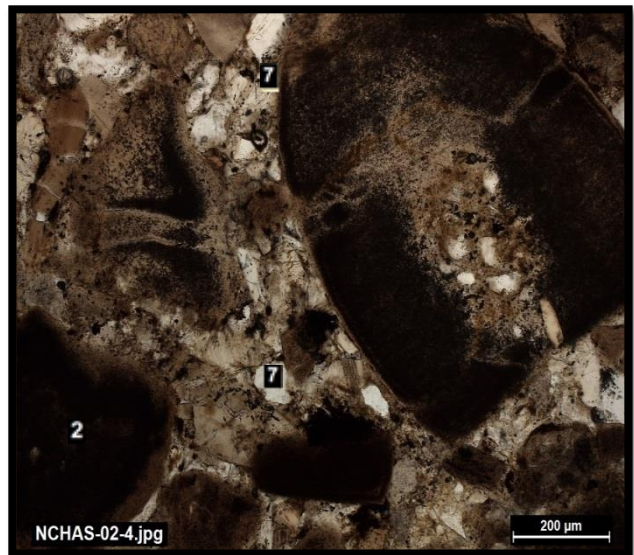
Descripción: Pelfosfoarenita, Roca Aloquímica Pura, la roca se observa sana y solo se le aprecia meteorización penetrativa en las discontinuidades, de acuerdo con la granulometría de los clastos estos se encuentran bien seleccionados, la roca se extrajo a los 12.5 metros de la base al techo de la formación Labor y Pinos (Ksgp), empaquetamiento flotante, experimento un cambio químico (recristalización) durante su diagénesis acompañado de una litificación, en cuanto a sus componentes presenta un 1% de

terrígenos (cuarzo), aloquímicos (pellets fecales fosfáticos, fragmentos de huesos fosfatizados) 60% y un 39% autigenicos (fosfático lodoso).

Imagen 21. Muestra HAS 02 Microscópica en aumento de 20x en Nicoles Cruzados

Descripción: Pelfosfoarenita, Arenisca Fosfática, el armazón está compuesto por cuarzo 10,19% tamaño limo ($4\mu\text{m}$ - $62\mu\text{m}$), peloides y ooides fosfáticos 41,13% tamaño arena fina ($125\mu\text{m}$ - $250\mu\text{m}$), fragmentos de huesos de peces fosfatizados 8,34% y extraclastos 2% en tamaño arena muy fina; embebidos en una matriz lodosa terrígena y calcárea en un 34,1%.

Además presenta minerales accesorios como glauconita, plagioclasa e ilmenita.



En la microfotografía NCHAS-02-4.jpg. (2) Colofana, (7) cuarzo

Imagen 22. Muestra HAS 03 Macroscópica.

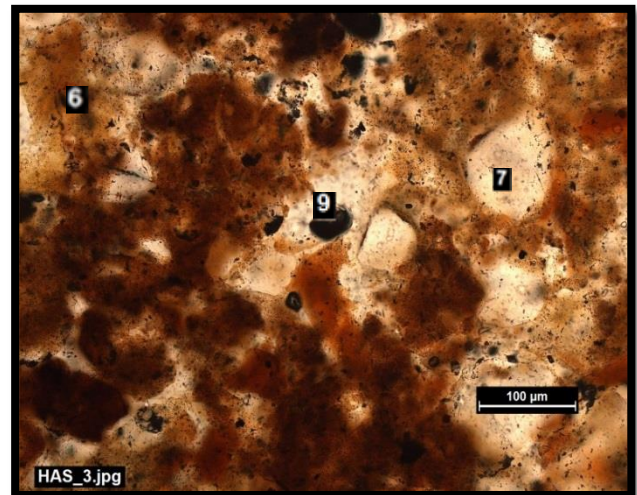


Descripción: Litofosfoarenita, Roca Aloquímica Impura, completamente meteorizada, es decir un suelo con estructuras heredadas y esporádicos fragmentos de núcleos de roca, pobremente seleccionada, empaquetamiento flotante, experimento un proceso diagenético de reemplazamiento, los componentes terrígenos (limonita y cuarzo) 18%, aloquímicos (pellets fecales fosfáticos, fragmentos de huesos de pescado fosfatizados) 60%, autigenicos (cemento lodoso terrígeno y fosfático) 22%. La muestra presenta altos contenidos

de óxidos de hierro y alta humedad, granos subredondeados, color Café oscuro a amarillo oscuro. La muestra se extrajo a los 9 metros de la base de la Formación Labor y Pinos (Ksgp).

Imagen 23. Muestra HAS 03 Microscópica en Nícoles Paralelos en aumento de 10x.

Descripción: Litofosfoarenita, Arenita fosfática, Roca aloquímica Impura con clastos de cuarzo detrítico en 18%, 23% peloides fosfáticos en tamaño arena muy fina (62 μ m-125 μ m), fragmentos de huesos de vertebrados en un 18%, minerales accesorios 5% como ilmenita y siderita en medio de una matriz sostenida con cemento ferruginoso y fosfático en un 39%.



En la microfotografía HAS_3.jpg. (6) Limonita, (9) ilmenita, (7) cuarzo.

Imagen 24. Muestra HAS 04 Macroscópica

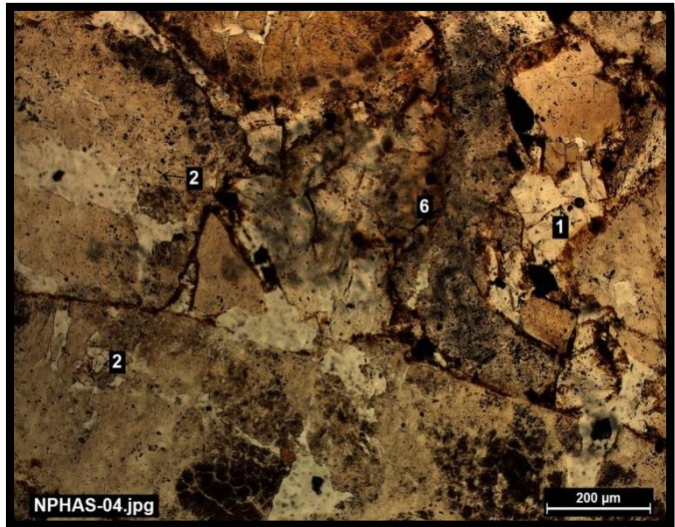


Descripción: Biofosfoarenita, Roca Aloquímica pura, moderadamente meteorizada, color amarillo oscuro a claro, empaquetamiento flotante, experimento una alteración química (reemplazamiento) durante su proceso de litificación, los granos se encuentran bien seleccionados, en cuanto a sus componentes la roca presenta un 87% de aloquímicos dentro de los cuales encontramos pellets fecales fosfáticos, fragmentos de vertebrados fosfatizados (escamas y huesos) tamaño

arena muy fina (62 μm -125 μm), 5% de terrígenos (cuarzo detrítico), el 8% restante cemento carbonatado. La muestra se extrajo a 5 metros del techo a la base de la formación Dura y Plaeners (Ksgpl).

Imagen 25. Muestra HAS 04 Microscópica en Nícoles Paralelos en aumento de 20x

Descripción: Biofosfoarenita, Roca aloquímica pura, Arenisca Fosfática, el armazón está conformado por cuarzo detrítico en 4,5%, tamaño limo (4 μm -62 μm), pellets fecales fosfáticos 40% de tamaño arena fina (62 μm -125 μm), fragmentos de huesos de peces fluorfosfatizados en un 7,28%, oolitos 23%, cemento carbonático en un 23,8%, óxidos ferruginosos en un 8% representado por minerales accesorios como glauconita, ilmenita y limonita. Matriz pelmicrítica.



En la microfotografía NPHAS-04.jpg. (2) Colofana, (1) Fluorapatito, (6) Limonita.

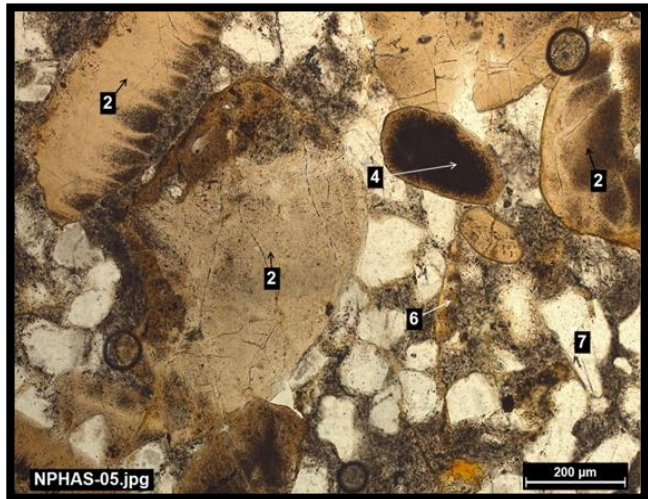
Imagen 26. Muestra HAS 05 Macroscópica

Descripción: Biofosfoarenita, arenisca fosfática, Roca aloquímica impura, porosa, presenta reacción positiva al contacto con ácido clorhídrico (HCl), se extrajo de una capa con geometría tabular a 7.3 metros del techo a la base de la formación Dura y Plaeners (Ksgpl), roca sana con apariencia cristalina, la distribución de los granos es homogénea, bien seleccionada, empaquetamiento flotante y experimento alteración química (reemplazamiento y disolución) durante su proceso de litificación, dentro del armazón encontramos componentes terrígenos (cuarzo detrítico) 17%, aloquímicos (pellets fecales fosfáticos, fragmentos de huesos de vertebrados fosfatizados), tamaño arena muy fina(62 μ - 2 mm) 73% y autigenicos 10%.



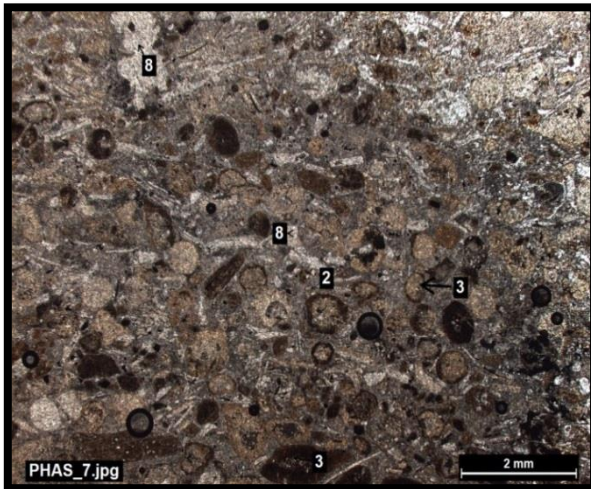
Imagen 27. Muestra HAS 05 Microscópica en Nicoles Paralelos y en aumento de 20x

Descripción: Biofosfoarenita, Arenisca Fosfática, el armazón está compuesto por clastos de cuarzo detrítico 26,8% tamaño limo(4 μ m-62 μ m), pellets fecales fosfáticos 30,3%, fragmentos esqueléticos y huesos de peces 0,64%, foraminíferos bentónicos en un 10% reemplazados por colofana tamaño arena fina(125 μ m-250 μ m), oolitos 8%, glauconita 0.08% e ilmenita 0.24% y cemento carbonatado en un 23,9%. Se hallaron minerales accesorios como plagioclasa.



En la microfotografía NPHAS-05.jpg (2) Colofana, (6) limonita, (4) Peloides, (7) Cuarzo.

Imagen 28. Muestra HAS 07 Macroscópica



microscópica en Panorámica y en un aumento de 20x.

A nivel microscópico en la roca se observaron componentes terrígenos en un 2% (cuarzo detrítico tamaño limo (4µm-62µm), aloquímicos 52% (pellets, oolitos y fragmentos fósiles fosfatizados), y autigenicos 46% de composición carbonatado. Se clasifico como una Pelfosfoarenita. Matriz Biomicritica y textura Wackstone.

En las microfotografías PHAS_007.jpg y HAS_007.jpg: (8) Calcita, (2) Colofana, (3) Pellets.

Descripción: Pelfosfoarenita, Nódulo de fosforita calcárea, Roca aloquímica Impura, se extrajo a los 9.5 metros del techo a la base de la formación Dura y Plaeners (Ksgpl) encontrándose dentro de una capa geométrica tabular, la roca presenta apariencia brillante y ocasionalmente se le observan superficies manchadas, la distribución de los granos es heterogénea, empaquetamiento flotante, color gris claro, los componentes del armazón son: terrígenos (Pirita y cuarzo) 3% en tamaño limo con esfericidad y redondez promedio muy angular, aloquímicos 67% (con presencia de foraminíferos, braquiópodos inarticulados, huesos y dientes de vertebrados, fragmentos esqueléticos y apatito cristalino) y autigenicos 30%, masiva. Se evidencia un proceso de retrabajamiento mecánico.

Imágenes 29–30. Muestra HAS 07

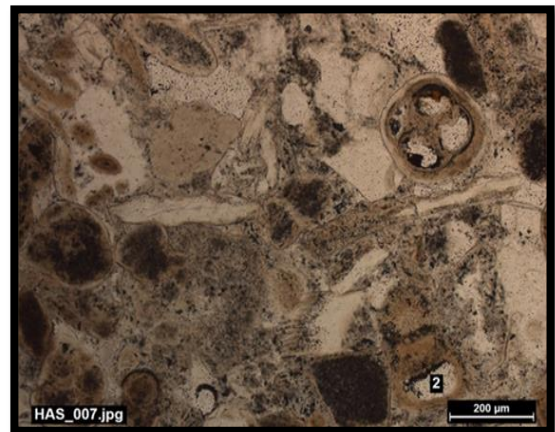
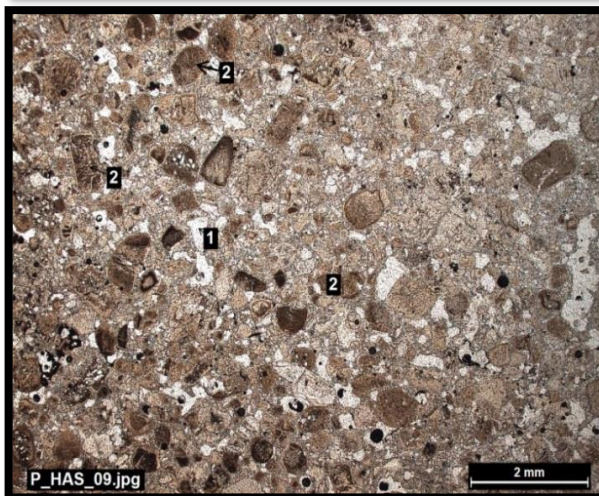


Imagen 31. Muestra HAS 09 Macroscópica.

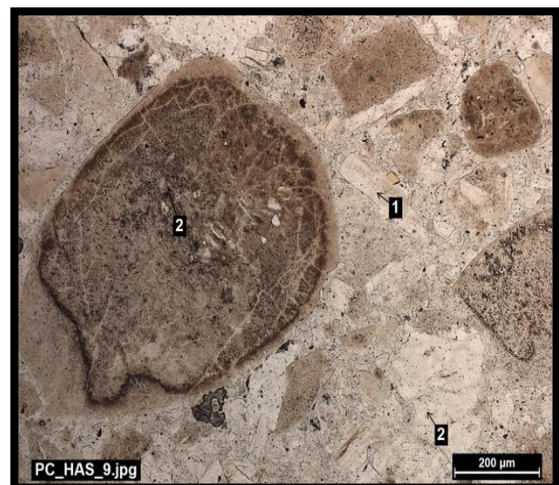


Descripción: Pelfosfoarenita, Roca aloquímica Pura, fosforita Arenosa color amarillo pálido a café claro, presenta heterogeneidad en la distribución de los granos disminuyendo la porosidad, empaquetamiento flotante, no hay decoloración, dentro del armazón presenta 2 % de terrígenos (cuarzo tamaño limo), posee un 78% de aloquímicos en abundancia pellets fecales fosfáticos, y fragmentos fosfatizados de huesos de peces reemplazados por colofana de tamaño arena media y un 20% de autigenicos siendo cementados en un material fosfático carbonatado. Como mineral accesorio se encuentra la goetita. La roca se extrajo a los 5.13 metros de base a techo de la formación Labor y Pinos (Ksgp).

Imagen 32-33. Muestra HAS 09 Microscópica en Panorámica y en aumento ocular de 20x.

En sección delgada: Pelfosfoarenita, se encontraron componentes terrígenos 3% (cuarzo detritico tamaño limo(4 μ m-62 μ m), aloquímicos 55% (pellets, oolitos, fragmentos de huesos de peces y foraminíferos), autigenicos 40% (cemento micritico carbonatico), además minerales accesorios como Goetita y Limonita en un 2% subredondeados.

En las microfotografías P_HAS_09.jpg y PC_HAS_9.jpg: (1) Fluorapatito, (2) Colofana



- **Análisis Petrográfico En El Área De Iza Vereda Centro.**

Imagen 34: Muestra HAI 01 Macroscópica.

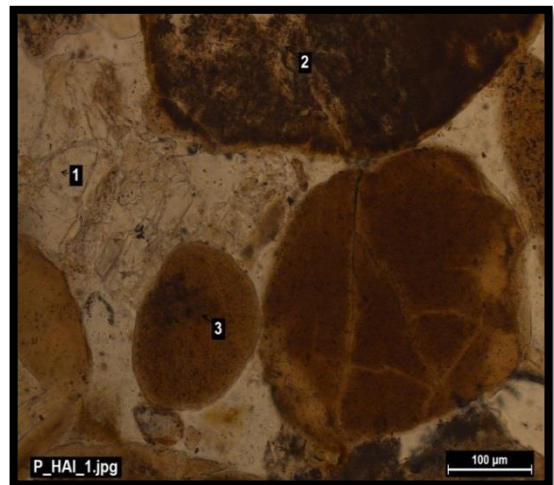


Descripción: Pelfosfoarenita, Roca Aloquímica Pura y arenisca Fosfática se extrajo del miembro intermedio de la formación Ermitaño aproximadamente a unos 4.5 metros de la base de la Formación Labor y Pinos (Ksgp), en el municipio de Iza, la roca se observa sana y solo se le aprecia meteorización en las discontinuidades donde esta decolorada, empaquetamiento flotante, la distribución de los granos es de manera heterogénea, subredondeados, color amarillo grisáceo, en cuanto a los componentes del armazón presenta: clastos distribuidos en terrígenos 8% (cuarzo detrítico) y aloquímicos 35% (pellets fecales fosfáticos, fragmentos de huesos de

peces fosfatizados de tamaño arena fina); autigenicos cemento carbonatado 57%, roca porosa.

Imagen 35. Muestra HAI 01 microscópica en Nícoles Paralelos y en aumento ocular de 10x.

Descripción: Pelfosfoarenita. Roca Aloquímica Pura, Arenita fosfática, el armazón está compuesto por peloides (pellets fecales y oolitos) de tamaño limo ($4\mu\text{m}$ - $62\mu\text{m}$), a fina($62\mu\text{m}$ - $150\mu\text{m}$), en un 65,54% y fragmentos de huesos 0.76% (fluorapatito), terrígenos de cuarzo detrítico en un 5,23% en tamaño limo ($4\mu\text{m}$ - $62\mu\text{m}$) a arena gruesa ($500\mu\text{m}$ - $1000\mu\text{m}$), minerales accesorios como glauconita en un 0.763% y calcita 0.763% en tamaño limo ($4\mu\text{m}$ - $62\mu\text{m}$) y cemento carbonatado en un 26,94%. Matriz pelmicrítica.



En la microfotografía P_HAI_1.jpg: (3) Pellets, (1) Fluorapatito, (2) Colofana.

Imagen 36. Muestra HAI 03 Macroscópica.

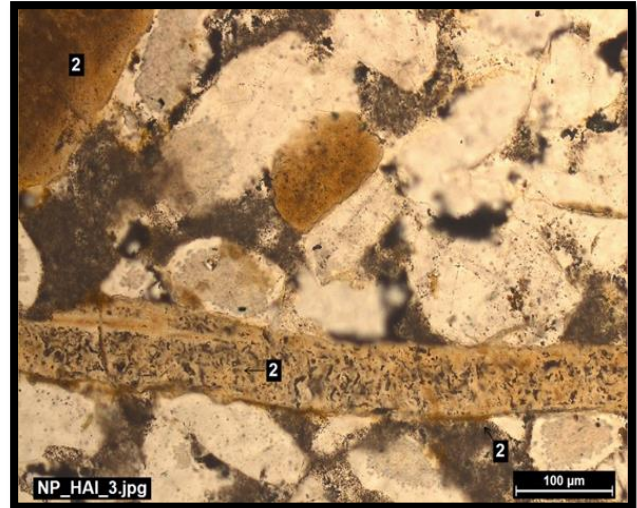


Descripción: Litofosfoarenita, recibe el nombre de Roca Aloquímica Impura, color amarillo grisáceo, la roca presenta apariencia brillante y se le observan superficies manchadas, empaquetamiento flotante, moderadamente seleccionada en cuanto a la distribución de los granos en la roca, presenta un 53% de componentes terrígenos (cuarzo, fragmentos de roca) de tamaño arena subangular, aloquímicos (pellets fecales fosfáticos, fragmentos fosfatados de huesos)

17% y un 30% de cemento tipo fosfático; en contacto con el ácido clorhídrico expele olor a fósforo y es una roca porosa. Se extrajo a 1.5 metros de base a techo del miembro medio de la formación Ermitaño (Kse). Presenta una matriz Clasto soportada, experimento una descomposición química durante su proceso de litificación.

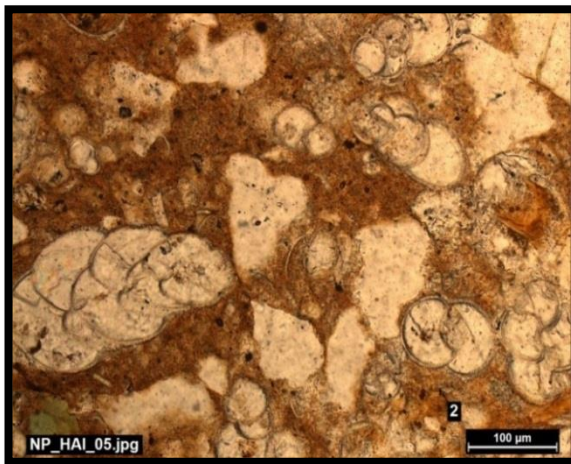
Imagen 37. Muestra HAI 03 Microscópica en Nícoles Paralelos y en un aumento ocular de 10x.

Descripción: Litofosfoarenita, Arenita Fosfática, Roca Aloquímica Impura, el armazón corresponde a clastos de cuarzo detrítico en un 46% de tamaño limo ($4\mu\text{m}$ - $62\mu\text{m}$), peloides fosfáticos en un 23% de tamaño arena muy fina ($62\mu\text{m}$ - $125\mu\text{m}$), fragmentos esqueléticos, huesos y dientes de vertebrados en un 1% reemplazados por fluorapatito, en una matriz soportada lodosa carbonática y cemento calcáreo en un 30%. Presenta minerales accesorios como: Hematita e ilmenita.



En la microfotografía NP_HAI_3.jpg: (2) Colofana. (7) Cuarzo.

Imagen 38. Muestra HAI 05 Macroscópica.



aumento ocular de 10x.

A nivel microscópico recibe el nombre de Biofosfoarenita la muestra está compuesta por cuarzo detrítico 18%, aloquímicos representados en pellets, oolitos y fósiles Biseriales en un 44% y cemento carbonatado 37%, presenta glauconita como mineral accesorio 1%.

En las microfotografías **NP_HAI_05.jpg** y **NC_HAI_05.jpg** los: (8) Calcita en foraminíferos bentónicos, (2) Colofana, (3) Pellets.

Descripción: Biofosfoarenita, Roca aloquímica impura, fosforita arenosa, masiva, los granos son subredondeados en una matriz lodosa con material silíceo y calcáreo, poca porosidad, color gris verdoso claro, roca sana y se le observa meteorización penetrativa por las discontinuidades evidenciada en la decoloración, la distribución del tamaño de los granos es homogénea, empaquetamiento flotante, componentes terrígenos (cuarzo detrítico) 11% de tamaño lodo, aloquímicos 65% (pellets fecales fosfatizados, fragmentos de huesos de peces y dientes fosfatizados) reemplazados por colofana y apatito en compañía de foraminíferos bentónicos; autigenicos 24% representados en cemento carbonatado y silíceo. La roca se extrajo de la parte media de la formación Ermitaño (Kse) a los 1.5 m de base a techo.

Imágenes 39-40. Muestra HAI 05 microscópica en Nicos Paralelos y en Nicos Cruzados en

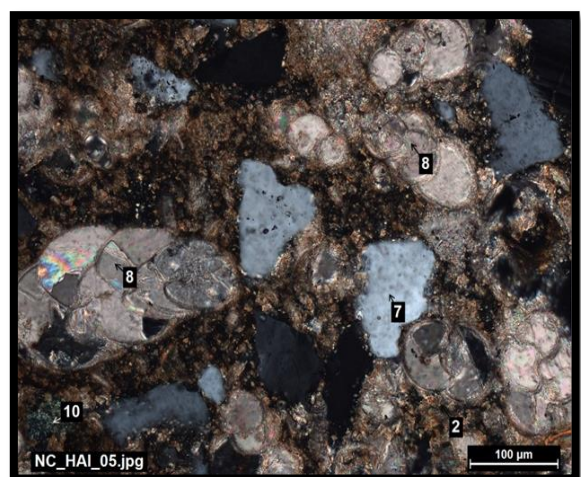
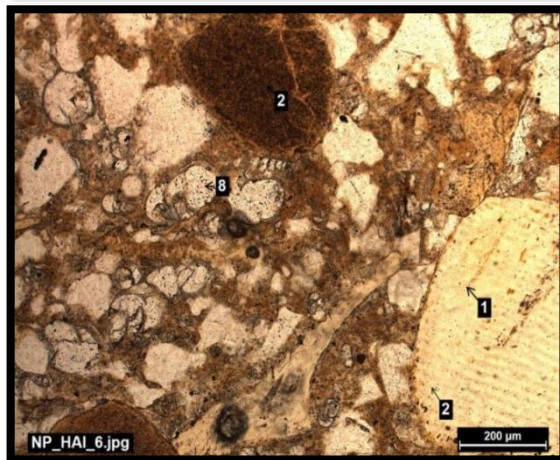


Imagen 41. Muestra HAI 06 Macroscópica.



Descripción: Pelfosfoarenita, Roca Aloquímica Pura, la distribución de los granos es homogénea, moderadamente meteorizada, evidencia de un proceso diagenético representado por un cambio en el tamaño del cristal, esfuerzo y geometría (recristalización), Color amarillo grisáceo, el armazón está compuesto por terrígenos (cuarzo tamaño lodo) 5% con esfericidad/redondez promedio angular, aloquímicos (pellets fecales fosfáticos tamaño lodo, fragmentos fosfatizados de peces y foraminíferos bentónicos) 35%, además presenta 60% de cemento fosfático y carbonatado. Se extrajo a los 14.5 metros de la base de la formación Labor y Pinos (Ksgp).



Imágenes 42-43. Muestra HAI 06 Microscópica en Nícoles Paralelos en aumento ocular de 20x y Nícoles Cruzados en igual aumento.

A nivel microscópico: recibe el nombre de Pelfosfoarenita, se encontró en la muestra cuarzo detrítico 10% predominando en tamaño limo ($4\mu\text{m}$ - $62\mu\text{m}$), aloquímicos 62% (pellets, oolitos y fragmentos de huesos de peces y vertebrados, foraminíferos bentónicos biserials), con cemento carbonatado en un 28%.

En las microfotografías NP_HAI_6.jpg y NC_HAI_06.jpg: (8) Calcita, (2) Colofana, (1) Fluorapatito.

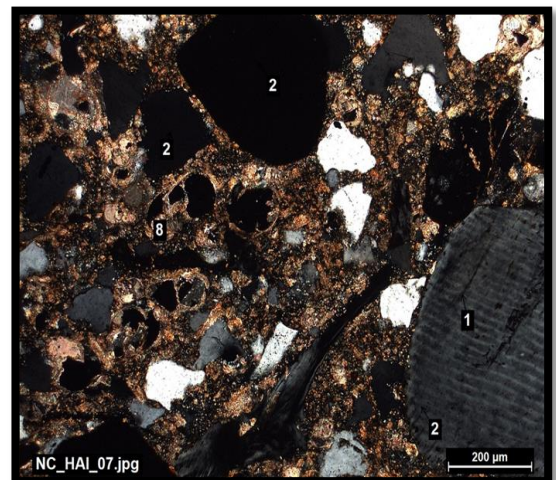
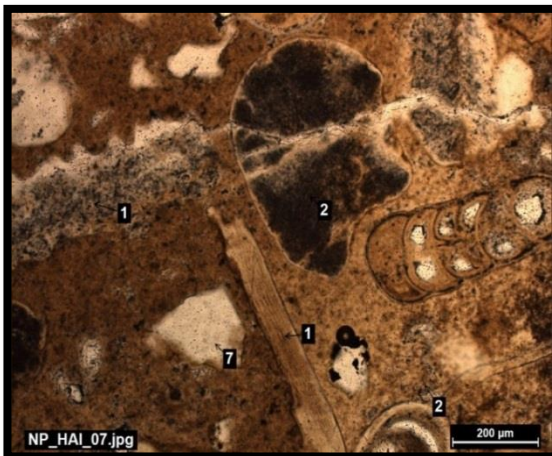


Imagen 44: Muestra HAI 07 Macroscópica.



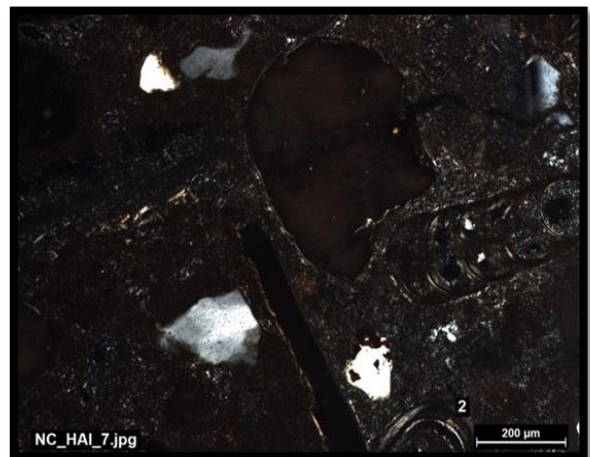
Descripción: Pelfosfoarenita, Roca aloquímica pura, arenita fosfática, extraída a 2.5 metros de la base de la formación Labor y Pinos (Ksgp), en el municipio de Iza donde la capa presenta estratificación paralela continua en contacto neto con la formación Arenisca Tierna (Ksgt), la roca presenta apariencia brillante, empaquetamiento flotante, distribución de los granos homogéneos bien seleccionados, evidencia un proceso de precipitación química (reemplazamiento) y disolución durante su litificación, color gris verdoso claro, masiva, poca porosidad, reacción positiva en contacto con el ácido clorhídrico, posee componentes terrígenos (cuarzo) 8%, aloquímicos 50% representado en pellets fecales fosfáticos, fragmentos de vertebrados y foraminíferos bentónicos; y autigenicos (carbonato de calcio) 42%.



Imágenes 45-46. Muestra HAI 07 Microscópica en Nícoles Paralelos en aumento ocular de 20x y en Nícoles Cruzados en igual aumento ocular.

A nivel microscópico: Pelfosfoarenita, se observaron componentes terrígenos en un 16,52% en tamaño limo (4µm-62µm), aloquímicos 48,5% (pellets, oolitos, fragmentos de vertebrados y foraminíferos bentónicos) y ortoquímicos 35,2% en cemento carbonatado.

En las microfotografías NP_HAI_7.jpg y NC_HAI_7.jpg: (8) Calcita, (2) Colofana, (1) Fluorapatito.



El anterior análisis nos permite determinar que las rocas aflorantes de las zonas de estudio corresponden a la Formación Ermitaño (Kse), más exactamente a una parte de los niveles inferior y medio; de las formaciones Dura y Plaeners (Ksgpl) y la Formación Labor y Pinos (Ksgp) respectivamente; estas se clasifican como Rocas Aloquímicas Impuras y puras; y como: **Pelfosfoarenitas, Litofosfoarenitas** y **Biofosfoarenitas** por su alto contenido de clastos fosfáticos aloquímicos, junto con el material de reemplazamiento y el cemento que las compone.

Además sufrieron procesos químicos de reemplazamiento representados en alteraciones producidas por reacciones de óxido reducción y soluciones de precipitación en donde la porosidad de la roca es afectada, en compañía de la acumulación y depositación de materia orgánica. Las areniscas cuarzosas experimentaron un sobre crecimiento y recristalización durante el asentamiento inicial.

Las muestras de rocas HAS 02, HAS 07 y HAI 05 experimentaron procesos diagenéticos como: *calcificación* debido a que la calcita es un mineral de alta difusión y movilidad, *silicificación* ya que las condiciones geoquímicas (Presión y temperatura) del medio y la solubilidad hacen que el pH del sílice aumente (pH 9) y sea transformado en caolinita.

Esta información nos permitió correlacionar litológicamente los afloramientos de la formación Ermitaño (Kse) en el municipio de Iza y Sogamoso.

5. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

El ensayo de **Fluorescencia de rayos X (XRF)** es un método clásico para determinar los elementos principales y menores, así como algunos elementos de trazas. Las ventajas de usar la XRF son su precisión, exactitud, brevedad del tiempo de análisis, la capacidad de presentar la muestra como sólido, no como líquido, y su naturaleza multielemento (Colombia S.A.S, n.d.).

En la gráfica de resultados representan la información obtenida del ensayo de fluorescencia de rayos X, donde se ve la diferencia existente entre los valores de **K_a** (KAlpha) y **K_b** (KBeta) que representan de manera descendente la intensidad y asocia los datos obtenidos de un mismo elemento (Picos); los números de picos logrados detallan un conjunto de transiciones características que lo generan, la posición donde aparece el pico Compton es independiente del material y su intensidad depende, de la naturaleza y composición atómica del material; midiendo la dispersión inelástica (Compton), la cual dispersa los rayos incidentes y dispersados de manera incoherente haciendo que el fotón pierda energía que es absorbida por el electrón **E**. La disposición Fuente – Muestra – detector, utilizada en este método define un ángulo de 90°, minimizando la dispersión inelástica y maximizando la intensidad de las señales emitidas por la muestra asociándolas a las emisiones de fluorescencia características de los elementos presentes.

El ensayo de fluorescencia de rayos X se lleva a cabo para 2 muestras correspondientes al municipio de Sogamoso e Iza correspondientemente y los resultados obtenidos son los siguientes:

Código de origen: P y C M₃

Tipo de muestra: Roca Fosfórica fresca (Arenisca Fosfática)

Coordenadas: E: 1.130.549 N: 1.119.260 Z: 2876 m.s.n.m.

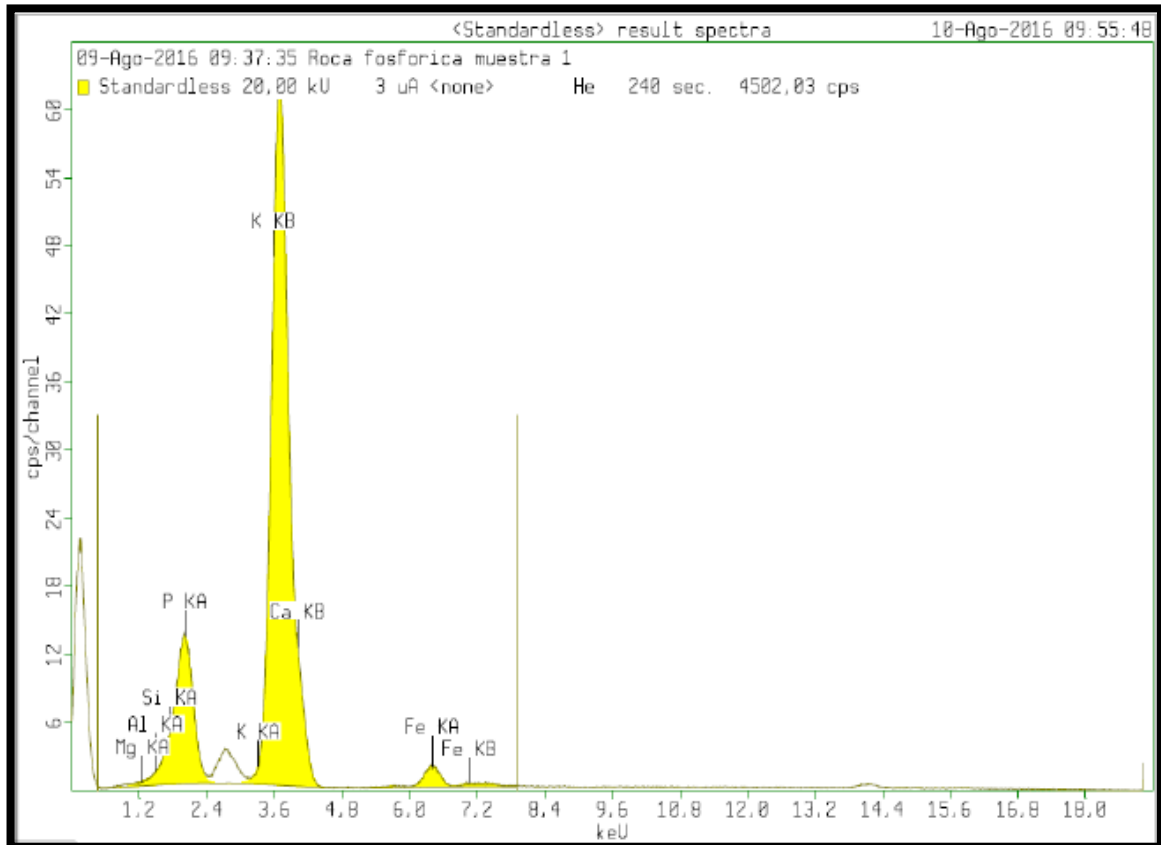
Formación: Ermitaño (Kse) Miembro Intermedio (Labor y Pinos).

Tabla 6. Componentes químicos de la roca PyC M₃

Componentes	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Fe
%	4.8	3.2	8.0	19.2	0.76	62.8	1.17

Fuente: Laboratorio de Materiales U.P.T.C. Sede Tunja.

Gráfica 8. Resultados de los componentes químicos de la roca PyC M₃



Fuente: Laboratorio de Materiales U.P.T.C. Sede Tunja.

Código de origen: M.S.M M₁I

Tipo de muestra: Roca Fosfórica Fresca (Arenisca Fosfática)

Coordenadas: E: 1.122.185 N: 1.112.175 Z: 2704 m.s.n.m.

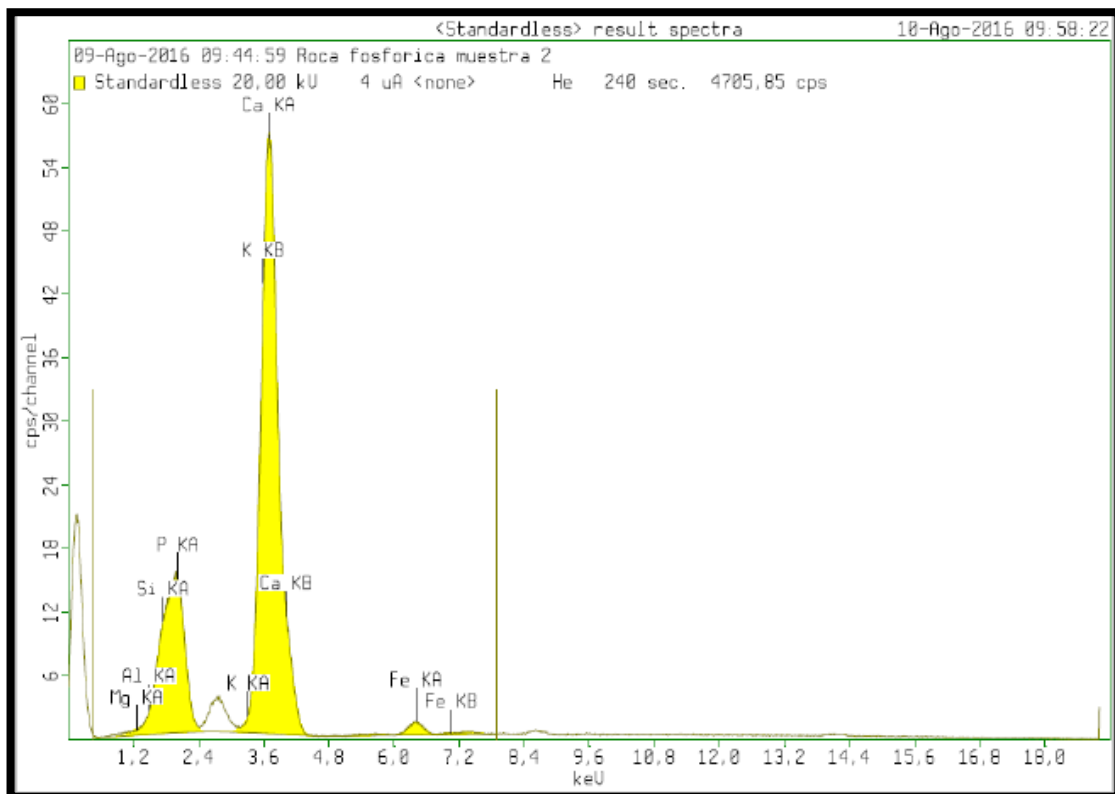
Formación: Ermitaño (Kse) Miembro Intermedio(Labor y Pinos)

Tabla 7. Componentes químicos de la roca M.S.M. M₁

Componentes	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Fe
%	4.8	3.3	21.2	20.8	0.73	48.7	0.54

Fuente: Laboratorio de Materiales U.P.T.C. Sede Tunja.

Gráfica 9. Resultados de los componentes químicos de la roca M.S.M. M₁



Fuente: Laboratorio de Materiales U.P.T.C. Sede Tunja.

Los resultados establecen un análisis cuantitativo teniendo en cuenta la concentración de dichos componentes mineralógicos lo que nos indican que las rocas son poseedoras de altos porcentajes de magnesio, aluminio, silicio, fósforo, potasio, hierro y calcio.

De estos resultados podemos deducir que la diferencia en porcentajes del contenido es:

Igual cantidad en ambas muestras de: Magnesio (Mg); de Aluminio (Al) existe una diferencia menor al 0.1%; de Sílice (Si) la diferencia es de 13.2%; de Fósforo (P) la diferencia es de 1.6%, de Potasio (K) la diferencia es de -0.03, de Calcio (Ca) la diferencia es de -14.1, de Hierro (Fe) la diferencia es de -0.63. Las diferencias positivas indican un déficit en el contenido de minerales como el aluminio, el sílice y el fósforo. Mientras que las diferencias negativas nos permiten ver que la muestra 1 tiene un incremento en los contenidos de potasio, hierro y calcio.

El análisis permitió identificar los elementos químicos presentes en las muestras, así como la relación existente entre el porcentaje de armazón fosfático de cada muestra calculado a partir de la descripción petrográfica con el porcentaje de P_2O_5 que estos representan.

Por efectos de la precipitación química, los fosfatos presentes en las muestras tiene muy bajos contenidos de magnesio (Mg), en este proceso influyen las bajas temperaturas y la latitud a la que se depositó el mineral fosfático evidencia de un ambiente de plataforma somero ya que las aguas frías y profundas, por efectos de las corrientes marinas pueden ascender a la superficie y como la solubilidad disminuye con el aumento de la temperatura y del PH, puede ocurrir entonces la precipitación del apatito por procesos orgánicos e inorgánicos, por esta razón el fósforo está más concentrado en la zona.

- **ANALISIS QUIMICOS REALIZADOS POR FOSFATOS BOYACA S.A.**

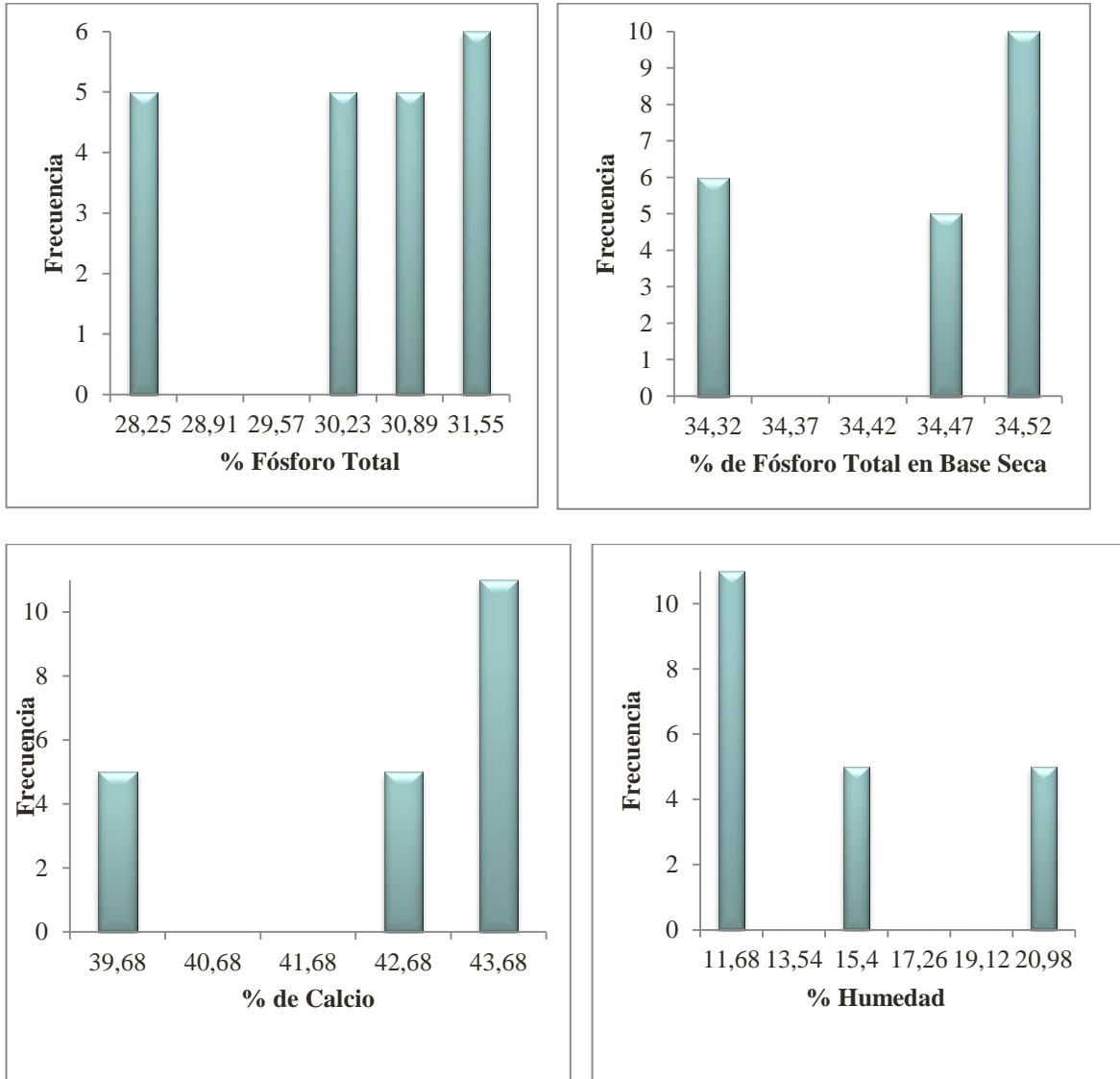
Los datos proporcionados por la empresa Fosfatos de Boyacá S.A. pertenecientes a las zonas de estudio en los municipios de Iza y Sogamoso.

Tabla 8. Resultados de análisis químicos realizados por Fosfatos Boyacá S.A. en la vereda Pilar y Ceibita (Sogamoso).

Fecha	Fósforo Total % P ₂ O ₅	Fósforo Total en Base Seca % P ₂ O ₅	Calcio % CaO	Humedad
10-14/May/2016	27,59	34,45	38,68	19,91
07-11/Jun/2016	29,76	34,48	41,7	13,68
27-01/Jul/2016	30,73	34,27	42,75	10,35
25-30/Jul/2016	31,13	34,52	43,47	9,82

Fuente: Fosfatos Boyacá S.A.

Gráfica 10. Histogramas de las muestras tomadas en la Vereda Pilar y Ceibita (Sogamoso), donde se reflejan los porcentajes de: Fósforo total de la muestra, fósforo total en base seca, calcio y humedad.



Fuente: Autores

Finalmente en la interpretación de los histogramas anteriores se puede concluir que los contenidos de fósforo total y en base seca se encuentran en un rango de

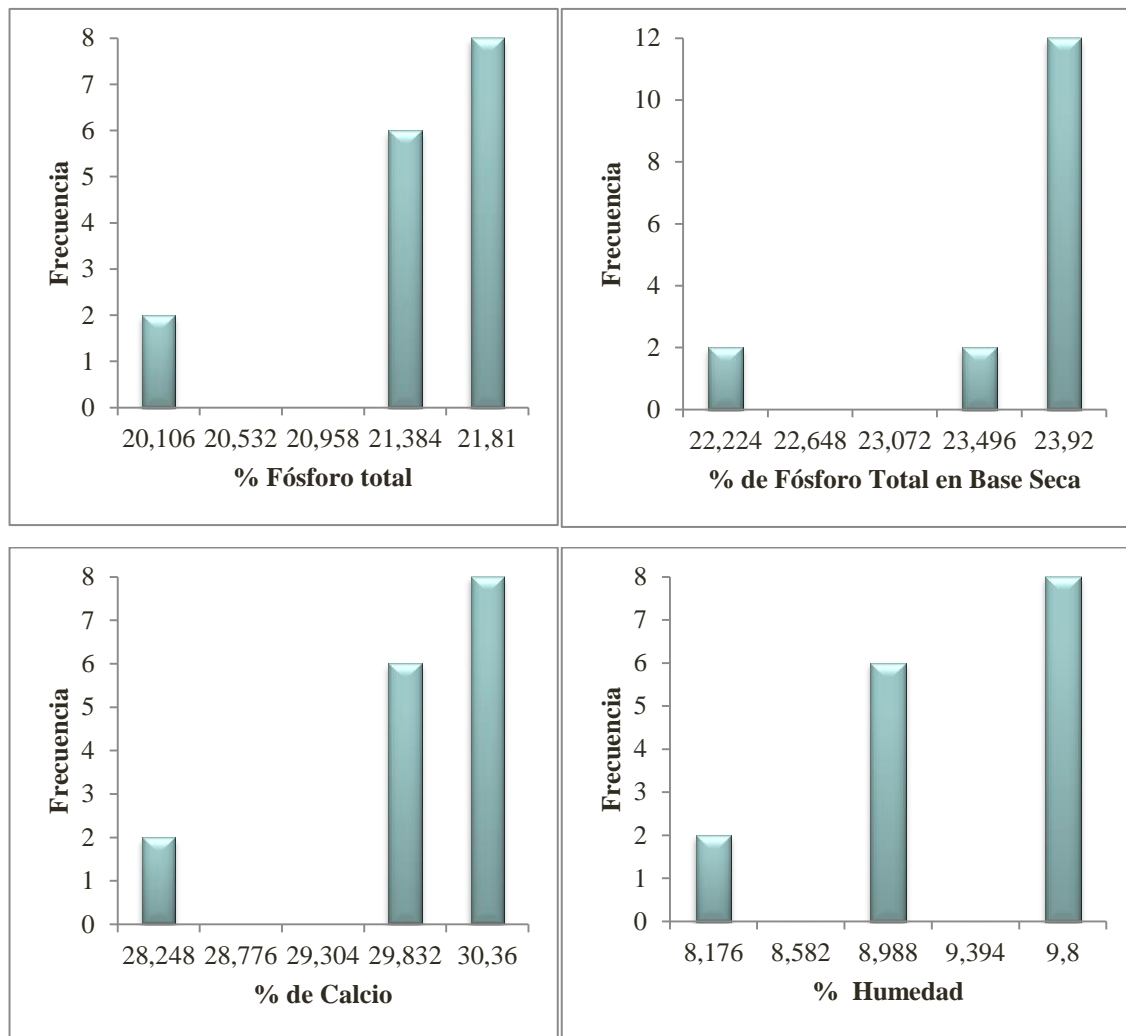
30% a 35% con un porcentaje de Calcio en un rango de 42,68% a 43,68% corroborando que los contenidos de fósforo en el almacén de la roca son altos en ausencia de humedad y además nos permite identificar una variación lateral en el contenido de fósforo debido a la precipitación y depositación de los minerales indicándonos una tendencia a aumentar en el contenido de fósforo por la distribución normal de dichos datos .

Tabla 9. Resultados de análisis químicos realizados por Fosfatos Boyacá S.A. en la vereda San Miguel (Iza).

Fecha	Fósforo Total % P ₂ O ₅	Fósforo Total en Base Seca % P ₂ O ₅	Calcio % CaO	Humedad
21-26/Sep/2015	21,81	23,92	30,36	8,82
28-29/Sep/2015	21,53	23,35	29,98	7,77
23-28/Nov/2015	21,29	23,6	29,58	9,8
14-15/Dic/2015	19,68	21,8	27,72	9,73

Fuente: Fosfatos Boyacá S.A.

Gráfica 11. Histogramas de las muestras tomadas en la Vereda Centro (Iza), donde se reflejan los porcentajes de: Fósforo total de la muestra, fósforo total en base seca, calcio y humedad.



Fuente: Autores.

Los histogramas nos están representando un conjunto de datos en distribución normal, con tendencia a aumentar en la cantidad de componentes fosfáticos y carbonaticos de la roca pero con una alarma en la humedad de la misma porque también está en aumento lo que puede generar una deficiencia por la disgregación y disolución química de los minerales.

Gráfica 12. Columna Estratigráfica que muestra la ubicación litológica, granulometría y clasificación de las muestras petrográficas analizadas de la Formación Ermitaño (Kse). En los municipios de Iza y Sogamoso (Correlacionados).

LITOLOGIA	LODO		ARENA					CLASIFICACION	
	Arcilla	Limo	Muy Fina	Fina	Media	Gruesa	Muy Gruesa		
								Profundidad	
								17.62 m	HAS 01. MICROFOSFORITA
								14.5 m	HAI 06. PELFOSFOARENITA
								12.5 m	HAS 02. PELFOSFOARENITA
								11.5 m	HAI 05. BIOSFOARENITA
								9 m	HAS 03. LITOFOSFOARENITA
								5.13 m	HAS 09. PELFOSFOARENITA
								4.5 m	HAI 01. PELFOSFOARENITA
								2.5 m	HAI 07. PELFOSFOARENITA
								1.5 m	HAI 03. LITOFOSFOARENITA
								5 m	HAS 04. BIOFOSFOARENITA
								7.3 m	HAS 05. BIOFOSFOARENITA
								9.5 m	HAS 07. PELFOSFOARENITA

Formación Labor y Pinos (Ksgp)

Formación Dura

Fuente: Autores.

6. FACIES Y AMBIENTES SEDIMENTARIOS

- **FACIES**

Las facies descritas en este capítulo se basaron en diferentes características de las rocas aflorantes en la Formación Ermitaño (Kse). (Color, textura, composición mineralógica, tamaño de grano, geometría de las capas y láminas, descripción a nivel macroscópico y microscópico de las muestras tomadas en las diferentes zonas de estudio lo que permitió diferenciar un conjunto de capas de otras.

- a) **FACIES ARENOSAS:** En este grupo se asociaron las diferentes capas y láminas compuestas por areniscas con características similares como color, tamaño de grano (arenisca media), contenido de cuarzo detrítico e impregnaciones fosfáticas.
- b) **FACIES FINAS:** Facies relacionadas a las capas y láminas compuestas principalmente por areniscas de grano muy fino limos, lodos y arcillolitas.
- c) **FACIES HETEROLITICAS:** En estas facies se reúnen las capas y láminas compuestas por interestratificaciones e intercalaciones de láminas muy finas (0-10mm) de areniscas de grano medio, fino, muy fino, limos, lodos y arcillolitas.

- **ASOCIACION DE FACIES**

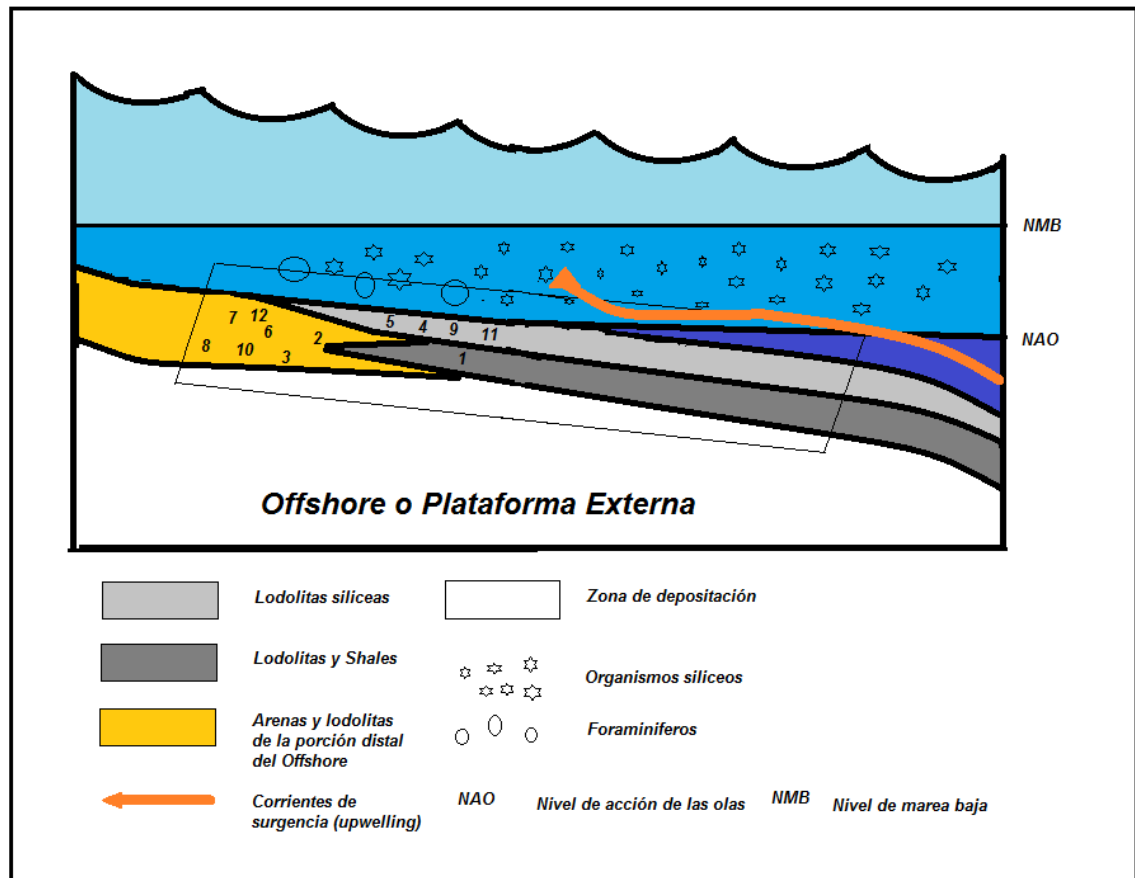
- **Asociación asimétrica positiva (Estratodecreciente):** Asociación de secuencias cíclicas en donde las capas de areniscas se presentan en espesores que van aumentando hacia la base de la sección.
- **Asociación asimétrica negativa (Estratocreciente):** Asociación de secuencias cíclicas en la cual las capas de areniscas aumentan su espesor hacia el techo de la sección.
- **Asociación Multiepisódica:** Asociación de varias facies con una misma característica, que se repiten en un gran bloque; estas facies pueden ser de areniscas o limonitas.

Las facies anteriores y la asociación facial nos permite relacionarlas en los siguientes ambientes deposicionales:

- ✓ **Deposicional Marino Somero:** donde por su oleaje suave o con baja energía de sedimentos que mantuvieron su disposición original (paralela), sin presentar gran variedad en el cambio de estructuras sedimentarias así como tampoco ha sido significativo el cambio en la dirección de las paleocorrientes existentes, en este ambiente encontramos estructuras sedimentarias de laminación, marks ripples y una gran variedad de fósiles y microfósiles de animales así como de plantas.

Los ambientes geológicos sedimentarios encontrados en las zonas de estudio permitieron diferenciar los ambientes por su composición, tamaño de grano, textura, color y fósiles o trazas fósiles presentes en las rocas.

Grafica 12. Modelo esquemático del ambiente de depósito de las facies que representa la Formación Ermitaño (Kse) donde se ubican las muestras tomadas en campo.



Dónde:

- | | | |
|-----------|-----------|------------|
| 1. HAS 01 | 5. HAS 05 | 9. HAI 03 |
| 2. HAS 02 | 6. HAS 07 | 10. HAI 05 |
| 3. HAS 03 | 7. HAS 09 | 11. HAI 06 |
| 4. HAS 04 | 8. HAI 01 | 12. HAI 07 |

Fuente: Autores

7. RESULTADOS

CORRELACIÓN ESTRATIGRAFÍA LOCAL

- **Formación Ermitaño (Kse)**

Tabla 10. Resumen de Sección Estratigráfica San Miguel (Iza), facies, asociación facial y ambientes de depositación.

LOCALIZACION	DESCRIPCION	FACIES	ASOCIACION FACIAL	INTERPRETACION
<p>Vereda San Miguel (Iza)</p> <p>N: 1.122.637</p> <p>E: 1.111.835</p> <p>Altura de 2.704 m.s.n.m.</p>	<p>Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) 4,78 m.</p> <p>Compuesta:</p> <p>Cuarzo arenitas de color gris oscuro a medio y algunos tonos naranja por los óxidos de hierro, en capas medias, tabular masiva, cemento silíceo y calcáreo con intercalaciones de láminas fosfáticas y presencia de óxidos de hierro, presenta carbonatos en estratos paralelos. Presencia de abundantes microfósiles, fragmentos fósiles y pellets, en matriz arcillosa, con intercalaciones de capas finas a muy finas de limolitas grises con</p>	<p>FACIES ARENOSAS</p> <p>1) Cuarzo arenitas con laminación plana paralela continua.</p> <p>2) Cuarzo arenitas fosfáticas masivas.</p> <p>FACIES FINAS</p> <p>1) Limolitas fosfáticas con laminación plana paralela.</p> <p>FACIES HETEROLITICAS</p> <p>No presenta.</p>	<p>1) Asociación asimétrica positiva.</p>	<p>1) Este segmento se depositó en un ambiente deposicional de plataforma externa, ubicado en un deposito marino somero lo que permitió el arrastre y ruptura de los fósiles.</p>

		pellets y cemento calcáreo y silíceo.			
Vereda San Miguel (Iza) N: 1.123.226 E: 1.112.110 Altura de 2.658 m.s.n.m.	Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) 2.71 m y Formación Labor y Pinos (Ksgp) 6.92 m. Compuesta: 1) (2.71m) de Cuarzo arenitas en presencia de cemento silíceo y calcáreo con intercalaciones de láminas fosfáticas y presencia de óxidos de hierro. 2) (6.60 m) Sucesión de capas entre (6 cm – 127 cm) de limolitas, arcillolitas y areniscas cuarzosas fosfáticas.	<p>FACIES ARENOSAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Cuarzo arenitas con laminación plana paralela continua. 2) Cuarzo arenitas fosfáticas masivas. 3) Cuarzo arenitas masivas. <p>FACIES FINAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Limolitas con laminación plana paralela continua. 2) Limolitas fosfáticas. 3) Arcillolitas con laminación plana paralela continua. <p>FACIES HETEROLITICAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Limolitas y arcillolitas fosfáticas interestratificadas plana paralela continua. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Asociación asimétrica positiva. 2) Asociación asimétrica negativa. 3) Asociación asimétrica positiva. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Este segmento se depositó dentro de un ambiente plataforma externa marino somera. 2) En esta asociación se observa un ambiente de plataforma externa 3) Este segmento se depositó ambiente de plataforma externa marino somera.. 	
Vereda San Miguel (Iza) N: 1.122.948 E: 1.112.389 Altura de 2.694	Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) y Labor y Pinos (Ksgp)20.84m. Formación Dura y Plaeners (Ksgpl)Compuesta: (4.78 m) secuencia de capas cuarzo	<p>FACIES ARENOSAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Cuarzo arenitas con laminación plana paralela continua 2) Cuarzo arenitas fosfáticas con laminación plana 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Asociación asimétrica positiva. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Este segmento se depositó dentro de un ambiente plataforma externa marino somera. 	

<p>m.s.n.m.</p>	<p>arenitas con intercalaciones de limolitas silíceas y calcáreas en láminas delgadas con glauconita oxidada.</p> <p>Formación Labor y Pinos (Ksgp)</p> <p>Compuesta: (16.06m) sucesión de capas de arcillolitas y cuarzo arenitas en capas tabulares, de espesor medio a grueso, masivas se observa la ciclicidad entre las capas paralelas de cuarzo arenitas fosfáticas de mayor espesor a las arcillolitas y a las areniscas de grano fino con intercalaciones de limolitas y lodolitas silíceas con estratificación plana paralela.</p>	<p>paralela continúa.</p> <p>3) Cuarzo arenitas masivas.</p> <p>FACIES FINAS</p> <p>1) Limolitas con laminación plana paralela continua.</p> <p>2) Limolitas fosfáticas.</p> <p>3) Arcillolitas con laminación plana paralela continua.</p> <p>FACIES HETEROLITICAS</p> <p>1) Limolitas y arcillolitas interestratificadas con laminación plana paralela continua.</p> <p>2) Limolitas y lodolitas interestratificadas en laminación plana paralela.</p>	<p>2) Asociación asimétrica negativa.</p> <p>3) Asociación asimétrica positiva.</p> <p>4) Asociación asimétrica negativa.</p> <p>5) Asociación asimétrica positiva.</p>	<p>2) Segmento depositado en un ambiente de plataforma externa.</p> <p>3) Este segmento se depositó dentro del ambiente plataforma externa marino somera.</p> <p>4) Segmento depositado en un ambiente de plataforma externa, marino somero.</p> <p>5) Segmento depositado en un ambiente plataforma externa marino somera.</p>
-----------------	--	--	---	---

Fuente: Autores.

Tabla 11. Resumen de Sección Estratigráfica Vereda Pilar y Ceibita (Sogamoso), facies, asociación facial y ambientes de depositación.

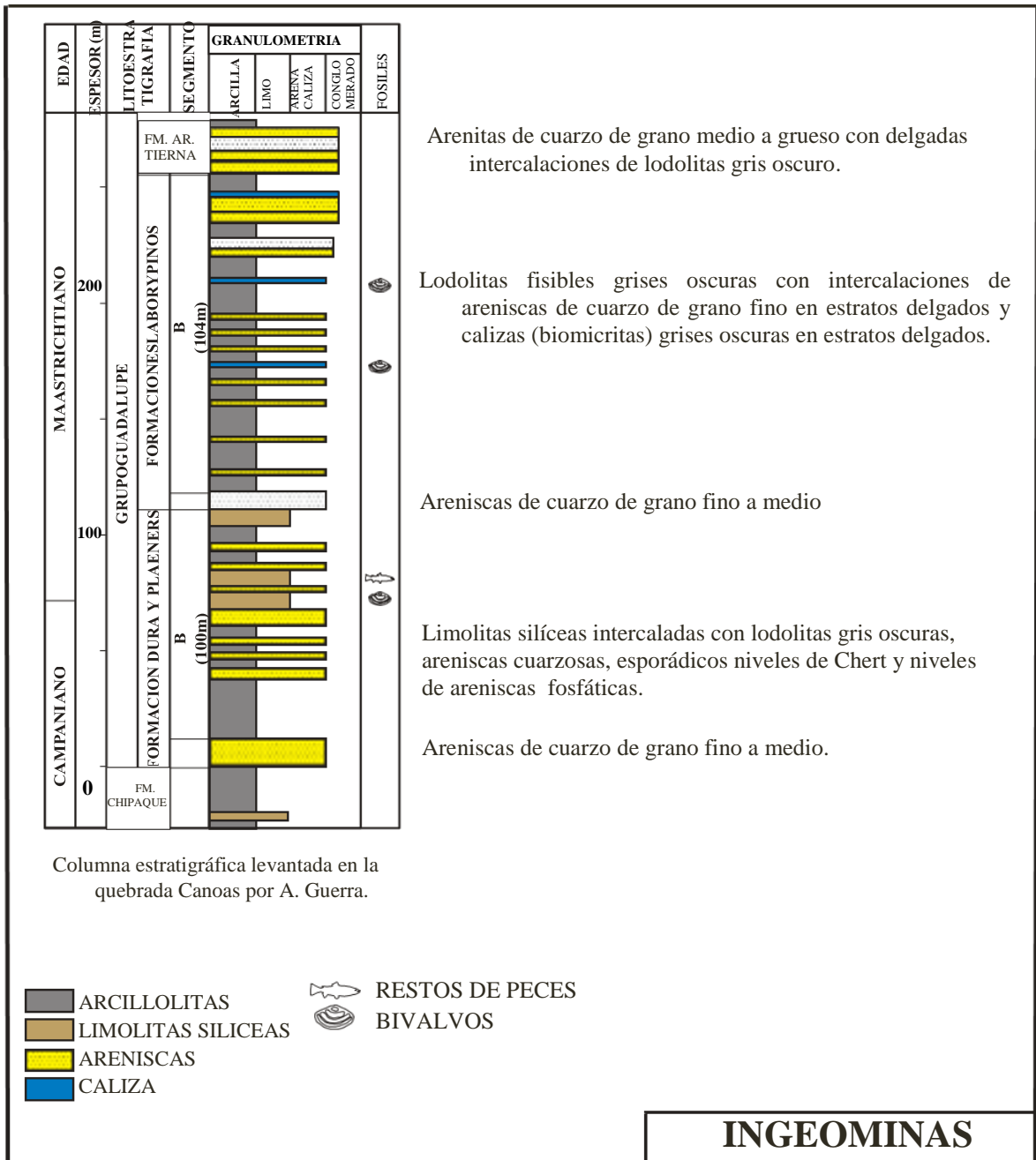
LOCALIZACION	DESCRIPCION	FACIES	ASOCIACION FACIAL	INTERPRETACION
Vereda Pilar y Ceibita (Sogamoso) N: 1.119.970 E: 1.129.972 Altura de 2.729 m.s.n.m.	Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) 5.80 m. Compuesta: Cuarzo arenitas de color amarillo grisáceo a pardo, con alto grado de meteorización, presentan laminación plana paralela. Lodolitas fisibles, en color gris claro a oscuro, con laminación interna y de forma tabular intercaladas con arcillolitas cuarzosas, amarillas con evidencia de transporte	FACIES ARENOSAS 1) Cuarzo arenitas con laminación plana paralela continua. 2) Cuarzo arenitas fosfáticas masivas. FACIES FINAS 1) Lodolitas fosfáticas con laminación plana paralela. FACIES HETEROLITICAS 1) Lodolitas y arcillolitas interestratificadas, con estructura interna de capas planas, paralelas.	1) Asociación asimétrica positiva. 2) Asociación asimétrica negativa.	1) Este segmento se depositó en un ambiente de plataforma externa marino somera. 2) Este segmento se depositó dentro de un ambiente de plataforma externa marino somera.
Vereda Pilar y Ceibita (Sogamoso) N: 1.119.260 E: 1.130.549	Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) y Labor y Pinos (Ksgp) 30.12 m. Formación Dura y Plaeners (Ksgpl) (9.60m) compuestas por areniscas fosfáticas de color gris claro a oscuro. Laminación	FACIES ARENOSAS 1) Arenas fosfáticas con laminación plana paralela. 2) Cuarzo arenitas fosfáticas.	1) Asociación multiepisodica	1) Este segmento se depositó dentro de un ambiente de plataforma externa marino somera.

<p>Altura de 2.876 m.s.n.m.</p>	<p>interna plana paralela, pellets, fósiles, huesos, nódulos fosfáticos de forma oval y redondeados de diferentes tamaños desde 4cm a 70cm, alta porosidad, Contacto neto entre las capas, con intercalaciones de láminas delgadas de arenitas fosfáticas de grano fino en color amarillo, blanco y gris.</p> <p>Se presentan lodolitas y limolitas en intercalaciones de capas finas a medias de color amarillo claro y ocasionales láminas fosfáticas.</p> <p>Formación Labor y Pinos(Ksgp) 20,52 m, sucesión de capas de cuarzo arenitas en color marrón, amarillo y gris claro a oscuro. Masivas con contenido fosfático en distintas proporciones desde impregnaciones hasta laminas, material ferruginoso, con laminación plana paralela y geometría tabular en las capas, además intercalaciones de limolitas, lodolitas silíceas y arcillolitas, en tonos blancos, gris claro a medio, amarillo a marrón. Hacia la parte superior de la columna se localizan capas de arcillolitas en presencia de ocasionales capas de chert fosfático, suprayaciendo capas</p>	<p>3) Cuarzo arenitas masivas.</p> <p>FACIES FINAS</p> <p>1) Lodolitas silíceas con laminación plana paralela continua.</p> <p>2) Lodolitas fosfáticas.</p> <p>3) Limolitas con laminación plana</p> <p>4) Arcillolitas con laminación plana paralela continua.</p> <p>FACIES HETEROLITICAS</p> <p>1) Lodolitas y limolitas masivas.</p> <p>2) Lodolitas y limolitas masivas con laminación plana paralela.</p> <p>3) Limolitas y arcillolitas interestratificadas con laminación plana paralela continua.</p> <p>4) Lodolitas y arcillolitas en capas delgadas.</p>	<p>2) Asociación asimétrica negativa.</p> <p>3) Asociación asimétrica positiva.</p> <p>4) Asociación asimétrica negativa.</p> <p>5) Asociación asimétrica positiva.</p> <p>6) Asociación asimétrica negativa.</p> <p>7) Asociación asimétrica positiva.</p>	<p>2) En esta asociación se observa un ambiente plataforma externa.</p> <p>3) Segmento que se depositó en un ambiente de plataforma externa marino somera.</p> <p>4) Esta asociación se depositó en un ambiente de plataforma.</p> <p>5) Esta asociación se depositó en un ambiente plataforma externa marino somera.</p> <p>6) Segmento que se depositó en un ambiente de plataforma externa marino somera.</p> <p>7) Esta asociación se depositó en medio</p>
---------------------------------	--	--	---	---

	de cuarzo arenitas con carbonatos y trazas de glauconita en tamaño de fino a medio de color gris claro.			de un ambiente de plataforma externa marino somera.
--	---	--	--	---

Fuente: Autores

Gráfica 13. Columna Estratigráfica tipo de la formación Ermitaño (Kse).



Fuente: Memorias explicativas de la plancha 192, Laguna de Tota

La sección correlacionable corresponde a una pequeña parte de los segmentos **B** de 100 a 144 m. de la formación Dura y Plaeners (Ksgpl) y a los Segmentos **A** de 20 m. y **C** de 12 m. de la Formación Labor y Pinos (Ksgp). Se encontraron gran cantidad de coincidencias litológicas con estos segmentos lo que nos permitió con facilidad correlacionar la información obtenida con la información disponible de las columnas estratigráficas tipo existentes y levantadas en la zona.

Las Formaciones Dura y Plaeners (Ksgpl) compuesta en su mayoría por limolitas silíceas, niveles de cuarzo arenitas fosfáticas y suprayacen a esta formación niveles blandos de arcillolitas grises oscuras marcando el contacto con la Formación Labor y Pinos (Ksgp) compuesta por cuarzo arenitas de grano fino a medio, con óxidos ferruginosos y capas delgadas de cuarzo arenitas fosfáticas de color gris amarillento, meteorizadas y compuestas principalmente por abundantes pellets fosfáticos, microfósiles y fragmentos fósiles.

Las anteriores diferencias permitieron ubicar las columnas estratigráficas dentro de la formación Ermitaño, así como su correlación.

7.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el anterior proyecto encontramos que la sección aflorante de la Formación Ermitaño tanto en el municipio de Iza como en el municipio de Sogamoso es la misma, aunque hay cambios en los espesores de los mantos fosfáticos afectando el contenido de P_2O_5 , ya que algunos de sus componentes químicos en el municipio de Iza se han visto afectados por el clima de la región, la escorrentía y el aumento del nivel freático, haciendo que disminuya el porcentaje de fósforo presente en la roca.

Las rocas fosfáticas del municipio de Iza poseen mayor contenido de cuarzo detrítico ya que su disolución es nula, por ello las cantidades del mismo mineral dentro de la roca aumentan, lo que hace que el material fosfático extraído sea de menor calidad ya que este si es soluble en agua, el contenido porcentual químico en pentóxido de fósforo P_2O_5 lo clasifica entre roca fosfática (-10%) y roca fosfórica (20%).

La roca fosfática del municipio de Iza es de tipo fluorapatítica por lo que requiere un proceso de beneficio para mejorar su calidad como materia prima en la agronomía.

La roca fosfórica extraída del Municipio de Sogamoso alcanza contenidos de P_2O_5 > 18% elevados lo que ayuda a la industria productora de fertilizantes fosfáticos.

A partir de las observaciones hechas en campo y de los análisis petrográficos realizados se confirma que las rocas fosfáticas experimentaron un proceso de depositación donde dominaron los intervalos transgresivos que suprayacen superficies de inundación marina, demostrando así que las mayores concentraciones económicas de fósforo se llevan a cabo en un ambiente de plataforma por la baja energía ayudando a la preservación de estas partículas; además la presencia de cuarzo (10% a 28%) en el armazón de las rocas junto a la evidencia de fragmentos fosfáticos corroboran el transporte de los sedimentos desde el frente de playa hasta la costa, registrados por episodios de corrientes turbidíticas entre 100 y 150 metros de profundidad (Ambientes Marinos Someros).

La presencia de fosfatos es exclusiva de rocas de ambiente marino, así que los estratos de las secciones estudiadas que contienen abundantes pellets fecales, fragmentos de huesos de peces y varios minerales que contienen fósforo cristalizan como cemento en los poros del sedimento o en las cámaras de los fósiles; además la presencia del mineral de glauconita en algunos estratos nos ayuda para el diagnóstico o identificación de un ambiente marino.

8. CONCLUSIONES

- La roca fosfórica es una roca sedimentaria enterrada de origen marino compuesta por fluorapatito microcristalino en forma de láminas, pellets, oolitos, nódulos y fragmentos de esqueletos y conchas; acompañada de minerales accesorios sílice, carbonatos, materia orgánica e hidróxidos de hierro y aluminio.
- A partir de la micropetrográfica se conocen que las rocas de la formación Ermitaño (Kse), en los miembros medio o Formación Labor y Pinos (Ksgp) y el miembro inferior o Formación Dura y Plaeners (Ksgpl); son PELFOSFOARENITAS, LITOFOSFOARENITAS y BIOFOSFOARENITAS de la Clasificación de rocas fosforita con el $P_2O_5 > 18\%$ propuesta por El Servir's Mineral and Rock Table Compiled by P. Lof. (1982).
- La petrografía permitió identificar tres procesos **diagenéticos** en las rocas del grupo Guadalupe: **sindiagénesis** o reordenamiento de las partículas en el momento de la sedimentación, **reemplazamiento** de los bioclastos y la matriz por cuarzo microcristalino, **precipitación química** dentro de las rocas fosfáticas en donde el mineral de apatito $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$, cambia por reacción química a carbonato de flúor apatito $(Ca_{20}(PO_4-3CO_3)8F_2-3)$ en el cual el CO_3 fue remplazado por PO_4 y **Recristalización** producto de la diagénesis inmersa en la generación de calcita derivada del aragonito.
- La estratigrafía permite ver de manera integral la disposición de las capas y láminas dentro de una misma formación, observando los cambios laterales influenciados por la topografía y los procesos químicos como la precipitación

mineralógica de la glauconita en aguas frías y la fosforita en zonas de corrientes de surgencia cargadas de nutrientes multiplicadores del fitoplancton.

- La columna estratigráfica detallada a escala 1:25, evidencia por medio del flujo unidireccional la acumulación de sedimentos con componentes fosfáticos (Fósiles, fragmentos fósiles, pellets y oolitos) facies arenosas, finas y heterolíticas, asociadas en conjuntos asimétricos positivas, negativas y Multiepisódica, resaltando los niveles con altos contenidos fosfáticos encontrados en la columna litoestratigráfica N° 1 del municipio de Sogamoso con espesor aproximado de 4,20 m en el miembro inferior del grupo Guadalupe; en la formación Labor y Pinos (Ksgp) miembro intermedio del grupo Guadalupe se encontraron dos niveles fosfáticos de 1,10 m y 2,40 m; así mismo en el municipio de Iza la columna litoestratigráfica N° 2 presento niveles con espesores de 1,54 m, 1,50 m, y 1,17 m (correlacionables con el nivel de 4,20 m en el municipio de Sogamoso); sobre la formación Labor y Pinos (Ksgp) los niveles fosfáticos presentan espesores de 62 cm, 40 cm, y 20 cm, los cuales son correlacionables con la columna litoestratigráfica N° 3 del mismo municipio a su vez correlacionables con el nivel de 1,10 m en el municipio de Sogamoso.
- Las muestras fosfáticas estudiadas presentan material de impureza (cuarzo detrítico) de tamaño limo en ambas zonas, pero con mayor presencia en las secciones de Iza comparado al registrado a las secciones de Sogamoso, teniendo en cuenta los análisis estadísticos cualitativos y cuantitativos derivados del análisis micropetrográfico puesto que el conteo de puntos oscila entre 600 y 1000 por cada municipio.
- Se interpreta una disposición geométrica primaria o singenética plana paralela de sedimentación conservada en el tiempo, llevada a cabo por una corriente

unidireccional, fluctuando en un transporte tractivo de régimen bajo facilitando la acumulación del sedimento antes de un enterramiento definitivo.

- Las capas de fosforita estudiadas en las secciones estratigráficas de Iza y Sogamoso se depositaron en intervalos transgresivos suprayaciendo superficies de inundación marina, favoreciendo el retrabajamiento sedimentario de las partículas fosfáticas presentes por el aumento en el nivel del mar y pocos episodios de tormenta en capas completas con espesores de 30 cm y 2 m.
- La correlación litoestratigráfica se realizó partiendo del análisis petrográfico en las rocas sedimentarias fosfáticas suministrando una descripción composicional de los minerales fosfáticos texturalmente incluyendo tamaño, forma y aglomeración de los clastos; seguido del análisis químico por fluorescencia de rayos x que proporciona los componentes químicos (Ca, Mg, Al, P, Si y K) y su absorción energética después del bombardeo de átomos en fracciones pulverizadas de roca, corroborando la existencia de componentes fosfáticos (pellets, oolitos y fragmentos esqueletales) y material terrígeno.
- El ambiente sedimentario de depositación de la formación Ermitaño (Kse) fue esencialmente marino somero de plataforma externa evidenciado en una morfología masiva tabular, aglomeración de material por suspensión en láminas planas paralelas y profundidades entre los 100 y 150 m.
- Las diferencias presentadas en el tamaño de los minerales de cuarzo observadas son mínimas en ambas zonas de estudio, predominó la depositación de minerales en tamaño limo y arena muy fina en cantidades que no superan el 30% de la composición total de la roca, facilitando la extracción del material terrígeno por procesos de tamizado en malla # (60-100).

- Las arenitas fosfáticas compuestas principalmente por cuarzo detrítico de origen siliciclástico difieren en el reemplazamiento de minerales por calcita caracterizado por la compactación, solubilidad y expulsión del agua presente en la roca, lo que indica un aumento en la presión y la temperatura de enterramiento de la roca fosfórica.

9. RECOMENDACIONES

- Profundizar en la caracterización jerárquica - paleontológica de los bioclastos y fósiles, presentes en las rocas fosfóricas de la zona.
- Hacer uso de otras herramientas de análisis especializados y tecnologías de beneficio como: *Difracción de rayos X* para conocer los diferentes tipos de arcillas existentes. *Fosforo soluble* en alguna solución extractora (Ácido cítrico, ácido fórmico, citrato de amonio neutro y citrato de amonio a pH 3), lo que ayuda en la efectividad agronómica de la roca

y la reactividad química. *Caracterización con Infra-rojo* debido a la absorción de energía del apatito, exponiendo su composición química e identificando la sustitución de carbonatos por fosfatos, útil en la caracterización preliminar de una mina, teniendo en cuenta su homogeneidad por tamizados rápidos. *Análisis Químico de Óxidos Mayores*, utilizado para conocer el porcentaje de P_2O_5 . *Solubilidad del apatito* para la aplicación directa en roca fosfórica finamente molida, usado para estimar la reactividad y determinar su potencial agronómico. *Decantación*, aplicable a menas arenosas y de fácil disgregación. *Gravimetría*, separación de las arcillas por diferencia de densidades. *Electrodo de ion específico*, para el análisis de flúor; estos ensayos arrojan valores exactos y detallados; de la calidad de la roca fosfórica explotada y su uso en la industria agronómica.

- Implementación de estudios detallados en las zonas de los municipios de Iza y Sogamoso para referencias posteriores, utilizando el presente proyecto como base para ser ampliado el conocimiento y continuar con la constante actualización de la información de manera que esta sea más efectiva para su utilización y aplicación en las labores mineras en la región.
- Profundizar en los análisis químicos realizados a los nódulos fosfáticos encontrados, para aprovechar su alta composición fosfática, para ello se recomienda aplicar tecnologías de beneficio como: *Fosforo soluble* en alguna solución extractora (Ácido cítrico, ácido fórmico, citrato de amonio neutro y citrato de amonio a pH 3), lo que ayuda en la efectividad agronómica de la roca y la reactividad química.

- Realizar análisis micropetrográfico de porosidad y permeabilidad realizando secciones delgadas y utilizando la técnica de manchamiento en su elaboración con azul metileno; así mismo realizarle pruebas físicas a las rocas fosfatadas (porosidad, densidad, relación de vacíos, peso específico y saturación); para con la información obtenida hacer una correlación más específica entre los municipios de Iza y Sogamoso y de esta manera hacer un control en la variación del manto explotable.

10. BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2007). Informed Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology a New Proposal. Retrieved from <http://www.anh.gov.co/>
- Adams, A. E., Mackensie, W. S. y Guilford, C. (2000). *Atlas de Rocas Sedimentarias*. University of Manchester.
- Arche, A., (1992). Sedimentología. *Raycar*, 100 (1), 495-516.
- Arche, A. (Ed.). (2010). *Sedimentología: Del Proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Madrid, España: Editorial CSIC.
- Boggs, S., (2006). Principles of sedimentology and stratigraphy. University of Oregon.
- Blandón, A. (2002). *Principios de Estratigrafía*. (Trabajo de año sabático). Universidad Nacional de Medellín. Medellín, Colombia.
- Burgl, H. y Botero G. (1962). *Las capas fosfáticas de la Cordillera Oriental* (informe preliminar). Servicio Geológico Nacional. Informe 1416, 54 p. Bogotá.
- Caballero, C.I. (2011), *Construcción y medición de columnas estratigráficas*. Facultad de ciencias UNAM.
- Compton, R. (1962). *Geology in the field*. New York, USA: Wiley.

- Colombia S.A.S, S. (n.d.). Fluorescencia de Rayos X. Retrieved from <http://www.sgs.co/es-ES/Mining/Analytical-Services/Geochemistry/X-Ray-Fluorescence.aspx>
- Folk, R. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*, Austin, Texas: Hemphill Publishing
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (2003). *Toma de datos en la libreta de campo*.
- Hermelin, M. (1995). *Las ciencias de la tierra y el medio ambiente en Colombia*. Universidad EAFIT. (19), 43-47.
- López, R.J., Solano, C., (2016). Estratigrafía y correlación estratigráfica en el campo de la geología. *Didáskalos*. 100(2), 107-113.
- Mariño, J. E., Morris, T. H. (1996). Erg Margin and Marginal marine facies analysis of the entrada sandstone. *Museum the northern*. (60). 483-486.
- Meléndez, B., (1994). *Coloquios de Paleontología*, Madrid, España: Complutense.
- Munsell Color. (2009). Geological rock-color chart.
- Ocampo, E., Guerrero, M. (2008). Facies y Sistemas de Deposito del miembro arenoso Galena. *Mexicana de Ciencias Geológicas* (25), 438-464.
- Ospina, C. (1968). *Yacimiento de fosforita Tota-Cuitiva-Iza* (informe preliminar) informe 1537, Bogotá.
- Reyes, I. (1984). *Geología de la Región Duitama – Sogamoso – Paz del Rio* (tesis de pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Colombia.

Rodríguez, R. (1975). *Roca Fosfórica Cuadrángulo J13* (informe preliminar) Informe 1676, Bogotá.

Servicio Geológico Colombiano (1952). *Estado actual de la exploración de fosfatos en Colombia*. Informe. 860, 5p. Bogotá.

Tarbuck, E., Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Madrid, España: Pearson Educación.

The geological society of America. (2008). *Rock-Color Chart de DATALOG*.

Torres, V. J. (1994). *Estratigrafía: principios y métodos*. Granada, España: Rueda.

Ulloa E. Carlos, Rodriguez Erasmo, Fuquen Jaime, A. J. (2001). *MEMORIAS EXPLICATIVAS Plancha 192 Laguna de Tota*.