

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

ANÁLISIS TECTONO-ESTRATIGRÁFICO DE LA CORDILLERA COSTERA ENTRE LAS POBLACIONES DE JIPIJAPA Y LA RINCONADA

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO**

JHONATAN WLADIMIR ENRÍQUEZ VILLARREAL

jono_envi23@hotmail.com

MIGUEL ANDRÉS ESPINOSA QUINDE

andres.espinosa.q@outlook.com

DIRECTOR: Dr. PEDRO REYES PhD.

pedro.reyes@epn.edu.ec

Quito, febrero 2018

DECLARACIÓN

Nosotros, Jhonatan Wladimir Enríquez Villarreal y Miguel Andrés Espinosa Quinde, portadores de las C.C. 0401256565 y 0704416890 respectivamente, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o certificación profesional; y, que hemos consultado las referencias que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Jhonatan Wladimir Enríquez Villarreal

Miguel Andrés Espinosa Quinde

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jhonatan Wladimir Enríquez Villarreal y Miguel Andrés Espinosa Quinde, bajo mi supervisión.

PhD. Pedro Reyes.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida y salud para poder cumplir mis metas y sueños.

A la Escuela Politécnica Nacional por abrirme las puertas y permitirme sacar mi carrera adelante.

Al PhD. Pedro Reyes quien me dio la oportunidad de realizar este trabajo, gracias por su confianza y enseñanzas a lo largo de toda mi vida estudiantil dentro de la Facultad.

A la Doctora Ana Cabero que a pesar de no conocerme me brindo todo su apoyo, tiempo, ayuda y conocimiento para poder sacar este trabajo adelante.

A mis profesores: Ing. Tomás Espinosa, Ing. Jorge Sevilla, Ing. Renán Cornejo, Ing. Pablo Duque, Ing. Janeth Gaibor, Ing. Halina Lachowicz Ing. Mario Ruíz, Ing. Rocio López, Ing. Carolina Bernal, Ing. Eliana Jiménez, Ing. Benjamín Bernard, Ing Silvana Hidalgo, Ing. Bernardo Beate, Ing. Daniel Andrade, Ing. Alexandra Alvarado, Ing. Hugo Yepes, todos ellos y espero no olvidarme de ninguno contribuyeron para formarme académicamente durante mi larga estadía en la Facultad.

Al Profe José Luis Román el cual me brindo su amistad, conocimientos y apoyo.

A Roxana por ser parte fundamental durante mi carrera universitaria, siempre me brindó su apoyo y cariño en las cosas que elegí hacer.

A mi compañero y amigo de tesis Andrés por todo el esfuerzo realizado en la elaboración de este proyecto.

A mis Amigos y compañeros de carrera.

Att. Jhonatan Enríquez

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica Nacional en cuyas aulas recibí la formación necesaria para desarrollar este proyecto y para un buen desenvolvimiento en el campo laboral, a sus excelentes profesores por compartir su conocimiento técnico-científico a lo largo de la carrera, en especial al Dr. Pedro Reyes y la Dra. Ana Cabero por su apoyo en el trabajo de campo.

A mis amigos que me acompañaron a lo largo de la carrera: Juver J., Josué G., Johnny G., Williams O., Alejandro V. y Mateo V. (negro mmv).

A mi amigo y compañero de tesis, Jhonatan, por su confianza y dedicación en la ejecución de este trabajo.

Por último y no menos importante, a ti Grace R., gracias por todo.

Att. Andrés.

DEDICATORIA

A mis padres Nelson Enríquez y Fabiola Villarreal por su inmenso apoyo dedicación y esfuerzo para ayudarme a cumplir este sueño, nunca dejaron de creer en mí y siempre tuvieron una palabra de aliento.

A mi ñaña Lety por recibirme en tu casa y brindarme tu confianza, eres mi hermana, mi amiga y siempre estaré en deuda contigo por todo lo que me has ayudado.

A mi ñaña Vivi y su familia por apoyarme y brindarme su cariño incondicional.

Este trabajo va dedicado de manera especial a mis sobrinos Alison, Martín y Diego por servirme de inspiración para sacarlo adelante. Siempre quiero ser el mejor ejemplo para ustedes.

Att. Jhonatan Enríquez

DEDICATORIA

A mis padres.

Att. Andrés

RESUMEN

La zona de estudio se encuentra localizada en la región Costa del Ecuador, dentro de la Cordillera Costera entre los poblados de Jipijapa y La Rinconada, está constituida por rocas ígneas Cretácicas que conforman el basamento y una secuencia sedimentaria de diferentes edades que se originan en el Cretácico Superior hasta el Mioceno Inferior. El análisis petrográfico y estructural realizado en este trabajo han permitido definir claramente seis unidades litológicas, las cuales fueron depositadas en diferentes ambientes. La tectónica regional dominante refleja estructuras con rumbos promedio Norte-Sur paralelos al rumbo de la fosa oceánica en este sector del Ecuador.

Los principales eventos de deformación se originaron entre el Cretácico – Eoceno y Mioceno Superior. El primer evento de deformación es producto de esfuerzos extensivos y compresivos; los esfuerzos extensivos se evidencian en fallas normales con rumbos Norte – Sur que afectan a las unidades cretácicas Piñón y Cayo, y los esfuerzos compresivos son producto de la acreción de estas Formaciones hacia el continente originando el plegamiento de las mismas. En el Eoceno Medio se depositó la Formación Cerro la cual está compuesta por productos volcánicos provenientes de la Cordillera Occidental (Unidad Macuchi). En el Luteciense Inferior se depositó El Grupo Ancón el cual está constituido por una secuencia de lutitas y areniscas; en el Bartonense Superior producto de un levantamiento en la zona se depositó la Formación San Mateo, la que está compuesta por areniscas y conglomerados. En el Mioceno Temprano se depositó la Formación Dos Bocas la cual está constituida por lutitas y es producto de una profundización de la cuenca.

El segundo evento importante de deformación está controlado por la Falla inversa de Jipijapa que es producto de esfuerzos compresivos en sentido Este – Oeste, estos esfuerzos se originaron a partir del Mioceno Superior como resultado del incremento en la velocidad de convergencia de la placa subductante de Nazca.

ABSTRACT

The present study was carried out in the Coastal region of Ecuador, within the Coastal Range between the villages of Jipijapa and La Rinconada, this area is constituted of Cretaceous igneous rocks which form the basement and a sedimentary sequence of different ages that originate in the Late Cretaceous to the Lower Miocene. The petrographic and structural analysis carried out in this study have allowed clearly defined six lithological units, which were deposited in different environments. The dominant regional tectonics reflects structures with directions average North-south parallel to the direction of the oceanic trench in this sector of Ecuador.

The main deformation events originated between the Cretaceous - Eocene and Upper Miocene. The first deformation event is the product of extensive and compressive stresses; the extensive stresses are presented as normal faults with directions North – South that affect the Cretaceous units Piñon and Cayo, and the compressive stresses are the product of the accretion of these formations toward the continent, causing folding of the same. In the Middle Eocene, the Cerro Formation was deposited, which is composed of volcanic products from the Western Cordillera (Macuchi Unit). In the Lower Luteciense the Ancón Group was deposited which is constituted by a sequence of shales and sandstones; in the Upper Bartonian, product of an uplift in the area the San Mateo Formation was deposited, which is composed of sandstones and conglomerates. In the Early Miocene the Dos Bocas Formation was deposited which is constituted of shales and is the product of a deepening of the basin.

The second deformation event is controlled by the Jipijapa reverse fault, which is the product of compressive stresses in the East - West direction, these stresses originated from the Upper Miocene as a result of the increase in the convergence speed of the Nazca Plate.

TABLA DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
TABLA DE CONTENIDOS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes y justificativos	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.2.3. Alcance.....	3
1.3. Metodología	4
1.4. Área de Estudio	4
1.4.1. Clima	5
1.4.2 Fauna y Flora	6
1.4.3 Relieve y Drenaje.....	6
1.5. Síntesis de trabajos anteriores.....	8
CAPÍTULO 2.....	10
2. GEOLOGÍA REGIONAL.....	11
2.1. Contexto geodinámico.....	11

2.2. Geología regional	12
2.3. Cuencas antearco.....	13
2.4. Litoestratigrafía de la Cordillera Costera.....	14
2.5. Evolución Tectónica Regional	22
CAPÍTULO 3.....	25
3. GEOLOGÍA LOCAL	26
3.1. Formación Piñón.....	27
3.2. Formación Cayo.....	30
3.3 Formación Cerro	35
3.4 Grupo Ancón.....	41
3.5. Formación San Mateo	43
3.6. Formación Dos Bocas	47
CAPÍTULO 4.....	50
4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	51
4.1. Fallas.....	51
4.2. Pliegues	55
4.3. Falla de Jipijapa	59
CAPÍTULO 5.....	61
5. MODELO DE EVOLUCIÓN	62
5.1 Modelo Tectono-Estratigráfico.....	62
5.2 Evolución Geodinámica	66
CAPÍTULO 6.....	69
6. CONCLUSIONES.....	70
CAPÍTULO 7.....	72
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	73
CAPÍTULO 8.....	78
8. ANEXOS.....	79
Anexo 1.....	80
MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA ESTUDIADA.....	80

Anexo 2.....	82
LUGARES DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO.....	82
Anexo 3.....	84
MAPA DE UBICACIÓN DE MUESTRAS.....	84
Anexo 4.....	86
FICHAS PETROGRÁFICAS DE LÁMINA DELGADA.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	5
Figura 1.2. Mapa Morfológico de la zona de estudio.....	7
Figura 2.1. Contexto Geodinámico en el que se ubica el Ecuador. Se observan datos de velocidad y dirección de convergencia de las placas además de importantes rasgos estructurales continentales y oceánicos. Modificado de Gutscher et al. (1999).....	11
Figura 2.2. Esquema generalizado de las regiones morfotectónicas del Ecuador, modificado de Deniaud (1998).....	12
Figura 2.3. Mapa de fallas y pliegues cuaternarios, 14a y 14b corresponderían a los segmentos del Sistema de Fallas Jipijapa. Modificado de Égüez et al. (2003).....	13
Figura 2.4. Columna litoestratigráfica de las Formaciones que afloran en el área de estudio, elaborado a partir de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional propuesta por la Comisión Internacional de Estratigrafía.....	14
Figura 2.5. Esquema estructural propuesto por Daly (1989). Se encuentran resaltadas las estructuras que controlarían la rotación de los bloques. Con respecto a la Falla Bahía de Caráquez y la Falla Esmeraldas, ambas serían rasgos morfológicos no confirmados como tal.....	23
Figura 3.1. Mapa de vías y lugares de referencia.....	26
Figura 3.2. Afloramiento de lavas basálticas masivas en el sector de La Boca-Puerto Cayo (UTM: 17M 527132/9854802).....	27
Figura 3.3. Afloramiento de la Formación Piñón en el sector de la Rinconada (UTM: 522796/9811305).....	28
Figura 3.4. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (10x) de un basalto toleítico de la Formación Piñón. G (Vidrio), PI (Plagioclasa), Opq (Opacos). Muestra 1606-JLR-07A.....	29

Figura 3.5. Contacto erosivo-Inconformidad- marcado en rojo entre las Formaciones Cayo y Piñón, sector de La Rinconada (UTM: 522475/9810462).....	29
Figura 3.6. Afloramiento de la Formación Cayo hacia el este de la comunidad de Agua Blanca (UTM:531383/9830267).	30
Figura 3.7. Estratos de areniscas y lutitas pertenecientes a la Formación Cayo (UTM: 532356/9830965).	31
Figura 3.8. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una arenisca volcanoclástica de la Formación Cayo, formada por fragmentos de roca volcánica (Vfr), cuarzo (Qz), piroxeno (Px), glauconita (Glt) y fragmentos de rocas volcánicas (Vfr). Muestra 1606-JLR-01.	33
Figura 3.9. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una limolita de la Formación Cayo, Muestra 1610-JLR-14A.	34
Figura 3.10. Contacto discordante marcado en rojo en diferentes localidades de la zona de estudio entre las Formaciones Cayo y Cerro. A) Puerto Cayo (UTM: 17M 528954/9848797), B) Joa (UTM: 17M 538810/9845625).....	35
Figura 3.11. Afloramiento de la Formación Cerro en el sector de Membrillal (UTM:17M 541015/9864056).	36
Figura 3.12. Afloramiento de la Formación Cerro hacia el oeste de la comunidad de Julcuy (UTM: 17M 535168/9832980).....	37
Figura 3.13. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una toba de ceniza vítrea, de la Formación Cerro. Glt (Glauconita), Opq (Opaco). Muestra 1606-JLR-18A.....	39
Figura 3.14. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una marga tobácea silicificada con contenido de foraminíferos, de la Formación Cerro. Glt (Glauconita), Opq (Opaco). Muestra 1606-JLR-16A.	40
Figura 3.15. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una marga con radiolarios, en el centro de la imagen se observa el espécimen de un Cibicides sp. Muestra 1606-JLR-14A.	41
Figura 3.16. Afloramiento del grupo Ancón en el sector de Machalilla. (UTM: 17M 526731/9838099).	42
Figura 3.17. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una limolita con fragmentos subredondeados de lutita, pertenecientes al Grupo Ancón. Muestra 1610-JLR-28A.....	43
Figura 3.18. Afloramiento de la Formación San Mateo en el sector de Manantiales. (UTM: 17M 532625/9862444).	44
Figura 3.19. Afloramientos de la Formación San Mateo en el extremo este del poblado de Julcuy (UTM: 17M 538113/9834754).....	45

Figura 3.20. Afloramiento de la Formación San Mateo, sector Puerto López. (UTM: 17M 519431/9827121).	45
Figura 3.21. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de un conglomerado con presencia de foraminíferos tipo orbitoides de la Formación San Mateo. F (Fósiles), Glt (Glauconita), Lfr (Fragmentos de lutitas), Mfr (Fragmentos de margas), Vfr (Fragmentos de rocas volcánicas). Muestra 1606-JLR-03.	46
Figura 3.22. Contacto entre las Formaciones Dos Bocas y San Mateo. (UTM: 17M 538881/9835095).	47
Figura 3.23. Afloramiento de la Formación Dos Bocas. Lutitas color chocolate con estratos finos de areniscas y diques sedimentarios.	48
Figura 3.24. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de un mudstone dolomitizado de la Formación Dos Bocas. Muestra 1606-JLR-04B.	49
Figura 4.1. Proyección estereográfica de los planos de falla normales medidos a lo largo de las campañas de campo en la Formación Cayo.	52
Figura 4.2. Zona de cizalla dextral en fallamiento normal. Formación Cayo al Este de Agua Blanca.	52
Figura 4.3. Fallas normales en Formación Cayo UTM: 532786 / 9831043. Al Este de Agua Blanca.	53
Figura 4.4. Falla normal en la Fm. Cayo. Extremo Sur de la playa “Los Frailes” (Parque Nacional Machalilla).	53
Figura 4.5. Contacto fallado entre las Formaciones Cayo y Piñón. (UTM: 17M 522220/9810492).	54
Figura 4.6. Contacto en inconformidad entre las Formaciones Piñón y Cerro, UTM: 516562 / 9822874. Al sur de Salango.....	55
Figura 4.7. Proyección estereográfica de la disposición de las capas de la Formación Cayo.....	56
Figura 4.8. Contacto discordante entre las Formaciones Cayo y Cerro. UTM: 535632 / 9832442.....	56
Figura 4.9. Proyección estereográfica de la disposición de las capas de la Formación Cerro.....	57
Figura 4.10. Proyección estereográfica de la disposición de las capas del Grupo Ancón.	57
Figura 4.11. Proyección estereográfica de la disposición de las capas de la Formación San Mateo.	58
Figura 4.12. Proyección estereográfica de la disposición de las capas de la Formación Dos Bocas.	58

Figura 4.13. Lineamiento en sentido NNE – SSW provocado por el movimiento del Sistema de Fallas Jipijapa – Portoviejo. Imagen tomada y modificada de Google Earth.	59
Figura 4.14. Corte Geológico A-B, (UTM: 17M 519097/9818496 – 548142/9818496).	60
Figura 5.1. Depósito del basamento.	62
Figura 5.2. Desarrollo de fallas normales en Formaciones Cretácicas.	63
Figura 5.3. Deformación de Formaciones Cretácicas y depósito de la Formación Cerro.	63
Figura 5.4. Depósito de Formaciones del Eoceno Medio y Mioceno Inferior.	64
Figura 5.5. Falla inversa de Jipijapa.	65
Figura 5.6. Modelo de evolución desde el Cretácico Superior hasta el Cuaternario. (CLIP) Caribbean Large Igneous Province, (PF) Placa Farallón, (MCP) Margen Continental Pasivo, (CR) Cordillera Real, (TP) Terreno Piñón, (SGC) Sutura Guayaquil-Caracas, (AC) Arco Calentura, (CR) Cordillera Real, (FC) Fm. Cayo, (AM) Arco Macuchi, (GA) Grp. Ancón, (FCR) Fm. Cerro, (FSM) Fm. San Mateo, (PN) Placa Nazca, (CO) Cordillera Occidental, (FDB) Fm. Dos Bocas, (RC) Ridge de Carnegie, (FJ) Falla Jipijapa, (CC) Cordillera Costera. En parte modificado de Spikings et al., 2015.....	67

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes y justificativos

La región costa del Ecuador está compuesta por una secuencia discontinua de antearco desarrollada sobre el límite convergente entre las placas Nazca y Sudamérica. Dicha secuencia está conformada por rocas sedimentarias de origen marino cuyas edades varían desde el Cretácico hasta el Cuaternario. El relieve de esta zona está caracterizado por dos importantes dominios geomorfológicos: la Cordillera Costera en la parte litoral y la Planicie Costera en la parte interna de la cuenca (Reyes, 2013).

La costa ecuatoriana es a menudo perturbada por una gran cantidad de sismos y una actividad neotectónica continua, por lo que resulta necesario el análisis de fallas y sus zonas inestables asociadas, además de estudios litoestratigráficos para establecer modelos que permitan describir el comportamiento geológico de la zona.

La deformación vertical manifestada en forma de cordilleras a lo largo de la costa del Pacífico es relacionada con el campo de esfuerzos resultante de la convergencia entre la placa subductante de Nazca y la placa Sudamericana. Segmentos de la costa Sudamericana muestran levantamientos generalmente relacionados a la subducción de cordilleras asísmicas, en este caso la cordillera asísmica de Carnegie (Pedoja, 2006) en Ecuador y la cordillera de Nazca en Perú.

La zona de estudio del presente trabajo se encuentra ubicada en la región centro-occidental de la costa ecuatoriana, entre las provincias de Manabí y Santa Elena. Dicha zona carece de una cartografía geológica detallada y actualizada que permita correlacionar la estratigrafía presente con las estructuras geológicas locales.

En el presente estudio se realizó una cartografía detallada para el segmento sur-occidental de la Cordillera Costera, el cual pretende abordar varios de los problemas geológicos determinados en la zona, como: una litoestratigrafía poco definida, una información estructural imprecisa y una cartografía desactualizada. Estos resultados contribuirán con nueva información geológica que permitirá entender e interpretar de mejor manera el origen y evolución litoestratigráfica que componen el segmento sur de la Cordillera Costera, además de servir de base para futuras investigaciones en el área.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Establecer las relaciones tectono-estratigráficas de la zona sur de la cordillera costera mediante la actualización de la cartografía geológica y estructural.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la distribución espacial de las Formaciones geológicas
- Realizar el levantamiento de columnas estratigráficas generales.
- Efectuar un muestreo petrográfico de las Formaciones geológicas existentes.
- Describir petrográficamente las muestras de roca.
- Elaborar un mapa geológico con las principales estructuras y relaciones espaciales de las Formaciones.
- Proponer un modelo geológico que sintetice la evolución de la zona.

1.2.3. Alcance

- El análisis geomorfológico y estructural se realizó por medio de fotografías aéreas a escala 1:50000, modelos digitales de elevación (DEM) con resolución de 30 metros y mapas topográficos a escala 1:50000.
- El mapeo geológico se realizó mediante cuatro jornadas de campo de 7 días cada una para cubrir un área de 2498.7 km² aproximadamente. El trabajo incluyó la determinación en campo de los contactos entre Formaciones geológicas, orientaciones de estructuras y trazos de fallas.
- La descripción litológica se realizó mediante la identificación en campo y recolección de 86 muestras pertenecientes a las diferentes Formaciones geológicas de la zona, y la elaboración y análisis de 43 secciones delgadas.
- Se realizó la toma de medidas estructurales y cortes geológicos de campo para una reconstrucción estructural.
- La interpretación del modelo y evolución geológica se realizó en base a los datos de campo y análisis de laboratorio.

1.3. Metodología

- Recopilación bibliográfica y cartográfica de trabajos previos que se han efectuado en la zona de estudio, los cuales incluyeron: Tesis de Grado, Tesis Doctorales, publicaciones, mapas geológicos, mapas topográficos, fotografías aéreas e imágenes satelitales
- Análisis morfoestructural mediante la utilización de ortofotografías con resolución de 40 cm², dichas imágenes fueron tomadas de la base de datos creada por el programa SIGTIERRAS del Ministerio de Agricultura, Acuicultura, Ganadería y Pesca, además se utilizó Modelos Digitales de Elevación (DEM) de 30m x 30m.
- Levantamiento geológico realizado en 4 campañas de campo con una duración de siete días cada una, obteniendo información estructural y geológica, además, se levantaron 200 puntos de control y análisis, con toma de muestras de rocas de cada una de las Formaciones geológicas ubicadas en la zona de estudio; en total se recolectaron 86 muestras.
- Estudio petrográfico de las muestras de mano recolectadas, además de un análisis microscópico para el cual se elaboraron 46 secciones delgadas de las muestras más representativas de cada formación geológica. El estudio microscópico se lo realizó en un microscopio OLYMPUS BX51 con luz transmitida y cámara incorporada DP72.
- Elaboración de un mapa geológico de la zona de estudio a partir de la información estructural, estratigráfica y litológica de las diferentes Formaciones observadas en campo, con el uso de diferentes softwares especializados como: ArcGis 10.2.2, Quantum Gis, Google Earth Pro, Stereonet v9.8 y Global Mapper.
- Elaboración de un modelo de evolución tectónico-estratigráfico de la zona.

1.4. Área de Estudio

El área de estudio comprende el segmento sur de la Cordillera Costera ubicada entre los cantones Montecristi, Jipijapa, Puerto López y Santa Elena pertenecientes a la región costa del Ecuador (Figura 1.1). Se localiza sobre la cuenca antearco ecuatoriana, 280 Km al oeste de la ciudad de Quito y 188 Km al noroccidente de la ciudad de Guayaquil, cubriendo una extensión aproximada de 2498 km².

Cartográficamente, la zona de estudio se encuentra distribuida en las hojas topográficas, escala 1:50000, Río de Caña (M IV-A3), Membrillar (M IV-A4), Santa Ana (M IV-B3), Machalilla (M IV-C1), Jipijapa (M IV-C2), Noboa (M IV-D1), Puerto López (M IV-C3), Pedro Pablo Gómez (M IV-C4), Paján (M IV-D1), Olón (M IV-E1), Delicias (M IV-E2), La Estacada (M IV-F1), entre las coordenadas UTM: 513012 / 9874484; 558258 / 9874293; 525473 / 9805465; 558066 / 9805082 (Figura 1).

La principal vía de acceso a la zona de estudio es la ruta del *Spondylus* que atraviesa la línea costera del Ecuador, sin embargo, existen otras vías como la Quito–Santo Domingo–Portoviejo y Guayaquil–Jipijapa.

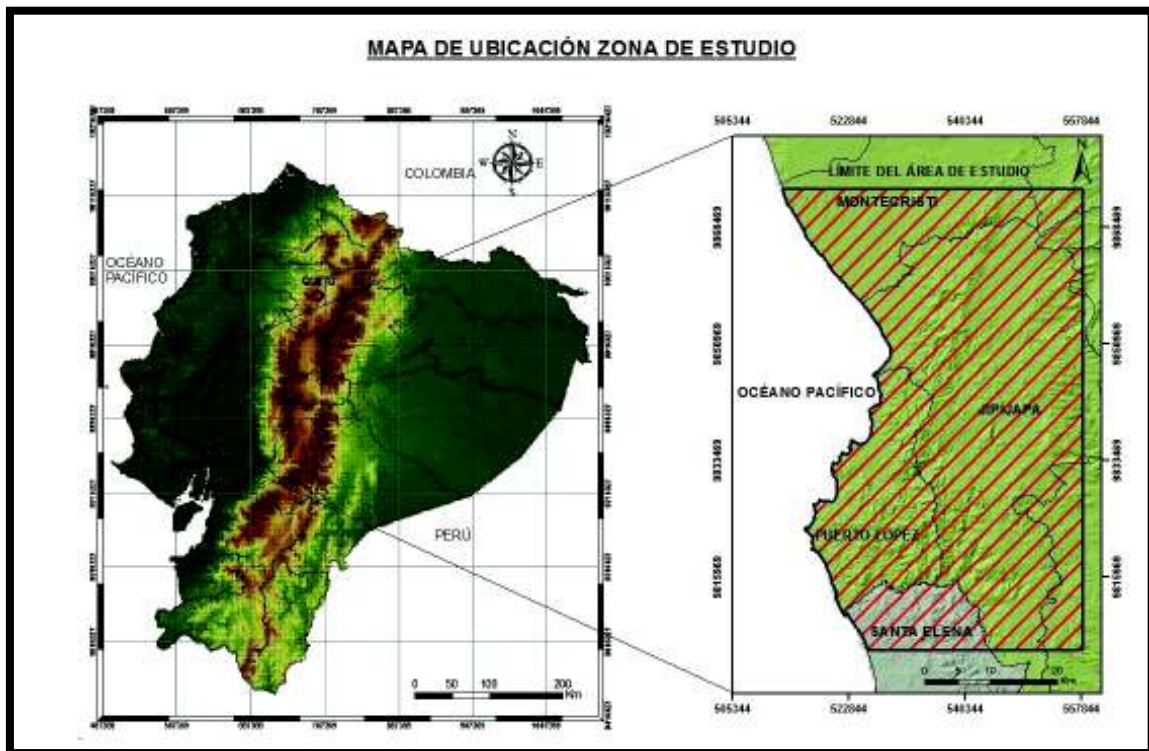


Figura 1.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

1.4.1. Clima

En la zona de estudio se encuentra ubicado el Parque Nacional Machalilla (PNM), del cual se tomó la información para definir el clima, flora y fauna. El PNM está influenciado por las corrientes marinas frías de Humboldt y cálida del Niño y por las condiciones orográficas de la Cordillera Costera (Blandimi, 1998).

La lluvia se distribuye en dos periodos: uno húmedo que corresponde a los meses de enero a mayo y otro seco que va desde junio a diciembre. La precipitación media anual varía de 161 mm a 1120 mm. La variación de temperatura oscila entre 26.3 °C en los meses de febrero y abril hasta 22.1 °C en el mes de agosto. En general los valores más

altos corresponden a los meses con mayor precipitación y los valores más bajos a la época de verano (Diagnostico Ecológico y Socioeconómico del Área Marino-Costera del Parque Nacional Machalilla. Parte 1. INEFAN / GEF 1997).

1.4.2 Fauna y Flora

En el PNM se encuentran especies faunísticas de dos zonas zoogeográficas estrechamente relacionadas: zona seca que abarca las tierras bajas del parque (0-600 m.s.n.m.) y zona brumosa alta que comprende las tierras altas del mismo (>600 m.s.n.m.).

En la fauna terrestre del parque se han registrado 81 especies de mamíferos, 234 de aves y 34 de anfibios y reptiles, representando el 23%, 15% y 6% de las especies totales existentes en el país.

La flora del PNM presenta seis formaciones vegetales: matorral seco litoral, matorral seco de tierras bajas, bosque decido de tierras bajas, bosque semidecuido premontano, bosque verde premontano y bosque de neblina montano bajo (Diagnostico Ecológico y Socioeconómico del Área Marino-Costera del Parque Nacional Machalilla. Parte 1. INEFAN / GEF 1997).

1.4.3 Relieve y Drenaje

La morfología de la zona se caracteriza por presentar elevaciones muy prominentes respecto al resto de la región costa. La variación altitudinal varía de 0 m.s.n.m en las regiones de playa a 810 m.s.n.m en los cerros Perro Muerto y Punta Alta en el área de la Cordillera Costera (Figura 1.2).

El área de estudio se puede dividir en dos dominios morfológicos diferentes. El primero está ubicado al norte del poblado de Julcuy, el cual se caracteriza por presentar colinas suavemente onduladas con elevaciones no mayores a 500 m.s.n.m. en la parte oriental, una cuenca central mayoritariamente conformada por depósitos de lutitas y en la parte occidental se encuentra el levantamiento de la cordillera costera con topes de altura en 680 m.s.n.m.

El segundo dominio se ubica al sur de Julcuy, caracterizado por un cambio morfológico muy marcado, generando elevaciones entre 600 y 810 m.s.n.m, como consecuencia del engrosamiento de la cordillera costera. Dichas elevaciones se encuentran ubicadas entre los ríos Buena Vista y Ayampe.

El drenaje del área de estudio tiene una dirección E-O desembocando en el Océano Pacífico, esta red está compuesta por drenajes dendríticos en las partes más orientales que dan lugar al nacimiento de los ríos antes mencionados, estos ríos al momento de atravesar la cordillera tienden a alimentarse de redes de drenaje de tipo subparalelas.

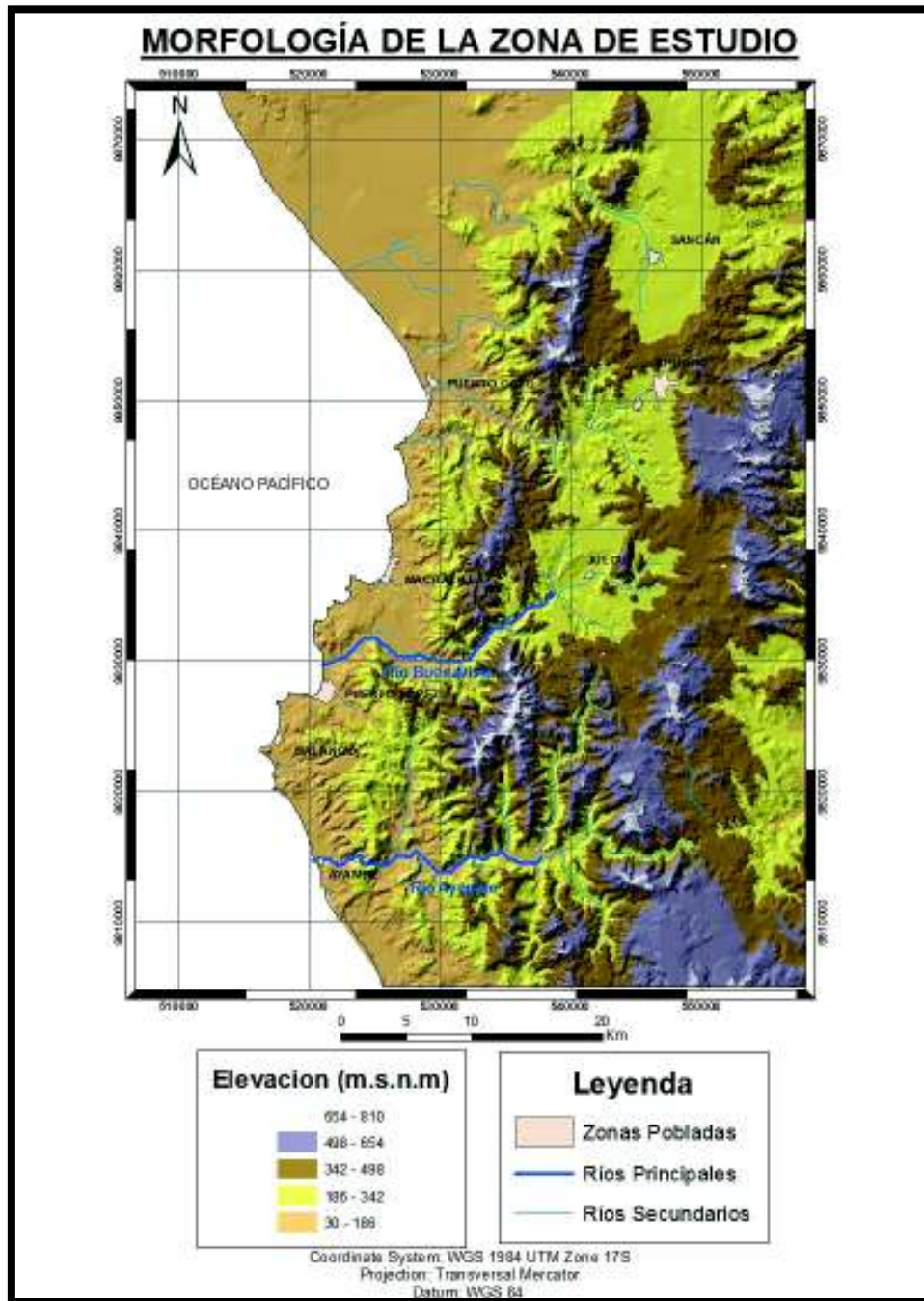


Figura 1.2. Mapa Morfológico de la zona de estudio.

1.5. Síntesis de trabajos anteriores

Los primeros trabajos realizados específicamente en la región costa fueron ligados a la exploración y explotación petrolera por las compañías ANGLO, IEPEC y CALEC.

Cabe mencionar que en el área de estudio se han llevado a cabo muy pocos trabajos de detalle, destacando los Trabajos de Grado de Contreras (1985), Egüez (1985) y Navarrete (1990), donde se hacen estudios estratigráficos detallados de la Formación San Mateo en las localidades de Puerto López, Julcuy y Manta, respectivamente. En estos trabajos se propone que el ambiente de depósito para dicha Formación es de tipo abanico submarino con una orientación que varía de 310° a 330° de azimut.

Benítez (1995), propone un modelo de evolución para toda la región costa a partir del Cretácico, además, hace una recopilación de las principales publicaciones realizadas hasta esa fecha, destacando los trabajos de Olsson (1942), Thalman (1946), Lonsdale (1978) y Shepard G.L (1979). En el modelo propuesto se distinguen dos fases compresivas en la Cordillera Costera con direcciones N-S y E-O, las edades de deformación de dichas fases serían pre-Eoceno Medio y post-Eoceno Medio respectivamente.

En 1995 E. Jaillard, propuso una evolución del segmento sur occidental de la costa ecuatoriana durante el Cretácico tardío al Eoceno temprano, aquí se destacan las principales fases tectónicas de la Costa ecuatoriana que ocurren en el Paleoceno superior, Eoceno inferior y Eoceno superior basal. Estas fases dan origen a la creación repetida de cuencas antearco, caracterizada por fases de subsidencia seguidas de fases compresivas.

En convenio con ORSTOM y PETROPRODUCCION, Deniaud (1998), realizó un estudio de la evolución tectono-sedimentario de las cuencas costeras neógenas del Ecuador basándose en el estudio de Benítez (1995).

A partir de 1995 se han propuesto varios modelos para describir la evolución de la cuenca de antearco ecuatoriana, se proponen edades de colisión y subducción de la cordillera asísmica Carnegie, destacando los trabajos de Gailler et al. (2007), Van Melle et al. (2008) y Collot et al., (2009).

En el mapa de fallas y pliegues cuaternarias de Ecuador de Egüez et al. (2003), se menciona que en el área de estudio existe la presencia de una falla inversa con dirección N-E/S-O.

Un estudio sismológico en el margen central de la costa ecuatoriana propuesto por Bethoux et al. (2011), determina una actividad microsísmica relacionada en esta zona a la falla Jipijapa-Portoviejo, mencionando una falla cuaternaria con componente focal inverso y campos de esfuerzos regionales con direcciones de compresión E-O a ESE-ONO y una extensión NNE-SSO.

Reyes (2013), en base a la recopilación de información y trabajo de campo propone tres grandes períodos de levantamiento y erosión, y estima una edad de levantamiento para la cordillera costera más joven que el Plioceno. La cordillera costera estaría segmentada en varios bloques, dichos bloques se plantean de manera independiente, originando un levantamiento heterogéneo de la cordillera costera, destacando el levantamiento más rápido al norte que al sur.

Los diferentes estudios realizados hasta la fecha carecen de un análisis tectónico y estratigráfico de detalle en el área planteada, por lo que este trabajo pretende incrementar el conocimiento de la distribución espacial de las diferentes Formaciones que se depositaron en la zona, así como también entender los mecanismos de deformación que definieron la configuración estructural actual de este segmento de la Cordillera Costera.

CAPÍTULO 2

2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1. Contexto geodinámico

El territorio ecuatoriano se encuentra ubicado en el Noroeste de Sudamérica en un margen convergente activo, lo que ha influenciado en el desarrollo de volcanismo, sismicidad, levantamiento y deformación.

La placa oceánica de Nazca, actualmente se subduce en dirección ENE bajo la placa Sudamericana a una velocidad de aproximadamente 58 mm/a (Trenkamp et al., 2002) desde principios del Neógeno (~23 Ma) (Bethoux et al., 2011). Sobre esta porción de litósfera oceánica se desarrolla la cordillera asísmica de Carnegie cuyo origen se relaciona con el Punto Caliente Galápagos (Figura 2.1), dicha cordillera asísmica se encuentra entre las latitudes 1°N y 2°S, lo cual es correlacionable tanto con la posición del arco volcánico Cuaternario continental ubicado entre estas mismas latitudes como con el levantamiento en la zona costera.

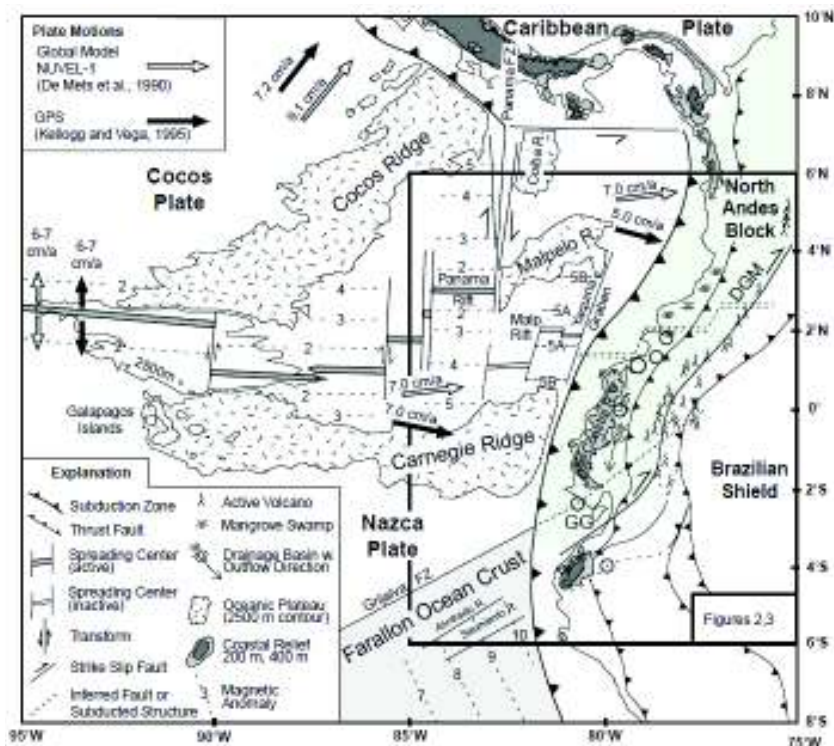


Figura 2.1. Contexto Geodinámico en el que se ubica el Ecuador. Se observan datos de velocidad y dirección de convergencia de las placas además de importantes rasgos estructurales continentales y oceánicos. Modificado de Gutscher et al. (1999).

El Ecuador continental ha sido dividido en varios dominios morfotectónicos coincidentes en gran parte con las regiones geográficas Costa, Sierra y Amazonía (Faucher & Savoyat, 1973). Estos dominios son: Costa, Cordillera Occidental, Valle Interandino, Cordillera Real y Cuenca Oriente (Vallejo et al., 2009) (Figura 2.2).

El escape del Bloque Norandino en dirección NE (Figura 2.1), a lo largo de fallas regionales, también está influenciado por el proceso de subducción (Gutscher et al., 1999). Las regiones morfotectónicas contenidas en este bloque serían la Costa y la Cordillera Occidental.

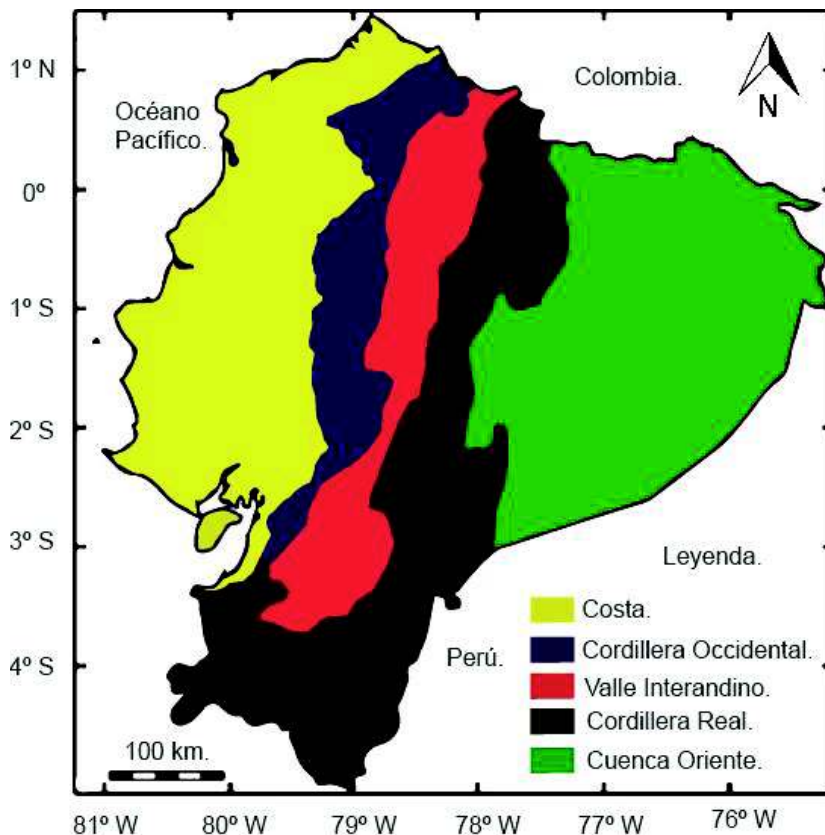


Figura 2.2. Esquema generalizado de las regiones morfotectónicas del Ecuador, modificado de Deniaud (1998).

2.2. Geología regional

La costa del Ecuador está conformada por varias secuencias de antearco limitadas al Este por la Cordillera Occidental. Ambas son subyacidas por un basamento de origen oceánico de edad Cretácica acrecionado al paleomargen continental a fines del Mesozoico (Lapierre et al., 2000).

El relleno de las cuencas está conformado de grandes paquetes sedimentarios desarrollados en paleoambientes que van desde marinos pasando por mareales hasta

de playa, con aportes volcánicos debido a la intensa actividad volcánica durante el Cretácico Superior y a la erosión durante la exhumación ocurrida en periodos de mayor convergencia (entre 50 y 20 Ma según Daly, 1989).

Entre los rasgos geomorfológicos más importantes está la Cordillera Chongón-Colonche con un rumbo NW-SE, La cual divide las cuencas Manabí al Norte y Progreso al Sur y cuya presencia está vinculada con la actividad de la Falla Colonche. Paralelo a la fosa, desde la parte norte de la provincia de Santa Elena se observa un lineamiento que se extiende hasta el sur de la ciudad de Portoviejo producto del levantamiento de la Cordillera Costera. Este levantamiento está vinculado a la evolución de la Falla de Jipijapa (Figura 2.3). Según la compilación neotectónica de Égüez et al. (2003) corresponde con un sistema de fallas dividido en dos segmentos.



Figura 2.3. Mapa de fallas y pliegues cuaternarios, 14a y 14b corresponderían a los segmentos del Sistema de Fallas Jipijapa. Modificado de Égüez et al. (2003).

2.3. Cuencas antearco

Las cuencas antearco que conforman la costa ecuatoriana de norte a sur son: Cuenca Borbón, Cuenca de Manabí, Cuenca Progreso y Cuenca de Valdivia. Estas se extienden hacia el occidente hasta la fosa oceánica.

El desarrollo de estas cuencas antearco estaría vinculado con las variaciones en las tasas de convergencia entre las placas Nazca y Sudamericana durante los últimos 70 Ma (Daly, 1989).

2.4. Litoestratigrafía de la Cordillera Costera

Las secuencias sedimentarias que conforman la costa ecuatoriana difieren entre sí en sus características paleoambientales. Debido a la temática de este trabajo, se describe a continuación las unidades correspondientes a la Cuenca de Manabí, presentes en la porción central de la Cordillera Costera donde se ubica el área de trabajo (Figura 2.4).

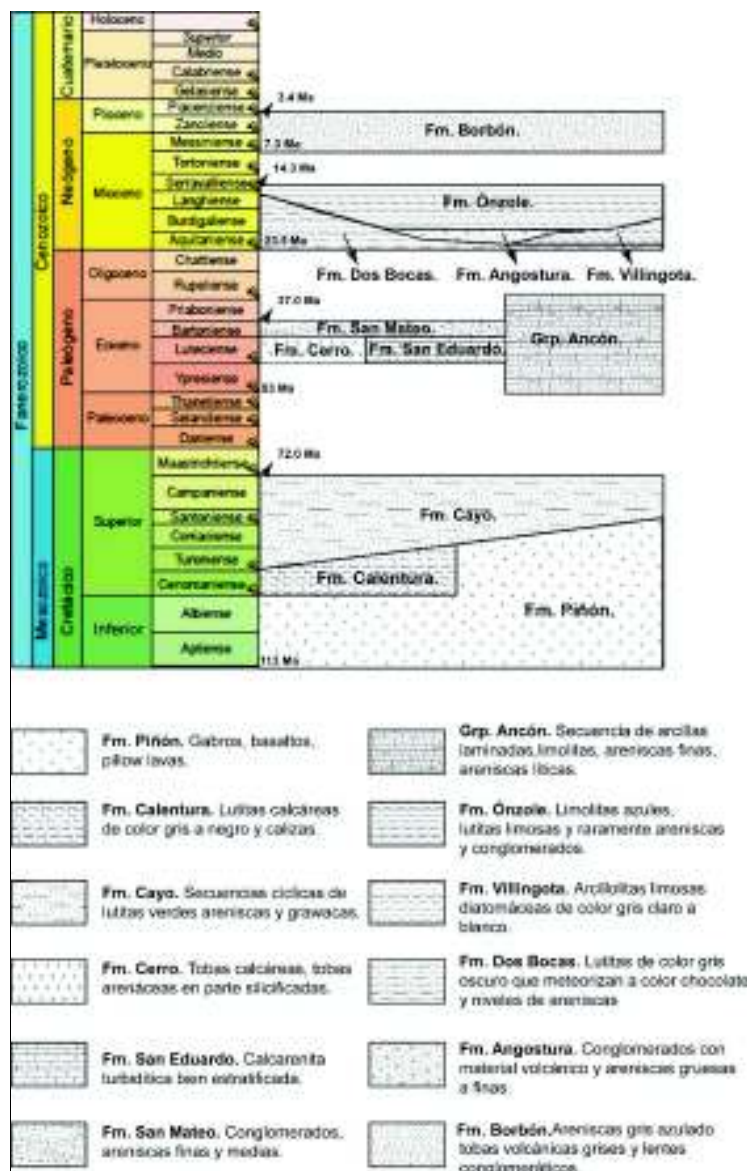


Figura 2.4. Columna litoestratigráfica de las Formaciones que afloran en el área de estudio, elaborado a partir de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional propuesta por la Comisión Internacional de Estratigrafía.

Formación Piñón

La localidad tipo de esta Formación se encuentra en el río Piñón a 20 km al suroeste de Portoviejo (Feininger & Bristow, 1980). Los afloramientos más grandes se localizan a lo largo de la Cordillera Chongón-Colonche, también existen pequeños afloramientos entre Esmeraldas, Portoviejo y Santa Elena (Feininger & Bristow, 1980).

Esta Formación está compuesta por basaltos afaníticos principalmente con estructuras almohadilladas y diabasas (Benítez, 1995), además de basaltos equigranulares de grano fino, aglomerados basálticos, tobas y capas de argilita y grawacas (Feininger & Bristow, 1980). En base a análisis de elementos mayores, trazas e isótopos se le atribuye una composición de plateau oceánico (Reynaud et al., 1999; Lapierre et al., 2000; Kerr et al., 2002; Mamberti et al., 2003).

La edad, según dataciones realizadas por Goossens & Rose (1973), es Aptiense Superior – Albiense. Una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 88.8 ± 1.6 Ma es reportada por Luzieux et al. (2006) obtenida a partir de un gabro muestreado cerca del poblado de Nobol. Dado que las rocas de la Formación Piñón son equivalentes a las rocas de la Formación Pallatanga, se le podría atribuir la misma edad Campaniense tardío. Recientes estudios atribuyen edades U/Pb de 87.10 ± 1.66 Ma para las rocas de la Unidad San Juan (Vallejo et al., 2006), parte de la Formación Pallatanga. Mamberti et al. (2003 y 2004) proponen una edad Sm/Nd para un gabro de la Unidad San Juan, ubicado cerca del valle de Lloa, que arrojó 123 ± 13 Ma. Esto resulta incongruente con el tiempo promedio de extrusión de los plateaus oceánicos. La rápida exhumación del margen continental durante el Cretácico tardío entre 75 a 65 Ma representaría una evidencia de la acreción de estos fragmentos del Plateau Caribe al margen continental (Vallejo et al., 2006).

Formación Calentura

La localidad tipo es la cantera antigua de Calentura ubicada 10 km al NE de Guayaquil, consiste en calizas y pizarras bien silicificadas de color gris oscuro, negro y rojo (Bristow & Hoffstetter, 1977). Thalman (1946) indicó otro sitio para esta Formación en la parte alta del río Paco a 40 km al NW de Guayaquil. Estudios más recientes de Van Melle et al. (2008) dividen a esta Formación en tres Unidades litológicas, una inferior compuesta por brechas de composición basáltica a andesítica del Miembro Las Orquídeas, intercaladas con calizas con abundante microfauna. La Unidad intermedia, que sobreyace en conformidad a la inferior, presenta una disminución de la actividad volcánica y está compuesta de litareniras, areniscas y avalanchas de escombros

retrabajadas, todo esto intercalado con cherts. La Unidad superior se caracteriza por contener tobas, margas y litarenitas que comúnmente se presentan silicificados.

Según Deniaud (1998), se tratan de finos estratos de lutitas calcáreas de color gris oscuro a negro y calizas, que sobreyacen en conformidad a las lavas de la Fm. Piñón, con un espesor de 200 m. La presencia de microfósiles, principalmente foraminíferos y radiolarios arrojan edades desde el Cenomaniense superior al Turoniense ~100-90 Ma (Thalman, 1946; Sigal, 1969).

Ocasionalmente consiste en radiolaritas intercaladas por areniscas volcanoclásticas, estudios recientes de microfósiles (foraminíferos planctónicos del río Guaraguau) sugieren que dichas facies se depositaron durante el Coniaciense (Luzieux et al., 2006).

A esta Formación se le atribuye un ambiente sedimentario marino profundo pelágico frío (Jaillard et al., 1995), desarrollado sobre el extruido plateau Caribe, esto se correlaciona con la afinidad toleítica de arco de islas del Miembro Las Orquídeas que proponen Van Melle et al. (2008).

Formación Cayo

Su localidad tipo se encuentra en Punta Callo – Pedernales y al sur de Puerto Cayo las dos localidades ubicadas en la provincia de Manabí (Sheppard, 1930). Sobreyace en conformidad a la Formación Calentura en el área de Guayaquil (Benítez, 1995).

Comprende una secuencia de rocas volcanoclásticas y sedimentarias. La base está compuesta por brechas volcánicas de composición intermedia a básica, la parte inferior está dominada por tobas verdes, areniscas y grawacas. En la parte superior de la sección, la Formación Cayo es menos volcánica y prevalecen argilitas o cherts (Feininger & Bristow, 1980). Esta sucesión granodecreciente de aproximadamente 2000 m de espesor que además contiene turbiditas de alta y baja densidad (Jaillard et al., 1995), podría interpretarse como una megaturbidita.

Los siguientes nanofósiles registrados, *Litharinus floralis*, *Eiffellithuseximus*, *Marthasterites furcatus*, *Quandrum gartneri*, *Corollithion achylosum* y *Lithastrinus planus*, además de los foraminíferos bentónicos *Pleurostonella* cf. *greatvalleyensis*, *Gavelinella* sp. y *Lenticulina* sp. hicieron que Gamber et al., (1990) establecieran una edad Turoniense-Coniaciense para el Miembro Basal de la Formación Cayo. Esta edad del tope calcáreo del Miembro Basal de la Formación Cayo correspondería a un importante evento transgresivo según concluye Benítez (1995).

La edad de Cayo es Campaniense Superior en base a los radiolarios *Amphypindax pseudoconulus*, *A. tylotus*, *Archeo-dictymitra lamellicostata*, *Pseudoalophacus florensis*, *P. paregueraensis*, *Siphocampe daseia*, *Solenotryma dacroydes*, *Stylospongia verteroensis*, y *Theocapsomma cf. comys* (Benítez, 1995).

El ambiente de depósito de esta Formación es turbídico con aporte volcánico (Benítez, 1995). Según Marksteiner et al., (1991), el material podría provenir de la erosión de un arco de islas.

Formación Guayaquil

La localidad tipo se ubica en el barrio San Pedro en la ciudad de Guayaquil (Thalman, 1946). Está conformada de argilitas silicificadas, cherts e intercalaciones de argilitas tobáceas y tobas (Bristow & Hoffstetter, 1977). También se menciona la presencia de lutitas silíceo – calcáreas y tobas finas según Benítez (1990), quien propone que los mejores afloramientos se localizan en la vía perimetral al norte de la intersección con la vía a Salinas. Estratigráficamente se encuentra subyacida por la Formación Cayo y suprayacida a la Formación San Eduardo (Ordoñez et al., 2006)

El registro fosilífero que presentan Ordoñez et al. (2006) da una edad Maastrichtiense Superior para la base de la Formación y Eoceno Medio para el tope, en un ambiente marino profundo de nerítico externo a batial.

En esta Formación se determinó el límite Cretácico-Paleógeno según estudios de Petroproducción Guayaquil – AMOCO (1995).

Formación Cerro

La localidad tipo se encuentra en el pueblo de Cerro a 13 km al Oeste de Portoviejo (Bristow & Hoffstetter, 1977).

Está compuesta en general por tobas calcáreas y tobas arenáceas. La parte inferior se compone en su mayoría de tobas silíceas y aglomerados tobáceos en capas duras (Feininger & Bristow, 1980). Esta Formación subyace a la Fm. San Mateo y se dispone en discordancia angular sobre la Formación Cayo.

Según (Benítez, 1995) la Formación Cerro está conformada en su base por areniscas y microbrechas con cemento calcáreo (20 m), sobreyacidas por lutitas tobáceas silíceas y laminadas, que meteorizan en colores verdes a rojizos, y hacia el tope margas, tobas finas y lutitas silíceas.

Ordóñez et al. (2006), señalan que la edad de esta Formación es Eoceno Medio correspondientes a las zonas de *Morozovella lehneri* con foraminíferos planctónicos u zona de *Podocyrthis ampla* de radiolarios.

En base al contenido microfosilífero de foraminíferos y nanofósiles calcáreos, así como el contenido de radiolarios, determinan un paleoambiente marino de plataforma central a externa, pero con una notable contaminación volcánica (Ordóñez et al., 2006).

Formación San Eduardo.

La localidad tipo se encuentra 6 km al Oeste de la ciudad de Guayaquil, en la cantera San Eduardo. Litológicamente se trata de una calcarenita turbidítica bien estratificada (Bristow & Hoffstetter, 1977).

Se le atribuiría la edad de la parte inferior del Eoceno Medio, esto en base a la fauna descrita por varios autores y recopilada por Stainforth (1948). Esta Formación es coetánea a la Formación Cerro y fue considerada como Miembro de dicha Formación.

Grupo Ancón

El Grupo Ancón era considerado parte del Complejo Olistostrómico de Santa Elena (Colman, 1970). Se compone de tres Formaciones cuyos contactos son transicionales: Formación Socorro (arcillas laminadas, limolitas y areniscas finas), Formación Seca (arcillas laminadas, limolitas y margas) y Formación Punta Ancón (arcillas rojas, areniscas líticas, grawacas y conglomerados) (Jaillard et al., 1995).

A la base del Grupo se encuentra una facie diacrónica de arcillas perturbadas con clastos, capas de areniscas, cherts y calizas denominada "Clay pebble beds" (Jaillard et al., 1995).

Con respecto a las edades de las Formaciones, para las facies "Clay pebble beds" la edad en el campo petrolífero de Ancón se extiende desde el Ypresiense Superior hasta el Luteciense Inferior. Se conforma básicamente de grandes slumps que evidencian inestabilidad del sustrato (Jaillard et al., 1995).

La Formación Socorro se deposita durante el Luteciense Inferior y correspondería a un ambiente de plataforma externa, mientras que la Formación Seca se desarrollaría durante el Luteciense Superior en un ambiente de plataforma somera y, finalmente, la Formación Punta Ancón vendría a ser de edad Bartonense-Priabonense en un ambiente de ante-playa a playa que se interpretaría como los depósitos de la desembocadura de los ríos en el sistema costero (Jaillard et al., 1995).

Formación San Mateo

La localidad tipo es el pueblo de San Mateo a 10 Km al Oeste de Manta y está constituida principalmente por areniscas finas y medias, depositadas en aguas poco profundas con sedimentación irregular y entrecruzada (Olsson, 1942).

Bristow & Hoffstetter (1977) mencionan que la Formación San Mateo en su parte inferior está compuesta por areniscas de grano medio, con un conglomerado basal; esta arenisca tiende a ser granodecreciente y la potencia de los estratos tienden a disminuir. Descansa sobre la Fm. San Eduardo o sobre la Fm. Cerro con una potencia de 800 m.

La parte basal correspondería a secuencias deltaicas, por su carácter estrato creciente; mientras que el Miembro medio representa un periodo de profundización en un ambiente turbídico de plataforma somera, y para finalizar el Miembro superior representa depósitos turbídicos de plataforma profunda debido a la subida eustática del nivel del mar (Benítez, 1995).

La edad establecida por Navarrete (1985) le asigna la zona de *Podocyrtilis goethana-base* de *Thyrsoyrtilis bromia*, equivalente a la zona P14-Sup o Bartoniense Superior en base a los radiolarios *Lithocyclia aristotelis*, *Lithocyclia ocellus* y *Theocampe mongolfieri* (Benítez, 1995).

Formación Dos Bocas.

Nombrada así por el desaparecido pueblo de Dos Bocas ubicado 7 km al este de Zapotal, descansa discordante sobre la Formación San Mateo en la cuenca de Manabí (Bristow & Hoffstetter, 1977).

Está conformada por arcillolitas de color gris oscuro que meteorizan a lutitas de color chocolate; según Bristow & Hoffstetter (1977) su espesor varía entre 546 a 1012 m en la cuenca de Manabí, mientras que en la cuenca Progreso superaría los 2400m. En la parte basal, se observa la presencia de radiolarios; la parte superior está compuesta de limolitas de color gris verdoso a amarillento (Ordoñez et al., 2006). La edad asignada es de Mioceno Temprano a Mioceno Medio, esto por la distribución de foraminíferos planctónicos *Catapsydrax stainforthi* y *Globigerinoides quadrilobatus primordius* (Ordoñez et al., 2006). El paleoambiente, determinado por la asociación de foraminíferos bentónicos y la abundancia de planctónicos, es marino de aguas cálidas de plataforma externa a talud superior (Ordoñez et al., 2006).

Formación Villingota.

La localidad tipo es la cantera Sucre ubicada a 1.5 km al SE del pueblo Villingota, su extensión es de 15 km al sur y 7 km al norte de la localidad tipo (Bristow & Hoffstetter, 1977).

Esta Formación está conformada por arcillolitas limosas diatomáceas de color gris claro a blanco laminadas, se reporta la presencia de escamas de peces characoideos (Bristow & Hoffstetter, 1977). Según Benítez (1995), también ocurren limolitas calcáreas bien estratificadas y compactas que a veces toman forma de concreciones.

Existe una transición gradual con la subyacente Formación Dos Bocas y el contacto superior con la Formación Subibaja parece ser transicional, esto en la Cuenca Progreso. En la cuenca de Manabí la Formación Angostura descansa en discordancia localmente sobre la Formación Villingota, y en su ausencia el contacto Villingota - Ónzole es transicional (Bristow & Hoffstetter, 1977).

Según (Ordoñez et al., 2006), la aparición de *Catapsydrax stainforthi* y la extinción de *Catapsydrax dissimilis* asignan una edad Mioceno Temprano a Mioceno Temprano medio con una paleoprofundidad de plataforma externa a talud superior de aguas cálidas.

Formación Subibaja

La localidad tipo se ubica 10 km al sur del pueblo de Sube y Baja cerca de la carretera Guayaquil - Salinas entre las provincias de Guayas y Santa Elena (Bristow & Hoffstetter, 1977).

El Miembro Inferior está compuesto por limolitas de color gris oscuro ricas en foraminíferos que pasan gradualmente a fases arcillosas y arenosas; lutitas macizas con aspecto moteado, calizas concrecionarias con espesores de hasta 30m y arenas de grano fino. El miembro principal se caracteriza por la presencia de limolitas color gris verdoso con fases arcillosas y arenosas. Pirita, glauconita, mica y fragmentos carbonosos son comunes. Arenisca fina, friable, frecuentemente con estratificación cruzada es común en la base (Bristow & Hoffstetter, 1977).

La edad de esta Formación equivale al Mioceno Inferior esto en base a la microfauna descrita (Bristow & Hoffstetter, 1977).

Formación Angostura

La localidad tipo se sitúa sobre el río Santiago en la Provincia de Esmeraldas en cercanía a su confluente con el Estero Angostura (Bristow & Hoffstetter, 1977).

A su base presenta un conglomerado con material volcánico, sobreyacido por areniscas de granulometría gruesa a fina; esta Formación es de carácter transgresivo y sublitoral, además descansa discordante sobre las Formaciones Viche, Pambil o Playa Rica mientras que al Sur se dispone de igual manera sobre las Formaciones Villingota, Dos Bocas, Piñón o Cayo. Corresponde con facies transgresivas de edad Mioceno Medio (Bristow & Hoffstetter, 1977).

Formación Ónzole

La localidad tipo de esta Formación se encuentra en el curso medio del río Ónzole, afluente izquierdo del río Cayapas al Este de la provincia de Esmeraldas. Esta Formación fue descrita anteriormente con varios nombres: Formación Esmeraldas, Formación Picaderos, Formación Charapotó (en parte), Blue siltstone, Miembro Guayacán, Formación Calceta, entre otras (Bristow & Hoffstetter, 1977).

En afloramientos frescos consiste de limolitas azules meteorizando a café amarillo, lutitas limosas y raramente areniscas y conglomerados (Olsson, 1942).

Esta Formación sobreyace en contacto transicional y concordante a la Formación Angostura, de igual manera sobreyace a la Formación Villingota donde la Formación Angostura está ausente (Bristow & Hoffstetter, 1977).

La gran colección de moluscos registrados en esta Formación según menciona Olsson (1964) es insuficiente para determinar una edad exacta. Foraminíferos indican facies sublitorales del Mioceno Inferior e inicios del Mioceno Medio, esto según Stainforth (1948).

Formación Borbón

La localidad tipo se encuentra en el poblado de Borbón, en el curso inferior del río Santiago (lat. 1°5' N, long. 78°52' O) Olsson (1964).

Se conforma de areniscas color gris azulado de grano medio a grano grueso en bancos compactos, tobas volcánicas grises, lentes de conglomerados y un conglomerado basal que descansa sobre la Formación Ónzole y Playa Grande, en la mayoría de los casos la estratificación es horizontal (Olsson, 1964; Bristow & Hoffstetter, 1977).

El ambiente deposicional corresponde a facies albuferales a marinas según el registro de moluscos de Olsson (1964). *Anadara (Cunearca) melita*, *Anadara (Dilubarca) colomba* Olsson, *Cyclinella* cf. *beteyensis* Olsson, *Mulinia pollida* (Broderip y Sowerdy), *Harvella elegans* (Sowerdy), *Raeta undulata* (Gould), *Temnoconcha ecuadoriana*, *Conus angosturis alegris*, *Conus mompichiensis*, *Conus* cf. *patricius* Hinds, *Cancellaria (Pyrucilia) lacondamini*, *Perunassa sapotilla*, *Marginella sapotilla*.

Bristow & Hoffstetter (1977), determinan que esta Formación es del Mioceno Superior hasta Plioceno, esto en base a la fauna existente en la misma, destacándose los dientes de peces de especies: *Odontaspis acutissima* Agassiz, *Procarcharodon megalodon* (Agassiz), *Hemipristis serra* Agassiz, *Galeocerdo aduncus* Agassiz, *Carcharhinus egertoni* (Agassiz), *Negaprion* cf. *eubathroom* (Blake), *Isistius triangulus* (Probst) y *Aetobatissp.*

2.5. Evolución Tectónica Regional

Los fragmentos del plateau Caribe (Fm. Piñón) acrecionados al paleomargen continental a finales del Mesozoico constituyen la litósfera oceánica sobre la cual se desarrollan arcos de islas como es el caso del Miembro Las Orquídeas de la Formación Calentura, esto marca un ambiente de cuenca marginal para la subsecuente depositación de las secuencias turbidíticas de las Formaciones Calentura y Cayo.

La Formación Calentura contiene el aporte volcánico de estos arcos de islas desarrollados sobre la Formación Piñón, producto de la subducción de la placa Farallón, en un ambiente marino.

La depositación de la Fm. Cayo ocurre en un ambiente de pendiente submarina durante el periodo de acreción de las rocas de la Fm. Piñón al paleomargen continental, la cual según Vallejo et al. (2006) sería entre 75 a 65 Ma. Este evento sería parte de la Fase Tectónica Peruana, caracterizado por un periodo compresional (Bazán, 2015).

La sedimentación de granulometría gruesa de Cayo contrasta remarcablemente con la subyacente Formación Calentura de granulometría fina, lo cual indicaría un cambio tectónico y geodinámico importante ocurrido en el Coniaciense Temprano-Santoniense (89-86 Ma) (Jaillard et al., 1995).

La actividad volcánica del Eoceno Medio se ve evidenciada en la litología de la Formación Cerro, cuya proveniencia sería la proto-cordillera Occidental (Arco Macuchi). La presencia de depósitos tipo VMS en la Formación Macuchi indica extensión durante

el desarrollo de la misma. Posterior a la depositación de la Formación Cerro, durante una etapa colisional como menciona Benítez (1995), se daría lugar a un levantamiento y rotación fuerte a nivel regional provocando la depositación de la Formación San Mateo y las facies conglomeráticas del Grupo Ancón.

Daly (1989) propone un modelo de bloques rotados en sentido horario con respecto a un eje NNE-SSW (Figura 2.5), provocado por la segmentación en bloques a través de fallas con rumbo WNW-ESE en la costa durante el Eoceno, sin embargo, la única falla reportada que coincide con este modelo es la Chongón-Colonche, las otras dos corresponden únicamente a rasgos geomorfológicos.

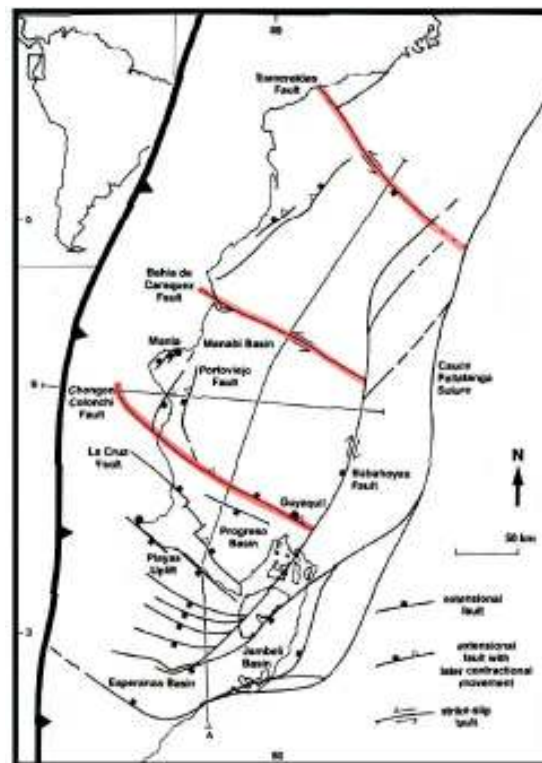


Figura 2.5. Esquema estructural propuesto por Daly (1989). Se encuentran resaltadas las estructuras que controlarían la rotación de los bloques. Con respecto a la Falla Bahía de Caráquez y la Falla Esmeraldas, ambas serían rasgos morfológicos no confirmados como tal.

El desarrollo de cuencas “*pull-apart*” comenzó durante el Oligoceno, a consecuencia del cambio de dirección de convergencia de la placa, de ortogonal a oblicuo (Pardo-Casas y Molnar, 1987). El inicio de este evento transtensional fue seguido por la depositación de las facies marino-profundas de lodolitas finogranulares de las Formaciones Dos Bocas, Subibaja y Villingota que fueron depositadas conforme aumentó la extensión y la subsidencia (Alemán et al., 2000).

La Formación Angostura constituye una evidencia de transgresión marina seguida de las facies sublitorales de la Formación Ónzole. Posterior al desarrollo de estas

Formaciones continuaría la depositación de material más grueso como es el caso de las Formaciones Borbón y Puná Superior durante el Plioceno hasta el Pleistoceno (Benítez, 1995).

Finalmente se exhuma la Cordillera Costera, la cual es considerada una zona de alta actividad tectónica, esto se encuentra evidenciado en la discontinuidad de los afloramientos del basamento y de la cobertura sedimentaria (Benítez, 1995).

Para finales del Plioceno y durante el Cuaternario, Pedoja et al., (2006) mencionan un levantamiento a lo largo del margen costero en base a las terrazas marinas de la Formación Tablazo, que al igual que el levantamiento de la Cordillera Costera, también sería producto de la subducción de la Cordillera Asísmica de Carnegie.

CAPÍTULO 3

3. GEOLOGÍA LOCAL

El estudio geológico de la zona se realizó en varias jornadas de campo, identificando afloramientos a lo largo de carreteras, caminos, quebradas y zonas de playa (Figura 3.1). Durante este estudio se realizó muestreo en el cual se discriminaron las diferentes Formaciones geológicas que están expuestas, así como las características tectono-estratigráficas, estructurales y petrográficas de las mismas.



Figura 3.1. Mapa de vías y lugares de referencia.

En el presente trabajo se diferenciaron seis unidades litológicas para la zona de estudio basándose en características litológicas y definiciones previamente establecidas por

varios autores para las distintas unidades. Las unidades estudiadas se describen a continuación en orden geocronológico.

3.1. Formación Piñón

La Formación Piñón constituye el basamento de la costa ecuatoriana; los afloramientos tipo de esta Formación se encuentran ubicados en la parte norte de la zona de estudio, al sur de Río Bravo, en el sector La Boca al norte del poblado Puerto Cayo (Fig. 3.1), y en las carreteras aledañas al mismo especialmente cerca de la comunidad de Joa, mientras que en la zona sur se encuentra en las localidades de Ayampe y La Rinconada.

Los afloramientos de la Formación Piñón tienen una altura aproximada de 30m y están compuestos por rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición básica de colores grises y negros. Las rocas intrusivas están constituidas por gabros con textura fanerítica y estructura masiva, mineralógicamente están compuestos por piroxenos, plagioclasas y óxidos de Fe; además estas rocas presentan magnetismo.

Las rocas extrusivas están constituidas por basaltos con textura afanítica y estructura masiva, mineralógicamente están compuestos por piroxenos, plagioclasas y minerales opacos dentro de una matriz vítrea. Estos basaltos presentan pequeñas vetillas de cuarzo que indican un bajo grado de alteración hidrotermal (Fig.3.2).



Figura 3.2. Afloramiento de lavas basálticas masivas en el sector de La Boca-Puerto Cayo (UTM: 17M 527132/9854802).

En el sector de la Rinconada (UTM: 17M 522831/9811347) afloran rocas con textura afanítica altamente meteorizadas y deleznable, las cuales pueden corresponder a las bases gabróicas de la Formación Piñón. Es difícil reconocer su mineralogía por el grado de meteorización en el que se encuentran (Fig. 3.3).



Figura 3.3. Afloramiento de la Formación Piñón en el sector de la Rinconada (UTM: 522796/9811305).

El estudio petrográfico de la Formación Piñón se basó en el análisis de 4 secciones delgadas en las cuales se distingue una variedad de basaltos y gabros (Tabla 3.1).

Código	Longitud	Latitud	Elevación (m)	Nombre
1606-JLR-06A	17M 0539376	9849945	383	Basalto Alterado
1606-JLR-07A	17M 0537792	9852096	436	Basalto Toleítico
1610-JLR-30A	17M 0527132	9854802	35	Gabro
1610-JLR-30C	17M 0527132	9854802	35	Gabro Alterado

Tabla 3.1. Muestras con lámina delgada pertenecientes a la Formación Piñón.

El estudio microscópico de la muestra 1606-JLR-07A (Fig. 3.4), presenta microtextura pilotáxica y microestructura hipidiomorfa, compuesta por cristales muy fracturados de plagioclasa (50%), cristales deformados de piroxenos (20%) y óxidos con formas anhedrales (5%), la matriz está conformada por vidrio volcánico alterado (25%). Los minerales se encuentran fracturados debido a una deformación posterior al depósito de la Formación. El resultado del análisis de las láminas delgadas adicionales pertenecientes a esta Formación está expuesto en la sección de anexos.

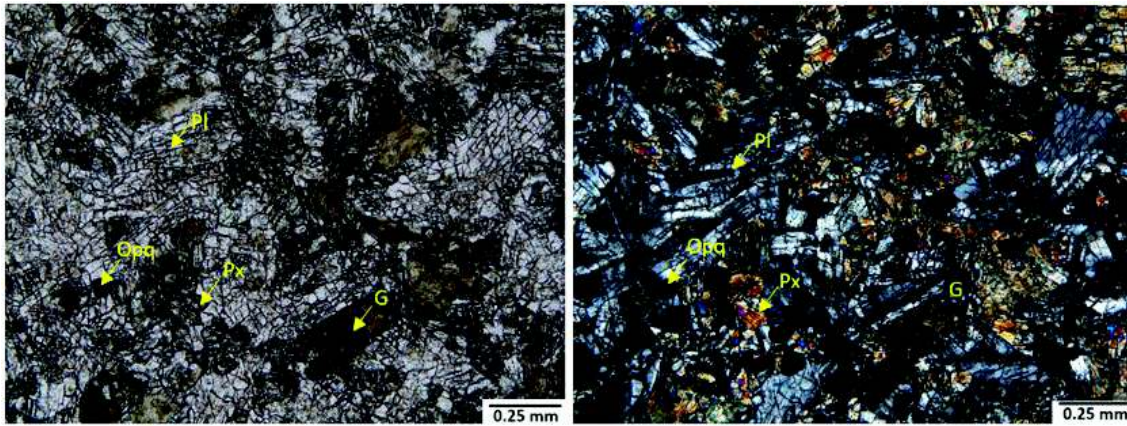


Figura 3.4. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (10x) de un basalto toleítico de la Formación Piñón. G (Vidrio), Pl (Plagioclasa), Opq (Opacos). Muestra 1606-JLR-07A.

La Formación Piñón, dependiendo del lugar de afloramiento, se encuentra sobreyacida por las Formaciones Cayo o Cerro por medio de un contacto erosivo con estas Formaciones, constituyendo básicamente una inconformidad (Fig. 3.5). Hacia el noreste de la zona estudiada la Formación Piñón está en contacto con la Formación Dos Bocas, el contacto no se observa debido a la presencia de la Falla de Jipijapa, en este sector se asume el contacto entre las dos Formaciones antes mencionadas como una inconformidad.

La edad de esta Formación según dataciones realizadas por (Goossens & Rose, 1973), comprende desde el Aptiano Superior-Albiano.



Figura 3.5. Contacto erosivo-Inconformidad- marcado en rojo entre las Formaciones Cayo y Piñón, sector de La Rinconada (UTM: 522475/9810462).

3.2. Formación Cayo

La Formación Cayo se encuentra distribuida principalmente en la región centro-occidental del área estudiada, los mejores afloramientos se localizan en los caminos que unen Agua Blanca – Julcuy (Fig. 3.6) y Guale – Pedro Pablo Gómez. Cerca de la comunidad de Agua Blanca se observan afloramientos de hasta 100m de altura con fallamientos conjugados probablemente asociados a una estructura mayor (falla de Jipijapa). Adicionalmente se observan otros afloramientos de igual importancia, pero de menor tamaño en los acantilados hacia el norte de Puerto López, Río Bravo y en la playa de Los Frailes.



Figura 3.6. Afloramiento de la Formación Cayo hacia el este de la comunidad de Agua Blanca (UTM:531383/9830267).

La Formación Cayo constituye una secuencia de megaturbiditas con un aporte detrítico producto de la erosión de un arco volcánico. Esta secuencia está compuesta por estratos continuos de grawacas, areniscas y lutitas con diferente espesor. Las grawacas son de color café claro y están compuestas por líticos subredondeados menores a 0.5 cm de: basaltos, lutitas, fragmentos de piroxenos, cuarzo y glauconita. Las areniscas al igual que las grawacas presentan un color café claro, se encuentran compuestas por plagioclasa, cuarzo, glauconita y líticos de basaltos menores a los 2mm. La matriz está formada por materiales arcillosos y pelágicos (Fig. 3.7). Las rocas de esta Formación presentan un magnetismo muy bajo, producto del reciclaje de minerales pertenecientes a la Formación Piñón.



Figura 3.7. Estratos de areniscas y lutitas pertenecientes a la Formación Cayo (UTM: 532356/9830965).

En el sector de Río Bravo (UTM: 540701/9867134), se puede observar paquetes de turbiditas con rumbo NNW - SSE y buzamiento subhorizontal; no se distinguen contactos con otras Formaciones. Las turbiditas se presentan en estratos continuos y deformados de areniscas color café claro y lutitas color verde. Los estratos de areniscas contienen plagioclasa, cuarzo y líticos de basaltos con un tamaño promedio de 2 mm, mientras que las lutitas están conformadas por limos y arcillas; los diferentes estratos que se distinguen en este sitio se encuentran silicificados.

En el camino que une las comunidades de Agua Blanca y Julcuy, se observan afloramientos de turbiditas estratificadas y dispuestas subhorizontalmente, estos paquetes de turbiditas presentan intercalaciones de grawacas, areniscas y lutitas. Los diferentes estratos observados presentan dos orientaciones preferenciales, NNE – SSW y NNW – SSE con buzamientos subhorizontales, además existe la presencia de fallas normales con orientación NNE – SSW y buzamientos subverticales, lo que evidencia una deformación local en esta Formación.

En la parte sur de la zona de estudio entre los poblados de Guale y Pedro Pablo Gómez, se observan afloramientos de turbiditas estratificadas subhorizontales, los diferentes estratos de turbiditas están conformados por grawacas, areniscas y lutitas. La orientación preferencial de los estratos es E – W con buzamientos subhorizontales, pero con diferente dirección, esto debido al plegamiento que se origina en esta zona del área de estudio.

El estudio petrográfico de la Formación Cayo en base al análisis de 13 secciones delgadas indica litologías que van desde arcosas, areniscas y grawacas hasta limolitas y lutitas (Tabla 3.2).

Código	Longitud	Latitud	Elevación (m)	Nombre
1606-JLR-17B	17M 0541496	9813809	186	Arcosa
1606-JLR-01A	17M 0534869	9832584	130	Arenisca volcanoclástica
1606-JLR-01B	17M 0534869	9832584	130	Arenisca volcanoclástica
1610-JLR-37A	17M 0540647	9867133	214	Grawaca de grano fino laminada.
1610-JLR-06A	17M 0520197	9827094	33	Lutita calcárea
1610-JLR-09B	17M 0528612	9813802	89	Wackestone biomicrítico con radiolarios
1610-JLR-12A	17M 0541491	9817074	189	Arenisca fina calcárea
1610-JLR-12C	17M 0541491	9817074	189	Grawaca
1610-JLR-13A	17M 0541459	9817178	208	Arenisca calcárea
1610-JLR-13B	17M 0541459	9817178	208	Litarenita calcárea
1610-JLR-14A	17M 0541514	9817258	234	Limolita
1610-JLR-14B	17M 0541514	9817258	234	Mudstone
1610-JLR-31B	17M 0532378	9862004	161	Litarenita

Tabla 3.2. Muestras con lámina delgada pertenecientes a la Formación Cayo

Las arcosas, areniscas y grawacas presentan texturas detríticas y estructuras laminadas, masivas y fracturadas. Mineralógicamente están compuestas por abundantes granos de plagioclasa, piroxeno, glauconita, cuarzo, calcita y fragmentos de lutitas, basaltos y margas; el tamaño de los minerales y fragmentos de roca varía de 0.01 mm hasta 2 mm. Cabe mencionar la presencia de foraminíferos y radiolarios, sin embargo, debido a la escasez y mal estado de preservación de los mismos no se alcanzó el nivel de familia en su identificación. La matriz es generalmente muy fina y está compuesta por arcillas, limos y vidrio volcánico. El grado de redondez de los diferentes clastos varía entre anguloso a subanguloso, lo cual indica que la fuente es cercana. La orientación de los clastos en las diferentes secciones delgadas es incipiente

por lo que resulta difícil establecer una posible dirección de flujo de depósito de los sedimentos.

Microscópicamente la sección delgada 1606-JLR-01 (Fig. 3.8), presenta una microestructura masiva y textura detrítica, compuesta por fragmentos de roca volcánica (50%), fragmentos de lutitas (20%), glauconita (hasta un 10%), cuarzo (10%) y piroxeno (5%) dentro de una matriz arcillosa producto de la alteración de los líticos, además, presenta porosidad primaria, secundaria y un grado de compactación bajo.

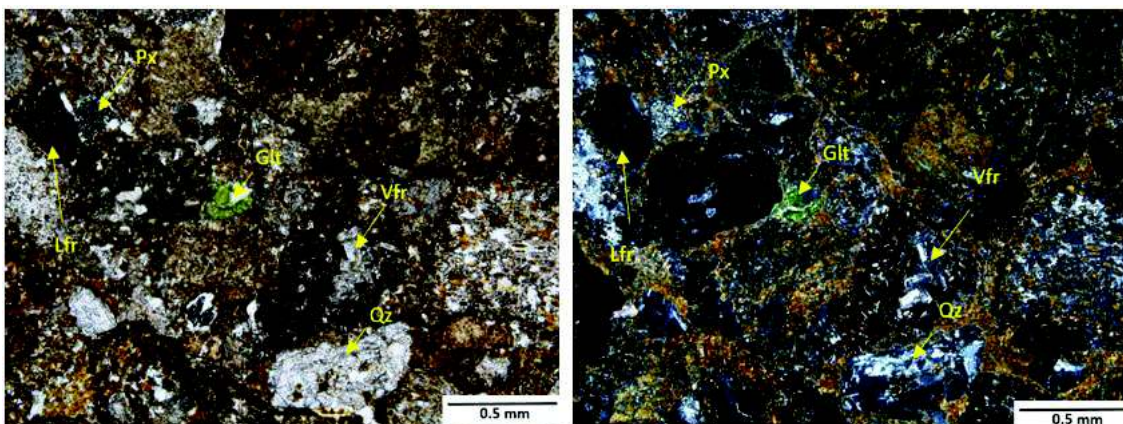


Figura 3.8. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una arenisca volcanoclástica de la Formación Cayo, formada por fragmentos de roca volcánica (Vfr), cuarzo (Qz), piroxeno (Px), glauconita (Glt) y fragmentos de rocas volcánicas (Vfr). Muestra 1606-JLR-01.

Las lutitas y limolitas presentan texturas pelíticas y psafíticas además de estructuras masivas y fracturas rellenas de sílice. Mineralógicamente se componen de calcita, cuarzo y arcillas con tamaños que varían de 0.001 mm a 0.01 mm. Presenta una matriz micrítica con una porosidad baja.

Microscópicamente la sección delgada 1610-JLR-14^a (Fig. 3.9), presenta microtextura terrígena y textura con microfracturas rellenas de sílice. La roca se compone por arcillas (90%), calcita (3%), feldespato (2%) y cuarzo (5%) dentro de una matriz arcillosa, además, presenta porosidad primaria.

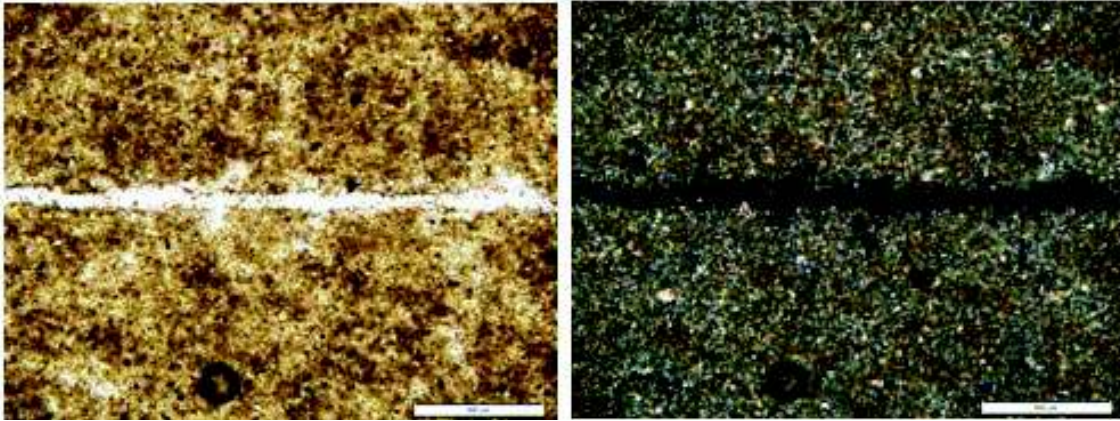


Figura 3.9. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una limolita de la Formación Cayo, Muestra 1610-JLR-14A.

La Formación Cayo descansa en inconformidad sobre la Formación Piñón, mientras que sobre Cayo se deposita discordante la Formación Cerro, el contacto se puede observar en los sectores de Joa y en Puerto Cayo (Fig 3.10) hacia el norte de la zona estudiada. El contacto entre las Formaciones Cayo y Dos Bocas no se observa en campo, sin embargo, dada la diferencia de edades entre estas Formaciones se asume que el contacto es discordante.

Según Benitez (1995), la edad de esta Formación es Campaniense Superior en base a los radiolarios *Amphypindax pseudoconulus*, *A. tylotus*, *Archeo-dictymitra lamellicostata*, *Pseudoalophacus florensis*, *P. paregueraensis*, *Siphocampe daseia*, *Solenotryma dacroydes*, *Stylospongia verteroensis*, y *Theocapsomma* cf. *Comys*.

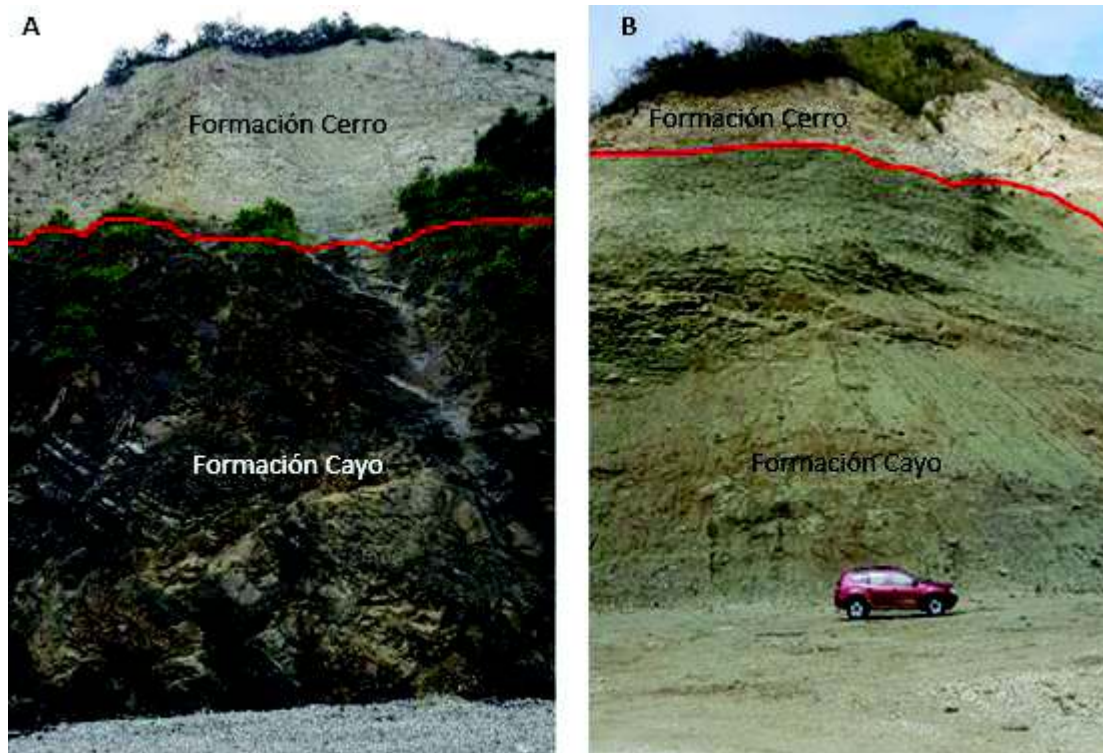


Figura 3.10. Contacto discordante marcado en rojo en diferentes localidades de la zona de estudio entre las Formaciones Cayo y Cerro. A) Puerto Cayo (UTM: 17M 528954/9848797), B) Joa (UTM: 17M 538810/9845625).

3.3 Formación Cerro

La Formación Cerro presenta una distribución discontinua a lo largo de la zona estudiada, se destaca una franja central donde se ubican los mejores afloramientos que tienen en promedio 10 m de potencia. Los afloramientos más representativos se encuentran en los caminos que unen los poblados de Membrillal – Sancán (Fig. 3.11), Agua Blanca- Julcuy y Guale – Pedro Pablo Gómez. Afloramientos de menor tamaño se localizan en el sector de Puerto Cayo, donde la Formación Cerro se encuentra en forma de tobas silicificadas.



Figura 3.11. Afloramiento de la Formación Cerro en el sector de Membrillal (UTM:17M 541015/9864056).

La Formación Cerro se compone de sedimentos laminados subhorizontales de color blanco a verde pálido compuestos por cherts y tobas volcánicas con componentes calcáreos a la base, seguidas de mudstones biomicríticos, radiolaritas y radiolaritas calcáreas además de concreciones silíceas en la parte intermedia, para finalizar en un nivel superior con margas tobáceas silicificadas. Un aspecto importante de las rocas de esta Formación es su grado de compactación, dependiendo de la ubicación de los afloramientos se observan rocas deleznablem muy fáciles de romper o rocas muy compactas y silicificadas. Las laminaciones que son cíclicamente monótonas poseen un espesor que varía de 10 a 20 cm (Figura 3.12). Esta Formación descansa discordantemente sobre la Formación Cayo.



Figura 3.12. Afloramiento de la Formación Cerro hacia el oeste de la comunidad de Julcuy (UTM: 17M 535168/9832980).

A lo largo del camino entre los poblados de Membrillar y Sancán se puede observar paquetes laminados de tobas calcáreas de color blanco silicificadas con intercalaciones de cherts negros en la base, el rumbo de estas capas es NNE – SSW y buzamiento subhorizontal en contacto con areniscas de la Formación Cayo. Las laminaciones tienen un espesor de 10 cm cíclicamente depositados; además presentan un grado de compactación alto.

En los afloramientos ubicados al oeste de Julcuy (Fig. 3.12) se puede observar tobas de color blanco silicificadas con vetillas de calcita, estas vetillas se encuentran relleno de fracturas. La potencia de los afloramientos ubicados en esta zona varía de 5 a 15m, a diferencia de los afloramientos ubicados en Membrillar la laminación es menos evidente. El rumbo es NNE – SSW con buzamiento subhorizontal, de acuerdo con la descripción de niveles dada anteriormente, estas unidades se ubicarían en la base de la Formación.

Los afloramientos ubicados en el camino entre los poblados de Guale y Pedro Pablo Gómez se caracterizan por presentar tobas calcáreas poco consolidadas con vetillas de calcita, mudstones y radiolaritas; los diferentes estratos presentan buzamientos subhorizontales y se encuentran depositados discordantemente sobre paquetes de areniscas de color café claro y lutitas verdes.

En los acantilados ubicados al sur de Puerto Cayo se observan tobas laminadas muy consolidadas y silicificadas de color blanco, que se depositan discordantemente sobre estratos de areniscas y lutitas muy deformados que pertenecen a la Formación Cayo.

El estudio petrográfico de la Formación Cerro se basó en el análisis de 15 secciones delgadas indicando litologías de tobas, radiolaritas y margas con un importante aporte volcánico (Tabla 3.3).

Código	Longitud	Latitud	Elevación (m)	Nombre
1606-JLR-16A	17M 0536905	9814618	137	Mudstone silicificado
1606-JLR-14A	17M 0528619	9813810	110	Marga con radiolarios
1606-JLR-18A	17M 0544586	9819909	594	Toba de ceniza vítrea
1606-JLR-17A	17M 0541496	9817092	186	Mudstone
1610-JLR-34A	17M 0541491	9817074	189	Caliza micrítica con radiolarios
1610-JLR-39A	17M 0546329	9852373	335	Dolomita cristalina
1606-JLR-02A	17M 0538922	9833192	156	Mudstone biomicrítico
1606-JLR-11A	17M 0519561	9817857	16	Radiolarita calcárea
1606-JLR-11B	17M 0519561	9817857	16	Mudstone
1610-JLR-03B	17M 0535504	9832443	224	Toba
1610-JLR-05A	17M 0536298	9838804	375	Toba volcánica
1610-JLR-17A	17M 0522578	9810689	58	Toba de ceniza calcárea
1610-JLR-17B	17M 0522578	9810689	58	Limolita con materia orgánica
1610-JLR-19A	17M 0522264	9811458	129	Toba
1610-JLR-32A	17M 0537594	9863592	227	Mudstone limo-arenoso

Tabla 3.1. Muestras con lámina delgada pertenecientes a la Formación Cerro

La Formación Cerro se dividió en 3 grupos dependiendo de las características petrográficas que presentan cada una de las muestras recolectadas.

El primer grupo está compuesto por tobas volcánicas con microtexturas psafítica, epiclástica, epiclástica esquelética y piroclástica; con estructuras masiva, lenticular y fracturas rellenas de sílice. Mineralógicamente están compuestas por plagioclasa (15%), glauconita (5%), calcita (10%), sericita (2%), biotita (2%) y líticos de composición volcánica (6%); la matriz (60%), está compuesta por micrita, arcillas, limos, ceniza y vidrio volcánico (los porcentajes resultan del promedio de las secciones analizadas). La presencia de glauconita indica un ambiente de depósito marino de plataforma. Las rocas

presentan porosidad primaria y bajo grado de compactación. El contenido de microfósiles es bajo, destacando la presencia de foraminíferos y radiolarios mal preservados y siendo reemplazados parcialmente por carbonatos.

El análisis de la sección delgada 1606-JLR-18A (Fig. 3.13), muestra una roca con microestructura masiva, microtextura psaffítica, con minerales como glauconita (10%), y plagioclasa (10%), el contenido de materia orgánica y minerales metálicos es del (10%), los cuales se encuentran alojados dentro de una matriz de ceniza vítrea (70%).

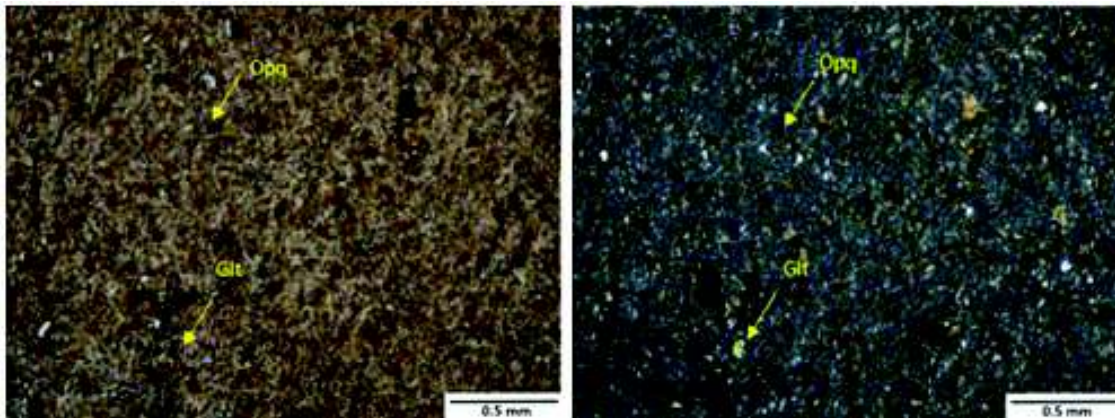


Figura 3.13. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una toba de ceniza vítrea, de la Formación Cerro. Glt (Glauconita), Opq (Opaco). Muestra 1606-JLR-18A.

El segundo grupo se encuentra conformado por mudstones, calizas con radiolarios, radiolaritas y limolitas con materia orgánica; las microtexturas varían entre micrítica, biomicrítica, epiclástica y detrítica aloquímica, con estructuras masivas con bandeamiento y fracturas rellenas de esparíta. Mineralógicamente están compuestas por plagioclasa (10%), glauconita (10%), cuarzo (5%) y minerales opacos (5%) dentro de una matriz micrítica (70%); en varias secciones delgadas se puede observar que la matriz se encuentra parcialmente silicificada. El contenido de microfósiles es mayor en comparación al primer grupo, destacándose la presencia de foraminíferos, radiolarios, posibles silicoflagelados y espículas de esponjas parcialmente reemplazados por carbonatos.

El análisis de la sección 1606-JLR-16A bajo microscopio (Fig. 3.14), muestra una roca con microestructura masiva, microtextura micrítica, con minerales como glauconita (5%), plagioclasas (15%) y óxidos de Fe (10%). La matriz se compone por micrítica con presencia de foraminíferos planctónicos y radiolarios. La muestra presenta porosidad secundaria la cual se expresa como fracturas rellenas de cemento esparítico y zonas con disolución parcial en la matriz.

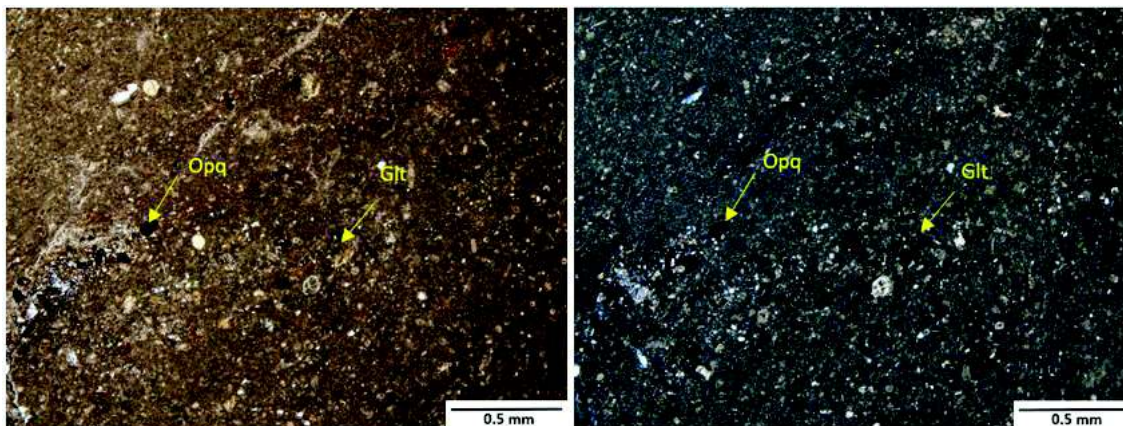


Figura 3.14. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una margá tobáceá silicificada con contenido de foraminíferos, de la Formación Cerro. Glt (Glaucónita), Opq (Opaco). Muestra 1606-JLR-16A.

El tercer grupo está formado por margas con radiolarios y dolomitas, estas rocas presentan microtexturas de micrita, biomicrita y con microestructuras masivas. Mineralógicamente están conformadas por colofana (2%), glauconita (8%), cuarzo (5%) y plagioclasa (5%) dentro de una matriz compuesta por microesparíta, micrita y microfósiles (80%). En estas muestras el grado de preservación de microfósiles es bueno en comparación a los anteriores grupos y se logró identificar los siguientes especímenes: *Bolivina* sp, *Bolivina jacksonensis*, *Cibicides* sp, *Radiolarios spumellarios*, *Dentalina* sp, *Globigerina* sp, *Stylospongia planoconvexa*. El grado de compactación de las rocas es alto con porosidad primaria y se encuentran silicificadas.

El análisis de la sección 1606-JLR-14A (Fig. 3.15), bajo el microscopio, muestra una estructura masiva y microtextura biomicrítica. Los minerales que la conforman son: glauconita (5%), colofana (10%) y ceniza (5%). La matriz está compuesta por micrita (30%), además, el porcentaje de microfósiles es elevado con un 50% del total de la muestra. La sección delgada presenta porosidad primaria y secundaria con disolución parcial de la matriz.

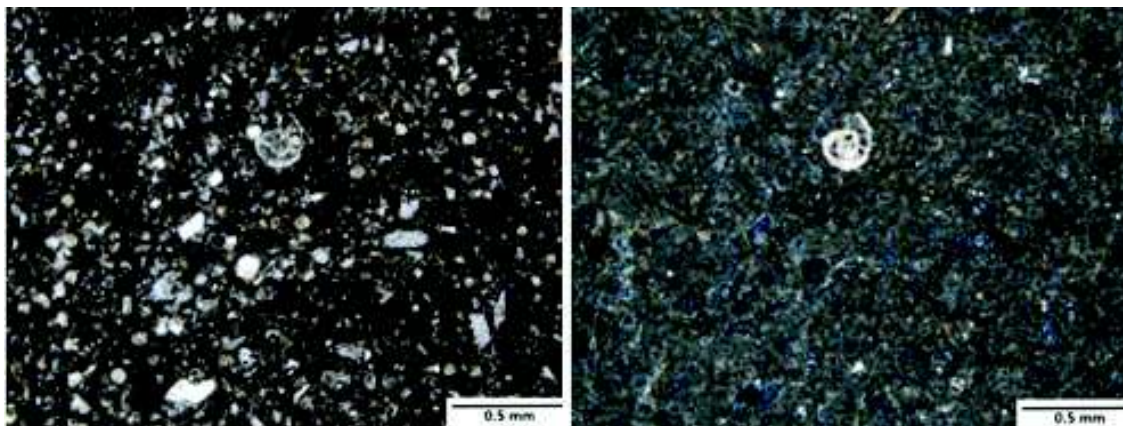


Figura 3.15. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de una marga con radiolarios, en el centro de la imagen se observa el espécimen de un *Cibicides* sp. Muestra 1606-JLR-14A.

La Formación Cerro se encuentra suprayaciendo a las Formaciones Piñón y Cayo en contacto discordante, mientras que sobre esta se deposita transicionalmente la Formación San Mateo.

Ordóñez et al. (2006), señalan que la edad de esta Formación es Eoceno medio correspondientes a las zonas de *Morozovella lehneri* con foraminíferos planctónicos y zona de *Podocyrtilis ampla* de radiolarios.

3.4 Grupo Ancón

En la zona de estudio la Formación Grupo Ancón está distribuida intermitentemente a lo largo del perfil costero, los mejores afloramientos están ubicados en las localidades Machalilla, Puerto López, Salango y el extremo sur de La Rinconada. En todos los lugares antes mencionados presenta similares características, con estratos intercalados de areniscas y lutitas

La litología de esta Formación está compuesta por estratos finos de areniscas grises con lutitas de color verde y rojo (Fig. 3.16). Las areniscas presentan un grado de consolidación medio y están constituidas por cuarzo, un porcentaje bajo de piroxenos, plagioclasas y micas (moscovita), albergados en una matriz arcillosa, además, presentan materia orgánica como restos de hojas, pequeños troncos y en ciertas partes de los afloramientos también se puede encontrar carbón en forma de lignito. Estas areniscas presentan estructuras como laminación paralela y laminación cruzada. Las lutitas están formadas por arcillas, limo y un porcentaje bajo de micas, no presentan estructuras sedimentarias y el porcentaje de materia orgánica es menor con respecto a las areniscas.



Figura 3.16. Afloramiento del grupo Ancón en el sector de Machalilla. (UTM: 17M 526731/9838099).

Para el estudio microscópico de esta Formación se elaboró 3 secciones delgadas (Tabla 3.4).

Código	Longitud	Latitud	Elevación (m)	Nombre
1606-JLR-12C	17M 0522556	9810057	12	Grawaca de grano fino
1610-JLR-28A	17M 0519321	9826877	109	Limolita
1610-JLR-40A	17M 0546329	9852373	335	Arcosa de grano fino

Tabla 3.2. Muestras con lámina delgada pertenecientes a la Formación Grupo Ancón.

Esta Formación se encuentra compuesta por grawacas, arcosas que son rocas detríticas de grano medio, además, presentan pequeñas laminaciones de limolitas. El análisis de las diferentes secciones dio como resultado microtexturas clástica, clástica limo – arenoso y epiclástica. El contenido mineralógico varía entre cuarzo, muscovita, glauconita (incipiente), calcita, plagioclasa, clastos de tobas silicificados y óxidos de hierro, albergados dentro de una matriz arcillo – limosa. El grado de compactación es bajo y presentan porosidad primaria.

Microscópicamente la muestra 1610-JLR-28A (Fig. 3.17), presenta microestructura masiva, microtextura epiclástica micrítica, con minerales como calcita (10%), plagioclasa (30%), variedades de líticos de colores verde pálido (60%) y menos del 1% de glauconita. La matriz tiene una composición limosa y cemento de barro micrítico. La muestra presenta porosidad primaria y un grado de compactación bajo.

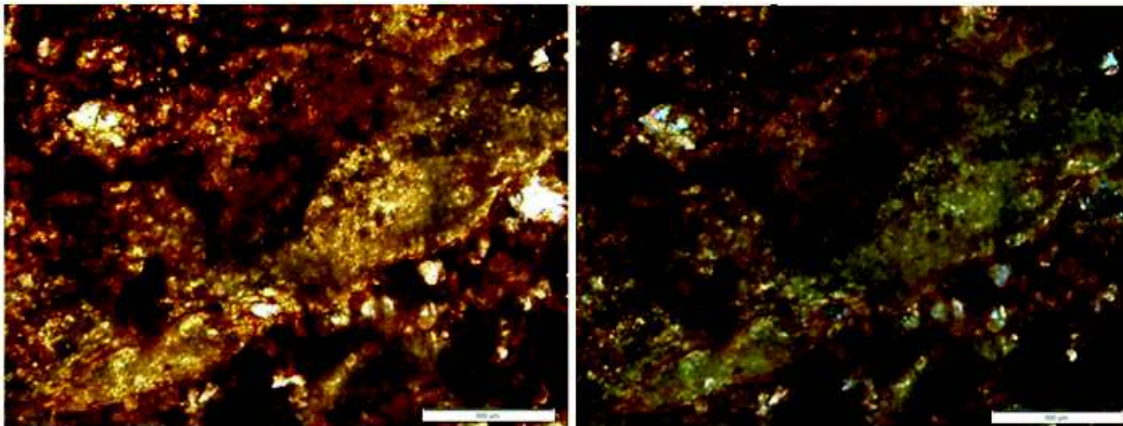


Figura 3.17. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una limolita con fragmentos subredondeados de lutita, pertenecientes al Grupo Ancón. Muestra 1610-JLR-28A.

El contacto del Grupo Ancón con la Formación San Mateo en la localidad de Puerto López es difícil de observar debido a la cobertura vegetal que presenta la zona, sin embargo, se asume que este contacto es transicional debido a la escasa diferencia de edades que presentan las dos Formaciones. Bajo el mismo criterio aplicado anteriormente se determina que el contacto entre el Grupo Ancón y Formación Cayo en los poblados de Machalilla y Salango debería ser discordante erosivo

Según Jaillard et al., (1995), la edad del Grupo Ancón en promedio se ubicaría desde Luteciense Inferior hasta Priaboniense.

3.5. Formación San Mateo

La Formación San Mateo se encuentra ubicada en tres zonas del área de estudio, la principal y de mayor extensión se ubica en el poblado de Julcuy sobre el Río Buena Vista, aquí se observan potentes estratos de conglomerados intercalados con areniscas, los otros dos sectores se ubican al sur de Puerto López y en el camino entre las comunidades de Membrillal y Manantiales.

La Formación San Mateo está compuesta por estratos intercalados de areniscas y conglomerados. Las areniscas presentan un color café claro, estructura masiva y están compuestas por líticos subredondeados inferiores a 2 mm de basaltos, lutitas, granos de cuarzo, plagioclasa y piroxeno dentro de una matriz arcillo-limosa. Los estratos de areniscas granodecrecientes se presentan en forma de canales que se acuñan lateralmente en sentido N – S, mientras que los conglomerados se caracterizan por presentar líticos que varían en tamaño de 2 a 30 cm, los líticos de los conglomerados están compuestos por lutitas verdes, basaltos, andesitas y tobas; en el sector de Manantiales (Fig. 3.18) también se encuentran líticos y clastos de dioritas, dacitas y granitos lo que indica un aporte producto de la erosión de la cordillera Occidental.



Figura 3.18. Afloramiento de la Formación San Mateo en el sector de Manantiales. (UTM: 17M 532625/9862444).

En el sector de Julcuy (Fig. 3.19) se encuentran los afloramientos de mayor tamaño de la Formación San Mateo dentro de la zona estudiada con una potencia en promedio de 40 m. Estos afloramientos se caracterizan por presentar estratos intercalados de areniscas y conglomerados con diferentes espesores; las areniscas están compuestas por lútics subredondeados y mal clasificados de lutitas, cuarzo, plagiclasa, basalto, y jaspe dentro de una matriz arcillo-limosa. Los estratos de areniscas presentan estratificación cruzada y gradada; estos estratos forman canales y barras que se acuñan lateralmente. Los conglomerados se presentan en estratos de mayor volumen en comparación con las areniscas, estos estratos están constituidos por clastos mayores a 10 cm de basaltos, andesitas, lutitas y cherts dentro de una matriz arenosa; los clastos presentan un mal sorteo y se encuentran redondeados, indicando que la fuente de aporte es lejana y de alta energía.



Figura 3.19. Afloramientos de la Formación San Mateo en el extremo este del poblado de Julcuy (UTM: 17M 538113/9834754).

En el sector de Puerto López (Fig. 3.20), la Formación San Mateo se presenta en estratos discontinuos de areniscas y conglomerados, las areniscas se encuentran formando canales con acúñamiento lateral en sentido N - S; las areniscas presentan un sorteo de moderado a bueno y están compuestas por cuarzo, calcita, cherts, líticos de basalto y lutitas. Los conglomerados están compuestos por clastos subredondeados y mal sorteados de andesitas, dioritas, basaltos, cherts y tobas.



Figura 3.20. Afloramiento de la Formación San Mateo, sector Puerto López. (UTM: 17M 519431/9827121).

Para el estudio microscópico de la Formación San Mateo se elaboró 3 láminas delgadas obteniendo los siguientes resultados (Tabla 3.5).

Código	Longitud	Latitud	Elevación (m)	Nombre
1606-JLR-03A	17M 0536015	9833972	160	Conglomerado
1606-JLR-09B	17M 0520264	9827087	24	Conglomerado calcáreo
1610-JLR-26A	17M 0539749	9844079	216	Conglomerado fosilífero

Tabla 3.3. Muestras con lámina delgada pertenecientes a la Formación San Mateo.

Las 3 secciones delgadas pertenecen a conglomerados, los cuales presentan microtextura bioclástica, detrítica, conglomerática grano soportada y microestructuras masivas con una ligera orientación de los líticos. Mineralógicamente están constituidos por glauconita, plagioclasa, feldespato, calcita, fragmentos de rocas volcánicas, margas cherts, lutitas y calcedonia que se encuentra rellenando fracturas. Existe la presencia de microfauna destacándose fragmentos de conchas, foraminíferos tipo orbitoides, radiolarios y fragmentos de equinodermos. La matriz es de composición arcillo-limosa con porcentajes bajos de micrita.

En análisis de la muestra 1606-JLR-03 (Fig 3.21), se observó una microestructura con orientación en los clastos y microtextura bioclástica, la muestra se compone por fragmentos de margas (30%), fragmentos de lutitas (20%), fragmentos de rocas volcánicas (20%), glauconita (5%), calcedonia (2%) la cual se encuentra rellenando fracturas. El grado de compactación de la muestra es muy alto, la matriz es micrita parcialmente recristalizada, contiene foraminíferos tipo orbitoides y clastos con signos de disolución por presión.

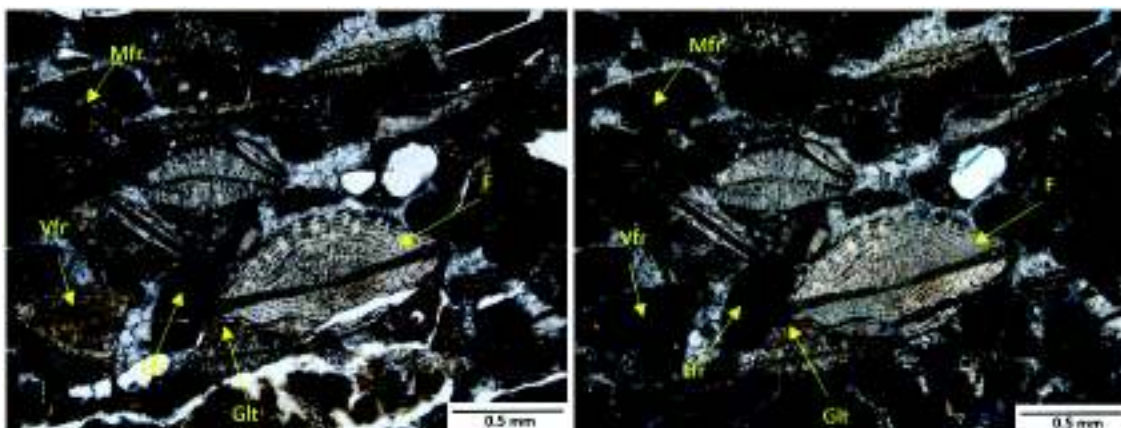


Figura 3.21. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de un conglomerado con presencia de foraminíferos tipo orbitoides de la Formación San Mateo. F (Fósiles), Glt (Glauconita), Lfr (Fragmentos de lutitas), Mfr (Fragmentos de margas), Vfr (Fragmentos de rocas volcánicas). Muestra 1606-JLR-03.

La Formación San Mateo se encuentra en contacto transicional con la Formación Cerro, mientras que el contacto con la Formación Cayo en el norte de la zona de estudio es discordante. El contacto (Fig. 3.22) con la Formación Dos Bocas es discordante erosivo en el sector de Puerto López, mientras que en el sector de Julcuy se observa un contacto estructural.

La edad asignada por Navarrete (1986), en base a *Podocyrtes goethana*-base de *Thyrsoyrtes bromia*, es Bartoniense Superior.



Figura 3.22. Contacto entre las Formaciones Dos Bocas y San Mateo. (UTM: 17M 538881/9835095).

3.6. Formación Dos Bocas

La Formación Dos Bocas se distribuye en dos zonas, la primera y más extensa se encuentra cerca del margen oriental del área estudiada, aquí se destacan los afloramientos ubicados a las afueras de la ciudad de Jipijapa y afloramientos en el camino entre las comunidades de Julcuy y Joa. El segundo lugar donde aflora esta Formación es en la carretera que une Salango y Puerto López, aquí se encuentra en contacto con la Formación San Mateo (Fig. 3.22).

La Formación Dos Bocas está constituida por lutitas de color chocolate con pátinas de azufre nativo y pequeños niveles de yeso, dentro de estas lutitas también existe la presencia de concreciones silíceas y calcáreas con diámetros que varían de centímetros a metros, además, se observan capas subhorizontales arenosas de menor potencia y diques sedimentarios arenosos formados por licuefacción (Fig. 3.23). El color chocolate representativo de estas lutitas se presenta en casi toda el área de estudio, este color es producto de la meteorización de las mismas.



Figura 3.23. Afloramiento de la Formación Dos Bocas. Lutitas color chocolate con estratos finos de areniscas y diques sedimentarios.

En el sector de Julcuy (UTM: 17M 537800/9838304) se observan afloramientos con una potencia de 15 m que contienen lutitas laminadas color chocolate con intercalaciones de areniscas color crema.

En el sector de Puerto López (UTM: 17M 518278/982692) se observan lutitas laminas con precipitaciones de yeso, niveles de areniscas y concreciones calcáreas. En este sector se registra el contacto lateral discordante con la Formación San Mateo.

Para el estudio microscópico de esta Formación se elaboró 2 láminas delgadas (Tabla 3.6).

Código	Longitud	Latitud	Elevación (m)	Nombre
1606-JLR-04B	17M 0538924	9835147	191	Lutita dolomitizada
1610-JLR-33A	17M 0539372	9863629	269	Nódulo calcáreo

Tabla 3.6. Muestras con lámina delgada pertenecientes a la Formación Dos Bocas.

El análisis microscópico de una muestra de la Formación Dos Bocas muestra una microestructura masiva, microtextura clástica fina recrystalizada, un grado de compactación bajo, porosidad secundaria por la presencia de fracturas. La muestra se compone por arcillas (15%), glauconita incipiente (5%) y óxidos de hierro (10%) todo sobre una matriz de micrita y doloesparita (60%), dando lugar a un mudstone dolomitizado (Fig. 3.24).

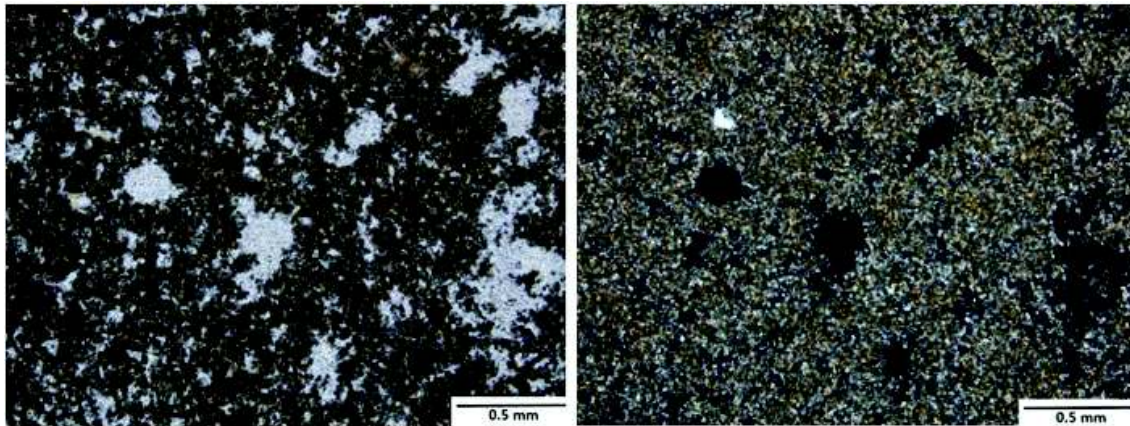


Figura 3.24. Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado (2.5x) de un mudstone dolomitizado de la Formación Dos Bocas. Muestra 1606-JLR-04B.

La Formación Dos Bocas se encuentra en contacto discordante con la Formaciones Grupo Ancón y San Mateo en el sector de Salango-Puerto López. Los límites laterales de las Formación Dos Bocas se extienden fuera de los límites del área estudiada

La edad asignada es de Mioceno temprano a Mioceno medio, obtenida por distribución de foraminíferos planctónicos *Catapsydrax stainforthi* y *Globigerinoides quadrilobatus primordius* (Ordoñez et al., 2006).

CAPÍTULO 4

4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La configuración estructural de las litologías en la zona de estudio se caracteriza por el afloramiento de las secciones basales de la columna estratigráfica general de la región Costa que corresponde con la Formación Piñón a la base, seguida por un relleno volcano-sedimentario Cretácico - Paleógeno y hacia el tope los niveles basales de las cuencas marinas del Mioceno Inferior. En el área estudiada no aparecen grandes depósitos sedimentarios Plio-Pleistocénicos, salvo las terrazas marinas reportadas en el norte de la zona de estudio (Pedoja et al. 2006; Cisneros, 2017), lo que indicaría que el levantamiento y erosión constituyeron el proceso dominante al menos durante el Mio-Plioceno.

Los afloramientos de roca expuestos en su mayoría a lo largo de los taludes y laderas de los valles principales del área muestran evidencia de deformación que incluye tanto fallamiento como plegamiento. Durante las jornadas de campo se tomaron medidas estructurales en todas las rocas sedimentarias y en ciertas superficies falladas. Estos datos permitieron la reconstrucción estructural de la zona de estudio y el planteamiento de un modelo geológico de evolución.

4.1. Fallas

Las secuencias de la Formación Cayo constituyen los afloramientos más frecuentes en la zona de estudio y es precisamente en esta secuencia volcano-sedimentaria donde se registra gran parte de la historia de deformación del área. Evidencias de fallamiento en extensión y compresión han sido encontradas a lo largo de varios afloramientos.

Sistemas Extensivos

Las fallas normales medidas en la Formación Cayo se representan en la Figura 4.1, con el uso del software *Stereonet v9.8* se ha determinado una dirección de rumbo predominante de N 15° W con un buzamiento de 45° SW. Esta dirección varía en 30° hacia el Oeste aproximadamente respecto al lineamiento que produce la falla de Jipijapa la cual es subparalela con el rumbo de la fosa de subducción (NNE-SSW) a dicha latitud, esto corresponde a un campo de esfuerzos en un régimen extensional con un esfuerzo σ_3 en la dirección diferente a la actual y a la que desarrolló la falla de Jipijapa.

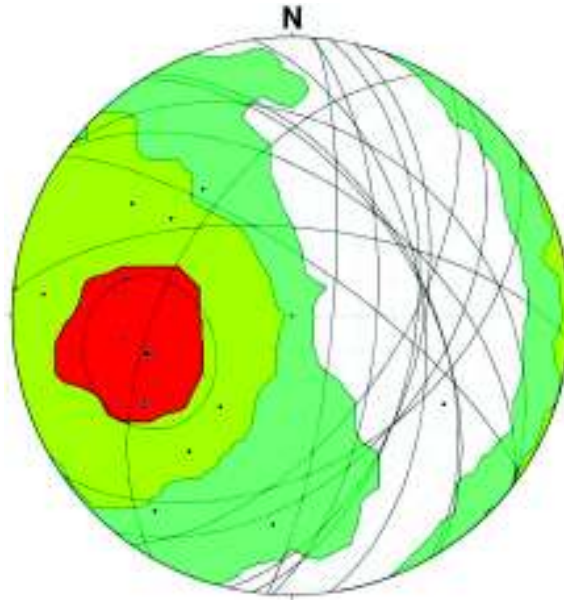


Figura 4.1. Proyección estereográfica de los planos de falla normales medidos a lo largo de las campañas de campo en la Formación Cayo.

Este fallamiento normal presenta localmente una componente de cizallamiento dextral, como se muestra en la Figura 4.2, caracterizada por deformación cataclástica y estrías de fricción localmente subparalelas con el rumbo de la estructura.



Figura 4.2. Zona de cizalla dextral en fallamiento normal. Formación Cayo al Este de Agua Blanca.

Fallas normales con estructura “en dominó” son comúnmente observadas afectando a las secuencias de la Formación Cayo (Figura 4.3), dichas estructuras estarían vinculadas a un evento extensivo durante el Cretácico superior e inicios del Paleógeno, posiblemente previo a la colisión-acreción del plateau Piñón-Pallatanga.

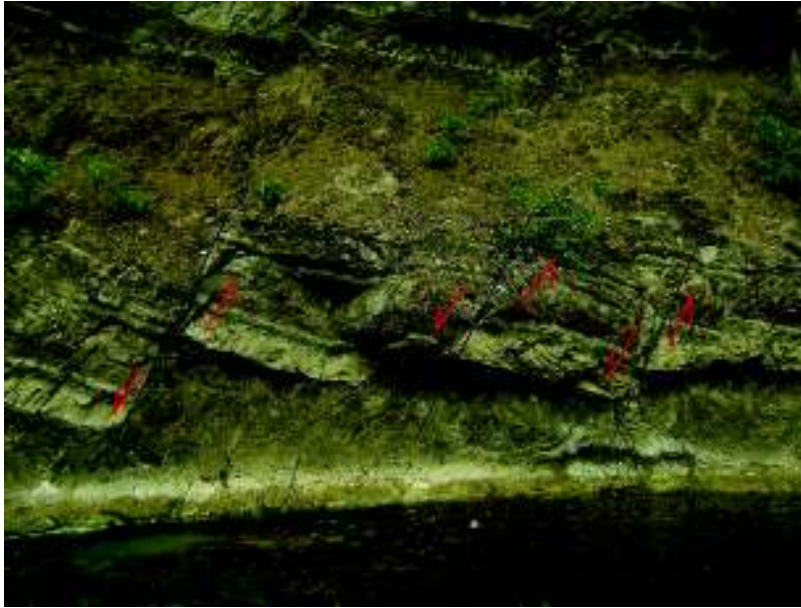


Figura 4.3. Fallas normales en Formación Cayo UTM: 532786 / 9831043. Al Este de Agua Blanca.

Fallamientos normales con componentes rotacionales también son observados en afloramientos de la Fm. Cayo expuestos en el extremo sur de la playa “Los Frailes” Al sur del poblado de Machalilla. Como se observa en la Figura 4.4, la ramificación de la falla provoca la rotación de un bloque entre los planos de falla.



Figura 4.4. Falla normal en la Fm. Cayo. Extremo Sur de la playa “Los Frailes” (Parque Nacional Machalilla).

En general, este tipo de estructuras extensivas ocurren únicamente en afloramientos de la Formación Cayo. No se ha observado estructuras similares en la suprayacente

Formación Cerro, aunque no se descarta que también haya sido afectada de forma ocasional.

Sistemas Compresivos

En el sector de La Rinconada se evidencia un evento compresivo: capas de la Formación Piñón están en contacto fallado con la Formación Cayo, la falla es tipo inversa en dirección E-W, lo que indica un sistema de compresión en sentido N-S (Fig. 4.5). Este sistema compresivo tuvo lugar en el Eoceno Inferior previo al depósito de las Formaciones Cerro, Grupo Ancón y San Mateo, y probablemente coincidiría con el evento compresivo del Eoceno inferior descrito por Benítez (1995). Este evento tectónico seguiría al evento extensional observado en la Formación Cayo, el cual parece ser sinsedimentario basado en la disminución del decalaje de las fallas hacia arriba.



Figura 4.5. Contacto fallado entre las Formaciones Cayo y Piñón. (UTM: 17M 522220/9810492).

Un importante episodio de exhumación de basamento se puede observar al sur de la comuna Salango, donde afloran rocas de la Formación Piñón (basamento) en contacto inconforme con la Formación Cerro, lo cual indicaría que previo al depósito de la Formación Cerro se produjo un evento compresivo que generó levantamiento, deformación y erosión de las Formaciones Piñón y Cayo (Figura 4.6).

Posterior a ese evento tuvo lugar el levantamiento y basculamiento de las unidades sedimentarias más jóvenes, así como la actividad del sistema de Fallas de Jipijapa (ver apartados siguientes). Estos dos últimos procesos tectónicos compresivos coincidirían con los eventos descritos por Benítez (1995) bajo sistemas de esfuerzos Este – Oeste.

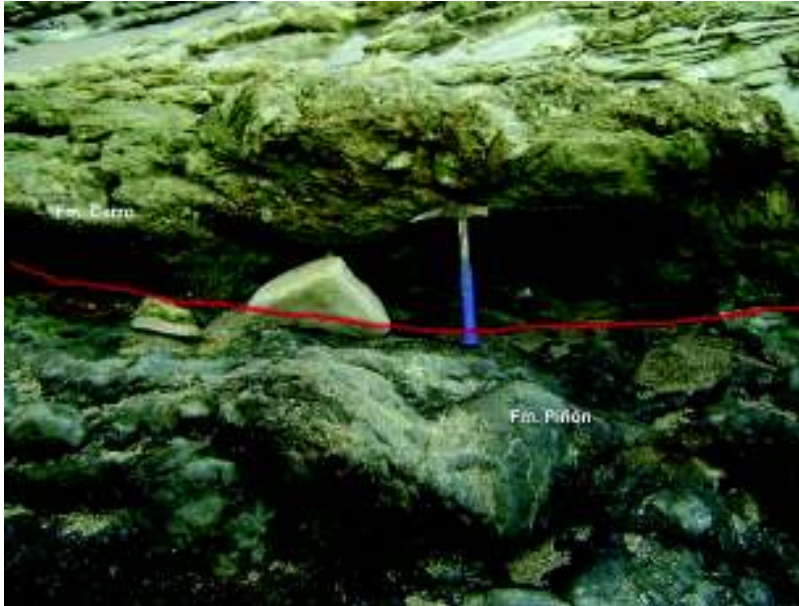


Figura 4.6. Contacto en inconformidad entre las Formaciones Piñón y Cerro, UTM: 516562 / 9822874. Al sur de Salango.

4.2. Pliegues

Las estructuras plegadas observadas en la zona de estudio se dieron en un sistema compresivo en sentido Este – Oeste, afectando principalmente a las formaciones Pre Eocénicas.

El plegamiento más notorio se localiza en la parte sur del área estudiada, se trata de un anticlinal con eje axial en dirección N – S, evidenciado en las orientaciones y disposición opuesta de las capas de las Formaciones Cayo y Cerro respecto a un eje. En la Figura 4.7 se representa la disposición de las capas de la Formación Cayo mediante la proyección estereográfica, lo cual ha permitido determinar una dirección de $N 18.3^\circ E$ con 0.6° de inmersión hacia el NE para el eje axial del plegamiento.

La dirección del eje axial del pliegue es subparalela a los lineamientos de las fallas Jipijapa y Julcuy, pero estas tres estructuras se desarrollarían en eventos diferentes en el tiempo, debido al cambio en los campos de esfuerzos, indicando que hubo al menos dos episodios de inversión tectónica desde el Cretácico Superior hasta el Eoceno Medio.

La Formación San Mateo presenta una disposición subhorizontal al suroeste de la comunidad de Julcuy, lo que indicaría que el plegamiento de la zona tuvo lugar previo al depósito de esta Formación.

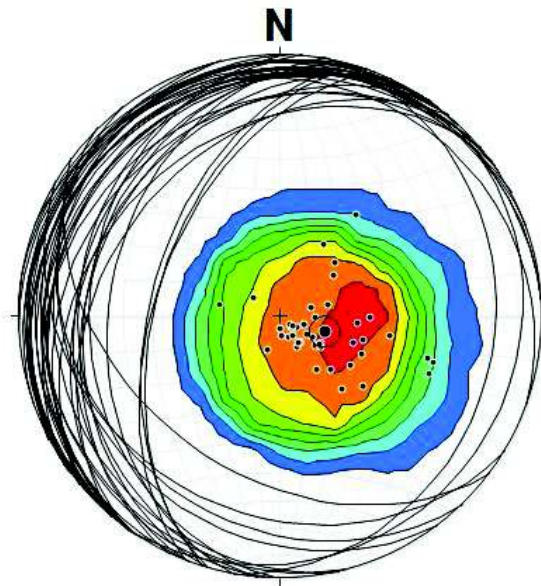


Figura 4.7. Proyección estereográfica de la disposición de las capas de la Formación Cayo.

Afloramientos de la Formación Cerro se encuentran expuestos hacia las cumbres de las elevaciones en la vía Agua Blanca - Julcuy, como se observa cerca del recinto Soledad al este de la comunidad de Agua Blanca (Figura 4.8).

La Formación Cayo presenta una mayor intensidad de deformación en contraste a la Formación Cerro, lo cual es verificable tanto al norte como al sur del área de estudio. La Formación San Mateo también se observa hacia las cumbres aledañas a la vía Agua Blanca - Julcuy, otras evidencias del levantamiento de esta Formación constituyen los cantos y bloques rodados encontrados en las afluentes del río Ayampe.



Figura 4.8. Contacto discordante entre las Formaciones Cayo y Cerro. UTM: 535632 / 9832442.

En el análisis de los datos obtenidos para determinar las orientaciones de las capas de la Formación Cerro (Figura 4.9) también se aplicó la misma metodología obteniendo una dirección de $S 40.9^\circ W$ con 6.6° de inmersión para el eje axial del plegamiento. Este resultado demuestra que aún se conserva la tendencia NNE-SSW en los lineamientos.

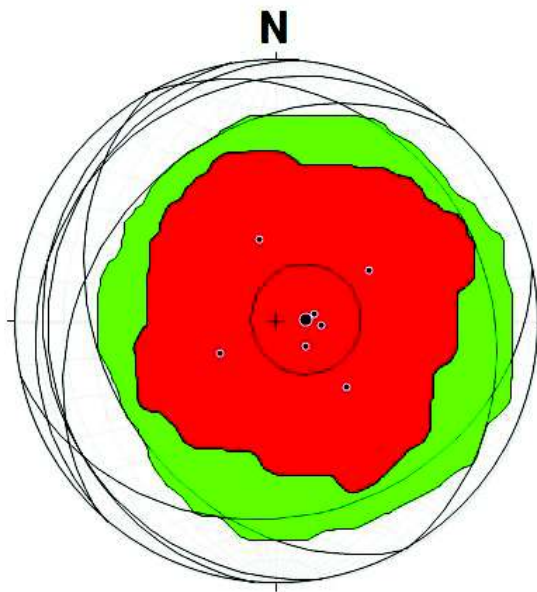


Figura 4.9. Proyección estereográfica de la disposición de las capas de la Formación Cerro.

Los datos de medidas estructurales pertenecientes a las Formaciones del Grupo Ancón dan como resultado $N 44.4^\circ W / 14.7^\circ SW$ como dirección predominante (Figura 4.10).

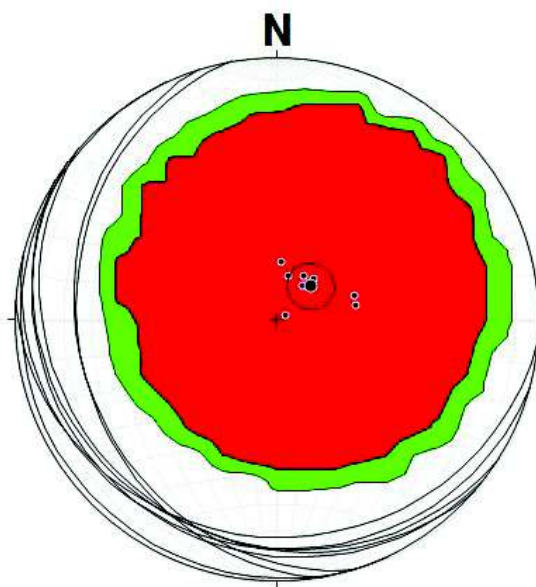


Figura 4.10. Proyección estereográfica de la disposición de las capas del Grupo Ancón.

En la Formación San Mateo, se calculó una tendencia de rumbo de las capas $N 7^{\circ} W / 9^{\circ} SW$ (Figura 4.11), que denota el bajo grado de deformación de esta unidad, como se evidencia en los afloramientos observados al suroeste de la comunidad de Julcuy y al sur de la ciudad de Puerto López.

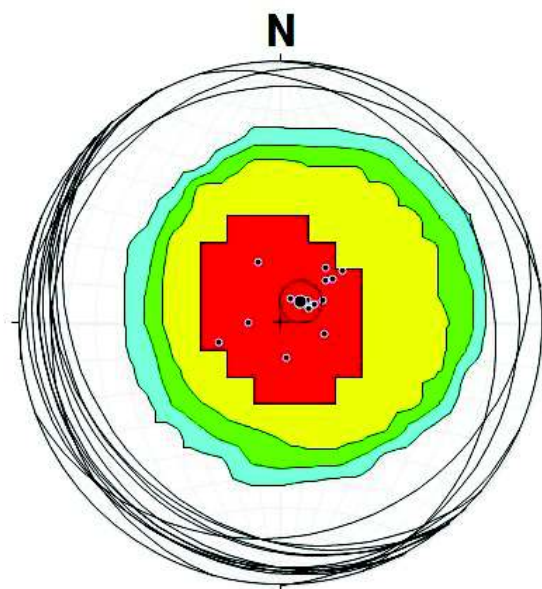


Figura 4.11. Proyección estereográfica de la disposición de las capas de la Formación San Mateo.

Con los datos obtenidos en la Formación Dos Bocas se calculó una dirección predominante de las capas de $N 66.3^{\circ} W / 12.5 SW$ manteniéndose el bajo ángulo de buzamiento (Figura 4.12).

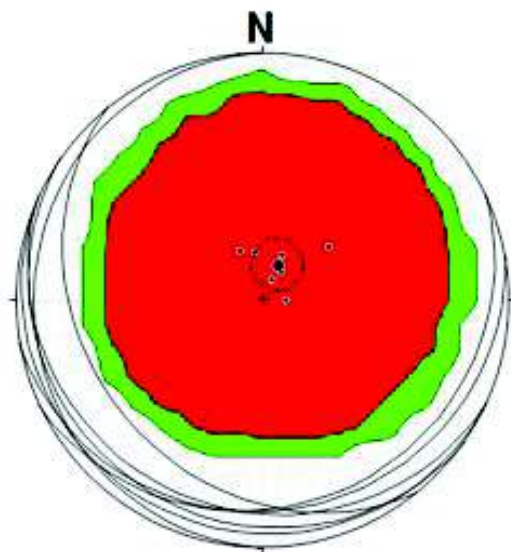


Figura 4.12. Proyección estereográfica de la disposición de las capas de la Formación Dos Bocas.

La subhorizontalidad de las capas de las Formaciones del Gupo Ancón, la Formación San Mateo Y la Formación Dos Bocas , sugieren que la deformación se desarrollo solo en el eje vertical (levantamiento).

4.3. Falla de Jipijapa

A partir de datos obtenidos de fotografías aéreas, imágenes satelitales y modelos de elevaciones digitales (DEM), se observa en el área de estudio un lineamiento principal con dirección NNE-SSW, este lineamiento presenta una orientación subparalela al eje de la fosa oceánica (Fig. 4.13). El lineamiento corresponde al sistema de Fallas Jipijapa – Portoviejo.



Figura 4.13. Lineamiento en sentido NNE – SSW provocado por el movimiento del Sistema de Fallas Jipijapa – Portoviejo. Imagen tomada y modificada de Google Earth.

La expresión morfoestructural de la Falla de Jipijapa es más evidente hacia el noreste, en dirección al poblado de Jipijapa, donde se observa un escarpe continuo, mientras que al sur de esta ubicación no se observa con claridad este tipo de escarpe, sin embargo, en base a evidencia morfológica y mapeo de campo se determinó que dicha falla se prolonga con la misma orientación hasta la comunidad de La Rinconada al sur del área estudiada.

La falla de Jipijapa presenta una cinemática inversa con una menor componente dextral y se encuentra levantando el margen occidental de la zona estudiada. En el extremo norte se evidencia la yuxtaposición de la Formación Piñón contra la Formación Dos Bocas marcando un contacto tectónico entre estas Formaciones; hacia el oeste de la

falla se observan pronunciados relieves y mayor deformación en comparación al bloque este de la zona (ver Mapa Geológico en Anexo 1).

En el centro de la zona de estudio, entre las poblaciones de Agua Blanca y Joa se observa las mayores elevaciones de la zona de estudio, esto se asume por el mayor levantamiento del escarpe cabalgante occidental. En el extremo sur la Falla de Jipijapa dicho levantamiento se evidencia por la superposición de la Formación Piñón sobre la Formación Cayo marcando un contacto tectónico entre estas. La deformación sería mayor hacia el este debido al plegamiento previo que tuvo lugar en un régimen compresivo de edad Eoceno y por la presencia hacia el este de una falla propagante que contribuye a una deformación más extensa del bloque situado al este de Julcuy (ver Mapa Geológico Anexo 1). Dicha falla, se ha podido inferir por la cartografía con rumbo paralelo a la falla Jipijapa, y en el presente estudio se la denominó Falla de Julcuy.

Por medio de relaciones estratigráficas entre Formaciones, dado que esta Falla está levantando un bloque de la Formación Piñón junto a rocas de la Formación Dos Bocas, y el análisis morfoestructural del terreno se logró determinar que la falla de Julcuy es inversa cabalgando hacia el oeste y juntamente con la Falla de Jipijapa estarían formando una estructura pop-down o cuenca en compresión. En el perfil A-B realizado en base al mapa geológico de este estudio (Anexo 1), se observa cómo las fallas inversas de Jipijapa y Julcuy forman una cuenca en compresión, levantando las Formaciones Cretácicas en los flancos de la misma (fig. 4.14).

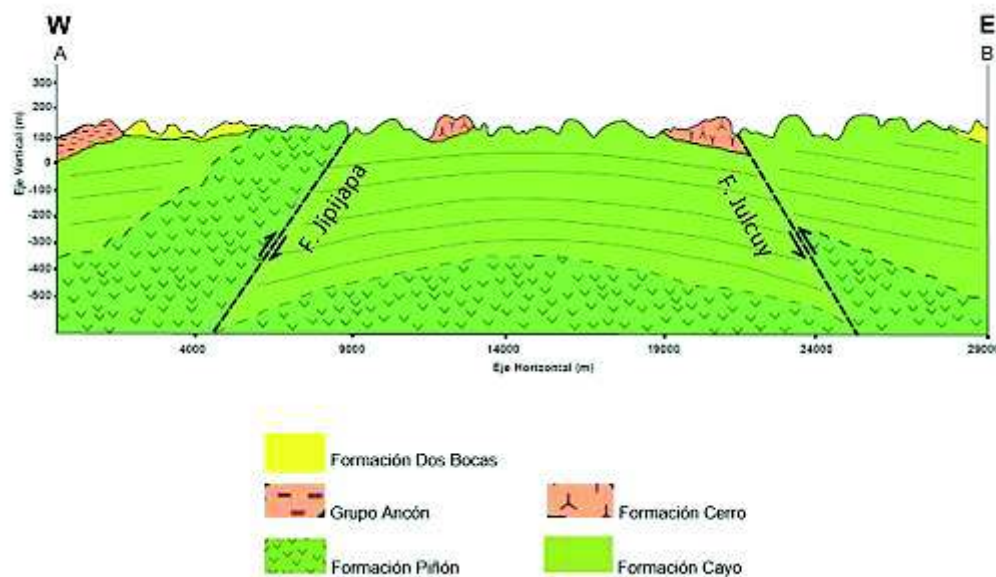


Figura 4.14. Corte Geológico A-B según Mapa Geológico Anexo, (UTM: 17M 519097/9818496 – 548142/9818496).

CAPÍTULO 5

5. MODELO DE EVOLUCIÓN

5.1 Modelo Tectono-Estratigráfico

El presente modelo pretende esquematizar la evolución tectónica y estratigráfica local en el segmento sur de la Cordillera Costera, además de describir la configuración estructural actual una vez que han sido definidos los elementos cartográficos, estratigráficos, petrográficos y tectónicos. La reconstrucción de la dinámica de la sedimentación y la historia de la deformación se ha logrado en base a la descripción de las relaciones estratigráficas entre las diferentes Formaciones Geológicas descritas y los períodos de deformación deducidos en base a relaciones de corte junto con información bibliográfica.

1. El primer episodio de sedimentación en el área de estudio inicia en el Cretácico superior con el depósito de la Formación Cayo que descansa en inconformidad sobre la Formación Piñón (Fig. 5.1).

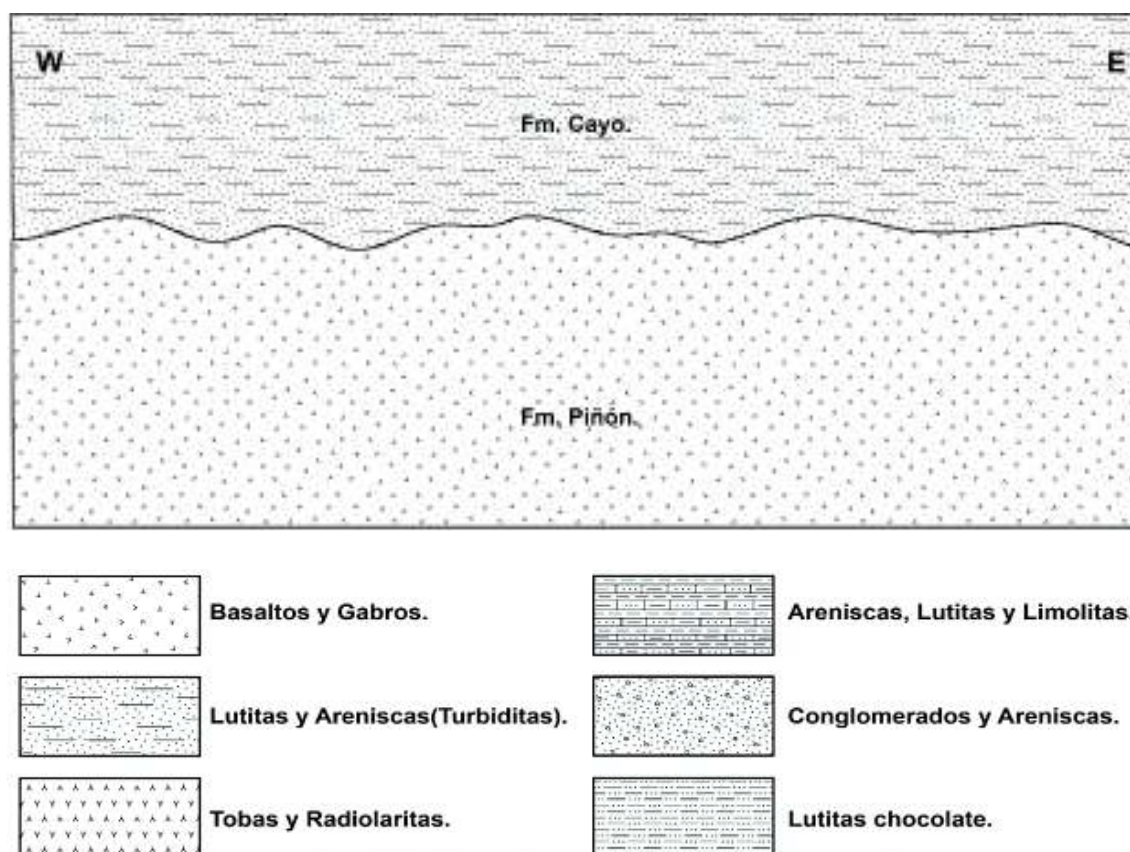


Figura 5.1. Depósito del basamento.

2. Posterior al depósito de las Formaciones cretácicas se produce un episodio extensivo caracterizado por esfuerzos sigma 3 en sentido Este - Oeste que dan lugar al desarrollo de fallas normales (Fig. 5.2). Estos esfuerzos habrían actuado previo a la acreción de estas unidades al margen continental debido a que se observa como las fallas normales fueron afectadas por el plegamiento producto de los esfuerzos compresivos.

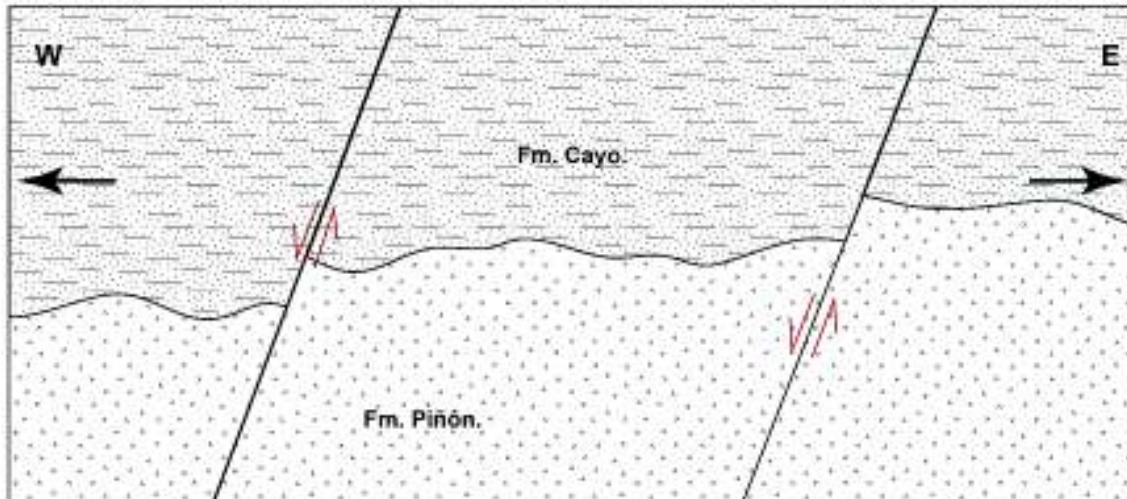


Figura 5.2. Desarrollo de fallas normales en Formaciones Cretácicas.

3. Producto de la acreción-colisión de la formación piñón al margen continental sudamericano se producen esfuerzos compresivos que dan lugar al plegamiento de las formaciones Piñón y Cayo (fig. 5.3). Durante el proceso de acreción se produce simultáneamente un proceso de erosión de las formaciones cretácicas originando una superficie en discordancia angular sobre la cual se deposita la Formación Cerro. Esta Formación tendría como fuente de aporte los productos volcánicos originados en el Eoceno Medio (Unida Macuchi) en la Cordillera de los Andes.

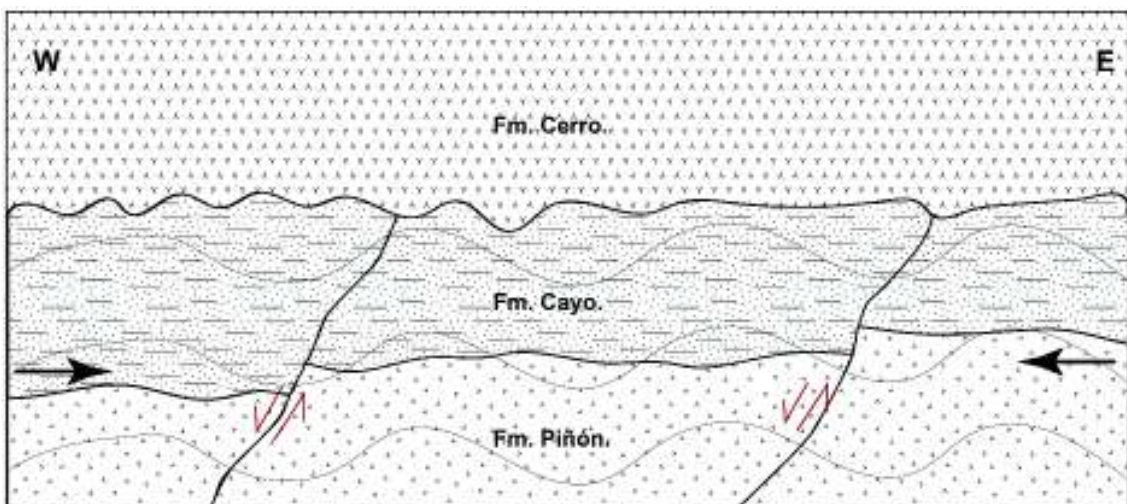


Figura 5.3. Deformación de Formaciones Cretácicas y depósito de la Formación Cerro.

4. Las Formaciones Grupo Ancón y San Mateo se depositaron aparentemente en concordancia sobre la Formación Cerro. El Grupo Ancón se deposita hacia el oeste del área estudiada en los márgenes costeros y tiene una edad Luteciense Inferior; la Formación San Mateo tiene una disposición más amplia que el Grupo Ancón, se deposita en la parte central del área estudiada y hasta el margen oeste cuya edad sería Bartonense Superior. El resultado del análisis petrográfico de estas formaciones muestra fragmentos líticos, clastos y detritos provenientes de la erosión de formaciones más antiguas, además de clastos y sedimentos derivados de la cordillera occidental, lo que sugiere un levantamiento general de la zona. Tras un período de profundización y subsidencia de la plataforma se deposita la Formación Dos Bocas, discordante sobre las unidades anteriores, durante el Mioceno Inferior (fig. 5.4).

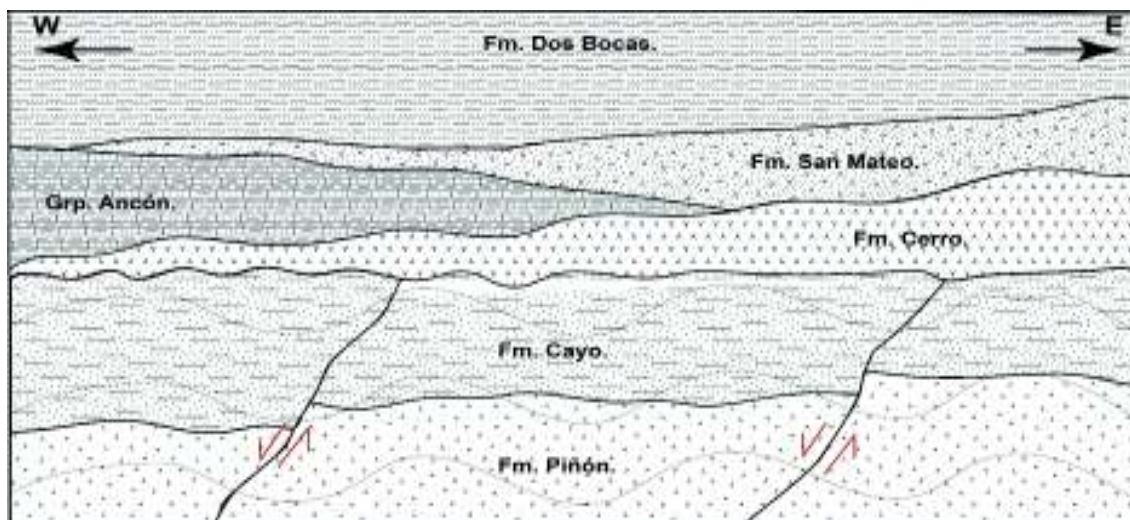


Figura 5.4. Depósito de Formaciones del Eoceno Medio y Mioceno Inferior.

5. El levantamiento de la Cordillera Costera se produciría por la subducción de la cordillera submarina de Carnegie bajo el margen sudamericano en un régimen de esfuerzos compresivos. Como consecuencia se produciría un episodio fallamiento compresivo asociado con el desarrollo de la falla de Jipijapa, la cual presenta evidencia de cinemática inversa (fig. 5.5). En el sector norte del área estudiada se observan las Formaciones Cretácicas de Piñón y Cayo en contacto con Formaciones del Mioceno (Dos Bocas) a través de la falla de Jipijapa. Actualmente esta falla controla la estructura

geológica del área de estudio en su segmento más oriental.

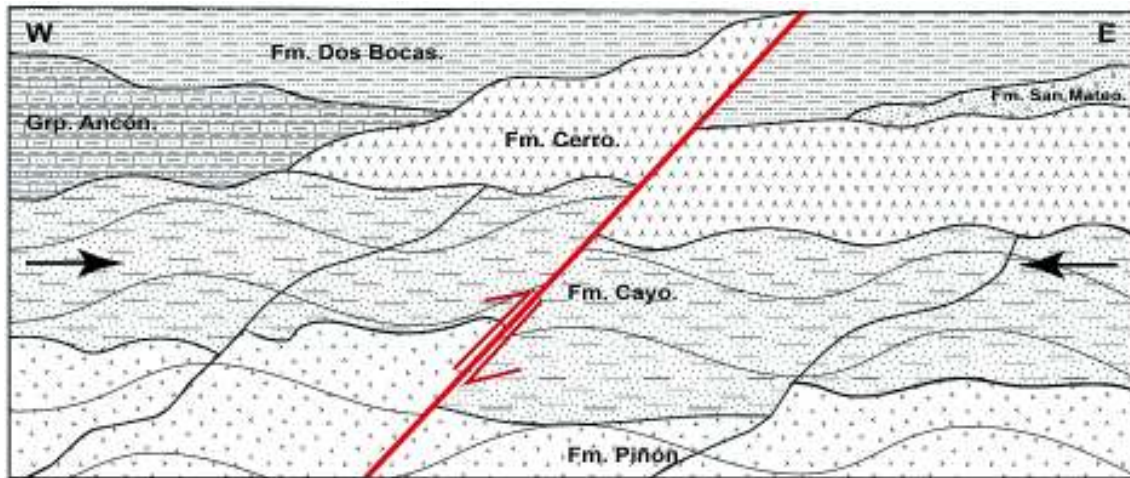


Figura 5.5. Falla inversa de Jipijapa.

5.2 Evolución Geodinámica

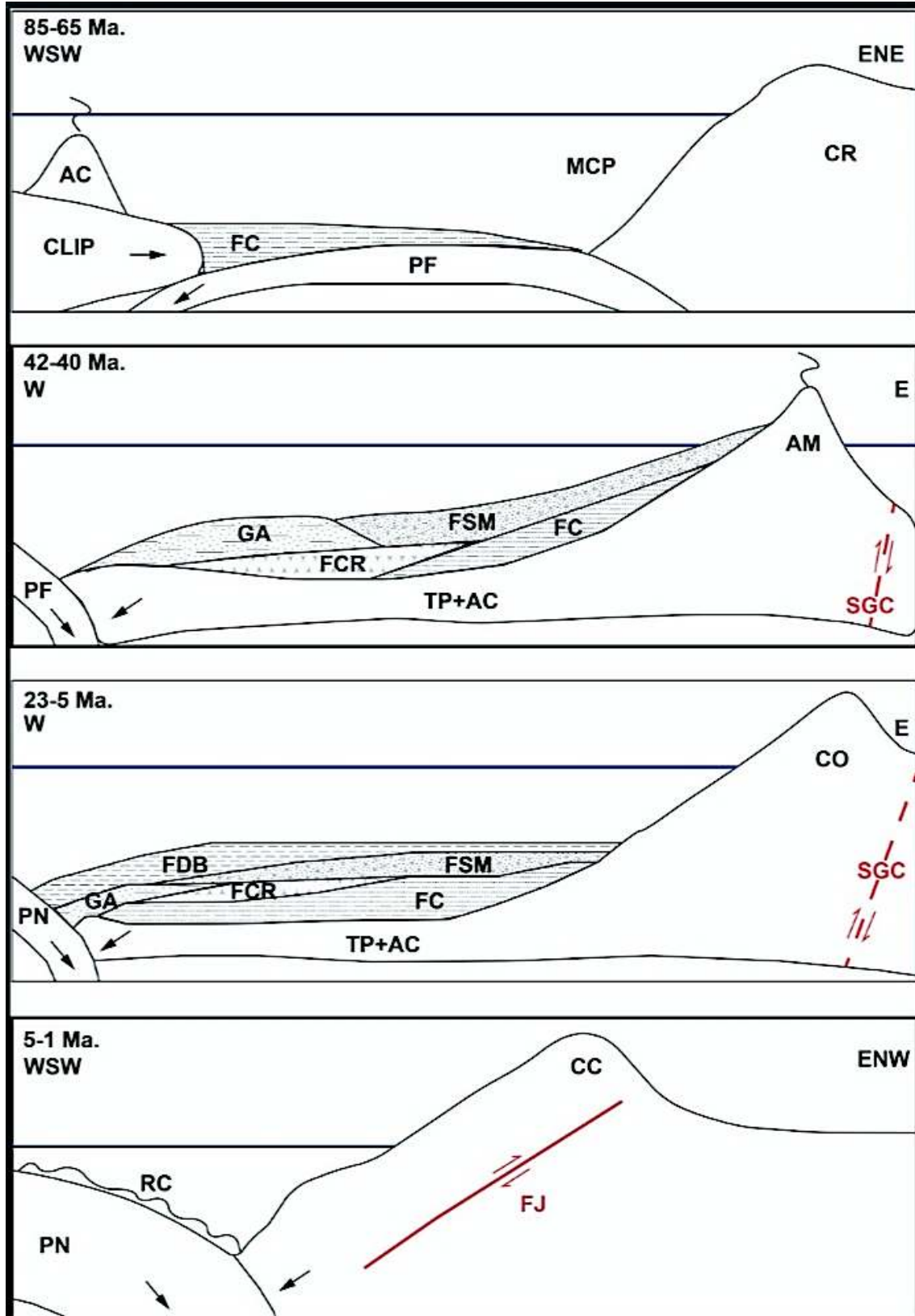




Figura 5.6. Modelo de evolución desde el Cretácico Superior hasta el Cuaternario. (CLIP) Caribbean Large Igneous Province, (PF) Placa Farallón, (MCP) Margen Continental Pasivo, (CR) Cordillera Real, (TP) Terreno Piñón, (SGC) Sutura Guayaquil-Caracas, (AC) Arco Calentura, (CR) Cordillera Real, (FC) Fm. Cayo, (AM) Arco Macuchi, (GA) Grp. Ancón, (FCR) Fm. Cerro, (FSM) Fm. San Mateo, (PN) Placa Nazca, (CO) Cordillera Occidental, (FDB) Fm. Dos Bocas, (RC) Ridge de Carnegie, (FJ) Falla Jipijapa, (CC) Cordillera Costera. En parte modificado de Spikings et al., 2015.

Entre 85 y 65 Ma se produce la acreción del Plateau Piñón-Pallatanga en dirección NE-SW al paleomargen continental ecuatoriano, en este intervalo de tiempo también se deposita la Formación Cayo, producto de la erosión de los arcos insulares desarrollados en el Plateau y de la misma Formación Piñón. Este episodio es denominado por Jaillard et al. (1995) como la etapa de Cuenca Marginal. Datos paleomagnéticos también revelan una rotación horaria entre 20° a 50° durante el Campaniense (Luzieux et al., 2006). Secuencias posteriores a la Fm. Cayo no exhibirían evidencia de dicha rotación.

Hace aproximadamente 50 Ma se produce un aumento en la velocidad de convergencia entre las placas Farallón y Sudamericana además de una ortogonalización en la dirección de subducción (Daly, 1989), lo que deformaría y erosionaría la previamente depositada Fm. Cayo. Esto estaría evidenciado en la discordancia angular entre la Fm. Cayo y la Fm. Cerro.

Entre 42 – 36 Ma se registra una drástica disminución en la velocidad de convergencia y un ligero aumento en la componente dextral según Daly (1989), produciendo extensión a nivel regional, favoreciendo el depósito de la Formación Cerro la cual sería el resultado del aporte de productos volcánicos provenientes de la cordillera Occidental y el Grupo Azúcar, además de la posible apertura del Golfo de Guayaquil. La formación de depósitos del tipo VMS en la Fm. Macuchi también serían una clara evidencia de un evento extensivo en el Eoceno.

A partir de 40 hasta 35 Ma se mantiene relativamente constante la velocidad de convergencia según Daly (1989), esto podría traducirse en un episodio de levantamiento

y erosión prolongado que estaría relacionado con el desarrollo de la Formación San Mateo. La alta tasa de exhumación en la Cordillera Real Spikings et al. (2000) durante ese intervalo de tiempo sustentaría también esta hipótesis.

Durante el Oligoceno se produce la fragmentación de la placa Farallón en las placas Nazca y Cocos. Esto también coincidiría con una posterior disminución en la velocidad de convergencia.

El desarrollo de la Formación Dos Bocas, por su litología pelítica y ambiente sedimentario, sugiere una profundización de la cuenca entre el Mioceno Temprano a Medio. Según Benítez (1995) a partir del Mioceno Medio se produciría un incremento en la velocidad de convergencia, el cual originaría probablemente el desarrollo del Sistema de Fallas Jipijapa - Portoviejo, Jama - Coaque y Quinindé; además del inicio del levantamiento de la Cordillera Costera, la Cordillera Chongón - Colonche y la Península de Santa Elena.

Durante el Plioceno Superior- Pleistoceno se tiene el arribo de la Cordillera Asísmica de Carnegie según Gutscher et al. (1999), lo cual influiría de manera específica en la tectónica de la zona de estudio, esto estaría evidenciado en el levantamiento Y erosión de la Fm. Dos Bocas, así como la deformación y basculamiento de Formaciones más antiguas. Para el presente trabajo se considera el arribo de Carnegie al margen continental como el mecanismo asociado al desarrollo de la Falla Jipijapa y el levantamiento de la Cordillera Costera.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES

- El trabajo cartográfico realizado en el segmento sur de la Cordillera Costera permitió definir y caracterizar petrográficamente seis Formaciones litológicas. El basamento en la zona está conformado por la Formación Piñón, la cual aflora al norte en la localidad de Puerto Cayo y Membrillal, y al sur se ubica entre las localidades de Ayampe y La Rinconada.
- Sobre la Formación Piñón descansa en inconformidad la Formación Cayo, la cual está compuesta por una secuencia cíclicamente continua de megaturbiditas; la Formación Cayo se encuentra distribuida sobre la mayor parte del área estudiada destacándose los afloramientos ubicados en los sectores de Agua Blanca y Guale - Casas Viejas. El contenido de glauconita y foraminíferos en esta Formación sugiere un ambiente de depósito marino somero.
- Posteriormente al depósito de la Formación Cayo se produce un hiato sedimentario y el primer período de deformación, esta deformación es resultado de esfuerzos extensivos y compresivos en direcciones Este - Oeste; los primeros esfuerzos que actuaron son los extensivos y se evidencia en el desarrollo de fallas normales que afectan a las Formaciones Piñón y Cayo, mientras que los esfuerzos compresivos resultan de la acreción de las Formaciones cretácicas al continente, la evidencia de estos esfuerzos es el plegamiento de las Formaciones Piñón y Cayo posterior al desarrollo de las fallas normales.
- Sobre la superficie discordante producto de la erosión de las Formaciones Piñón y Cayo, descansa la Formación Cerro, la cual es producto del volcanismo originado en la Cordillera occidental, este tipo de contacto se lo observa hacia el norte en el sector de Membrillal y en centro-sur en los sectores de Agua Blanca y Guale respectivamente. En este estudio se dividió a la Formación Cerro en tres subniveles dependiendo de su contenido litológico: tobas con componentes calcáreos a la base, mudstones biomicríticos, radiolaritas y radiolaritas calcáreas además de concreciones silíceas en la parte intermedia y finalmente margas tobáceas silicificadas hacia el tope. Esta Formación se acula durante el Mioceno Medio en un ambiente marino de plataforma.
- Las Formaciones Grupo Ancón y San Mateo que anteriormente se las definía como una sola en el área de estudio, son el producto de la erosión de las Formaciones Piñón, Cayo y Cerro; además cabe mencionar que San Mateo tiene también un aporte proveniente de la Cordillera Occidental que se evidencia en clastos y bloques de andesitas, dioritas, dacitas y granitos. La Formación San

Mateo evidencia un tipo de contacto transicional con la Formación Cerro y Grupo Ancón, mientras que el contacto con la Formación Dos Bocas es del tipo estructural y se lo observa en el sector de Julcuy. Los depósitos del Grupo Ancón se encuentran ubicados en el segmento occidental de la zona de estudio destacándose los afloramientos de Machalilla. El Grupo Ancón en este estudio se establece como un equivalente lateral de San Mateo, esto debido a su similar contenido litológico, el contacto entre estas Formaciones y la diferencia de edad en las que fueron depositadas. Estas Formaciones se acumulan en un ambiente marino somero durante el Luteciense Inferior y Bartonense Superior respectivamente.

- El origen de la falla inversa de Jipijapa estaría asociado a un episodio compresivo relacionado con la colisión-subducción de la cordillera de Carnegie contra el margen sudamericano controlado por esfuerzos compresivos en sentido Este - Oeste. La evidencia de esta falla sería el contacto tectónico que existe entre Formaciones Cretácicas (Piñón y Cayo) con Formaciones del Mioceno (Dos Bocas).
- El sector comprendido entre Ayampe y Pedro Pablo Gómez se interpreta como una estructura en Pop-Down (cuenca por compresión) controlada por la falla inversa de Jipijapa y la definida en este estudio como falla inversa de Julcuy, situada al Este. La tendencia de rumbo de las principales estructuras coincide con el rumbo de la fosa oceánica actual, indistintamente si fueron generadas en un régimen compresivo o extensivo.

CAPÍTULO 7

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alemán, A., & Ramos, V. A. (2000). Northern Andes. Tectonic Evolution of South America. International Geology Congress, Río de Janeiro, pp 453-480.
- Benítez, S. (1990). Estratigrafía de las formaciones Cayo y Guayaquil en la cordillera Chongón Colonche: hacia una redefinición, Geociencia, Rev. del CIGMP-Guayaquil; 3, 7-11; 4, 18-20; 5, 11-14
- Benítez, S. B. (1995). Evolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire. Géol. Alp, 71: 3-173.
- Bethoux, N., Segovia, M., Álvarez, V., Collot, J. Y., Charvis, P., Gailler, A., Monfret, T. (2011). Seismological study of the central Ecuadorian margin: Evidence of upper plate deformation. Journal of South American Earth Sciences, v. 31, n° 1, pp 139-152.
- Blandimi, C. (1998). El clima y sus características en el Ecuador. Quito, Biblioteca Ecuador. 126 p.
- Bristow, C. R. & Hoffstetter, R. (1977). Lexique Stratigraphique International; Ecuador, Second edition. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique, 412p.
- Cisneros, A. (2017). Morfo-Tectónica de la Península de Manta e Isla de la Plata y su relación con los procesos de subducción. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
- Colman, J. (1970). Guidebook to the geology of the Santa Elena Peninsula. Ecuadorian Geol. and Geophys. Soc.
- Collot, Jean-Yves., Michaud, F., Alvarado, A., Marcaillou, B., Sosson, M., Ratzov, G., Migeon, S., Calahorrano, A., Pazmino, A. (2009). Visión general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador-Sur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Cordillera de Carnegie. Géozur, Université de Nice-Sophia Antipolis. France.
- Contreras, M. (1990). Estudio estratigráfico detallado de la Formación San Mateo en la localidad tipo, Ecuador, Tesis de grado ESPOL.
- Daly, M. C. (1989). Correlations between Nazca/Farallon plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador. Tectonics, 8 (4), 769-790.
- Deniaud, Y. (1998). Evolución tectono-sedimentaria de las cuencas costeras Neógenas del Ecuador. PETROPRODUCCION-ORSTOM. Informe interno: 74pp.

- DGGM, (1974). Mapa Geológico detallado del Ecuador 1:100.000, hoja Jipijapa. Dirección General de Geología y Minas, Quito.
- DGGM, (1974). Mapa Geológico detallado del Ecuador 1:100.000, hoja Manglaralto. Dirección General de Geología y Minas, Quito.
- Diagnostico Ecológico y Socioeconómico del Área Marino-Costera del Parque Nacional Machalilla. Parte 1. INEFAN / GEF 1997.
- Eguez, H. (1985). Sedimentología y Estratigrafía de la Formación San Mateo. Provincia de Manabí, Ecuador, ESPOL, Tesis de Grado.
- Egüez, A., Alvarado, A. & Yépez, H. (2003). Mapa de fallas y pliegues Cuaternarios de Ecuador y regiones oceánicas adyacentes. USGS.
- Faucher, B. & Savoyat, E. (1973). Esquisse géologique des Andes de l'Équateur. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique, v. 15, fasc 1-2, pp 115-142.
- Feininger, T. & Bristow, C. R. (1980). Cretaceous and Paleogene history of coastal Ecuador. Geologische Rundschau, 69: 849-874.
- Feininger, T. & Seguin, M. K. (1983). Simple Bouguer gravity anomaly field and the inferred crustal structure of continental Ecuador. Geology, v. 11, p. 40-44.
- Gailler, A., Charvis, P., & Flueh, E. R. (2007). Segmentation of the Nazca and South American plates along the Ecuador subduction zone from wide angle seismic profiles. Earth and Planetary Science Letters(No. 260), pp. 444-464
- Gamber J., Baker, G. W., Stein, J. A., Carney, J. L., Geen. A. F., Krebs, W. N., Salomon, R. A., and White, J. R. (1990). Biostratigraphic report: Coastal Ecuador. 46 pgs.
- Goossens, P. & Rose, W. (1973). Chemical composition and age determination of tholeitic rocks in the Basic Igneous Complex, Ecuador. GSA Bulletin, 84: 1043-1052.
- Gutscher, M. A., Malavieille, J., Lallemand, S. & Collot, J. Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: Impact of the Carnegie Ridge collision. Earth and Planetary Science Letters, v. 168, p. 255-270.
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Benítez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G. & Zambrano, I. (1995). Basin development in an accretionary, oceanic-floored forearc setting: southern coastal Ecuador during Late Cretaceous to late Eocene times. Petroleum basins of South America. American Association of Petroleum Geologists. Memoir, 62: 615-631.

- Kerr, A. C., Aspden, J. A., Tarney, J. & Pilatasig, L. F. (2002). The nature and provenance of accreted terranes in Western Ecuador: geochemical and tectonic constraints. *Journal of the Geological Society, London*, 159: 577-594.
- Lonsdale, P. (1978). Ecuadorian Subduction System. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 62: 2454-2477.
- Lapierre, H., Bosch, D., Dupuis, V., Polvé, M., Maury, R. C., Hernández, J., Monié, P., Yeghicheyan, D., Jaillard, E., Tardy, M., Mercier de Lépinay, B., Mamberti, M., Desmet, A., Keller, F. & Sénebier, F. (2000). Multiple plume events in the genesis of the peri-Caribbean Cretaceous oceanic plateau province. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, nº B4, pp 8403-8421.
- Luzieux, L., Heller, F., Spikings, R., Vallejo, C. & Winkler, W. (2006). Origin and Cretaceous history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: paleomagnetic, radiometric and fossil evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, 249: 400-414.
- Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Jaillard, E., Ethien, R., Hernández, J. & Polvé, M. (2003). Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean-Colombian Plateau in Ecuador. *Lithos*, 66: 173-199.
- Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Jaillard, E., Hernández, J. & Polvé, M. (2004). The Early Cretaceous San Juan plutonic suite, Ecuador: a magma chamber in an oceanic plateau? (2004). *Can. J. Earth Sci.*, v. 41.
- Marksteiner, R., and A. Alemán, 1991, Coastal Ecuador, technical evaluation agreement: Unpublished internal report, Amoco Production Company and Petroecuador, v. 1, 218 p
- Navarrete, E. (1985). Estudio estratigráfico de la Formación San Mateo en el corte Puerto López-Salango. ESPOL. Tesis de grado.
- Olsson, A. A. (1942). Tertiary deposits of NW South America and Panamá. *Proc. 8th Am. Sci. Congr.*, Washington, 4, p. 231-287.
- Olsson, A. A. (1964). Neogene Mollusks from northwestern Ecuador. *Paleontological Research*, Institution, Ithaca, New York, 256 p., 38 pis.
- Ordóñez, M., Jiménez, N. & Suárez, J. (2006). Micropaleontología ecuatoriana. Datos Bioestratigráficos y Paleoecológicos de las cuencas: Graben de Jambelí, Progreso, Manabí, Esmeraldas y Oriente; del levantamiento de la Península de Santa Elena y de las Cordilleras Chongón-Colonche, Costera y Occidental.
- Pardo-Casas, F. & Molnar, P. (1987). Relative motion of the Nazca (Farallón) and South American plate since Late Cretaceous time. *Tectonics*, 6:233-248.

- Pedoja, K., Dumont, J. F., Lamothe, M., Ortlieb, L., Collot, J. Y. Ghaleb, B., Auclair, M., Álvarez, V. & Labrousse, B. (2006). Plio-Quaternary uplift of the Manta Península and La Plata Island and the subduction of the Carnegie Ridge, central coast of Ecuador.
- Shepard, G. (1979). Shallow Crustal Structure and marine Geology of a convergence zone, North West Perú and South west Ecuador, Thesis P.H.D. en Geología, Univ. de Hawai, 201 p.
- Reyes, P. (2008). Quantification relative du soulèvement de la Cordillera Cotiere (Equateur) a partir de la geomorphologie sur MNT. Université Nice. These Master 2 SGT: 40pp.
- Reyes, P. (2013). Évolution du relief le long des marges actives: Étude de la déformation Plio-Quaternaire de la Cordillère Côtière d'Équateur. Earth Sciences. Université Nice Sophia Antipolis. France.
- Reynaud, C., Jaillard, E., Lapierre, H., Mamberti, M. & Mascle, G. H. (1999). Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America. *Tectonophysics*, 307: 235-254.
- Roperch, P., Mégard, F., Laj, C., Mourier, T., Clube, T. M. & Noblet, C. (1987). Rotated oceanic blocks in western Ecuador. *Geophysical Research Letters*, v. 14, n° 5, pp. 558-561.
- Sheppard, G. (1930). Geology of Southwest Ecuador. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, v. 14, n° 3.
- Sigal, J. (1969). Quelques acquisitions récentes concernant la chronostratigraphie des formations sédimentaires de l'Equateur. *Rev. Esp. Micropal.*, 1, p. 205-236.
- Sinton, C. W., Duncan, R. A., Storey, M., Lewis, J. & Estrada, J. J. (1998). An oceanic flood basalt province within the Caribbean plate. *Earth and Planetary Science Letters*, 155: 221-235.
- Spikings, R. A., Seward, D., Winkler, W., Ruiz, G. M. (2000). Low-temperature thermochronology of the northern Cordillera Real, Ecuador: Tectonic insights from zircon and apatite fission track analysis. *Tectonics*, vol. 19, no 4, pp 649-668.
- Spikings, R. A., Winkler, W., Seward, D., Handler, R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters* 186 (1), 57–73.

- Spikings, R. A., Cochrane, R., Villagómez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W. & Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: from Pangea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290-75 Ma). *Gondwana Research* 27, 95-139.
- Stainforth, R. M. (1948). Applied micropaleontology in coastal Ecuador. *Journal of Paleontology*, v. 22, n° 2.
- Thalmann, H. E. (1946). Micropaleontology of Upper Cretaceous and Paleocene in Western Ecuador. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist*, v. 30, n° 3, pp 337-347.
- Trenkamp, R., Kellogg, J., Freymueller, J. & Mora, H. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, 157-171.
- Vallejo, C., Spikings, R. A., Luzieux, L., Winkler, W., Chew, D. & Page, L. (2006). The early interaction between the Caribbean Plateau and the NW South American Plate. *Terra Nova*, 18: 264-269.
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R. A., Luzieux, L., Heller, F. & Bussy, F. (2009). Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador. *The Geological Society of America, Memoir* 20: 20pp.
- Van Melle, J., Vilema, W., Faure-Brac, B., Ordoñez, M., Lapierre, H., Jimenez, N., Jaillard, E., Garcia, M. (2208). Pre-collision of the Piñón oceanic terrane of SW Ecuador: stratigraphy and geochemistry of the "Calentura Formation". *Soc. Géol. Fr. Bull*, n°5: 433-443pp.
- Witt, C., Bourgois, J., Michaud, F., Ordóñez, M., Jiménez, N. & Sosson, M. (2006). Development of the Gulf of Guayaquil (Ecuador) during the Quaternary as an effect of the North Andean Block tectonic escape. *Tectonics*, 25, TC3017, doi: 10.1029/2004TC001723, 22 p.

CAPÍTULO 8

8. ANEXOS

Anexo 1.**MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA ESTUDIADA**

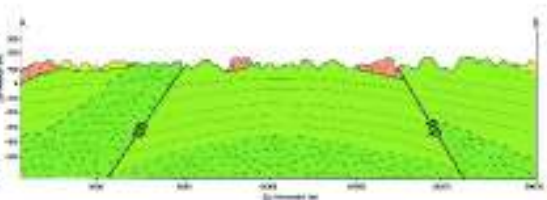
MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA ESTUDIADA



LEYENDA LITO-ESTRATIGRÁFICA

- Depósitos Cuaternarios
- Mdb** Formación Dos Bocas } Mioceno Inferior
Lutitas con intercalaciones de yeso y calizas al norte
- ESn** Formación San Mateo } Eoceno Superior
Areniscas y conglomerados
- EAn** Grupo Ancón } Eoceno Inferior
Arcillas laminadas, limolitas y areniscas finas
- ECr** Formación Cerro } Eoceno Inferior
Tufos calcáreos
- KCy** Formación Cayo } Cretácico Superior
Magnetolitas
- KPr** Formación Piñón } Cretácico Inferior
Basaltos

PERFIL GEOLÓGICO A - B



ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

- Contacto geológico inferido
- Contacto geológico observado
- Contacto geológico transicional
- Falla inversa
- Falla normal
- Estratificación
- Pliegue

SIMBOLOGÍA

- Poblados
- Curva de nivel
- Río

BASE TOPOGRÁFICA ESCALA 1:20000 COMPLETADO DE LAS HOJAS TOPOGRÁFICAS DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM)

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500 000
 False Northing: 10 000 000
 Central Meridian: -81
 Scale Factor: 0.9996
 Lat. of the origin: 0.0
 Units: Meter

Esc: 1:100.000



ANÁLISIS TECTONO-ESTRATIGRÁFICO DE LA CORDILLERA COSTERA ENTRE LAS POBLACIONES DE JIJUJA Y LA RINCONADA

Realizado por: Jonathan Vladimir Enriquez Villanal
 Miguel Andrés Espinosa Guindo

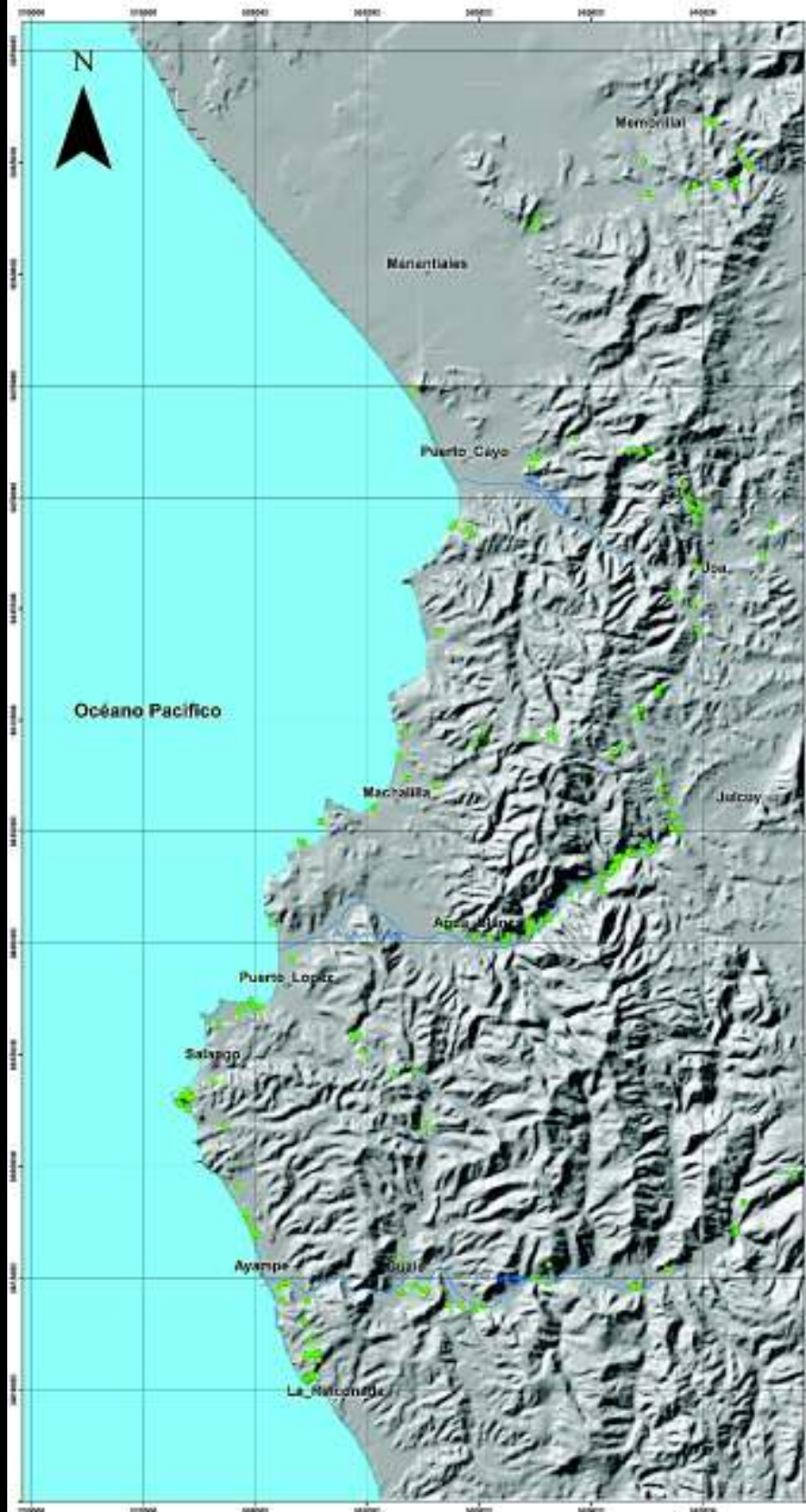
Corregido por:

Fecha: Diciembre 2017

Anexo 2.

LUGARES DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

LUGARES DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO



LEYENDA

- Lugares de levantamiento Geológico
- Poblados
- Rio

BASE TOPOGRÁFICA ESCALA 1:25000 COMPILADO
DE LAS HOJAS TOPOGRÁFICAS DEL
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR
PORD

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500 000
False Northing: 10 000 000
Central Meridian: -81
Scale Factor: 0.9996
Latitude Origin: 0.0
Units: Meter

0 5 10 20
Km

Esc: 1:100.000

Anexo 3.**MAPA DE UBICACIÓN DE MUESTRAS**

MAPA DE UBICACIÓN DE MUESTRAS

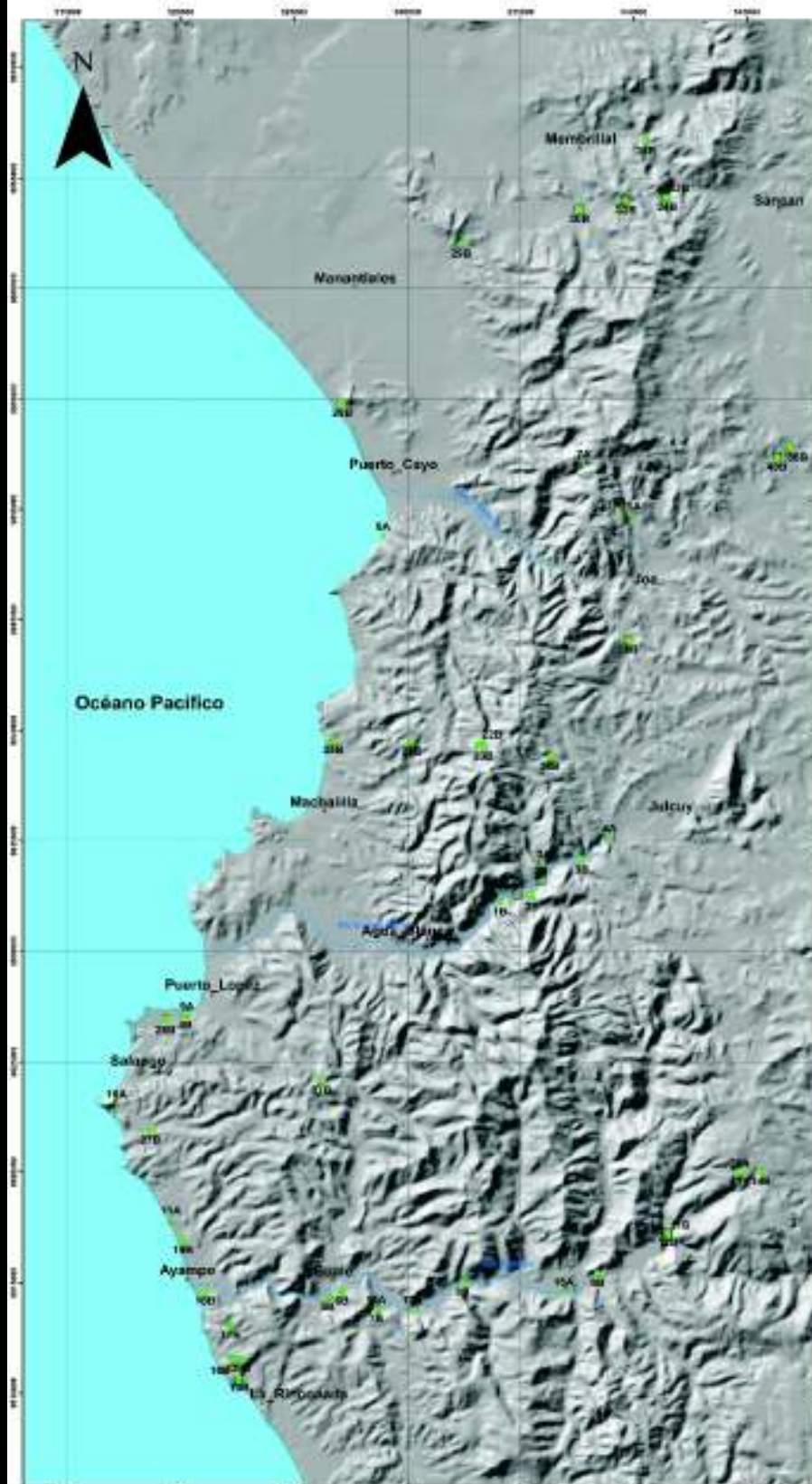


TABLA DE MUESTRAS (A) JUNIO 2016

Número	Código	X	Y	Z
1A	1606-ILR-01A-B	534989	9832584	130
2A	1606-ILR-02A	535092	9833192	156
3A	1606-ILR-03A	536015	9833972	160
4A	1606-ILR-04A-B	538924	9835147	191
5A	1606-ILR-05A	539870	9849716	258
6A	1606-ILR-06A	539376	9849945	383
7A	1606-ILR-07A	537792	9852096	438
8A	1606-ILR-08A	528928	9848812	1
9A	1606-ILR-09A-B	520264	9827087	24
10A	1606-ILR-10A	517156	9823116	8
11A	1606-ILR-11A-B	519561	9817857	16
12A	1606-ILR-12A-B-C	522556	9810557	12
13A	1606-ILR-13A	528619	9813810	120
14A	1606-ILR-14A	528619	9813810	110
15A	1606-ILR-15A	530220	9813809	59
16A	1606-ILR-16A	536905	9814618	137
17A	1606-ILR-16B	530220	9813809	59
18A	1606-ILR-17A	541496	9817092	186
19A	1606-ILR-18A	544588	9819909	594
20A	1606-ILR-19A	544688	9819978	601

TABLA DE MUESTRAS (B) OCTUBRE 2016

Número	Código	X	Y	Z
1B	1610-ILR-01	534989	9832212	107
2B	1610-ILR-02-03A-03B	535504	9832443	224
3B	1610-ILR-04	537700	9834116	166
4B	1610-ILR-06	520197	9827094	33
5B	1610-ILR-07	526572	9814343	32
6B	1610-ILR-08	527208	9814615	66
7B	1610-ILR-09A-B	528612	9813802	89
8B	1610-ILR-10	532437	9815018	104
9B	1610-ILR-11	538306	9815412	185
10B	1610-ILR-12A-B-C	543491	9817074	189
11B	1610-ILR-13A-B-C	541459	9817178	208
12B	1610-ILR-14A-B	545134	9817258	234
13B	1610-ILR-15	544681	9815983	602
14B	1610-ILR-16	549614	9820004	589
15B	1610-ILR-17A-B	522578	9810689	58
16B	1610-ILR-19	522264	9811458	129
17B	1610-ILR-20	527186	9813060	117
18B	1610-ILR-21	521982	9814612	11
19B	1610-ILR-22	520088	9816907	9
21B	1610-ILR-23	530201	9819489	305
22B	1610-ILR-24	533147	9819596	563
23B	1610-ILR-25A-B	533382	9819262	581
24B	1610-ILR-26	539749	9844079	216
25B	1610-ILR-27	526726	9810560	51
26B	1610-ILR-28	513321	9826877	109
27B	1610-ILR-29	518652	9821889	31
28B	1610-ILR-30	527152	9854802	35
29B	1610-ILR-31A-B	532378	9862004	161
30B	1610-ILR-32	537594	9863582	227
31B	1610-ILR-33	539372	9863679	269
32B	1610-ILR-34A-B-C	539674	9863978	305
33B	1610-ILR-35	541411	9864129	289
34B	1610-ILR-36	541478	9864124	270
35B	1610-ILR-37A-B-C-D	542533	9866664	166
36B	1610-ILR-38	548872	9852790	361
37B	1610-ILR-40A-B	528199	9824130	240
38B	1610-ILR-05	536298	9818804	375
39B	1610-ILR-18	522647	9813576	132
40B	1610-ILR-39	546329	9852373	535

LEYENDA

- Muestras (A) Junio 2016
- Muestras (B) Octubre 2016
- Muestras de línea delgada
- Poblados
- Río

BASE TOPOGRÁFICA ESCALA 1:25000 COORDINADO
DE LAS HOJAS TOPOGRÁFICAS DEL
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR
(IGN)

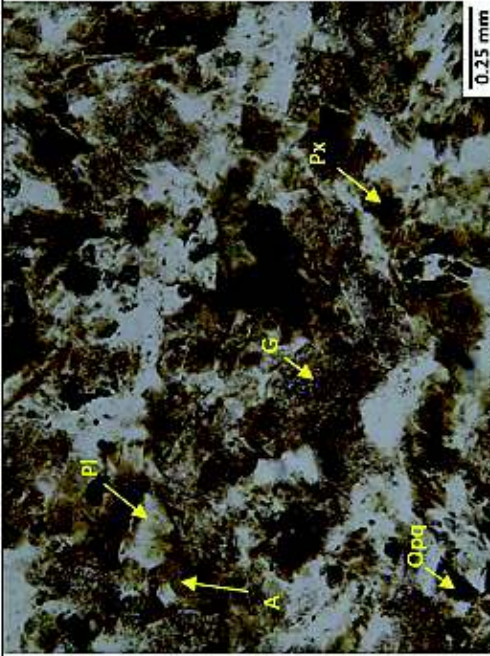
Coordenado Sistema: WGS 1984 UTM Zona 17E
Proyección: Transversal Mercator
Datum: WGS 1984
Falso Oeste: 500000
Falso Northing: 10,000,000
Centro Meridiano: -81
Scale Factor: 0,999
Luz del Sur: 0,0
Unidad: Metro

0 5 10 20 Km

Esc: 1:100.000

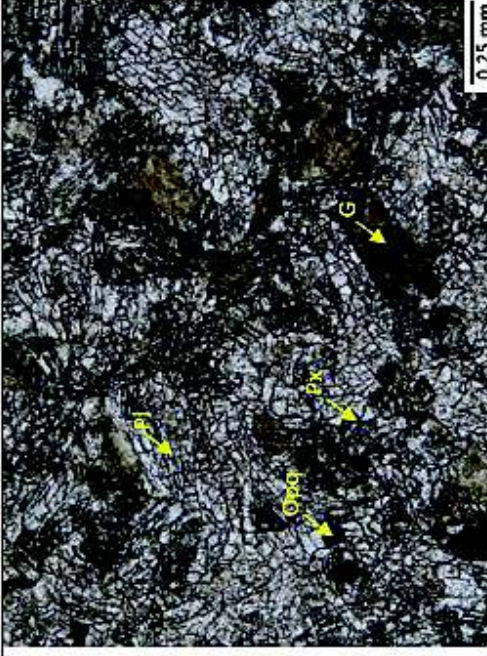
Anexo 4.**FICHAS PETROGRÁFICAS DE LÁMINA DELGADA**

Láminas Delgadas Formación Piñón

Nombre de la muestra:		1606-JLR-06A			Fotografías		
Localidad:	Vía Joa – Puerto Cayo	X = 0539376	Y = 9849945	Z = 383			
Microestructura:	Amigdaloides						
Microtextura:	Vítrea						
Descripción de la muestra							
Minerales	Vol %	Propiedades	Observaciones				
Piroxenos (Px)	10	Cristales anhedrales, relieve bajo, colores castaños claros sin polarizador.	Todos los cristales de piroxeno se encuentran alterados y no presentan un orden aparente.				
Plagioclasas (Pl)	20	Cristales alargados, con bajo relieve, color amarillito pálido.	Las plagioclasas han sido sometidas a procesos de alteración.				
Vidrio Volcánico (G)	30	Anhedral, color café claro.	Diseminado y alterado.				
Arcillas (A)	20	Producto de la alteración de las plagioclasas	En ciertos lugares de la lámina se encuentran rodeando a las plagioclasas.				
Opacos (Opq)	10	Anhedrales y con cierto grado de oxidación.	No presentan un orden determinado en la lámina.				
Secundarios:	N/A						
Matriz:	Vidrio volcánico alterado						
Observaciones:	Debido a la alteración que sufrió esta roca se ha generado un tipo de porosidad moderada, la cual se expresa como cavidades dejadas por los minerales que constituían la roca.						
Nombre:	Basalto alterado.						

Nombre de la muestra:		1606-JLR-07A		
Localidad:	Vía Joa – Puerto Cayo	X = 0537792	Y = 9852096	Z = 436
Microestructura:	Hipidiomorfa			
Microtextura:	Pilotáctica			
Descripción de la muestra				
Minerales	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Plagioclasa (Pl)	50	Incoloras, subhedralas, con maclas tipo carlsbad y con un relieve medio.	Los cristales se encuentran fracturados y sin orientación aparente.	
Piroxeno (Px)	20	Color castaño claro sin polarizador cruzado y colores de interferencia de segundo orden. cristales subhedralas.	Cristales deformados y fracturados, dispersos por toda la lámina.	
Vidrio Volcánico (G)	25	Está formando la matriz de la roca	Fibroso, alterándose.	
Opacos (Opq)	5	Minerales con formas anhedralas.	Dispersos por toda la lámina.	
Secundarios:	N/A			
Matriz:	Vidrio Volcánico			
Observaciones:	Los minerales se encuentran fracturados, lo que se puede asociar con una deformación post-deposicional. Además, algunas plagioclasas presentan cierto grado de alteración.			
Nombre:	Basalto Toleítico			

Fotografías



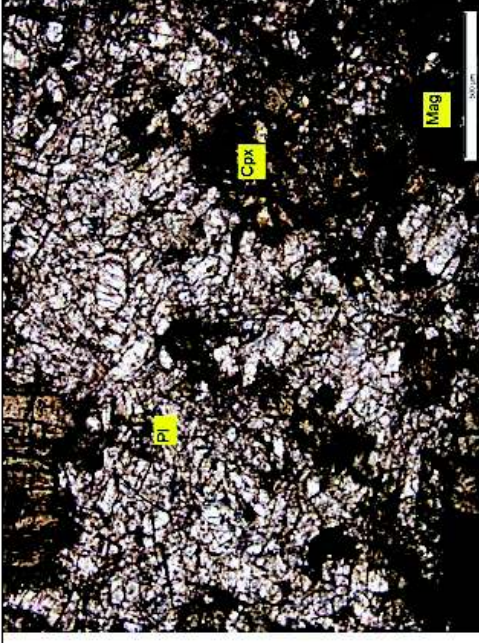
Fotografía con luz transmitid 10x



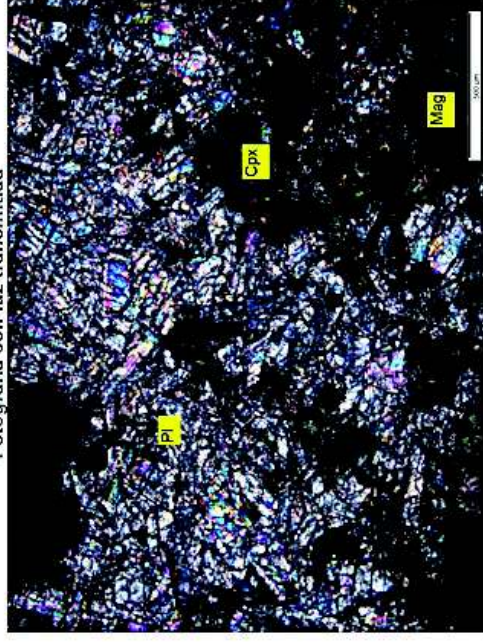
Fotografía con polarizador cruzado 10x

Nombre de la muestra:		1610-JLR-30A		
Localidad:	Pto. Cayo	X = 0527132	Y = 9854802	Z = 35
Microestructuras:	Masiva fracturada			
Microtexturas:	Holocristalina, fanerítica			
Descripción de la muestra				
Mineral	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Plagioclasa	50	Cristales incoloros tabulares y alargados con baja birrefringencia.		
Ortopiroxeno	10	Cristales verde pleocróico con débil birrefringencia y extinción paralela		
Clinopiroxeno	35	Cristales de color verde pálido, ehuedral prismático con alta birrefringencia	Cristales fragmentados	
Minerales secundarios:	Magnetita, zoisita			
Observaciones:	Presenta alteración hidrotermal			
Nombre:	Gabro			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida



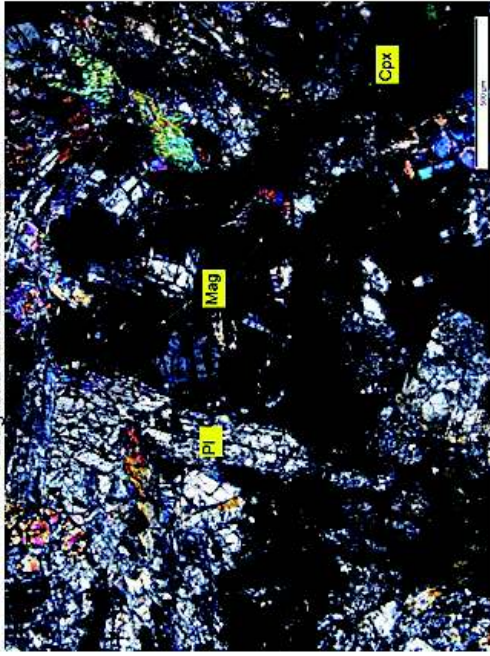
Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-30C		
Localidad:	Pto. Cayo	X = 0527132	Y = 9854802	Z = 35
Microestructuras:	Masiva fracturada			
Microtexturas:	Holocristalina, fanerítica			
Descripción de la muestra				
Mineral	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Plagioclasa (Pl)	65	Cristales incoloros tabulares y alargados con baja birrefringencia.	Presentan alteración hidrotermal	
Clinopiroxeno (Cpx)	15	Cristales de color verde pálido, ehuedral prismático con alta birrefringencia	Clivaje poco reconocible	
Minerales secundarios:	Magnetita (Mag) <5% por reemplazamiento, Calcita <5% rellenando fracturas			
Observaciones:	Presenta alteración hidrotermal			
Nombre:	Gabro alterado			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida

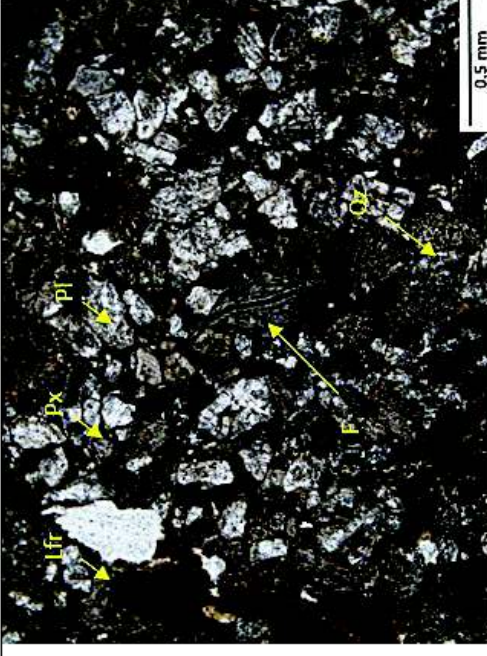


Fotografía con polarizador cruzado

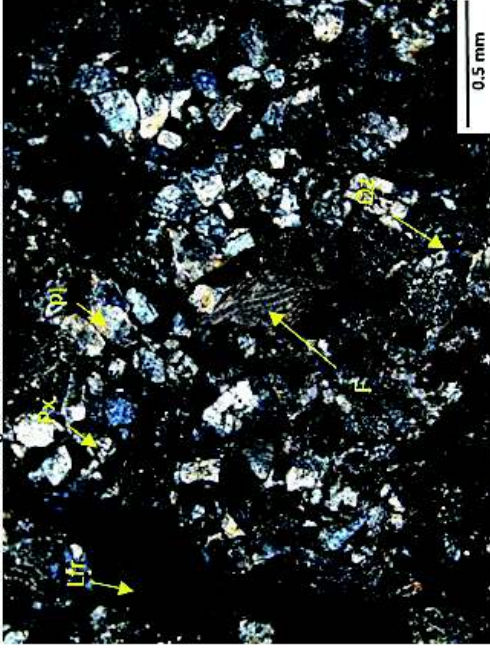
Láminas Delgadas Formación Cayo

Nombre de la muestra:		1606-JLR-17B	
Localidad:	Vía Gualale – Pedro Pablo Gómez	X = 0541496	Y = 9813809 Z = 186
Microestructuras:	Fracturas		
Microtexturas:	Detritica		
Descripción de la muestra			
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones
Plagioclasa (Pl)	30	Cristales tabulares con relieve bajo, con colores de interferencia de primer orden, maclas tipo carlsband.	La mayoría de plagioclasas son retrabajadas y presentan un grado de alteración bajo.
Piroxeno (Px)	20	Cristales anhedrales, incoloros con relieve bajo a medio y colores de interferencia de primer a segundo orden.	Cristales dispersos a lo largo de la muestra.
Cuarzo (Qz)	10	Cristales anhedrales, colores de interferencia grises de primer orden.	Presencia de cuarzo policristalino.
Arcillas	10	Filamentos de color café	
Fragmentos de Lutitas (Lfr)	5	Clastos subredondeados de color café.	
Grado de compactación:	Compacta		
Fósiles (F):	Presencia de foraminíferos tipo orbitoides.		
Matriz:	Micritica		
Cemento:	Ferruginoso y calcáreo		
Observaciones:	La muestra se presenta con dos fases, la primera de grano grueso y clasto soportado y la segunda compuesta en su mayoría por una matriz micritica y óxidos de hierro...		
Nombre:	Arcosa		

Fotografías



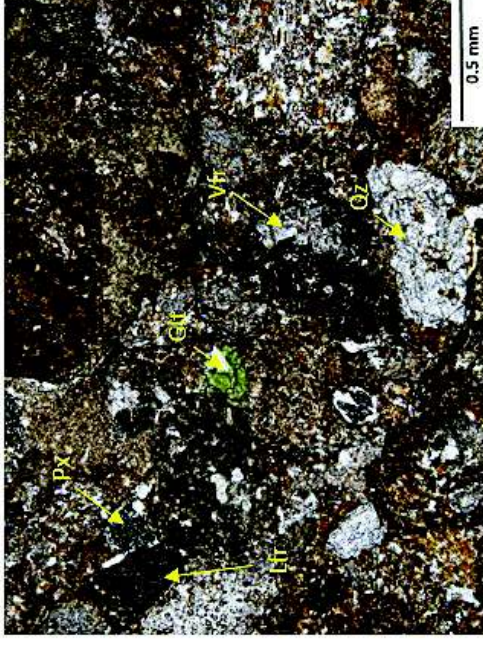
Fotografía con luz transmitida 2.5x



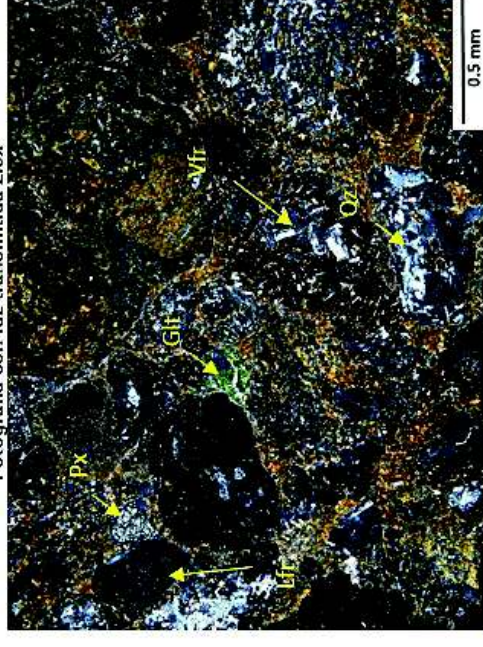
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1606-JLR-01A	
Localidad:	Agua Blanca	X = 0534869	Y = 9832584 Z = 130
Microestructuras:	Masiva		
Microtextura:	Detritica - Ruditica		
Descripción de la muestra			
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones
Fragmentos de roca volcánica (Vfr)	55	Son fragmentos de roca subredondeados que están compuestos por plagioclasas tabulares, piroxenos y tobas de cenizas alteradas.	La mayoría de estos clastos presentan oxidación y fuerte alteración.
Fragmentos de lutitas (Lfr)	20	Son fragmentos subredondeados de color café.	No se pudo determinar su mineralogía debido al tamaño de grano.
Cuarzo (Qz)	10	Cristales de cuarzo policristalinos, subhedrales, incoloros y con colores de interferencia de primer orden.	No presentan orientación determinada.
Piroxeno (Px)	5	Cristales anhedrales, relieve alto, incoloros sin polarizador.	Se encuentran diseminados.
Glauconita (Glt)	15	Cristales de color verde oliva sin polarizador cruzado, relieve medio y subhedrales	Se la encuentra como cristales individuales o como agregados cristalinos
Secundarios:	N/A		
Fósiles:	N/A		
Matriz:	Poco contenido de matriz con arcillas de alteración de líticos.		
Cemento:	N/A		
Porosidad:	Primaria y secundaria por alteración de líticos.		
Grado de compactación:	Poco compacta		
Nombre:	Arenisca volcanoclastica		

Fotografías



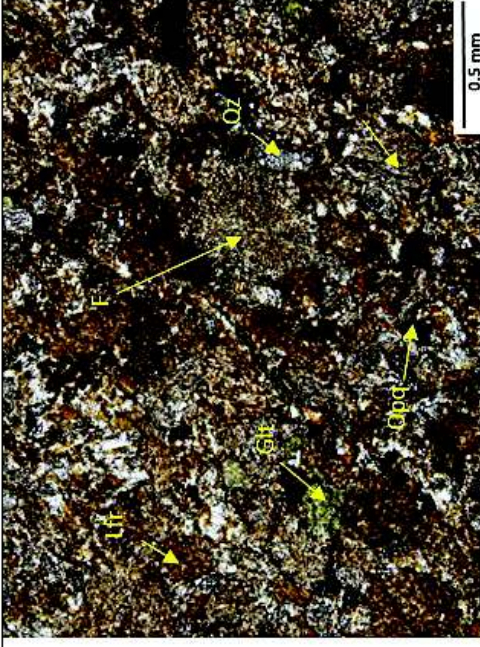
Fotografía con luz transmitida 2.5x



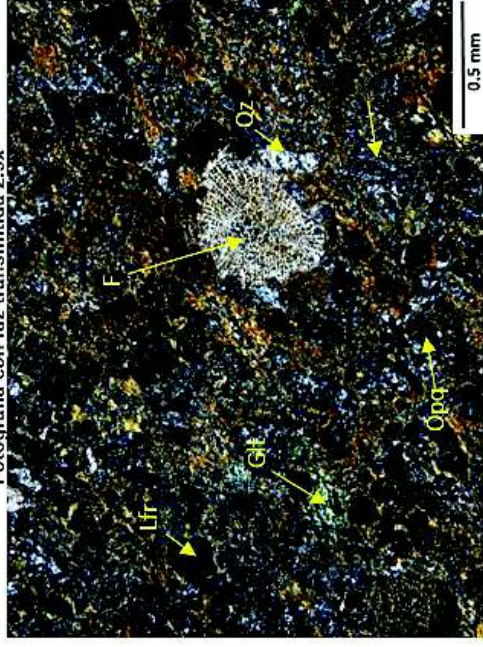
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1606-JLR-01B		
Localidad:	Agua Blanca	X = 0534869	Y = 9832584	Z = 130
Textura:	Conglomerática			
Microestructuras:	Detrítica - Rudítica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Fragmentos de roca volcánica (Vfr)	45	Son fragmentos de rocas subredondeados que están compuestos por plagioclasas y piroxenos fino granulares	La mayoría de los clastos presentan oxidación	
Fragmentos de lilitas (Lfr)	10	Fragmentos subredondeados, color café sin polarizador cruzado	Dispersos por la lámina.	
Cuarzo (Qz)	10	Es fino granular, cristales anhedrales, con colores de interferencia de primer orden.	Está formando la matriz de la roca	
Glauconita (Glt)	15	Se presenta como cristales anhedrales color verde oliva.	Se encuentra como cristales y como agregados de fragmentos de roca.	
Opacos (Opq)	15	Fragmentos anhedrales dispersos en la lámina.		
Secundarios:	N/A			
Fósiles:	Restos de foraminíferos (F), en este caso es una <i>Stylospongya planoconvexa</i> .			
Matriz:	Arcillosa por alteración.			
Cemento:	Ferruginoso o calcáreo			
Porosidad:	Secundaria al encontrarse fracturas en la roca y líticos alterados			
Grado de compactación:	Poco Compacta			
Nombre:	Arenisca Volcanoclastica o Volcarenita.			

Fotografías



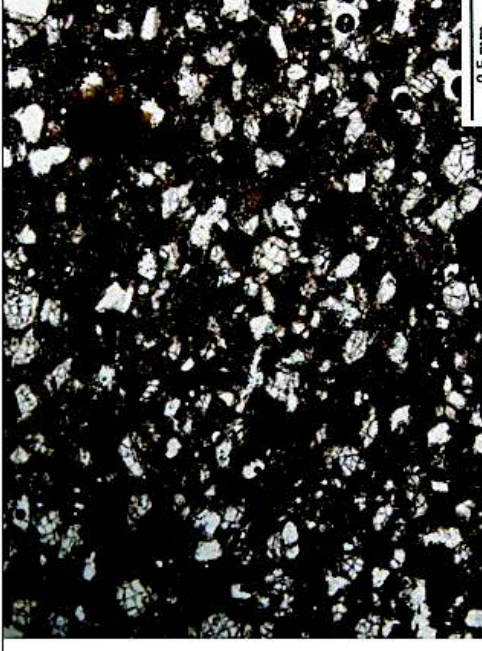
Fotografía con luz transmitida 2.5x



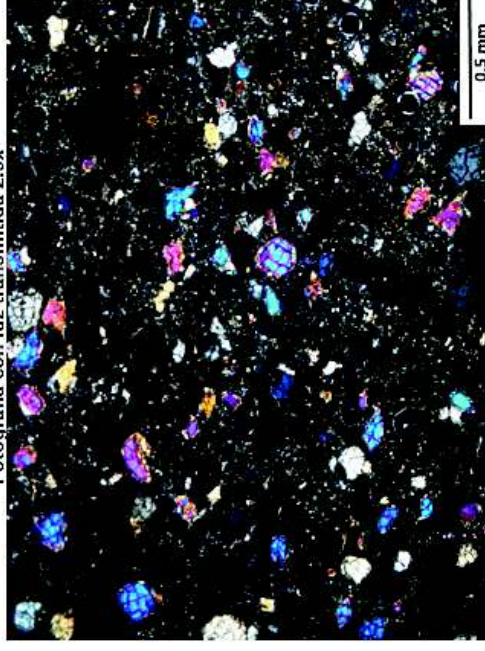
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1610-JLR-37A	
Localidad:	Río Bravo	X = 540647	Y = 9867133 Z = 214
Microestructuras:	Laminación alternante de arenas y lutitas.		
Microtexturas:	Arenosa detrítica		
Descripción de la muestra			
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones
Olivino (Ol)	10	Cristales subhedrales, relieve alto, con colores de interferencia de segundo orden	Estos cristales se presentan solo en los niveles de grano grueso.
Piroxeno (Px)	10	Cristales con relieve medio, colores de interferencia	Los tamaños van de medios a finos.
Cuarzo (Qz)	10	Cristales anhedrales. Colores de interferencia grises de primer orden.	Subangulares.
Plagioclasa (Pl)	10	Cristales subhedrales, con relieve bajo, y colores de interferencia grises de primer orden.	Subangulares.
Opacos	10	Presencia de óxidos de hierro	
Grado de compactación:	Compacta		
Fósiles:	N/A		
Matriz:	Arcillosa – Limosa 50%		
Cemento:	N/A		
Porosidad:	Primaria		
Observaciones:	La muestra presenta diferentes niveles los cuales varían por el tamaño de grano, en los niveles con tamaño de grano grueso se puede apreciar los diferentes minerales que posee la muestra, mientras que los niveles con tamaño de grano fino se caracterizan por presentar una matriz arcillosa. Los cristales no presentan orientación.		
Nombre:	Grawaca de grano fino laminada.		

Fotografías



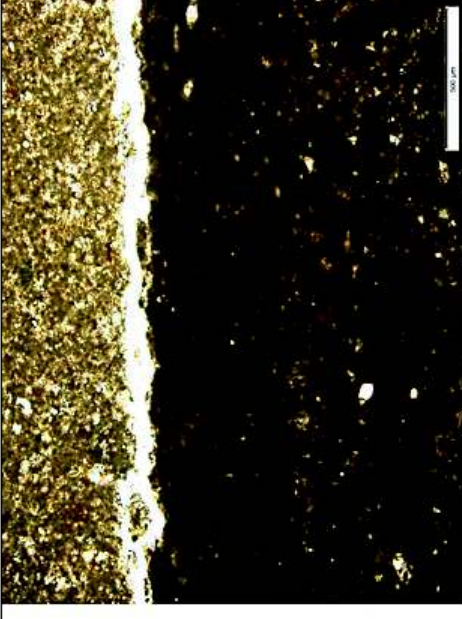
Fotografía con luz transmitida 2.5x



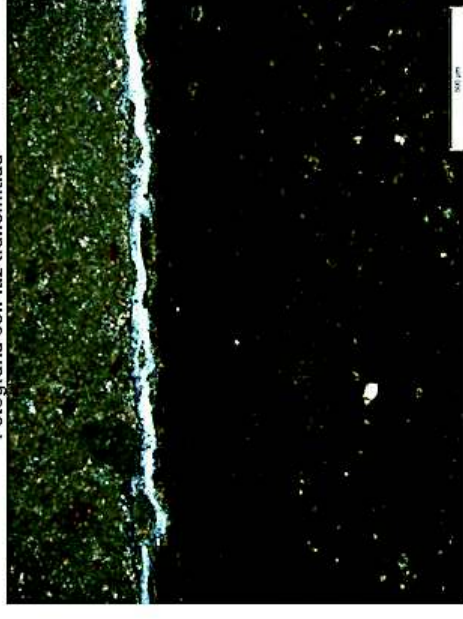
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1610-JLR-06A		
Localidad:	Pto. López	X = 0520197	Y = 9827094	Z = 33
Microestructuras:	Fracturas rellenas de sílice, laminación distintos tamaños de grano.			
Microtexturas:	Pelítica seftítica.			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Cuarzo y calcedonia	10	Incoloro, anhedral con birrefringencia.	baja	Predomina en las arenas finas
Calcita	50	En forma de micrita		
Grado de compactación:	Bajo			
Fósiles (F):	Radiolarios y escasos foraminíferos			
Matriz:	Micrita con arcillas			
Cemento:				
Porosidad:	Muy Baja en las facies más finogranulares y baja en las facies más arenosas			
Observaciones:	<1% de glauconita			
Nombre:	Lutita calcárea			

Fotografías



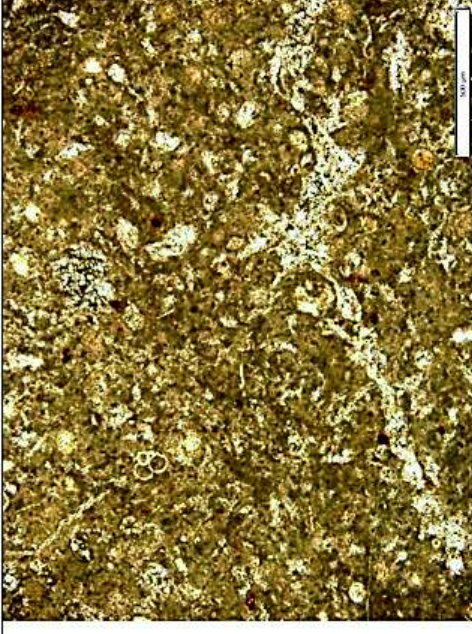
Fotografía con luz transmitida



Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-09B		
Localidad:	Guale	X = 0528612	Y = 9813802	Z = 89
Microestructuras:	Micro fracturas			
Microtexturas:	Bioclástica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Plagioclasa	5	Incoloros tabulares con baja birrefringencia	Se encuentran retrabajados de tamaño de arenas finas	
Calcita	60	Incoloro con clivaje romboédrico visible y figura uniaxial (-)	Se encuentra rellenando fracturas	
Cuarzo	15	Incoloro con extinción característica de origen sedimentario.		
Líticos	10	De composición volcánica con alto contenido de plagioclasa.	Volcanosedimentos.	
Grado de compactación:	Medio			
Fósiles (F):	Radiolarios y Foraminíferos			
Matriz:	Micrítica			
Cemento:	Calcáreo esparítico rellenando fracturas			
Porosidad:	Media			
Observaciones:	Óxidos ferruginosos precipitados			
Nombre:	Wackestone biomicrítico con radiolarios			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida



Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-12A		
Localidad:	Casas Viejas	X = 0541491	Y = 9817074	Z = 189
Microestructuras:	Laminación y microfrazuras			
Microtexturas:	Intraclástica micritica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Calcita	50	Colores de interferencia gris azulado.	Corresponde en gran parte a microfósiles.	
Cuarzo	30	Detritico anhedral con colores de interferencia grises y amarillos de primer orden.		
Grado de compactación:	Medio			
Fósiles (F):	Foraminíferos 10% de la muestra			
Matriz:	Calcárea			
Cemento:	Micritico			
Porosidad:	Baja			
Observaciones:				
Nombre:	Arenisca fina calcárea.			

Fotografías



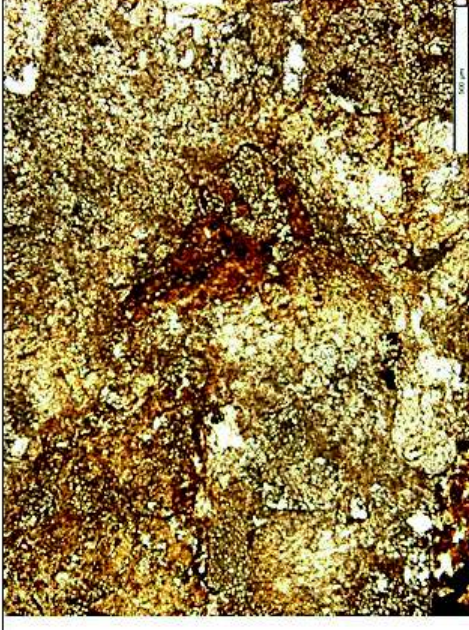
Fotografía con luz transmitida



Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-12C		
Localidad:	Casas Viejas	X = 0541491	Y = 9817074	Z = 189
Microestructuras:	Posible bioturbación			
Microtexturas:	Micrítica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Calcita	80	Incoloros con baja birrefringencia, se observa clivaje romboédrico	Se observan a manera de clastos retrabajados.	
Líticos	20	Angulosos, policristalinos de tamaño de arenas finas	Aparentemente de origen volcánico	
Plagioclasa				
Cuarzo				
Glauconita				
Colofana	<2%			
Grado de compactación:	Alto			
Fósiles (F):	Foraminíferos planctónicos escasos, restos de carbones.			
Matriz:	Arcillosa			
Cemento:				
Porosidad:	Baja			
Observaciones:	Presencia de materia orgánica, silicificación posterior.			
Nombre:	Grauvaca			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida



Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-13A		
Localidad:	Casas Viejas	X = 0541459	Y = 9817178	Z = 208
Microestructuras:	Lentes composicionales			
Microtexturas:	Aloquímica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Calcita	20	Incolora anhedral con clivaje rómbico		
Opacos	50	Color negro con forma prismática y cúbica, extinción total en luz transmitida		
Grado de compactación:	Alto			
Fósiles (F):	Fragmentos de foraminíferos planctónicos.			
Matriz:	Arenosa.			
Cemento:	Calcareo, presencia de barro micrítico			
Porosidad:	Muy baja			
Observaciones:	Glauconita <1% de la muestra y presencia de zeolitas			
Nombre:	Arenisca Calcareá.			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida



Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-13B		
Localidad:	Casas Viejas	X = 0541459	Y = 9817178	Z = 208
Microestructuras:				
Microtexturas:	Epiclásica micrítica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Calcita	30	Fragmentos incoloros con colores de interferencia grises azulados anómalos		
Cuatzó	10	Masivo sedimentario		
Materia orgánica	20	Negros opacos xenomorfos		
Líticos	40	Solo se pueden reconocer plagioclasas y piroxenos	Probablemente de composición andesítica-básica.	
Grado de compactación:				
Fósiles (F):	No se observan			
Matriz:	Silícea			
Cemento:	Micrítico			
Porosidad:	Media			
Observaciones:				
Nombre:	Litarenita calcárea.			

Fotografías



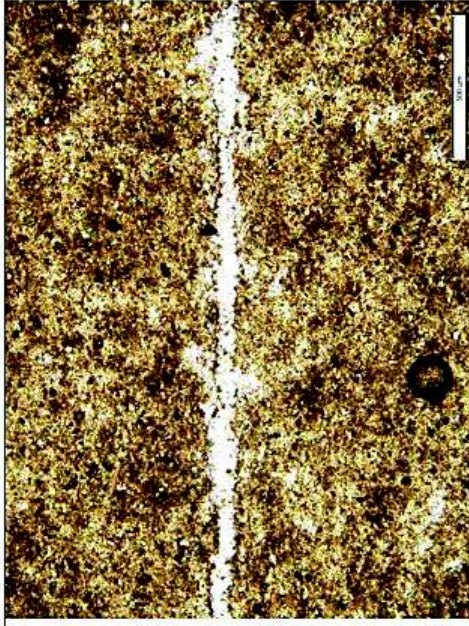
Fotografía con luz transmitida



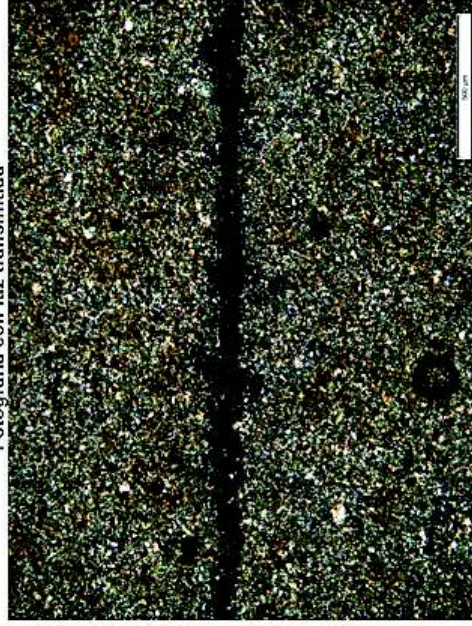
Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-14A		
Localidad:	Casas Viejas	X = 0541514	Y = 9817258	Z = 234
Microestructuras:	Microfracturas rellenas de sílice			
Microtexturas:	Terrigena			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Arcillas	90	Finogranulares, alta birrefringencia	Poco identificables, comprenden la mayor parte de la muestra	
Calcita	3	Anhedrales, colores de interferencia anómalos		
Feldespato	2	Incoloros, birrefringencia baja.	Se encuentran alterando a arcillas en su mayoría	
Cuarzo	5	Incoloro casi extinto con nicoles cruzados	Se encuentra relleno de fracturas	
Grado de compactación:				
Fósiles (F):	No se observan en la muestra			
Matriz:	Arcillosa			
Cemento:				
Porosidad:	Baja			
Observaciones:				
Nombre:	Limolita			

Fotografías



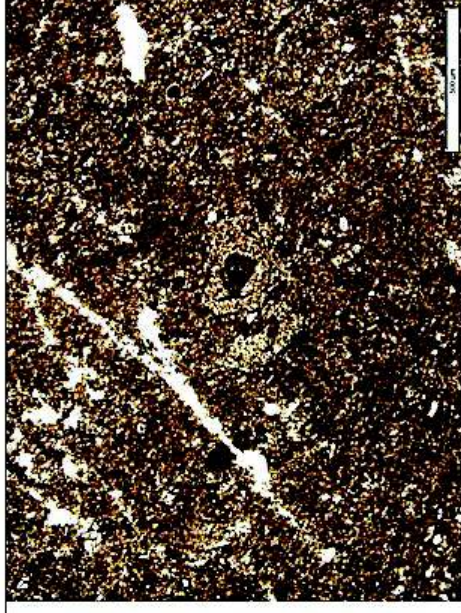
Fotografía con luz transmitida



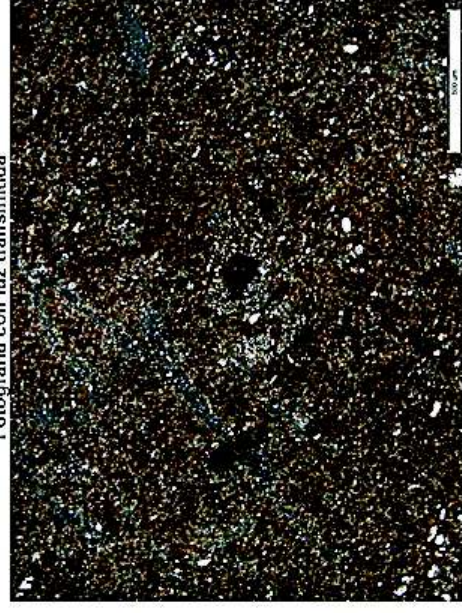
Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-14B		
Localidad:	Casas Viejas	X = 0541514	Y = 9817258	Z = 234
Microestructuras:	Microfracturas rellenas de sílice.			
Microtexturas:	Micrítica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Calcita	30	Incoloros con divaje romboédrico	Se observan como fragmentos retrabajados.	
Plagioclasa	10	Incoloros, subhedrales alargados con macla carlsband y baja birrefringencia.	Los cristales se encuentran retrabajados.	
Grado de compactación:	Medio			
Fósiles (F):	Foraminíferos			
Matriz:	Micrítica			
Cemento:	Calcáreo			
Porosidad:	Baja			
Observaciones:				
Nombre:	Mudstone (Dunham, 1962)			

Fotografías



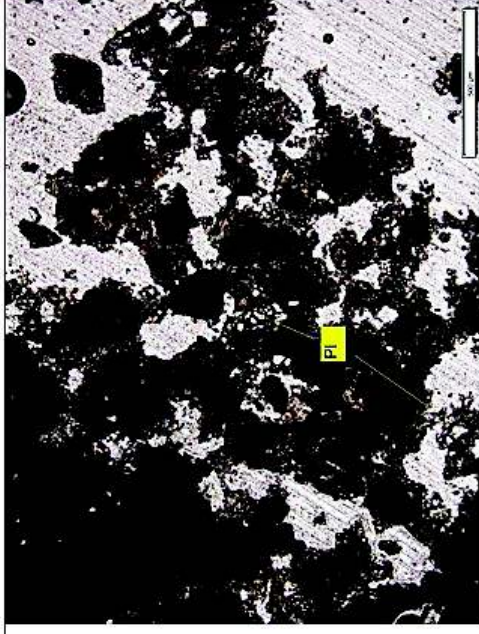
Fotografía con luz transmitida



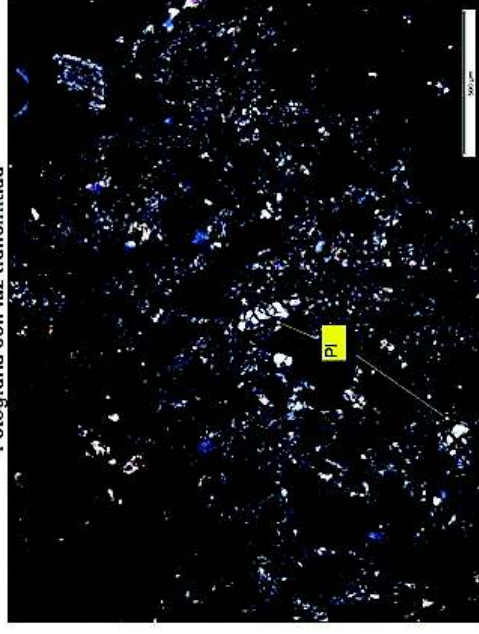
Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-31B		
Localidad:	Manantiales	X = 0532378	Y = 9862004	Z = 161
Microestructuras:	Poco reconocibles por la calidad de la lámina			
Microtexturas:	Detritica epiclástica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Plagioclasa	10	Cristales incoloros, subhedrales tabulares con baja birrefringencia	Se encuentran retrabajados	
Lílicos volcánicos		Composición básica, se conservan cristales de plagioclasa, no hay cuarzo.	Se encuentran retrabajados.	
Grado de compactación:	Bajo			
Fósiles (F):	No se reportan en la muestra			
Matriz:	Arcillosa			
Cemento:				
Porosidad:	Baja			
Observaciones:	Óxidos de hierro precipitados			
Nombre:	Litarenita			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida

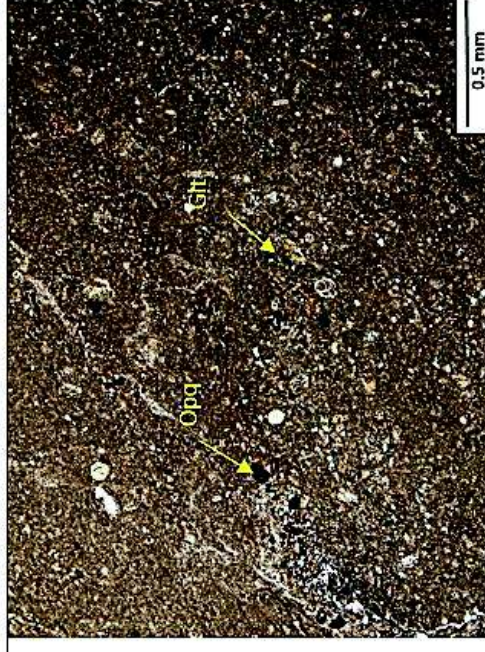


Fotografía con polarizador cruzado

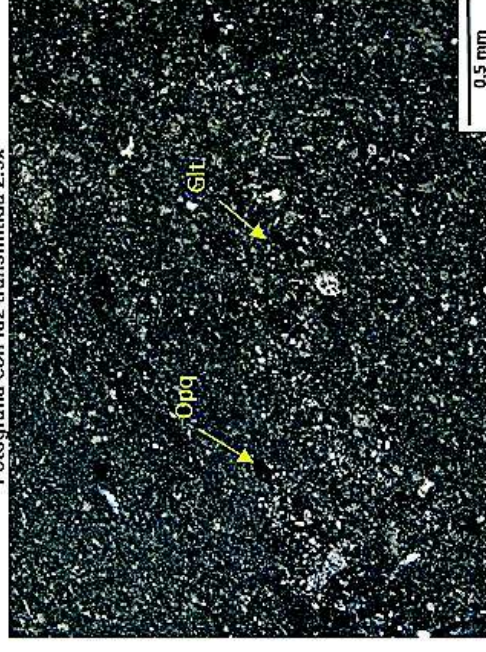
Láminas Delgadas Formación Cerro

Nombre de la muestra:		1606-JLR-16A		
Localidad:	Casas Viejas	X = 0536905	Y = 9814618	Z = 137
Microestructuras:	Masiva			
Microtexturas:	Micritica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Glauconita (Glt)	5	Presencia de cristales anhedrales y subhedrales, colores verde y marrón sin polarizador cruzado	Dispersa en la lámina. Se encuentra formando parte de la matriz y como cristales independientes.	
Plagioclasa (Pl)	15	Cristales euhedrales alargados, con relieve bajo, incoloros, presencia de macias tipo cat'sband.	Cristales sin ningún tipo de orientación.	
Cuarzo (Qz)	10	Cristales anhedrales, colores grises con polarizador cruzado.		
Opacos (Opq)	10	Fragmentos anhedrales y óxidos de hierro.	Dispersos por la lamina	
Grado de compactación:	Compacia			
Fósiles:	Presencia de foraminíferos planctónicos y radiolarios.			
Matriz:	Micrita se encuentra en un 50% de la lámina.			
Cemento:	Espartítico, se encuentra rellenando microfracturas y microfósiles			
Porosidad:	Secundaria, existe la presencia de microfracturas y zonas con disolución parcial			
Observaciones:	Dentro de la matriz se encuentra la presencia de foraminíferos y radiolarios, además de filamentos pequeños que serían cenizas, la muestra se encuentra silicificada. Se puede un proceso de oxidación muy leve.			
Nombre:	Mudstone silicificado.			

Fotografías



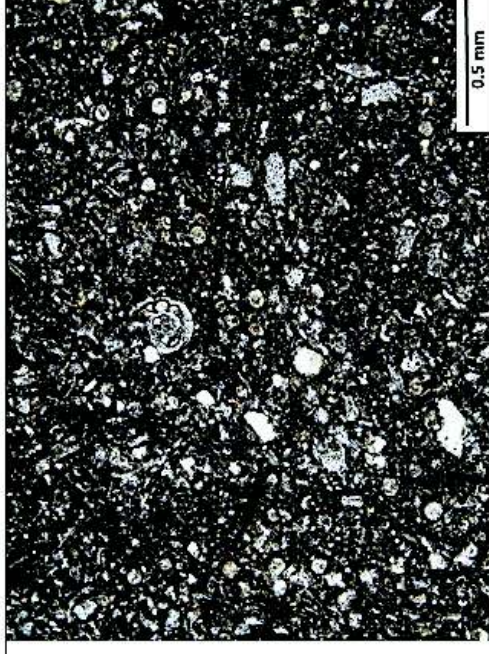
Fotografía con luz transmitida 2.5x



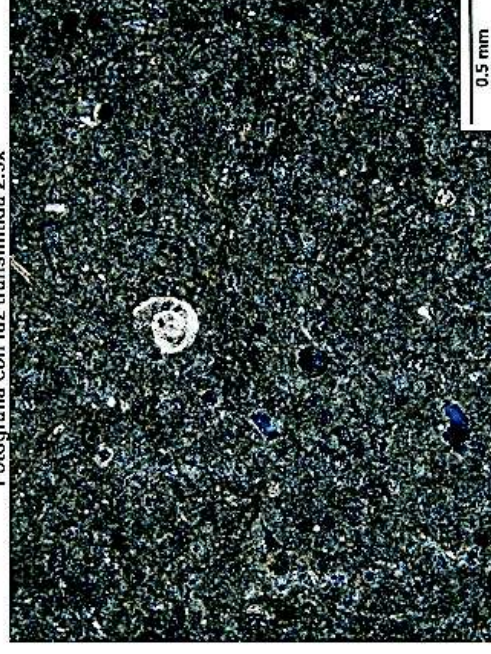
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1606-JLR-14A		
Localidad:	Guale	X = 0528619	Y = 9813810	Z = 110
Microestructuras:	Masiva			
Microtexturas:	Biomicrítica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Ceniza	5	Se muestran como pequeños filamentos incoloros, y distribuidos sobre toda la lámina		
Matriz	25	Micrita, finogranular.	Contiene los microfósiles existentes en la lámina	
Glauconita (Glt)	5	Cristales anhedrales de color verde.	Distribución aleatoria a lo largo y ancho de la lámina.	
Colofana y óxidos	10	Dispersos en la lámina.		
Grado de compactación:	Muy compacta.			
Fósiles: (F) 50%	<i>Bolivina sp.</i> , <i>Bolivina jacksonensis</i> , <i>Cibicides sp.</i> (centro de la imagen), <i>Radiolarios spumellarios</i> , <i>Dentalina sp.</i> , <i>Globigerina sp.</i> , <i>Stylospongia planoconvexa</i> . Además, se aprecian fragmentos de foraminíferos, radiolarios y espículas silíceas difíciles de identificar por su grado de conservación.			
Matriz:	Micrita			
Cemento:	Microespartítico y silificación parcial			
Porosidad:	Primaria y secundaria (alteración mineral, disolución de la matriz)			
Observaciones:	La roca se encuentra silificada, no presenta fracturas, no presenta orientación de los microfósiles. Los nombres de los microfósiles se los obtuvo comparando con el trabajo de Ordoñez (2006).			
Nombre:	Marga con radiolarios			

Fotografías



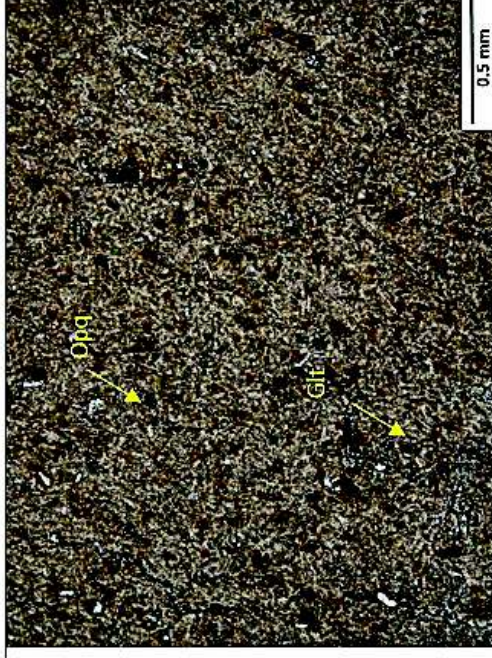
Fotografía con luz transmitida 2.5x



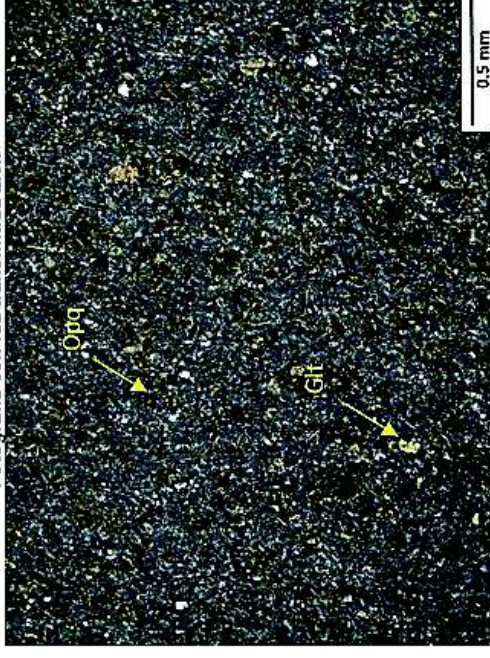
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		0616-JLR-18A		
Localidad:	Casas Viejas	X = 0544586	Y = 9819909	Z = 594
Microestructura:	Masiva			
Microtexturas:	Psefitica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Glauconita (Glt)	10	Cristales subhedrales dispersos.		
Ceniza	70	Se presenta como filamentos de vidrio largados, incoloros sin polarizador.	Presenta una leve birrefringencia con polarizador cruzado, además de presentar una alteración baja.	
Opacos (Opq)	10	Dispersos por la lámina.	Presentan alteración, oxidación.	
Plagioclasa (Pl)	10	Cristales tabulares, con colores de interferencia de primer orden.	Dispersos a lo largo de la lámina.	
Grado de compactación:	Muy compacta			
Fósiles:	N/A			
Matriz:	Ceniza vítrea.			
Cemento:	N/A			
Porosidad:	N/A			
Observaciones:	En su mayor porcentaje la roca se encuentra formada por ceniza, existe la presencia de glauconita lo que indica un ambiente de depósito marino somero.			
Nombre:	Toba de ceniza vítrea.			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida 2.5x



Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1606-JLR-17A	
Localidad:	Camino Guale - Pedro Pablo Gómez	X = 0541496	Y = 9817092 Z = 186
Microestructuras:	Presenta fracturas y leve bandeamiento.		
Microtextura:	Micrítica		
Descripción de la muestra			
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones
Plagioclasa (Pl)	5	Cristales tabulares con colores de interferencia de primer orden, presencia de maclas tipo carlsband	No presentan un orden en la muestra. Tamaño de arena fina a limo.
Glauconita (Glt)	5	Cristales de color verde y café, subhedrales.	Cristales dispersos por toda la lámina.
Óxidos y opacos	5	Oxidos de hierro dispersos.	
Grado de compactación:	Compacta		
Fósiles:	Existe pocos rastros de microfósiles que son difíciles de identificar debido a su bajo grado de preservación.		
Matriz:	Micrita, la muestra está compuesta en un 80% por ese material. Algunas zonas presentan silificación parcial.		
Cemento:	Esparítico, se encuentra rellenando fracturas, además de espacios dejados por minerales o microfósiles.		
Porosidad:	Secundaria.		
Observaciones:	Ciertas fracturas de la muestra están rellenas de una patina de óxidos.		
Nombre:	Mudstone – Caliza micrítica.		

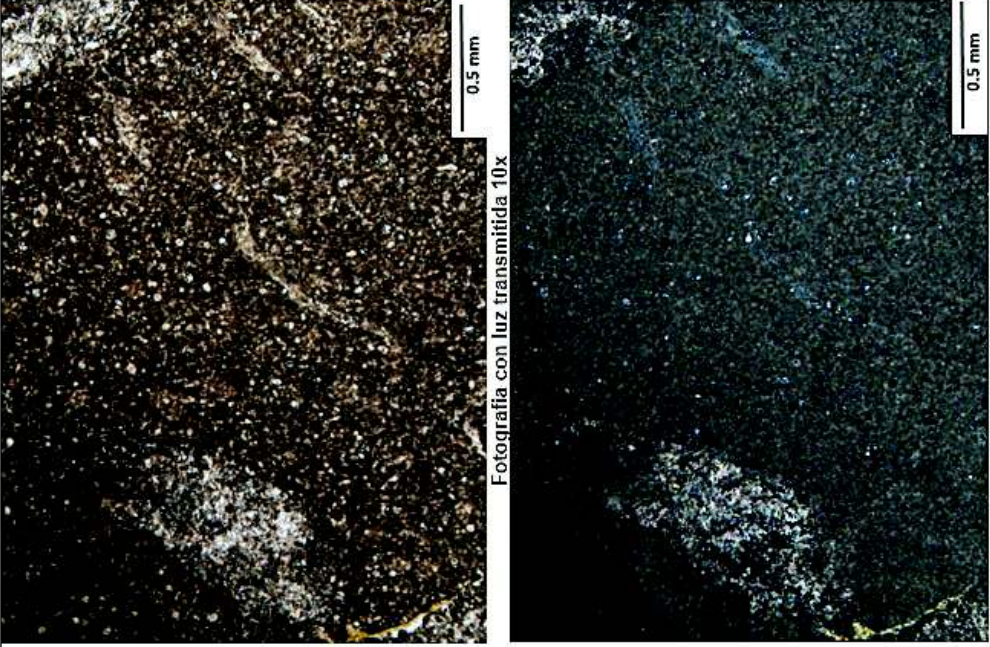
Fotografías



Fotografía con luz transmitida 2.5x



Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1610-JLR-34A			Fotografías	
Localidad:	Camino Gualpe- Pedro Pablo Gómez	X = 0541491	Y = 9817074	Z = 189	 <p>Fotografía con luz transmitida 10x</p> <p>Fotografía con polarizador cruzado 10x</p>	
Microestructuras:	Fracturas rellenas de espartita					
Microtexturas:	Micrítica					
Descripción de la muestra						
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades		Observaciones		
Plagioclasa (Pl)	10	Cristales subhedrales, incoloros, colores de interferencia de primer orden, macias tipo carlsband.		Cristales dispersos. Tamaños de arena fina.		
Calcita (Cal)	10	Cristales incoloros, subhedrales, colores de interferencia blanco a grisáceo.		Cristales rellenoando vacíos en ciertos sitios de la lámina, no tiene un orden determinado.		
Opacos (Opq)	10	Son completamente anhedrales.				
Grado de compactación: Compacta						
Fósiles:	Dentro de la matriz micrítica se encuentran restos de foraminíferos y radiolarios sin determinar especies debido a su bajo grado de preservación.					
Matriz:	Micrítica					
Cemento:	Espartítico rellenoando fracturas.					
Porosidad:	Secundaria, debido a las fracturas.					
Observaciones:	N/A					
Nombre:	Caliza micrítica con radiolarios.					

Nombre de la muestra:		1610-JLR-39A			
Localidad:		Sancán	X = 0546329	Y = 9852373	Z = 335
Microestructuras:		Masiva			
Microtexturas:		Microespartita			
Descripción de la muestra					
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones		
Glauconita (Git)	5	Cristales anhedrales de color verde, dispersos por la muestra.	Cristales dispersos.		
Cuarzo (Qz)	10	Cristales anhedrales, color de interferencia grises de primer orden.	Se encuentran fragmentos dispersos sobre la muestra.		
Plagioclasa (Pl)	10	Cristales subhedrales, colores de interferencia grises y negros de primer orden.			
Opacos (Opq)	10	Oxidos dispersos en la muestra.			
Grado de compactación:		Compacta			
Fósiles:		N/A			
Matriz:		65% compuesta por cristales de microespartita.			
Cemento:		N/A			
Porosidad:		Primaria			
Observaciones:		Roca masiva compuesta en su mayoría por una matriz micrítica.			
Nombre:		Dolomita microcristalina			

Fotografías



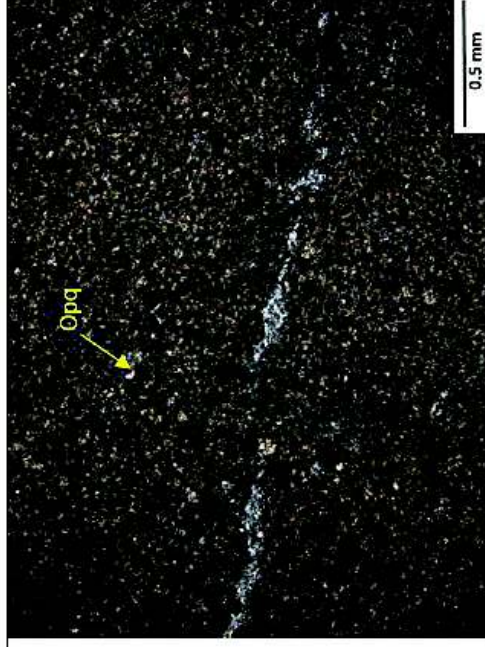
Fotografía con luz transmitida 2.5x



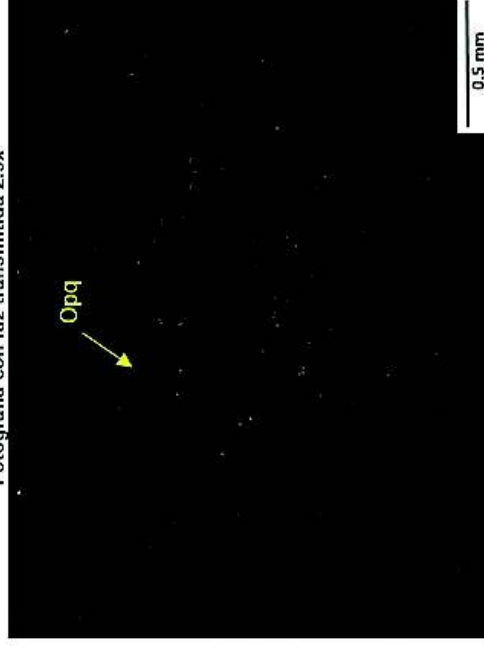
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1606-JLR-02A		
Localidad:	Agua Blanca	X = 053892	Y = 9833192	Z = 156
Microestructuras:	Fracturas			
Microtexturas:	Micritica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Matriz	80	Forma la mayor parte de la roca, de color café claro sin polarizador cruzado.		
Plagioclasa (Pl)	5	Cristales subhedrales, incoloros y con colores de interferencia de primer orden. Los tamaños varían de arena fina a limo.	Muy pocos cristales dispersos a lo largo de la lámina sin orden definido.	
Opacos (Opq)	5	Anhedrales.	Se encuentran oxidados.	
Grado de compactación:	Compacta			
Fósiles:	Se observa la presencia de restos de foraminíferos y radiolarios, sin embargo, no fue posible su identificación debido a su alteración parcial.			
Matriz:	Micrita, parcialmente recristalizada a esparita.			
Cemento:	N/A			
Porosidad:	Secundaria			
Observaciones:	No se observa gran presencia de minerales, la mayor parte está compuesta por matriz,			
Nombre:	Mudstone biomicritico.			

Fotografías



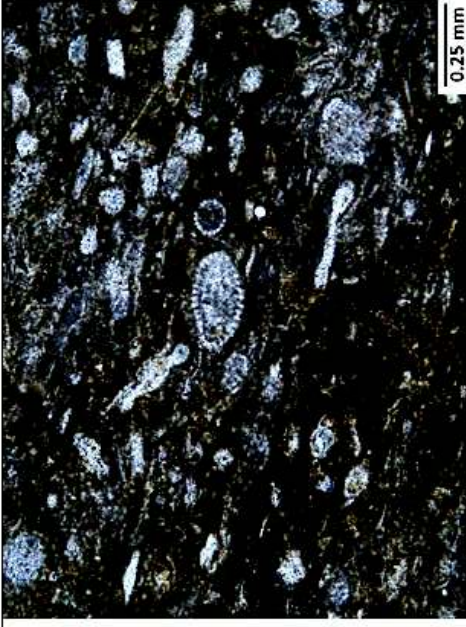
Fotografía con luz transmitida 2.5x



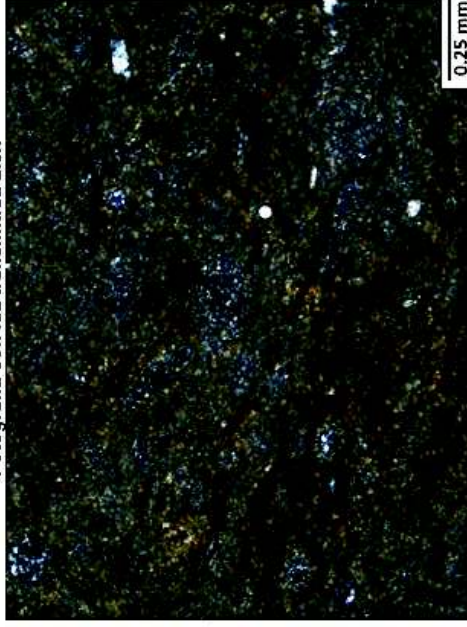
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1606-JLR-11A		
Localidad:	Ayampe	X = 0519561	Y = 9817857	Z = 16
Microestructuras:	Laminación			
Microtexturas:	Biomicrofítica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Plagioclasa incipiente (Pl)	5	Cristales euhedrales, incoloros con relieve bajo, colores de interferencia de primer orden, maclas tipo carlsband.	Cristales con leve orientación hacia el lineamiento principal.	
Glauconita (Glt)	5	Cristales anhedrales color café claro, y verde intenso con polarizador cruzado.	Cristales diseminados sin formar agregados	
Opacos (Opq)	5	Anhedrales	Presencia de óxidos y materia orgánica	
Matriz	60	Está compuesta por micrita.		
Grado de compactación:	Muy compacta			
Fósiles:	Presencia de pocos foraminíferos, radiolarios, silicoflagelados y espículas de esponjas difíciles de identificar la especie debido a su tamaño y grado de conservación.			
Matriz:	Micrita			
Cemento:	N/A			
Porosidad:	Secundaria debido a la presencia de fracturas.			
Observaciones:	Existe una orientación de los microfósiles que se encuentran dentro de la matriz, además existe cierto grado de oxidación de la muestra y silicificación en algunos fósiles y zonas de la matriz.			
Nombre:	Radiolaria calcárea.			

Fotografías



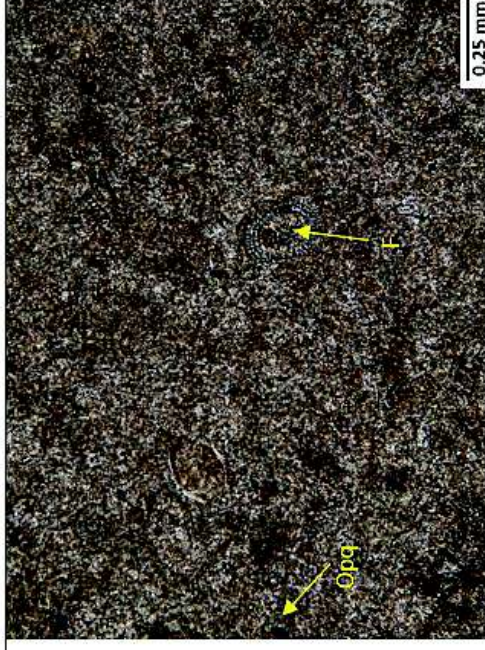
Fotografía con luz transmitida 2.5x



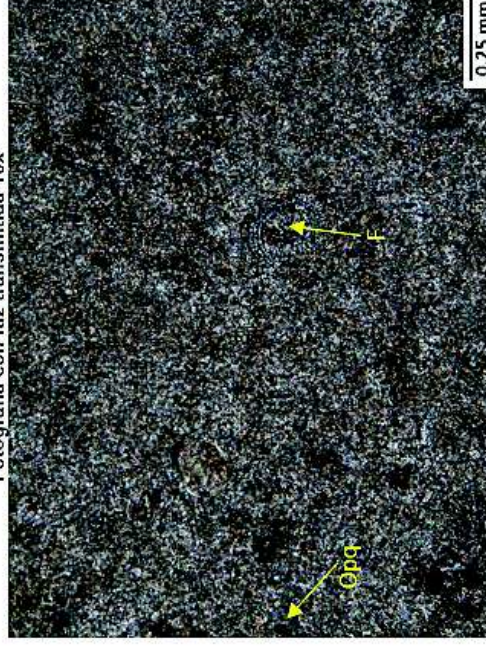
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1606-JLR-11B		
Localidad:	Ayampe	X = 0519561	Y = 9817857	Z = 16
Microestructuras:	Fracturas			
Microtexturas:	Micritica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Glauconita (Glt)	5	Cristales anhedrales, color café claro y verde sin polarizador cruzado, relieve medio.	Los cristales de glauconita presentan un grado de alteración bajo.	
Plagioclasa (Pl)	10	Cristales subhedrales, incoloros, colores de interferencia de primer orden, maclas tipo carlsband.	Cristales distribuidos sin un orden en específico.	
Matriz	70	Micrita parcialmente recristalizada		
Opacos (Opq), óxidos, materia orgánica.	5	Son completamente anhedrales.		
Grado de compactación:	Compacta.			
Fósiles (F):	Foraminíferos y radiolarios reemplazados parcialmente por carbonato, que debido a su mala conservación no es posible identificar.			
Matriz:	Micrita			
Cemento:	Esparítico. Este cemento está relleno de fracturas que existen en la roca y recristalizando microfósiles.			
Porosidad:	Secundaria debido a la presencia de fracturas			
Observaciones:	La roca se encuentra constituida principalmente por micrita, foraminíferos y radiolarios, y un porcentaje de ceniza. En algunas zonas la matriz esta parcialmente silicificada.			
Nombre:	Mudstone			

Fotografías



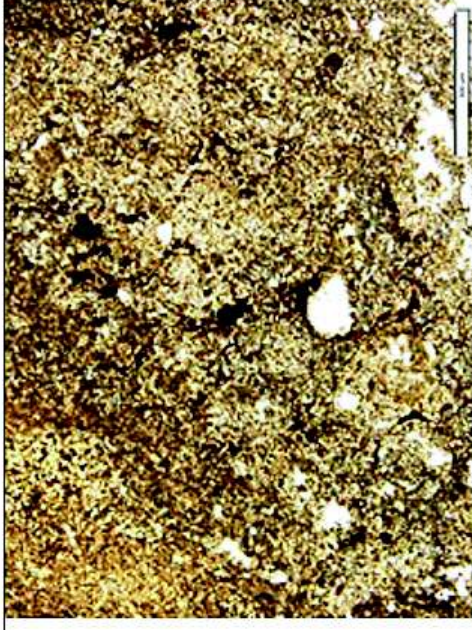
Fotografía con luz transmitida 10x



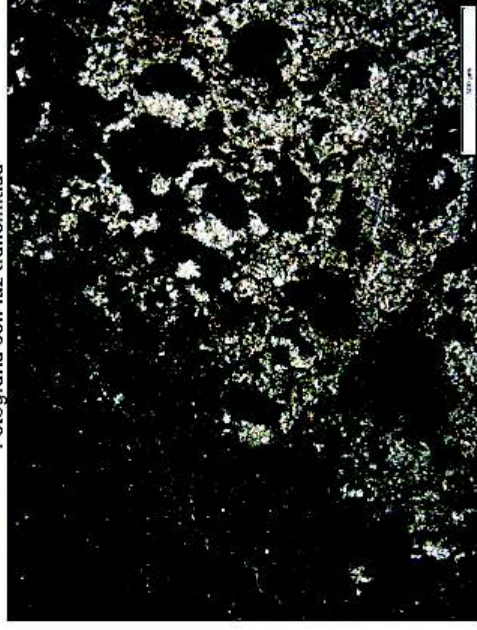
Fotografía con polarizador cruzado 10x

Nombre de la muestra:		1610-JLR-03B		
Localidad:	Carrizales	X = 0535504	Y = 9832443	Z = 224
Microestructuras:	Fracturas y lentes dispersos.			
Microtexturas:	Epiciástica- Piroclástica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Lílicos	40	Subredondeados, fracturados y principalmente compuestos por plagioclasas debido a la predominancia de colores de interferencia grises de primer orden.	Probablemente de composición andesítica – andesítica básica.	
Ceniza	50	Composición vítrea, extinción total.		
Plagioclasas (Pl)	10	Cristales alargados incoloros con baja birrefringencia.	Se encuentran retrabajados.	
Grado de compactación:	Alto			
Fósiles (F):	No se registran fósiles.			
Matriz:	Vítrea con cierto grado de silicificación.			
Cemento:	Silíceo, además presenta pequeñas cantidades de barro micrítico.			
Porosidad:	Primaria muy baja.			
Observaciones:	Silíceo masivo rellenando fracturas y lentes, silicificación y posterior contaminación con barro micrítico.			
Nombre:	Toba.			

Fotografías



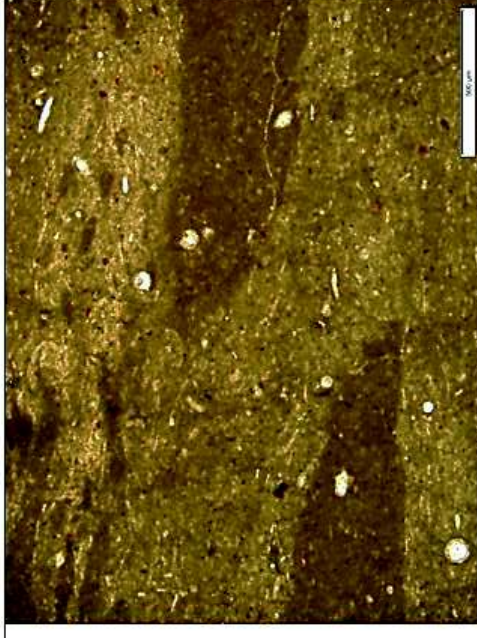
Fotografía con luz transmitida



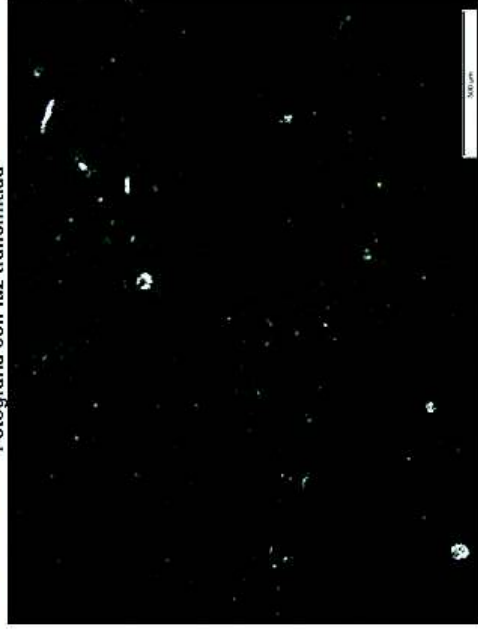
Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-05A		
Localidad:	Barbal	X = 0536298	Y = 9838804	Z = 375
Microestructuras:	¿Lentes composicionales? De color más oscuro al resto de la muestra.			
Microtexturas:	Epiciástica alquímica esquelética.			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Ooides	100	Incoloros, colores de interferencia grises de primer orden.	Son de composición silicea, Corresponden a radiolarios en su mayoría.	
Grado de compactación:	Alto			
Fósiles (F):	Se radiolarios ampliamente distribuidos en la muestra. En menor cantidad se observan foraminíferos.			
Matriz:	Micritica, conforma la mayor parte de la muestra			
Cemento:	Siliceo.			
Porosidad:	Primaria muy baja.			
Observaciones:	Silicificación, óxidos de hierro en forma de pátinas superficiales.			
Nombre:	Toba volcánica silicificada con presencia de barro micritico.			

Fotografías



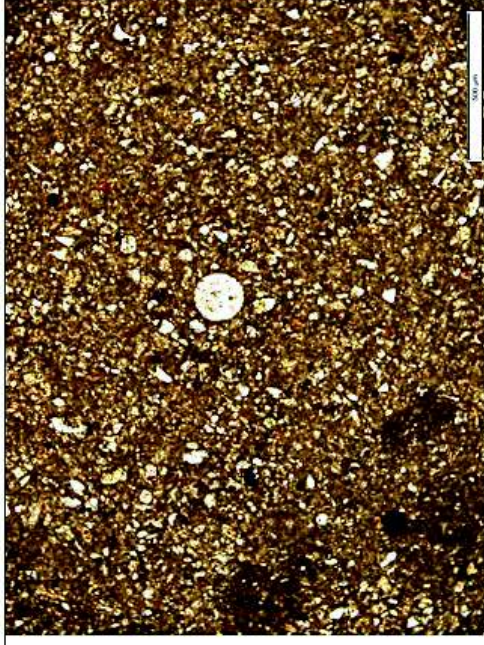
Fotografía con luz transmitida



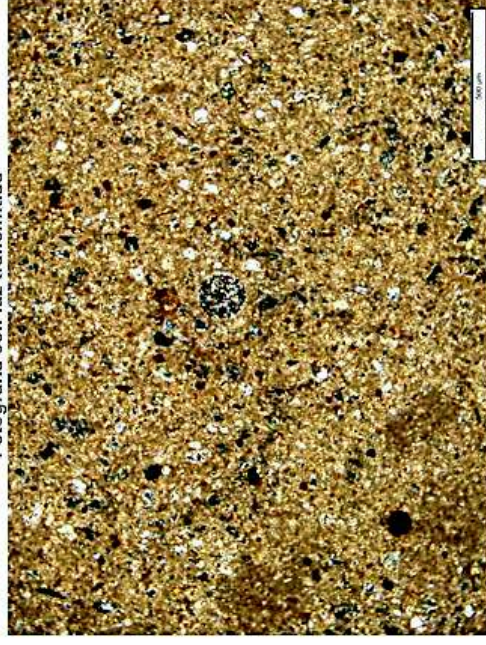
Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-17A		
Localidad:	La Rinconada	X = 052257835	Y = 9810689	Z = 58
Microestructuras:	Masiva			
Microtexturas:	Epiciástica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Plagioclasa	30	Incoloros con baja birrefringencia, angulosos de tamaño arena fina a limo	Los cristales se observan fragmentados y retrabajados.	
Calcita	25	Clivaje romboédrico, colores de interferencia anómalos de tamaño arena		
Lífticos	<5%	Tamaño arena gruesa , volcánicos alterados		
Opacos	<1%	Tamaño arena fina, se encuentran dispersos.		
Grado de compactación:	Alto			
Fósiles (F):	No se reportan en la muestra			
Matriz:	Arcillosa - micrítica			
Cemento:				
Porosidad:	Baja			
Observaciones:	Presencia de <1% de glauconita, zeolitas y óxidos de Fe. Posible silificación parcial, alteración de lífticos y plagioclasas.			
Nombre:	Toba de ceniza calcárea			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida



Fotografía con polarizador cruzado

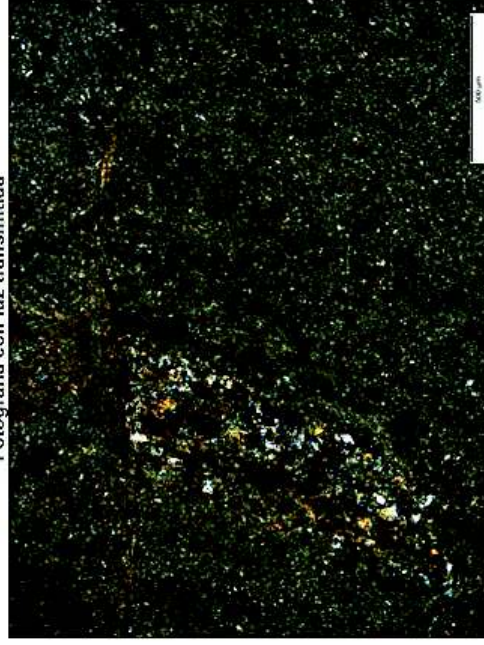
Nombre de la muestra:		1610-JLR-17B		Fotografías	
Localidad:	La Rinconada	X = 0522578	Y = 9810689	Z = 58	 Fotografía con luz transmitida
Microestructuras:	No se reconocen estructuras.				
Microtexturas:	Epiciástica				 Fotografía con polarizador cruzado
Descripción de la muestra					
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones		
Plagioclasa	50	Cristales incoloros alargados con baja birrefringencia	Se encuentran retrabajados		
Cuarzo	10	Cristales anhedrales, incoloros con colores de interferencia grises de primer orden	Algunos se observan de color gris debido al grosor de la lámina.		
Calcita	40	Cristales subhedrales con clivaje romboédrico y colores de interferencia anómalos	Se encuentran fragmentados.		
Grado de compactación:					
Fósiles (F):	No se observan en la muestra				
Matriz:	Arcillosa				
Cemento:					
Porosidad:	Baja				
Observaciones:	<1% de glauconita				
Nombre:	Limolita con materia orgánica.				

Nombre de la muestra:		1610JLR19A		
Localidad:	La Rinconada	X = 522264	Y = 9811458	Z = 129
Microestructuras:	Microfracturas			
Microtexturas:	Epiciástica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Plagioclasa	50	Cristales incoloros de forma alargada maclados y con baja birrefringencia.		
Biotita	15	Cristales tabulares de color verde con fuerte birrefringencia	Escasos micro cristales	
Sericita	30	Cristales incoloros con fuerte birrefringencia	A manera de concreciones	
Lífticos	5	De composición volcánica.		
Grado de compactación:	Bajo			
Fósiles (F):	No se reportan en la muestra			
Matriz:	Limosa a arenosa fina			
Cemento:	Silíceo			
Porosidad:	Baja			
Observaciones:				
Nombre:	Toba			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida



Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-32A		
Localidad:	Membrillar	X = 0537594	Y = 9863592	Z = 227
Microestructuras:	Bandeamiento y fracturas			
Microtexturas:	Detritica aloquímica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Plagioclasa	30	Cristales incoloros, subhedrales tabulares con baja birrefringencia	Apenas se reconocen las macias y los cristales se encuentran retrabajados. Tamaño de arena fina	
Calcita	65	Presente en los fragmentos de foraminíferos que representan la mayor parte de los bioclastos y en la matriz micrítica fina		
Líticos volcánicos	5	Composición básica, se conservan cristales de plagioclasa, no hay cuarzo.	Se encuentran fragmentados y muy retrabajados.	
Opacos	<2%			
Grado de compactación:				
Alto				
Fósiles (F):				
Foraminíferos y radiolarios				
Matriz:				
Micrita con algo de arcillas				
Porosidad:				
Baja				
Observaciones:				
Silificación parcial de la matriz, alteración de radiolarios y relleno con micrita				
Nombre:				
Mudstone limo - arenoso				

Fotografías

Fotografía con luz transmitida

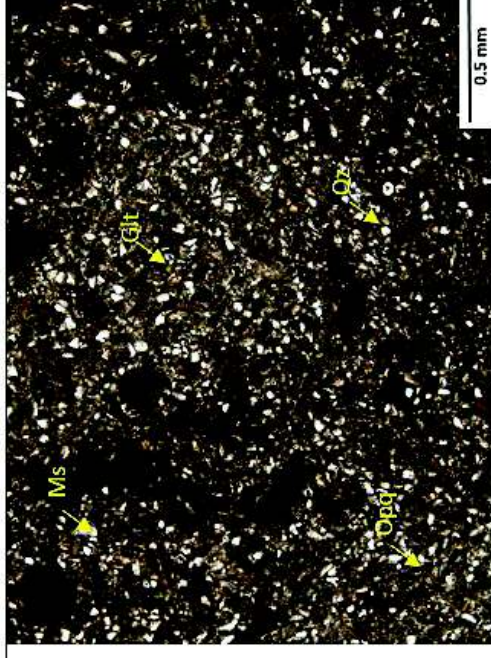
Fotografía con polarizador cruzado

Láminas Delgadas Formación

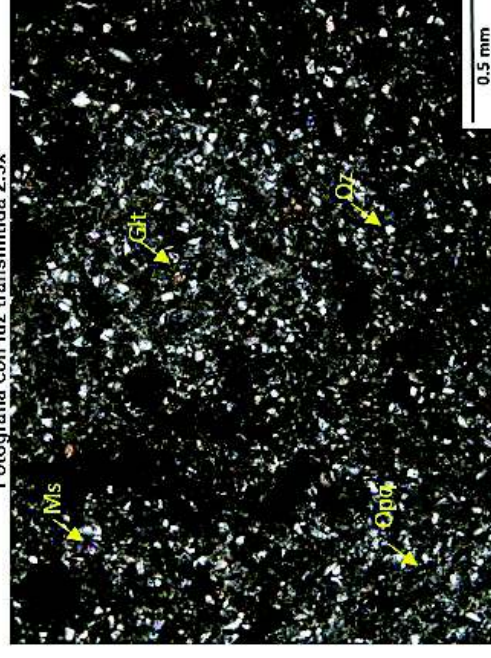
G. Ancón

Nombre de la muestra:		1606-JLR-12C	
Localidad:	La Rinconada	X = 0522556	Y = 98100557
Microestructura:	Masiva		
Microtextura:	Clásica – limo - arenosa		
Descripción de la muestra			
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones
Cuarzo (Qz)	30	Incoloro anhedral, con baja birrefringencia.	No presentan un ordenamiento preferencial.
Muscovita (Ms)	5	Incolora, subhedral, bajo relieve y colores de interferencia de segundo orden.	No presenta orientación determinada.
Glauconita (Glt)	10	Color verde, anhedral, relieve moderado,	Se encuentra disperso por toda la lámina, sin presentar una orientación.
Opacos (Opq)	15	Con formas anhedrales, distribuidas en toda la muestra.	Podrían ser metálicos o materia orgánica.
Matriz Arcillosa	35	Matriz de grano muy fino, no se puede apreciar el tipo de arcilla que se trata.	
Accesorios:	Colofana, óxidos y plagioclasas		
Fósiles:	Se encuentran fósiles de radiolarios (R) y foraminíferos, pero no se los pudo identificar.		
Matriz:	Arcillas y micrita		
Cemento:	N/A		
Porosidad:	Primaria, baja		
Grado de compactación:	Compacta		
Nombre:	Grawaca de grano fino		

Fotografías



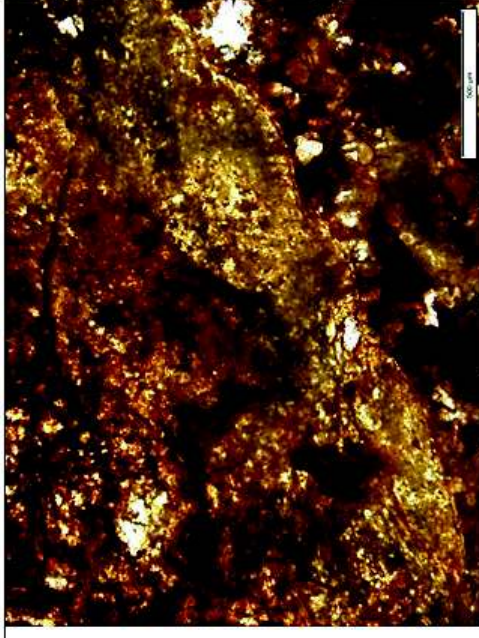
Fotografía con luz transmitida 2.5x



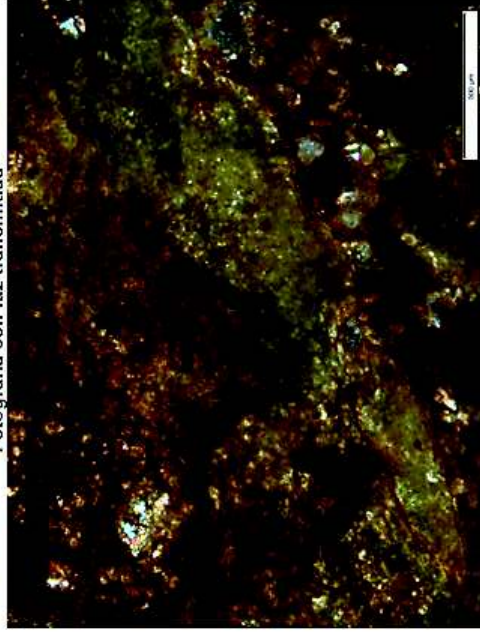
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1610-JLR-28A		
Localidad:	Pto. López	X = 0519321	Y = 9826877	Z = 109
Microestructuras:	Masiva			
Microtexturas:	Epiciástica micrítica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Líticos	60	Color verde pálido, subredondeados arcillosos	Aparentemente comparable con las secuencias de menor densidad de Cayo.	
Calcita	10	Cristales xenomorfos con clivaje romboédrico y colores de interferencia anómalos	Se encuentran retrabajados.	
Plagioclasa	30	Cristales incoloros alargados con débil birrefringencia	Se observan colores anómalos debido al grosor de la lámina	
Grado de compactación:	Poco compacta			
Fósiles (F):	No se reportan en la muestra			
Matriz:	Límbica			
Cemento:	Barro micrítico.			
Porosidad:	Primaria			
Observaciones:	Se observa <1% de glauconita			
Nombre:	Limolita con fragmentos Subredondeados de lutita			

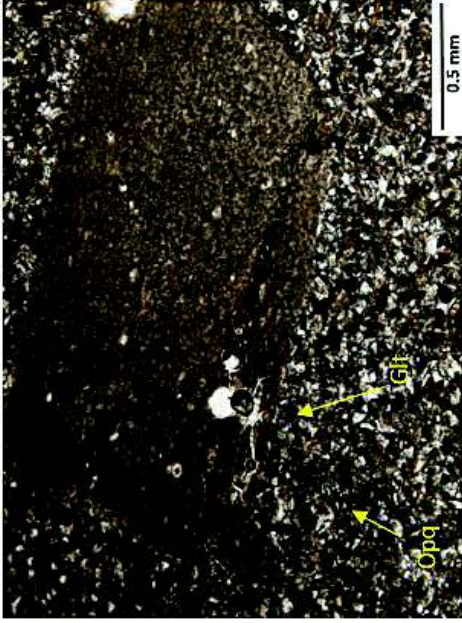
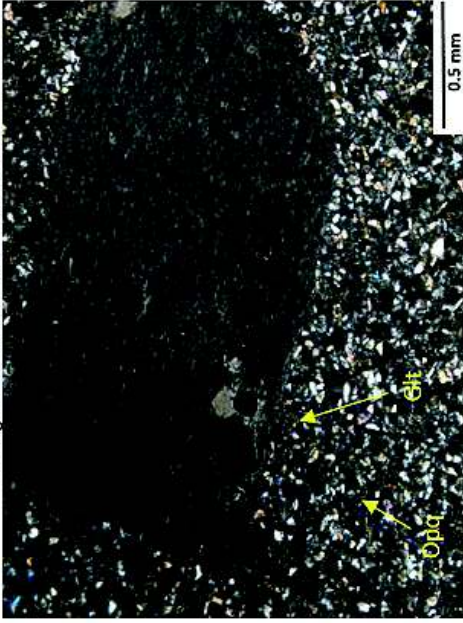
Fotografías



Fotografía con luz transmitida



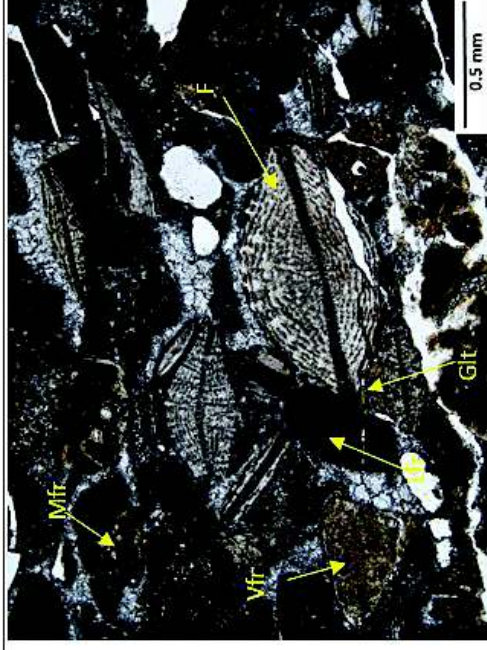
Fotografía con polarizador cruzado

Nombre de la muestra:		1610-JLR-40A		Fotografías	
Localidad:	Puerto López	X = 0546329	Y = 9852373	Z = 335	
Microestructuras:	Masiva				
Microtexturas:	Clásica				
Descripción de la muestra					
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones		
Glauconita (Glt)	5	Clastos de color verde subhedrales y anhedral, colores de interferencia verde intenso.	Ciertos cristales se presentan muy redondeados.	 <p>Fotografía con luz transmitida 2.5x</p>	
Cuarzo (Qz)	20	Cristales anhedral, incoloros, con colores de interferencia grises de primer orden.	Tamaño de arena fina y subangulosos		
Plagioclasa (Pl)	35	Cristales subhedrales, con maclas tipo carlsband y colores de interferencia grises.	Tamaño de arena fina.		
Clastos de toba silicificada	10	Clastos subredondeados.	Tamaño de arena gruesa	 <p>Fotografía con polarizador cruzado 2.5x</p>	
Opacos (Opq) y líticos indiferenciados.	20	Son completamente anhedral.	Los clastos presentan color ocre, con un posible origen volcánico poco alterados. El tamaño va arena fina a gruesa		
Grado de compactación:	Muy compacta				
Matriz:	Arcillas escasas				
Cemento:	Ferruginoso				
Porosidad:	Baja				
Observaciones:	La muestra es muy compacta y presenta clastos de tobas subredondeados. Ciertos minerales presentan un color de interferencia alto con relación a lo normal, debido al grosor de la lámina.				
Nombre:	Arcosa de grano fino				

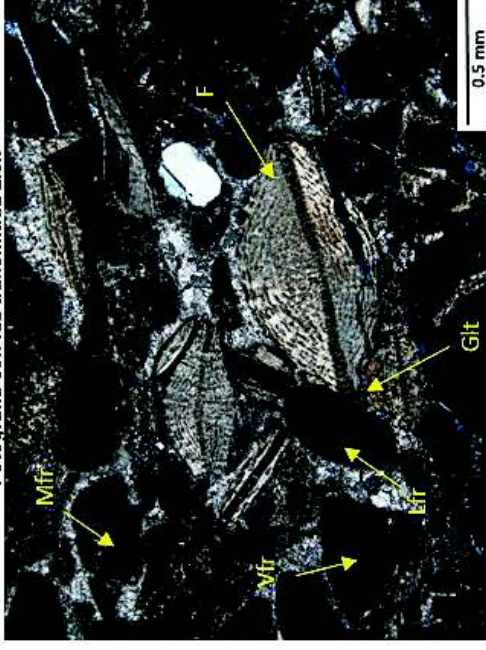
Láminas Delgadas Formación San Mateo

Nombre de la muestra:		1606-JLR-03A		
Localidad:	Recinto Soledad	X = 053015	Y = 9833972	Z = 160
Microestructuras:	Orientación de clastos.			
Microtextura:	Bioclástica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Fragmentos de Margas silíceas. (Mfr)	30	Clastos redondeados y subredondeados, color café claro sin polarizador	Estos fragmentos contienen restos de foraminíferos.	
Fragmentos de rocas volcánicas. (Vfr)	20	Clastos redondeados, que están compuestos por plagioclasas y piroxenos.	Presentan un grado de alteración bajo.	
Fragmentos de Lutitas (Lfr) y fragmentos de cherts.	23	Clastos redondeados que no se aprecia muy bien la mineralogía de la que está compuesta.	Presentan fracturas, las cuales se formaron al momento de depositarse los clastos.	
Glauconita (Git)	5	Cristales subhedral, color verde oliva, con polarizador cruzado no se observa muy bien los colores de interferencia debido a su color verde intenso.	Se encuentran dentro de ciertos clastos de lutitas y además dentro de la matriz micrítica.	
Calcedonia	2	Aparece recristalizando vacíos, incoloro y con colores de interferencia de primer orden.		
Grado de compactación:	Muy compacta			
Fósiles: (F)	Foraminíferos del tipo orbitoides y algún ejemplar del tipo nummulites.			
Matriz:	Parcialmente recristalizada.			
Cemento:	Espáritico			
Porosidad:	Secundaria.			
Observaciones:	La mayoría de clastos se encuentran fracturados o con signos de disolución por presión; estas fracturas se habrían efectuado cuando la roca se estaba consolidando o formando. También cabe mencionar que el relleno de fracturas está constituido por calcedonia.			
Nombre:	Conglomerado			

Fotografías



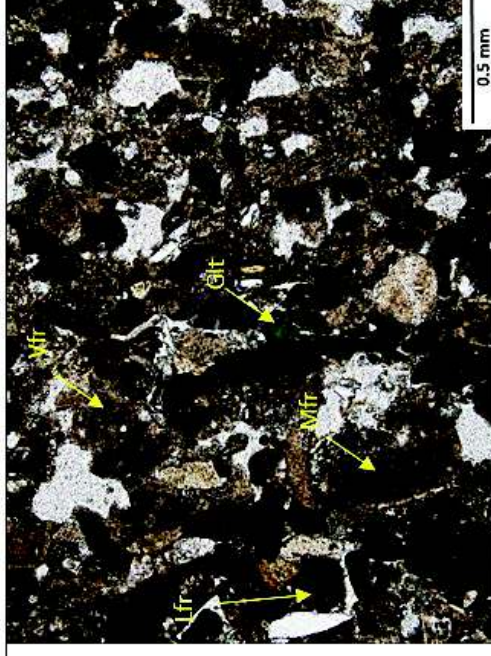
Fotografía con luz transmitida 2.5x



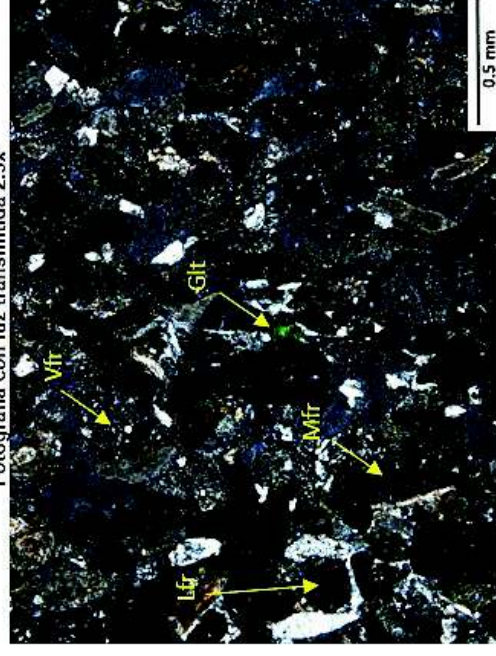
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1606-JLR-09B	
Localidad:	Puerto López	X = 0520264	Y = 9827087 Z = 24
Microestructura:	Conglomerática		
Microtextura:	Detritica		
Descripción de la muestra			
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones
Fragmentos de luitas (Lfr)	25	Clastos redondeados, no se distingue su mineralogía.	No se observa fracturas en los clastos.
Fragmentos de margas (Mfr)	20	Clastos redondeados, se aprecia la presencia de microfósiles en los clastos.	Presentan una matriz micrítica.
Glauconita (Git)	5	Cristales subhedrales, color verde intenso.	No presentan un orden aparente.
Calcedonia	5	Incoloro sin polarizador y colores interferencia de primer orden con el mismo.	Se encuentra rellenado vacíos.
Fragmentos de rocas volcánicas (Vfr)	20	Clastos redondeados compuestos por plagioclasas, piroxenos en una matriz vítrea.	Grado de alteración bajo-
Fragmentos de Cuarzo	10	Fragmentos silíceos subangulosos de cuarzo microcristalino.	
Grado de compactación: Compacia			
Fósiles:	Fragmentos de conchas, foraminíferos tipo orbitoides y fragmentos de radiolarios y equinodermos.		
Matriz:	Poco porcentaje de micrita.		
Cemento:	Silíceo		
Porosidad:	Primaria y secundaria por lo fragmentado de ciertos clastos.		
Observaciones:	No se observa la fractura de los clastos, los clastos se encuentran redondeados en su mayoría.		
Nombre:	Conglomerado calcáreo.		

Fotografías



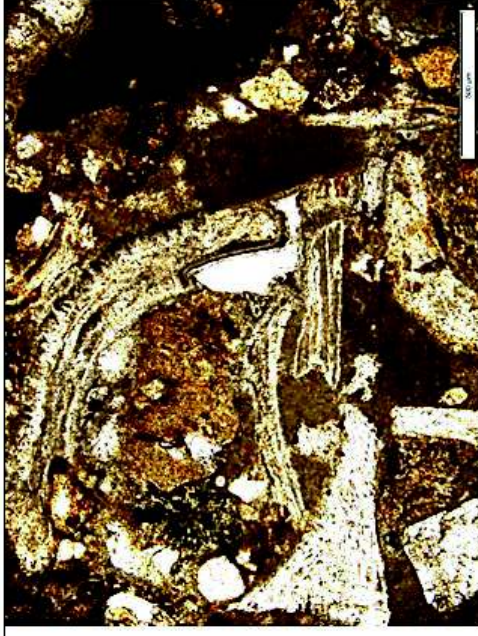
Fotografía con luz transmitida 2.5x



Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1610-JLR-26A		
Localidad:	Mero	X = 0539749	Y = 9844079	Z = 216
Microestructuras:	Masiva			
Microtexturas:	Conglomerática grano soportada			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Líticos	40	Fragmentos subredondeados de color verde y café claro. Compuestos principalmente por arcillas	Probablemente provenientes de la formación Cayo y Cerro	
Plagioclasa	30	Cristales incoloros alargados maclados con débil birrefringencia.	Parecen estar retrabajados.	
Feldespato	20	Cristales incoloros con extinción paralela	Se encuentran meteorizados.	
Calcita	10	Cristales incoloros con colores de interferencia grises azulados. Se distingue clivaje romboédrico.		
Grado de compactación:	Medio			
Fósiles (F):	<i>Discocyclina anconensis</i>			
Matriz:	Limosa			
Cemento:	Calcáreo			
Porosidad:	Primaria			
Observaciones:	N/A			
Nombre:	Conglomerado fosilífero			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida

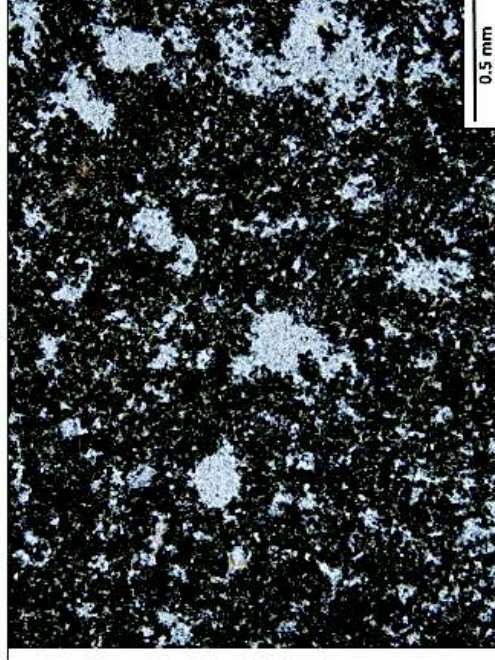


Fotografía con polarizador cruzado

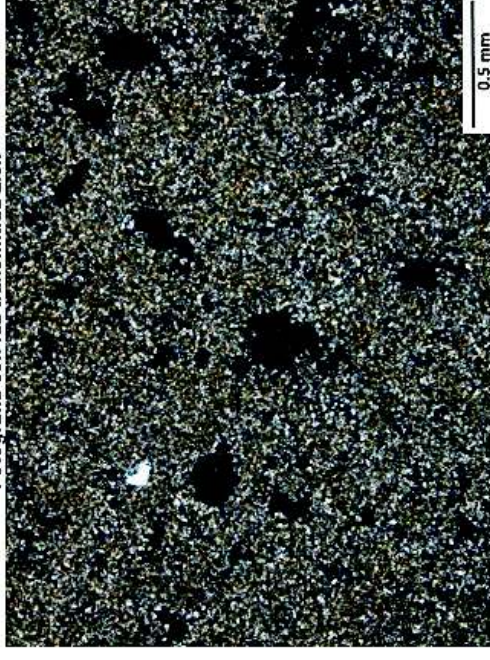
Láminas Delgadas Formación Dos Bocas

Nombre de la muestra:		1606-JLR-04B		
Localidad:	Vía Puerto López -Salango	X = 0538924	Y = 9835147	Z = 191
Microestructuras:	Masiva			
Microtexturas:	Clásica fina			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Arcillas	15	Dispersas sobre la muestra, de color marrón y bajo relieve.		
Glauconita	4	Cristales de color verde, anhedrales, y colores de interferencia verdes.	Cristalización incipiente.	
Matriz parcialmente recristalizada	60	Esta compuesta por micrita, dolomita y arcillas.		
Opacos (Opq)	10	Fragmentos de óxidos dispersos en la muestra		
Cuarzo (Qz)	<1	Tamaño de limos, disperso		
Grado de compactación:	Poco Compacta			
Fósiles:	N/A			
Matriz:	Arcillas, micrita y doloesparita.			
Cemento:	N/A			
Porosidad:	Primaria y secundaria por la presencia de fracturas.			
Observaciones:	Muy difícil de realizar la lámina delgada debido al grado de compactación, en su mayoría la muestra se compone de una matriz micrítica.			
Nombre:	Lutita Dolomitizada			

Fotografías



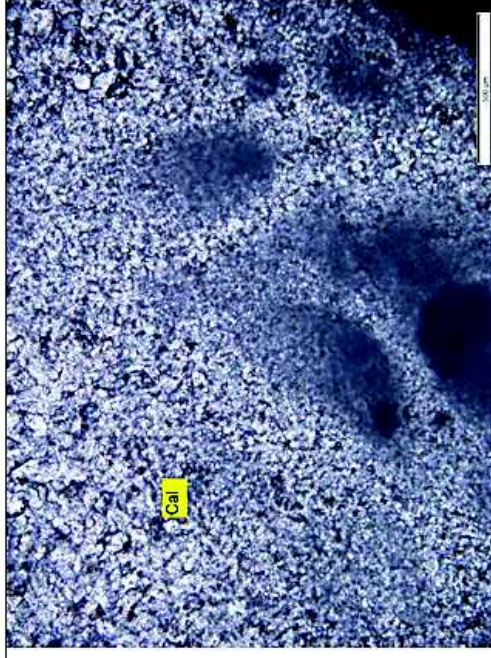
Fotografía con luz transmitida 2.5x



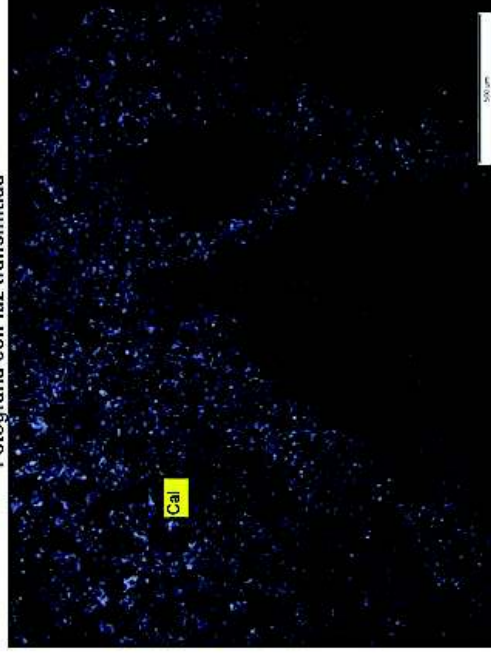
Fotografía con polarizador cruzado 2.5x

Nombre de la muestra:		1610-JLR-33A		
Localidad:	Membrillal	X = 0539372	Y = 9863629	Z = 269
Microestructuras:	No definida, aparente deformación			
Microtexturas:	Esparítica			
Descripción de la muestra				
Mineral/Clastos	Vol %	Propiedades	Observaciones	
Calcita	95	Cristales incoloros, anhedrales a subangulosos con colores de interferencia gris y micrita	Aspectos fluidales, deformación de la micrita	
Óxidos de Fe precipitados en superficie	5	Color gris rojizo	Ocupa espacios en fracturas, probablemente producto de alteración	
Grado de compactación:	Alto			
Fósiles (F):	No reportados en la muestra			
Matriz:	Micrita			
Cemento:				
Porosidad:	Muy baja			
Observaciones:	Recristalización de la micrita en esparita			
Nombre:	Nódulo calcáreo			

Fotografías



Fotografía con luz transmitida



Fotografía con polarizador cruzado