

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y MINERALÓGICA DEL LÍMITE CRETÁCICO-
PALEÓGENO EN EL FLANCO ORIENTAL DEL SINCLINAL NUEVO MUNDO,
LEBRIJA, SANTANDER.

JULIÁN ENRIQUE GÓMEZ RAMÍREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2019

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y MINERALÓGICA DEL LÍMITE CRETÁCICO-
PALEÓGENO EN EL FLANCO ORIENTAL DEL SINCLINAL NUEVO MUNDO, RÍO
SUCIO, LEBRIJA, SANTANDER.

JULIÁN ENRIQUE GÓMEZ RAMÍREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE GEOLOGO MODALIDAD:
INVESTIGACIÓN

DIRECTOR

CARLOS ALBERTO RIOS REYES

GEÓLOGO, PHD

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

A Dios primeramente, “Porque de Él, y por Él, y para Él, son todas las cosas. A Él sea la gloria por los siglos. Amén.” (Rom 11:36)

A mis padres Cecilia Ramírez y Enrique Gómez, y a mis hermanos Jonathan Gómez, Paola Gómez y Favio Gómez por impulsar un soñador más hacia la luna.

AGRADECIMIENTOS

A mi Señor y Dios, porque por su gracia y su amor he podido escribir este libro.

A mi director de proyecto, el profesor Carlos Alberto Ríos Reyes y codirectores: Luis Fernando Peña Peña y Víctor Manuel Caballero Ortiz por su compromiso y apoyo en las etapas del proyecto.

A mis amigos de la U, Julio Correa, Cristian Fuentes, Marcos Niño y Andrei Lozano por su apoyo incondicional en la Universidad.

A los colaboradores del Instituto colombiano del Petróleo y de la universidad: Juan Jose, Angélica, Erika, Jael, Lina, Adriancho, Yiyo, Luz Helena, Vanesa, Julián, Lucho, Carlos, el profe Henao y su equipo, y demás personas.

A mis amigos fueron a campo, Juan Pablo Romero, Jose Mosquera, Diego Salazar, Stiven.

A Lau, por tanto, en especial por la corrección de este libro, que Dios siempre bendiga sus hermosas manos.

A todos los Maestros de la Escuela de Geología, que formaron el carácter de un geólogo en mi ser.

A la Universidad Industrial de Santander e Instituto Colombiano del Petróleo, por brindarme su material humano y campus para mi formación y elaboración de éste proyecto.

A todos aquellos que dedicaron años, meses, días, horas, minutos y aún segundos de su vida detrás del lienzo pintado que cuelga del telar del teatro, aportando sus ideas y enseñanzas para luego mostrar en la tarima, a un geólogo presentado su obra.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. OBJETIVOS	23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2. JUSTIFICACIÓN	24
3. ESTADO DEL ARTE	25
4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	28
4.1 LOCALIZACIÓN	28
4.1.1 Localización cartográfica y Geológica:	29
4.2 RASGOS ESTRUCTURALES	33
4.2.1 Sinclinal Nuevo Mundo.	33
4.2.2 Anticlinal Río Sucio.	34
4.3 ESTRATIGRAFÍA	34
4.3.1 Formación Umir	34
4.3.2 Formación Lisama	35

4.4	GEOMORFOLOGÍA.....	36
4.4.1	Geomorfología Zona-1.	36
4.4.2	Geomorfología Zona-2.	38
4.5	DRENAJES.....	41
5.	MATERIALES Y METODOS.....	43
5.1	PRIMERA ETAPA: ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE.....	43
5.2	SEGUNDA ETAPA: TRABAJO DE CAMPO.....	43
5.3	TERCERA ETAPA: TRABAJO DE LABORATORIO.....	44
5.3.1	Descripción muestras de mano.....	44
5.3.3	Preparación de muestras.	45
5.4	CUARTA ETAPA: ANÁLISIS, DIGITALIZACIÓN, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
5.4.1	Análisis.....	46
5.4.2	Digitalización.	50
5.4.3	Interpretación.	51
5.5	QUINTA ETAPA: ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL	51
6.	RESULTADOS.....	52
6.1	PALEOPALINOLOGÍA.....	52
6.1.1	Muestras Zona-1, Río Sucio.....	52
6.1.2	Muestras Zona-2, Quebrada Mata de Cacao.....	54
6.1.3	Ubicación Muestras Zona-1 y Zona-2.	54
6.2	OCURRENCIAS DE CAMPO.....	56

6.2.1 Zona-1.....	56
6.2.2 Zona-2.....	70
6.2.3 Columnas Estratigráficas Generalizadas de la Zona-1 Río Sucio Escala 1: 1500 y Zona-2 Mata de Cacao Escala 1:2420.	86
6.2.4 Variación espesores estratos de Carbón Zona-1 y Zona-2.....	89
6.2.6 Variación Tamaño de Grano, Zona-1 y Zona-2.....	91
6.3 PETROGRAFÍA	95
6.3.1 Resultados, clasificación composicional y textural Zona-1 y Zona-2.	99
6.3.2 Contenido líticos Areniscas Zona-1 y Zona-2.....	103
6.3.3 Variación de: minerales, líticos, matriz y porosidad, Zona-1 y Zona-2.....	104
6.3.4 Descripción petrográfica Zona-1 y Zona-2.	112
6.3.4.1 Segmento superior Formación Umir.	112
6.3.4.2 Segmento inferior Formación Lisama.	116
6.4 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)	119
6.4.1 Roca Total o bulk zona-1 y zona-2.....	119
6.4.2 Fracción arcilla de diámetro efectivo menor a 2 μ m, Zona-1 y Zona-2.	122
6.5 ESPECTROMETRÍA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (EDX)126	
6.5.1 Variación Quimioestratigráfica de los Elementos. Zona-1 y Zona2.....	126
6.5.2 Variación quimioestratigráfica grupos afines Zona-1 y Zona-2.	132
6.6 MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO (SEM).....	138
6.5.1 Segmento Superior, Formación Umir.....	138
6.5.2 Segmento inferior, Formación Lisama.	139
6.7 CORRELACIÓN LITOESTRAFIGRAFICA.....	146

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	147
8. CONCLUSIONES	155
9. RECOMENDACIONES	156
BIBLIOGRAFIA	157

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Principales Límites geológicos.....</i>	26
<i>Figura 2. Localización cartográfica zona-1.....</i>	29
<i>Figura 3. Localización cartográfica zona-2.....</i>	30
<i>Figura 4. Localización geológica de la Zona-1.....</i>	31
<i>Figura 5. Localización geológica de la Zona-2.....</i>	32
<i>Figura 6. Características geomorfológicas de la zona-1 vista aérea.....</i>	37
<i>Figura 7. Características geomorfológicas de la zona-1.....</i>	38
<i>Figura 8. Características geomorfológicas de la zona-2, vista aérea.....</i>	39
<i>Figura 9. Características geomorfológicas de la zona-2.....</i>	40
<i>Figura 10. Principales afluentes de las dos zonas de estudio.....</i>	41
<i>Figura 11. Patrones de drenajes.....</i>	42
<i>Figura 12. Esquema de metodología empleada en la caracterización mineralógica por DRX.</i>	48
<i>Figura 13. Ubicación de las muestras de paleopalinología Zona-1 y Zona-2.....</i>	55
<i>Figura 14. Afloramiento 1, 1-5 metros columna estratigráfica, zona-1.....</i>	57
<i>Figura 15. Afloramiento 2, 44-49 metros columna estratigráfica zona-1.....</i>	58
<i>Figura 16. Afloramiento 3, 99-104 metros columna estratigráfica zona-1.....</i>	59

<i>Figura 17. Afloramiento 4, 171-173 metros columna estratigráfica zona-1.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 18. Afloramiento 5, 220-230 metros columna estratigráfica zona-1.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 19. Afloramiento 6, 248-249 metros columna estratigráfica zona-1.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 20. Afloramiento 7, 260-266 metros columna estratigráfica zona-1.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 21. Afloramiento 8, 281-286 metros columna estratigráfica zona-1.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 22. Afloramiento 9, 305-312 metros columna estratigráfica zona-1.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 23. Afloramiento 10, 325 -330, metros columna estratigráfica zona-1.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 24. Afloramiento 11, 340 -346, metros columna estratigráfica zona-1.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 25. Afloramiento 1, 192 - 204, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 26. Afloramiento 2, 381 - 384, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 27. Afloramiento 3, 394 - 399, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 28. Afloramiento 4, 404 - 409, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 29. Afloramiento 5, 427 - 429, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 30. Afloramiento 6, 432 - 435, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 31. Afloramiento 7, 454 - 460, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 32. Afloramiento 8, 460 - 464, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 33. Afloramiento 9, 468 - 470, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 34. Afloramiento 10, 487 - 489, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 35. Afloramiento 11, 540 - 557, metros columna estratigráfica zona-2.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 36. Columna Estratigráfica Generalizada Zona-1, Río Sucio.</i>	<i>87</i>
<i>Figura 37. Columna Estratigráfica Generalizada Zona-2, Qda. Mata de Cacao.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 38. Variación espesores estratos de carbón zona-1.</i>	<i>89</i>

<i>Figura 39. Variación espesores estratos de carbón zona-2.</i>	90
<i>Figura 40. Variación del tamaño grano, zona-1.</i>	92
<i>Figura 41. Variación del tamaño de grano, zona-2.</i>	93
<i>Figura 42. Triangulo de Folk 1974, para la clasificación composicional areniscas, zona-1 y Zona-2.</i>	100
<i>Figura 43. Triángulo de Pettijohn 1987, para la clasificación composicional de Grauvacas, muestra MH-E4.8.</i>	100
<i>Figura 44. Triángulo de Folk para la clasificación textural, zona-1 y Zona-2.</i>	102
<i>Figura 45. Triángulo de Folk 1980 para el contenido de líticos, zona-1 y Zona-2.</i>	103
<i>Figura 46. Variación componentes principales, zona-1.</i>	105
<i>Figura 47. Variación componentes principales, zona-2.</i>	106
<i>Figura 48. Resultados porcentuales de los principales minerales accesorios, micas y aglutinantes, zona-1.</i>	108
<i>Figura 49. Resultados porcentuales de principales minerales accesorios, micas y aglutinantes, zona-2.</i>	109
<i>Figura 50. Ubicación y resultados: composicional y textural, de las muestras analizadas por petrografía.</i>	111
<i>Figura 51. Fotomicrografías en sección delgada, litologías finas segmento superior de la Fm. Umir. Muestra MH-E8A.</i>	114
<i>Figura 52. Fotomicrografías en sección delgada, arenisca segmento superior de la Fm. Umir. Muestra MH-E14A.</i>	115
<i>Figura 53. Fotomicrografías en sección delgada, litologías finas segmento inferior de la Fm. Lisama. Muestra MU-E11</i>	117
<i>Figura 54. Fotomicrografías en sección delgada de la Muestra MH-E1.3.</i>	118

<i>Figura 55. Perfil mineralógico margen izquierdo y diagrama ternario de los principales componentes a nivel bulk, roca total margen derecho zona-1.</i>	<i>121</i>
<i>Figura 56. Perfil mineralógico margen izquierdo y diagrama ternario de los principales componentes a nivel bulk, roca total margen derecho zona-2.</i>	<i>121</i>
<i>Figura 57. Perfil mineralógico margen izquierdo y diagrama ternario de los minerales arcillosos (filosilicatos) a nivel de la fracción menor de 2 micras, margen derecho, zona-1.</i>	<i>123</i>
<i>Figura 58. Perfil mineralógico margen izquierdo y diagrama ternario de los minerales arcillosos (filosilicatos) a nivel de la fracción menor de 2 micras, margen derecho, zona-2.</i>	<i>124</i>
<i>Figura 59. Resultados DRX Bulk Y Fracción < 2micras.</i>	<i>125</i>
<i>Figura 60. Quimioestratigrafía de los elementos de la zona-1.</i>	<i>127</i>
<i>Figura 61. Quimioestratigrafía de los elementos de la zona-2.</i>	<i>129</i>
<i>Figura 62. Líneas de tendencias para los elementos registrados con EDX, zona-1.</i>	<i>131</i>
<i>Figura 63. Líneas de tendencias para los elementos registrados con EDX, zona-2.</i>	<i>132</i>
<i>Figura 64. Quimioestratigrafía grupos afines zona-1 y zona-2.</i>	<i>135</i>
<i>Figura 65. Resultado porcentual de los grupos afines segmento superior Fm. Umir, zona-1 y zona-2.</i>	<i>136</i>
<i>Figura 66. Resultado porcentual de los grupos afines segmento inferior Fm. Lisama, zona-1 y zona-2.</i>	<i>137</i>
<i>Figura 67. Micrográficos SEM, muestra MT-E8A.</i>	<i>140</i>
<i>Figura 68. Micrográficos SEM, muestra MU-E6.</i>	<i>141</i>
<i>Figura 69. Micrográficos SEM, muestra MH-E18E.</i>	<i>142</i>
<i>Figura 70. Micrográficos SEM, muestra MH-E14A.</i>	<i>143</i>

<i>Figura 71. Micrográficos SEM, muestra MU-E15.1.</i>	<i>144</i>
<i>Figura 72. Micrográficos SEM, muestra MH-E1.3.</i>	<i>145</i>
<i>Figura 73. Correlación Estratigráfica.</i>	<i>146</i>
<i>Figura 74. Distribución y representación esquemática de las secciones estratigráficas del límite Cretácico/Paleógeno con evidencia de eyectas distales e intermedias y las secciones próximas y cercanas en el Golfo de México.</i>	<i>148</i>

LISTA DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
<i>Tabla 1. Condiciones de medición Difractómetro de Rayos X portable marca Olympus modelo Terra 441.....</i>	48
<i>Tabla 2. Muestras analizadas en las dos zonas en cuestión.</i>	52
<i>Tabla 3. Abreviaturas de: estructuras sedimentarias, litologías y fósiles, para geología de campo.</i>	56
<i>Tabla 4. Muestras analizadas en las dos zonas en cuestión</i>	95
<i>Tabla 5. Abreviaturas para las descripciones petrográficas.....</i>	96
<i>Tabla 6. Resultados porcentual de conteo de puntos de las muestras zona-1</i>	97
<i>Tabla 7. Resumen porcentual de conteo de puntos, zona-1</i>	97
<i>Tabla 8. Resultados porcentual de conteo de puntos de las muestras zona-2</i>	98
<i>Tabla 9. Resumen porcentual de conteo de puntos de las muestras zona-2.....</i>	98
<i>Tabla 10. Resultado composicional de las muestras analizadas, zona-1.</i>	99
<i>Tabla 11. Resultado composicional de las muestras analizadas, Zona-2.....</i>	99
<i>Tabla 12. Resultado textural de las muestras analizadas, zona-1</i>	101
<i>Tabla 13. Resultado textural de las muestras analizadas, zona-2</i>	101
<i>Tabla 14. Contenido porcentual de líticos areniscas zona-1.</i>	103
<i>Tabla 15. Contenido porcentual de líticos areniscas zona-2.</i>	103

<i>Tabla 16. Muestras analizadas por DRX, en las dos zonas en cuestión.</i>	119
<i>Tabla 17. Concentración relativa a nivel de bulk, roca total zona-1</i>	120
<i>Tabla 18. Concentración relativa a nivel de bulk, roca total zona-2</i>	120
<i>Tabla 19. Concentración relativa a nivel de la fracción menor de 2 micras, zona-1 (ND: No Detectado).</i>	122
<i>Tabla 20. Concentración relativa a nivel de la fracción menor de 2 micras, zona-2 (ND: No Detectado).</i>	123
<i>Tabla 21. Resultados porcentual Wt% de los elementos químicos, Zona-1</i>	126
<i>Tabla 22. Resultados porcentual Wt% de los elementos químicos, Zona-2</i>	128
<i>Tabla 23. Grupos Químicos Afines</i>	133
<i>Tabla 24. Resultados porcentual Wt% de los grupos afines, Zona-1.</i>	134
<i>Tabla 25. Resultados porcentual Wt% de los grupos afines, Zona-2.</i>	134
<i>Tabla 26. Muestras analizadas por (SEM), en las dos zonas en cuestión.</i>	138

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Columna estratigráfica escala 1:25 zona-1.

ANEXO B. Columna estratigráfica escala 1:25 zona-2.

ANEXO C. Poligonal Zona-1 y Zona-2.

ANEXO D. Descripción Petrográfica muestras Zona-1 y Zona-2.

ANEXO E. Resultados de SEM y EDS.

NOTA: LOS ANEXOS DE ESTE PROYECTO PUEDEN CONSULTARSE EN BIBLIOTECA, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – SALA BASE DE DATOS.

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y MINERALÓGICA DEL LÍMITE CRETÁCICO-PALEÓGENO EN EL FLANCO ORIENTAL DEL SINCLINAL NUEVO MUNDO, LEBRIJA, SANTANDER. ^{1*}

AUTOR: JULIÁN ENRIQUE GÓMEZ RAMÍREZ^{2**}

PALABRAS CLAVE: Limite Cretácico-Paleógeno, Formación Lisama, Formación Umir, Zona-1, Zona-2, segmento superior y segmento inferior

DESCRIPCIÓN: El límite Cretácico-Paleógeno, se ubicó en flanco oriental del sinclinal Nuevo Mundo, Lebrija, departamento de Santander, que hace parte de la cuenca del Valle Medio del Magdalena en las rocas cretácicas de la Formación Umir, ubicado entre 10 a 200,6 metros estratigráficos por debajo del contacto de las Formaciones Umir y Lisama en la zona-1, y entre el contacto de las Formaciones y 75 metros estratigráficos por debajo este, en la zona-2.

La litología que se evidencia en el intervalo que comprende al límite Cretácico-Paleógeno y que hace parte de los últimos estratos de la Formación Umir, en las zona-1 y zona-2 es una litología fina de tamaño de grano lodo, caracterizada por la presencia de un paleosuelo color rojizo-purpura; hacia el contacto de las Formaciones menos predominante algunos niveles de arenisca de grano fino azul-grisácea, mal seleccionada, bioturbada, con presencia de cementación calcárea y glauconita.

El segmento superior de la Formación Umir de la zona-1 y zona-2 que comprende al límite de los periodos se caracterizó geoquímicamente y mineralógicamente arrojando tendencias que se correlacionan en las dos zonas de estudio para los minerales: cuarzo, feldespato potásico, pirita, glauconita, calcita, ankerita y anortoclasa, y en los elementos químicos: Na, Al, O, Ca y C.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología UIS. Director: PhD. Carlos Alberto Ríos Reyes.

ABSTRACT

TITLE: GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF THE CRETACEO-PALEOGEN LIMIT IN THE EASTERN FLANK OF THE NUEVO MUNDO SINCLINAL, LEBRIJA, SANTANDER.

AUTHOR: JULIÁN ENRIQUE GÓMEZ RAMÍREZ

KEYWORDS: Cretaceous-Paleogene boundary, Lisama Formation, Umir Formation, Zone-1, Zone-2, upper segment and lower segment.

DESCRIPTION: The Cretaceous-Paleogene boundary, found on the eastern flank of the Nuevo Mundo, Valley Middle Magdalena basin, in the Cretaceous rocks of the Formation, lies between 10 and 200.6 meters stratigraphically below the contact of the Umir Formations and Lisama in zone-1, and between the contact of the formations and 75 stratigraphic meters below it in zone-2.

The lithology that is evident in the interval that comprises the Cretaceous-Paleogene boundary and that is part of the last strata of the Umir Formation, in zone-1 and zone-2 is a fine lithology of mud grain size, characterized by the presence of a reddish-purple paleosol; towards the contact of the Formations less predominant some levels of fine-grained blue-grayish sandstone, poorly selected, bioturbated, with the presence of calcareous cementation and glauconite.

The upper segment of the Umir Formation of zone-1 and zone-2 that comprises the limit of the periods are geochemically and mineralogically showing tendencies that correlate in the two zones of study for minerals: quartz, potassium feldspar, pyrite, glauconite, calcite, ankerite and anortoclase, and in the chemical elements: Na, Al, O, Ca and C.

* Degree Work

** Faculty of Physic-Chemical Engineering. School of Geology. Director: PhD. Carlos Alberto Ríos Reyes.

INTRODUCCIÓN

Hasta el momento han sido muy pocos los estudios y las actividades de carácter geológico que se han hecho para la caracterización del límite Cretácico-Paleógeno (límite K/Pg) en Colombia, específicamente a las rocas cretácicas y paleógenas que hacen parte de la cuenca del valle medio del Magdalena (VMM), siendo el estudio realizado por Bermúdez et al, (2016)¹, en la isla de Gorgonilla, el de mayor relevancia y profundidad.

El presente trabajo de investigación se enfoca en la caracterización mineralógica y geoquímica de las rocas cretácicas y paleógenas, con el fin de definir los cambios o tendencias en los elementos químicos y minerales, además de la ubicación que enmarca el límite objeto de estudio. Se llevaron a cabo levantamientos de columnas estratigráficas en dos zonas diferentes, zona-1: Río Sucio y zona-2: Mata de Cacao, localizadas en el flanco oriental del Sinclinal Nuevo Mundo, Lebrija Santander, en las cuales se tomaron muestras para los análisis de paleopalinología, que se usaron para la ubicación del límite; para la caracterización geoquímica y mineralógica se utilizó: la microscopía electrónica de barrido (SEM), la espectrometría de dispersión de energía de rayos x (EDX), la petrografía y la difracción de rayos x (DRX). El análisis de los datos colectados y tratados en el presente estudio dio como resultado las bases para ubicar el límite K/Pg y caracterizar geoquímica y mineralógicamente los intervalos de cada zona de estudio que lo comprenden.

El proyecto de grado se realizó bajo la modalidad de “Trabajo de Investigación”, el cual formó parte de un acuerdo UIS-ECOPETROL llamado CARACTERIZACIÓN AVANZADA ESTÁTICA Y DINÁMICA DE YACIMIENTOS AC No. 15 522239.

¹ Bermudez, H. D et al. The Cretaceous–Palaeogene boundary at Gorgonilla Island, Colombia, South America Terra Nova, Vol 28, No. 1, 83–90

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una caracterización geoquímica y mineralógica del límite Cretácico-Paleógeno, con base a las Formaciones Umir y Lisama, relacionada con el límite de los periodos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las relaciones estratigráficas entre las Formaciones Umir y Lisama en el límite Cretácico-Paleógeno.
- Determinar la mineralogía y geoquímica de la roca de interés.
- Contribuir al conocimiento geológico del límite Cretácico- Paleógeno en el flanco oriental del sinclinal Nuevo Mundo.

2. JUSTIFICACIÓN

El límite Cretácico-Paleógeno es muy estudiado y conocido a nivel mundial por las anomalías geoquímicas, mineralógicas y texturales de las rocas sedimentarias correspondientes a dichos periodos, pero desfavorablemente en Colombia continental, se han llevado a cabo muy pocos trabajos y no se tiene suficientemente claras las características representativas del límite. Este trabajo busca dar claridad acerca de los cambios estratigráficos, geoquímicos y mineralógicos concernientes a las Formaciones geológicas Umir y Lisama que se enmarcan en el límite de interés.

3. ESTADO DEL ARTE

Muchos estudios bioestratigráficos, paleontológicos, geoquímicos, mineralógicos, etc., se han llevado a cabo al respecto del límite K/Pg con el fin de encontrar respuestas a la extensión masiva.

Phillips (1841), basado en los patrones geológicos de estratos, dados por naturalistas europeos entre 1820 y 1850, los cuales se fundamentaban en los principios de Steno y Lyell, identificó tres eras geológicas principales, cada una con varios periodos. Arita (2016)²

Phillips (1860), en su tratado: La vida en la tierra: su origen y decadencia; dio a conocer formalmente los cambios en la diversidad de los fósiles, a través de las eras geológicas, y señala los límites entre las principales eras, Arita (2016)³ (Figura 1).

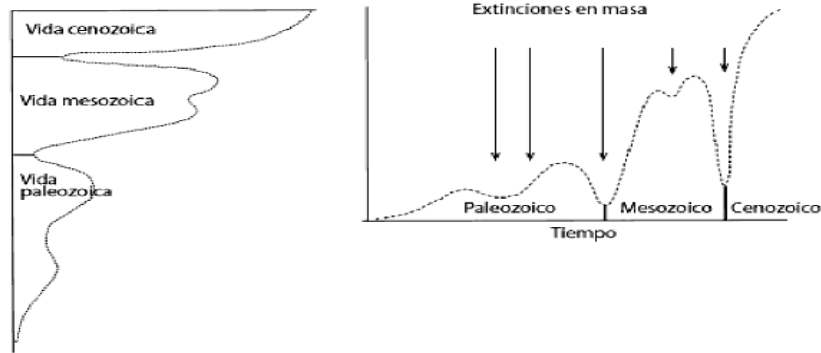
Raup y Sepkoski (1982), retoman los trabajos de Phillips, interesados en estudiar las extinciones como un factor determinante de los patrones de diversidad, y encuentran fluctuaciones menores a lo largo de las eras, y reafirman los límites de las eras propuestos por Phillips (1841) añadiendo dos extinciones masivas. Los cinco episodios identificados por Raup y Sepkoski son ahora las famosas cinco extinciones masivas, grandes sucesos de pérdida de diversidad biológica. Arita (2016)⁴

² ARITA, Héctor. Crónicas de la extinción. México, Distrito Federal, México: Fondo de Cultura Económica, 2016. p. 120-150

³ Ibíd., p.34.

⁴ ARITA, H. Óp. Cit., p.34.

Figura 1. Principales Límites geológicos. Izquierda grafica original de J. Phillips. Derecha misma gráfica, pero aquí se muestra las extinciones masivas conocidas hoy en día.



Fuente: Tomado de Arita (2016)⁵

Álvarez (1980), realiza el primer estudio geoquímico del límite K-Pg, se publicó en un extenso artículo llamado “Una causa extraterrestre para la extinción del Cretácico- Terciario”, en el que proponía una explicación concreta para la extinción K/Pg: la colisión con la tierra de un cuerpo espacial, probablemente un asteroide o un cometa; este choque podría haber generado una explosión de gran magnitud, el cual habría eyectado material que habría permanecido flotando allí por años. Esto habría reducido considerablemente la fotosíntesis en todo el mundo, provocando una serie de extinciones. La evidencia contundente radicaba con la variación quimioestratigráfica del elemento 77 de la tabla periódica: el iridio, el cual marcaba valores hasta de 30 veces más altos que los sedimentos normales Arita (2016)⁶.

⁵ Ibíd., p.34.

⁶ Ibíd., p.34.

Comisión Internacional de Estratigrafía (1990), definen el estratotipo del límite K/Pg en el corte de El Kef (Túnez), y recientemente revisado y definido oficialmente por Molina et al. (2006)⁷.

(Kiessling y Baron-Szabo, (2004)⁸, en Extinction and recovery patterns of scleractinian corals at the Cretaceous-Tertiary boundary; hablan de más de 500 sitios conocidos en el mundo acerca del límite K/Pg., los cuales se han caracterizado a través de diferentes tipos de estudios.

Bermudez et al. (2015)⁹, en: Microkristitas de la isla de Gorgonilla: primer registro de esferulitas asociadas al límite k/Pg en Colombia, Sur América y el pacífico oriental; expone el primer estudio geoquímico, mineralógico y bioestratigráfico formal en Colombia asociado a la evidencia distal de eyectas de impacto.

⁷ MELÉNDEZ, A. y MOLINA, E. El límite Cretácico-Terciario (K/T). España: Publicaciones del Instituto Geológico y Minero. 2008, p 107-113.

⁸ KIESSLING, W. y BARON-SZABO, R.C. Extinction and recovery patterns of scleractinian corals at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*. 2004 p 195-223.

⁹ BERMÚDEZ, H. et al. Microkristitas de la isla de gorgonilla: primer registro de esferulitas asociadas al límite k/pg en colombia, sur américa y el pacífico oriental En: *Terra Nova*. Agosto 31 – Septiembre 5, 2015, Vol 28 no. 1, p 83-90.

4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El área de estudio está comprendida en dos sub-zonas llamadas Zona-1 correspondiente a proximidades del municipio de Uribe Uribe vía Sabana de Torres (Figura 2) y la Zona-2 en cercanías de la represa Hidrosogamoso (Figura 3), zonas en las cuales estructuralmente hace presencia el Sinclinal Nuevo Mundo y el Anticlinal Rio; estratigráficamente las Formaciones Lisama y Umir. Asociadas a estas se evidencian geoformas de origen denudacional fluvial, que tienen su principal promotor en patrones de drenaje principalmente subparalelo y moderadamente sud dendrítico que desembocan en los afluentes Río Sucio y Río Sogamoso y geoformas de origen morfoestructural, asociadas a la sierra sinclinal.

4.1 LOCALIZACIÓN

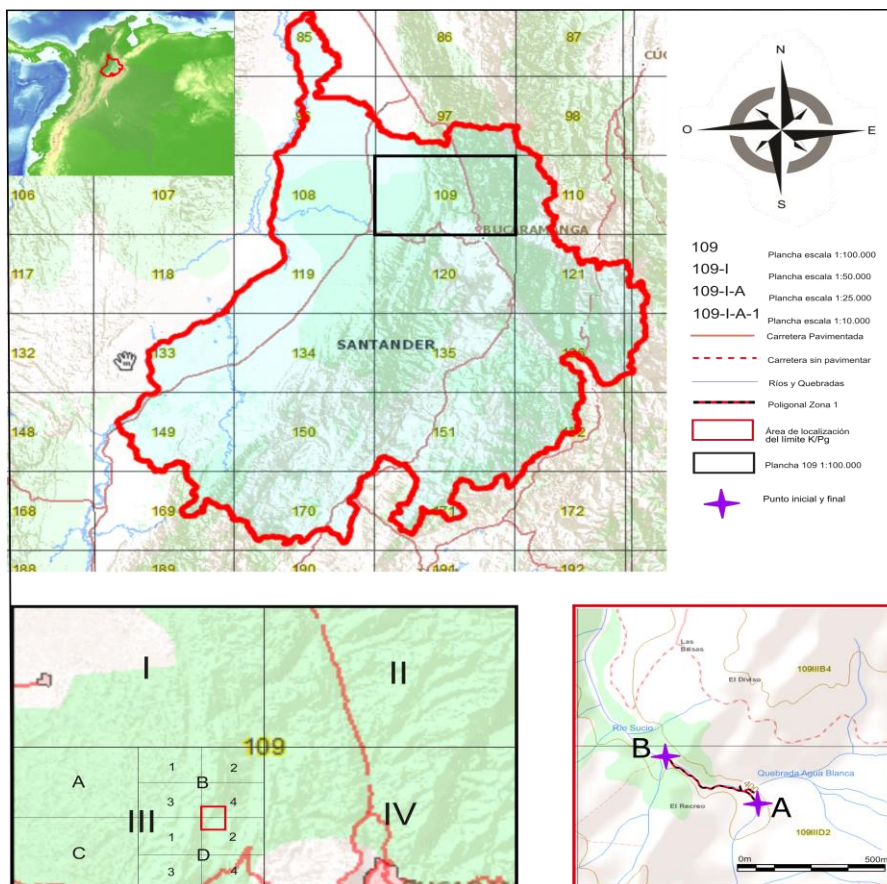
El estudio de Investigación se realizó en dos zonas ubicadas en el flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo, Departamento de Santander. La zona-1 se encuentra localizada en la vía que conduce de Bucaramanga-Barrancabermeja, sector El Tablazo, desviándose hacia el municipio de Uribe Uribe, sector de Las Brisas, a lo largo del Río Sucio. Las coordenadas geográficas del punto de inicio y punto final del estudio son: 7°13' 13.6" N - 73°19' 50.8"O punto A; 7°13' 5.0"N- 73°19'38.6" O el punto B, que comprenden la plancha 109-III-D-2 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Transversa de Mercator con un falso origen de X: 1.000.000; Y: 1.000.000 (Figura 2) y mapa geológico del cuadrángulo H-12, Bucaramanga (Figura 4).

La zona-2 está ubicada en la vía que conduce de Bucaramanga-Barrancabermeja, a aproximadamente 4 Km de la hidroeléctrica Hidrosogamoso, margen derecho, quebrada Mata de Cacao. Las coordenadas geográficas del punto de inicio y punto final del estudio son: 7°6' 53.1" N - 73°22' 8.2"O punto A; 7°7' 9.5"N - 73°22'19.1" O el punto B, que comprenden la plancha 120-I-B-1 del Instituto

Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Transversa de Mercator con un falso origen de X: 1.000.000; Y: 1.000.000 (Figura 3) y mapa geológico del cuadrángulo H-12, Bucaramanga (Figura 5).

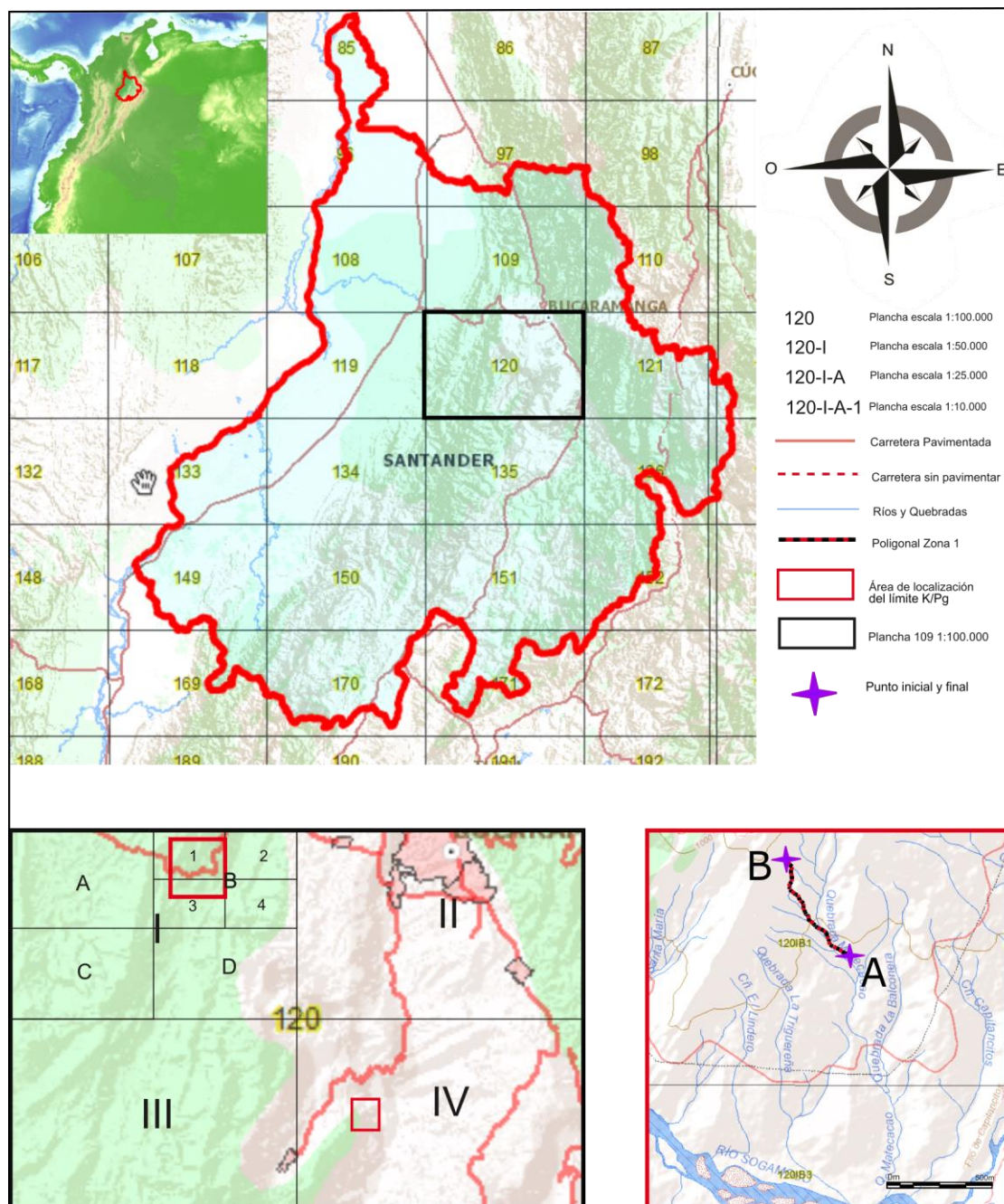
4.1.1 Localización cartográfica y Geológica: La ubicación cartográfica y geológica se realiza en las dos zonas, hasta llegar al trazo puntual en el cual se levantó la columna estratigráfica; los puntos A indican el punto de inicio del levantamiento de la columna y los puntos B el final. El trazo con mayor precisión se pudo ver en los poligonales levantados de las respectivas zonas (ANEXO C)

Figura 2. Localización cartográfica zona-1. Se muestra la localización cartográfica con las planchas implicadas.



Fuente: Tomado y modificado de las planchas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

Figura 3. Localización cartográfica zona-2. Se muestra la localización cartográfica con las planchas implicadas.



Fuente: Tomado y modificado de las planchas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

[illegible]

31

[illegible]

32

4.2 RASGOS ESTRUCTURALES

La cuenca del VMM, en donde se localiza las dos zonas de estudio, según Cooper *et al.* (1995)¹⁰, es el producto de Grandes eventos tectónicos estrechamente vinculados con la evolución del margen activo de la parte occidental de Suramérica. Esta cuenca según Gómez *et al.* (2005)¹¹ documenta datos del Cretácico Tardío y el levantamiento de la Cordillera Central con una transferencia posterior de deformación de la Cordillera Oriental, de manera coherente con la evolución del espesor del margen Andino.

El estilo estructural de las dos zonas de estudio, por consiguiente, está directamente relacionado a un régimen compresivo, en donde se han producido sinclinales y anticlinales.

4.2.1 Sinclinal Nuevo Mundo. El Sinclinal de Nuevo Mundo se constituye en la zona de estudio, en la estructura geológica significativa, que descubre rocas de la cuenca del VMM y permite caracterizar la estratigrafía del Cretácico al Neógeno en el flanco oriental de la cuenca.

Según Otero (2001)¹², es una estructura asimétrica, su flanco occidental tiene en promedio 60 grados de inclinación y su flanco oriental entre 30 y 40 grados. Tiene

¹⁰ COOPER, M. A. et al., 1995. Basin Development and Tectonic History of the LlanosBasin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. AAPG Bulletin, 79(10): 1421–1443

¹¹ GOMEZ, E., JORDAN, T. E., ALLMENDINGER, R. W., HEGARTY, K., AND KELLEY, S. 2005. Syntectonic Cenozoic Sedimentation in the Northern Middle Magdalena Valley Basin of Colombia and Implications for Exhumation of the Northern Andes. Geological Society of America Bulletin, 117(5/6): 547-569

¹² OTERO, M. Modelamiento y Evolución Estructural del cierre del Sinclinal de Nuevo Mundo y su Utilidad en el Procesamiento. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2001. 100 p.

50 km de longitud. Está asociado al bloque levantado de la Falla La Salina; involucra las Formaciones Terciarias desde el Paleoceno (Formación Lisama) hasta el Mioceno (Formación Real). Al sur del río Sogamoso su rumbo es N-S y al norte su eje se desplaza 5 km al oeste y su orientación se vuelve N25°E.

4.2.2 Anticlinal Río Sucio. El plano axial de esta estructura tiene rumbo N-S a N4°E se localiza al noroeste del área, en jurisdicción de la vereda Sogamoso del municipio de Girón. En el núcleo del mismo se hallan las rocas de la Formación Umir; en sus flancos occidental y oriental las rocas tienen buzamientos de 37°NW y 8°SE (Monroy y Sandoval 2015)¹³.

4.3 ESTRATIGRAFÍA

A continuación se describen las dos Formaciones presentes en las dos zonas de estudio.

4.3.1 Formación Umir: Propuesta por Huntley en 1917 (en Morales et al. 1958)¹⁴; su localidad tipo se describió en la quebrada del mismo nombre, afluente del Río Oponcito, en la vía Barrancabermeja - San Vicente de Chucurí, sector suroccidental del Sinclinal de Nuevo Mundo, en el Departamento de Santander. En forma general se define como un conjunto de shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas e intercalaciones cada vez más

¹³MONROY, W. y SANDOVAL, M. Exploración y evaluación de carbones en el área vanegas – san vicente de chucurí – río cascajales del departamento de Santander. Servicio geológico Colombiano, Direccion de Recursos Minerales.2015, p 41.

¹⁴MORALES, L. G. PODESTA, D. J., HATFIELD, W. C., TANNER, H., JONES, S. H., BARKER, M. H., O'DONOGHUE, D. J., MOLER, C. E., DUBOIS, E. P., JACOBS, C., AND GOSS, C. R., 1958, General geology & oil occurrences of the Middle Magdalena Valley, Colombia: Habitat of Oil. Symposium, America Association of Petroleum Geologists. P. 641-695.

abundantes hacia el techo de areniscas líticas, limolitas grises y presencia de mantos explotables de carbón. El espesor se ha calculado entre 1.000m y 1.400m y reposa en contacto neto sobre biomicritas fosfáticas limosas del Miembro Galembo de la Formación La Luna, aunque algunos autores la reportan en discordancia angular de bajo ángulo (Rangel et al. 2002)¹⁵.

4.3.2 Formación Lisama: Morales et al. (1958)¹⁶, describe que la Formación Lisama se encuentra constituida por una secuencia de lutitas abigarradas, alternadas con areniscas grises, verdosas y pardas, de grano fino a medio y algunas capas delgadas de carbón. Ocurre en un ambiente bajo condiciones lagunares deltáicas. Esta unidad presenta un contacto normal y transicional con la infrayacente Formación Umir y el contacto superior con la Formación La Paz está determinado por una discordancia regional bien marcada.

¹⁵ RANGEL A., MOLDOWAN J. M., NIÑO, C., PARRA, P. & GIRALDO, B.N. 2002. Umir Formation: Organic geochemical and stratigraphic assessment as cosource for Middle Magdalena basin oil, Colombia. AAPG Boletín, v. 86, no. 12, pp. 2069–2087.

¹⁶ MORALES, L. G., PODESTA, D. J., HATFIELD, W. C., TANNER, H., JONES, S. H., BARKER, M. H., O'DONOGHUE, D. J., MOHLER, C. E., DUBOIS, E. P., JACOBS, C., & GOSS, C. R. (1958). General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. In: L. G. Weeks ed. A symposium conducted by A.A.P.G.: Habitat of Oil. 641-695 p

4.4 GEOMORFOLOGÍA

El estudio del límite K/Pg se localiza en dos áreas llamadas zona-1 y zona-2, en estas se evidencia geoformas de origen denudacional, fluvial y morfo estructural. Según el *Glosario Geomorfológico del Servicio Geológico Colombiano* (2014)

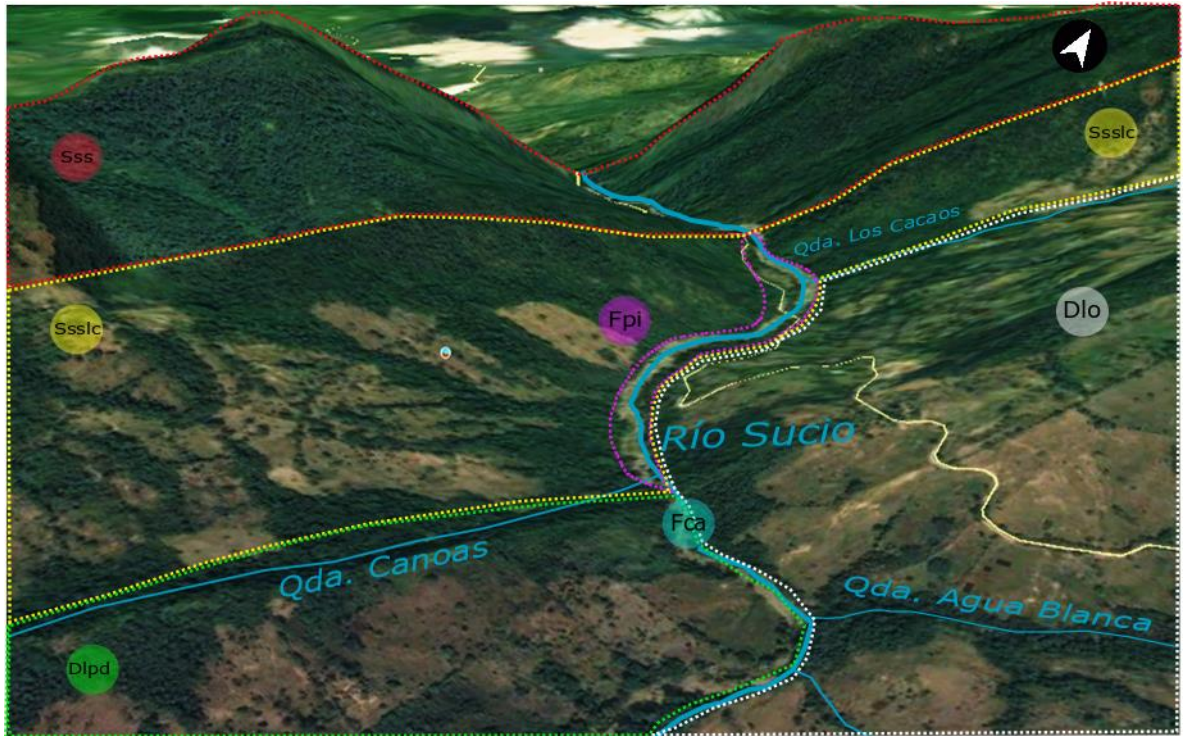
4.4.1 Geomorfología Zona-1. Las geoformas encontradas en el área de estudio son básicamente de origen denudacional fluvial y morfoestructural.

Las geoformas de origen denudacional son: laderas onduladas (Dlo), que se caracterizan por su morfología alomada, con superficie ondulada a causa de la erosión generada por los drenajes asociados a las quebradas Agua Blanca y Los Cacaos (Figuras 6 y 7B); y lomerío poco disectado (Dlpd), caracterizado por tener un relieve alomado, cimas redondeadas, de laderas longitudinalmente cortas a moderadas, éstas presentan pendientes que varían de muy inclinadas (10° - 15°) a inclinadas (5° - 10°) e índice de relieve bajo (Figura 6).

Las geoformas de origen fluvial: Cauce aluvial (Fca) (Figuras 6 y 7A) y Plano o llanura de inundación (Fpi) (Figura 6), tienen como principal agente de formación en la zona-1 al Río Sucio.

Las geoformas de origen morfoestructural que se evidencian en la zona-1 están asociadas al Sinclinal nuevo mundo, siendo este el causante de Sierra sinclinal (Sss) y Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc). En el primero se muestra una morfología amplia en forma de artesa o cóncava elevada (Figuras 6 y 7B) y la segunda está representada por la disposición de los estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, con pendientes que van de abruptas a escarpadas (30° - 45°) (Figuras 6 y 7B).

Figura 6. Características geomorfológicas de la zona-1 vista aérea: Laderas onduladas (Dlo), Lomerío poco disectado (Dlpd), Cauce aluvial (Fca), Plano o llanura de inundación (Fpi), Sierra sinclinal (Sss) y Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc)



Fuente: Tomado y modificado de la galería de Google Earth.

Figura 7. Características geomorfológicas de la zona-1. A) Cauce aluvial (Fca), Río Sucio; **B)** Sierra sinclinal (Sss), Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc) y Laderas onduladas (Dlo).



4.4.2 Geomorfología Zona-2. Las geoformas encontradas en el área de estudio son básicamente de origen denudacional fluvial y morfoestructural.

La geoforma de origen denudacional principal en la zona-2 es un Escarpe de erosión mayor (Deem), caracterizado por sus pendientes muy altas con laderas de longitud moderadas, que se originan por las corrientes hídricas erosivas (Figuras 8 y 9B).

La geoforma de origen fluvial presente, es un Abanico fluviotorrencial (Faa) representado por su morfología de superficie en forma de cono, de laderas cóncavo-convexas de morfología plana, aterrazado. Su origen está relacionado a la acumulación fluvial y torrencial en forma radial, asociado en nuestra zona a la quebrada Mata de Cacao (Figuras 8 y 9A).

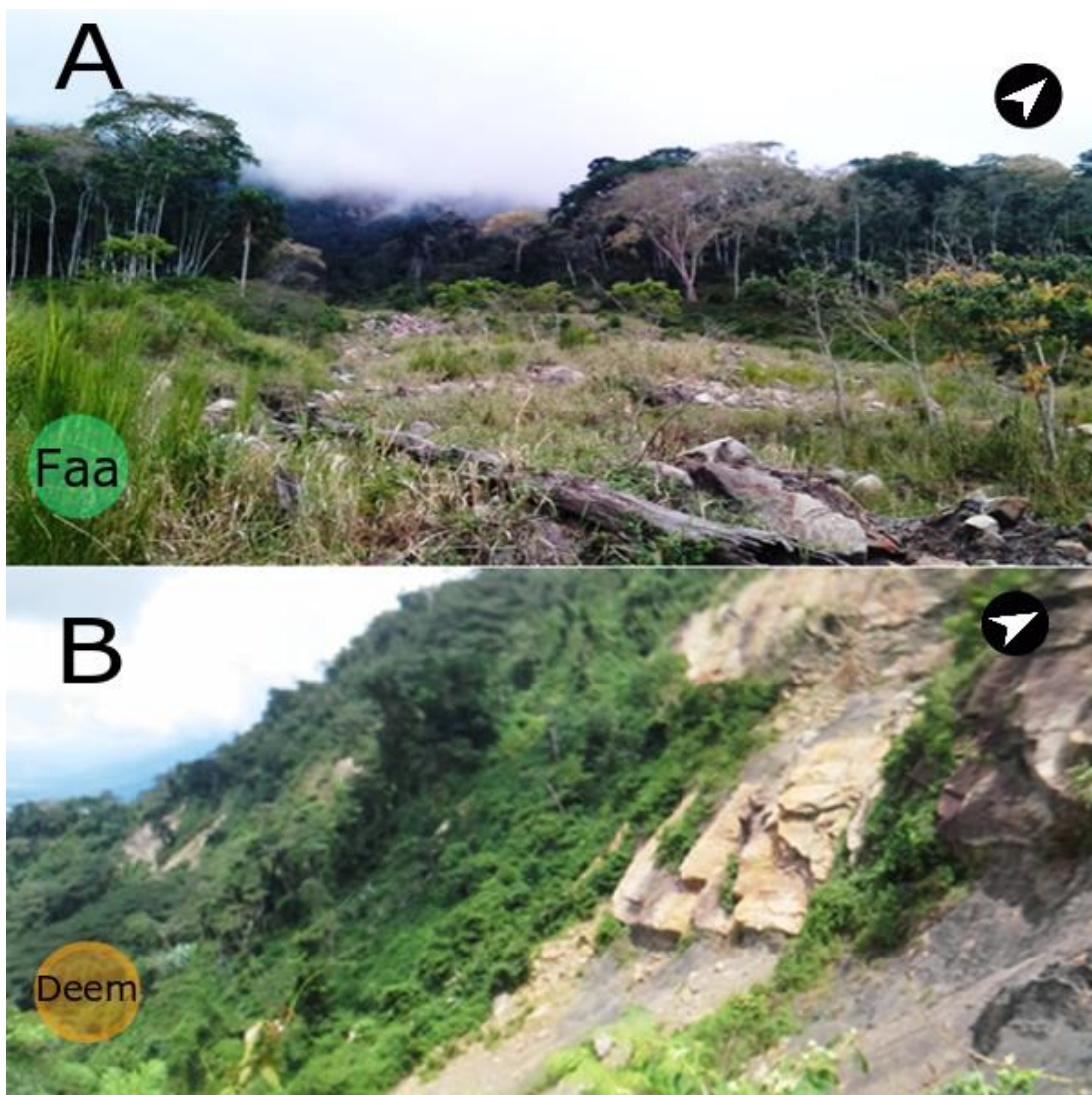
Las geoformas de origen morfoestructural presentes en la zona-2 tienen como principal agente de formación el Sinclinal nuevo mundo, siendo este el que ha originado: Sierra sinclinal (Sss) donde se evidencia una morfología amplia en forma de artesa o cóncava elevada (Figura 8), y Laderas de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc), representada por la disposición de los estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, con pendientes abruptas a escarpadas (30° - 45°) (Figura 8).

Figura 8. Características geomorfológicas de la zona-2, vista aérea: Escarpe de erosión mayor (Deem), Abanico fluviotorrencial (Faa), Sierra sinclinal (Sss) y Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc).



Fuente: Tomado y modificado de la galería de Google Earth.

Figura 9. Características geomorfológicas de la zona-2. A) Abanico fluviotorrencial (Faa); B) Escarpe de erosión mayor (Deem).



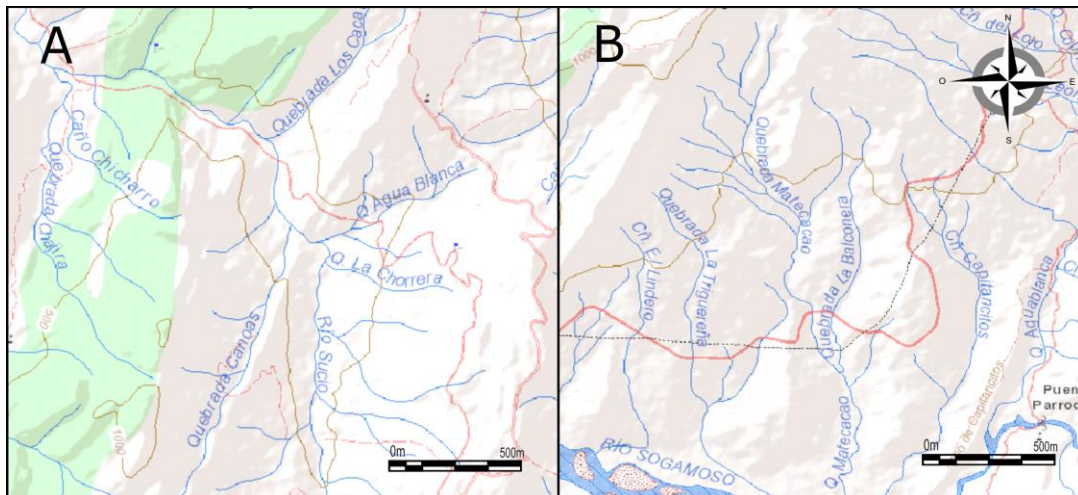
4.5 DRENAJES

Las redes de drenajes de las dos zonas presentan un marcado control estructural asociado al Sinclinal Nuevo Mundo, el cual incide en patrones de drenaje principalmente sub paralelo y moderadamente sub dendrítico (Figura 11).

La zona-1 presenta como principal afluente el Río Sucio el cual es de tipo trezado; y afluentes secundarios: las quebradas Los Cacaos, Agua Blanca, La Chorrera y Canoas, estas presentan tributarios que convergen hacia ellas en dirección casi perpendicular formando una red de drenajes sub paralela (Figura 10A).

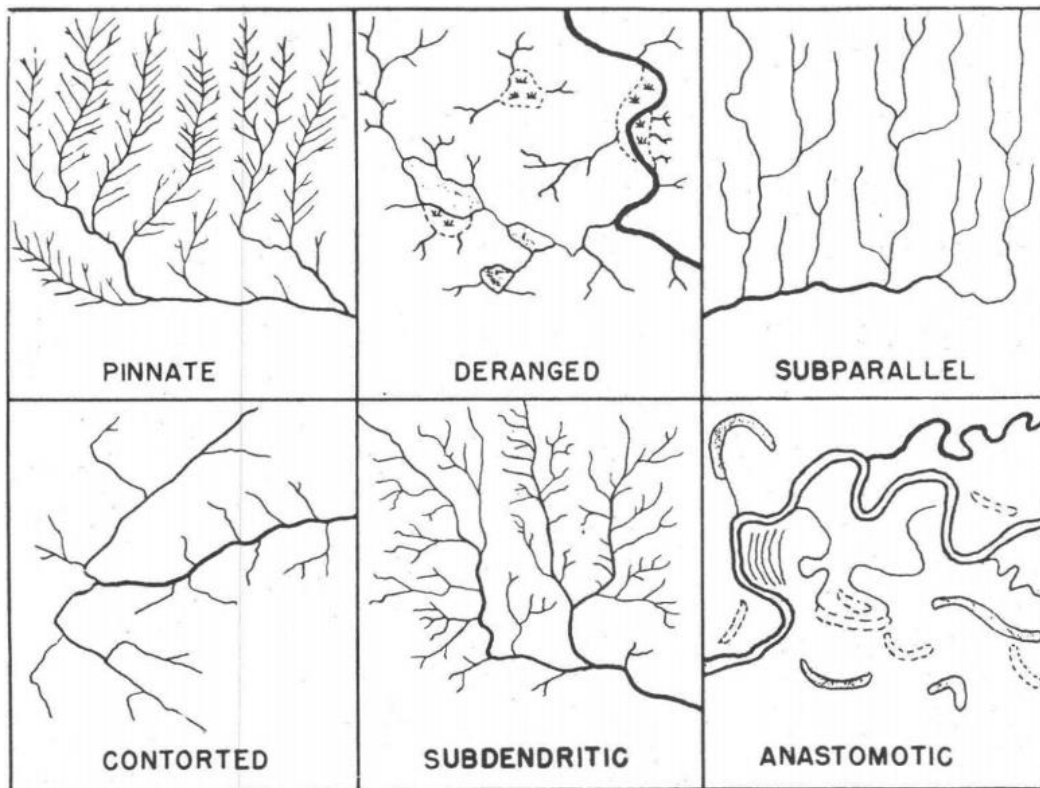
En la zona-2 se tiene como principal afluente el Río Sogamoso, en el cual desembocan las quebradas: La trigueña, La balconera y Mata de Cacao; y los caños: El Lindero y Capitancitos. Estas quebradas y caños presentan una simetria subparalela y desembocan al río Sogamoso (Figura 10B).

Figura 10. Principales afluentes de las dos zonas de estudio: A) Se muestra la zona-1 con las quebradas y principal afluente de la zona, el Río Sucio **B)** Se observa la zona-2 con las principales quebradas y caños destacándose como principal fuente hídrica el río Sogamoso.



Fuente: Tomado y modificado de las planchas 109-III-D-2 y 120-I-B-1 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Figura 11. Patrones de drenajes.



Fuente: Tomado de Merle Parvis (1943)¹⁷

¹⁷ PARVIS MERLE. Drainage pattern significance in air photo identification of soils and bedrocks. (1943); p. 390.

5. MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se desarrolló en cinco etapas, las cuales se explican a continuación teniendo en cuenta los respectivos materiales y metodología empleada:

5.1 PRIMERA ETAPA: ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

En esta etapa se llevó a cabo la definición del problema y delimitación del área de estudio. Se realizó a su vez una búsqueda de información en las distintas plataformas disponibles, (South American Earth Sciences, Earth and Planetary Science Letters, U.S. Geological Survey, Science Direct, Scopus, etc.), trabajos de grado y revistas e informes del INGEOMINAS (mapas geológicos y topográficos). Posteriormente se realizó una selección y organización de la respectiva información para poder definir el trabajo de campo.

5.2 SEGUNDA ETAPA: TRABAJO DE CAMPO

Esta fase constó del reconocimiento del área asociada al Sinclinal Nuevo Mundo en el flanco oriental y toma de muestras para análisis de paleopalínología, con el fin de acotar el límite K/Pg; esta fase tuvo una duración de 2 días.

Posteriormente se tomaron los datos de poligonales concernientes a las dos zonas (Anexo C) y se hizo el levantamiento de las respectivas columnas estratigráficas, por medio del bastón de Jacob y brújula, a escala 1:25 (Anexo A y Anexo B), teniendo en cuenta los parámetros de: espesor de los estratos, color de la litología

(para este se utilizó la carta geología de colores Musell (2009)¹⁸, tamaño de grano, litología, granulometría, estructuras sedimentarias, fósiles, distribución fósil, bioturbación, trazas fósiles y minerales. La recolección de muestras de mano se realizó siguiendo la metodología de Etayo *et al* (1985)¹⁹, empacándolas en bolsas ziploc para evitar contaminación y asignándole las siglas MT y MU a las recolectadas en la zona-1, seguidas del número de estación y a las muestras de la zona-2 se les asigno la sigla MH, seguida del número de estación; de manera general se recolectaron muestras cada 5 a 6 metros estratigráficos con el fin de realizar análisis de laboratorio a la roca de interés. Esta fase tuvo una duración de 19 días.

5.3 TERCERA ETAPA: TRABAJO DE LABORATORIO

En esta etapa se describieron las muestras de mano y se realizaron a las muestras de interés los análisis de: Palinología, Difracción de rayos X (DRX), análisis petrográficos, Espectrometría de dispersión de energía de rayos x (EDX) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).

5.3.1 Descripción muestras de mano. Se llevó a cabo una descripción detallada y clasificación de 138 muestras correspondientes a las dos zonas de estudio, esto se hizo por medio de lupas manuales de 10x, 20x y 60x, ácido clorhídrico, carta geología de colores Musell (2009)²⁰ y tabla de acetato CORE LAB para el tamaño

¹⁸ MUNSELL COLOR. GEOLOGICAL ROCK-COLOR CHART. En: Geological Society of America (GSA).(2009); p. 6-11.

¹⁹ ETAYO SERNA, F.; et al. Metodología de trabajo del proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales Del Ingeominas. Vol. 25, No 16 (Enero-Junio, 1985b); p. 1-13. ISSN-0120-078X

²⁰ MUNSELL COLOR. GEOLOGICAL ROCK-COLOR CHART. En: Geological Society of America (GSA).(2009); p. 6-11.

de grano. La descripción de las muestras se encuentran en las notas de las respectivas columnas estratigráficas (Anexo A y B).

5.3.3 Preparación de muestras. Las muestras seleccionadas siguieron diferentes protocolos metodológicos según las cuatro técnicas analíticas efectuadas.

En Palinología, se seleccionaron 15 (Tabla 2) y se prepararon siguiendo la metodología del sistema de calidad y ensayos del laboratorio de procesamiento de muestras geológicas CASG – ICP. En Drx se prepararon 7 muestras (Tabla 16) 4 de la zona-1 y 3 de la zona-2, siguiendo la metodología del Laboratorio LPG-DRX del ICP. En petrografía se seleccionaron 16 muestras (Tabla 4) y se prepararon siguiendo la metodología del laboratorio de procesamiento de muestras geológicas CASG – ICP.

(Nota: las metodologías usadas en el ICP, no se especifican por términos de confidencialidad de la empresa)

Las muestras preparadas para los análisis de SEM/EDX fueron 17 (Tabla 26) 3 secciones delgadas (MH-E8A, MT-E8A y MT-E9.6) y 14 fragmentos de roca de 1cm^3 , las cuales se colocaron sobre stubs metálicos con cinta adhesiva de carbón y se recubrieron con grafito, en un equipo de recubrimiento Quorum 150 ES.

5.4 CUARTA ETAPA: ANÁLISIS, DIGITALIZACIÓN, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En esta etapa se realizó el análisis de las muestras preparadas, digitalización e interpretación, de los resultados obtenidos en la etapa de campo y laboratorio con el fin de establecer las características palinológicas estratigráficas, mineralógicas, y geoquímicas del límite objeto de este estudio.

5.4.1 Análisis. En esta etapa se efectuó el análisis de: paleopalinología, difracción de rayos X (DRX), petrografía, espectrometría de dispersión de energía de rayos x (EDX) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).

El análisis de palinología el cual consiste según (Bercovici y Vellekoop, 2017)²¹ en el estudio de palinomorfos, un término general que describe los microfósiles de paredes orgánicas que generalmente varían de 5 a 500µm, formados al menos parcialmente de moléculas orgánicas muy resistentes como sporopollenin o quitina, y se encuentran colectivamente en el residuo de muestras palinológicas después de la disolución de la matriz mineral por ácidos inorgánicos fuertes. Este análisis se realiza con el objetivo de revisar la paleopalinología que es la que se encarga de “estudiar los microfósiles orgánicos que se han encontrado en las preparaciones de maceración en rocas sedimentarias” (Traverse, 2007)²². Las muestras de paleopalinología una vez preparadas fueron analizadas por el Grupo de Bioestratigrafía (ICP), correlacionando los palinomorfos encontrados, con las palinozonas propuestas por Jaramillo *et al.* (2011)²³ y (Jaramillo y Rueda 2004) con el fin de identificar las edades concernientes a las formaciones sedimentarias.

El análisis de difracción de rayos X (DRX) es una técnica no destructiva, fundamental en la caracterización de materiales según Ramírez (2016)²⁴. Este

²¹ BERCOVICI, A y VELLEKOOP, J. Methods in Paleopalynology and Palynostratigraphy: An Application to the K-Pg Boundary . En: *Terrestrial Depositional Systems*, Vol. 40, No 155 (Mayo, 2017); p. 127-164.

²² TRAVERSE, Alfred. *Paleopalynology*. 2 ed .Pennsylvania. USA. : Springer Editorial, 2007. V 28. 2 p. ISBN 978-1-4020-5609-3

²³ JARAMILLO, C.; RUEDA, M.; y TORRES, V. Palynological Zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills En: *Palynological*. Vol. 35, No 1 (2011); p. 46-84.

²⁴ RAMÍREZ FERNÁNDEZ, Mario. Estudio de la cristalografía y cuantificación por difracción de rayos x en materiales tipo hidrotalcita procedentes de la química del cemento. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias Departamento de Geología y Geoquímica. , 2016. 44 p

método a nivel general y en particular el de polvo cristalino, es el único método analítico capaz de suministrar información cualitativa y cuantitativa sobre los compuestos cristalinos presentes en un sólido, basándose en el hecho de que cada sustancia cristalina presenta un diagrama de difracción único. Así, pueden compararse un diagrama de una muestra desconocida y el de una muestra patrón, y determinar su identidad y composición química (Curia, 2010)²⁵.

La técnica de difracción de rayos-X (DRX) utilizada en los análisis de esta investigación se realizó, con el fin de caracterizar la composición general y de minerales arcillosos. Se contó con un Difractómetro de Rayos-X portable marca Olympus modelo Terra-441 del Laboratorio LPG-DRX del ICP, el cual permitió identificar los minerales arcillosos (filosilicatos) y no arcillosos que presentan una estructura interna ordenada; igualmente se logró establecer el perfil mineralógico y los tipos de mineralogías presentes, siguiendo el Instructivo Técnico de Ensayo GTN-I-081, del Manual de Procedimientos Técnicos del Laboratorio (ICP). Este análisis se realizó bajo dos modalidades: Roca Total o bulk y fracción arcilla (Figura12) o fracción de la muestra con partículas de diámetro efectivo menor a 2 μm . El análisis bulk describe de una manera global la mineralogía de la roca total, mientras que el análisis de la fracción menor de 2 micras, caracteriza principalmente los filosilicatos que se concentran en partículas con este tamaño, teniendo en cuenta un montaje ordenado; se usa etilenglicol para diferenciar arcillas expandibles o calcinado, para diferenciar clorita y caolinita; se utilizó el difractómetro Bruker D8, con un voltaje de 40 kV, corriente 40mA, rendija de divergencia de 0,6mm, rendija de soller primario 2,5°, rendija de soller secundario 2,5°, tamaño de paso ($^{\circ}2\text{ Theta}$) 0,02035, tiempo de paso 0,6 segundos, rango de registro ($^{\circ}2\text{ Theta}$) 3,5 a 70, radiación $\text{CuK}\alpha 1$, filtro de níquel, uso de anti-

²⁵ CURIA, Maria Victoria Estudio Fisicoquímico y Catalítico del Sistema Mn-O-V. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Exactas Departamento de Química. , 2010. 61 p..

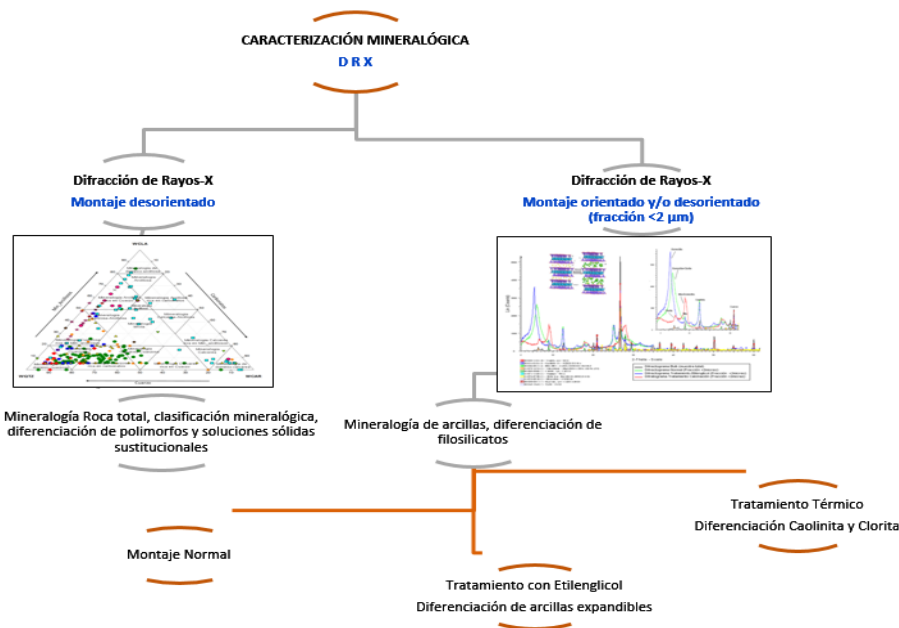
dispersión de aire, detector lineal LynxEye y tipo de barrido a paso. Las condiciones de medición para el Bulk, se describen en la (Tabla 1).

Tabla 1. Condiciones de medición Difractómetro de Rayos X portable marca Olympus modelo Terra 441

VARIABLE	Difractómetro de Rayos X portable marca Olympus modelo Terra 441
	VALOR
Radiación	Cu
Corriente	350 μ A
Voltaje	30 kV
Tamaño de paso	0.05° 2 θ
Rango de Medición	5-55° 2 θ (Bulk)

Fuente: Laboratorio de difracción de rayos X – Instituto Colombiano de Petróleos ICP

Figura 12. Esquema de metodología empleada en la caracterización mineralógica por DRX.



Fuente: Laboratorio de difracción de rayos X – Instituto Colombiano de Petróleos ICP

Esta metodología del análisis DRX (Figura 12) es una adaptación realizada entre el 2015-2016 en el ICP bajo montajes desorientados para la caracterización de los minerales arcillosos o filosilicatos. Adicionalmente, se consideró que las arcillas o minerales arcillosos corresponden a los filosilicatos de aspecto no fibroso o aluminosilicatos hidratados de espaciados interlaminares: 7Å, 10Å y 14Å e independientes del tamaño de grano, es decir, no se limita a los filosilicatos que se encuentran en tamaño menor a 2 micras.

El análisis petrográfico permite conocer la estructura de la roca a escala microscópica, distinguir en la medida de lo posible la mineralogía de los granos cristalinos que la forman, detectar materia amorfa o criptocristalina, y tener una idea de la fábrica o textura de la roca, es decir de la mutua disposición en el espacio de los componentes del cuerpo de roca, y de la naturaleza de las superficies de contacto entre los citados componentes (Blasco, 1992)²⁶. En nuestro análisis se realizó con el microscopio Nikon ECLIPSE LV100POL, llenando el formato de descripción de composición de rocas detríticas, carbonatadas y mixtas dado por el Laboratorio de Petrografía del (ICP) con un número 270 a 350 puntos por sección.

Las microfotografías, fueron tomadas empleando el sistema de fotografía digital Nikon DS-Ri1, acoplado al microscopio Nikon ECLIPSE LV100POL.

El análisis de espectrometría de dispersión de energía de rayos x (EDX), es una técnica de análisis espectral basada en la dispersión de energía de rayos X

²⁶ BLASCO, A.; et al. Aplicación de las técnicas geológicas al estudio de materiales arqueológicos: el ejemplo de las cuevas Metodología de trabajo del proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales de Variscita Catalanas y el complejo minero neolítico de Can Tintorer (GAVA BARCELONA). Cuaternario y Geomorfología. Vol. 1, No 4 (1992); p. 71-80.

emitidos por un elemento excitado por los electrones acelerados. Se usa generalmente en combinación con el microscopio electrónico de barrido que en este caso cumple la función de electrones acelerados, mientras que el EDX desempeña la función de detector de la composición de los puntos o zonas de la muestra analizada (Giannini y Roani 2008)²⁷. La microscopia electrónica de barrido (SEM, de *Scanning Electron Microscopy*) es una de las herramientas más versátiles para el examen y análisis de características micro-estructurales de sólidos; proporciona información morfológica y topográfica de la superficie de los mismos, una de las razones de ello es su alta resolución (de 20 a 50 Å). Otra característica importante es la apariencia tridimensional de la imagen de la muestra, resultado de su gran profundidad de foco (aproximadamente entre 100 y 1000 veces mayor que la de un microscopio óptico a la misma magnificación). (Curia, 2010)²⁸.

El análisis se realizó mediante el Microscopio electrónico de barrido FEI Quanta 650 FEG ambiental (ESEM), que proporciona imágenes de alta resolución, tomando imágenes a 200x, 800x y 2000x, con un voltaje de aceleración 25Kv, que a su vez se utilizó con el Detector EDAX APOLO X con resolución de 126.1 eV (en. Mn K α), para realizar el análisis EDX (*Energy-Dispersive Spectroscopy*). Para los resultados de información semi-cuantitativa de los elementos químicos se usó el Software EDX Génesis.

5.4.2 Digitalización. Durante esta fase se digitalizaron los datos de campo y resultados obtenidos en la fase anterior, para los cuales se usaron los softwares: CORELDRAW X7 e Inkscape 0.92.3, para el tratamiento de imágenes y el software SEG LOG 2.1.4., para las columnas estratigráficas.

²⁷ GIANNINI, Cristina y ROANI, Roberta. Diccionario de restauración y diagnóstico. Italia: Editorial Nerea S.A. de C.V., 2008. p. 86.

²⁸ CURIA, Maria. op. cit, p.55.

5.4.3 Interpretación. Una vez digitalizados los datos e imágenes se interpretaron, correlacionando los datos obtenidos en las dos zonas de estudio.

5.5 QUINTA ETAPA: ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL

En esta fase se llevó a cabo la elaboración y presentación del informe final, condensando los resultados obtenidos en el presente trabajo.

6. RESULTADOS

6.1 PALEOPALINOLOGÍA

La reconstrucción de la historia de la tierra y la evolución de la vida requiere de una amplia cantidad de herramientas para la respectiva datación. En nuestro estudio de investigación la paleopalinología nos permitió datar las rocas sedimentarias Cretácicas y Paleógenas, de las dos zonas para precisar el intervalo en donde se encuentra el límite K/Pg y realizar una correlación estratigráfica.

Las muestras analizadas de las dos zonas se presentan la (Tabla 2) y su respectiva localización en las columnas estratigráficas (Figura 13). La ubicación con mayor detalle se puede ver en los anexos A y B

Tabla 2. Muestras analizadas en las dos zonas en cuestión.

RÍO SUCIO	QDA. MATA DE CACAO
MU-E12	MH-E6A
MU-E11	MH-E10C
MU-E9	MH-E10A-1
MU-E7	MH-E12B
MU-E6	MH-E14
MU-E5	MH-E18D
MU-E4	
MT-E9.3	
MT-E9.1	

6.1.1 Muestras Zona-1, Río Sucio. En esta zona se analizaron nueve muestras (Tabla 2) de las cuales tres, (MU-E4, MU-E5 y MU-E7), no permitieron hacer algún tipo de interpretación, por poco o nulo recobro de palinomorfos. Las seis muestras restantes cuatro de ellas, (MU-E6, MU-E9, MU-E11 y MU-E12) presentaron un buen recobro de palinomorfos y materia orgánica de tipo continental, en las cuales se observó frecuencias moderadas a altas de

Proxapertites operculatus, acompañadas por Retidiporites magdalenensis, Mauritiidites franciscoi, Psilamonocolpites medius, Proxapertites verrucatus, Foveotriletes margaritae, entre otros; asociadas a la palinozona Proxapertites (T-01 a T-04b de Jaramillo et al., (2011)²⁹; las dos muestras restantes (MT-E9.1) presento un Probable Cretácico a T01 (Paleoceno), con recobro moderado de palinomorfos y materia orgánica. Se registran especímenes de Psilabrevitricolporites sp., Foveotriletes margaritae y Spinizonocopites baculatus, y la muestra (MT-E9.3) se asoció a la palinozona Cretácico Superior (Maastrichtiano) con un recobro moderado a bueno de palinomorfos. En esta se registró la ocurrencia de Duplotriporites ariani, Colombipollis tropicalis, Crusafontites grandiosus, Echimonocolpites protofranciscoi, Echitriporites trianguliformis, Monocolpites grandispiniger, Psilabrevitricolporites annulatus, Spinizonocolpites baculatus, Syndemicopites typicus y Tetradites umirensis.

La asociación palinológica recuperada en las muestras (MU-E6, MU-E9, MU-E11 y MU-E12) manifiestan que se encuentran dentro de la zona proxapertites del VMM, equivalentes a las zonas T-01 a T-04a del Paleoceno según Jaramillo et al., 2011. Estas palinozonas se encuentran relacionadas con la Formación Lisama.

La asociación palinológica recuperada en las muestras de la muestra (MT-E-9.3 y MT-E9.1) presenta palinoflora del Maastrichtiano-Paleoceno. Estas palinozonas sugieren que provienen de la Formación Umir en la Cuenca del VMM.

Los análisis palinológicos realizados en la zona-1, acotan el límite K/Pg a un intervalo no diagnóstico de aproximadamente 190 metros estratigráficos, que van desde la muestra (MT-E9.3) a la muestra (MU-E6) (Figura 13).

²⁹ JARAMILLO, C.; RUEDA, M.; y TORRES, V. Palynological Zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills En: Palynological. Vol. 35, No 1 (2011); p. 46-84.

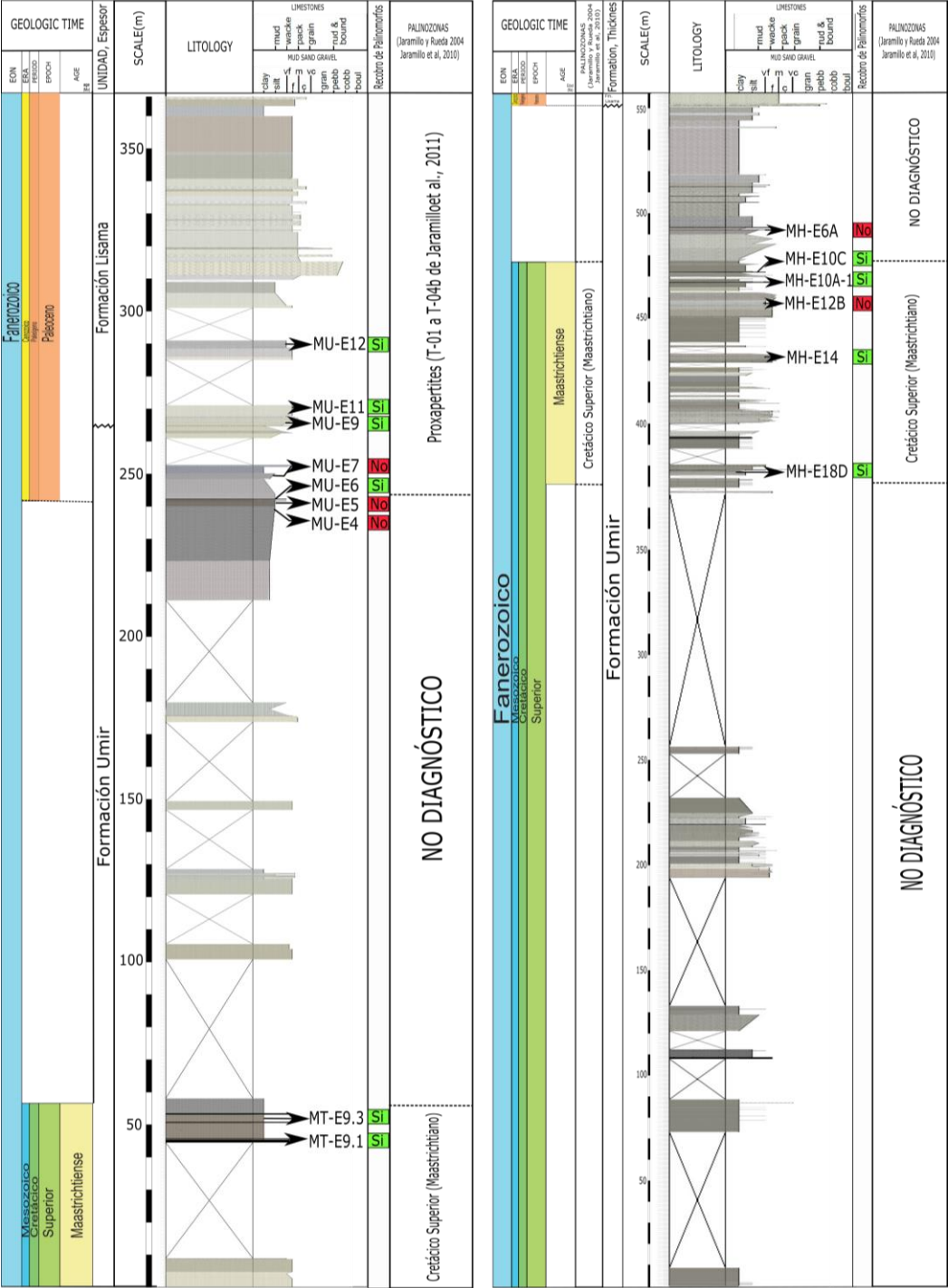
6.1.2 Muestras Zona-2, Quebrada Mata de Cacao. Las seis muestras analizadas por paleopalinología (Tabla 2), dos de estas (MH-E6A y MH-E12 B) no se diagnosticaron por poco o nulo recobro de palinomorfos. Las cuatro muestras restantes, (MH-E10C, MH-E10 A-1, MH-E14 y MH-E18 D), se obtuvo un recobro moderado a bueno de palinomorfos, en las que se registraron la ocurrencia de *Duplotriporites ariani*, *Colombipollis tropicalis*, *Crusafontites grandiosus*, *Echimonocolpites protofranciscoi*, *Echitriporites trianguliformis*, *Monocolpites grandispiniger*, *Psilabrevitricolporites annulatus*, *Spinizonocolpites baculatus*, *Syndemicopites typicus* y *Tetradites umirensis*, que están asociados a la palinozona Cretácico Superior (Maastrichtiano).

La edad de las muestras (MH-E10C, MH-E10 A-1, MH-E14 y MH-E18D) sugiere que provienen de la Formación Umir en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

Los resultados palinológicos y litoestratigráficos correlacionados de las dos zonas acotan el límite K/Pg en esta zona a un intervalo de aproximadamente 75 metros, que va desde la muestra (MH-E10C) a el contacto entre las Formaciones Umir y Lisama a 550 metros estratigráficos de la columna de la zona-2 (Figura 13).

6.1.3 Ubicación Muestras Zona-1 y Zona-2. Las muestras analizadas por paleopalinología se ubican en las columnas de cada zona, con su respectiva palinozona, Formación y el recobro o no de las mismas. (Figura 13).

Figura 13. Ubicación de las muestras de paleopalinología Zona-1 y Zona-2.
 En la imagen se muestra la ubicación de las muestras analizadas con palinología en las columnas estratigráficas zona-1 margen izquierdo y zona-2 margen derecho.



6.2 OCURRENCIAS DE CAMPO

Los resultados de la geología de campo se enmarcan ubicando los principales afloramientos con interés geológico según suposición estratigráfica. Los afloramientos se describen teniendo en cuenta las abreviaturas en forma de código propuestas en la tabla 3.

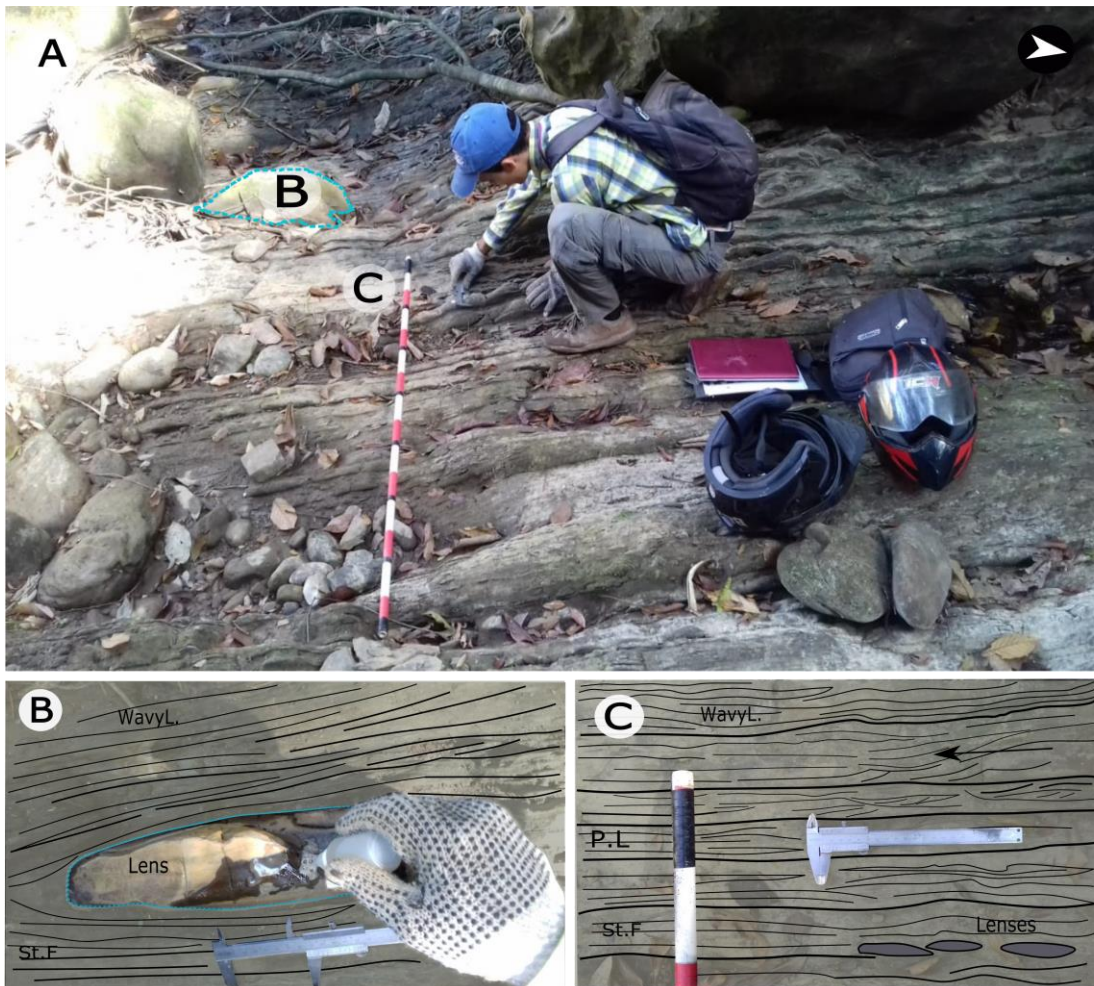
Tabla 3. Abreviaturas de: estructuras sedimentarias, litologías y fósiles, para geología de campo.

CÓDIGO	SIGNIFICADO	CÓDIGO	SIGNIFICADO
Clay	Arcillolita	Sulfur	Azúfre
Shale	Shale	Muscovite	Moscovita
Silt	Lodolita	Wave.R	Ripple de Onda
St.Vf	Arenisca muy fina	Loac Cast	Calco de carga
St.F	Arenisca fina	BoundaryE	Límite Erosivo
St.M	Arenisca Media	Intr	Intraclasto
Conglom	Conglomerado	Lens	Lente
IntrC	Intraconglomerado	PlanarCB	Estratificación Planar Cruzada
Paleosoil	Paleosuelo	TroughCB	Estratificación Cruzada en Artesa
Coal	Carbón	Colluvium	Coluvión
WavyL	Laminación ondulada	V.Burrows	Galería Vertical
P.L	Laminación Plano Parelela	H.Burrows	Galería Horizontal
Lenticular.L	Laminación Lenticular	Plant Material	Material Vegetal
Flaser.L	Laminación Flaser	Bivalves	Bivalvos
Convolute.L	Laminación Convoluta	Brachiopods	Braquiopodos
Flame.S	Estructura de Flama	Stacking.D	Distribución Apilada
CurrentR	Ripple de Corriente	Echinoderm	Equinodermo

6.2.1 Zona-1. Los resultados de campo en el área de Rio Sucio se muestran a continuación, describiendo las características geológicas relevantes de cada afloramiento. Los afloramientos se pueden ubicar en la columna estratigráfica (Anexo A).

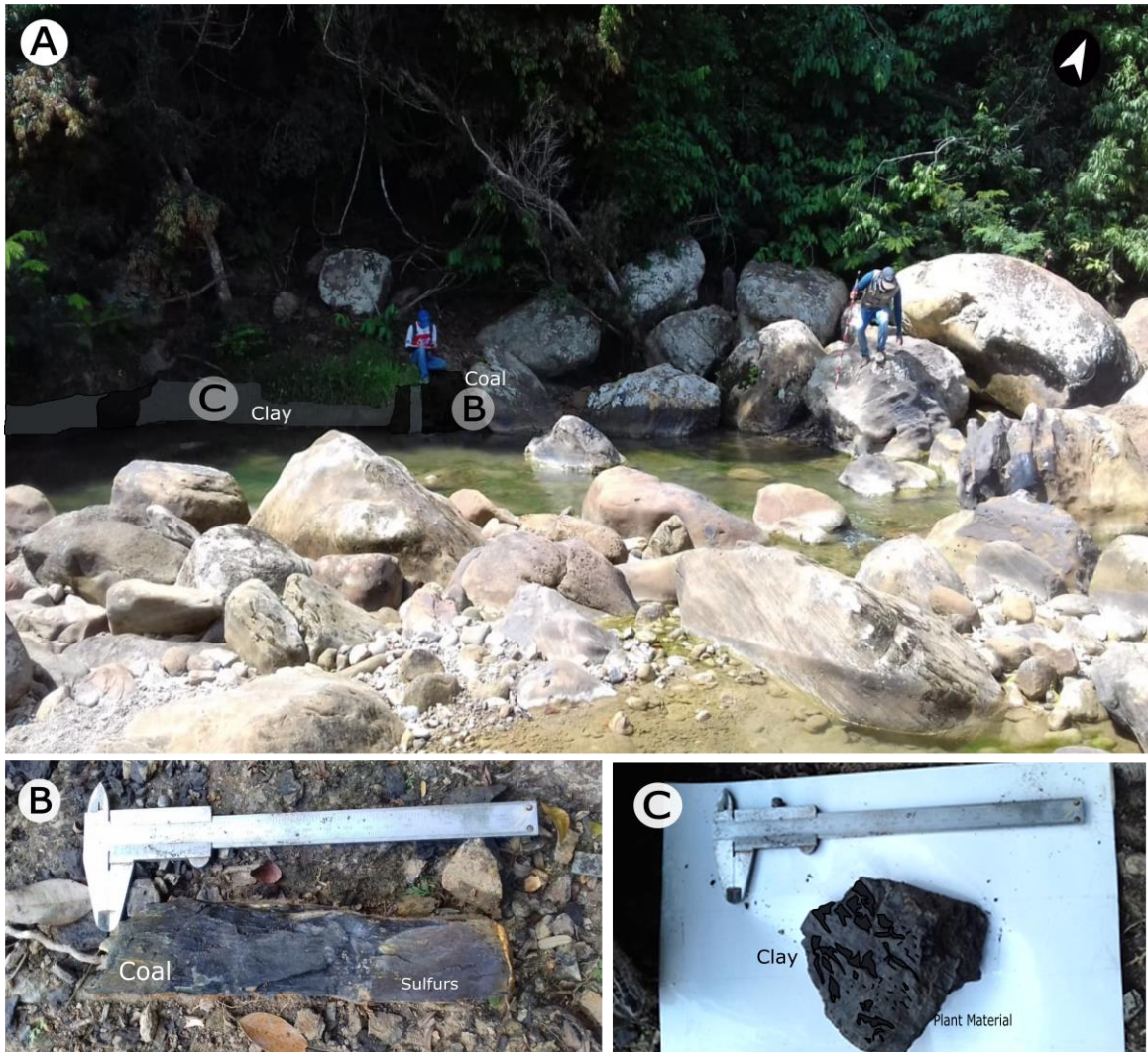
El afloramiento 1 (Figura 14), Presenta Arenisca de grano fino, amarillo verdoso pálido, con presencia de glauconita, bien seleccionada, con estratos de espesores 1cm a 2.5cm con estructura *current ripple* y *wave ripple*; intercaladas con lodolitas de coloración marrón de 1cm a 2cm de espesor con estructura horizontal *planar lamination* (Figura 14-C). Se evidencia hacia el tope, lentes de lodo calcáreo de dimensiones 60 cm de longitud por 10 cm de espesor (Figura 14-B).

Figura 14. Afloramiento 1, 1-5 metros columna estratigráfica, zona-1. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; B) Lente de lodo calcáreo (Lens), enbebido en unas areniscas de grano fino (St.F) con estructura laminada ondulosa (WavyL) ; C) Areniscas de grano fino (St.F) con estructura laminada ondulada (WavyL) y plano paralela (P.L) con algunos lentes de lodo (Lenses)



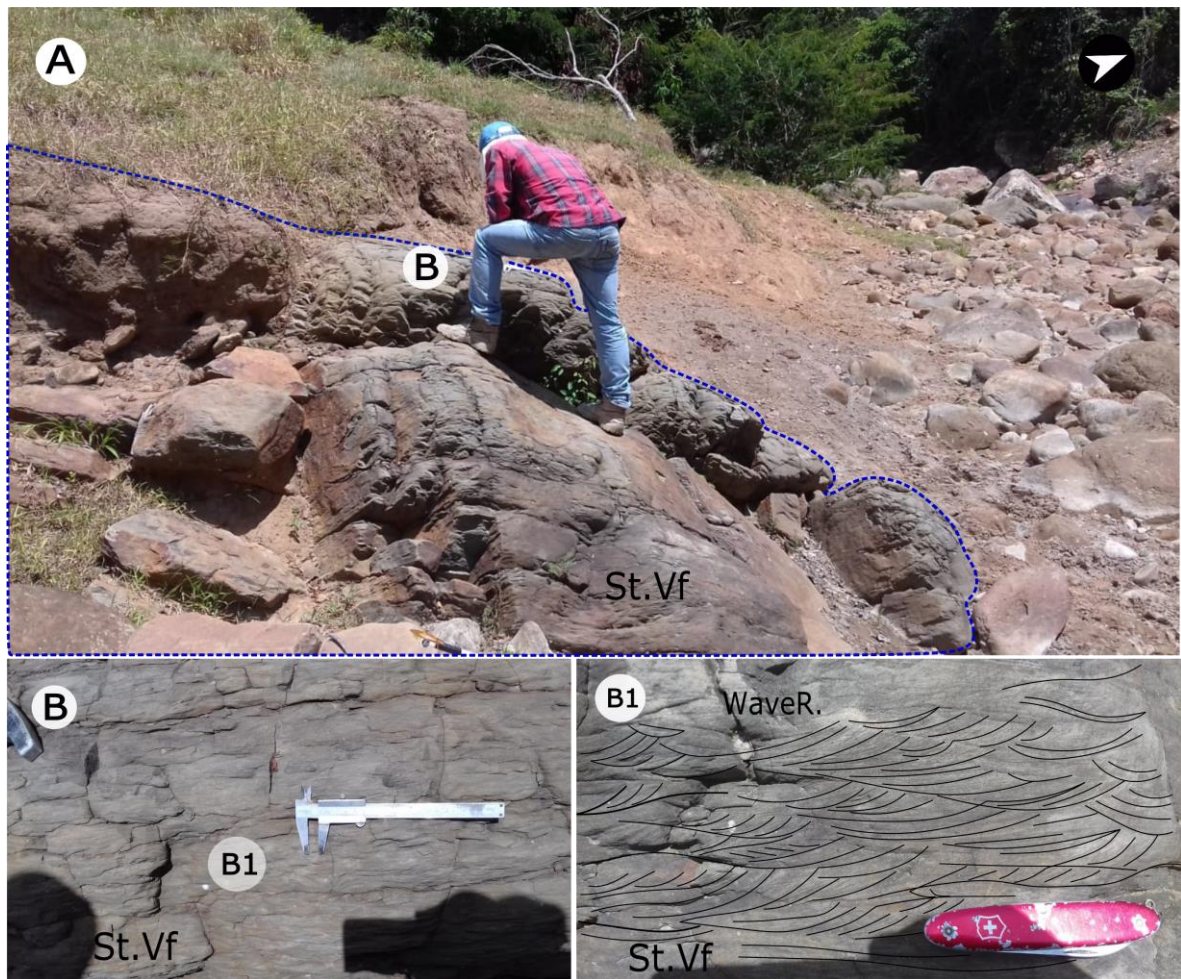
El afloramiento 2 (Figura 15), presenta estratos de carbón de espesores de 80cm, 20cm y 30cm tipo Lignito (según apreciación en campo), con presencia de azufre (Figura 15-B), y arcillolitas de color marrón amarillento oscuro con alto contenido en materia orgánica (Figura 15-C).

Figura 15. Afloramiento 2, 44-49 metros columna estratigráfica zona-1. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Estrato de carbón (Coal) con presencia de azufre (sulfur); **C)** Arcillolitas con abundante materia orgánica (Plant Material)



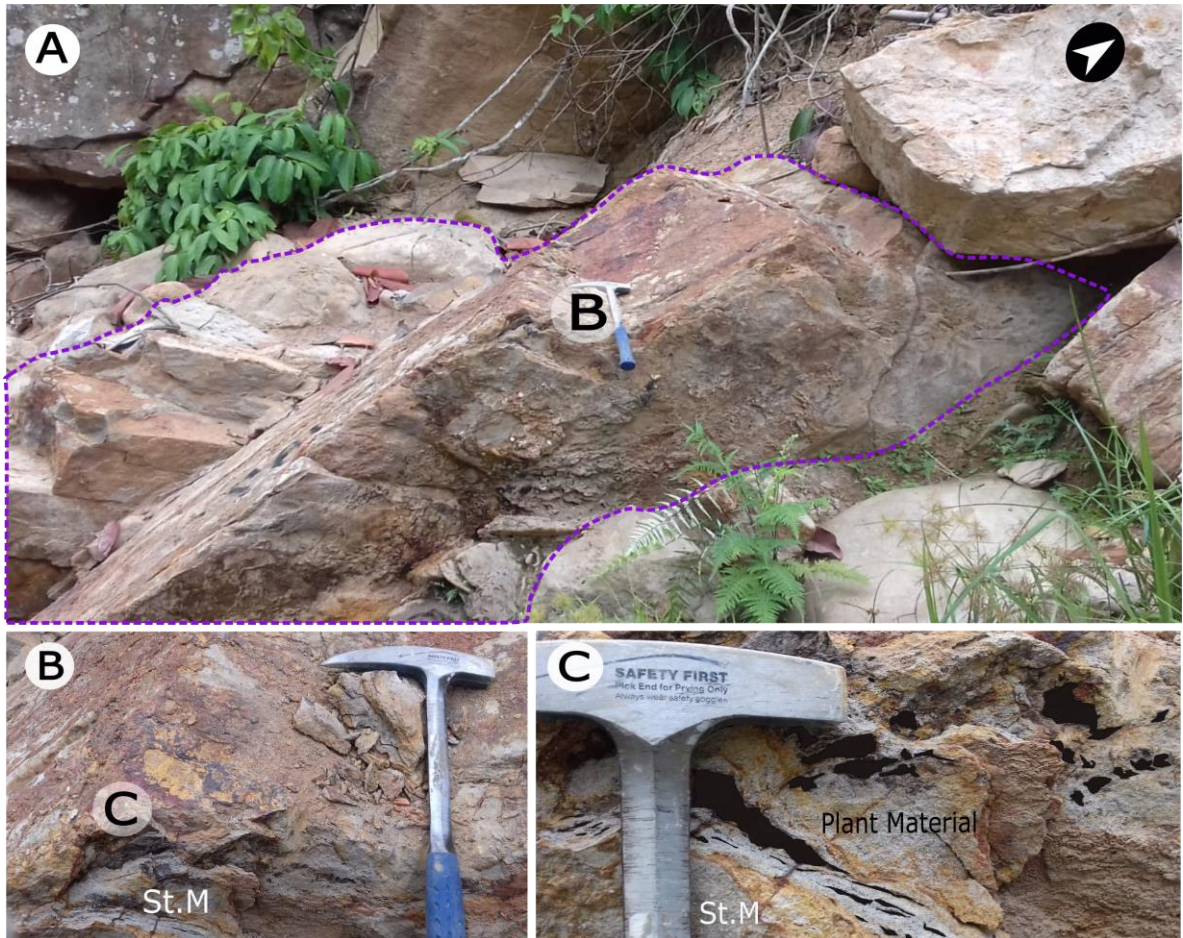
El afloramiento 3 (Figura 16), presenta Areniscas de grano fino, oliva pálido, con presencia de mica muscovita, y estructura *Wave Ripple*, en todo el estrato. Se evidencia en este afloramiento algunos lentes muy esporádicos de Mudstone de 1 cm de espesor por 5cm de longitud.

Figura 16. Afloramiento 3, 99-104 metros columna estratigráfica zona-1. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; B) Fotografía de acercamiento a las areniscas de grano muy fino (St.Vf); B1) Estructura ripple de ondas (WaveR) en areniscas de grano muy fino (St.Vf)



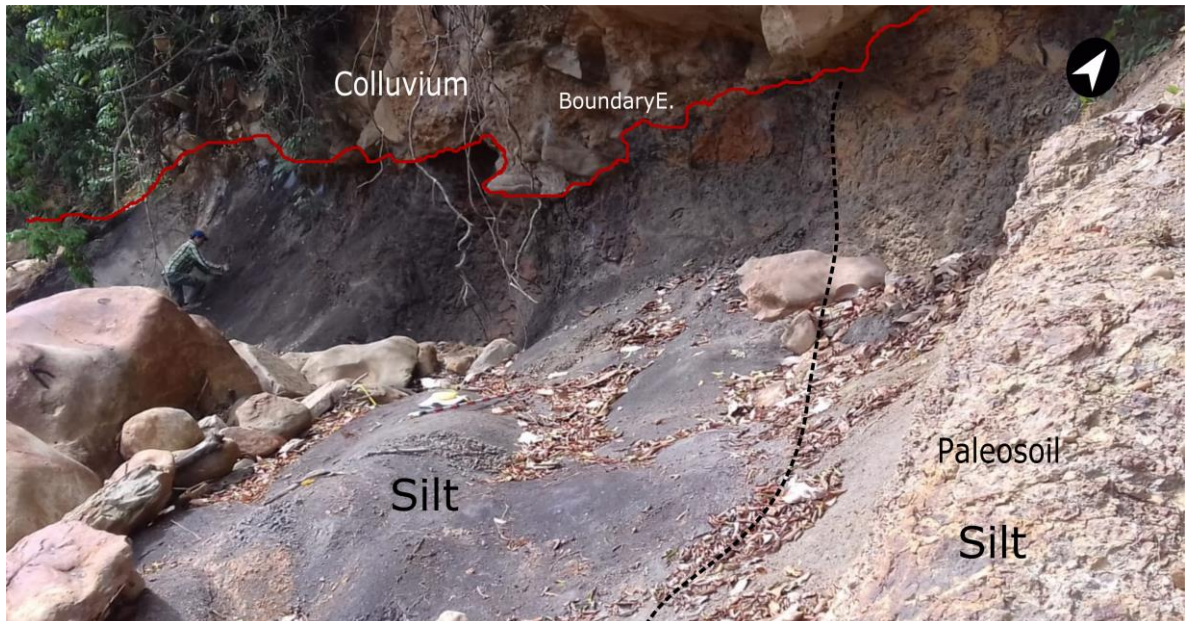
El afloramiento 4 (Figura 17), presenta arenisca de grano fino, oliva pálido, mal cementada, y seleccionadas, con presencia de intraclastos y abundancia de líticos (Figura 17-C).

Figura 17. Afloramiento 4, 171-173 metros columna estratigráfica zona-1. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Fotografía de acercamiento a las areniscas de grano medio (St.M); **C)** Arenisca de grano medio (St.M), con presencia de alto contenido de material orgánico (Plant Material)



En el afloramiento 5 (Figura 18), se evidencia un contacto entre paleosuelo estéril de coloración predominante gris azulado claro y secundaria rojo moderado, y lodolitas negras grisáceas, con contenido orgánico que aumenta hacia el techo. Se observa también un contacto discordante entre las lodolitas y paleosuelo del cretácico con depósitos recientes.

Figura 18. Afloramiento 5, 220-230 metros columna estratigráfica zona-1. A) Contacto entre paleosuelo (paleosoil) y lodolitas negras grisáceas (silt).



En el afloramiento 6 (Figura 19), se evidencia un estrato de areniscas azul grisácea de grano muy fina-lodo, mal seleccionada y cementada con presencia de madrigueras verticales y horizontales.

El afloramiento 7 (Figura 20), presenta el cambio litológico de la Formación Umir y Lisama en el cual se observa, hacia la base areniscas de coloración amarilla verdoso pálida, mal cementadas y seleccionadas, grano crecientes de tamaño arenisca muy fina a arena fina que presenta lentes conglomeráticos y de arenisca fina color gris medio; las cuales se encuentran en contacto erosivo, (Figura 20-A) con arenisca de grano fino- a muy fino gris verdosa clara, bien seleccionada con cemento calcáreo y presencia de estructuras: estratificación planar cruzada, ripple de ondas y de corriente, convoluta, laminación plano paralela y madrigueras horizontales (Figuras 20-C y 20-D). Hacia el tope del afloramiento se presenta

areniscas de grano fino con estructura de ripple de corriente y presencia de galerías verticales (Figura 20-B1).

Figura 19. Afloramiento 6, 248-249 metros columna estratigráfica zona-1. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principal punto de interés; **B)** Arenisca de grano muy fino (St.Vf) bioturbadas con presencia de galerías horizontales (H.Burrows) y galerías verticales (V. Burrows)

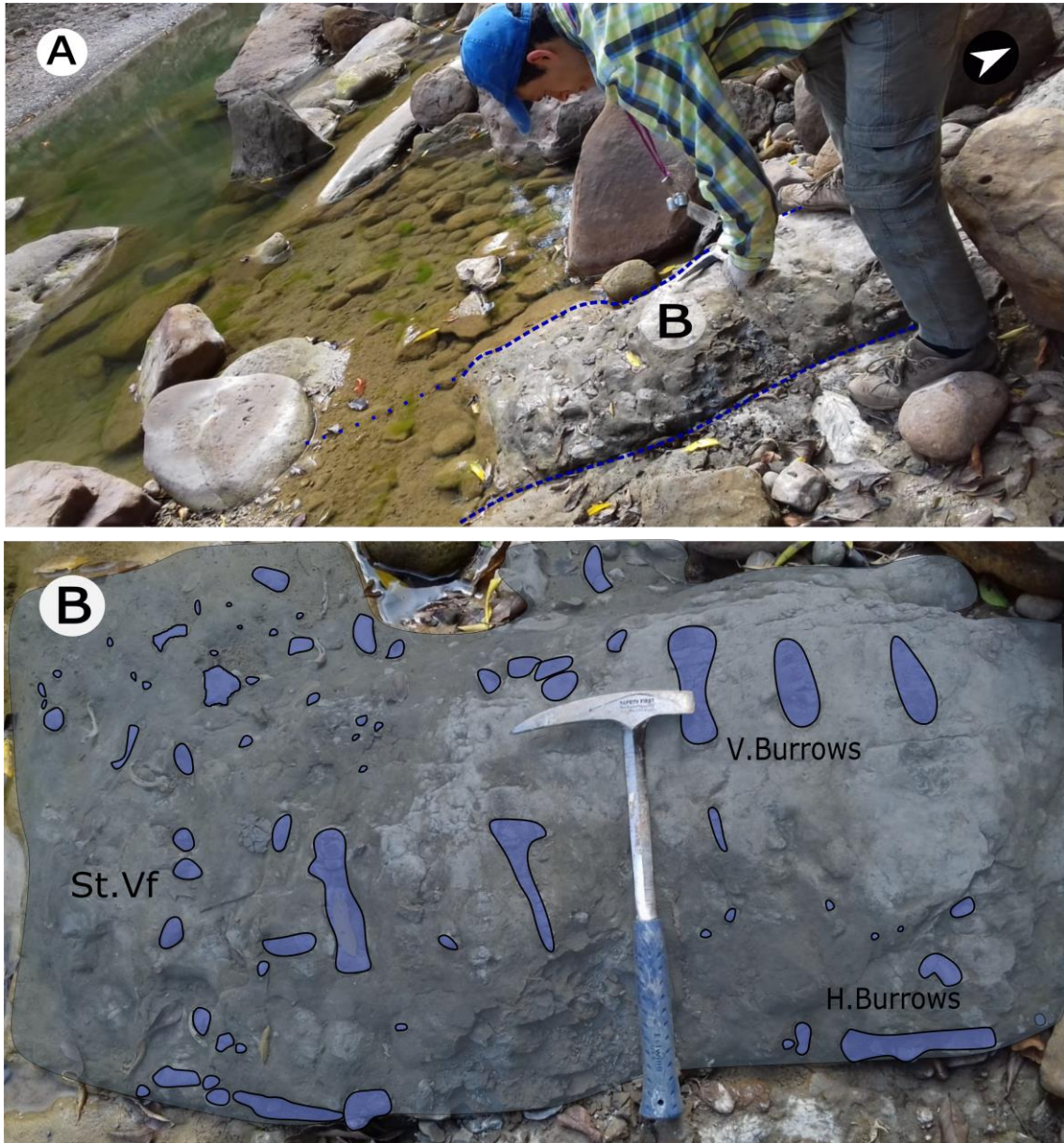
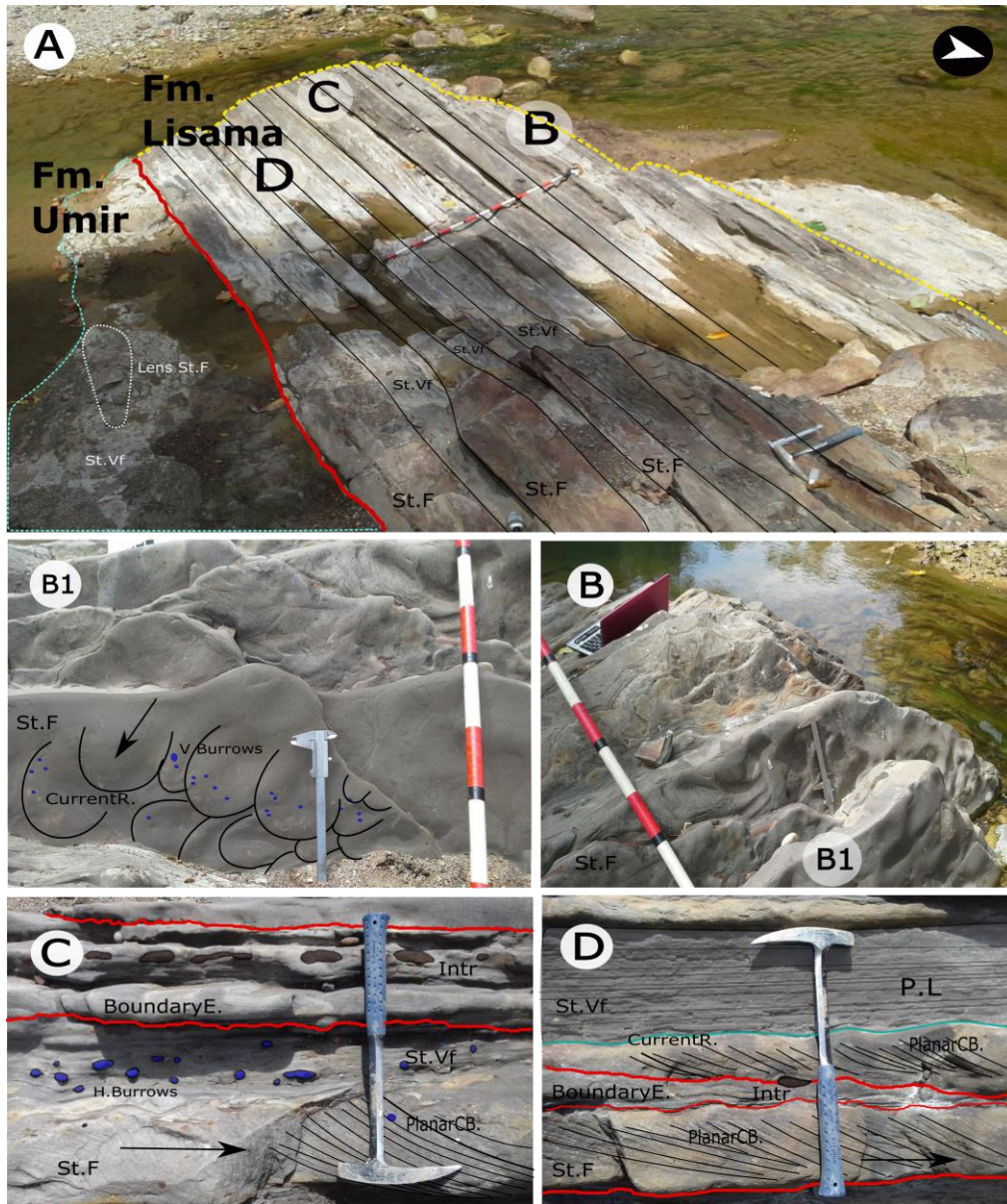


Figura 20. Afloramiento 7, 260-266 metros columna estratigráfica zona-1. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Fotografía de acercamiento a las areniscas de grano fino (St.F); **B1)** Arenisca de grano fino (St.F) con estructura de ripple de corriente (CurrentR) y presencia de galerías verticales (V.Burrows); **C)** Arenisca de fino (St.F), con estratificación planar cruzada (PlanarCB), intercalada con arenisca de grano muy fino (St.Vf) con galerías horizontales (H.Burrows), hacia el tope (St.F) con intraclastos (Intr) **D)** Arenisca de fino (St.F), con estratificación planar cruzada (PlanarCB). Limites erosivos (BoundaryE) acompañado de intraclastos (Intr), hacia el tope areniscas de grano fino (St.Vf) con laminación plano paralela (P.L)



El afloramiento 8 (Figura 21), presenta hacia la base arenisca de grano fino, amarilla verdosa pálida, bien cementadas, con estratificación planar cruzada y un nivel conglomerático que infra yace a areniscas de grano muy fino con estratificación planar cruzada y estratificación plano paralela; se evidencia intraclastos de coloración rojiza que efervescen al HCL (Figura 21-D). Hacia la parte media se observa arenisca, color gris claro medio, bien cementada, de grano fino con estratificación cruzada (Figura 21-C); y hacia el tope del afloramiento intercalaciones de arenisca gris medio, de grano fino con estructura de ripple de corriente, areniscas de grano muy fino con laminación convoluta, ripple de corriente y de ondas y lodolitas grisáceas oscuras con presencia de pirita.

El afloramiento 9 (Figura 22), presenta hacia la base arenisca de grano fino, verde amarilla oscura, con estratificación cruzada y planar con presencia de algunos intraclastos y areniscas de grano fino con laminación plano paralela (Figura 22-C). En la (Figura 22-B), se aprecian areniscas de grano fino con estructura de ripple de ondas y laminación plano paralela que infrayacen a areniscas de grano fino con estratificación planar cruzada y laminación ondulada. Hacia el tope del afloramiento se observa un intraconglomerado con clastos angulares de dimensiones 10cm a 20cm de longitud y ancho, de carbón, chert y lodolitas, embebidos en una matriz de arenisca de grano medio-fino (Figura 22-D)

Figura 21. Afloramiento 8, 281-286 metros columna estratigráfica zona-1. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Fotografía de acercamiento a las areniscas de grano muy fino (St.Vf); **B1)** Arenisca de grano muy fino (St.F) con estructura de ripple de corriente (CurrentR), de ondas (WaveR) y convoluta (ConvoluteL); **C)** Arenisca de grano muy fino (St.Vf), con estructura plano paralela (P.L), estratificación planar cruzada (PlanarCB) e intraclastos (Intr) de lodo (Silt) hacia la base. Areniscas de grano fino (St.F) con estratificación cruzada (TroughCB), hacia el tope **D)** Arenisca de grano fino (St.F), con estratificación planar cruzada (PlanarCB) hacia la base. Conglomerado (Conglom) y lente conglomerático (Lens conglom) parte media, y superficies de erosión. Arenisca de grano muy fino (St.Vf), con estructura plano paralela (P.L), estratificación planar cruzada (PlanarCB) e intraclastos (Intr) de lodo (Silt) el tope.

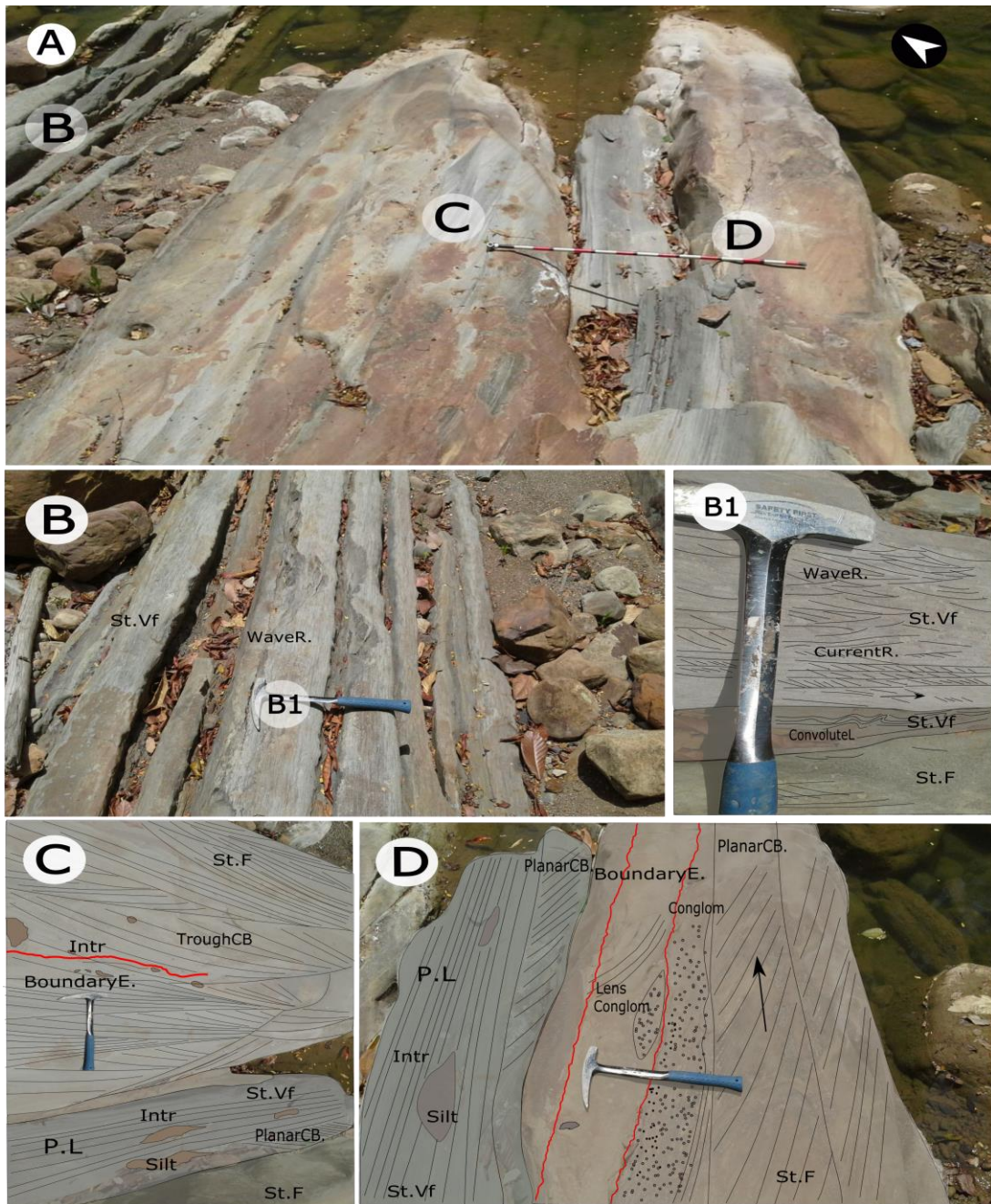
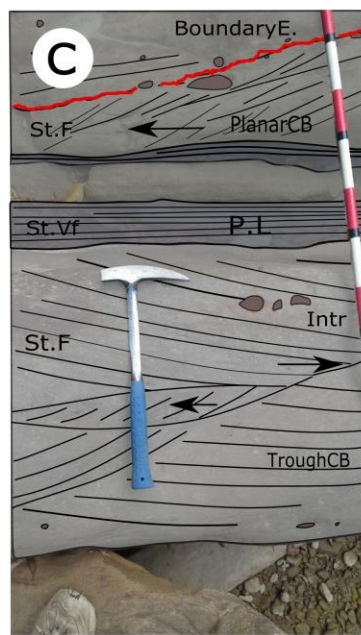
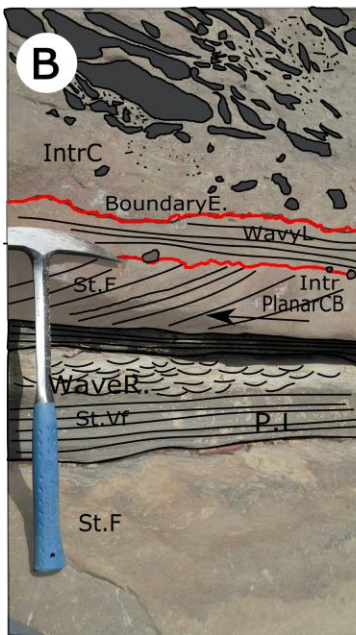
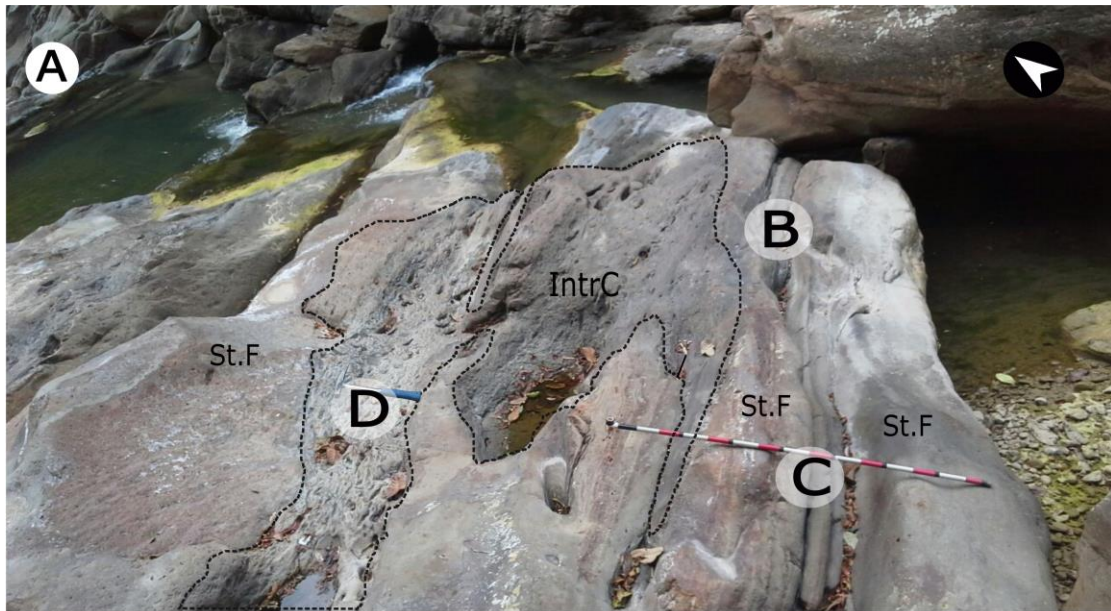


Figura 22. Afloramiento 9, 305-312 metros columna estratigráfica zona-1. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; B) Arenisca de grano fino (St.F), areniscas de grano muy fino (St.V) con estructura de ripple de ondas (WaveR) y laminación plano paralela (P.L); hacia el tope areniscas de grano fino (St.F) con estratificación

planar cruzada (PlanarCB) y laminación ondulada (Wavyl) infrayaciendo a intraconglomerado (IntrC); **C)** Arenisca de grano fino (St.F) con estratificación cruzada (TroughCB) y presencia de intraclastos (Intr); infrayaciendo a arenisca de grano fino (St.F) con laminación plano paralela (P.L). Hacia el techo arenisca de grano fino (St.F) con estratificación planar cruzada (PlanarCB); **D)** Intraconglomerado (IntrC).



El afloramiento 10 (Figura 23), presenta hacia la base un intraconglomerado, de color predominante gris verdoso claro, con clastos angulares de 3cm a 5cm, matriz soportado; hacia la parte media se evidencia un cambio litológico de areniscas de grano fino masivas que infrayacen a intercalaciones de lodolitas con laminación plano paralela y areniscas de grano muy fino con ripple de corriente (Figuras 23-B y B1); hacia el techo del afloramiento se vuelven a aparecer los intraconglomerados con clastos de tamaños de 2cm a 15cm de lodolitas oscuras grisáceas.

El afloramiento 11 (Figura 24), presenta hacia la base arenisca de grano muy fino, gris verdosa con estructura *wave ripple*, que infrayace a areniscas de grano fino gris verdoso, con presencia de líticos bien cementada y con estructura *load casts* (Figura 24-C); hacia la parte media del afloramiento se evidencia una amalgamación de paleocanales de areniscas gris verdoso bien cementada de grano fino con estratificación cruzada (Figura 24-A) y (Figuras 24-D y D1), y hacia el tope del estrato se observa ripple de corriente en superficie (Figura 24-B).

Figura 23. Afloramiento 10, 325 -330, metros columna estratigráfica zona-1. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Intercalaciones de arenisca de grano muy fino (St.Vf) con lodolitas (Silt), infrayaciendo a un intraconglomerado (IntrC); **B1)** Imagen de realce. Se evidencia estructura de ripple de ondas (WaveR) en las areniscas de grano fino (St.Vf) y estructura plano paralela (P.L) en las lodolitas (Silt)

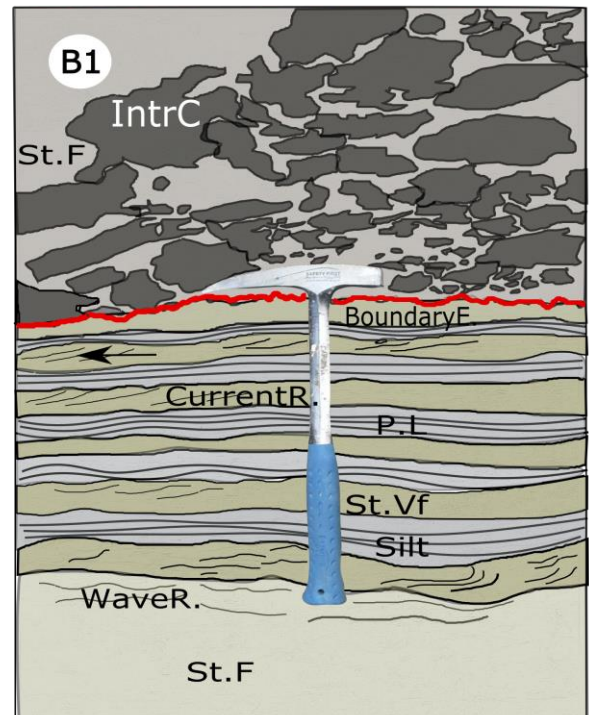
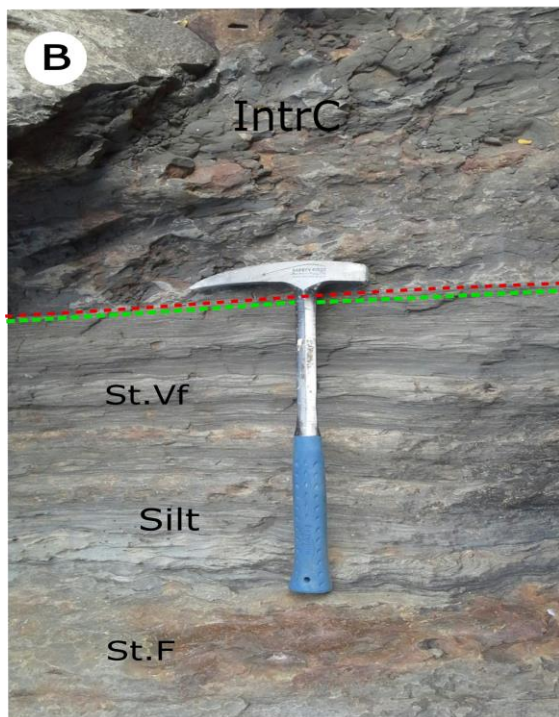
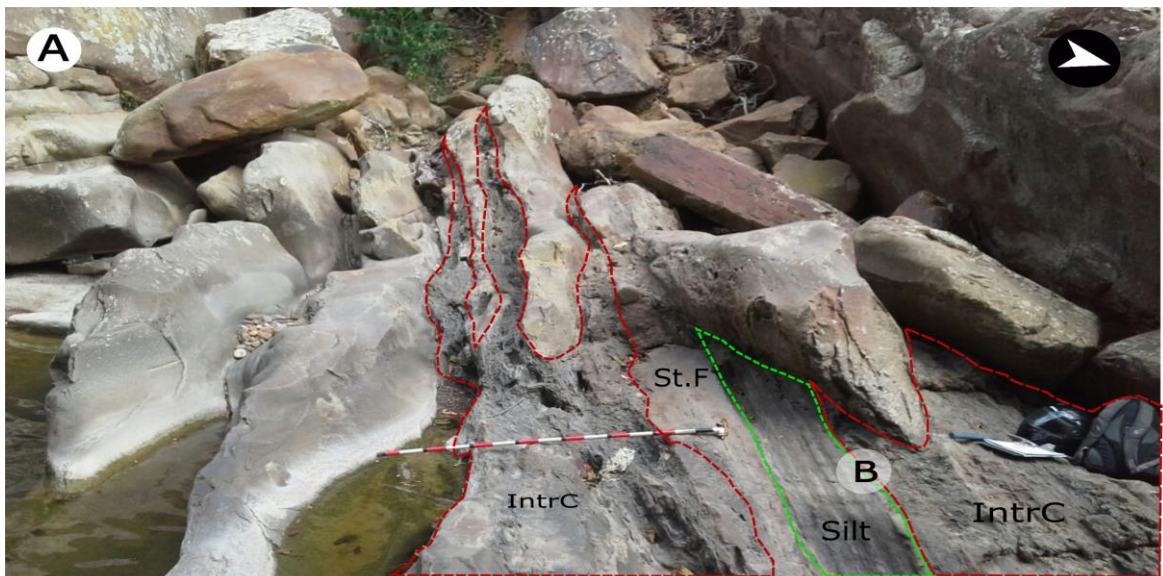
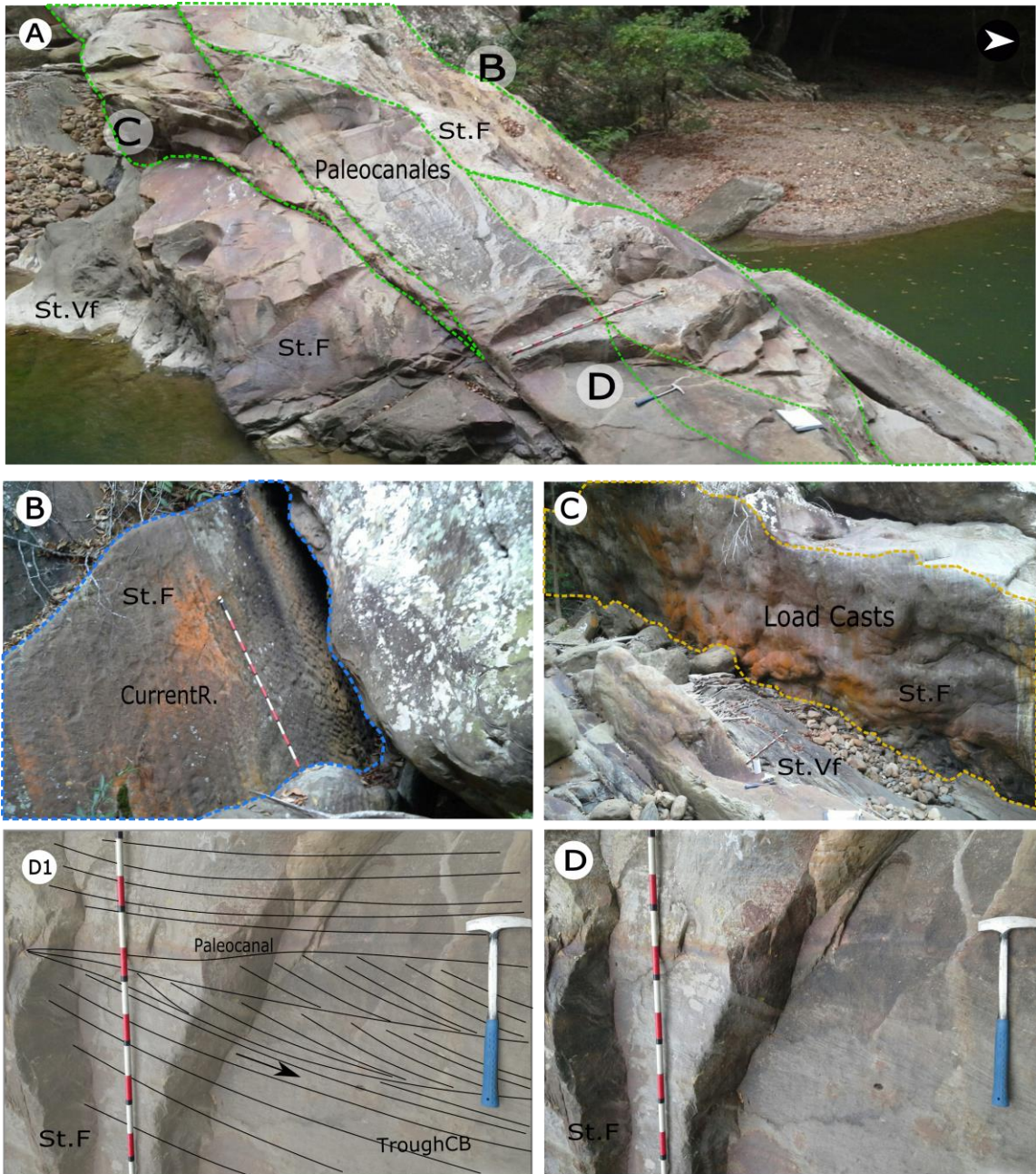


Figura 24. Afloramiento 11, 340 -346, metros columna estratigráfica zona-1.

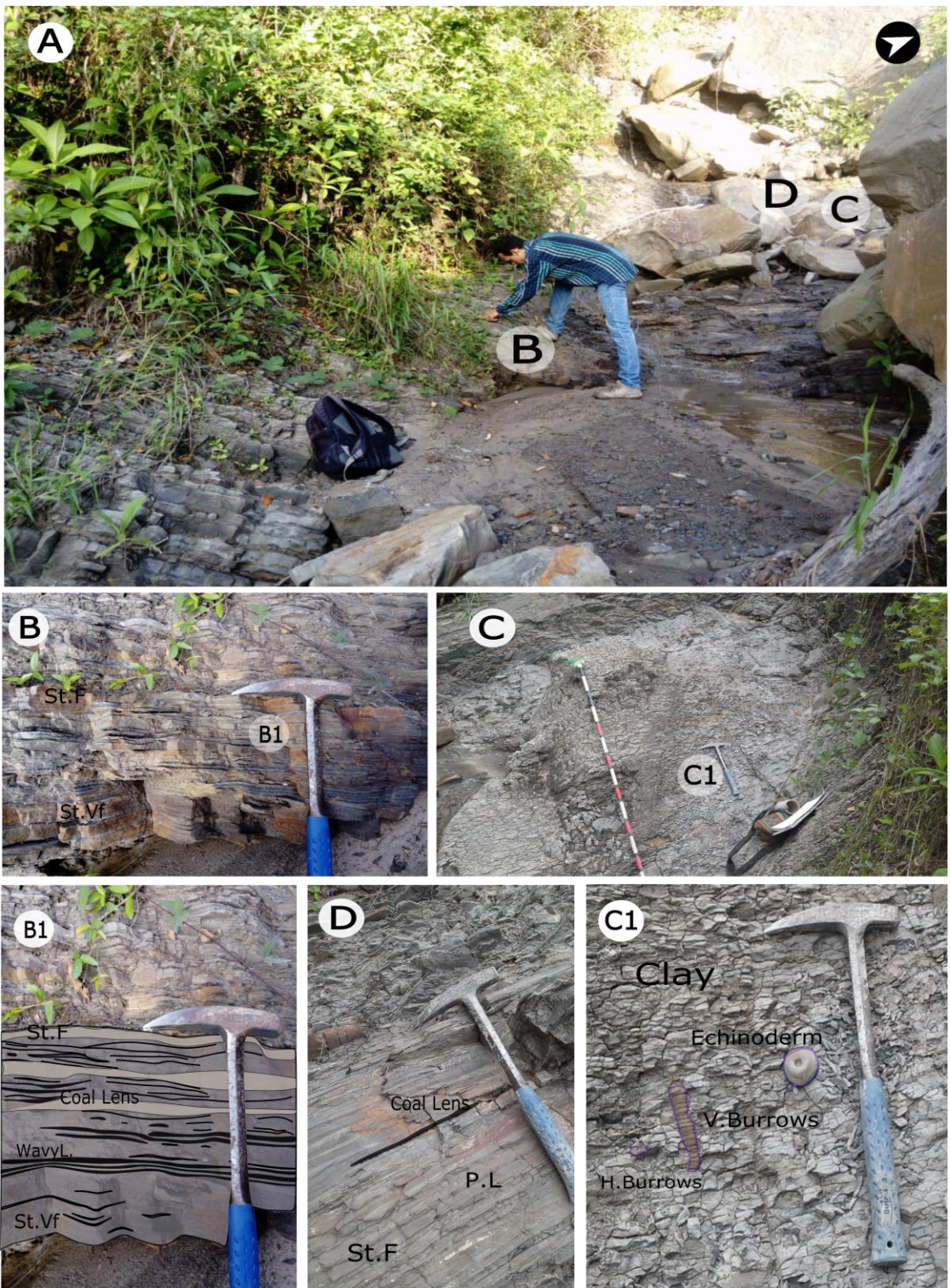
A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Arenisca de grano fino (St.F) con estructura de ripple de corriente (CurrentR); **C)** Arenisca de grano fino (St.F) con estructura de carga (Load Cast), suprayaciendo a areniscas de grano muy fino (St.Vf); **D)** Fotografía de acercamiento; **D)** Areniscas de grano fino (St.F) con estratificación cruzada (TroughCB)



6.2.2 Zona-2. Los resultados de campo en el área de Mata de Cacao se muestran a continuación, describiendo las características geológicas relevantes de cada afloramiento. Los afloramientos se pueden ubicar en la columna estratigráfica (Anexo B).

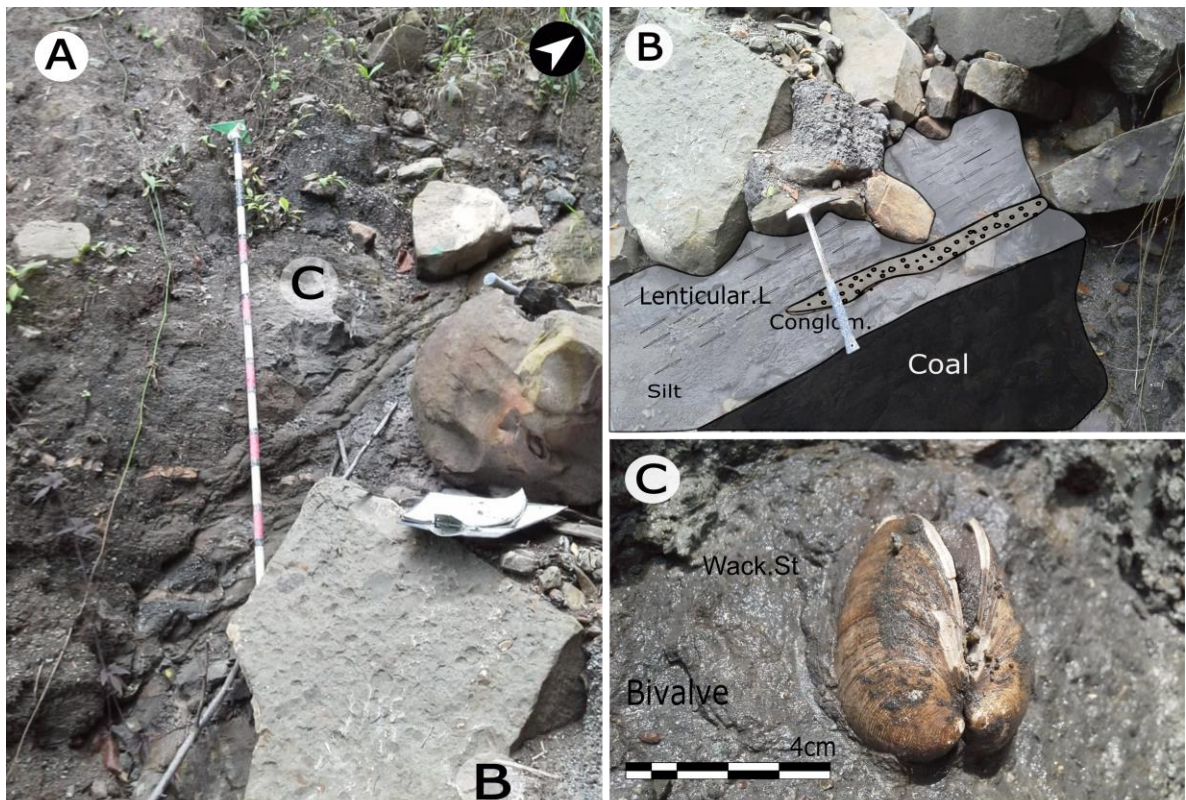
El afloramiento 1 (Figura 25), presenta hacia la base arenisca de grano muy fino lodosa, marrón amarillenta pálido, mal seleccionada con laminación plano paralela y ondulada; se evidencia presencia de sulfuros, moscovita y materia orgánica, intercaladas con lentes de areniscas de grano fino (Figura 25-B y B1); hacia la parte media del afloramiento shale oliva gris, con presencia de galerías horizontales y verticales, y presencia de fósil, de un equinodermo (Figura 25-C y C1); hacia el techo del afloramiento arenisca de grano fino, gris verdosa clara, bien seleccionada, con laminación plano paralela y presencia de lentes de carbón, Se evidencia olor a Hidrocarburos (Figura 25-D).

Figura 25. Afloramiento 1, 192 - 204, metros columna estratigráfica zona-2. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Fotografía de acercamiento a areniscas finas (St.F) y muy finas (St.Vf) ; **B1)** Realce de: las areniscas muy finas (St.Vf) con estructura de laminación ondulada (WavyL), fina (St.F) y lentes de carbón (Coal Lens); **C)** Fotografía de acercamiento a las arcillolitas (Clay); **C1)** Arcillolitas (Clay) con presencia de madrigueras horizontales (H.Burrows) y verticales (V.Burrows) y fósil de equinodermo; **D)** Arenisca de grano fino (St.F) con laminación plano paralela (P.L) y presencia de lentes de carbón (Coal Lens)



El afloramiento 2 (Figura 26), presenta hacia la base un manto de carbón de 20 cm que infrayace a lodolitas oliva gris, con laminación plano paralela y lenticular que son las que aparecen en forma de lente, un conglomerado gris oliva, bien compacto con cementación calcárea, con presencia de pirita. Los clastos evidenciados en el conglomerado son de 3cm a 1cm de diámetro (Figura 26-B); hacia el tope del afloramiento se evidencia caliza Wackstone gris oliva, alterada mal cementada, con abundante contenido de fósiles, con dimensiones de su concha: 5mm a 8cm de longitud.

Figura 26. Afloramiento 2, 381 - 384, metros columna estratigráfica zona-2. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Manto de carbón (Coal), lodolitas (silt) con laminación lenticular (Lenticular.L) y conglomerado (Conglom.); **C)** Wackstone (Wack.St) con abundancia fósil presencia de bivalvos (Bivalve)



El afloramiento 3 (Figura 27), presenta hacia la base tres mantos de carbón de: 15cm, 6cm y 6cm de espesor tipo lignito (según observación en campo), con coloración amarilla por precipitación de azufre, intercalado con arcillolitas ricas en materia orgánica (Figura 27-B); hacia la parte superior del afloramiento se evidencian un cambio textural de arcillolitas a lodolitas negras grisáceas, con laminación plano paralela, las láminas presentan espesores de 1mm - 2mm, con coloración oscura (Figura 27-C).

Figura 27. Afloramiento 3, 394 - 399, metros columna estratigráfica zona-2. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Mantos de carbón (Coal) y arcillolitas (Clay) ricas en materia orgánica (Plant Material) y azufre (Sulfurs); **C)** Arcillolitas (Clay) grano crecientes a Lodolitas (Silt) con laminación plano paralela (P.L)



En el afloramiento 4 (Figura 28), hacia la parte inferior y media del afloramiento, se presenta arenisca de grano fino-medio (Figura 28-A) de color gris verdoso, con presencia de: glauconita, micas, moscovita, biotita y material vegetal en algunos estratos. Presenta estructuras: *wave* y *current ripple*, laminación ondulada, estructura de flama, convoluta, *water structures*, estratificación cruzada e intraclastos asociados a superficies erosivas (Figuras 28-B y C), y madrigueras horizontales (Figura 28-C); cerca del tope del afloramiento se evidencia un nivel conglomerático en una matriz de arenisca de grano medio, de coloración gris medio, con cementación calcárea, y presencia fósil de conchas de bivalvos y braquiópodos con una distribución apilada.

El afloramiento 5 (Figura 29), presenta arcillolitas gris medio, con laminación plano paralela y lenticular; los lentes son de 1mm a 0.5mm de espesor, de arenisca muy fina (Figuras 29-B y B1).

Figura 28. Afloramiento 4, 404 - 409, metros columna estratigráfica zona-2. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Arenisca de grano fino (St.F) con estructura ripple de ondas (WaveR), estratificación cruzada (TroughCB), intraclastos (Intr) y contactos erosivos (BoundaryE); **C)** Arenisca de grano fino (St.F) con estructura ripple de ondas (WaveR), laminación ondulada (WavyL), laminación convoluta (ConvoluteL), estructura de flama (Flame.S) y de carga (Load Cast). Se evidencia madrigueras horizontales (H.Burrows) y limite erosivo (BoundaryE.) e intraclastos (Intr); **D)** Arenisca de grano medio (St.M), con presencia de braquiópodos (Brachiopods) y bivalvos (Bivalves) e intraclastos de lodo (Silt)

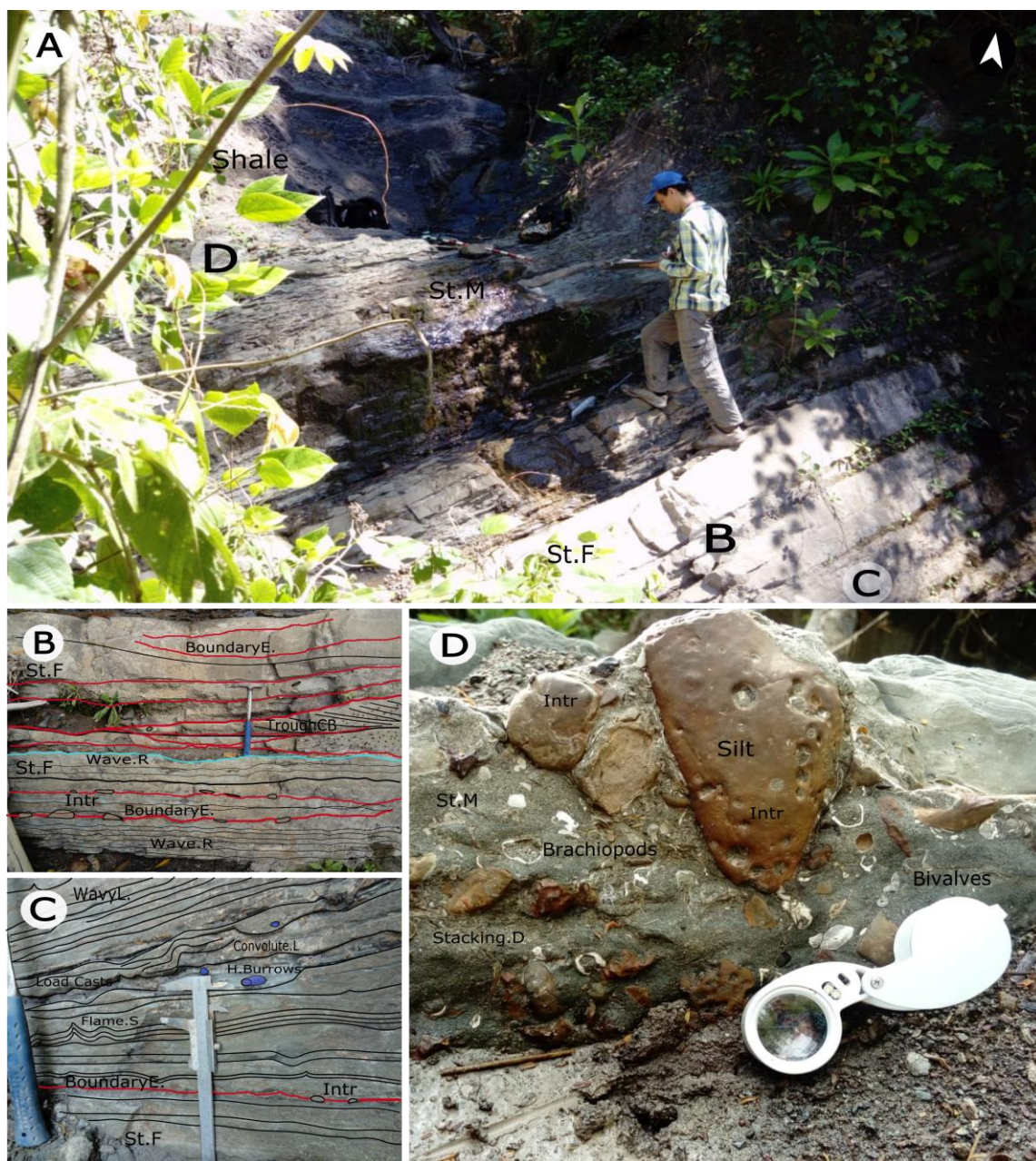
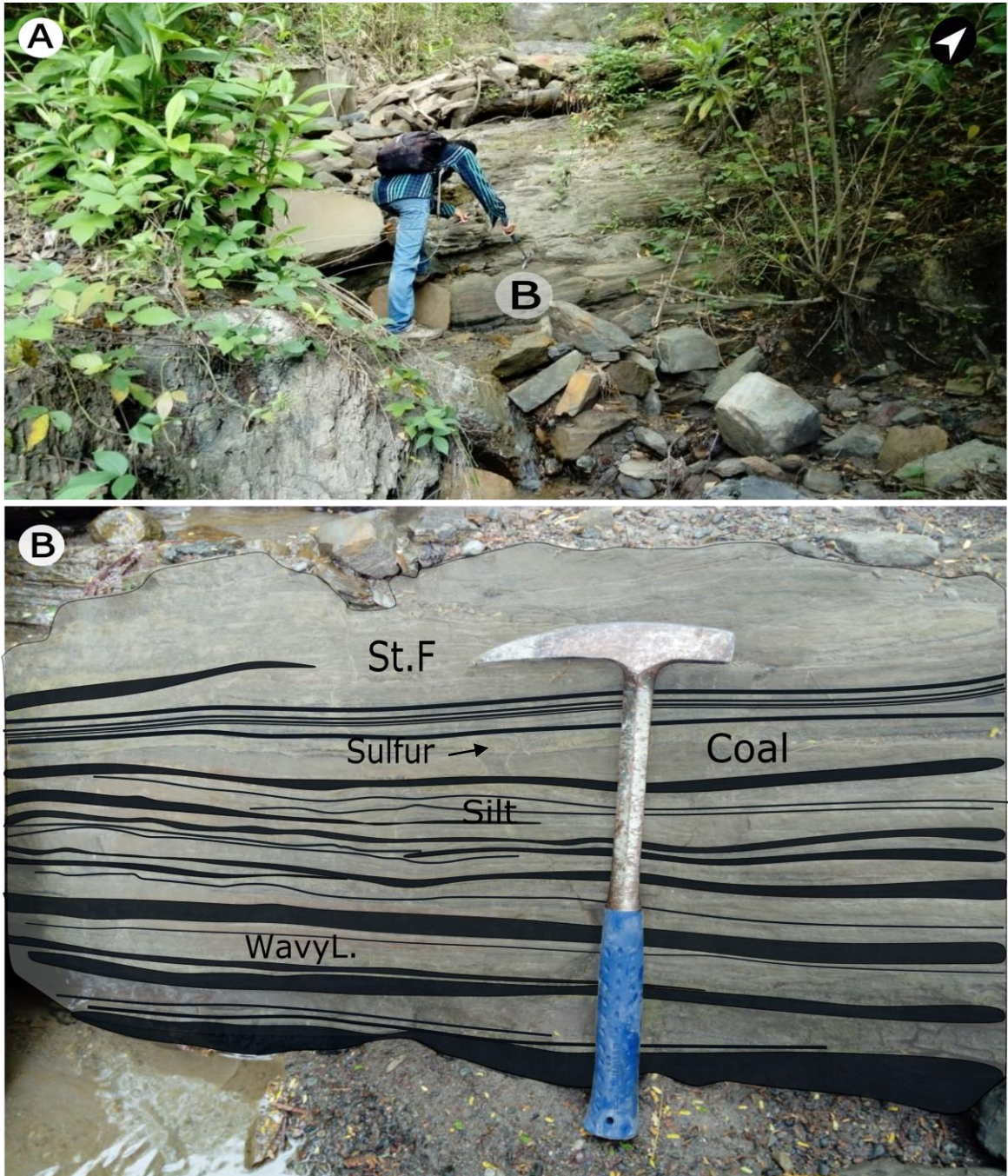


Figura 29. Afloramiento 5, 427 - 429, metros columna estratigráfica zona-2. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Arcillolitas (Clay) con laminación plano paralela (P.L) y lenticular (Lenticular.L) de arenisca de grano muy fina (St.Vf); **B1)** Imagen de realce de las estructuras sedimentarias evidenciadas en la imagen B **C)** Wavy.L., Load Casts, Flame.S, Convolute.L, H.Burrows, Boundary.E., Intr, St.F; **D)** Intr, Silt, Brachiopods, Bivalves, Stacking.D, St.M



El afloramiento 6 (Figura 30), presenta arenisca fina gris oliva, mal seleccionada, con laminación ondulada intercalada con lodolitas carbonosa y láminas de carbón de 2cm a 0.5 cm de espesor, con presencia de azufre.

Figura 30. Afloramiento 6, 432 - 435, metros columna estratigráfica zona-2. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando el principal punto de interés; **B)** Arenisca de grano fino (St.F), intercalada con láminas de lodolitas rica en material orgánico (Silt) con estructura ondulosa (WavyL.) y pequeños estratos de carbón (Coal) con presencia de azufre (Sulfur)



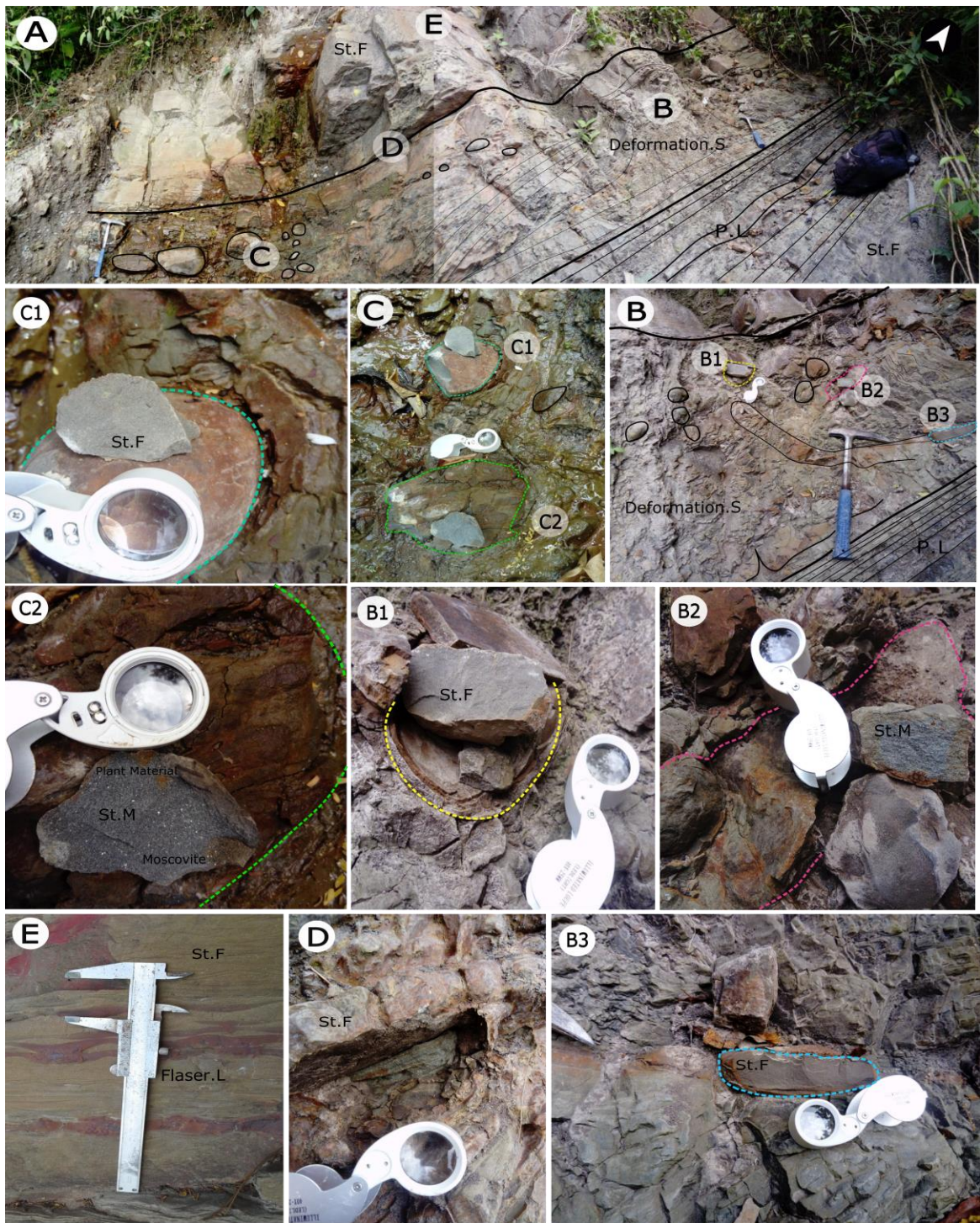
El afloramiento 7 (Figura 31), presenta areniscas finas verdes amarillas grisáceas, con presencia de moscovita y estructuras *wave ripple* predominante, *current ripple* y laminación horizontal poco frecuente; se evidencia poca efervescencia al HCL (Figuras 31-A y B). Hacia la base de las areniscas se observa una concreción con recristalización de carbonatos de calcio (Figura 31-D) y hacia la parte media un estrato de Mudstone, con forma lenticular, oliva pálido con estructura *current ripple*. No se evidencia presencia de fósiles (Figura 31-C).

El afloramiento 8 (Figura 32), hacia la parte inferior en una matriz de arenisca fina a media, color gris verdosa clara, mal seleccionada, se observan guijarros de arenisca fina y guijarros de arenisca media (Figuras 32-B1, B2, B3 y C1) y cantos de arenisca media grisácea, mal seleccionada, con presencia de moscovita y material vegetal (Figura 32 - C2), Hacia la parte superior del afloramiento aparece areniscas finas, gris verdosa clara, moderadamente seleccionada, con presencia de glauconita y estructuras convoluta, *water structure*, *flaser* y *load cast* (Figura 32-E).

Figura 31. Afloramiento 7, 454 - 460, metros columna estratigráfica zona-2. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Arenisca de grano fino (St.F) con estructura ripple de ondas (WaveR), ripple de corriente (Current R) y laminación plano paralela (P.L). Arenisca de grano muy fino (St.Vf) con intraclastos de lodolitas (Intr); **C)** Estrato de Caliza tipo Mudstone (Mud.St); **D)** Concreción calcárea (Concret)



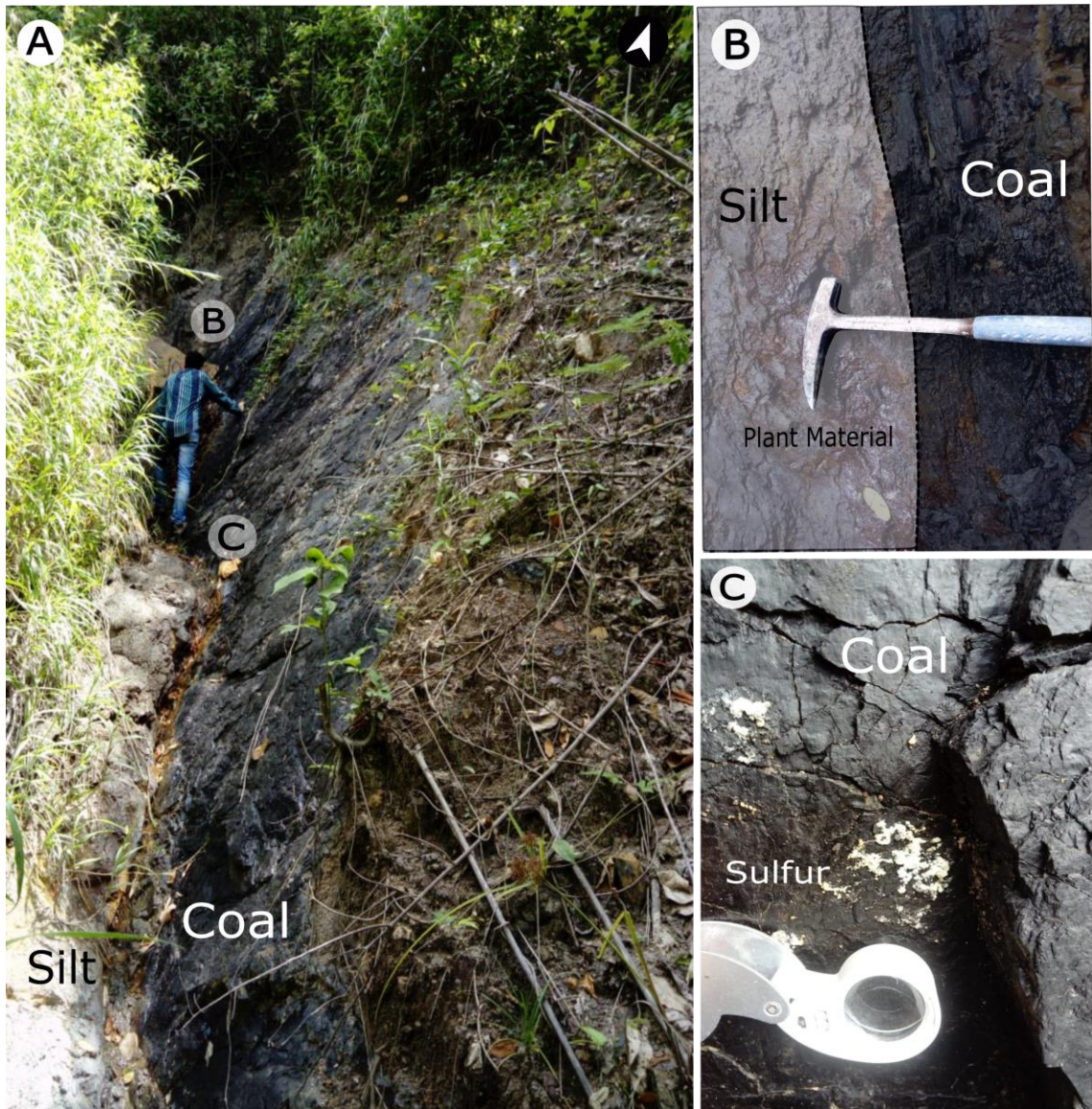
Figura 32. Afloramiento 8, 460 - 464, metros columna estratigráfica zona-2. A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; B) Fotografía de acercamiento para los puntos B1, B2 Y B3; **B1)** Guijarro de Arenisca fina (St.F); **B2)** Guijarro de Arenisca Media (St.M); **B3)** Guijarro de Arenisca fina (St.F); C) Fotografía de acercamiento para los puntos C1 y C2; **C1)** Guijarro de Arenisca fina (St.F); **C2)** Canto de Arenisca media (St.M) con abundancia de materia orgánica (Plant Material) y Moscovite; D) Arenisca de grano fino (St.F); E) Arenisca de grano fino (St.F) con estructura Flaser (Flaser.L)



En el afloramiento 9 (Figura 33), se observa un estrato de carbón de 18cm de espesor tipo lignito (según observación en campo) que infrayace a lodolitas oliva grisáceas con alto contenido orgánico de origen vegetal (Figuras 33-B y 33-C).

Figura 33. Afloramiento 9, 468 - 470, metros columna estratigráfica zona-2.

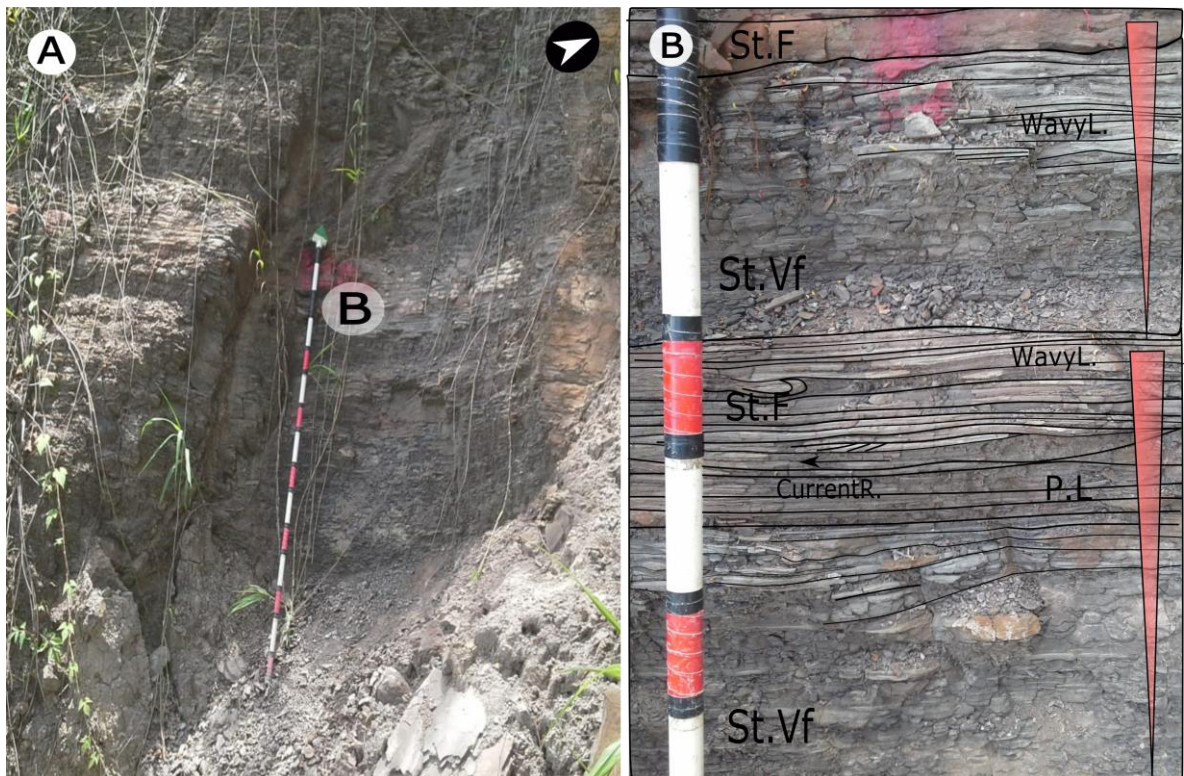
A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Lodolitas (Silt) con presencia de material vegetal (Plant Material) y suprayaciendo a un manto de carbón (Coal); **C)** Manto de carbón en vista en superficie (Coal) con presencia de azufre (Sulfur)



En el afloramiento 10 (Figura 34), se observan arenisca grano creciente muy fina a fina, color gris verdoso, con presencia de moscovita. Presenta laminación ondulada, plano paralela y estructura de ripple de corriente (Figura 34-B).

Figura 34. Afloramiento 10, 487 - 489, metros columna estratigráfica zona-2.

A) Fotografía general del afloramiento, mostrando el principal punto de interés; **B)** Arenisca grano crecientes de muy fino (St.Vf) con (P.L) a fino (St.F) con estructura ripple de corriente (CurrentR) y laminación ondulada (WavyL)

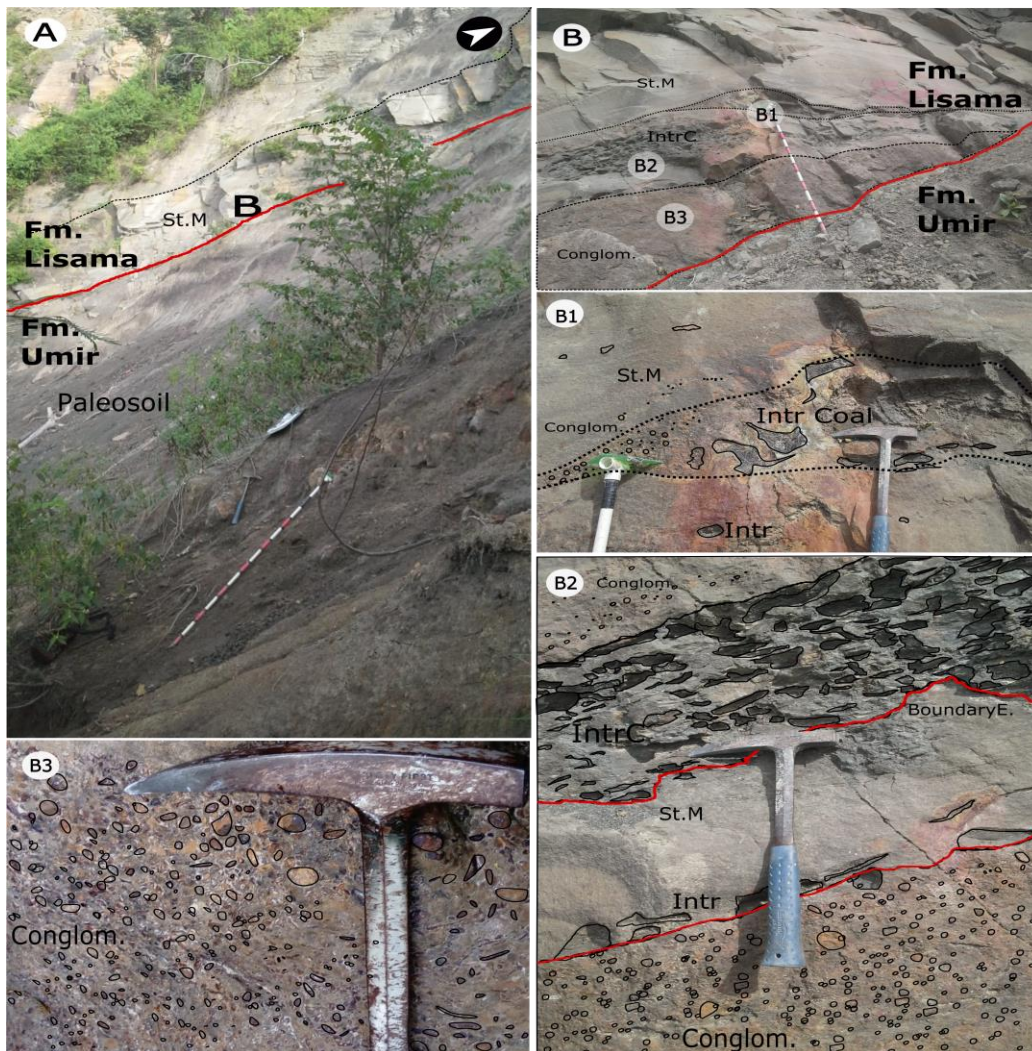


El afloramiento 11 (Figura 35), se evidencia el cambio litológico brusco de las formaciones Umir y Lisama, pasando de un paleosuelo con color predominante púrpura, rojizo pálido, y algunos niveles de arenisca de grano fino azul-grisácea, mal seleccionada, bioturbada, con presencia de cementación calcárea y glauconita hacia el tope de la Formación Umir (Figura 35-A), que infrayacen en contacto erosivo a unas areniscas de grano fino-medio, verde amarilla grisácea, bien seleccionada, con presencia de líticos y moscovita de la Formación Lisama; hacia

la base de estas aparece un lente conglomerático con clastos de 1cm a 3cm, subredondeados en una matriz de arenisca fina (Figura 35-B3), y una capa de intraconglomerática con clastos de lodolitas grisáceas oscuras y carbón (Figuras 35-B1 y 35-B2).

Figura 35. Afloramiento 11, 540 - 557, metros columna estratigráfica zona-2.

A) Fotografía general del afloramiento, mostrando los principales puntos de interés; **B)** Fotografía de acercamiento a los puntos de interés B1, B2 Y B3; **B1)** Intraclastos de carbón (Intr., Coal) y conglomerado (Conglom) en unas areniscas de grano fino (St.F) y medio (St.M); **B2)** Conglomerado (Conglom) infra yaciendo a: areniscas de grano medio (St.M) con presencia de intraclastos (Intr), e Intraconglomerado (IntrC); **B3)** Conglomerado (Conglom)



Los resultados de la geología de campo y paleopalinología de las dos zonas de estudio, muestran dos litologías predominantes que se describen de manera general en los siguientes párrafos.

La primera litología compuesta principalmente de lodolitas, arcillolitas, y shales; de coloración dominante grisácea oscura, las cuales evidencian: contenido de micas, pirita, materia orgánica vegetal, concreciones calcáreas, ocurrencias fosilíferas de braquiópodos, bivalvos y madrigueras horizontales y verticales; estructuras plano paralela y lenticular, en las que aparecen ocasionalmente estratos de carbón tipo lignito-hulla? menores a 90cm de espesor, con presencia de sulfuros y pequeños estratos de 5cm a 1cm de Mudstone. Las areniscas que afloran son de grano fino a medio de coloración amarillo verdoso pálido en las que se pueden observar: dominante cementación calcárea, presencia de glauconita, moscovita, ocasionalmente pirita y biotita, material vegetal, estructuras current ripple, wave ripple, laminación plano paralela, convoluta, laminación ondulada, estructura de flama, estructuras de agua, estratificación cruzada, load cast, flaser, ocurrencias fosilíferas de braquiópodos y bivalvos, madrigueras horizontales, ocasionalmente presencia de concreciones y lentes carbonosos.

Las características litológicas, mineralógicas, fosilíferas, y paleopalinológicas, concuerdan con las descripciones dadas por: Huntley en Julivert, 1968³⁰; Ward *et al.* 1973³¹; Tchegliakova, 1993³²; Royero y Clavijo, 2001³³ y Prince *et al.* 2011³⁴; para la Formación Umir.

³⁰ Julivert, M. 1968. Lexique Stratigraphique International, merique latine Colombia (Premiere Parte). Centre National de la Recherche Scientifique, París, 651p.

³¹ Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., y Restrepo, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. Boletín Geológico, 21(1-3), 132p.

³² Tchegliakova, N. 1993. Los Foraminíferos y Minerales autigénicos de la Formación Umir (Sección Quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena): Registro de una laguna costera a finales del Cretácico Superior (Maestrichtiano). Geología Colombiana, 18: 107-117.

³³ Royero, J.M., y Clavijo, J. 2001. Memoria Explicativa Mapa Geológico Generalizado

La segunda litología está compuesta predominantemente por arenisca de grano medio-fino amarilla verdosa pálida bien cementadas, en las que se observa: moscovita, ocasionalmente y piritita, materia orgánica de origen vegetal, niveles de arenisca con cementación calcárea y glauconita, madrigueras verticales y horizontales hacia la base de esta litología; estructuras wave ripple, current ripple, estratificación cruzada en artesa, laminación convoluta, laminación plano paralela, estratificación planar cruzada, laminación ondulada; ocurrencias de niveles de conglomerados e intraconglomerados. Las litologías de grano fino en general paleosuelos son lodolitas y arcillolitas, que presentan coloraciones varicoloreadas, y menos predominante coloraciones gris oscuro con laminación plano paralela.

Las características litológicas, mineralógicas, fosilíferas, y paleopalínológicas, de la segunda litología, concuerdan con las descripciones dadas por: Morales, 1958³⁵; Van der Hammen 1958³⁶; Royero y Clavijo, 2001³⁷ y Moreno *et al.* 2011³⁸) para la Formación Lisama.

El levantamiento estratigráfico de la zona-1 arroja como resultado un espesor total de 360.7 metros de los cuales 262.6 metros corresponde al segmento superior

Departamento de Santander, escala 1:400.00. INGEOMINAS, Bogotá.

³⁴ Prince, M., Sánchez, C., Rojas, D., Acevedo, R., y Daza, D. 2011. La Formación Umir en el sector norte de la cuenca del Valle Medio del Magdalena: Una nueva frontera exploratoria en una cuenca madura. Memorias XVI Congreso Latinoamericano de Geología y XIII Congreso Colombiano de Geología. Medellín, Colombia, pp. 117-118.

³⁵ Morales, L. 1958. General geology and oil occurrence of the Middle Magdalena Valley, Colombia. In *Habitat of oil* a Symposium American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Tulsa. U.S.A, pp. 641-695.

³⁶ Van Der Hammen, T. 1958. Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continental y tectogénesis de los Andes Colombianos. Boletín Geológico, Servicio geológico, 6 (1-3): 67-128.

³⁷ Royero, J.M., y Clavijo, J. 2001. Memoria Explicativa Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, escala 1:400.00. INGEOMINAS, Bogotá.

³⁸ Moreno, C.J., Horton, B.K., Caballero, V., Mora, A., Parra, M., and Sierra, J. 2011. Depositional and provenance record of the Paleogene transition from foreland to hinterland basin evolution during Andean orogenesis, northern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(3): 246-236.

aflorante de la Formación Umir (denominado informalmente segmento superior) y 98.1 metros para el segmento aflorante de la Formación Lisama (denominado informalmente segmento inferior). El espesor calculado por medio de la poligonal levantada en la zona-1 muestra un espesor de 364.2 metros (Anexo C)

El levantamiento estratigráfico para la zona-2, Qda. Mata de Cacao, dio como resultado un espesor total de 557.3 metros estratigráficos de los cuales 550,8 metros corresponden al segmento superior de la Formación Umir y los restantes 6,5 metros al segmento inferior a la Formación Lisama. El espesor calculado por medio de la poligonal levantada en la zona-2 con un espesor de 536.3 metros (Anexo C)

6.2.3 Columnas Estratigráficas Generalizadas de la Zona-1 Río Sucio Escala 1: 1500 y Zona-2 Mata de Cacao Escala 1:2420. Los resultados obtenidos en paleopalinología y en la etapa de campo, se muestran simplificados, en las respectivas columnas estratigráficas generalizadas de las dos zonas, con las principales estructuras sedimentarias, minerales vistos en muestra de mano y evidencia paleontológica (Figuras 36 y 37) y (Anexos A y B).

Figura 36. Columna Estratigráfica Generalizada Zona-1, Río Sucio.

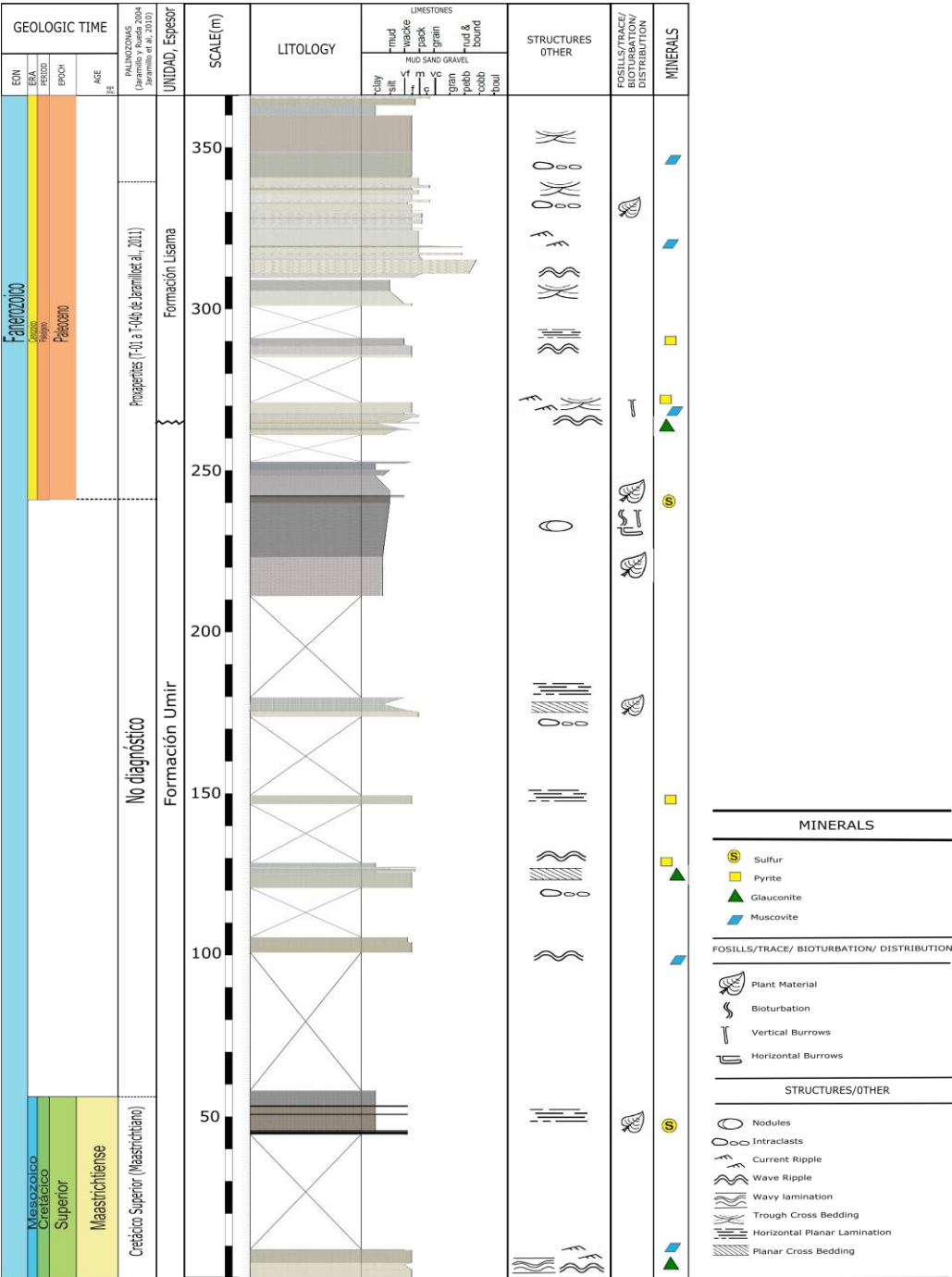
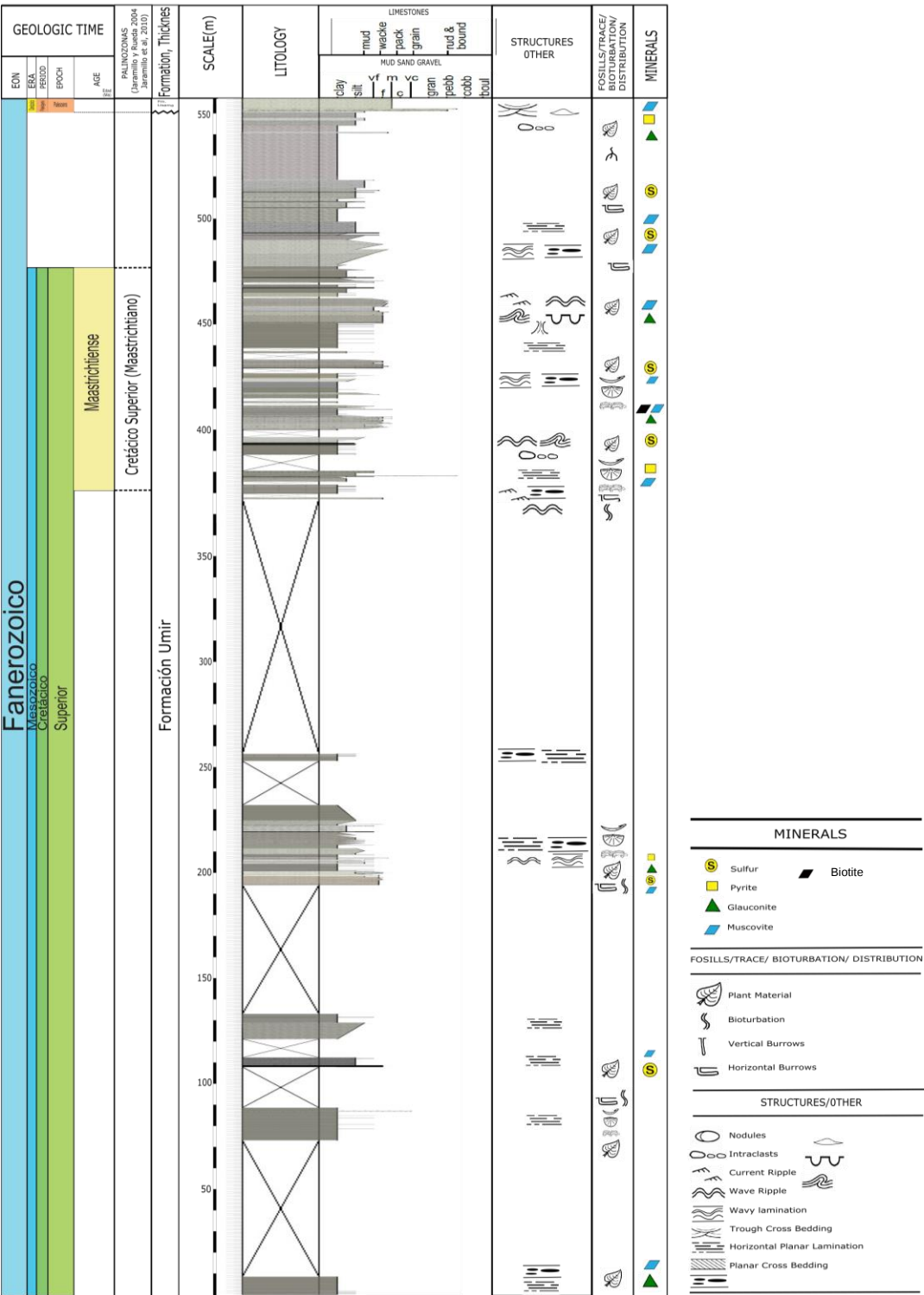


Figura 37. Columna Estratigráfica Generalizada Zona-2, Qda. Mata de Cacao.



6.2.4 Variación espesores estratos de Carbón Zona-1 y Zona-2. La variación de espesores de los estratos de carbón aflorantes se describen a continuación teniendo en cuenta su posición estratigráfica (Figura 38 y 39).

Figura 38. Variación espesores estratos de carbón zona-1. En la imagen se describe la posición en la columna estratigráfica y el espesor en centímetros de los mantos aflorantes de carbón.

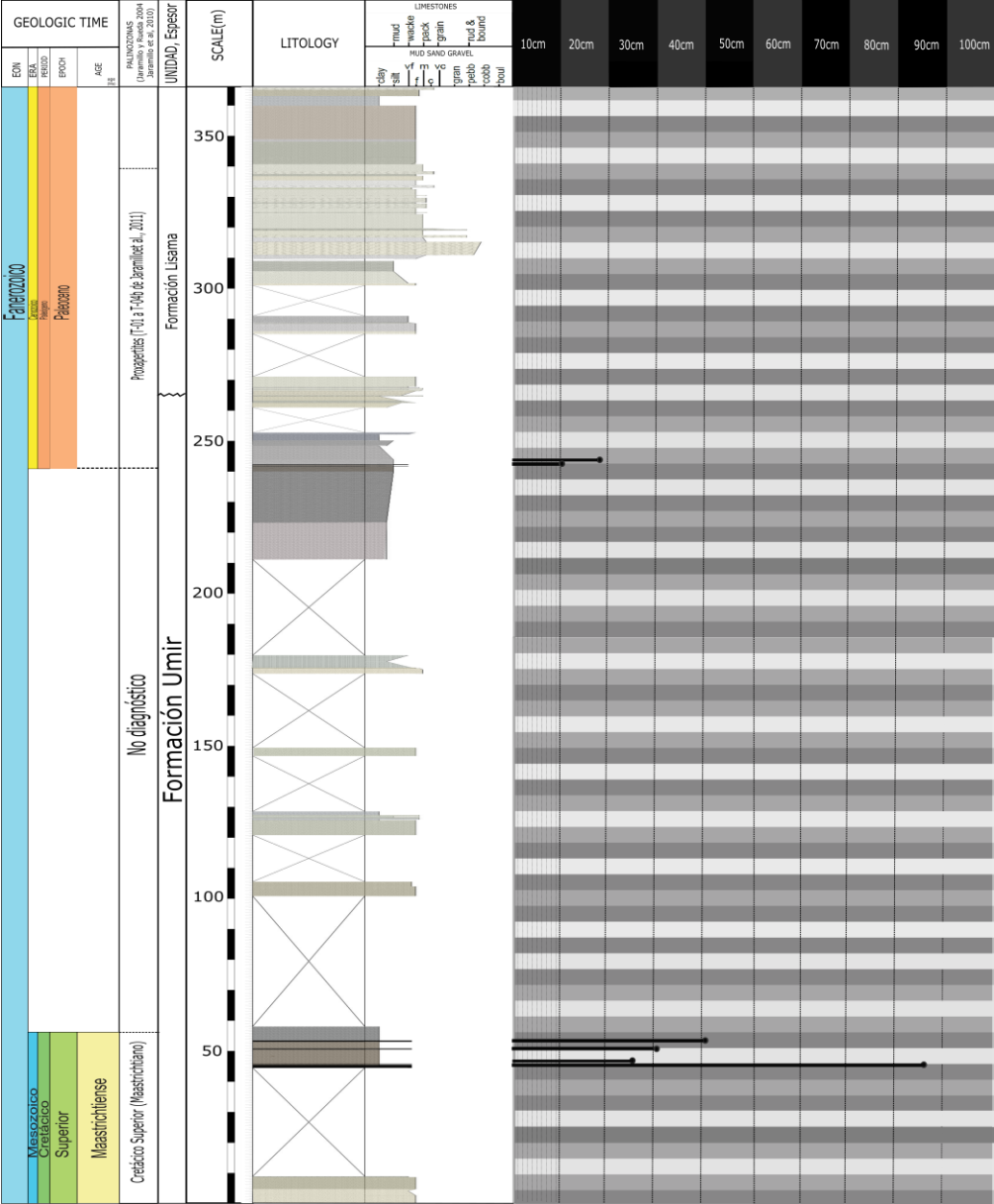
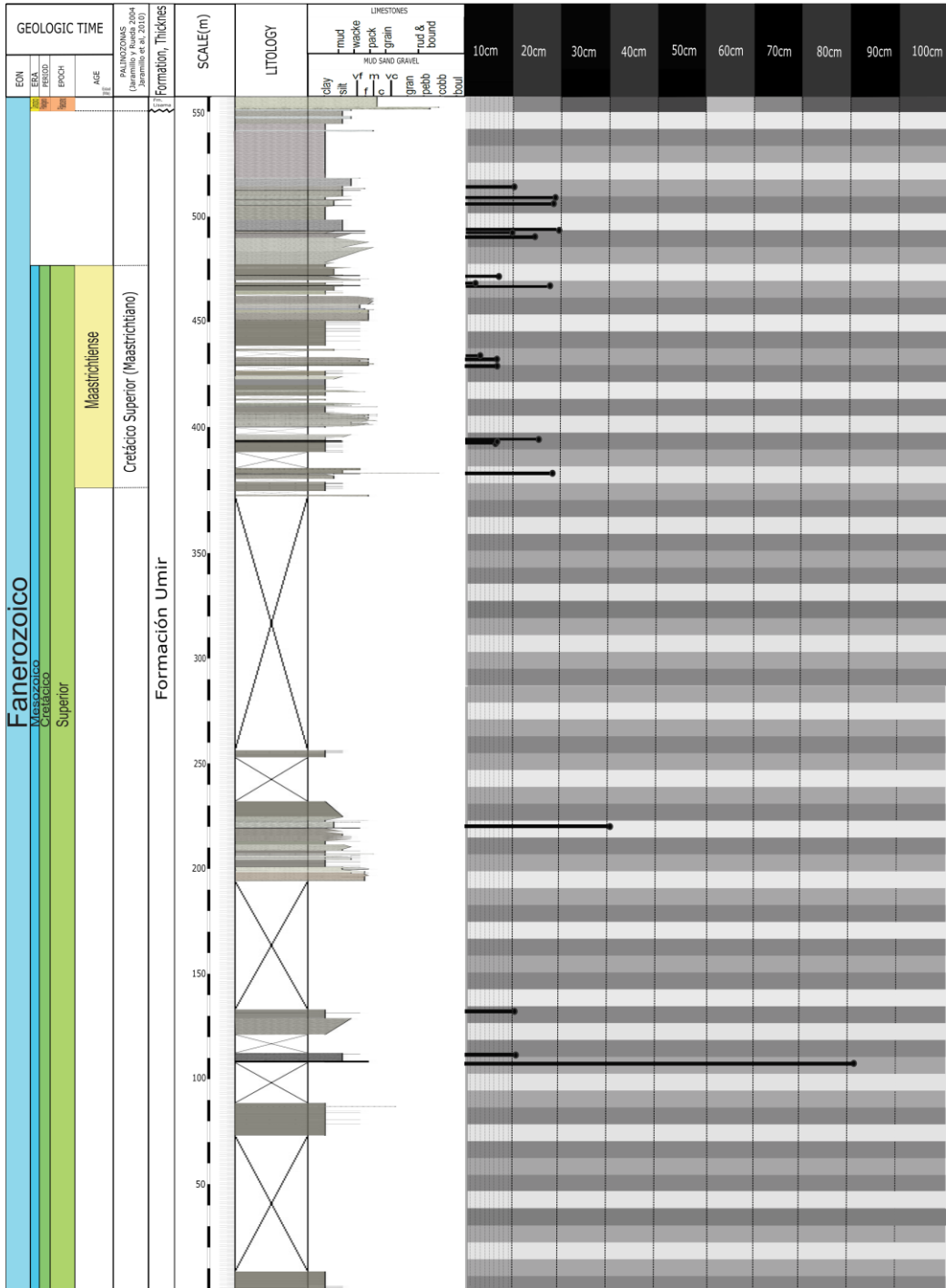


Figura 39. Variación espesores estratos de carbón zona-2. En la imagen se describe la posición en la columna estratigráfica y el espesor en centímetros de los mantos aflorantes de carbón



Los espesores los mantos de carbón evidenciados en afloramiento, de la zona-1 (Figura 38), corresponden a un espesor total de 215 cm los cuales corresponden a la Formación Umir.

Los espesores de los mantos de carbón en la zona-2 (Figura 39), con un total acumulado de 318 cm, corresponden a la Formación Umir.

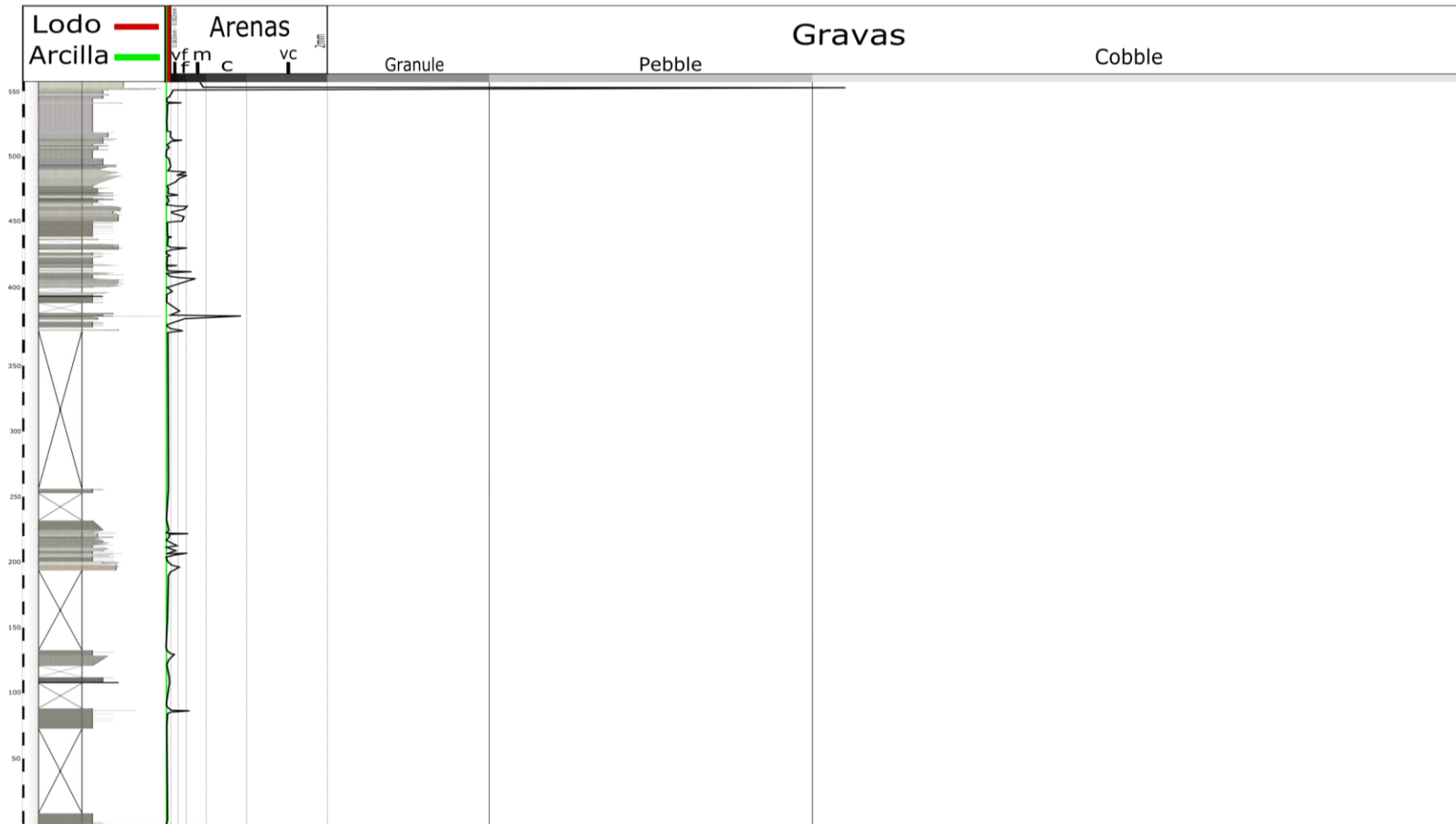
Los resultados de los espesores de los mantos de carbón, en general de tipo hulla y lignito de las zonas de estudio, evidencian una disminución de la cantidad de suministro de materia orgánica de tipo continental-transicional, hacia el final del segmento superior de la Formación Umir.

6.2.6 Variación Tamaño de Grano, Zona-1 y Zona-2. Con los datos obtenidos en la campaña de campo, se realizaron dos gráficos de la variación del tamaño de grano a escala real (Figura 40 y 41), con el fin de correlacionar, las dos columnas a través de esta característica textural. En las zonas no aflorantes se promedia el tamaño de grano hasta la nueva aparición.

Figura 40. Variación del tamaño grano, zona-1. En la imagen se describe la variación del tamaño de grano a escala real, de la litología aflorante en el área de Río Sucio.



Figura 41. Variación del tamaño de grano, zona-2. En la imagen se describe la variación del tamaño de grano a escala real, de la litología aflorante en el área, Qda. Mata de Cacao.



Los resultados de la variación de tamaño de grano, permiten correlacionar la primera aparición en las dos zonas en un pico de tamaño grano guijo (Figuras 40 y 41) relacionados con los intraconglomerados que se evidencian en los afloramientos 9 en la zona-1 (Figura 22) y en la zona-2, el afloramiento 11 (Figura 35).

6.3 PETROGRAFÍA

Los resultados petrográficos se enmarcan en los análisis realizados a las 16 secciones delgadas muestreadas en las zonas de estudio (Tabla 4), a través del conteo de puntos (Tablas 6 ,7 ,8 y 9). La posición estratigráfica de cada muestra, se puede observar en las columnas de cada zona descrita (Anexos A y B) y con su clasificación composicional y textural (Figura 48). El análisis petrográfico detallado se puede ver en el (Anexo D). Las abreviaturas de la (Tabla 5), se usan para las descripciones de las secciones delgadas.

Tabla 4. Muestras analizadas en las dos zonas en cuestión

RÍO SUCIO	QDA. MATA DE CACAO
MU-E14	MH-E1.3
MU-E11	MH-E3.1
MU-E10	MH-E4.8
MU-E9	MH-E8A
MU-E2B	MH-E12B
MU-E2A	MH-E14A
MU-E1	MH-E17E
MT-E9.6	
MT-E8A	

Tabla 5. Abreviaturas para las descripciones petrográficas

CÓDIGO	SIGNIFICADO	CÓDIGO	SIGNIFICADO
Qzm	Cuarzo Monocristalino	Epi	Epidota
Qzpi	Cuarzo Policristalino ígneo	Bar	Barita
Qzpm	Cuarzo Policristalino Metamórfico	Py	Pirita
Fk	Feldespató potásico	Mus	Muscovita
Pl	Plagioclasa	Mag-ILM	Magnetita- Ilmenita
Lsa	Lítico Sedimentario arcilloso	Biot	Biotita
Lsc	Lítico Sedimentario chert	Gl	Glauconita
Lsl	Lítico Sedimentario limoso	M.O	Materia Orgánica
Lso	Lítico Sedimentario oxidado	Intr	Intraclasto
Lv	Lítico volcánico	MTZ.A	Matriz Arcillosa
Lp	Lítico plutónico	Pseu.MTZ	Pseudomatriz
Lvm	Lítico volcánico máfico	Calcem	Cemento Calcáreo
Lvf	Lítico volcánico félsico	CalcemF	Cemento Calcáreo Ferroso
Lpm	Lítico plutónico máfico	Silcem	Cemento silíceo
Lpf	Lítico plutónico félsico	CemPy	Cemento pirita
Lmf	Lítico metamórfico foliado	Ferrcem	Cemento Ferruginoso
Lmnf	Lítico metamórfico no foliado	Uncem	Cemento indiferenciado
Lu	Lítico indiferenciado	Calcem.Si	Cemento Calcáreo Siderítico
Leu	Leucoxeno	Por	Poró
Zirc	Zircón	For	Foraminífero
Arc. Ind.	Arcillas Indiferenciadas	Bt	Bioturbación
Arc.C	Arcilla Caolinita	Rad	Radiolario
Arc.Clor	Arcillas Clorita	Fo	Fósil
Cia	Cianita	Tur	Turmalina
Ox	Oxido	Sid.P.	Siderita Primaria
NP	Nicoles Paralelos	Sid.S.	Siderita Secundaria
NX	Nicoles Cruzados	Pri ϕ	Porosidad Primaria
LR	Luz Reflejada	Sec ϕ	Porosidad Secundaria
(10X)	Numero de objetivo	Tr	Trazas

Tabla 6. Resultados porcentual de conteo de puntos de las muestras zona-1

Muestra	Qz	Fp	Pl	Líticos								Minerales Accesorios								Dúctiles				Matriz	Minerales Aglutinantes												Porosidad				Total número de Puntos				
				Sed				Ign				Met				Total Lit.	Opacos				Translucidos				Total Acc.	Micas		M.O	Intr	Total Duct.	Ortoquímicos								Total Aglutinantes	Pri φ		Sec. φ		Total	
				Lsc	Lsa	Lsl	Lv	Lp	Lmf	Lmnf	Leu	Py	Mag-ILM	Anort	Tur		Zirc	Gl	Epi	Mus	Biot	Disemada	Arc.Clor			Arc.C	Sid.P	Sid.Sec			Arc.Ind	Cem.Cal	Cem.CaIF	Bar	Disol.	Fract									
MU-E14	55,5	0,8	0,0	2,2	6,6	0,0	19,5	0,0	3,8	0,0	32,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	3,6	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	1,4	5,2	0,3	0,0	5,5	364					
MU-E11	27,4	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,6	0,0	1,9	0,6	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	6,0	3,1	0,6	1,3	0,0	5,0	58,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,3	1,6	318						
MU-E10	48,5	0,0	0,0	8,0	0,0	0,0	18,7	0,0	5,4	0,0	32,1	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	0,3	7,0	0,0	7,4	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	9,4	0,7	0,0	0,0	0,7	299					
MU-E9	39,3	0,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,0	0,6	0,0	0,0	0,3	3,2	0,0	5,2	1,9	0,0	3,2	0,0	2,0	47,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,7	0,0	0,6	0,6	308						
MU-E2-B	37,8	0,3	0,3	2,1	0,0	0,0	13,6	3,9	7,3	0,0	26,9	1,2	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	11,8	0,0	11,8	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	5,4	0,3	0,0	0,0	0,3	331					
MU-E2-A	35,4	0,0	2,2	2,9	0,0	0,0	28,8	0,4	5,8	0,4	38,3	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,7	0,0	0,4	0,0	1,1	36,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	2,6	2,2	0,0	0,0	2,2	274					
MU-E1	16,0	4,0	0,0	4,3	0,0	0,0	31,0	0,7	1,1	0,0	37,0	0,4	0,7	2,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	3,9	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	29,2	0,0	40,2	0,4	0,0	0,0	0,4	282					
MT-E9.6	32,1	1,4	1,1	3,1	4,8	0,0	20,0	2,8	5,9	2,5	39,2	1,4	0,3	0,0	2,5	0,0	1,4	0,8	0,0	6,5	2,8	0,0	0,8	0,0	3,7	10,7	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	3,7	0,8	0,0	0,8	1,7	355					
MT-E8-A	35,2	2,8	0,6	0,3	0,6	0,0	1,7	0,8	1,4	0,0	4,7	0,0	0,3	0,0	3,4	0,0	1,1	0,6	0,0	5,3	1,4	0,0	5,0	0,0	6,4	44,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	358					

Tabla 7. Resumen porcentual de conteo de puntos, zona-1

Muestras	Qz %	Fp%	Pl%	Líticos%	Minerales Accesorios%	Dúctiles%	Matriz%	Minerales Aglutinantes%	Porosidad%	Total número de Puntos
MU-E14	55,5	0,8	0,0	32,1	0,0	4,7	0,0	1,4	5,5	364
MU-E11	27,4	0,0	0,0	1,6	6,0	5,0	58,5	0,0	1,6	318
MU-E10	48,5	0,0	0,0	32,1	2,0	7,4	0,0	9,4	0,7	299
MU-E9	39,3	0,6	0,0	1,3	5,2	2,0	47,1	0,7	0,6	308
MU-E2-B	37,8	0,3	0,3	26,9	3,9	11,8	13,3	5,4	0,3	331
MU-E2-A	35,4	0,0	2,2	38,3	1,5	1,1	36,5	2,6	2,2	274
MU-E1	16,0	4,0	0,0	37,0	3,9	0,4	2,1	40,2	0,4	282
MT-E9.6	32,1	1,4	1,1	38,5	6,5	3,7	10,7	3,7	1,7	355
MT-E8-A	35,2	2,8	0,6	4,7	5,3	6,4	44,7	0,0	0,3	358

Tabla 8. Resultados porcentual de conteo de puntos de las muestras zona-2

Muestra	Qz	Fp	Pl	Líticos								Minerales Accesorios										Dúctiles					Matriz	Minerales Aglutinantes								Porosidad			Total número de Puntos
				Sed			Ign		Met			Total Lit.	Opacos		Translucidos					Total Acc.	Micas		M.O Disemina da	Intr	Total Duct.	Ortoquímicos						Total Aglutinantes	Pri φ	Sec. φ		Total			
				Lsc	Lsa	Lsl	Lv	Lp	Lmf	Lmnf	Leu		Py	Mag- ILM	Anort	Tur	Zirc	Gl	Epi		Mus	Biot				Arc. Clor		Arc.C	Sid. P	Sid. Sec	Arc. Ind			Cem. Cal	Cem. CalF		Disolución	Fracturas	
MH-E1.3	35,0	1,0	3,7	4,0	3,4	0,0	29,6	6,7	3,4	0,0	47,1	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,7	0,0	3,7	1,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,1	0,0	0,1	297			
MH-E3.1	10,1	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,9	0,3	9,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,3	0,0	14,0	2,1	0,3	0,9	0,0	3,3	55,8	0,6	0,0	0,9	6,3	0,0	0,0	0,0	7,8	6,0	0,0	1,2	7,2	335
MH-E4.8	22,4	1,5	1,5	8,5	11,2	0,6	7,6	1,8	0,9	0,3	30,9	0,0	1,5	0,0	3,3	0,0	0,0	0,6	0,0	5,5	0,9	0,0	0,0	1,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,5	10,0	34,5	1,5	0,0	0,0	1,5	330	
MH-E8A	22,3	1,0	1,3	0,3	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	4,8	3,2	0,3	0,3	2,3	0,0	8,9	1,6	0,0	4,5	1,3	7,4	47,4	0,3	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	2,3	3,5	0,3	0,6	4,5	310	
MH-E12B	27,5	2,6	1,2	2,0	12,6	0,0	8,2	1,2	0,0	0,0	24,0	0,0	0,3	0,6	0,9	0,0	0,0	2,9	0,6	5,3	1,8	0,0	0,0	0,6	2,3	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	9,4	25,4	35,7	1,5	0,0	0,0	1,5	342
MH-E14A	31,9	0,9	0,9	1,9	12,0	0,0	22,4	5,4	2,2	0,3	44,2	0,3	1,3	0,0	2,2	0,0	0,6	0,9	0,0	5,4	1,6	0,0	1,9	0,6	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,6	8,2	10,7	1,9	0,0	0,0	1,9	317
MH-E17E	35,4	1,3	2,2	1,9	0,0	0,0	17,1	3,5	0,0	2,2	24,7	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	2,2	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	4,1	21,8	30,7	1,9	0,0	0,0	1,9	316

Tabla 9. Resumen porcentual de conteo de puntos de las muestras zona-2

Muestras	Qz%	Fp%	Pl%	Líticos%	Minerales Accesorios%	Dúctiles%	Matriz%	Minerales Aglutinantes%	Porosidad%	Total número de Puntos
MH-E1.3	35,0	1,0	3,7	47,1	3,7	1,1	0,0	0,0	0,1	297
MH-E3.1	10,1	0,6	0,3	0,9	14,0	3,3	55,8	7,8	7,2	335
MH-E4.8	22,4	1,5	1,5	30,9	5,5	2,1	0,0	34,5	1,5	330
MH-E8A	22,3	1,0	1,3	2,9	8,9	7,4	47,4	2,3	4,5	310
MH-E12B	27,5	2,6	1,2	24,0	5,3	2,3	0,0	35,7	1,5	342
MH-E14A	31,9	0,9	0,9	44,2	5,4	4,1	0,0	10,7	1,9	317
MH-E17E	35,4	1,3	2,2	24,7	2,8	0,9	0,0	30,7	1,9	316

6.3.1 Resultados, clasificación composicional y textural Zona-1 y Zona-2. Las muestras se clasificaron texturalmente a través de la metodología de Folk (1974)³⁹. Composicionalmente 15 de las 16 secciones delgadas, se clasificaron según Folk (1974)⁴⁰ y 1 se clasificó según Pettijohn (1987)⁴¹, por su porcentaje de matriz y arena.

Tabla 10. Resultado composicional de las muestras analizadas, zona-1.

MUESTRA	Q	F	RF	RESULTADOS
MU-E14	62,73	0,93	36,34	Litoarenita
MU-E11	94,57	0,00	5,43	Lodolita con glauconita
MU-E10	60,17	0,00	39,83	Litoarenita
MU-E9	95,28	1,57	3,15	Lodolita Arenosa con glauconita
MU-E2-B	57,87	0,93	41,20	Lodolita Arenosa con materia orgánica
MU-E2-A	46,63	2,88	50,48	Litoarenita
MU-E1	30,00	0,67	69,33	Litoarenita
MT-E9,6	43,51	3,44	53,05	Lodolita con Anortoclasa
MT-E8-A	81,29	7,74	10,97	Lodolita Arenosa con Anortoclasa

Tabla 11. Resultado composicional de las muestras analizadas, Zona-2

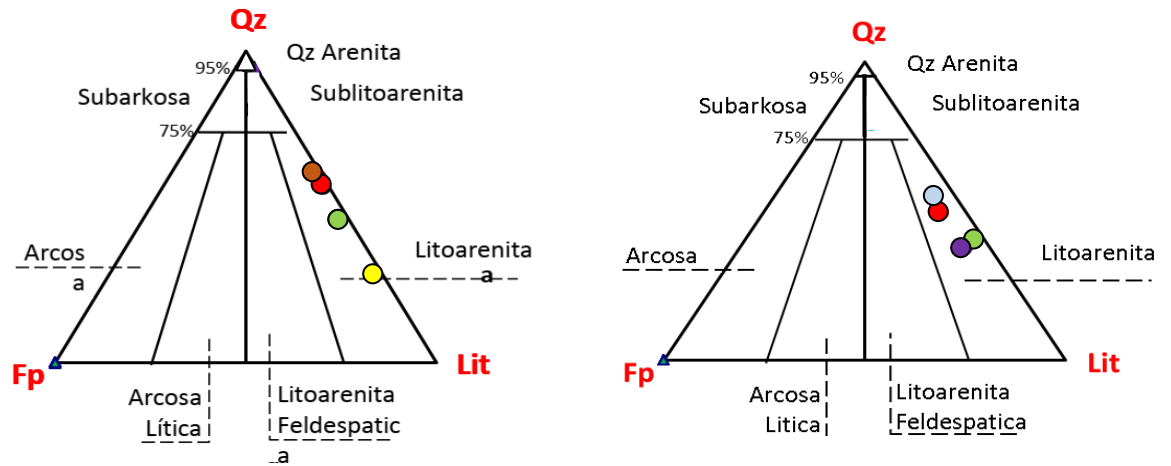
MUESTRA	Q	F	RF	RESULTADOS
MH-E17E	55,72	5,47	38,81	Litoarenita
MH-E14A	40,89	2,43	56,68	Litoarenita
MH-E12B	49,74	6,88	43,39	Litoarenita
MH-E8A	81,18	8,24	10,59	Lodolita con foraminíferos
MH-E4.8	39,78	5,38	54,84	Grauvaca Lítica
MH-E3.1	85,00	7,40	7,60	Lodolita con siderita
MH-E1.3	40,31	5,43	54,26	Litoarenita

³⁹ Folk, R.L. Petrology of Sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co. Austin, Texas. 1974.

⁴⁰ Ibip.,p. 108

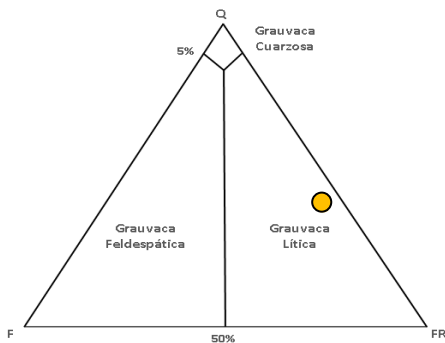
⁴¹ Pettijohn F, Potter P y Siever R. Sand and sandstone, Springer – Verlag, New York. 1987,

Figura 42. Triángulo de Folk 1974, para la clasificación composicional areniscas, zona-1 y Zona-2. Margen izquierdo muestras zona-1 y margen derecho muestras zona-2. El color de cada muestra está relacionado con las tablas 10 y 11.



Fuente: Tomado y modificado Folk. (1974)⁴²

Figura 43. Triángulo de Pettijohn 1987, para la clasificación composicional de Grauvacas, muestra MH-E4.8.



Fuente: Tomado y modificado Pettijohn et al. (1987)⁴³

Los resultados de la clasificación composicional del segmento superior de la Formación Umir (denominado informalmente), correlacionando las dos zonas de estudio, con un total de 12 muestras analizadas, se observa que 5 muestras (MU-

⁴² Folk, R.L. Petrology of Sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co. Austin, Texas. 1974.

⁴³ Pettijohn F, Potter P y Siever R. Sand and sandstone, Springer – Verlag, New York. 1987,

E1, MU-E2A, MH-E17E, MH-E14A y MH-E12B) fueron clasificadas como litoarenitas, siendo esta misma la petrofacies predominante; y las 7 restantes, (MH-E8A) como lodolita con foraminíferos, (MH-E4.8) grauvaca lítica, (MH-E3.1) lodolita con siderita, (MT-E8A) lodolita arenosa con anortoclasa, (MT-E9.6) lodolita con anortoclasa, (MU-E2B) lodolita arenosa con materia orgánica y (MU-E9) lodolita arenosa con glauconita.

Los resultados para el segmento inferior de la Formación Lisama, con un total de 4 muestras, se observa que 3 muestras, (MH-E1.3, MU-E10 y MU-E14) fueron clasificadas como litoarenitas, la muestra restante, (MU-E11) se clasificó como lodolita con glauconita.

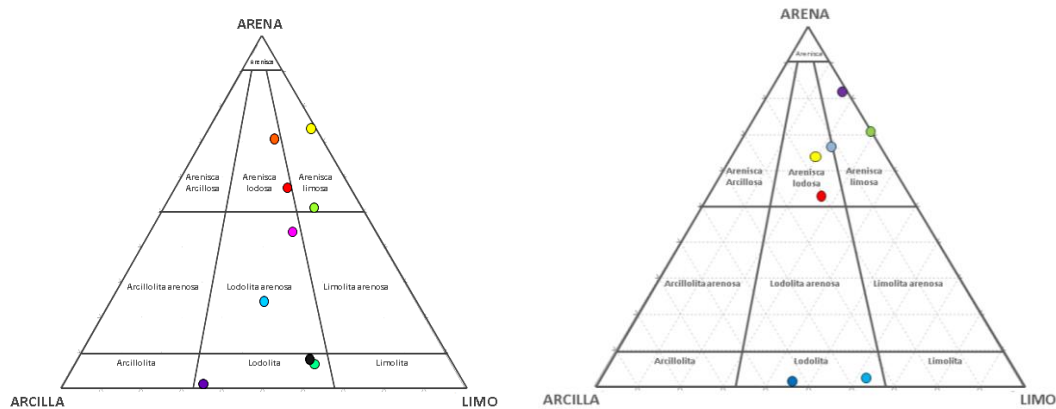
Tabla 12. Resultado textural de las muestras analizadas, zona-1

MUESTRA	Arena	Limo	Arcilla	RESULTADOS
MU-E14	70,30	18,10	11,50	Arenisca Lodosa
MU-E11	0,00	36,80	63,20	Lodolita
MU-E10	56,20	28,60	15,20	Arenisca Lodosa
MU-E9	5,70	59,60	34,70	Lodolita Arenosa
MU-E2-B	23,90	38,50	37,60	Lodolita Arenosa
MU-E2-A	50,50	37,10	12,40	Arenisca Limosa
MU-E1	73,90	25,10	1,00	Arenisca Limosa
MT-E9,6	44,00	35,80	20,20	Lodolita Arenosa
MT-E8-A	9,70	57,80	32,50	Lodolita

Tabla 13. Resultado textural de las muestras analizadas, zona-2

MUESTRA	Arena	Limo	Arcilla	RESULTADOS
MH-E17E	66,70	22,20	11,10	Arenisca Lodosa
MH-E14A	70,10	29,90	0,00	Arenisca Limosa
MH-E12B	52,50	27,60	19,90	Arenisca Lodosa
MH-E8A	1,80	61,60	36,50	Lodolita
MH-E4.8	63,40	19,50	17,10	Arenisca Lodosa
MH-E3.1	1,70	44,50	53,70	Lodolita
MH-E1.3	82,40	17,50	0,00	Arenisca Limosa

Figura 44. Triángulo de Folk para la clasificación textural, zona-1 y Zona-2. Margen izquierdo muestras zona-1 y margen derecho muestras zona-2. El color de cada muestra está relacionado con las tablas 12 y 13.



Fuente: Tomado y modificado Folk. (1974)⁴⁴

Los resultados de la clasificación textural del segmento superior de la Formación Umir, correlacionando las dos zonas de estudio, con un total de 12 muestras analizadas, se observa que 3 muestras (MH-E14A, MU-E1, y MU-E2A) fueron clasificadas como areniscas limosas; 3 muestras (MH-E17E, MH-E12B y MH-E4.8) como areniscas lodosas; 3 muestras (MH-E8A, MH-3.1 y MT-E8A) como lodolitas; y las 3 muestras restantes (MT-E9.6, MU-E2B, y MU-E9) como lodolitas arenosas.

Los resultados para el segmento inferior de la Formación Lisama, con un total de 4 muestras, se observa que 2 muestras (MU-E14 y MU-E10) fueron clasificadas como arenisca lodosa; y las dos restantes, (MU-E11) como lodolita y (MH-E1.3) arenisca limosa.

⁴⁴ Folk, R.L. Petrology of Sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co. Austin, Texas. 1974.

6.3.2 Contenido líticos Areniscas Zona-1 y Zona-2. Los resultados de la clasificación de rocas siliciclasticas en areniscas, según el porcentaje de líticos sedimentarias, metamórficas y volcánicos (Tabla 14 y 15), se muestran en la (Figura 45).

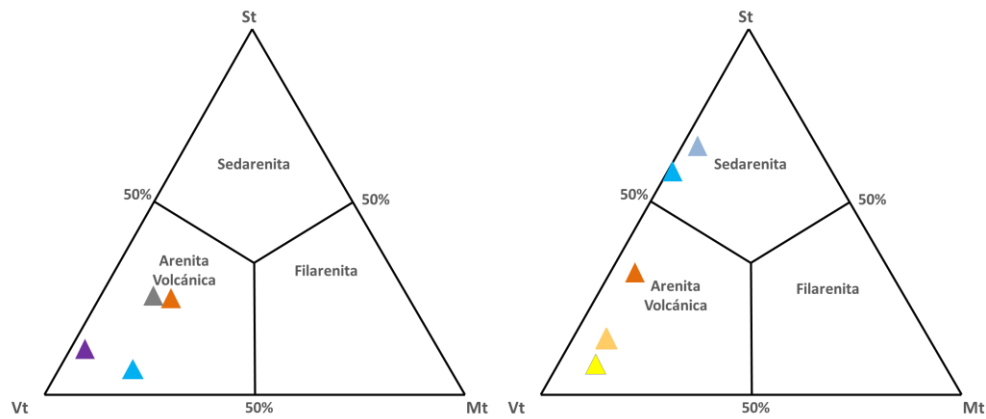
Tabla 14. Contenido porcentual de líticos areniscas zona-1.

Muestras Zona-1	Líticos Sedimentarios %	Líticos Volcánicos %	Líticos Metamórficos %
MU-E14	27,4	60,7	11,8
MU-E10	25,0	58,2	17,0
MU-E2-A	7,6	76,2	16,2
MU-E1	12,5	86,7	3,0

Tabla 15. Contenido porcentual de líticos areniscas zona-2.

Muestras Zona-2	Líticos Sedimentarios %	Líticos Volcánicos %	Líticos Metamórficos %
MH-E1.3	15,7	77,2	7,2
MH-E4.8	65,6	30,4	3,8
MH-E12B	60,8	39,2	0,0
MH-E14A	31,4	62,9	5,6
MH-E17E	7,7	83,4	8,9

Figura 45. Triángulo de Folk 1980 para el contenido de líticos, zona-1 y Zona-2. Triángulo de contenido de líticos en rocas sedimentarias según Folk 1980. Margen izquierdo muestras zona-1 y margen derecho muestras zona-2.



Fuente: Tomado y modificado Folk. (1980)⁴⁵

Los resultados de clasificación según el tipo de líticas de las zonas de estudio, describen una predominante procedencia de origen volcánico para las areniscas que infrayacen y suprayacen al límite K/Pg, siendo únicamente las muestras, (MH-E12B y MH-E4.8) de la zona-2 las únicas con dominio sedimentario.

6.3.3 Variación de: minerales, líticas, matriz y porosidad, Zona-1 y Zona-2. Los resultados petrográficos se muestran a continuación en las dos columnas estratigráficas generalizadas de cada zona, mostrando la variación de minerales, porosidad y matriz. Los afloramientos y áreas cubiertas en donde no hay un dato petrográfico, se promedian con los datos más próximos a estos.

⁴⁵ Folk, R.L. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing, Austin, TX. 1980., 184p

Figura 46. Variación componentes principales, zona-1. En la imagen se observa la ubicación en la columna estratigráfica de las muestras analizadas por petrografía y los cambios generalizados de: minerales, líticos, matriz y porosidad, vistos en diagrama de áreas.

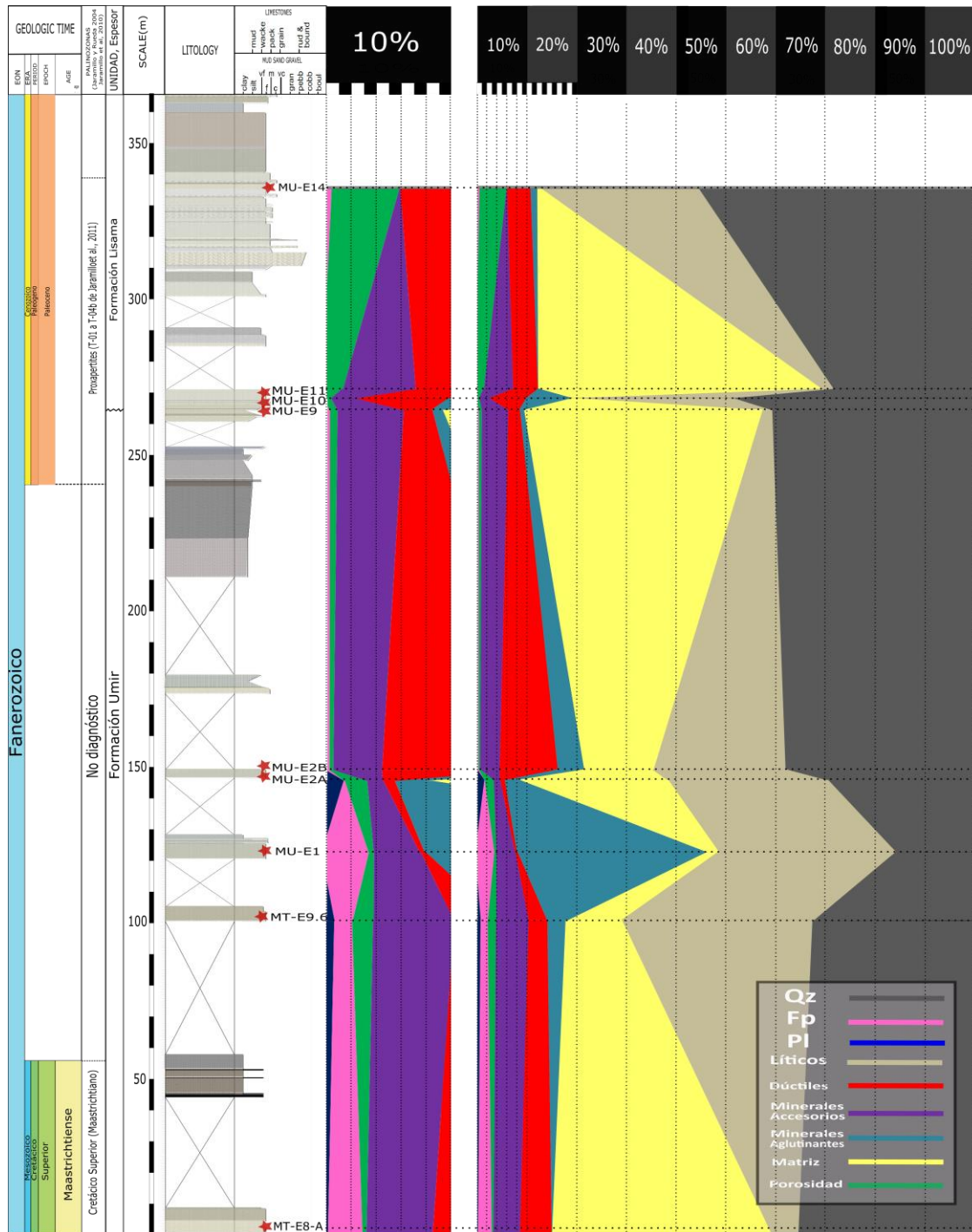
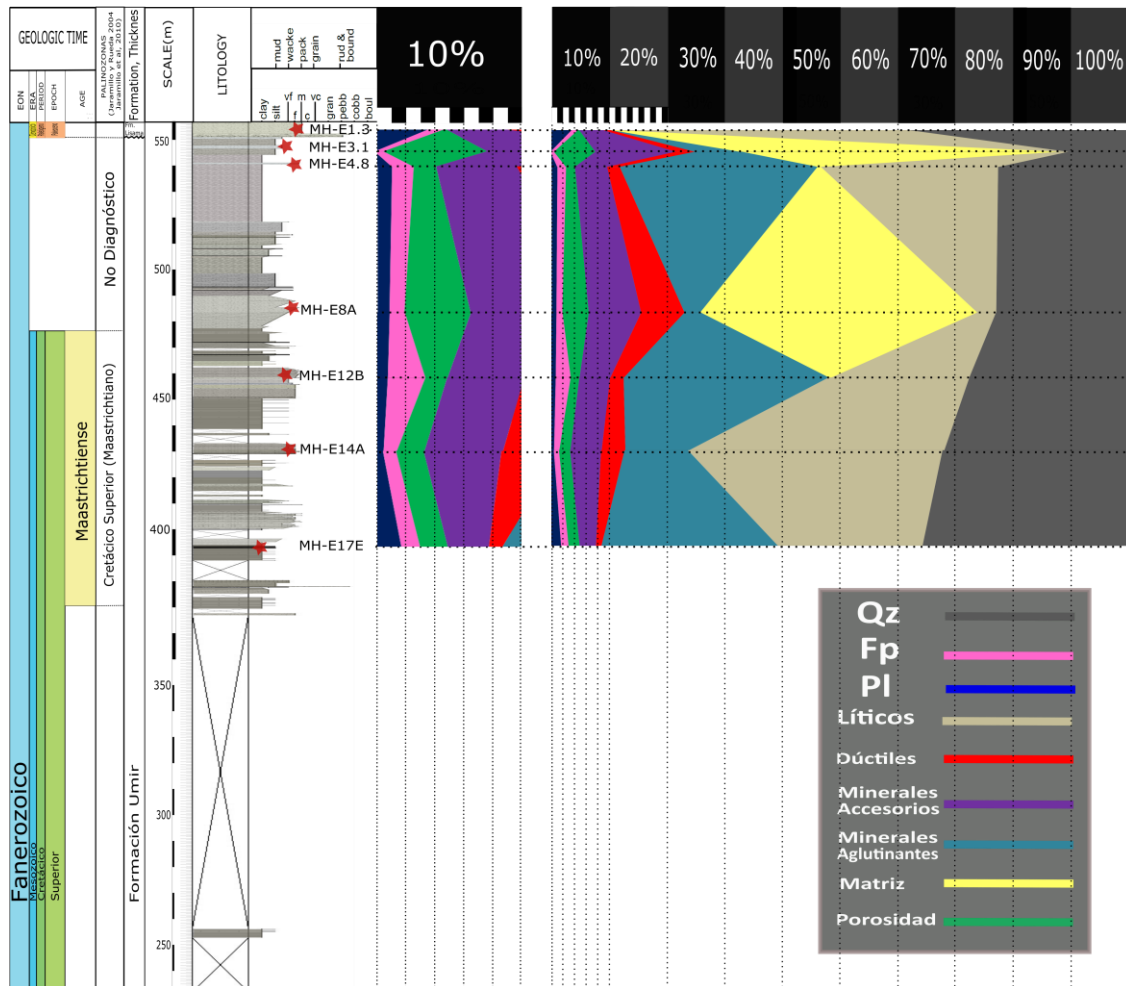


Figura 47. Variación componentes principales, zona-2. En la imagen se observa la ubicación en la columna estratigráfica de las muestras analizadas por petrografía y los cambios generalizados de: minerales, líticos, matriz y porosidad, vistos en diagrama de áreas.



Los resultados de la variación mineralógica (Figuras 46 y 47), se describen en base a los resultados obtenidos en petrografía, correlacionando las dos zonas de estudio para los segmentos superior de la Formación Umir y segmento inferior de la Formación Lisama.

La variación del cuarzo hacia el límite K/Pg, en el segmento superior de la Formación Umir describe una tendencia decreciente con valores que van del

35,4% al 10,1% en la zona-2 y de 35.5% al 16% para la zona-1, posteriormente se observa un incremento generalizado del 10,1% al 35% en la zona-2 y del 16% al 55,5% para la zona-1.

El feldespato potásico presenta hacia el límite de los periodos una tendencia menguante, que va de valores de (2,8-4,0%) a trazas, registrado en la zona-1 y de (1,3-2,6%) a 0,6% en la zona-2. En el segmento inferior de la Formación Lisama que suprayace al límite, los valores son estables en un porcentaje muy bajo siendo de 0,6% a 0,8% zona-1 y 0,6% a 1,0% en la zona-2.

Las plagioclasas registradas en petrografía presentan una tendencia estable entre valores de 2,2% a 1,5% hacia el límite K/Pg, en la zona-2 y una tendencia creciente y decreciente de valores de 0,6% a 2,2% hasta llegar a trazas en la zona-1. En el segmento inferior de la Formación Lisama no se registran valores apreciables para la zona-1, siendo solo la zona-2 la que marca una tendencia creciente de valores de 0,3% a 3,7% para las plagioclasas.

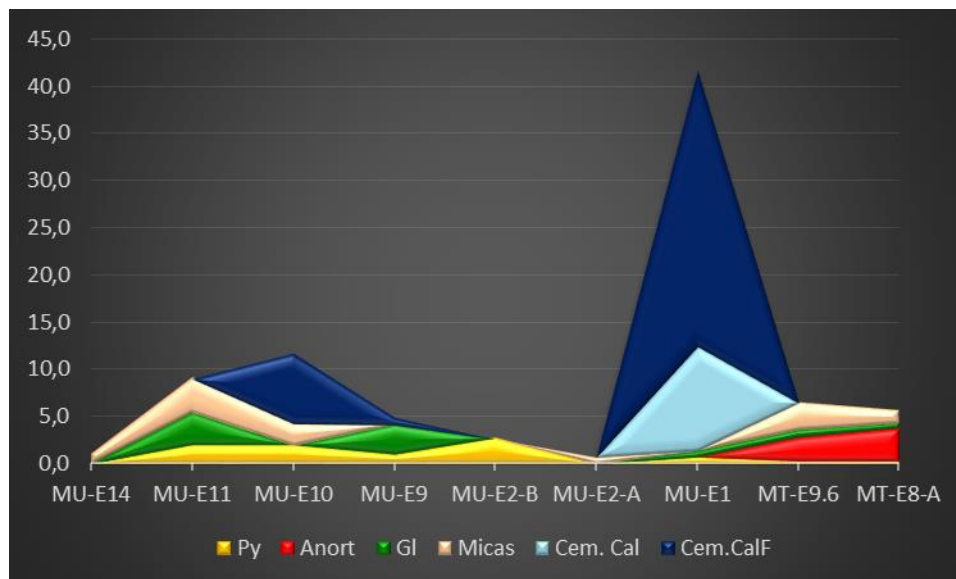
La variación de los líticos principalmente de origen volcánico presentan una postura decreciente hacia el límite de los periodos en la zona-1 desde la muestra (MT-E9.6) teniendo valores que van de 38,5% a 1,3% y en la zona-2 con valores que van de (24,7-44,2%) a 0,9% hacia el límite. Estratigráficamente por encima del límite se observa que el porcentaje de líticos tiende aumentar nuevamente de valores de 1,3% en la muestra (MU-E9) a 32,1% en la zona-1 y para la zona-2 de 0,9% a 4,7% de líticos.

Los resultados petrográficos de los minerales accesorios en los cuales se registran: leucoxeno (rutilo y anatasa), pirita, ilmenita-magnetita, anortoclasa, turmalina, zircón, glauconita y epidota; tienen como principales protagonistas para la caracterización del límite: la glauconita, pirita y anortoclasa (Figura 48 y 49).

La glauconita (Figura 53) presenta una tendencia decreciente hacia el límite de los periodos, pasando de valores 0,6% a trazas en la muestra (MU-E2B) en la zona1 y

en la zona-2 de valores de (2,3-0,9%) a 0,3% en la muestra (MH-E3.1). En el segmento inferior de la Formación Lisama, puntualmente en los primeros niveles presenta una tendencia creciente de glauconita con valores de trazas a 3,5% en la zona-1 y para la zona-2 de valores de 0,3% muestra (MH-E3.1) a 0,7% muestra (MH-E1.3).

Figura 48. Resultados porcentuales de los principales minerales accesorios, micas y aglutinantes, zona-1.

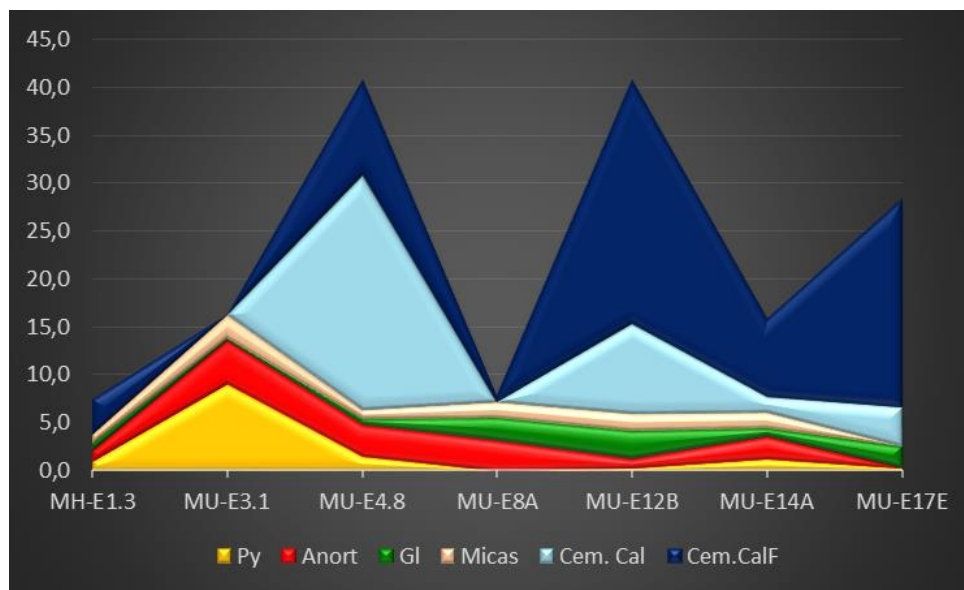


La pirita (Figura 68) presenta un incremento gradual hacia el límite K/Pg, de valores de 0,3% a 2,7% en la muestra (MU-E2B), en la zona-1 (Figura 66) y en la zona-2, un aumento de 0,3% a 9,0% registrado en la muestra (MH-E3.1). Suprayaciendo al límite los valores se muestran estables (1-2%) con una tendencia a decrecer a trazas, en la zona-1, y en la zona-2 decrece el porcentaje de pirita pasado de un 9,0% en la muestra (MH-E3.1) a 1% en la muestra (MH-E1.3).

La anortoclasa (Figuras 51 y 67) es un feldespato mayormente rico en sodio que en potasio, no se contó en los Feldespatos potásicos ni en las plagioclasas por presentar porcentajes apreciables para la caracterización del límite de estudio; se

presenta hacia el límite de los periodos con un decrecimiento en porcentaje del 3,4% de la muestra (MT-E8A) hasta llegar a niveles de trazas a registrado en la muestra (MU-E1) en la zona-1. En la zona-2 la anortoclasa se evidencia con una tendencia creciente hacia el segmento superior de la Formación Umir, con valores de trazas en su primer registro muestra (MH-E17E) a valores de 4,5% en la sección (MH-E3.1), posteriormente hacia el segmento inferior de la Formación Lisama, la anortoclasa disminuye de 4,5% a 1,0% en la última sección analizada.

Figura 49. Resultados porcentuales de principales minerales accesorios, micas y aglutinantes, zona-2.



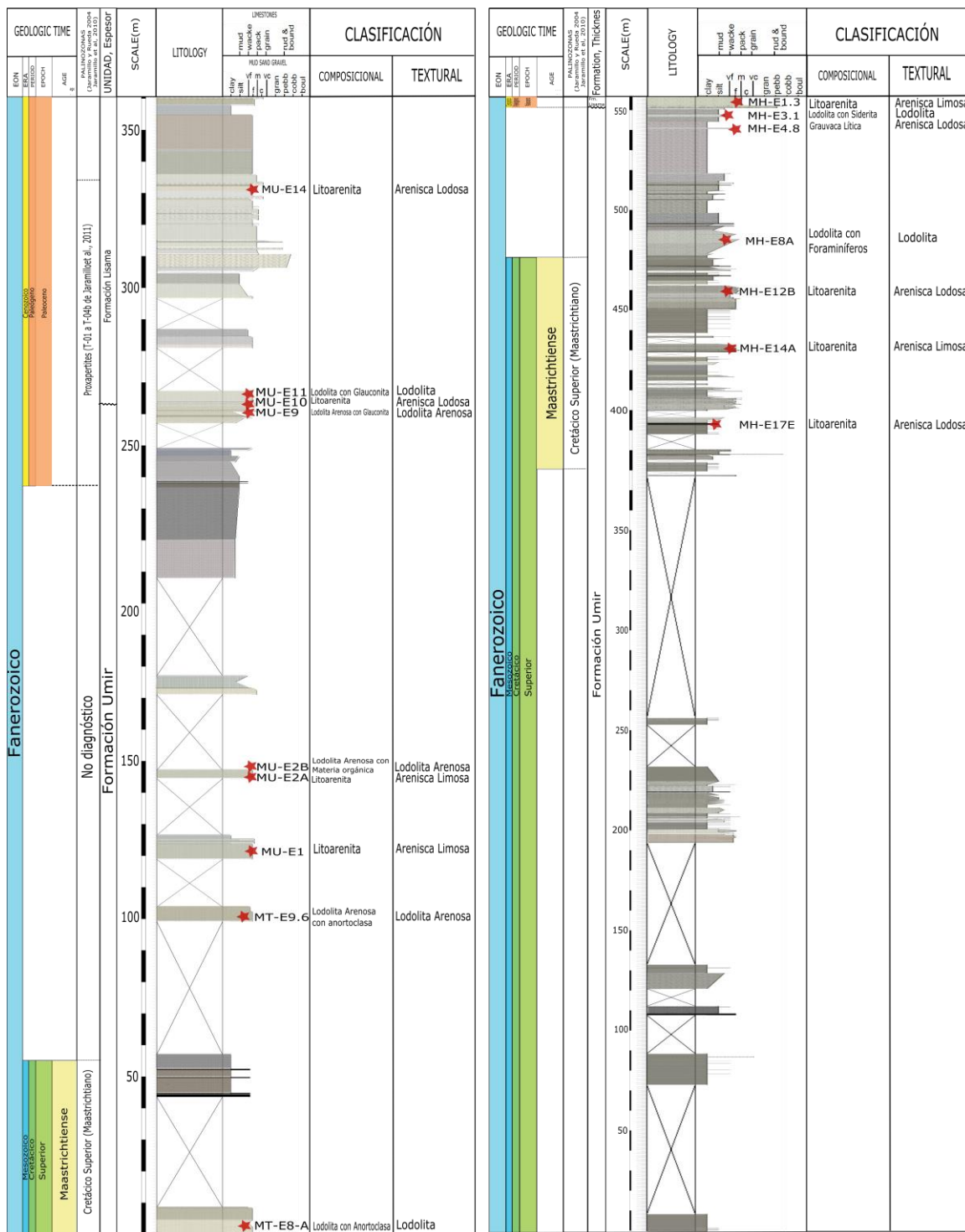
Los resultados para los dúctiles los cuales se componen de: micas (muscovita y biotita), materia orgánica diseminada e intraclastos, muestran para la las micas una tendencia menguante en la zona-1 con valores de (1,4-2,8%) para los dos primeros muestras, pasando a niveles de trazas en la muestra (MU-E1) y porcentajes bajos de 0,7% en la muestra (MU-E2A), con un posterior incremento hacia en el segmento inferior de la Formación Lisama con valores de (0-0,7%) a 3,7% en la sección (MU-E11). En la zona-2 las micas presentan una tendencia creciente leve hacia el límite de los periodos, de 1,6% a 2,4% desde la muestra

(MH-E14A) a la muestra (MH-E3.1) y posterior decrecimiento de 2,4% a 1,0% en la última muestra analizada.

Los aglutinantes los cuales comprende minerales arcillosos, barita, siderita, y cementos calcáreo ferroso (ankerita) y no ferroso (calcita), tienen como principales minerales los dos últimos mencionados, los cuales presenta en conjunto en la zona-1 un decrecimiento generalizado hacia el límite objeto de estudio, con porcentajes de 11% en la muestra (MU-E1) a trazas para la calcita y 29,2% en la sección (MU-E1) a trazas para la ankerita. Suprayaciendo al límite los niveles de calcita no son ya apreciables, solo se registra la ankerita en los primeros estratos de la Formación Lisama con valores de 0,7% y 7,4% para la secciones (MU-E9 y MU-E10). En la zona-2 se observa para la calcita un aumento generalizado de valores de 4,1% para el primer registro muestra (MH-E17E) a 24,5% en la sección (MH-E4.8) con un posterior decrecimiento del 24,5% a 0% para el primer registro en Formación Lisama. La ankerita en la zona-2 presenta una tendencia decreciente hacia el límite K/Pg y el segmento inferior de la Formación Lisama con cifras del 21,8% para el primer registro muestra (MH-E17E) a 3,7% muestra (MH-E1.3).

El porcentaje de matriz registrado por medio de la petrografía predominantemente de arcillas (Figura 72), presenta una tendencia menguante y posteriormente creciente hacia el límite K/Pg en la zona-1 registrado con valores desde la muestra (MT-E8A) con 44,7% a la muestra (MU-E1) con 2,1% siguiendo con valores crecientes hasta llegar a 47,1% en la muestra (MU-E9) y posteriormente la Formación Lisama con una tendencia variante de 0% a 58,5%. En la zona-2 los resultados del porcentaje de matriz son muy variantes, no expresan una tendencia, registrando valores que van desde 0% a 55,8%.

Figura 50. Ubicación y resultados: composicional y textural, de las muestras analizadas por petrografía.



La porosidad de las secciones analizadas se observa, que para la zona-1 incrementa de forma general, con el primer registro en la muestra (MT-E8A) con un valor de 0,3% a la última muestra (MU-E14) con una porosidad de 5,5% del segmento superior de la Formación Lisama. En la zona-2 presenta una tendencia que aumenta hacía el límite objeto, desde el primera muestra a analizada (MH-E17E) con un valor del 1,9% a 7,2% en la sección (MH-E3.1), terminado en el último registro con un decreciendo al 0,1% en la muestra (MH-E1.3).

6.3.4 Descripción petrográfica Zona-1 y Zona-2. Los resultados de petrográficos realizados a las muestras (Tabla 4) se exponen a continuación con cuatro muestras representativas (Figuras 51, 52, 53 y 54), de las litologías finas y areniscas del segmento superior de la Formación Umir y el segmento inferior de la Formación Lisama, que infrayacen y suprayacen al límite objeto de estudio. Todas las descripciones detalladas de cada muestra se pueden ver en el (Anexo D).

6.3.4.1 Segmento superior Formación Umir. Litologías Finas: las muestras analizadas del segmento superior de la Formación Umir, presentan una variedad composicional de: lodolita con anortoclasa (MT-E9.6), lodolita arenosa con anortoclasa (MT-E8A), lodolita arenosa con glauconita (MU-E9), lodolita arenosa con materia orgánica (MU-E2B), lodolita con foraminíferos (MH-E8A) (Figura 51) y lodolita con siderita (MH-E3.1). Esta variación composicional está relacionada con la principal característica petrográfica que la destaca. La matriz de las muestra es arcillosa. Raramente se evidencia cementación calcárea. Las muestras texturalmente presentan un tamaño de grano limo y arcilla principalmente. En general los granos de limo apreciables son subredondeados-subabulares.

Ocasional mente hay presencia de radiolarios en la muestra (MT-E9.6) y foraminíferos bentónicos y plantónicos en la muestra (MH-E8A). Presenta moderadamente materia orgánica de origen vegetal.

Areniscas: cinco muestras de seis pertenecientes al segmento superior de la Formación Umir (MU-E1, MU-E2A, MH-E17E, MH-E14A y MH-E12B) fueron clasificadas como litoarenitas presentando como líticos volcánicos predominantes y la restante clasificada composicionalmente como grauvaca lítica. Las arenitas del segmento superior, se caracterizan su textura predominantemente de tamaño de grano de arena fina y secundario limo con forma de los granos subangulosos predominantemente y en menor cantidad subredondeados.

En general son bien seleccionadas, principalmente con cementación calcárea ferrosa y no ferrosa, predomina matriz arcillosa en muy baja cantidad, bajo contenido de materia orgánica, de origen vegetal. Todas las muestras a excepción de la muestra MU-E2A evidencian como mineral accesorio la glauconita. Las arenita presentan raramente evidencia fósil (MH-14A) (Figura 52).

Figura 51. Fotomicrografías en sección delgada, litologías finas segmento superior de la Fm. Umir. Muestra MH-E8A.

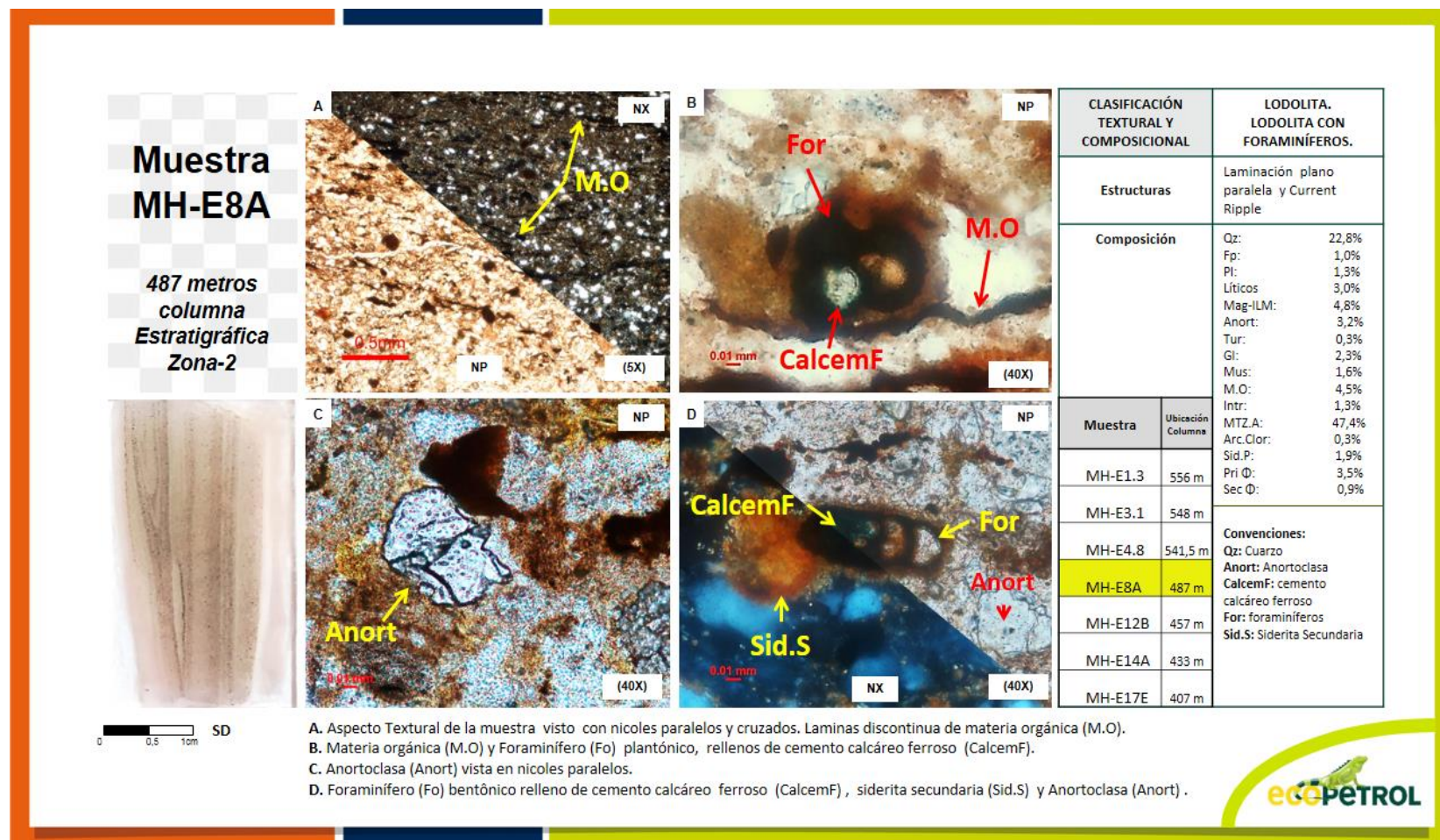
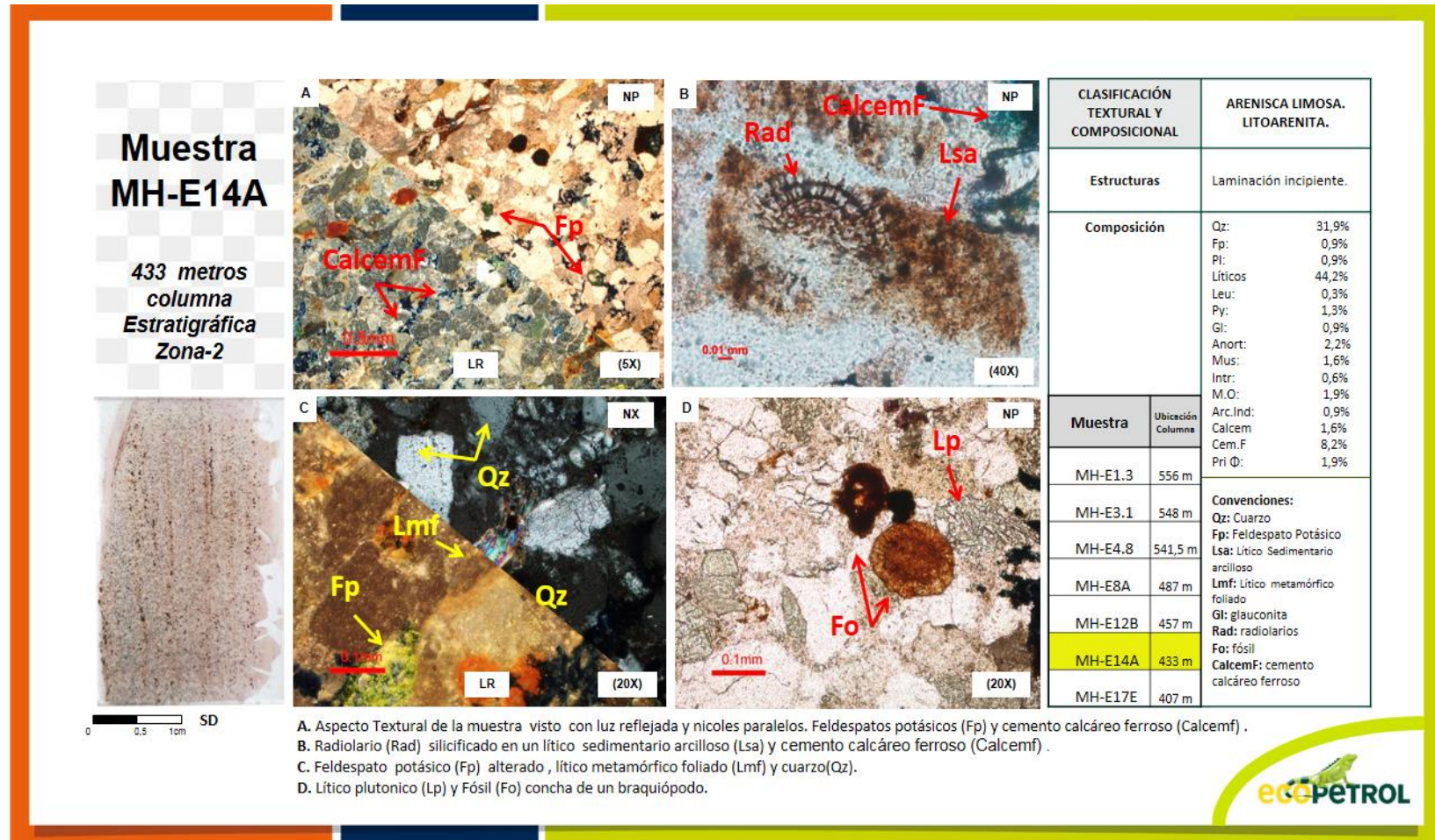


Figura 52. Fotomicrografías en sección delgada, arenisca segmento superior de la Fm. Umir. Muestra MH-E14A.



6.3.4.2 Segmento inferior Formación Lisama. Litologías finas: una muestra fue analizada en el segmento inferior de la Formación Lisama (MU-E11) (Figura 53) clasificada composicionalmente como una lodolita con glauconita. Esta clasificación se da en la base del segmento inferior de la Formación Lisama. Texturalmente presenta un porcentaje de tamaño de grano predominantemente de arcilla y secundario de limo. Presenta una selección moderada, con granos subredondeados. La matriz observada es de arcilla.

Areniscas: tres muestras (MU-E10, MU-E14 y MH-E3.1) fueron clasificadas composicionalmente como litoarenitas teniendo como principal dominancia líticos de origen volcánico. Texturalmente las arenitas presentan tamaño de grano arena muy fina a arena fina, bien seleccionadas, los granos son subangulosos-subredondeados,

Dos muestras (MU-E10 y MH-E1.3) presentan en baja cantidad cementación calcárea ferrosa y la muestra (MH-E1.3) (Figura 54) presenta evidencia fósil, esporádica de un radiolario. La matriz evidencia en las muestras es arcillosa

Figura 53. Fotomicrografías en sección delgada, litologías finas segmento inferior de la Fm. Lisama. Muestra MU-E11

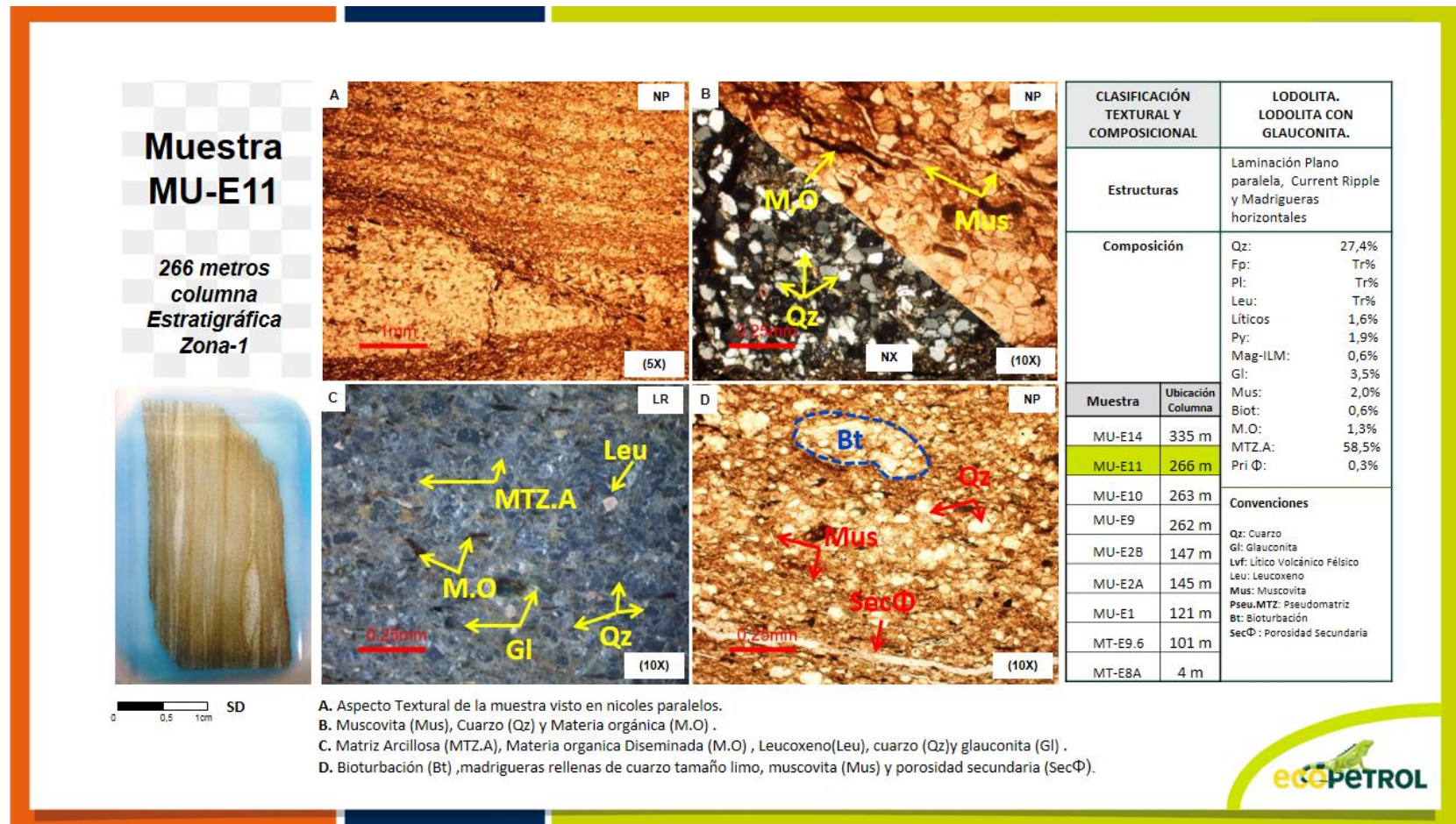
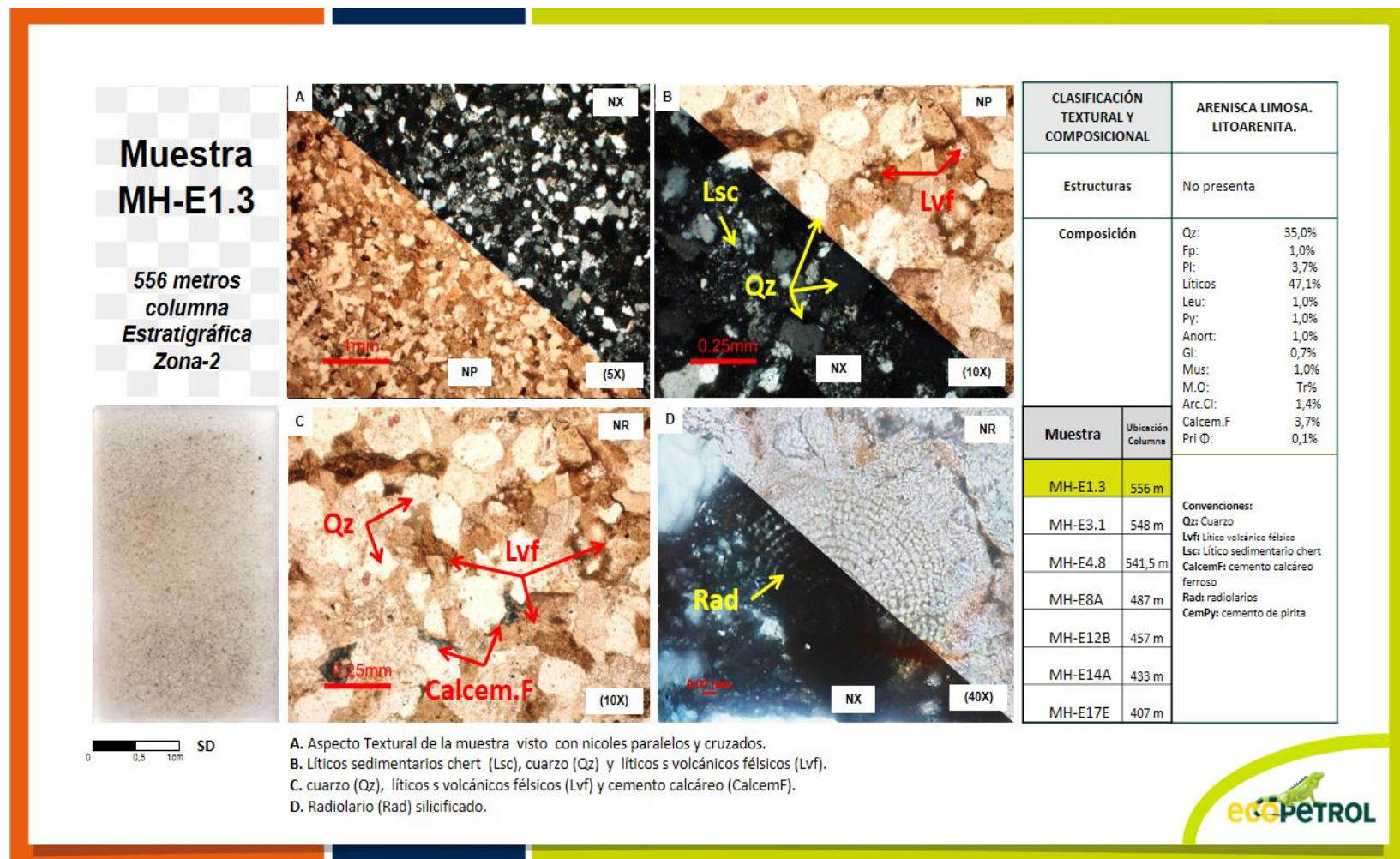


Figura 54. Fotomicrografías en sección delgada de la Muestra MH-E1.3.



6.4 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Los resultados de difracción de rayos x, se enmarcan en los análisis realizados a 7 muestras en las zonas de estudio (Tabla 16). La posición estratigráfica de cada muestra con los resultados de Bulk y fracción < 2micras se muestran en la (Figura 59)

Tabla 16. Muestras analizadas por DRX, en las dos zonas en cuestión.

RÍO SUCIO	QDA. MATA DE CACAO
MU-E15	MH-E10A
MU-E13	MH-E16A
MU-E8	MH-E19.1
MU-E3	

6.4.1 Roca Total o bulk zona-1 y zona-2. El análisis mineralógico por DRX a rocas de afloramiento del límite Cretácico-Paleógeno del Valle Medio del Magdalena, muestra que estas rocas presentan para las dos zonas, una mineralogía cuarzosa rica en minerales arcillosos (Filosilicatos) a excepción de la muestra (MH-E19.1) que posee una mineralogía arcillosa rica en cuarzo.

En las muestras con mineralogía cuarzosa rica en minerales arcillosos, en general, los Minerales arcillosos (Tabla 17) y (Figura 55), representan contenidos entre el 24% y 43%, mientras el Cuarzo representa contenidos entre el 52% y 71% en la zona-1. En la zona-2 (Tabla 18) y (Figura 56), los minerales arcillosos representan contenidos entre el 20% y 30%, mientras que el cuarzo representa contenidos entre el 50% y 70%.

La muestra (MH-E19.1) con mineralogía arcillosa rica en cuarzo presenta un porcentaje de 22% para el cuarzo mientras que los minerales arcillosos presentan valores de 63%.

Tabla 17. Concentración relativa a nivel de bulk, roca total zona-1

No.	Descripción	MINERALOGÍA BULK-ROCA TOTAL- DRX			CLASIFICACIÓN POR DRX
		Min_arcillosos (Filosilicatos)	Cuarzo	Otros	
		%	%	%	
1	afloramiento Mu-E3	24	71	5	Mineralogía Cuarzosa rica en Minerales arcillosos
2	afloramiento Mu-E8	43	52	5	Mineralogía Cuarzosa rica en Minerales arcillosos
3	afloramiento Mu-E13	35	60	5	Mineralogía Cuarzosa rica en Minerales arcillosos
4	afloramiento Mu-E15	24	71	5	Mineralogía Cuarzosa rica en Minerales arcillosos

Tabla 18. Concentración relativa a nivel de bulk, roca total zona-2

No.	Descripción	Min_arcillosos %	Cuarzo %	Feldespato Na %	Carbonatos %	Otros %
1	MH-E10A	20	70	<5	ND	<5
2	MH-E16A	30	50	<5	10	<5
3	MH-E19,1	63	22	<5	<5	<5

En la zona-1, en “Otros” se incluyen compuestos que se encuentran en bajos contenidos o de baja cristalinidad y que no fueron identificados con claridad, entre estos se encuentran posibles estructuras cristalinas similares a Siderita (FeCO_3) y Plagioclasas o Feldespatos sódicos.

En la zona-2 en “otros” se localizan feldespato sodico, carbonatos y posibles contenidos bajos de estructuras cristalinas similares a Siderita (FeCO_3).

Figura 55. Perfil mineralógico margen izquierdo y diagrama ternario de los principales componentes a nivel bulk, roca total margen derecho zona-1.

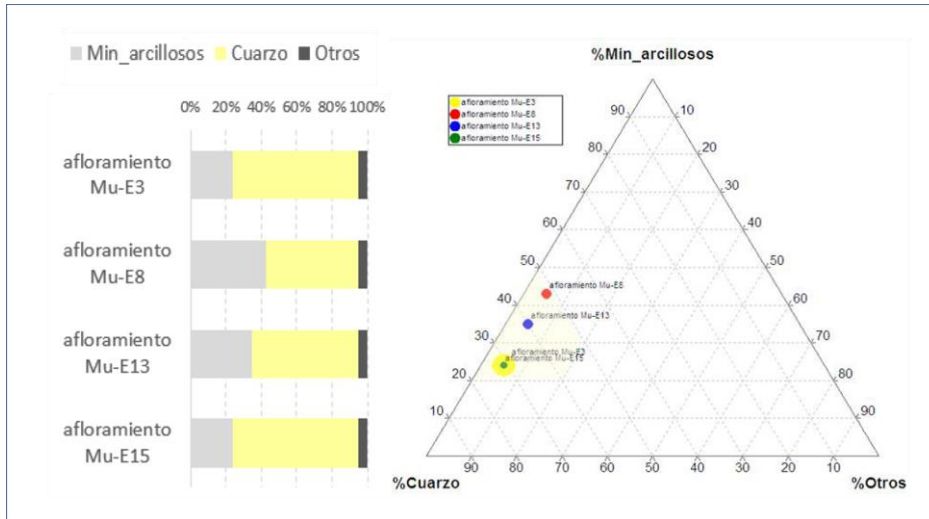
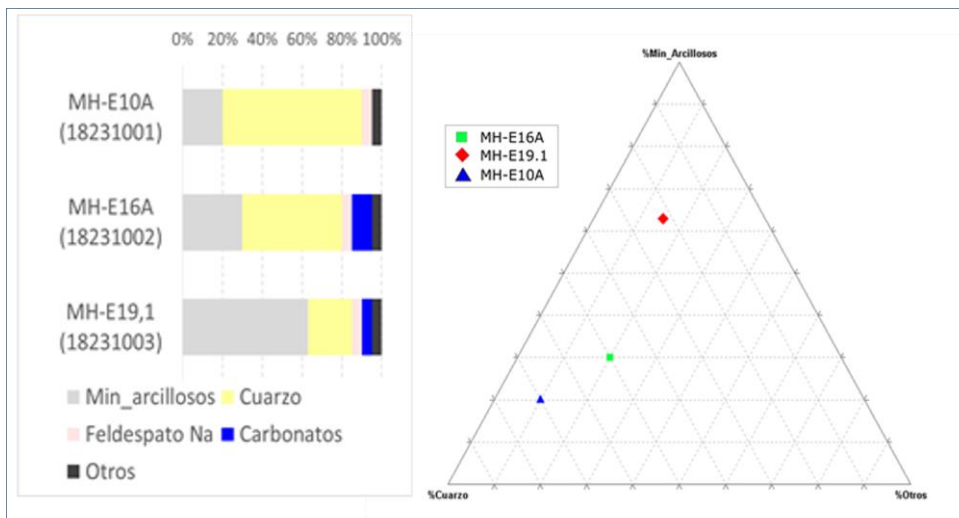


Figura 56. Perfil mineralógico margen izquierdo y diagrama ternario de los principales componentes a nivel bulk, roca total margen derecho zona-2.



6.4.2 Fracción arcilla de diámetro efectivo menor a 2 μm , Zona-1 y Zona-2. La concentración o abundancia relativa de los minerales da una estimación de la cantidad de los compuestos cristalinos presentes en alrededor del 95% en peso de la muestra total, con una incertidumbre de 2% a 5% en fases o compuestos bien cristalizados, por tanto, las concentraciones relativas de los minerales menores del 5% se expresan como <5% y los minerales con concentraciones relativas menores a 0.5% se expresan como Tr, Trazas.

A nivel de la fracción menor de 2 micras se caracterizaron en las zonas de estudio, los minerales arcillosos o filosilicatos, al igual que otros minerales que se encuentran dentro de la roca en este tamaño de grano, como es el caso del cuarzo microcristalino.

En el perfil mineralógico de la fracción menor de 2 micras en la zona-1 (Tabla 19) y (Figura 57), podemos observar que los minerales arcillosos predominantes son Illita (32-60%) y Caolinita (29-42%) y como minerales arcillosos minoritarios se encuentran Interestratificados (5-24%) y Cloritas (<10%). Los Interestratificados corresponden principalmente Illitas alteradas posiblemente de capas esmectíticas. Para destacar, se observa con claridad los minerales cloríticos solo en las rocas identificadas como Mu-E8 y Mu-E15.

Tabla 19. Concentración relativa a nivel de la fracción menor de 2 micras, zona-1 (ND: No Detectado).

No.	Descripción	MINERALOGÍA FRACCIÓN MENOR DE 2 MICRAS - DRX				
		Min. arcillosos (Filosilicatos)				Cuarzo microcristalino
		Interestratificados	Clorita	Illita	Caolinita	
		%	%	%	%	%
1	afloramiento Mu-E3	6	ND	60	29	5
2	afloramiento Mu-E8	<5	8	35	42	10
3	afloramiento Mu-E13	11	ND	39	38	12
4	afloramiento Mu-E15	24	10	32	29	5

En el perfil mineralógico de la fracción menor de 2 micras en la zona-2 (Tabla 20) y (Figura 58), podemos observar que los minerales arcillosos predominantes son los Interestratificados que corresponden principalmente Illitas alteradas posiblemente de capas de esmectíticas entre (52-45%) y caolinita (21-25%), y como minerales arcillosos minoritarios Illita (13-15%) y cloritas (<14%) para las muestras (MH-E10A y MH-E16A). En la muestra restante (MH-E19.1) los minerales arcillosos dominantes son los Interestratificados que corresponderían a a minerales de alteración de la Illita posiblemente capas de esmectíta y la illita, que corresponde respectivamente con un porcentaje de 45% para los Interestratificados y 24% para la illita. Los minerales arcillosos minoritarios se encuentran la clorita con un 11% y caolinita con un 15 %

Tabla 20. Concentración relativa a nivel de la fracción menor de 2 micras, zona-2 (ND: No Detectado).

No.	Descripción	Interestratificados %	Clorita %	Illita %	Caolinita %	Cuarzo_micro %
1	MH-E10A	52	<5	13	25	5
2	MH-E16A	45	14	15	21	<5
3	MH-E19,1	45	11	24	15	<5

Figura 57. Perfil mineralógico margen izquierdo y diagrama ternario de los minerales arcillosos (filosilicatos) a nivel de la fracción menor de 2 micras, margen derecho, zona-1.

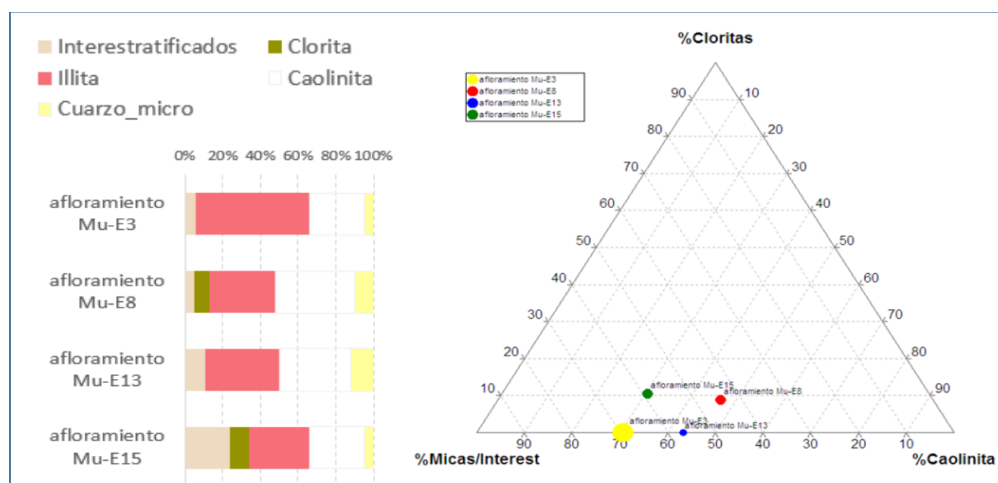
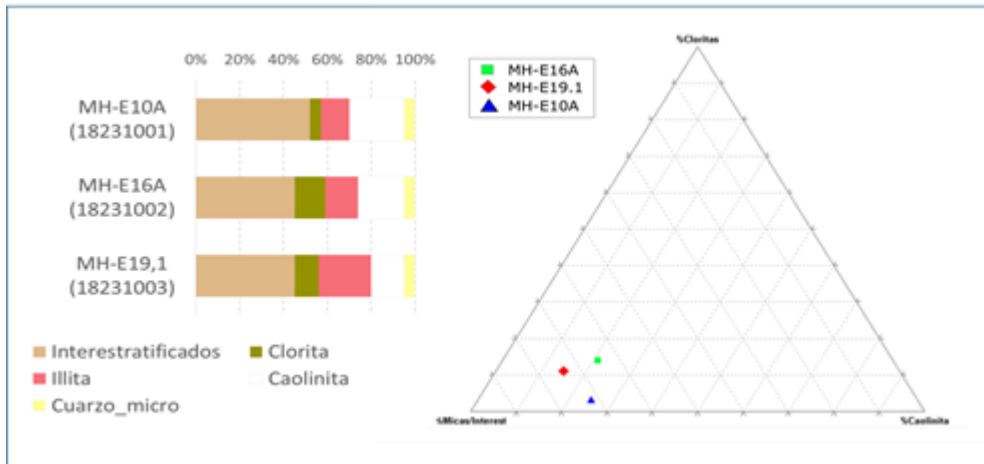


Figura 58. Perfil mineralógico margen izquierdo y diagrama ternario de los minerales arcillosos (filosilicatos) a nivel de la fracción menor de 2 micras, margen derecho, zona-2.



Los resultados de la variación mineralógica DRX, para el Bulk y fracción arcillosa menor a 2 micras (Figuras 59), se describen para los segmentos superiores de la Formación Umir (Zona-2) y segmento inferior de la Formación Lisama (zona-1) en los siguientes párrafos.

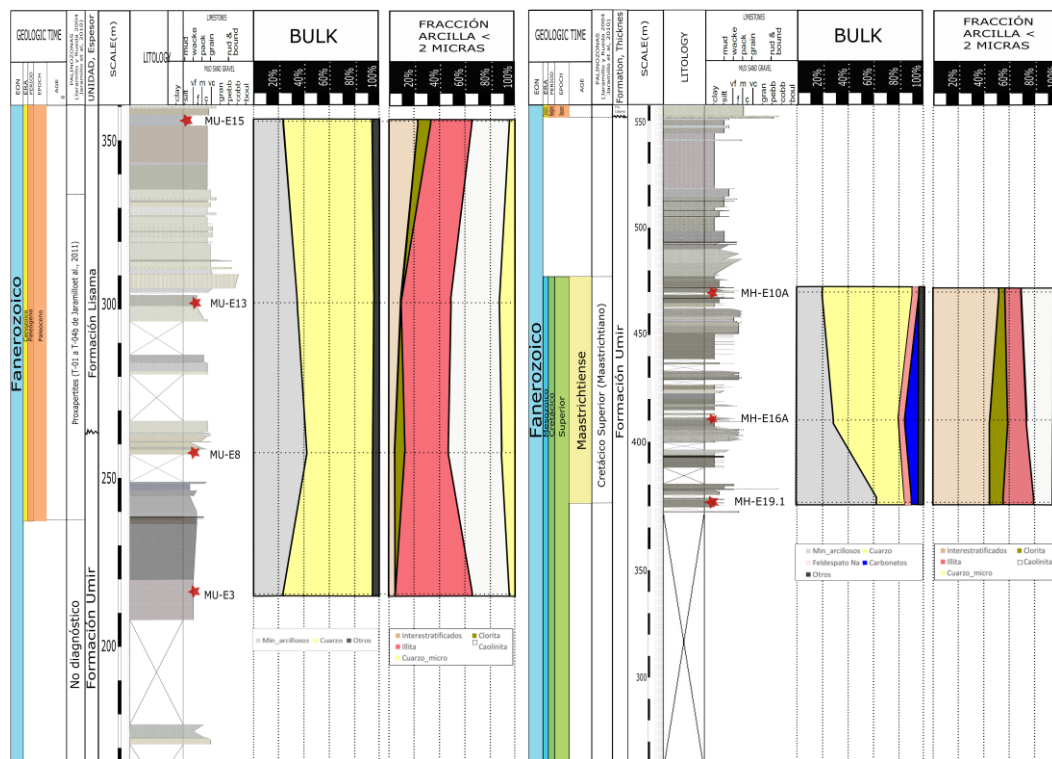
Los resultados del Bulk para los minerales arcillosos y carbonatos, hacia el límite K/Pg en el segmento superior de la Formación Umir, muestran una tendencia, decreciente del 63% al 20% para los minerales arcillosos y para los carbonatos entre (<5-10%) a 0%. El cuarzo describe una tendencia creciente con valores que van del 22% al 70%. Estos valores corresponden a los registrados en la zona-2.

Los resultados para minerales arcillosos menores a 2 micras de diámetro efectivo en el segmento superior, registrados en la zona-2, presentan un aumento de bajo grado para los minerales interestratificados de 45% al 52, para la clorita e illita una tendencia menguante del 11% a <5% y del 24% al 13%. La caolinita evidencia un aumento del 15% al 25% y el cuarzo microcristalino para de porcentajes menores al 5% hasta llegar en el último registro a 5%.

En la zona-1 en donde se registra el segmento inferior de la Formación Lisama los resultados del Bulk, describen una tendencia estable de valores entre 24% a 43% para los minerales arcillosos y valores entre el 52% a 71% para el cuarzo.

Los minerales arcillosos menores a 2 micras en su diámetro, registrados el segmento inferior presentan una tendencia creciente para los interestratificados con valores del 6% al 24% para el último registro. La illita evidencia una tendencia decreciente de 60% a 32%. La clorita presenta valores entre (8-10%), la caolinita evidencia una tendencia estable con valores entre (29-42%) e igualmente para el cuarzo microcristalino con valores (5-12%).

Figura 59. Resultados DRX Bulk Y Fracción < 2micras. En la imagen se observa la variación mineralógica, en la columna estratigráfica de cada zona.



6.5 ESPECTROMETRÍA DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (EDX)

Los resultados presentes a continuación se dan en porcentaje peso Wt%, para la geoquímica de elementos y grupos químicos afines. Los resultados de cada zona se muestran en las tablas 21 y 22 para elementos y para los grupos químicos tablas 23 y 24, y se grafican junto con las columnas estratigráficas para evidenciar la variación química (Figuras 60 y 61). Los resultados para el wt% se describen para su mejor comprensión a través de líneas de tendencias que se ajustan a los valores registrados (Figura 62 y 63).

6.5.1 Variación Quimioestratigráfica de los Elementos. Zona-1 y Zona2.

Tabla 21. Resultados porcentual Wt% de los elementos químicos, Zona-1

<i>Elemento</i>	<i>MT-E8A Wt%</i>	<i>MT-E9,6 Wt%</i>	<i>MT-E10.1 Wt%</i>	<i>MU-E6 Wt%</i>	<i>MU-E9 Wt%</i>	<i>MU-E15.1 Wt%</i>
C	13.69	17.76	9,96	19,53	8,72	15,52
O	34.42	33.23	42,69	41,73	39,91	40,01
Na	1.10	0.47	0,15	0,26	0,35	0,29
Mg	0.79	0.62	0,34	0,20	0,81	0,45
Al	5.57	5.18	14,48	10,57	11,38	8,31
Si	38.07	37.50	27,79	23,14	31,15	30,12
S	0,00	0,00	0,38	1,09	0,28	0,58
K	0.96	0.62	1,11	0,55	1,64	1,31
Ca	0.64	0.46	0,00	0,29	0,53	0,00
Ti	0.58	0.53	0,53	0,49	0,74	0,62
Fe	4.18	3.63	2,58	2,14	4,50	2,80

[illegible]

Tabla 22. Resultados porcentual Wt% de los elementos químicos, Zona-2

<i>Elemento</i>	<i>MH- E16W Wt%</i>	<i>MH- E18E Wt%</i>	<i>MH- E17D Wt%</i>	<i>MH- E14A Wt%</i>	<i>MH- E13A Wt%</i>	<i>MH- E12A Wt%</i>	<i>MH- E11A Wt%</i>	<i>MH- E10A Wt%</i>	<i>MH- E8A Wt%</i>	<i>MH- E6C Wt%</i>	<i>MH- E1.3 Wt%</i>
C	17,74	10,84	20,25	12,49	16,17	11,93	9,03	13,48	10,36	9,34	11,47
O	34,67	41,49	38,59	38,02	37,00	40,46	42,89	37,61	40,22	39,92	40,85
Na	0,49	0,43	1,20	0,35	0,38	0,48	0,61	0,48	0,60	0,72	1,15
Mg	0,95	0,93	0,77	0,67	0,85	0,80	0,96	1,13	0,57	1,00	1,12
Al	10,62	8,43	6,87	7,68	9,13	3,11	7,38	8,06	7,31	10,02	9,45
Si	27,80	26,41	26,22	26,07	28,45	17,60	31,72	25,45	34,95	29,82	27,51
P	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
S	0,21	0,47	0,00	3,70	0,12	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00
K	2,43	1,73	0,50	1,41	1,64	0,51	0,83	1,14	0,79	1,16	0,62
Ca	0,54	4,71	1,08	3,60	0,58	21,30	2,52	1,02	0,36	0,35	0,97
Ti	0,67	0,48	0,93	0,91	0,70	0,27	0,39	0,48	0,69	0,70	0,41
Mn	0,00	0,00	0,00	1,48	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	3,88	3,68	3,59	3,63	4,87	3,54	3,66	10,18	4,14	6,98	6,46

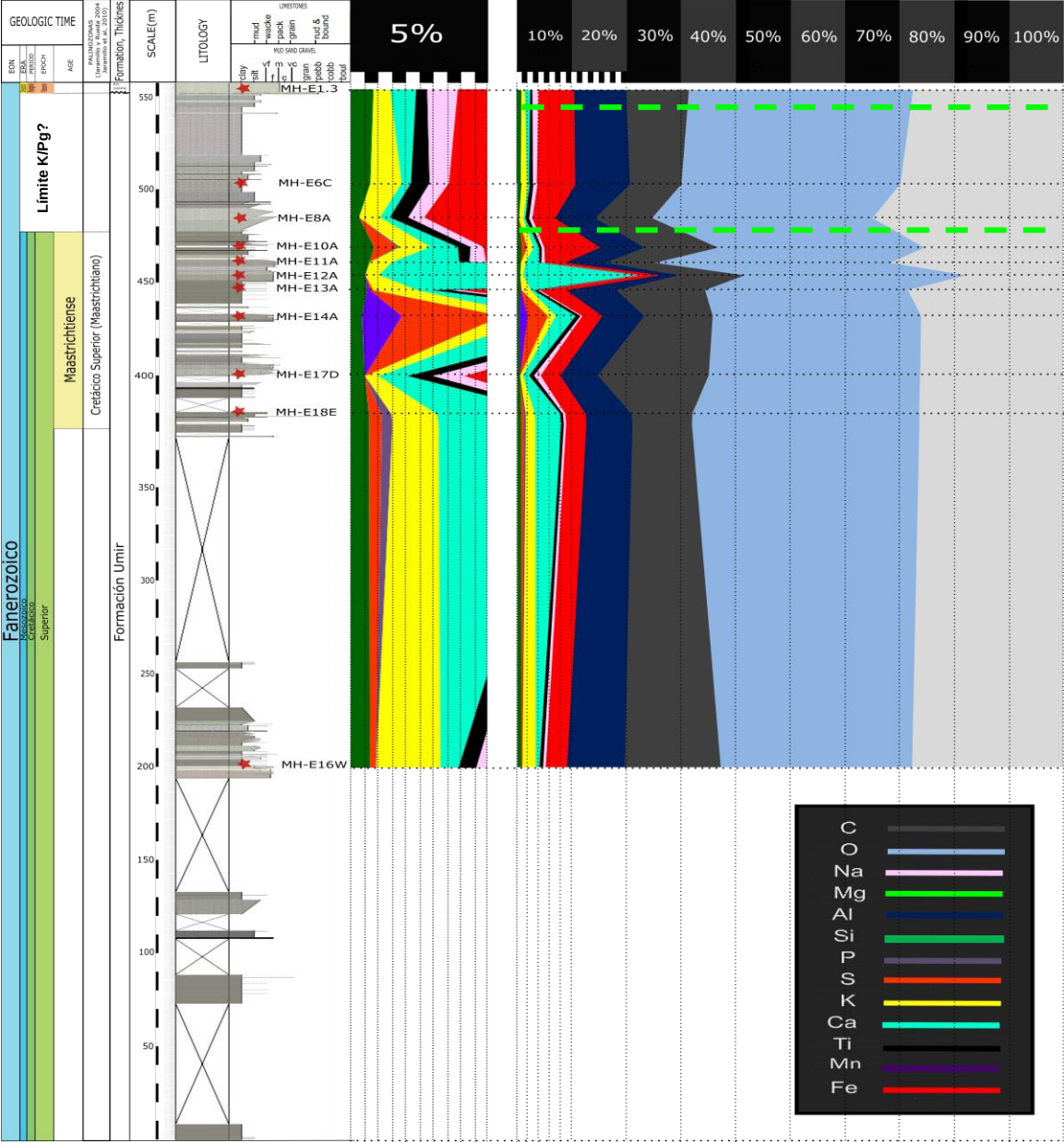
Los resultados de la variación de los elementos químicos (Figuras 60 y 61) se describen para su mejor comprensión en base a las gráficas de tendencias que sea justan a los datos obtenidos (Figuras 62 y 63), correlacionando las dos zonas de estudio para el segmento superior de la Formación Umir y segmento inferior de la Formación Lisama.

La variación del carbono hacia el límite K/Pg, en el segmento superior de la Formación Umir describe una tendencia decreciente con valores promedio que van del 14,5% al 13,5% en la zona-1 y de 16,5% al 10,5% para la zona-2, posteriormente hacia la Formación Lisama el decrecimiento continua, del 13,5% al 12,7% en la zona-1 y del 10,5% al 10,3% para la zona-2.

La tendencia del oxígeno hacia el límite K/Pg, describe una tendencia creciente con valores promedio que van del 33% al 41,2% en la zona-1 y de 36,5% al 40,5%

para la zona-2, y posteriormente hacia la Formación Lisama sigue incrementando hasta 40,7% y decrece en la zona-1 en la Formación Lisama con valores promedio del 41,2% al 38,7%.

Figura 61. Quimioestratigrafía de los elementos de la zona-2. En la imagen se observa la ubicación de las muestras y la variación quimioestratigráfica de los elementos químicos registrados por EDX en porcentaje wt%.



La tendencia del aluminio hacia el límite K/Pg, presenta un creciente con valores promedio que van del 4,5% al 12%% en la zona-1 y de 6,7% muestra (MH-E12A) al 9,7% para la zona-2, posteriormente hacia la Formación Lisama el incremento se observa solo en la zona-2 con valores de 9,7% al 10,2% y decrecimiento en la zona-1 con valores promedio del 12% al 8,5% para la zona-1.

El silicio presenta hacia el límite K/Pg, decrecimiento bastante pronunciado para la zona-1 con valores promedio que van del 40% al 27% y en la zona-2 un incremento bajo de 26% desde la muestra (MH-E14A) al 30% para la zona-2, posteriormente hacia la Formación Lisama se presenta un incremento con valores de 27% al 31% zona-1 y del 30% al 31,8% para la zona-2.

El hierro presenta hacia el límite K/Pg, decrecimiento muy bajo con una tendencia de valores del 4,2% a 2,9% en la zona-1 y para la zona-2 un incremento bajo de 3,4% a 6,3% para la zona-2, posteriormente hacia la Formación Lisama se presenta un incremento con valores de 2,9% al 3,5% zona-1 y del 6,3% al 6,6% para la zona-2.

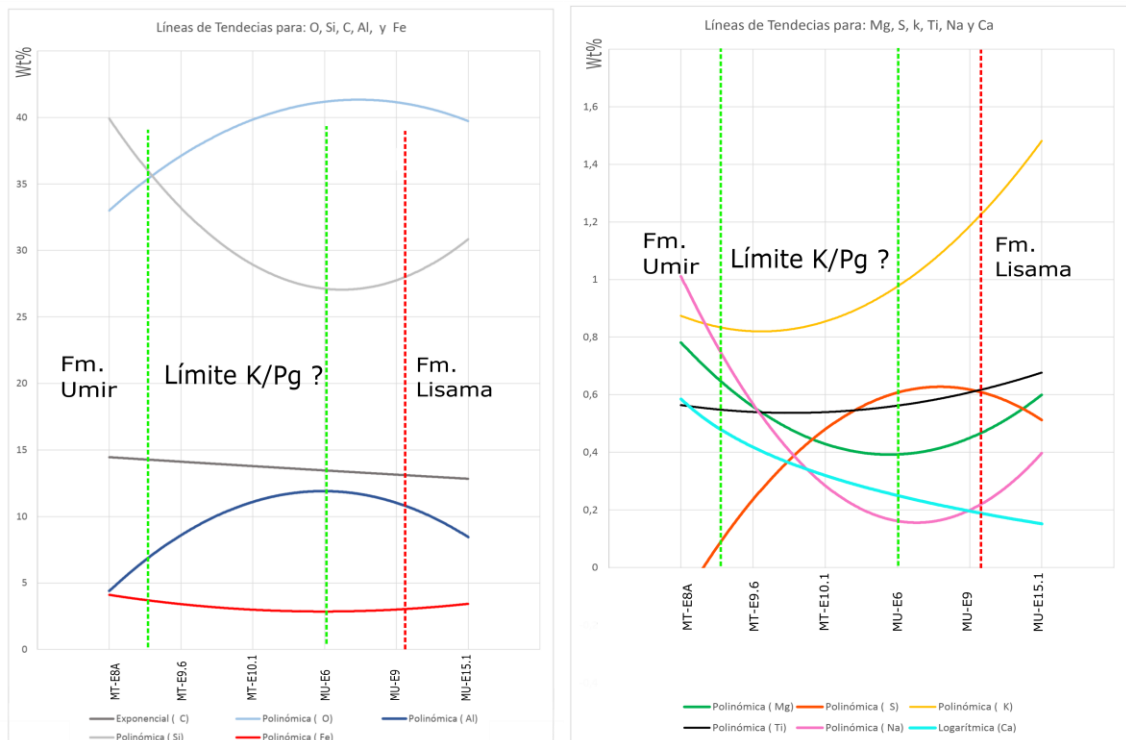
El calcio presenta hacia el límite K/Pg, un decrecimiento con una tendencia que va del 0,6% a 0,25% en la zona-1 y para la zona-2 del 6% muestra (MH-E13A) a trazas%, posteriormente hacia la Formación Lisama los valores siguen decreciendo para la zona-1 de 0,25% a 0,15% y para la zona-2 valores de trazas.

El magnesio presenta una tendencia decreciente hacia el límite K/Pg, de valores de 0,8% a 0,38% en la zona-1 y para la zona-2 una tendencia creciente de 0,8% muestra (MH-E13A) a 1,05% para la zona-2, posteriormente hacia la Formación Lisama se presenta un incremento para las dos zonas con valores de 0,38% a 0,6% zona-1 y del 1,05 % al 1,1% para la zona-2.

El azufre presenta una tendencia creciente hacia el límite K/Pg, de valores de trazas a 0,6% en la zona-1 y para la zona-2 una tendencia decreciente de 0,8% muestra (MH-E14A) a trazas. En la Formación Lisama decrece con valores de 0,6% a 0,5% zona-1 y para la zona-2, valores de trazas.

El potasio presenta en el intervalo del límite K/Pg, zona-1 un aumento con una tendencia que va del 0,82% muestra (MT-E9.6) a 0,98% y para la zona-2, hacia el límite una tendencia menguante del 1,9% muestra a 0,75%, posteriormente hacia la Formación Lisama continua decreciendo a valores de 0,73. En la zona-1 hacia la Formación Lisama sigue aumentando el porcentaje de potasio de 0,98% a 1,48%.

Figura 62. Líneas de tendencias para los elementos registrados con EDX, zona-1. Margen izquierdo elementos con porcentajes wt% mayores y margen elementos con wt% menores

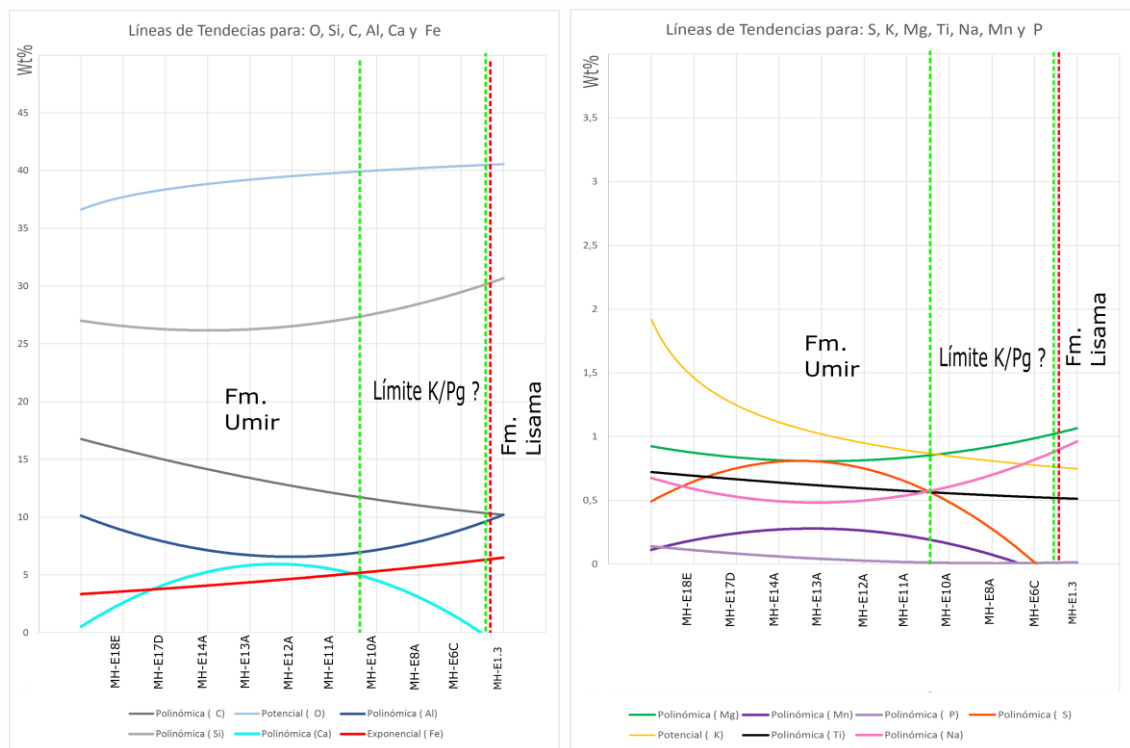


El titanio presenta en el intervalo del límite K/Pg, zona-1 una tendencia, estable de valores entre 0,54% a 0,56% y para la zona-2, hacia el límite una tendencia menguante del 0,7% a 0,52%, y continua en la Formación Lisama hasta llegar a valores de 0,5%. En la zona-1 hacia la Formación Lisama presenta con una tendencia que incrementa de 0,56% a 0,68%.

El sodio presenta hacia el límite K/Pg, un decrecimiento con una tendencia que va del 1% a 0,16% en la zona-1 y para la zona-2, un incremento del 0,5% muestra (MH-E13A) a 0,9%, posteriormente en las dos zonas se evidencia un aumento hacia la Formación Lisama con porcentajes de 0,16% a 0,4% para la zona-1 y para la zona-2 de 0,9% a 0,97%.

El manganeso y Fosforo, fueron evidenciados únicamente en la zona-2 los cuales presentan porcentajes promedio entre 0,3% a trazas.

Figura 63. Líneas de tendencias para los elementos registrados con EDX, zona-2. Margen izquierdo elementos con porcentajes wt% mayores y margen elementos con wt% menores.



6.5.2 Variación quimioestratigráfica grupos afines Zona-1 y Zona-2. Los resultados de los grupos químicos afines (Tabla 23) se exponen a continuación, en la (Figura 64). Las tablas 24 y 25, son el resultado de la sumatoria de los

porcentajes wt% de los elementos químicos, hallados en cada muestra que se relación con grupo químico.

Tabla 23. Grupos Químicos Afines

Grupo	Nombre	Grupo	Nombre
Grupo 1	Alcalinos	Grupo 10	Familia del Níquel
Grupo 2	Alcalinotérreos	Grupo 11	Familia del Cobre
Grupo 3	Familia del Escandio	Grupo 12	Familia del Zinc
Grupo 4	Familia del Titanio	Grupo 13	Térreos
Grupo 5	Familia del Vanadio	Grupo 14	Carbonoideos
Grupo 6	Familia del Cromo	Grupo 15	Nitrogenoides
Grupo 7	Familia del Manganeso	Grupo 16	Calcógenos
Grupo 8	Familia del Hierro	Grupo 17	Halógenos
Grupo 9	Familia del Cobalto	Grupo 18	Gases nobles

Fuente: Tomado y modificado Gonzales (2004)⁴⁶

⁴⁶ GONZALES M., Rosa, et al. Química. 1 ed. México. Grupo Editorial Patria, 2004, ISBN E-BOOK: 978-607-438-935-7.

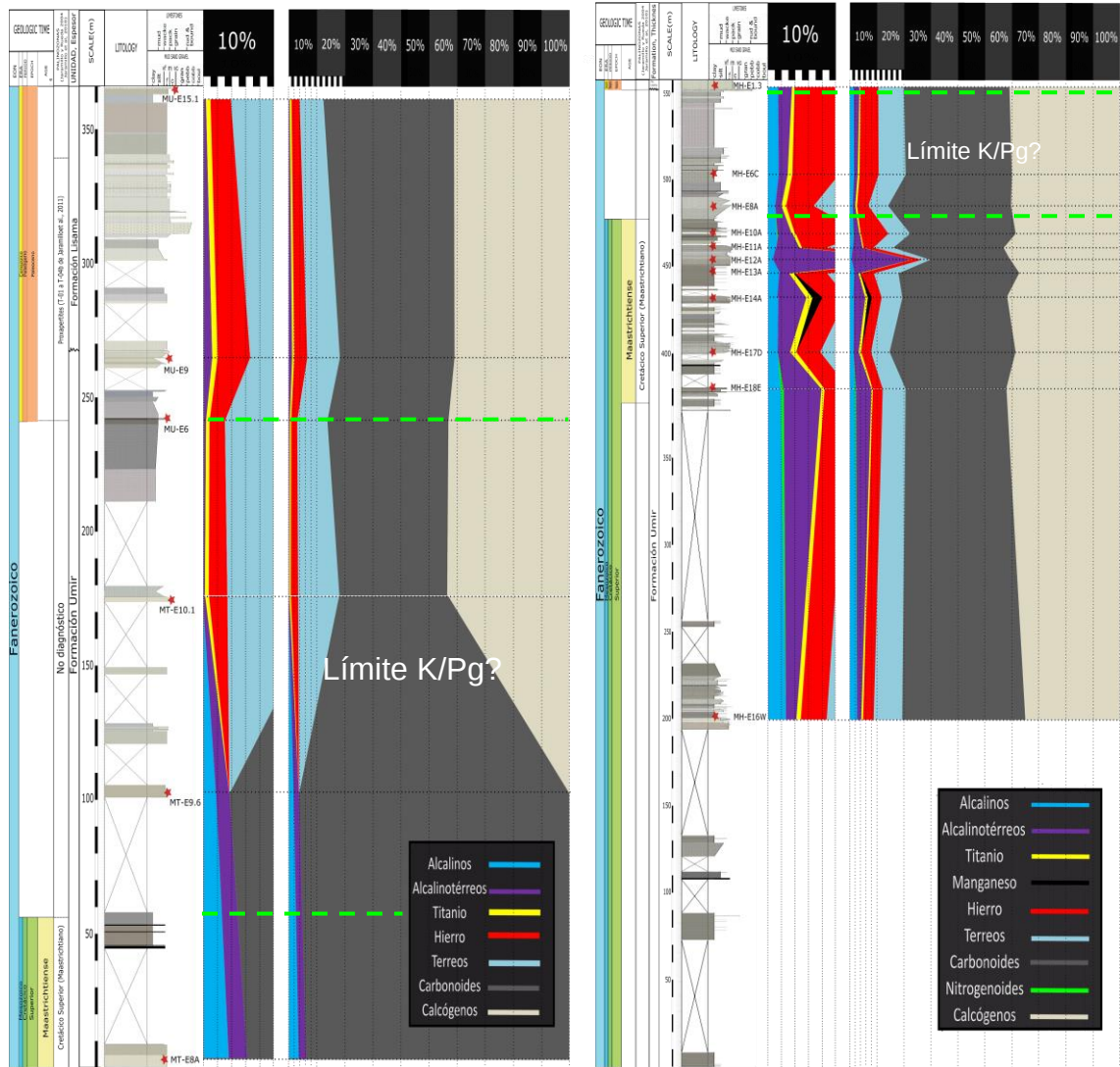
Tabla 24. Resultados porcentual Wt% de los grupos afines, Zona-1.

Grupos Afines	MT-E8A Wt%	MT-E9,6 Wt%	MT-E10.1 Wt%	MU-E6 Wt%	MU-E9 Wt%	MU-E15.1 Wt%
Alcalinos	2,06	1,09	1,26	0,81	1,99	1,60
Alcalinotérreos	1,43	1,08	0,34	0,49	1,34	0,45
Titanio	0,6	0,5	0,53	0,49	0,74	0,62
Hierro	4,18	3,6	2,58	2,14	4,50	2,80
Terreos	5,5	5,18	14,48	10,57	11,38	8,31
Carbonoides	51,76	55,26	37,75	42,67	39,87	45,64
Calcógenos	34,4	33,2	43,07	42,82	40,19	40,59

Tabla 25. Resultados porcentual Wt% de los grupos afines, Zona-2.

Grupos Afines	MH- E16W Wt%	MH- E18E Wt%	MH- E17D Wt%	MH- E14A Wt%	MH- E13A Wt%	MH- E12A Wt%	MH- E11A Wt%	MH- E10A Wt%	MH- E8A Wt%	MH- E6C Wt%	MH- E1.3 Wt%
Alcalinos	2,92	2,16	1,70	1,76	2,02	0,99	1,44	1,62	1,39	1,88	1,77
Alcalinotérreos	1,49	5,64	1,85	4,27	1,43	22,10	3,48	2,15	0,93	1,35	2,09
Titanio	0,67	0,48	0,93	0,91	0,70	0,27	0,39	0,48	0,69	0,70	0,41
Manganeso	0,00	0,00	0,00	1,48	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hierro	3,88	3,68	3,59	3,63	4,87	3,54	3,66	10,18	4,14	6,98	6,46
Terreos	10,62	8,43	6,87	7,68	9,13	3,11	7,38	8,06	7,31	10,02	9,45
Carbonoides	45,54	37,25	46,47	38,56	44,62	29,53	40,75	38,93	45,31	39,16	38,98
Nitrogenoides	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
Calcógenos	34,88	41,96	38,59	41,72	37,12	40,46	42,89	38,47	40,22	39,92	40,85

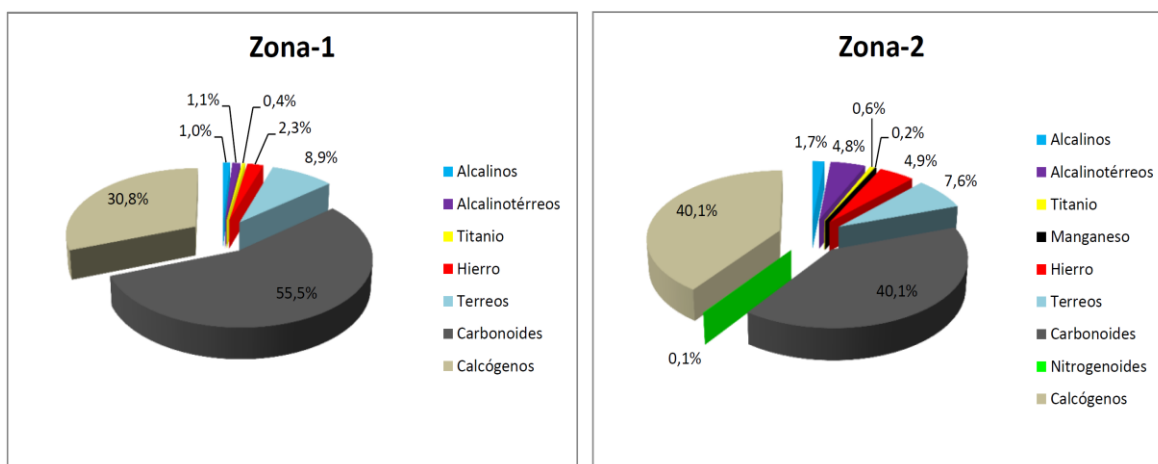
Figura 64. Quimioestratigrafía grupos afines zona-1 y zona-2. Margen izquierdo zona-1 y margen derecho zona-2



Los resultados porcentuales de los grupos químicos del segmento superior de la Formación Umir (llamado informalmente) (Figura 65), zona-1 con porcentajes mayores al 5% se evidencia a los carbonoides 55,5%, calcógenos 30,8% y terreos 8,9%; grupos con porcentajes entre el 2% y 5% el hierro 2,3 y menores al 2% se observan a los alcalinos 1,0%, alcalinotérreos 1,1% y titanio 0,4%.

En la zona-2 los grupos con porcentajes mayores al 5%, se encuentran los carbonoideos 40%, calcógenos 40,1% y terreos con 7,6%; con porcentajes entre el 2% al 5% los alcalinoterreos 4,8% y hierro 4,9%, y porcentajes menores al 2%, alcalinos 1,7%, titanio 0,6%, manganeso 0,2% y nitrogenoides con 0,1%.

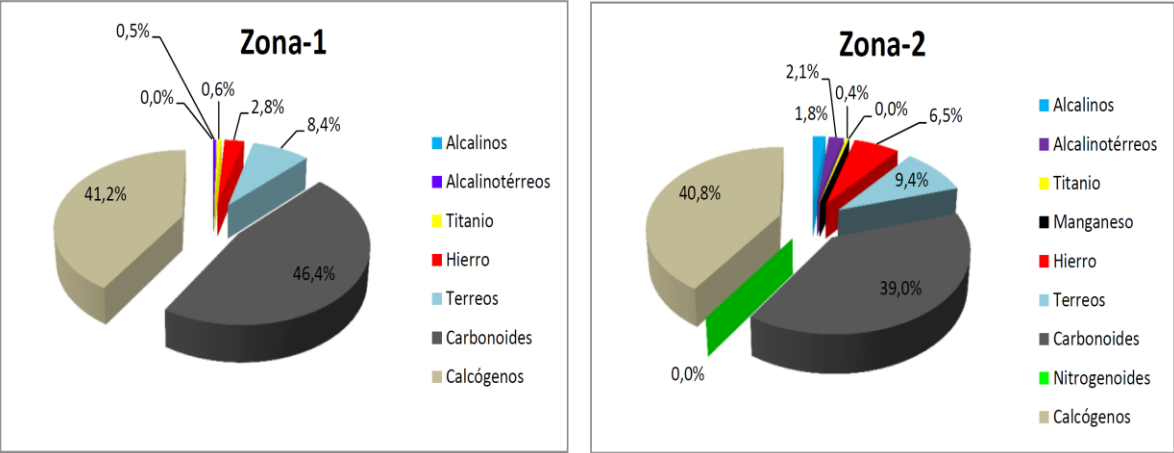
Figura 65. Resultado porcentual de los grupos afines segmento superior Fm. Umir, zona-1 y zona-2.



Los resultados porcentuales de los grupos químicos del segmento inferior de la Formación Lisama (llamado informalmente)(Figura 66), zona-1 con porcentajes mayores al 5% se evidencia a los carbonoideos 46,4%, calcógenos 41,2% y terreos 8,4%; grupos con porcentajes entre el 2% y 5% el hierro 2,8% y menores al 2% se observan a los alcalinoterreos 0,5% y titanio 0,6%.

En la zona-2 los grupos con porcentajes mayores al 5%, se encuentran los carbonoideos 39%, calcógenos 40,8% y terreos con 9,4%; con porcentajes entre el 2% al 5% los alcalinoterreos 2,1% y hierro 6,5%, y con porcentajes menores al 2%, alcalinos 1,8%.

Figura 66. Resultado porcentual de los grupos afines segmento inferior Fm. Lisama, zona-1 y zona-2



6.6 MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO (SEM)

Los resultados presentes a continuación describen las características mineralógicas y fosilíferas más relevantes de del segmento superior de la Formación Umir y el segmento inferior de la Formación Lisama (llamados informalmente) a través de la microscopia electrónica de barrido (SEM) y EDX. Todas las muestras analizadas (Tabla 26), se adjuntan en el (Anexo E) con su respectivo resultado de EDX.

Tabla 26. Muestras analizadas por (SEM), en las dos zonas en cuestión.

RÍO SUCIO	QDA. MATA DE CACAO	
MU-E15.1	MH-E1.3	MH-E13A
MU-E9	MH-E6C	MH-E14A
MU-E6	MH-E8A	MH-E17D
MT-E10.1	MH-E10A	MH-E18E
MT-E9.6	MH-E11A	MH-E16W
MT-E8A	MH-E12A	

6.5.1 Segmento Superior, Formación Umir. En el segmento de superior de la Formación Umir se observa a través de la microscopia electrónica de barrido en la muestra (MT-E8A) zona-1 feldespato potásico (Figura 67-D) con su respectivo EDX (Figura 67-D margen derecho) que muestra los picos de los elementos característicos Al, O, Si, y K. Se observa en la misma muestra el mineral anortoclasa (Figura 67-B) con su pico relevante en el Na, visto en el EDX.

La muestra (MU-E6) zona-1, presenta pirita (Figura 68-C) que es un mineral rico en hierro y azufre, este se registra en el diagrama por el EDX (Figura 68-D)

margen derecho, en el cual se evidencia por sus picos composicionales representativos.

En la muestra (MH-E18E) (Figura 69) se evidencia microfósiles de foraminíferos posiblemente dos especies (Figura 69-D y 69-C1), los cuales presenta un pico composicional en el Ca, O, y C, en sus conchas, esto indicaría que se trata de carbonato de calcio.

La muestra (MH-E14A) (Figura 70) presenta mineralogía asociada a carbonatos (Figura 70-B) por sus picos en el C, Ca y O. Esta muestra también permite observar la materia orgánica, al parecer según su morfología podría tratarse de un fragmento de hoja (Figura 70-F) y presencia de óxidos de hierro (Figura 70-D)

6.5.2 Segmento inferior, Formación Lisama. En el segmento de inferior de la Formación Lisama se observa a través de la microscopia electrónica de barrido en la muestra (MU-E15.1)(Figura 71) de la zona-1 presenta cuarzo (Figura 71-A) con su respectivo EDX (Figura 71-A) margen derecho que muestra los picos representativos de, Si, y O. Se observa en la misma muestra un mineral, que posiblemente según su morfología sería un feldespato potásico (Figura71-C y C1). Se evidencia en la (Figura 71-D) una posible mica, que se sustenta en las características morfológicas.

En el segmento de inferior de la Formación Lisama se observa a través de la microscopia electrónica de barrido en la muestra (MU-E15.1)(Figura 71) de la zona-1 presenta cuarzo (Figura 71-A) con su respectivo EDX (Figura 71-A) margen derecho que muestra los picos representativos de, Si, y O. Se observa en la misma muestra un mineral, que posiblemente según su morfología sería un feldespato potásico (Figura71-C y C1). Se evidencia en la (Figura 71-D) una posible mica, que se sustenta en las características morfológicas.

Figura 67. Micrográficos SEM, muestra MT-E8A. Margen izquierdo, A) Microfotografía general de la muestra, realzando las áreas de interés, B y D. A1) EDS general de la muestra. B) Magnificación y EDS puntual. C) Magnificación y EDS puntual. Margen derecho picos composicionales EDS.

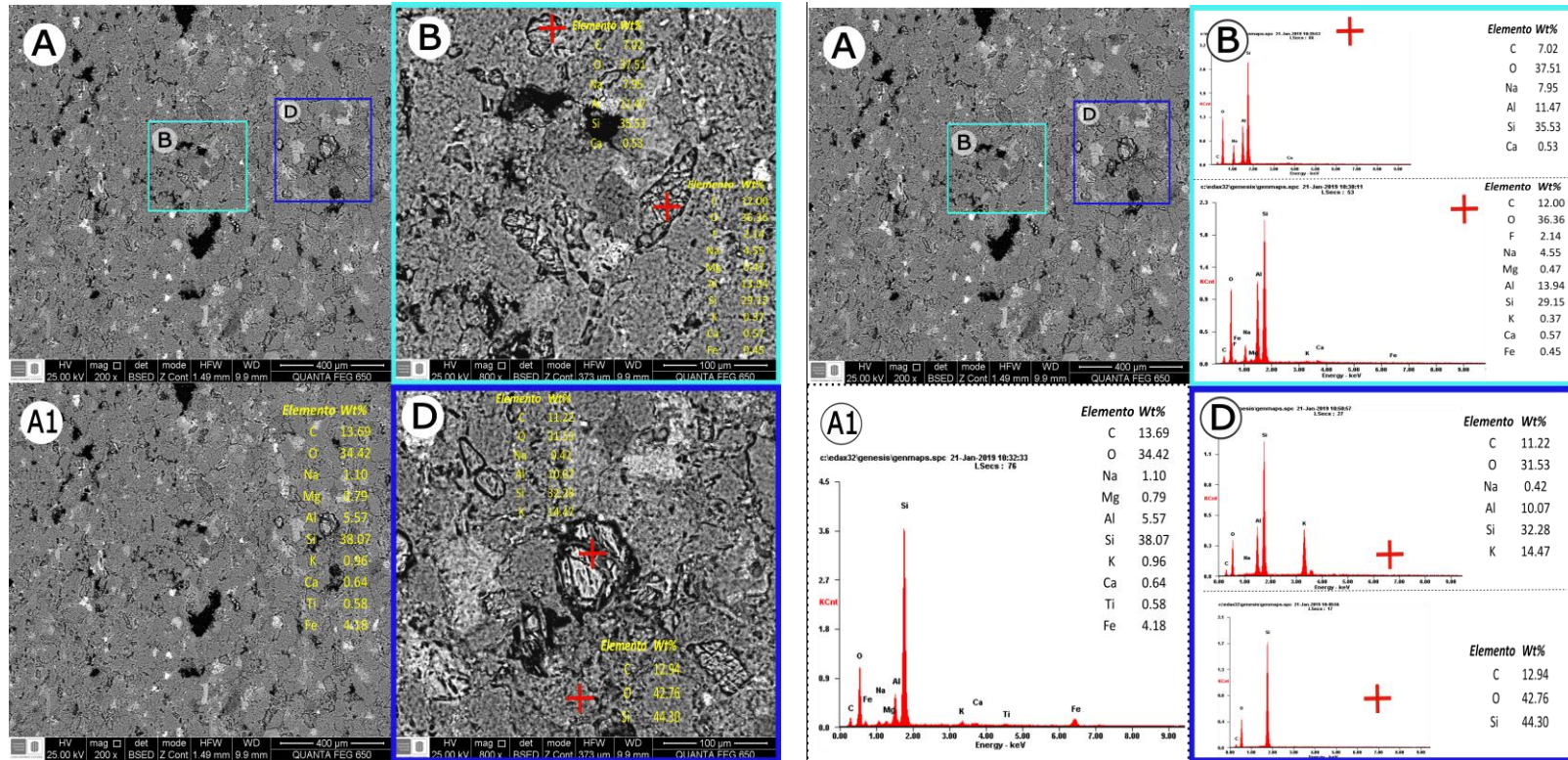


Figura 68. Micrográficos SEM, muestra MU-E6. Margen izquierdo **A)** Microfotografía general de la muestra, realizando el área de interés, **B. A1)** EDS general de la muestra. **B)** Magnificación y realce del área de interés, **D. C)** Realce de minerales y morfología. **D)** Magnificación, realce del área de interés C y EDS puntual. **E)** Realce de minerales y morfología. Margen derecho picos composicionales EDS

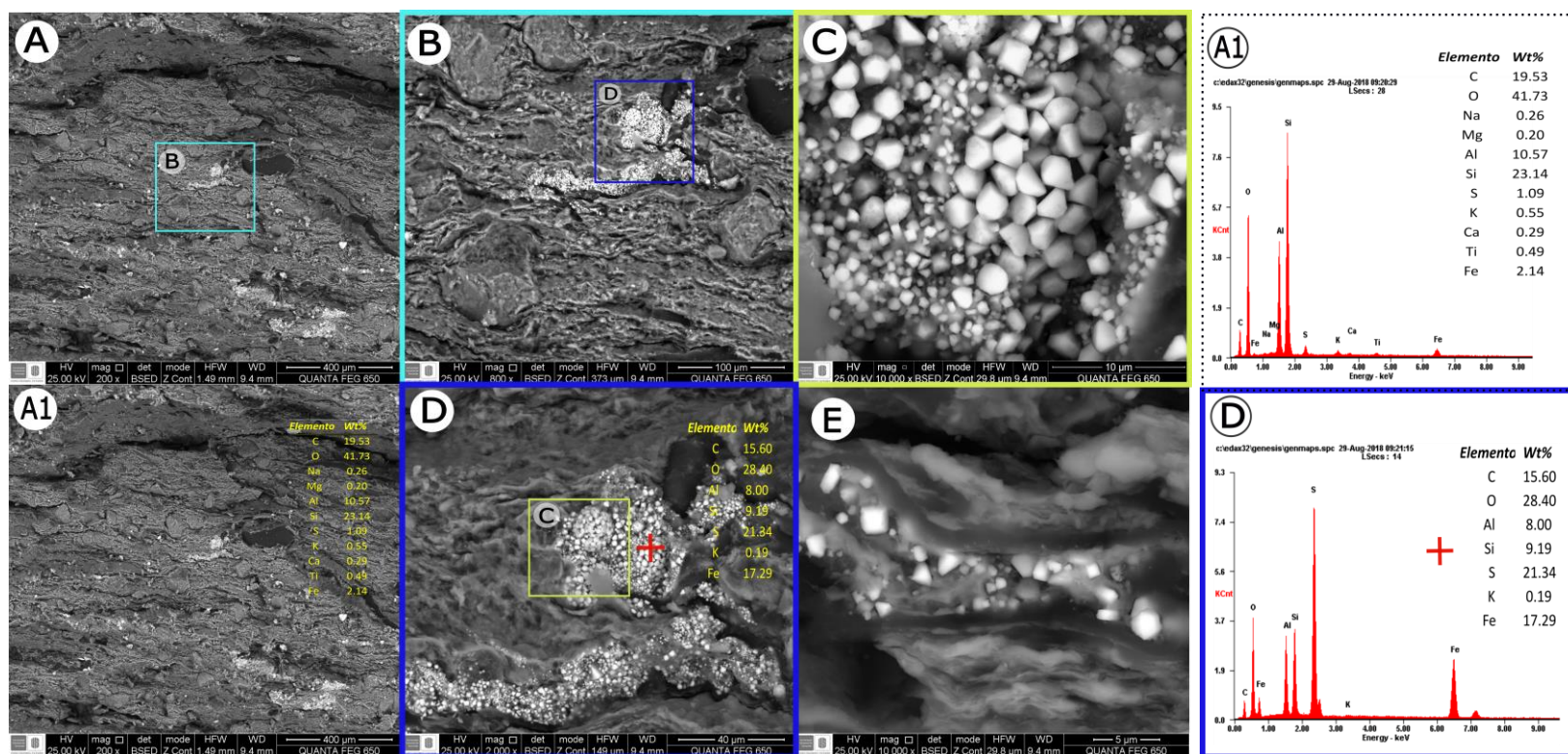


Figura 69. Micrográficos SEM, muestra MH-E18E. Margen izquierdo, **A)** Microfotografía general de la muestra y realce del área de interés, **B. A1)** EDS general de la muestra. **B)** Magnificación, realce del área de interés, D y EDS puntual. **C),** Magnificación y EDS puntual. **C1) y D)** Realce y Morfología de microfósiles. Margen derecho picos composicionales EDS

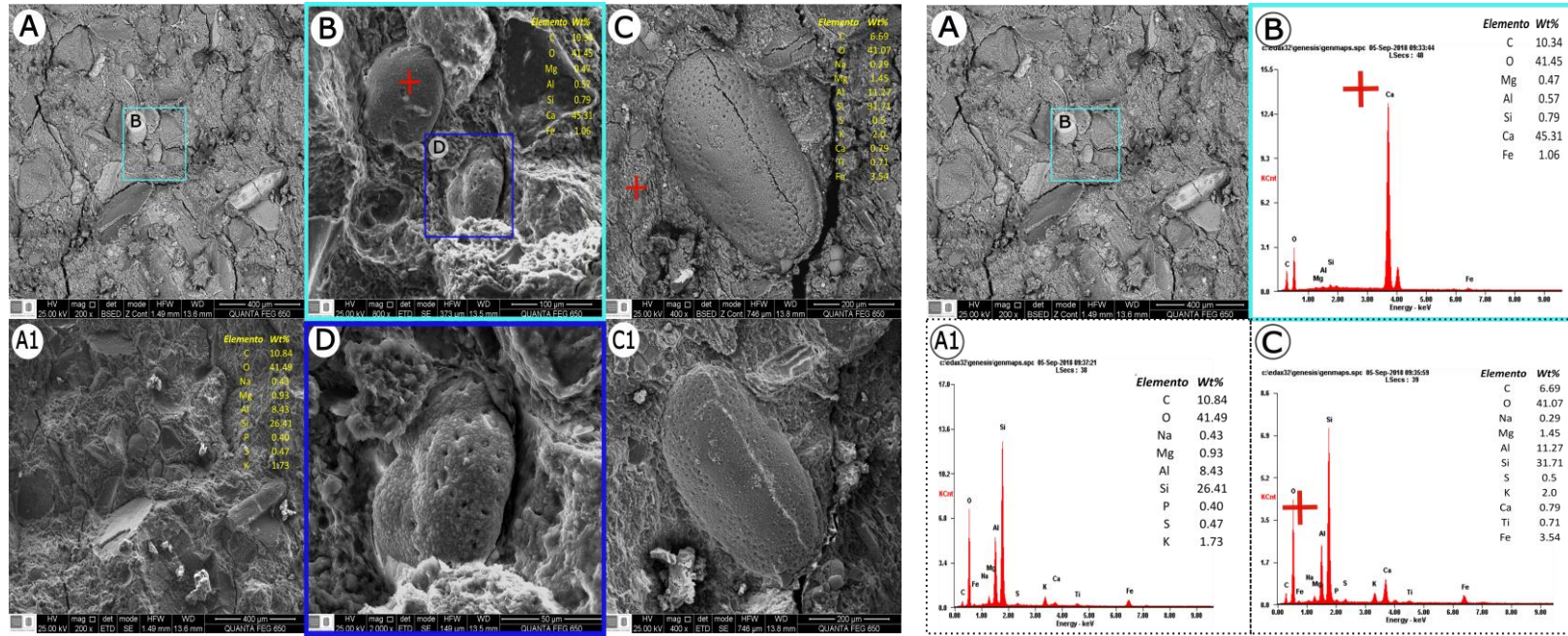


Figura 70. Micrográficos SEM, muestra MH-E14A. Margen izquierdo, **A)** Microfotografía general de la muestra, EDS general y realce de las áreas de interés, B y D. **B)** Magnificación, realce del área de interés, C y EDS puntual. **C)** y **E).** Realce de minerales y morfología. **D)** Magnificación y EDS puntual. **F)** Realce de minerales y EDS puntual. Margen derecho picos composicionales EDS

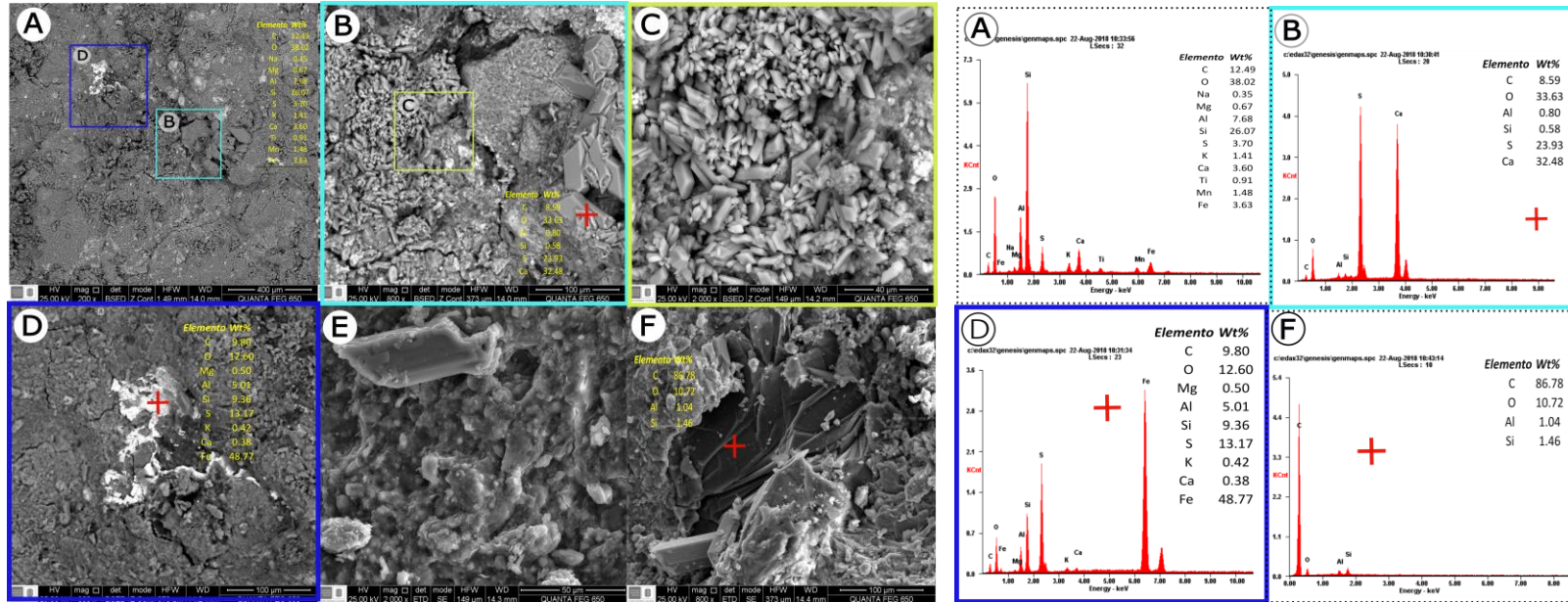
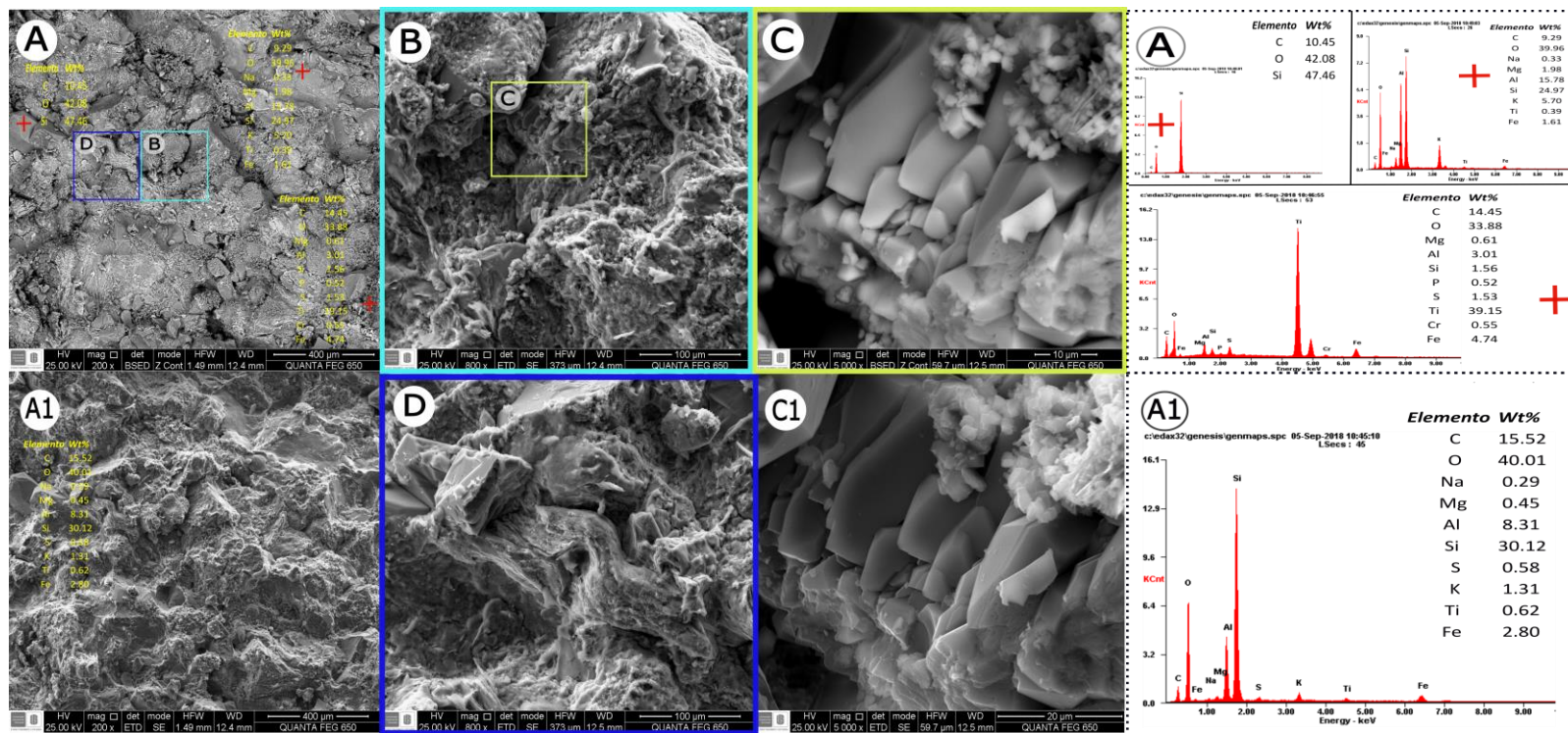
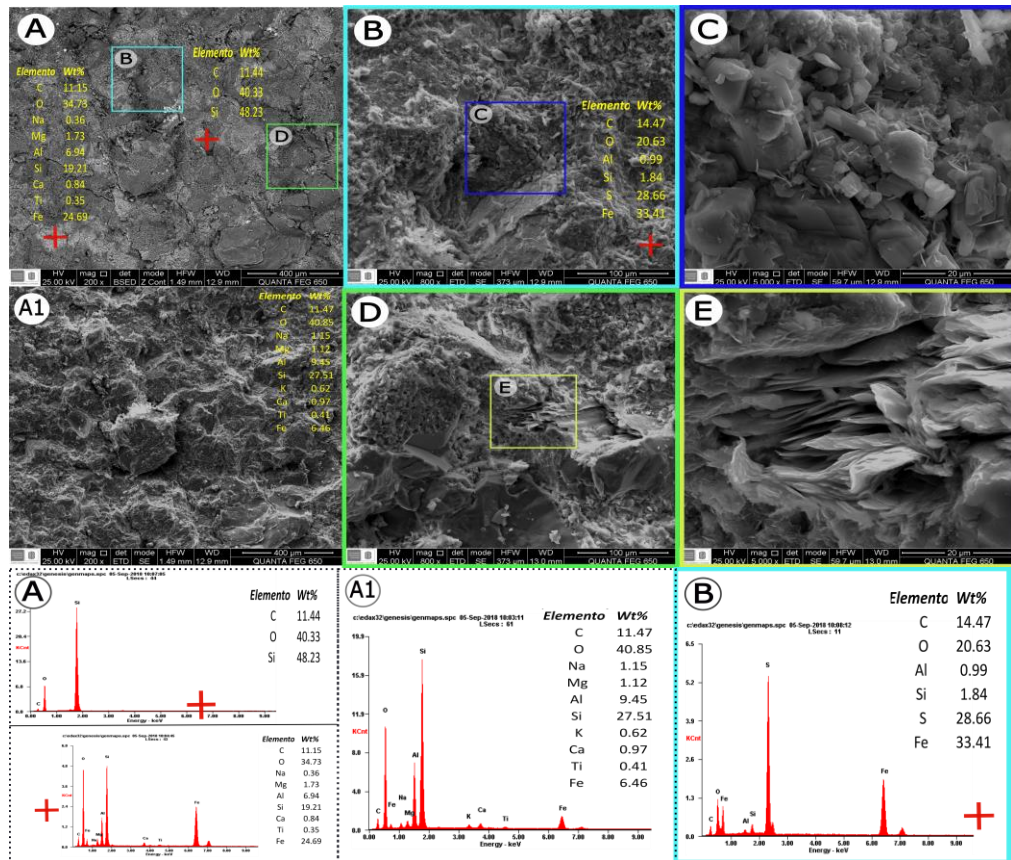


Figura 71. Micrográficos SEM, muestra MU-E15.1. Margen izquierdo A) Microfotografía general de la muestra, realce de áreas de interés, B y D. y EDS puntuales. A1) EDS general de la muestra. B) Magnificación y realce del área de interés, C. C), C1) y D) Realce de minerales y morfología. Margen derecho picos composicionales EDS



La muestra (MH-E1.3) (Figura 71), se resalta la presencia de óxidos de hierro (Figura 71-A), que se sustenta por lo picos composicionales registrados por el EDX para el hierro y oxígeno; además de la ocurrencia de minerales arcillosos (Figura 71-E y 71-C) caracterizados por su morfología hojosa.

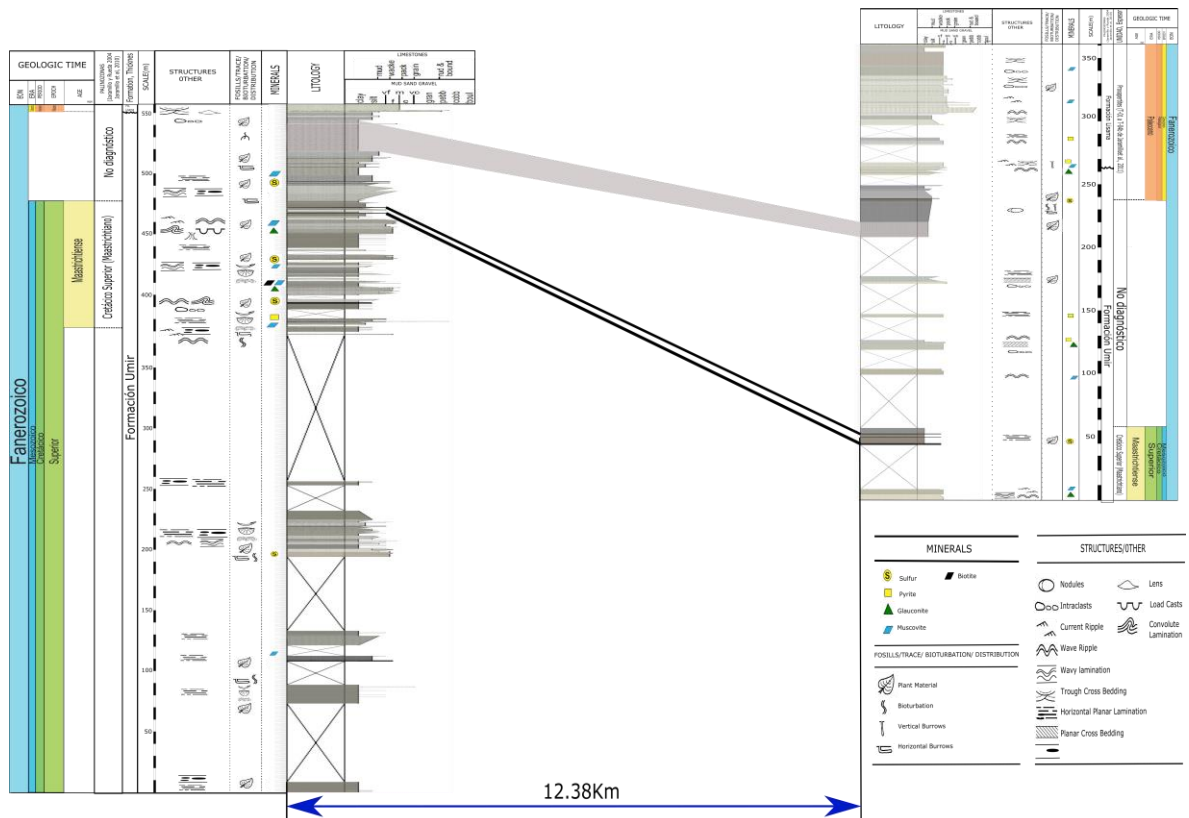
Figura 72. Micrográficos SEM, muestra MH-E1.3. Margen superior, **A)** Microfotografía general de la muestra, EDS puntuales y realce de las áreas de interés, B y D. **A1).** EDS general de la muestra. **B)** Magnificación, realce del área de interés, C y EDS puntual. **C)** y **E).** Realce de minerales y morfología. **D)** Magnificación y realce área de interés, E. Margen inferior picos composicionales EDS.



6.7 CORRELACIÓN LITOESTRAFIGRAFICA

Con los resultados de geología de campo, paleopalinología, DRX, SEM, EDX y petrografía se correlacionan las dos columnas levantadas en la zona-1 Río Sucio y zona-2 Mata de Cacao y se muestra en la (Figura 74)

Figura 73. Correlación Estratigráfica. En la imagen se describe la correlación estratigráfica según los resultados de litológicos, y palinológicos de las dos zonas estudiadas.



7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La información recolectada y analizada en este trabajo de investigación permite ubicar y establecer tendencias geoquímicas, mineralógicas en el segmento superior de la Formación Umir que comprende al límite cretácico-paleógeno, en el flanco oriental del sinclinal Nuevo Mundo, VMM.

La geología de campo no evidencia la presencia de eyectas distales de impacto tales como: microtectitas o esferulitos, etc., y depósitos de tsunami según (Montanari y Koeberl, 2000)⁴⁷, que son las dos posibles evidencias distales visibles que precisan el límite de los periodos. Esta capa de eyectas fue producida por el impacto del meteorito de Chicxulub en el Golfo de México y registrada a nivel mundial y en particular reportada en Colombia, en la Isla de Gorgonilla, Bermúdez et al, (2016)⁴⁸. En la (Figura 72) se ilustra la distribución de las diferentes evidencias distales a nivel mundial, así como la ubicación del área de estudio. Dos posibles razones por las cuales no se encuentran la capa de eyectas distales serían: (1) la erosión y alteración casi totalmente a arcillas, afirmación que concuerda con el trabajo realizado por Schulte et al. (2010)⁴⁹ para litologías sedimentarias del Cretácico-Paleógeno, en Norte, Centro América y el Caribe; (2) el ambiente de sedimentación para el segmento superior de la Formación Umir, interpretado como un ambiente de depósito lacustre pantanoso y

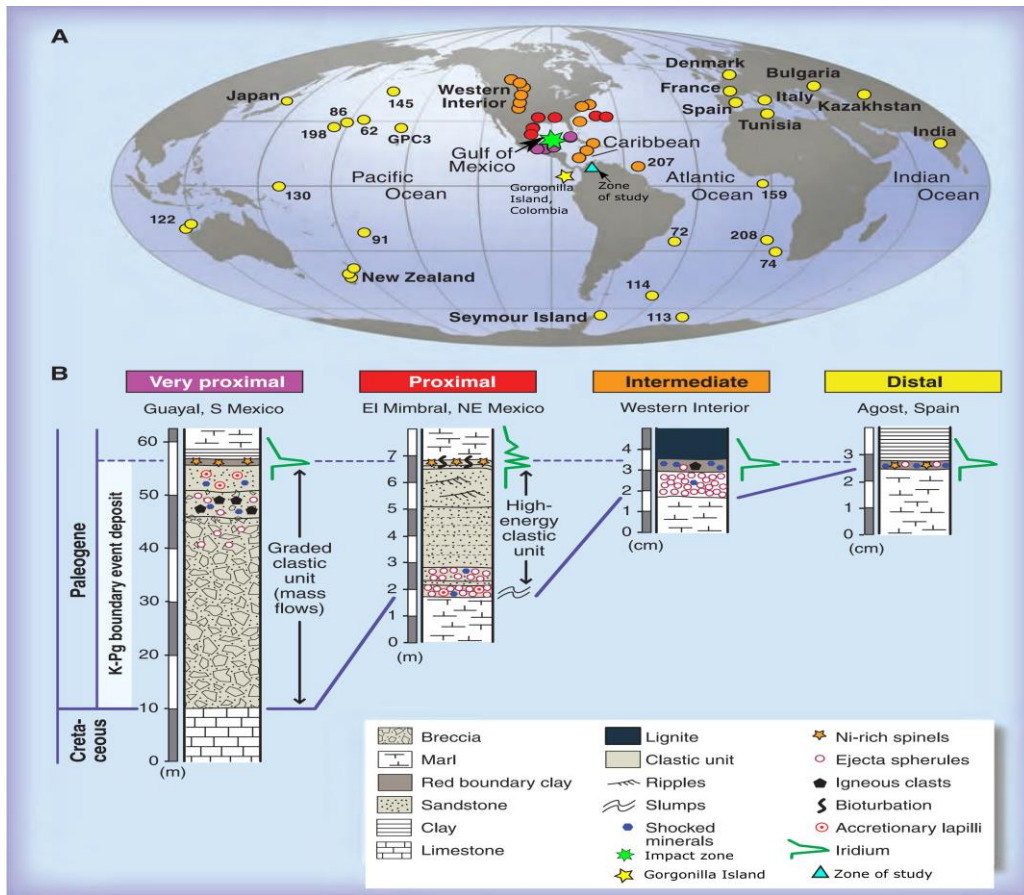
⁴⁷ Montanari, A., Koeberl, C. (2000): Impact stratigraphy: the Italian record. Lecture Notes in Earth Sciences, 93: 1-364. Heidelberg, Springer-Verlag

⁴⁸ Bermudez, H. D et al. The Cretaceous–Palaeogene boundary at Gorgonilla Island, Colombia, South America Terra Nova, Vol 28, No. 1, 83–90

⁴⁹ Schulte, P, and 40 others. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous–Paleogene boundary. Science, 327. Pág. 1214-1218. 2010.

que hace parte del ciclo final de la sedimentación marina a marginal Cretácica propuesta por Tchegliakova, (1993)⁵⁰ y confirmado en el presente estudio con

Figura 74. Distribución y representación esquemática de las secciones estratigráficas del límite Cretácico/Paleógeno con evidencia de eyectas distales e intermedias y las secciones próximas y cercanas en el Golfo de México.



Fuente: Tomado de y modificado de (Schulte et al, 2010)⁵¹.

⁵⁰Tchegliakova, N. 1993. Los Foraminíferos y Minerales autigénicos de la Formación Umir (Sección Quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena): Registro de una laguna costera a finales del Cretácico Superior (Maestrichtiano). Geología Colombiana, 18: 107-117

⁵¹ Schulte, P, and 40 others. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. Science, 327. Pág. 1214-1218. 2010.

la presencia de niveles ricos en materia orgánica y estratos de carbón que disminuyen hacía el tope de la Formación Umir. Este sistema lacustre pantanoso incluye zonas de baja a muy baja energía, desarrollo de pantanos con leves incursiones marinas y ocasionalmente depósitos distales de ríos (Montaño et al, 2016)⁵² a diferencia del trabajo de (Smit, 1999)⁵³, quien afirma que la mayoría de estas secciones del límite K/Pg se encuentran en facies pelágicas a hemipelágicas, y contienen abundantes foraminíferos y nanofósiles, algunos macrofósiles raros, y escasa o nula evidencia de hardgrounds o hiatos.

Por otra parte las evidencias de campo y la caracterización paleopalinológica, mineralógica y geoquímica mostraron los siguientes datos relevantes los cuales se discuten a continuación.

Los resultados de paleopalinología confirman que la Formación Lisama está comprendida en edades del periodo Paleógeno, lo cual reafirma lo descrito en trabajos previos (Morales, 1958⁵⁴; Van der Hammen 1958⁵⁵; Royero y Clavijo, 2001⁵⁶; Moreno *et al.* 2011⁵⁷, entre otros), que se sustenta en el presente estudio

⁵²Montaño, P.C., Nova, G., Bayona, G., Mahecha, H., Ayala, C., Jaramillo, C., y De La Parra, F. 2016. Análisis de secuencias y procedencia en sucesiones sedimentarias de grano fino: un ejemplo de la Formación Umir y base de la Formación Lisama, en el sector de Simacota (Santander, Colombia). Boletín de Geología, 38 (1): 51-72.

⁵³Smit, J. (1999): The global stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary impact ejecta. Annual Review of Earth and Planetary Science, 27: 75-113

⁵⁴ Morales, L. 1958. General geology and oil occurrence of the Middle Magdalena Valley, Colombia. In habitat of oil a Symposium American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Tulsa. U.S.A, pp. 641-695.

⁵⁵ Van Der Hammen, T. 1958. Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continental y tectogénesis de los Andes Colombianos. Boletín Geológico, Servicio geológico, 6 (1-3): 67-128.

⁵⁶ Royero, J.M., y Clavijo, J. 2001. Memoria Explicativa Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, escala 1:400.00. INGEOMINAS, Bogotá.

⁵⁷ Moreno, C.J., Horton, B.K., Caballero, V., Mora, A., Parra, M., and Sierra, J. 2011. Depositional and provenance record of the Paleogene transition from foreland to hinterland basin evolution during Andean orogenesis, northern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. Journal of South

con la asociación palinológica recuperada en las muestras MU-E11 y MU-E12 de la zona-1 (segmento inferior), las cuales revelan que se encuentran dentro de la zona proxapertites del VMM, equivalentes a las zonas T-01 a T-04a del Paleoceno según Jaramillo et al, (2011)⁵⁸. Los resultados de las muestras analizadas (MT-E-9.3 y MT-E9.1) de la zona-1 y (MH-E10C; MH-E10 A-1; MH-E14 y MH-E18 D), de la zona-2 para el segmento superior de la Formación Umir (llamado informalmente), están asociados a la palinozona Cretácico Superior (Maastrichtiano) y dos muestras de la zona-1(MU-E6 y MU-E9), se ubican en la zona proxapertites del VMM, equivalentes a las zonas T-01 a T-04a del Paleoceno según Jaramillo et al., (2011)⁵⁹. Los resultados de las muestras (MU-E6 y MU-E9) en la zona-1, resuelven la incertidumbre de asignación de edad Daniano para los últimos estratos de la Formación Umir, planteada por los autores Morales et al, (1958)⁶⁰, Van der Hammen (1960)⁶¹; Tchegliakova, (1993)⁶²; Ward *et al.* (1973)⁶³, entre otros; por lo cual se propone en el presente estudio la ubicación del límite K/Pg en los intervalos no diagnósticos, ubicados entre 10 a 200,6 metros estratigráficos por debajo del contacto de la Formación Umir y Lisama en la zona-1 y entre el contacto de las Formaciones y 75 metros estratigráficos por debajo este

American Earth Sciences, 32(3): 246-236.

⁵⁸ JARAMILLO, C.; RUEDA, M.; y TORRES, V. Palynological Zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills En: Palynological. Vol. 35, No 1 (2011); p. 46-84.

⁵⁹ JARAMILLO, C.; RUEDA, M.; y TORRES, V. Palynological Zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills En: Palynological. Vol. 35, No 1 (2011); p. 46-84.

⁶⁰ Morales, L. 1958. General geology and oil occurrence of the Middle Magdalena Valley, Colombia. In habitat of oil a Symposium American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Tulsa. U.S.A, pp. 641-695.

⁶¹ Van Der Hammen, T. 1960. Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continental y tectogénesis de los Andes Colombianos. Boletín Geológico, Servicio geológico, 6 (1-3): 67-128.

⁶² Tchegliakova, N. 1993. Los Foraminíferos y Minerales autigénicos de la Formación Umir (Sección Quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena): Registro de una laguna costera a finales del Cretácico Superior (Maastrichtiano). Geología Colombiana, 18: 107-117

⁶³ Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., y Restrepo, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. Boletín Geológico, 21(1-3), 132p.

en la zona-2. Esta propuesta debe examinarse cuidadosamente con estudios de dataciones absolutas y relativas, que permitan corroborar la ubicación del límite K/Pg.

Los resultados de geología de campo en conjunto con los de paleopalinología, simplificados en las columnas estratigráficas levantadas permiten establecer relaciones litoestratigráficas de las dos zonas de estudio (Figura 73), además ayudan a ubicar el límite de los periodos hacia el tope de la Formación Umir en donde predomina una litología fina de tamaño de grano lodo, caracterizada por la presencia de un paleosuelo color rojizo-purpura; hacia el contacto de las Formaciones algunos niveles de arenisca de grano fino azul-grisácea, mal seleccionada, bioturbada, con presencia de cementación calcárea y glauconita, son menos predominantes. La litología predominante en la base de la Formación Lisama son areniscas de grano fino-medio de coloración verde amarilla grisácea, con estructuras sedimentarias current y wave ripples, estratificación cruzada, moderadamente bien seleccionadas con presencia de líticos, muscovita, glauconita y cementación calcárea. La litología menos predominante son conglomerados gris verdoso con clastos de 0,5cm a 3cm subredondeados en una matriz de arenisca gruesa e intraconglomerados con clastos angulares de lodolitas grisáceas con laminación plano paralela y carbón de dimensiones de 3cm a 10cm. Con los resultados de geología de campo y paleopalinología se propone en el presente trabajo de investigación que la ubicación exacta del límite K/Pg estaría en el paleosuelo descrito anteriormente y que además se sustenta en el hecho de que se ubica en las dos zonas de estudio en los intervalos no diagnósticos. Esta hipótesis debe confirmarse por medio de dataciones diferentes a la paleopalinología, debido a que la materia orgánica no es significativa en el paleosuelo.

En el presente estudio no se pudo puntualizar con precisión el límite K/Pg, debido a que no se encontró la evidencia distal de eyecta de impactos, por lo cual se proponen tendencias o cambios mineralógicos y geoquímicos que involucran los intervalos no diagnósticos en los que se ubica el límite de los periodos.

Los resultados petrográficos para las areniscas analizadas, que se ubican en el segmento superior de la Formación Umir, en las dos zonas presentan un alto contenido de líticos de origen volcánico, probablemente estaría asociado a la erosión de la Formación Noreán esta afirmación concuerda con el trabajo de (Rodríguez, 2012)⁶⁴ quien afirma que estarían relacionados con un pulso de levantamiento al occidente, en lo que actualmente es la Serranía de San Lucas, que permitió la erosión de la unidad vulcano-clástica Formación Noreán, ya que esta es la unidad más cercana geográficamente que pudiera aportar tal cantidad de líticos de dicho tipo. Los minerales presentes en las rocas analizadas en el segmento superior de la Formación Umir en donde se ubica límite K/Pg y que muestran unas tendencias similares en las dos zonas de estudio son: el cuarzo, feldespato potásico, glauconita, pirita, anortoclasa, calcita y ankerita. El feldespato potásico, glauconita, calcita y ankerita en general tienden a disminuir hacia el límite. La pirita y el cuarzo muestran una tendencia creciente. La anortoclasa aparece solo en el segmento de la Formación Umir en las dos zonas, en porcentajes apreciables y posteriormente en el segmento inferior de la Formación Lisama decrece a trazas. Estos minerales están relacionados con el cambio de sedimentación de las dos Formaciones, que a su vez sugieren tendencias y pueden dar claridad a la ubicación del límite de los periodos.

⁶⁴ Rodríguez-Rincón, J.D. (2012); Petrografía y análisis de proveniencia de la Formación Lisama en el Valle medio del Magdalena, Río Sucio, Lebrija, Santander. Trabajo de Grado, Pp 1-25
Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

Los resultados de DRX para el Bulk permiten ratificar el incremento de cuarzo hacia el límite K/Pg y la ocurrencia de feldespato sódico asociado a la anortoclasa en las dos zonas de estudio y la presencia de carbonatos en el segmento superior de la Formación Umir, en la zona-2. Las tendencias de los minerales arcillosos menores a dos micras observados en DRX, permiten inferir en relación al límite de los periodos, correlacionando el segmento superior de la Formación Umir de la zona-2 y el segmento inferior de la Formación Lisama zona-1, una tendencia decreciente muy marcada para los interestratificados, y aumento de la caolinita y la illita. Los resultados de los minerales arcillosos representan en primer lugar cambios en la sedimentación de las dos Formaciones, pero a su vez sugieren tendencias y claridad a la ubicación del límite de los periodos.

Los resultados geoquímicos obtenidos por medio del EDX en las dos zonas de estudio ayudan a: consolidar la presencia de Na asociado a la anortoclasa, en el segmento superior de la Formación Umir; proponer una tendencia creciente para el aluminio y oxígeno y decreciente para el calcio y carbono; mostrar la predominancia en las dos zonas de estudio en el segmento superior de la Formación Umir, de los grupos carbonoideos, calcógenos y térreos en el intervalo que comprende al límite K/Pg. Estos elementos están relacionados con el cambio de sedimentación de las dos Formaciones, pero que a su vez sugieren unas propiedades, geoquímicas relacionadas al límite de los periodos.

Los análisis realizados a través de la microscopía electrónica de barrido corroboran la presencia de: anortoclasa como mineral característico en las dos zonas, pirita, carbonatos, minerales arcillosos, microfósiles, óxidos de hierro, carbón entre otros minerales.

Las tendencias geoquímicas y mineralógicas deben corroborarse en otras áreas para su respectiva consolidación, como tendencias representativas.

Los datos y resultados en este estudio permiten dar claridad a la ubicación del límite K/Pg en Colombia y caracterizar de manera generalizada los cambios geoquímicos y mineralógicos en el segmento superior de la Formación Umir que lo comprende.

8. CONCLUSIONES

La evidencia puntual de las eyectas distales producidas por el impacto del meteorito de Chicxulub en el Golfo de México, no se evidencian en el flanco oriental del sinclinal Nuevo Mundo.

El límite K/Pg se encuentra ubicado en la parte superior de la Formación Umir entre 10 a 200,6 metros estratigráficos por debajo del contacto de la Formación Umir y Lisama en la zona-1, y entre el contacto de las Formaciones y 75 metros estratigráficos de bajo de este, en la zona-2.

La litología que comprende el límite K/Pg hacía el tope de la Formación Umir es predominantemente fina tamaño de grano lodo-arcilla, con algunos niveles de arenisca fina-media, hacia el contacto de las Formaciones.

Los minerales que caracterizan el segmento superior de la Formación Umir son: cuarzo, glauconita, calcita, ankerita, pirita y anortoclasa, que por sus tendencias semejantes y presencia en las dos zonas de estudio, permiten caracterizar y ubicar el intervalo no diagnóstico en donde está comprendido el límite K/Pg.

Los elementos químicos que presentan importancia hacia el límite de los periodos son: el Al y O que presentan una tendencia creciente, Ca y C que decrecen. El Na aparece en cantidades apreciables, en el segmento superior de la Formación Umir. Estos elementos químicos permiten caracterizar y ubicar el intervalo no diagnóstico en donde está comprendido el límite K/Pg.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar análisis de dataciones relativas y absolutas con el fin de precisar el límite. Estas dataciones deben hacerse con antesala, con el fin de evitar retrasos para otros análisis.
- Llevar a cabo estudios en otras secciones en donde se encuentre el límite, para corroborar las tendencias geoquímicas y mineralógicas propuestas.
- Realizar un muestreo con mayor densidad, en los intervalos en los que se ubicó el límite de los periodos.

BIBLIOGRAFIA

ARITA, HÉCTOR. Crónicas de la extinción. México, Distrito Federal, México: Fondo de Cultura Económica, 2016. p. 120-150

BERCOVICI, A y VELLEKOOP, J. Methods in Paleopalynology and Palynostratigraphy: An Application to the K-Pg Boundary . En: Terrestrial Depositional Systems. Vol. 40, No 155 (Mayo, 2017); p. 127-164.

BERMUDEZ, H. D et al. The Cretaceous–Palaeogene boundary at Gorgonilla Island, Colombia, South America Terra Nova, Vol 28, No. 1, 83–90.

BERMÚDEZ, H. et al. Microkristitas de la isla de gorgonilla: primer registro de esferulitas asociadas al límite k/pg en colombia, sur américa y el pacífico oriental En:Terra Nova. Agosto 31 – Septiembre 5, 2015,Vol 28 no. 1, p 83-90.

BLASCO, A.; et al. Aplicación de las tecnicas geologicas al estudio de materiales aqueologicos: el ejemplo de las cuentas Metodología de trabajo del proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especia de Variscita Catalanans y el complejo minero neolitico de Can Tintoner (GAVA BARCELONA). Cuaternario y Geomorfología. Vol. 1, No 4 (1992); p. 71-80.

COOPER, M. A. et al., 1995. Basin Development and Tectonic History of the LlanosBasin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley,Colombia. AAPG Bulletin, 79(10): 1421–1443

CURIA, Maria Victoria Estudio Fisicoquímico y Catalítico del Sistema Mn-O-V. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Exactas Departamento de Química. , 2010. 61 p.

ETAYO SERNA, F.; et al. Metodología de trabajo del proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales Del Ingeominas. Vol. 25, No 16 (Enero-Junio, 1985b); p. 1-13. ISSN-0120-078X.

FOLK, R.L. Petrology of Sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co. Austin, Texas. 1974.

FOLK, R.L. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing, Austin, TX. 1980., 184p.

GIANNINI, Cristina y ROANI, Roberta. Diccionario de restauración y diagnóstico. Italia: Editorial Nerea S.A. de C.V., 2008. p. 86.

GOMEZ, E., JORDAN, T. E., ALLMENDINGER, R. W., HEGARTY, K., AND KELLEY, S. 2005. Syntectonic Cenozoic Sedimentation in the Northern Middle Magdalena Valley Basin of Colombia and Implications for Exhumation of the Northern Andes. Geological Society of America Bulletin, 117(5/6): 547-569.

GONZALES M., Rosa, et al. Química. 1 ed. México. Grupo Editorial Patria, 2004, ISBN E-BOOK: 978-607-438-935-7.

JARAMILLO, C.; RUEDA, M.; y TORRES, V. Palynological Zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills En: Palynological. Vol. 35, No 1 (2011); p. 46-84.

KIESSLING, W. y BARON-SZABO, R.C. Extinction and recovery patterns of scleractinian corals at the Cretaceous-Tertiary boundary. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology. 2004 p 195–223.

MELÉNDEZ, A. y MOLINA, E. El límite Cretácico-Terciario (K/T). España: Publicaciones del Instituto Geológico y Minero. 2008, p 107-113.

MONROY, W. y SANDOVAL, M. Exploración y evaluación de carbones en el área vanegas – san vicente de chucurí – río cascajales del departamento de Santander. Servicio geológico Colombiano, Direccion de Recursos Minerales. 2015, p 41.

MONTAÑO, P.C., NOVA, G., BAYONA, G., MAHECHA, H., AYALA, C., JARAMILLO, C., Y DE LA PARRA, F. 2016. Análisis de secuencias y procedencia en sucesiones sedimentarias de grano fino: un ejemplo de la Formación Umir y base de la Formación Lisama, en el sector de Simacota (Santander, Colombia). Boletín de Geología, 38 (1): 51-72.

MORALES, L. G. PODESTA, D. J., HATFIELD, W. C., TANNER, H., JONES, S. H., BARKER, M. H., O'DONOGHUE, D. J., MOLER, C. E., DUBOIS, E. P., JACOBS, C., AND GOSS, C. R., 1958, General geology & oil occurrences of the Middle Magdalena Valley, Colombia: Habitat of Oil. Symposium, American Association of Petroleum Geologists. P. 641-695.

MORENO, C.J., HORTON, B.K., CABALLERO, V., MORA, A., PARRA, M., AND SIERRA, J. 2011. Depositional and provenance record of the Paleogene transition from foreland to hinterland basin evolution during Andean orogenesis, northern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(3): 246-236.

MONTANARI, A., KOEBERL, C. (2000): Impact stratigraphy: the Italian record. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 93: 1-364. Heidelberg, Springer-Verlag.

MUNSELL COLOR. GEOLOGICAL ROCK-COLOR CHART. En: Geological Society of America (GSA).(2009); p. 6-11.

OTERO, M. Modelamiento y Evolución Estructural del cierre del Sinclinal de Nuevo Mundo y su Utilidad en el Procesamiento. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología, 2001. 100 p.

PARVIS MERLE. Drainage pattern significance in air photo identification of soils and bedrocks.(1943); p. 390.

PETTIJOHN F, POTTER P Y SIEVER R. Sand and sandstone, Springer – Verlag, New York. 1987,

RAMÍREZ FERNÁNDEZ, Mario. Estudio de la cristaloquímica y cuantificación por difracción de rayos x en materiales tipo hidrotalcita procedentes de la química del

cemento. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias Departamento de Geología y Geoquímica. , 2016. 44 p.

RANGEL A., MOLDOWAN J. M., NIÑO, C., PARRA, P. & GIRALDO, B.N. 2002. Umir Formation: Organic geochemical and stratigraphic assessment as cosource for Middle Magdalena basin oil, Colombia. AAPG Boletín, v. 86, no. 12, pp. 2069–2087.

RODRÍGUEZ-RINCÓN, J.D. (2012); Petrografía y análisis de proveniencia de la Formación Lisama en el Valle medio del Magdalena, Rio Sucio, Lebrija, Santander. Trabajo de Grado, Pp 1-25 Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

ROYERO, J.M., Y CLAVIJO, J. 2001. Memoria Explicativa Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, escala 1:400.00. INGEOMINAS, Bogotá.

SCHULTE. P, and 40 others. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. Science, 327. Pág. 1214-1218. 2010.

SMIT, J. (1999): The global stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary boundary impact ejecta. Annual Review of Earth and Planetary Science, 27: 75-113.

.

TCHEGLIAKOVA, N. 1993. Los Foraminíferos y Minerales autígenicos de la Formación Umir (Sección Quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena): Registro de una laguna costera a finales del Cretácico Superior (Maestrichtiano).

Geología Colombiana, 18: 107-117.

TRAVERSE, Alfred. Paleopalynology. 2 ed .Pennsylvania. USA. : Springer Editorial, 2007. V 28. 2 p. ISBN 978-1-4020-5609-3.

VAN DER HAMMEN, T. 1958. Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continental y tectogénesis de los Andes Colombianos. Boletín Geológico, Servicio geológico, 6 (1-3): 67-128.

VAN DER HAMMEN, T. 1960. Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continental y tectogénesis de los Andes Colombianos. Boletín Geológico, Servicio geológico, 6 (1-3): 67-128.

WARD, D., GOLDSMITH, R., CRUZ, J., Y RESTREPO, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. Boletín Geológico, 21(1-3), 132p.