

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

### **ESTUDIO GEOLÓGICO DEL PALEÓGENO EN LA CORDILLERA OCCIDENTAL SEPTENTRIONAL DEL ECUADOR. PROVINCIAS DE CARCHI E IMBABURA.**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO.**

**Chulde Farinango Edgar Geovanny**

**[geovacf@gmail.com](mailto:geovacf@gmail.com)**

**DIRECTOR: M.Sc. Pilatasig Moreno Luis Felipe.**

**[l.f.pilatasig@gmail.com](mailto:l.f.pilatasig@gmail.com)**

**CO-DIRECTOR: Dr. Egüez Delgado Arturo Efraín.**

**[art\\_equez@hotmail.com](mailto:art_equez@hotmail.com)**

**Quito, Diciembre 2014.**

## DECLARACIÓN

Yo, Edgar Geovanny Chulde Farinango, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Edgar Geovanny Chulde Farinango

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edgar Geovanny Chulde Farinango, bajo mi supervisión.

---

*Ing. Luis Felipe Pilatasig Moreno., M.Sc.*

***DIRECTOR DEL PROYECTO***

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico-INIGEMM y a su director ejecutivo, por haber auspiciado el presente trabajo y facilitar con la logística del levantamiento de campo así como los análisis de laboratorio pertinentes para el desarrollo del proyecto.

Al Proyecto de Mapeo Geológico “Zonas prospectivas mineras” y “Loja-Gonzanamá”, a cada uno de los integrantes por haberme brindado su amistad y la oportunidad de conocer los sitios hermosos que tiene el país mediante el trabajo de cartografía.

Al Ing. Luis Pilatasig, gracias por su dirección y la confianza en el desarrollo del proyecto de titulación, las discusiones más interesantes sobre la geología del Ecuador las he tenido con usted, gracias por compartir sus experiencias y enseñanzas, le estaré agradecido siempre.

Al Dr. Arturo Egúez, por sus enseñanzas en los últimos años de mi formación profesional y por el tiempo dedicado a la revisión del presente proyecto además de sus acertadas observaciones que siempre son bien recibidas.

A mis profesores, Ing. Rocío López, Ing. Halina Lachowics, Ing. Renán Cornejo, Ing. Galo Plaza, Ing. Bernardo Beate e Ing. Pablo Duque, por sus grandes enseñanzas y buenos consejos, profesionales dignos de admiración.

A la Escuela Politécnica Nacional y el Departamento de Geología, por haberme admitido en todo este tiempo de vida politécnica, que continúen formando geólogos de gran nivel como lo han hecho siempre.

A mis compañeros y amigos de la poli quienes me brindaron su amistad, en especial al Pedro E, Luis L, Carlos D, Fabián O, Byron S, Ernesto Y, Beto M, Vane E y Andre C, gracias por sus ocurrencias y por haber convivido tantas polifiestas, bautizos, giras y jueves “culturales” con los que compartimos muchas cosas, me llevo grandes anécdotas y recuerdos.

En especial a Dios, por haberme brindado una linda familia, grandes amigos y la oportunidad de estudiar ingeniería geológica, que con tu bendición pueda aprender cada día más sobre la geología del país. A ti te lo debo todo y te dedico este trabajo.

## DEDICATORIA

*El presente trabajo es dedicado a mi padre Luis, ejemplo de honestidad y trabajo duro, todo tu esfuerzo valió la pena Pa!*

*A mi madre Ximena, muestra de sacrificio, amor y paciencia, gracias por todo Má! Este trabajo es más tuyo que mío.*

*A mi hermano Xavier, por ser mi compañía desde niños, por esas peleas inmortales y los partidos de fútbol FIFA06 eternos.*

*A mis sobrinos Emilia y Nicolás, su existencia cambio por completo mi vida, los quiero mucho y siempre su tío los cuidará.*

*Este logro es de ustedes mi familia.*

*“Hay que mantener los conceptos claros y la mente abierta”*  
*(Plaza G, Materia Movimientos de Terreno, Noviembre, 2009).*

*“Observar, interpretar y tomar decisiones. Crecer implica tomar decisiones”*  
*(Beate B, Materia Geotermia, Junio, 2011).*

## RESUMEN

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental Septentrional del Ecuador en la cuenca hidrográfica media del Río Mira, entre las provincias de Carchi e Imbabura. La región está constituida por rocas sedimentarias cretácicas, volcanosedimentarias paleógenas, volcánicas oligocénicas e intrusivos básicos a intermedios.

El estudio de las unidades paleógenas permite establecer la presencia de la Unidad Collapí (Pal-E?c) de probable edad paleo-eocénica, constituida de detritos volcanoclásticos de composición básica a intermedia provenientes de una fuente volcánica activa contemporánea. Además, análisis microscópicos en lutitas y areniscas de grano fino incluidas dentro de la Unidad El Laurel (E<sub>L</sub>) determinan un aporte continental proveniente de la emergente Cordillera Real. Por otra parte, la Unidad El Laurel presenta intercalaciones hacia la base de estratos calcáreos de edad eocénica media denominados Calizas de Gualchán propias de un ambiente marino somero arrecifal. Estas secuencias sedimentarias probablemente sean equivalentes por litología y edad a las secuencias paleo-eocénicas del Grupo Angamarca en el centro del país relacionadas con la cuenca de trasarco del Arco Macuchi.

Análisis de los estilos de deformación en las unidades y estructuras geológicas indican un evento regional de deformación a finales del Eoceno tardío e inicios del Oligoceno, el cual se encuentra relacionado a un ambiente compresivo generando microplegamientos, zonas de cizalla y fallamientos cabalgantes. Análisis estructural en grietas de tensión presentes en calizas eocénicas indican una dirección del esfuerzo principal N80°W, el cual sería el responsable. Este evento probablemente está relacionado a la acreción del Bloque Naranjal en el norte del país.

Además, datos petrológicos geoquímicos de los cuerpos intrusivos máficos denominados *El Puerto*, *La Carolina* y *El Cabuyal* determinan afinidades toleíticas de arcos primitivos o de islas y aparentemente constituyen las raíces de un complejo volcánico de probable edad eoceno medio, es decir Macuchi. Por otra parte, los datos del arco Oligocénico San Juan de Lachas (OM<sub>SJL</sub>) basados en diagramas multielementales normalizados, determinan que las rocas exhiben afinidades calcoalcalinas de medio a alto contenido de K propias de arco continental comprobándose la pertenencia de esta unidad geológica al arco continental cenozoico.

## ABSTRACT

The study area is located in the North Western Cordillera of Ecuador in the middle hydrographic basin of Mira River in the provinces of Carchi and Imbabura. This region consists of cretaceous sedimentary rocks, paleogene volcanosedimentary rocks, oligocene volcanoclastic rocks and intermediate and basic intrusive.

The study of the paleogene units has established the presence of Collapí Unit (Pal-E<sub>?</sub><sub>C</sub>) of likely paleo-eocene age, constituted of debris volcanoclastic from basic to intermediate composition of a contemporary active volcanic source. In addition, microscopic analysis in shales and fine-grained sandstones including El Laurel Unit (E<sub>L</sub>) determine a continental input from the emerging Cordillera Real. El Laurel Unit present interbedded calcareous strata in the base of unit called Gualchán limestone of middle Eocene age, typical of a shallow marine environment reef. These sedimentary sequences are likely equivalent in lithology and age to paleo-eocene sequences of Angamarca Group in the center of the country related to back-arc basin Macuchi Arc.

Analysis of deformation styles in the units and geological structures indicate a regional deformation event in the late Eocene and early Oligocene, which is related to a compressive environment generating micro-folding, shear zones and reverse faulting. Structural analysis on stress cracks present in Eocene limestones indicates a direction of principal stress N80°W, which would be responsible. This event is probably related to the accretion of Naranjal Block in the north.

Petrological geochemical data from the intrusive called *El Puerto, La Carolina y El Cabuyal* determine tholeiitic affinities of primitive arcs or island and apparently constitute the roots of a volcanic complex of probable middle Eocene age, i.e. Macuchi. Moreover, data from the Oligocene San Juan de Lachas arc (OM<sub>Sjl</sub>) based on normalized multielement diagrams, determine that the rocks exhibit calc-alkaline affinities medium to high K, typical of Cenozoic continental arc.



## TABLA DE CONTENIDO

<i>DECLARACIÓN</i> .....	<i>II</i>
<i>CERTIFICACIÓN</i> .....	<i>III</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i> .....	<i>IV</i>
<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>V</i>
<i>RESUMEN</i> .....	<i>VII</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>VIII</i>
<i>TABLA DE CONTENIDO</i> .....	<i>IX</i>
<i>CAPÍTULO 1</i> .....	<i>1</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>1</i>
<i>1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS</i> .....	<i>1</i>
<i>1.2. OBJETIVOS</i> .....	<i>2</i>
<i>1.2.1. OBJETIVO GENERAL</i> .....	<i>2</i>
<i>1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> .....	<i>2</i>
<i>1.3. ALCANCE</i> .....	<i>2</i>
<i>1.4. METODOLOGÍA</i> .....	<i>3</i>
<i>1.5. ÁREA DE ESTUDIO</i> .....	<i>5</i>
<i>1.5.1. UBICACIÓN</i> .....	<i>5</i>
<i>1.5.2. MORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA</i> .....	<i>6</i>
<i>1.5.3. ACCESO</i> .....	<i>7</i>
<i>1.5.4. CLIMA Y VEGETACIÓN</i> .....	<i>7</i>
<i>1.5.5. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS Y ECONÓMICOS</i> .....	<i>8</i>
<i>1.6. TRABAJOS ANTERIORES</i> .....	<i>9</i>
<i>CAPÍTULO 2</i> .....	<i>11</i>
<i>MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</i> .....	<i>11</i>
<i>2.1. GEOLOGÍA REGIONAL</i> .....	<i>11</i>
<i>2.2. TECTÓNICA REGIONAL</i> .....	<i>16</i>
<i>2.3. SUMARIO LITOESTRATIGRÁFICO</i> .....	<i>18</i>
<i>CAPÍTULO 3</i> .....	<i>21</i>
<i>LITOESTRATIGRAFÍA</i> .....	<i>21</i>
<i>3.1. UNIDAD PILATÓN (K<sub>pl</sub>)</i> .....	<i>21</i>
<i>3.2. UNIDAD COLLAPÍ (Pal-E<sub>c</sub>)</i> .....	<i>25</i>
<i>3.3. UNIDAD EL LAUREL (E<sub>L</sub>)</i> .....	<i>29</i>
<i>3.4. UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS (OM<sub>Sjl</sub>)</i> .....	<i>35</i>
<i>3.5. CUERPOS INTRUSIVOS Y DIQUES</i> .....	<i>39</i>

3.5.1. INTRUSIVO EL PUERTO ( $D_1$ ).....	39
3.5.2. INTRUSIVOS HORNBLENDÍTICOS ( $D_2$ ).....	40
3.5.3. INTRUSIVO CUARZODIORÍTICO CATARAMA ( $Q_{D3}$ ).....	42
3.5.4. INTRUSIVO DIORÍTICO ( $D_4$ ).....	43
3.5.5. DIQUES ANDESÍTICOS .....	45
3.5.6. DIQUE ANDESÍTICO HORNBLÉNDICO .....	46
CAPÍTULO 4.....	48
TECTÓNICA Y MICROTTECTÓNICA .....	48
4.1. SISTEMAS DE FALLAS .....	48
4.1.1. FALLAS TRANSCURRENTES NE-SW .....	48
4.2.1. FALLAS TRANSCURRENTES NW-SE .....	51
4.1.3. FALLAS INVERSAS.....	53
4.2. ZONAS DE CIZALLAMIENTO .....	56
4.2.1. ZONA DE CIZALLAMIENTO CENTRAL (ZCC).....	56
4.2.2. ZONA DE CIZALLAMIENTO ORIENTAL (ZCO).....	59
4.3. DEFORMACIÓN DE LAS UNIDADES PALEÓGENAS.....	63
4.3.1. DEFORMACIÓN EN LA UNIDAD COLLAPÍ ( $Pal-E?_c$ ).....	63
4.3.2. DEFORMACIÓN EN LA UNIDAD EL LAUREL ( $E_L$ ).....	64
4.3.2.1. Deformación en las Calizas Gualchán.....	67
4.3.3. INTERPRETACIÓN DE LA DEFORMACIÓN.....	69
CAPÍTULO 5.....	72
GEOQUÍMICA DE ROCAS INTRUSIVAS Y VOLCÁNICAS.....	72
5.1. NATURALEZA DE LOS CUERPOS INTRUSIVOS.....	73
5.1.1. CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS.....	73
5.1.2. INTERPRETACIÓN PETROLÓGICA DE LOS CUERPOS INTRUSIVOS BÁSICOS.....	77
5.2. VOLCANISMO OLIGOCÉNICO.....	78
5.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS.....	78
5.2.2. ELEMENTOS MAYORES .....	81
5.2.3. ELEMENTOS TRAZA .....	83
5.2.4. DIAGRAMAS MULTIELEMENTALES SPIDER .....	85
5.2.5. INTERPRETACIÓN PETROLÓGICA DEL VOLCANISMO SAN JUAN DE LACHAS. ....	87
CAPÍTULO 6.....	90
ASPECTOS GEODINÁMICOS Y EVOLUCIÓN.....	90
6.1. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	90
CAPÍTULO 7.....	93
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	96
ANEXOS.....	101
ANEXO 1: DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE MUESTRAS MACROSCÓPICAS.....	101
ANEXO 2: FICHAS DE DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS DE SECCIONES DELGADAS. ....	105
ANEXO 3: DETALLE Y RESULTADOS DE ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE ROCA TOTAL, ELEMENTOS TRAZA Y TIERRAS RARAS.....	106

ANEXO 4: RESULTADOS DE ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X (XRD).....	108
MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio (polígono en azul).....	5
Figura 2.1. Mapa geológico de la Cordillera Occidental entre 1°N-2°30'S (Modificado Vallejo, 2007).....	12
Figura 2.2. Columna estratigráfica de la sección Latacunga-La Maná exhibiendo la relación de las unidades geológicas pertenecientes al Grupo Angamarca y el arco Macuchi. Modificado de Vallejo (2007).....	15
Figura 2.3. Fallas regionales y zonas de cizallamiento que atraviesan el Norte de la Cordillera Occidental y el valle Interandino. (Modificado de Boland et al., 2000).....	18
Figura 3.1. Columna estratigráfica general de las unidades paleógenas que conforman la zona de estudio.....	34
Figura 4.1. Estructuras tectónicas en la zona de estudio.....	52
Figura 4.2. Elementos tectónicos en una zona de cizallamiento y orientación del esfuerzo principal respecto al cizallamiento para el segundo evento de deformación (D2).....	71
Figura 5.1. Relación LOI (Loss on ignition) vs SiO <sub>2</sub> (wt%). Muestras con LOI mayor a 3.5 no serán consideradas para las interpretaciones.....	73
Figura 5.2. (A) Diagrama de clasificación de rocas intrusivas, Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O vs SiO <sub>2</sub> (wt%). (Le Bas et al., 1986).....	74
Figura 5.3. Índice de alcalinidad de los cuerpos intrusivos de la zona de estudio. (A) Diagrama de clasificación de Irvine y Baragar (1971). (B) Diagrama de clasificación De La Roche et al., (1980).....	74
Figura 5.4. Afinidades geoquímicas en función de la alcalinidad para los cuerpos intrusivos. Diagrama triangular de Irvine y Baragar (1971).....	75
Figura 5.5. Diagrama de Maniar y Picolli (1989) para los granitoides presentes en la zona de estudio con características metaluminosas.....	75
Figura 5.6. (A) Diagrama K <sub>2</sub> O vs Na <sub>2</sub> O, campos de granitoides tipo S e I. (B) Diagrama ASI (Aluminum Saturation Index) (moles) vs SiO <sub>2</sub> (wt%).....	76
Figura 5.7. Caracterización de los granitoides en función del ambiente tectónico, (A) Rb vs Y+Nb (B) Nb vs Y. (Pearce et al., 1984). VAG (volcanic arc granite), syn-COLG (syn collision granite), WPG (within plate granite, anorogenic field), ORG (ocean ridge granite).....	76
Figura 5.8. (A) Diagrama multielementos normalizado al N-MORB (Sun y McDonough, 1989) para los intrusivos básicos. (B) Diagrama de tierras raras normalizado a condritas (Sun y McDonough, 1989) para las rocas básicas.....	78
Figura 5.9. (A) Diagrama de clasificación de rocas volcánicas Unidad San Juan de Lachas, Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O vs SiO <sub>2</sub> (wt%). (Le Bas et al., 1986). (B) Diagrama de clasificación de rocas volcánicas, K <sub>2</sub> O vs SiO <sub>2</sub> (wt%). (Peccherillo y Taylor, 1976).....	79
Figura 5.10. (A) Diagrama de clasificación Irving y Baragar (1971) para las rocas volcánicas de la Unidad San Juan de Lachas. (B) Diagrama de clasificación K <sub>2</sub> O vs SiO <sub>2</sub> (wt%), Gill (1981).....	80
Figura 5.11. Diagrama triangular AFM, Irving y Baragar (1971) para las rocas volcánicas de la Unidad San Juan de Lachas.....	80
Figura 5.12. Diagramas de variación Harker en los que se presentan los valores de los elementos mayores (wt%) vs SiO <sub>2</sub> (wt%).....	82
Figura 5.13. Diagramas pseudo-Harker de variación para elementos traza (ppm) vs el contenido de SiO <sub>2</sub> (wt%).....	84

Figura 5.14. Diagramas de relaciones Sr/Y vs Y, La/Yb vs Yb en los que se exhibe los campos adakíticos y calco-alcalinos normales.....	85
Figura 5.15. (A) Diagrama spider normalizado a condritas para las rocas volcánicas de la Unidad San Juan de Lachas y diques andesíticos (Sun y McDonough, 1989). (B) Diagrama spider normalizado a N-Morb para las rocas volcánicas oligocénicas (Sun y McDonough, 1989).....	87
Figura 5.16. Diagramas Harker MgO vs SiO <sub>2</sub> y CaO vs SiO <sub>2</sub> , líneas de comportamiento del líquido magmático residual (en rojo).....	88

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1. Imagen de un sector de la cuenca hidrográfica del río Mira, mostrando la morfología típica de la región, dominada por montañas con crestas agudas (UTM: 805376-10081967).....	7
Fotografía 3.1. Afloramientos de la Unidad Pilatón, Carretera Ibarra-San Lorenzo. (A) Exposición de afloramientos de rocas sedimentarias (UTM: 810864-10078564, La Chorrera de Tablas. (B) Planos de estratificación en rocas sedimentarias cretácicas, los cuales presentan buzamiento al Este (UTM: 809685-10079943).....	22
Fotografía 3.2. Rocas sedimentarias en estratos de espesor variable de la Unidad Pilatón, Carretera Ibarra-San Lorenzo. (A) Areniscas y grauvacas estratificadas incluyendo capas de cherts (UTM: 809685-10079943). (B) Estratos centimétricos de areniscas con buzamiento al Este (UTM: 810889-10078819).....	23
Fotografía 3.3. Lutita silíceas con textura clástica de grano fino afectada por una vetilla de Qz, roca perteneciente a la Unidad Pilatón, Muestra de sección delgada EC-T36 (lente 4x/0.13P). Luz transmitida y polarizador cruzado.....	24
Fotografía 3.4. Afloramientos de la Unidad Collapí, Carretera Caliche-Jijón y Caamaño; Salinas-Lita. (A) Afloramiento y planos de estratificación de rocas volcanosedimentarias de la Unidad Collapí (UTM: 804425-10086659). (B) Afloramiento de rocas volcanosedimentarias de la Unidad Collapí (UTM: 803972-10085138).....	25
Fotografía 3.5. Muestra EC-T30 de la Unidad Collapí. (A) Toba cristalina cloritizada de composición andesítica. (B) Arenisca con laminaciones centimétricas de ceniza volcánica producto de erupciones aéreas.....	26
Fotografía 3.6. Muestra de lámina delgada EC-T11, Unidad Collapí. Arenisca con lítico sedimentario subredondeado de tamaño mayor a dos milímetros. Luz transmitida y polarizador cruzado (4x/0.13P).....	27
Fotografía 3.7. Muestra de sección delgada EC-T9. Toba cristalina cloritizada con aporte volcánico perteneciente a la Unidad Collapí. Fotografía en luz transmitida y polarizador cruzado (4x/0.13P).....	28
Fotografía 3.8. Afloramiento de lutitas grises estratificadas (So) pertenecientes a la Unidad El Laurel. Vía de tercer orden San Francisco de Tablas-Tablas (UTM: 809460-10081734)....	31
Fotografía 3.9. Subarcosa de microtextura clástica de grano fino con cristales de cuarzo, micas y plagioclasa (Muestra de lámina delgada EC-T49). Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x/0.13P).....	31
Fotografía 3.10. Caliza bioclástica con microfósiles de bivalvos y foraminíferos afectada por vetillas cruzadas de calcita cristalina, Muestra de sección delgada EC-T60. Luz transmitida y polarizador cruzado (4x/0.13P).....	33
Fotografía 3.11. Brecha volcánica con líticos andesíticos angulares. Unidad San Juan de Lachas (UTM: 807143-10084975). (A) Autobrecha fresca con matriz lávica. (B) Autobrecha andesítica con alteración argílica.....	36

<i>Fotografía 3.12. (A) Meteorización esferoidal formando cascarones de arcillas en autobrechas andesíticas (UTM: 805710-10084109). (B) Líticos andesíticos subangulares de gran tamaño</i>	36
<i>Fotografía 3.13. Líticos subangulares andesíticos de tamaño 900µm en brechas, Muestra de lámina delgada EC-T39. Luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).</i>	37
<i>Fotografía 3.14. Fenocristales de plagioclasas, piroxenos y matriz microlítica con minerales opácos en andesita, Muestra de sección delgada EC-T38. Fotografía en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P)</i>	38
<i>Fotografía 3.15. Geoforma redondeada relacionada con el cuerpo intrusivo El Puerto, el cual aflora en la vía La Carolina-Urbina, cerca del poblado El Puerto (UTM: 803542-10081713)</i>	39
<i>Fotografía 3.16. Diorita con textura fanerítica de grano medio con fenocristales de plagioclasa y clorita, Muestra de lámina delgada EC-T83. Fotografía en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P)</i>	40
<i>Fotografía 3.17. Roca hornblendítica recristalizada con fenocristales entrecrecidos de hornblendas. Tramo vial San Juan de Lachas-El Cabuyal (UTM: 808272-10083638)</i>	41
<i>Fotografía 3.18. Hornblendita con microtextura hipidiomórfica granular formada por cristales de plagioclasa, epidota y anfíboles, Muestra de sección delgada EC-T31. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P)</i>	42
<i>Fotografía 3.19. (A) Intrusión de composición cuarzodiorítica expuesta en la Qda. Catarama (UTM: 806185-10079596). (B) Roca de textura fanerítica con cristales de plagioclasa, piroxeno, biotita y cuarzo</i>	42
<i>Fotografía 3.20. Cristales de plagioclasa, cuarzo, anfíboles y biotita en textura panidiomórfica granular. Muestra de lámina delgada EC-T44. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P)</i>	43
<i>Fotografía 3.21. Contacto intrusivo y rocas volcanosedimentarias de la Unidad Collapí. Tramo vial de tercer orden San Juan de Lachas-El Cabuyal (UTM: 807457-10083547)</i>	44
<i>Fotografía 3.22. Fenocristal de Feldespato K alterado a arcillas en diorita con alteración argilíca. Muestra de sección delgada EC-T32. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P)</i>	44
<i>Fotografía 3.23. Cuellos volcánicos andesíticos cortando a rocas volcanosedimentarias de la Unidad Collapí. Qda. La Colegiala (UTM: 801741-10085405)</i>	45
<i>Fotografía 3.24. Andesita basáltica con microcristales de plagioclasa y textura dimensional seriada. Muestra de lámina delgada EC-T10A. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P)</i>	46
<i>Fotografía 3.25. Dique de composición intermedia cortando a rocas de la Unidad San Juan de Lachas (contacto en rojo). Vía San Juan de Lachas-Jijón y Caamaño (UTM: 806243-10083226)</i>	47
<i>Fotografía 3.26. Muestra de sección delgada EC-T13, Andesita con fenocristales de plagioclasa y hornblenda en matriz microcristalina-vitrofídica. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P)</i>	47
<i>Fotografía 4.1. Falla El Guacho, donde se exhiben los planos de fallamiento y estriado (en rojo) (UTM: 805904-10081712)</i>	49
<i>Fotografía 4.2. Bloque calcáreo de la Unidad Collapí afectado por un fallamiento cabalgante (en negro) con vergencia en dirección Este (UTM: 805380-10081769). Flexuras de las capas por efecto del fallamiento (en amarillo)</i>	54
<i>Fotografía 4.3. (B) Falla inversa afectando a lutitas de la Unidad El Laurel terminando en un pliegue de acomodación (UTM: 809035-10085299)</i>	54
<i>Fotografía 4.4. (A) Plano de falla de 40 metros de altura afectando a la Unidad Pilatón. (B) Estructuras “sigmoidales” (en amarillo) las cuales definen un desplazamiento inverso estricto</i>	55
<i>Fotografía 4.5. Ortomilonita con porfiroblastos, la cual muestra el desarrollo de una fábrica S-C (en negro-en rojo) con cinemática transcurrente sinistral. Elipsoide de deformación ..</i>	57
<i>Fotografía 4.6. Estructuras sigmoidales en milonitas (en negro). (A) Estructuras “sigma” y “deltas” de cuarzo recristalizado en milonitas con indicadores cinemáticos de movimiento</i>	

<i>sinestral (en azul). (B) Estructuras “sigmas” que evidencia una cinemática sinestral de tamaño 15 cms</i> .....	58
<i>Fotografía 4.7. (A) Estructura “sigma” en milonita. (B) Porfiroblasto de cuarzo recristalizado que evidencia una cinemática sinestral (en negro)</i> .....	58
<i>Fotografía 4.8. (A) (B) Protomilonita con porfiroblastos sigmoidales de cuarzo, lineaciones de cloritas paralelas al cizallamiento-C (en azul). Muestra de sección delgada EC-T5A</i> .....	58
<i>Fotografía 4.9. Zona de cizallamiento oriental (ZCO) en rocas de la Unidad Pilatón, producto de una intensa deformación de rocas pelíticas, Carretera Salinas-Lita (UTM: 810902-10079011)</i> .....	60
<i>Fotografía 4.10. Fibras rígidas en zonas de abrigo de un cristal de pirita en una metapelita cizallada con cinemática dextral. Muestra de sección delgada (EC-T26B). Fotografías con polarizador cruzado (4x /0.13P). (A) Crecimiento de fibras de cuarzo perpendiculares a la cara del cristal de pirita. (B) Orientación de las fibras rígidas en las zonas de abrigo</i> .....	61
<i>Fotografía 4.11. Sección de lámina delgada, Muestra EC-T26A y EC-T26B. (A) Kink bands inversos sintéticos (líneas semiparalelas negras) afectando a una vetilla de <math>Qz</math> (en azul), fotografía con luz transmitida (4x /0.13P) y esquema. (B) Kink bands inversos sintéticos (en rojo) con juntas estilolíticas perpendiculares a la foliación <math>S_1</math>, fotografía con polarizador cruzado (4x /0.13P) y esquema</i> .....	62
<i>Fotografía 4.12. Deformación en lutitas de la Unidad El Laurel, poblado el Puerto (UTM: 803888-10082453). (A) Estructura sigmoidal con fábrica <math>S_2</math>-C (en negro-rojo) con cinemática sinestral afectado por un clivaje de crenulación <math>S_3</math> (en blanco)</i> .....	65
<i>Fotografía 4.13. Lutitas deformadas pertenecientes a la Unidad El Laurel (UTM: 803888-10082453). (B) Cuerpo calcáreo de forma sigmoidal formando estructuras “book shelves” a través de las fracturas X (en amarillo) con desplazamientos normales</i> .....	65
<i>Fotografía 4.14. (A) Desarrollo de una fábrica S-C (rojo-negro) con cinemática sinestral afectada por un plegamiento (en verde). (B) Boudinage de arenisca desarrollado en una matriz de material fino (en naranja)</i> .....	67
<i>Fotografía 4.15. (A) Afloramiento de calizas Gualchán pertenecientes a la Unidad El Laurel. (B) Grietas de tensión y venas en echelon sigmoidales rellenas de calcita</i> .....	68
<i>Fotografía 4.16. (A) Grietas de tensión y rotación por cizalla dúctil (círculo negro). (B) Desarrollo de generaciones de grietas tensionales, primera generación (en negro) y segunda generación (en rojo). (C) Sistemas conjugados de grietas (líneas rojas) que indican la dirección del esfuerzo principal <math>\sigma_1</math> y segunda generación de grietas subverticales. (D) Grietas tensionales exhibiendo la dirección de los esfuerzos principales (en negro) <math>\sigma_1</math> y <math>\sigma_3</math></i> 69	

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 5.1. Código, unidad geológica y ubicación de las muestras utilizadas en la interpretación geoquímica de rocas volcánicas e intrusivas</i> .....	72
<i>Tabla 5.2. Código de muestra, unidad geológica y ubicación de los ejemplares utilizados en el estudio del volcanismo oligoceno</i> .....	79

# **CAPÍTULO 1.**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS**

Diversas investigaciones en la Cordillera Occidental del Ecuador han contribuido para la comprensión de la evolución estratigráfica y tectónica de la cordillera, generando información geológica y cartográfica a escala regional. Sin embargo, varios problemas geológicos en los Andes septentrionales permanecen sin resolver por diversas situaciones, entre las principales, la ausencia de afloramientos para establecer la sucesión litológica, así como la espesa cobertura volcánica que cubre las unidades geológicas del basamento, etc. Debido a esto, rocas volcanosedimentarias que afloran en el área de estudio fueron asignadas de manera errónea al Cretácico (INEMIN-DGGM, 1986) e incluidas dentro de la Unidad Pilatón (Boland et al., 2000), lo cual es parcialmente erróneo.

Además, el mapa geológico regional entre 0°-1°N de la Cordillera Occidental (Boland et al., 2000) dentro de la zona de estudio presenta un hiato sedimentario cretácico-oligocénico y la presencia de la Unidad El Laurel está restringida únicamente a bloques tectónicos infiriendo un intenso tectonismo, situación que es necesaria re-evaluar.

Por otra parte, las unidades geológicas relacionadas con el arco Macuchi y la cuenca de trasarco del Grupo Angamarca, solamente han sido determinadas entre 0°-2°30'S de la Cordillera Occidental, mientras que en el norte de la Cordillera, la presencia de unidades geológicas relacionadas al arco Macuchi no ha sido reportada. No obstante, rocas volcánicas establecidas por Boland et al. (2000) como parte de la Unidad Naranjal han sido redefinidas por Vallejo (2007), el cual obtiene una edad eocénica a través de métodos radiométricos, planteando la idea de la disposición del Arco Macuchi hacia el norte de los Andes. Por lo tanto, este contexto será analizado en el presente trabajo.

Por tales razones el presente estudio aborda estas problemáticas mediante la adquisición de datos obtenidos a través del levantamiento geológico, así como los análisis microscópicos y geoquímicos necesarios con la finalidad de replantear la

disposición de las unidades geológicas en la zona y proponer un modelo geológico.

El presente proyecto tuvo el auspicio del Instituto Nacional de Investigación Geológica, Minero, Metalúrgico-INIGEMM que facilitó con la logística para el levantamiento geológico y donde se realizaron los análisis de laboratorio para los fines pertinentes del proyecto.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Estudiar la geología de la zona enfatizando en las unidades geológicas del paleógeno.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Efectuar la cartografía geológica del área de estudio caracterizando petrográficamente las unidades litológicas y los cuerpos intrusivos.
- Caracterizar las estructuras tectónicas de la zona mediante el análisis geomorfológico-fotointerpretativo y el trabajo de campo.
- Realizar el análisis mineralógico y microestructural en láminas delgadas para identificar los indicadores cinemáticos asociados a las estructuras tectónicas que atraviesan el área de estudio.
- Efectuar análisis geoquímicos de roca total, elementos traza y tierras raras para las unidades volcánicas y cuerpos intrusivos de la zona.

## **1.3. ALCANCE**

Para el presente estudio se realizó la cartografía geológica de la zona a escala 1:50 000 de un área aproximada de 130 km<sup>2</sup>.

Se realizó el análisis microscópico petrográfico de 50 láminas delgadas con el fin de caracterizar las unidades geológicas presentes en la zona, además definir las microestructuras en zonas de cizallamiento e identificar los indicadores cinemáticos para los sistemas de fallas que atraviesan el área de estudio.



Para los cuerpos intrusivos y rocas volcánicas se realizaron trece análisis geoquímicos. Se incorporaron adicionalmente cinco análisis químicos tomados de Boland et al., (2000), INIGEMM (2012A) e INIGEMM (2013A) correspondientes a rocas volcánicas de la Unidad San Juan de Lachas para su posterior análisis.

Se efectuaron análisis por difracción de rayos X (XRD) en muestras de rocas con el objeto de determinar el contenido y porcentaje mineral de las muestras examinadas.

#### **1.4. METODOLOGÍA**

**-Recopilación de la información bibliográfica y cartográfica.** Analizar e interpretar la información existente para la zona de estudio incluyendo cartas topográficas escala 1: 50 000, cartas geológicas escala 1: 100 000, 1: 200 000, 1: 250 000, fotografías aéreas escala 1: 60 000 e imágenes SRTM de relieve con resolución de 90 m. Simultáneamente, se recopilaron las muestras de láminas delgadas desarrolladas por el proyecto PRODEMİNCA, para su posterior análisis y verificación.

**-Levantamiento geológico.** Trabajo de campo que permitió obtener datos geológicos-estructurales, determinar la litoestratigrafía local y recolectar muestras aleatorias-representativas de las unidades litológicas. Para esta fase se ha utilizado equipos como: brújula, martillo, GPS, lupa y bases topográficas (mapas). El Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico facilitó la logística para la realización de las campañas de trabajo de campo.

**-Análisis petrográfico-microscópico.** Las muestras de láminas delgadas fueron analizadas en luz transmitida con la ayuda del microscopio OLYMPUS BX51 que incluye el programa informático Stream Basic, para capturar la imagen micro fotográfica.

**-Análisis e interpretación de datos geoquímicos.** Los análisis geoquímicos fueron realizados por el Laboratorio Geocientífico del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. El porcentaje y contenido mineral en

rocas fue determinado a través de DIFRACCIÓN DE RAYOS X, con el equipo D8 ADVANCE marca BRUKER con tubo de rayos X de cobre de  $\lambda=1.54 \text{ \AA}$  y detector PSD LynxEye. La configuración utilizada en el análisis fue con rotación de la muestra de 15 rpm y con porta muestras de 40 mm de diámetro.

El porcentaje en óxidos para elementos mayores fue determinado a través de FLUORECENCIA DE RAYOS X mediante fusión con tetraborato de litio en crisoles de oro 5%-platino 95% en dos gramos de muestra previamente seca y pulverizada. Adicionalmente una porción de la muestra fue fundida en crisoles de oro 5%-platino 95%, luego aforados en matriz de ácido nítrico al 15% para determinar tierras raras por Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo-ICP-MS. Además, una parte de la muestra fue digerida en agua regia y analizada por Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo-ICP-MS para establecer concentraciones de metales base.

Para el análisis, evaluación, caracterización e interpretación de los resultados químicos, los datos fueron ploteados en los diagramas incluidos en el programa informático Igpert (*Igneous petrology software*) 2006.

**-Mapa geológico.** El mapa geológico se imprimió sobre la base topográfica editada por el Instituto Geográfico Militar-IGM a escala 1:50 000 en las hojas Jijón y Caamaño (ÑII B3)-La Carolina (ÑIIB4) y fue realizado utilizando el programa informático Arc Gis 10. El sistema de geoposicionamiento utilizado es el Universal Transversal de Mercator –UTM, World Geodetic System 1984 -WGS84, zona 17S.

**-Interpretación de los resultados y redacción del informe final.** Desarrollo y preparación del documento escrito.

## 1.5. ÁREA DE ESTUDIO

### 1.5.1. UBICACIÓN

La zona de estudio se ubica en el norte del Ecuador, en las provincias de Carchi e Imbabura (Figura 1.1). Fisiográficamente es parte de la Cordillera Occidental y de la cuenca hidrográfica media del río Mira. En el área de estudio se encuentran los poblados principales de La Carolina, El Limonal, San Pedro, Jijón y Caamaño, Guallupe, San Juan de Lachas y Gualchán.

El área forma un polígono regular aproximado de 130 km<sup>2</sup>, cuyos vértices se encuentran localizados en las coordenadas: 799500-10087500, 799500-10078000, 815000-10087500 y 815000-10078000, dentro de las hojas topográficas La Carolina - Jijón y Caamaño escala 1:50 000.

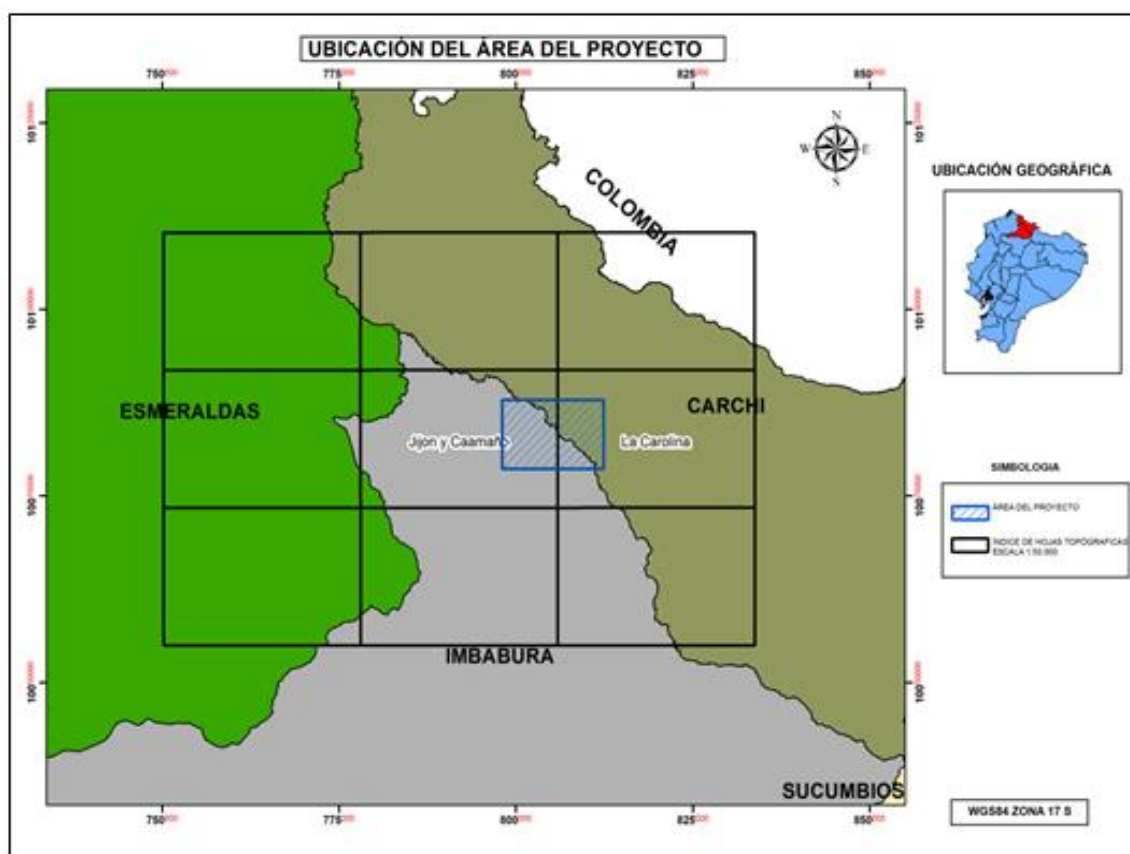


Figura 1.1. Mapa de ubicación del área de estudio (polígono en azul).

### **1.5.2. MORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA**

El área de estudio presenta relieve abrupto y accidentado, propio de las estribaciones de la Cordillera Occidental. La zona exhibe cotas entre los 2600 y 840 metros sobre el nivel del mar. Las elevaciones muestran una morfología irregular presentando pendientes fuertes mayores a 35° y crestas agudas alineadas en dirección noreste y norte-sur.

Al este de la zona de estudio, se exhiben paisajes con geoformas planas e inclinadas debido a la disposición de las laderas y su relación con el buzamiento de los estratos, presentando un desnivel relativo promedio de 480 m. Sobre estas geoformas se sobreimpone una morfología irregular y abrupta relacionada a depósitos volcánicos en el centro-norte del área de estudio.

Las intrusiones están distribuidas en el centro de la zona de estudio, constituyendo geoformas de relieves moderados con colinas subredondeadas de pendiente suave menor a 25° y altitud promedio 1400 m.s.n.m, con suelos arenosos acumulados en las depresiones.

Los cauces menores predominan en la zona, presentando drenaje dendrítico denso no controlado y estrechos valles creando paredes verticales muy escarpadas formando pequeñas cascadas debido a la erosión. Drenaje subparalelo espaciado principalmente en dirección noreste es asociado al cambio brusco de pendiente y al control estructural en los ríos Collapí y San Jerónimo que fluyen en dirección noreste y los ríos Blanco y Tablas que fluyen hacia el suroeste, los cuales confluyen en la cuenca hidrográfica del río Mira.

El drenaje principal constituye el río Mira que forma un amplio valle asimétrico abierto en la zona de estudio (Fotografía 1.1) cuya desembocadura termina en el Océano Pacífico. El río Mira se forma mayormente con las aguas del río Chota que nace en la Cordillera Real y del río Ambi que recoge aguas de las Cordilleras Occidental y Real.

Amplias y largas zonas aterrazadas se encuentran distribuidas en ambos márgenes del río las cuales son utilizadas para cultivos. Las terrazas alcanzan alturas de 100 metros sobre el nivel más bajo del cauce, no obstante terrazas antiguas de 30 metros de altura en el poblado La Carolina indicarían que pueden

sobrepasar ese valor. Además, bancos poco potentes de arena y grava se presentan sobre el afluente.



*Fotografía 1.1. Imagen de un sector de la cuenca hidrográfica del río Mira, mostrando la morfología típica de la región, dominada por montañas con crestas agudas (UTM: 805376-10081967).*

### **1.5.3. ACCESO**

La zona de estudio se encuentra al norte de la ciudad de Quito a 175 km y a 64 km de distancia al noroeste de la ciudad de Ibarra.

El acceso desde el norte de Ibarra se realiza por la vía Panamericana Norte hasta el poblado de Salinas, posteriormente se desvía por la carretera asfaltada Salinas-San Lorenzo, la cual accede al área de estudio.

Otras carreteras son la vía Tulcán-Maldonado-Gualchán-La Carolina de segundo orden y la vía Tulcán-El Ángel-Mira-La Concepción-La Carolina que se encuentra en rehabilitación.

Anteriormente una vía de acceso de gran importancia constituyó la línea férrea Ibarra-San Lorenzo, en la actualidad únicamente llega al poblado de Salinas.

En cuanto a las vías dentro de la zona de estudio, la mayoría son de segundo y tercer orden, senderos y caminos de verano, los cuales en épocas de invierno son difícilmente transitables.

### **1.5.4. CLIMA Y VEGETACIÓN**

El clima en la zona de estudio es diverso, se tiene desde el frío del páramo nublado en la parte de alta montaña pasando por el clima templado cálido en los

poblados El Puerto, San Gerónimo y Gualchán hasta un clima tropical húmedo en los poblados La Carolina, San Pedro y Guallupe.

La temperatura anual varía entre 15-30 °C, con una humedad relativa media de 87.9% y una precipitación anual de 1000 mm a 1400 mm (Estación Meteorológica Lita a 20 km de distancia del área de estudio, INAMHI, 2010). Los vientos son del orden de 7.5 m/s como máximo y 3.5 m/s como mínimo. Otro factor importante es el número de meses secos en la zona de estudio, ya que existe un máximo de nueve meses en las partes bajas y en la parte alta un mínimo de cuatro meses.

La zona posee diversidad ecológica y riqueza en flora y fauna. Vegetación de bosque natural selvático y arbustivo la cual presenta árboles de caoba, roble y guayacán, así como variedades de especies de orquídeas y helechos predominan en la zona, las cuales son productoras de recursos hídricos a pesar de la alta susceptibilidad a la erosión. En las zonas altas de páramo, da paso a las especies vegetales andinas típicas, mientras que en las partes topográficamente medias de la cuenca, se presenta una vegetación suelta y dispersa compuesta principalmente por espinos y flores desérticas. En las zonas bajas, se presenta una vegetación de selva tropical húmeda como palmeras, ceibas y laureles. La región presenta una gran diversidad de fauna, como variedades de aves, reptiles y mamíferos.

#### **1.5.5. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS Y ECONÓMICOS**

En el área de estudio se encuentran los poblados de Collapí, San Pedro, El Puerto, Urbina, La Carolina y Luz de América pertenecientes al cantón Ibarra, Provincia de Imbabura y San Juan de Lachas, Gualchán, Espejo 1, Jijón y Caamaño pertenecientes al cantón Mira, Provincia del Carchi. La población total se estima en 4810 habitantes (INEC, 2012, Parroquia La Carolina-Jijón y Caamaño), principalmente de raza mestiza, constituida mayormente por mujeres, la Población Económicamente Activa (PEA) consiste en el 47.87% (INEC, 2012, Parroquia La Carolina-Jijón y Caamaño).

La economía se basa principalmente en la producción agrícola de guayaba, cabuya, plátano, tomate, papaya, caña de azúcar y arroz en menor cantidad. La

actividad comercial se encuentra ligada a abastecer el mercado local así como los mercados de Ibarra y Esmeraldas debido a su ubicación estratégica. La ganadería es fundamental para la economía del sector debido a la producción de ganado bovino y porcino. La piscicultura va en aumento debido al crecimiento de cultivos de tilapia en varias comunidades (Romero, 2011). Proyectos ecoturísticos relacionados con la recreación y el cuidado del medio ambiente se encuentran impulsados por las comunidades y los gobiernos provinciales autónomos.

## **1.6. TRABAJOS ANTERIORES**

En la década de los 70s y 80s diversos estudios se desarrollaron en la Cordillera Occidental por parte de Kehrer y Van der Kaaden (1979), Lebrat et al. (1985), Egüez (1986), efectuando levantamientos geológicos y obteniendo datos paleontológicos y geoquímicos relevantes.

Durante el período 1985-1991 se desarrolló la cartografía geológica nacional a escala 1:100.000 y 1:50.000. Como parte de este proyecto, la Dirección General de Geología y Minas y el Instituto Ecuatoriano de Minería (INEMIN-DGGM) en el año 1986, generaron las cartas geológicas de Maldonado y Tulcán a escala 1:100.000.

En el año 1990, el Proyecto de Desarrollo del Sector Minero iniciado por parte de la entonces Dirección General de Geología y Minas, junto con la Cooperación Belga desarrollaron el Inventario de los Recursos Minerales Metálicos en el Noroccidente del Ecuador. El doble objetivo de las investigaciones fue efectuar el inventario de los recursos minerales mediante una recopilación de los indicios minerales conocidos además de definir zonas de posibles yacimientos primarios de oro y minerales del grupo del platino (INEMIN-AGCD, 1990). Este proyecto fue acompañado de un muestreo sistemático de sedimentos y de un mapa geológico regional escala 1: 200.000.

Posteriormente en los años 1995-2000, el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA) desarrolló el Programa de Información Cartográfica y Geológica para la Cordillera Occidental. Este proyecto fue apoyado

por el Banco Mundial y los Gobiernos de Ecuador, Suecia y Reino Unido. Los principales objetivos del proyecto fueron generar datos geológicos, geoquímicos y geofísicos para la Cordillera. Estas investigaciones se llevaron a cabo conjuntamente por geólogos del Servicio Geológico Británico (BGS) y la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico-Minero-Metalúrgica (CODIGEM), además de consultores nacionales. Este proyecto generó cartografía para toda la cordillera representada en cinco mapas geológicos a escala 1:200.000 entre cada grado de latitud.

A partir del año 2000, Kerr *et al.* (2002), Hughes y Pilatasig (2002), Jaillard *et al.* (2004), Spikings *et al.* (2005) emitieron otros criterios sobre la evolución estratigráfica y tectónica de la Cordillera Occidental mediante la obtención de nuevos datos geoquímicos permitiendo incrementar el conocimiento geológico regional.

Sin embargo, varios problemas geológicos permanecen sin resolver como la acreción o no del Arco Macuchi y la edad de la Unidad Silante. Intentando responder estas cuestiones, Vallejo (2007), utilizó levantamientos estratigráficos y cortes geológicos así como muestreos procedentes de las unidades geológicas que conforman la Cordillera Occidental del Ecuador, planteando una nueva reinterpretación de la evolución de esta región.



## **CAPÍTULO 2.**

### **MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

#### **2.1. GEOLOGÍA REGIONAL**

La Cordillera Occidental del Ecuador forma parte de los Andes septentrionales y su basamento está caracterizado por la presencia de rocas de origen oceánico, incluyendo plateaus basálticos, arcos de islas, fragmentos ofiolíticos y secuencias volcanosedimentarias. Estas unidades oceánicas son el resultado de varios procesos relacionados a zonas de convergencia y volcanismo intraplaca. Los terrenos oceánicos han sido acrecionados al margen sudamericano desde el Cretácico tardío (Egüez, 1986; Van Thournout, 1991), constituyendo terrenos alóctonos separados por estructuras tectónicas regionales con dirección de rumbo N-S y NE-SW (Boland et al., 2000).

Varios trabajos petrológicos geoquímicos (Kerr et al., 2002; Mamberti et al., 2003) sobre el basamento de la Cordillera Occidental han establecido la presencia de un terreno con afinidades de plateau oceánico denominado como Pallatanga. El terreno Pallatanga está expuesto en el borde oriental de la Cordillera Occidental separado del margen continental por la falla Pallatanga-Pujilí-Calacalí y del borde occidental a través de la zona de cizalla Chimbo-Toachi (Hughes y Pilatasig, 2002) (Figura 2.1). El plateau oceánico Pallatanga está constituido de basaltos, microgabros, diabasas, peridotitas, pillow lavas y hyaloclastitas (Vallejo, 2007). La acreción del terreno con la parte continental de Sudamérica ocurrió en el Cretácico tardío y como resultado se obtuvieron reajustes de edades isotópicas (85-65 Ma) tanto en la Cordillera Real del Ecuador como en la Cordillera Central de Colombia (Aspden et al., 1992). La evidencia a favor de una probable acreción Campaniana la proporciona la discordancia regional entre la Fm. Napo de edad albiana-santoniana y la Fm. Tena de edad maastrichtiana en la Cuenca Oriente (Baldock, 1982), la que Aspden et al. (1992) sugieren que se relaciona con un periodo de levantamiento causado por la acreción de un terreno alóctono a lo largo del sistema de Fallas Pallatanga-Pujilí-Calacalí (CPPF).

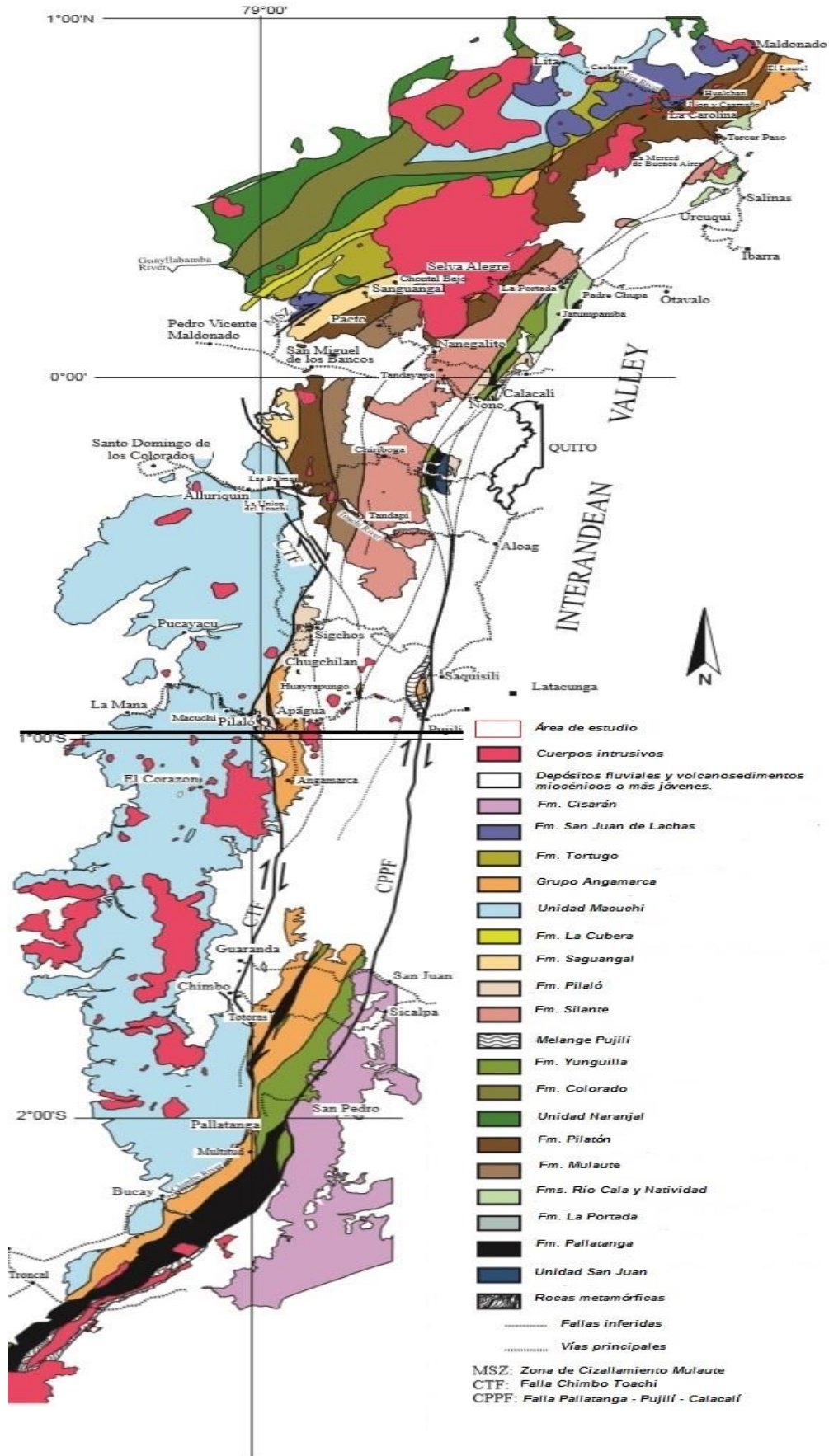


Figura 2.1. Mapa geológico de la Cordillera Occidental entre 1°N-2°30'S (Modificado Vallejo, 2007).

Estudios geoquímicos-petroológicos de rocas del terreno Pallatanga determinan que son típicos de plateau oceánico (Reynauld, 1999; Mamberti, 2003). Geoquímicamente las rocas son similares a los basaltos del Plateau Oceánico Caribe (Vallejo, 2007). Edades radiométricas obtenidas por Vallejo (2007) de rocas pertenecientes al basamento dan como resultado edades de  $87.1 \pm 1.66$  Ma (U/Pb, zircón) y  $84.69 \pm 2.22$  Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , hornblenda).

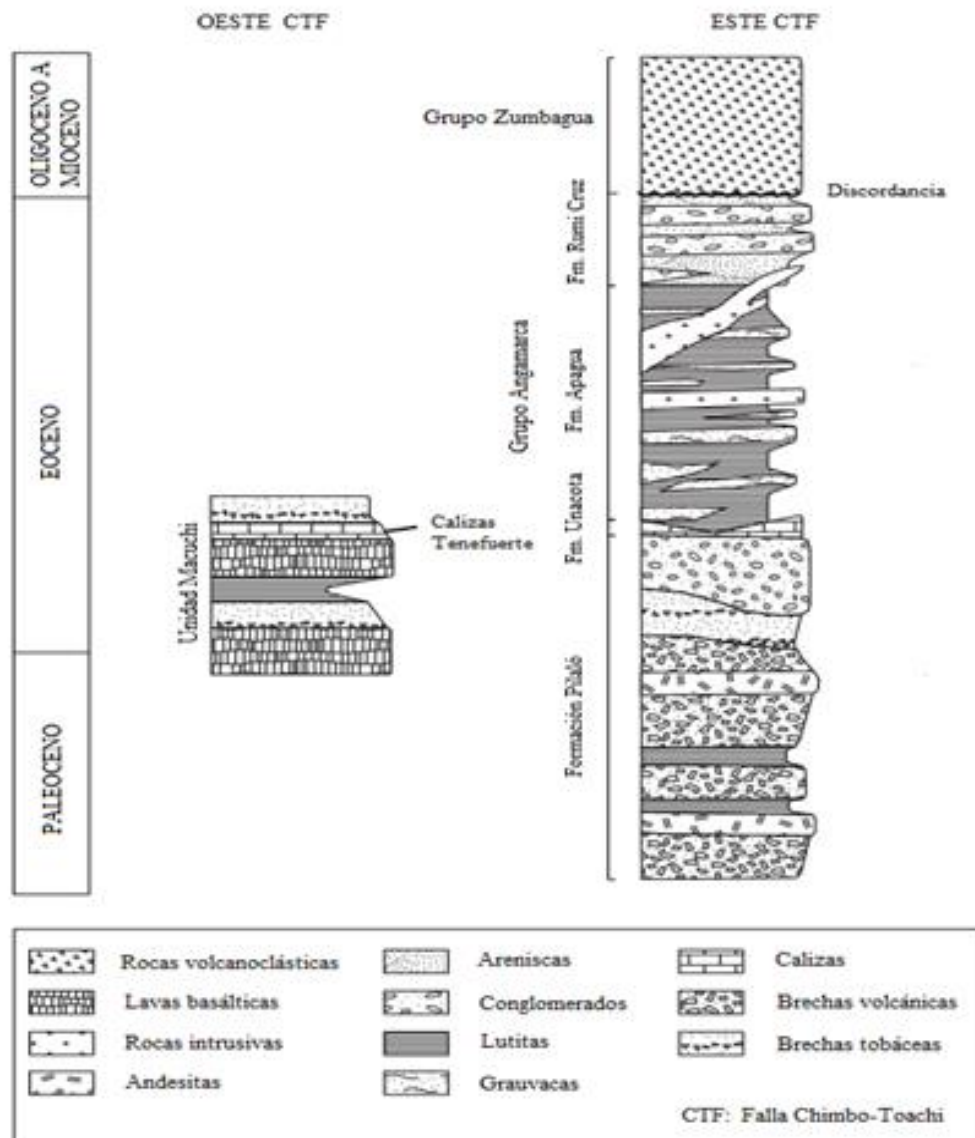
En el norte de la Cordillera Occidental del Ecuador entre  $0-1^\circ\text{N}$ , lavas y productos volcanoclásticos del arco intraoceánico Río Cala de afinidades toleíticas a calcoalcalinas (Vallejo, 2007; Boland et al., 2000) han sido desarrollados sobre el plateau oceánico, cuando el slab fue subducido bajo el plateau hacía el occidente, previo a la acreción del Campaniano (Vallejo, 2007). El arco Río Cala consiste de lavas basálticas a andesíticas con fenocristales de piroxenos mayor a 1cm, brechas volcánicas y areniscas volcanoclásticas en menor cantidad. El arco Río Cala no ha sido datado por métodos radiométricos, sin embargo se encuentra relacionado directamente con la Unidad Natividad sugiriendo que la Unidad Río Cala tiene una edad campaniana a maastrichtiana (Boland et al., 2000).

Esta secuencia de arco puede incluir también al arco Naranjal, el cual aflora al extremo NW de la Cordillera Occidental hacía la zona costera y es separado del terreno Pallatanga por la Zona de Cizalla Mulaute (Boland et al., 2000). El terreno Naranjal es considerado como un bloque alóctono diferente al terreno Pallatanga, el cual se acrecionó en el Eoceno y se compone principalmente de basaltos, hyaloclastitas, pillow basaltos, doleritas y pequeñas intrusiones gabróicas (Kerr et al., 2002). Además, estas rocas están asociadas con lutitas silíceas púrpuras a grises de edad campaniano a maastrichtiano tardío (Boland et al., 2000). Análisis geoquímicos de la Unidad Naranjal realizados por Boland et al. (2000) y Vallejo (2007) exhiben firmas geoquímicas variables relacionadas a ambientes de arco de islas y de plateau oceánico. Por lo tanto, la Unidad Naranjal probablemente incluye dos unidades litotectónicas distintas no diferenciadas cartográficamente.

Por otra parte, El arco Macuchi constituye el lado oeste de la Cordillera Occidental del centro del Ecuador (Kerr et al., 2002; Figura 2.1), y el límite oriental constituye la falla regional Chimbo-Toachi (Hughes y Pilatasig, 2002). La secuencia es predominantemente volcanoclástica (grauvacas, limolitas con líticos volcánicos, brechas soportadas en clastos, cherts, etc.) con intercalaciones de pillow lavas,

andesitas, hyaloclastitas, tobas e intrusiones diabásicas meteorizadas (Egüez, 1986; Hughes y Pilatasig, 2002). La mayoría de las facies de la Unidad Macuchi son productos de erupciones efusivas submarinas a subaéreas de composiciones básicas a intermedias (Hughes y Bermúdez, 1997). Las muestras presentan afinidades geoquímicas de arco de islas con anomalías negativas de Nb, Ta y Ti (Kerr et al., 2002; Chiaradia, 2009), no obstante algunas muestras ricas en Mg pueden ser interpretadas como productos de un arco primitivo (Kerr et al., 2002). Además, rocas con afinidades geoquímicas de "MORB" en la parte occidental del arco Macuchi probablemente corresponden a rocas del piso oceánico (Egüez, 1986; Lebrat et al., 1987). Edades eocénicas para el arco han sido reportadas por Egüez (1986) mediante métodos radiométricos (K-Ar, roca total) en andesitas basálticas y análisis de microfauna radiolaria y foraminífera en turbiditas y calizas respectivamente.

El arco volcánico Macuchi se asocia con una secuencia sedimentaria de edad eoceno medio a tardío, que comprende desde la base hasta la parte superior en brechas con clastos andesíticos y areniscas (Formación Pilaló), calizas marinas (Formación Unacota), litarenitas turbidíticas (Formación Apagua) y conglomerados polimícticos de fan de delta (Formación Rumi Cruz) (Egüez 1986; Hughes y Bermúdez, 1997). Aunque el contacto entre estos sedimentos y el arco volcánico es a menudo tectónico, se considera que la secuencia sedimentaria es la cubierta estratigráfica del arco Macuchi (Hughes y Bermúdez, 1997) (Figura 2.2).



**Figura 2.2.** Columna estratigráfica de la sección Latacunga-La Maná exhibiendo la relación de las unidades geológicas pertenecientes al Grupo Angamarca y el arco Macuchi. Modificado de Vallejo (2007).

El evento de acreción del arco de islas Macuchi es aún objeto de debate. Períodos de exhumación registrados por Spikings et al. (2000) en el Eoceno medio a tardío, así como discordancias angulares entre las rocas de las Unidades Macuchi-Grupo Angamarca con el Grupo Zumbagua indicarían que un evento tectónico acrecionario ocurrió a finales del Eoceno tardío (Hughes y Pilatasig, 2002). Sin embargo, la acreción del arco Macuchi está en discusión y es fuertemente cuestionada por Vallejo (2007), ya que rocas volcánicas de la Unidad Macuchi se presentan en contacto concordante respecto a rocas turbidíticas pertenecientes al Grupo Angamarca en el tramo vial Pallatanga-Bucay sin

evidenciar ninguna discordancia aparente. Sin embargo, una discordancia no necesariamente tendría que existir debido a que las unidades geológicas son coetáneas (Arturo Egüez, comunicación personal).

## **2.2. TECTÓNICA REGIONAL**

La Cordillera Occidental está atravesada por varios sistemas de fallas regionales con una tendencia dominante de dirección NE-SW. Varias de estas estructuras constituyen contactos tectónicos entre unidades geológicas.

Las fallas están evidenciadas por amplias zonas de cizallamiento, fracturamiento y brechación tectónica.

El sistema de fallas Pallatanga-Pujilí-Calacalí (CPPF) ocurre como una serie de fallamientos con dirección de rumbo NE-SW y marca el límite estructural de la Cordillera Occidental al Este (McCourt et al., 1997). Esta zona de falla se interpreta como la extensión sur de la falla Cali-Cauca-Patía de Colombia (Aspden et al., 1987). Hacia el norte del Ecuador, el sistema de fallas Pallatanga se encuentra cubierto por depósitos volcánicos de edad plio-cuaternaria, lo cual dificulta seguir la continuación de la estructura bajo el valle Interandino. Entre 0-1°S, la zona de falla Pallatanga-Pujilí-Calacalí marca el límite oriental de las secuencias cretácicas y terciarias que afloran en la Cordillera Occidental (Hughes y Bermúdez, 1997).

La zona de falla Chimbo-Toachi constituye principalmente una zona de cizalla dúctil que presenta indicadores cinemáticos con movimiento dextral. La falla presenta un rumbo aproximadamente N-S, y un buzamiento desde 45° a 80° (Hughes y Pilatasig, 2002). En el centro del país, la falla Chimbo-Toachi limita la Unidad Macuchi de edad paleoceno tardío a eoceno de las unidades Cretácicas Pilatón, Mulaute y Yunguilla (Hughes y Bermúdez, 1997). En el norte del país entre 0-1°N, la falla constituye el límite entre la Unidad Mulaute y las secuencias litológicas occidentales y forma una extensión de la Falla Toachi-Toacazo, la cual marca el límite occidental de la Zona de Cizalla Mulaute (Boland et al., 2000).

Sistemas de fallas con dirección de rumbo NW-SE pueden estar relacionadas a fallas conjugadas regionales asociadas al mismo campo de esfuerzos (Boland et al., 2000). Al oeste de la zona de la Falla Toachi-Toacazo, en las estribaciones de

la Cordillera Occidental hacía la Costa, un fallamiento define el límite de la Unidad Río Desgracia con la Unidad Naranjal a lo largo del Río Canandé constituyendo la falla Río Canandé. La importancia regional de la falla todavía no es clara (Boland et al., 2000), la estructura tiende a presentar una dirección de rumbo E-W, en donde hacía el Oeste se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios (DINAGE, 2004).

Dos principales zonas de deformación con comportamiento dúctil han sido identificadas entre 0-1°N latitud de la Cordillera Occidental, las mismas que son la Zona de Cizallamiento Mulaute (ZCM) y la zona de cizalla Naranjal (ZCN) (Figura 2.3).

La Zona de Cizallamiento Mulaute (ZCM) tiene un rumbo variable. Al sur de San Miguel de los Bancos, la ZCM presenta una dirección de rumbo NW-SE, mientras que al norte de la misma localidad tiene una orientación NE-SW (Hughes y Bermúdez, 1997). La estructura constituye un cinturón de hasta  $\pm 8$  km de ancho, desarrollando un clivaje penetrativo pizarroso dentro de la unidad del mismo nombre en su zona occidental. Los indicadores cinemáticos son principalmente dextrales. La edad del cizallamiento todavía no es clara, sin embargo se estima una edad eocénica debido a que el batolito de Santiago no se encuentra deformado (Boland et al., 2000).

La Zona de Cizalla Naranjal (ZCN) se extiende desde el Río Guayllabamba hasta el Río Conejales y alcanza una longitud de  $\pm 50$  km con un ancho de  $\pm 2$  km de rumbo variable afectando a la unidad geológica del mismo nombre (Pilatasig y López, 2005). Un clivaje penetrativo definido por cristales elongados de anfíboles en un techo colgante sobre el Batolito de Santiago, puede definir la continuación de la ZCN al Norte. No se conoce la edad de la deformación, sin embargo debe ser anterior al emplazamiento del Batolito de Santiago de edad 44-35 Ma que no está deformado. Probablemente la Zona de Cizalla Naranjal (ZCN) se relacione con la Zona de Cizalla Mulaute (ZCM) (Boland et al., 2000).







establecido para el basamento oceánico de edad cretácica en ambos casos y el nombre "Formación Cayo" fue dado a las secuencias volcanosedimentarias en la costa y el término "Cayo de la Sierra" introducido por correlación.

Nuevas ideas acerca de la estratigrafía de la Cordillera Occidental fueron introducidas por geólogos de la DGGM, quienes proponen que las rocas volcánicas básicas de la Cordillera y de la Costa son de diferente edad y origen. El término Piñón fue restringido para las rocas volcánicas básicas de piso oceánico de la Costa, mientras que el término Formación Macuchi fue creado para las "rocas verdes" de la Cordillera Occidental y los sedimentos cretácicos renombrados como Miembro Chontal (Henderson, 1979).

Kehrer y Van der Kaaden (1979) redefinen las unidades volcanosedimentarias que constituyen parte del basamento, denominando a la antigua Formación Cayo como Formación Pilatón (Miembro Chontal de Henderson, 1979).

En la década de los 80s, la DGGM define a rocas sedimentarias y volcanosedimentarias presentes en el norte de la Cordillera Occidental como Unidad San Jerónimo y Chontal de edad cretácica asociados con los volcanosedimentos del arco cretácico Macuchi.

Un trabajo posterior realizado por Egüez (1986) establece que las rocas volcánicas de la Cordillera Occidental presentan una edad y origen diferente. Egüez determinó la presencia de dos series turbidíticas similares pero de diferente edad, la Formación Yunguilla conocida por ser de edad cretácica a paleocénica temprana y la secuencia joven denominada Formación Apagua considerada de edad eocénica. Egüez restringió el Terreno Macuchi (*sensu stricto*) a rocas volcánicas y volcanoclásticas de edad eocénica temprana a media y reconoció la presencia de basaltos de piso oceánico denominados Unidad Toachi.

En la década de los 80s, el Instituto Ecuatoriano de Minería junto con la Cooperación Belga determinaron la existencia de sedimentos eocénicos mediante micropaleontología incluidos en la Unidad El Laurel, la cual probablemente se encuentre relacionada con las calizas de Selva Alegre y Unacota.

Rocas volcánicas cenozoicas son descritas por primera vez por Salazar (1981) y por INEMIN-AGDC (1990). Estas rocas comprenden una secuencia volcánica de brechas y lavas andesíticas ricas en anfíbol definida como Unidad San Juan de Lachas, la cual presenta una afinidad calcoalcalina de arco continental. Se propone una edad oligocénica basado en métodos radiométricos  $^{40}\text{K}$ - $^{40}\text{Ar}$  (Van Thournout, 1991).

En los años 1995-2000, PRODEMİNCA realiza la cartografía geológica de la Cordillera Occidental por lo que la Fm. Pilatón es redefinida según el ambiente y facies de depositación en las Unidades Pilatón y Mulaute, las cuales presentan un ambiente depositacional de abanico turbidítico submarino proximal a distal respectivamente, provenientes de una fuente volcánica cercana.

En el norte del país, rocas pertenecientes al arco eocénico Macuchi han sido definidas por Vallejo (2007) en base a una edad de  $35.12 \pm 1.66$  Ma mediante el método  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  obtenida en rocas volcánicas expuestas cerca del poblado de Lita (UTM: 783857-10095572) designando como Unidad Macuchi a lo que anteriormente se denominó Unidad Naranjal de edad cretácica (Boland et al., 2000).

## CAPÍTULO 3.

### LITOESTRATIGRAFÍA

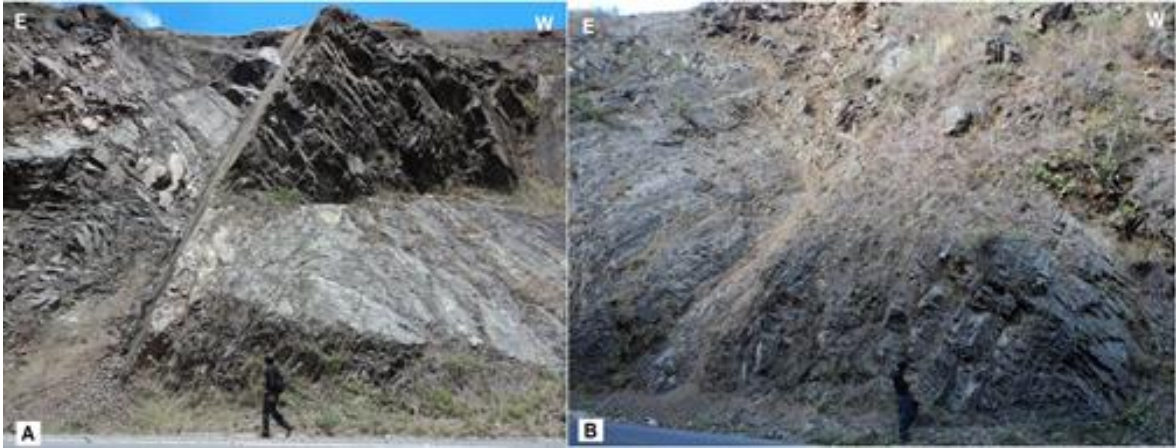
El levantamiento geológico realizado en el área de estudio permitió identificar cuatro unidades geológicas y varios cuerpos intrusivos de diferente edad y composición, descritos en el presente capítulo y representados en el mapa geológico escala 1: 50. 000.

En la descripción se pone énfasis en las unidades geológicas que constituyen el Paleógeno, no obstante se ha descrito la unidad cretácica Pilatón que forma parte del basamento de la Cordillera Occidental. Adicionalmente se describe con mayor detalle la Unidad Collapí, la cual ha sido redefinida en el presente trabajo y es descrita más adelante.

#### 3.1. UNIDAD PILATÓN (K<sub>Pl</sub>)

**Definición.-** Esta secuencia sedimentaria fue previamente definida como Formación Cayo de la Sierra en el Mapa Geológico del Ecuador (SNGM, 1969). Kehrer y van der Kaaden (1979) introdujeron el término Pilatón para capas sedimentarias turbidíticas expuestas en la carretera Aloag-Santo Domingo. En el Mapa Geológico Nacional (Baldock, 1982) estas unidades sedimentarias fueron incluidas en el Miembro Chontal de la Formación Macuchi.

**Distribución y localidad tipo.-** Aflora principalmente la zona oriental del área de estudio. La unidad Pilatón se encuentra bien expuesta en la carretera Ibarra-San Lorenzo en el tramo comprendido entre los poblados El Limonal-La Chorrera de Tablas, en donde se presentan extensos afloramientos de más de 50 metros de altura, en forma de grandes bloques debido a la estratificación y el diaclasamiento (Fotografía 3.1). Esta sección es la más representativa y constituye la sección tipo (UTM: 810864-10078564). Buenas exposiciones se encuentran presentes en los tramos viales de segundo orden entre Plan de Ánimas-El Limonal, San Gerónimo-La Chorrera de Tablas, San Francisco de Tablas-Tablas, además aflora en la Quebrada Río Verde (UTM: 799342-10079520) donde se presentan capas sedimentarias de areniscas y lutitas estratificadas. Afloramientos menores a 5 metros se presentan al sur del poblado de Urbina (UTM: 800248-10080425).



*Fotografía 3.1. Afloramientos de la Unidad Pilatón, Carretera Ibarra-San Lorenzo. (A) Exposición de afloramientos de rocas sedimentarias (UTM: 810864-10078564, La Chorrera de Tablas. (B) Planos de estratificación en rocas sedimentarias cretácicas, los cuales presentan buzamiento al Este (UTM: 809685-10079943).*

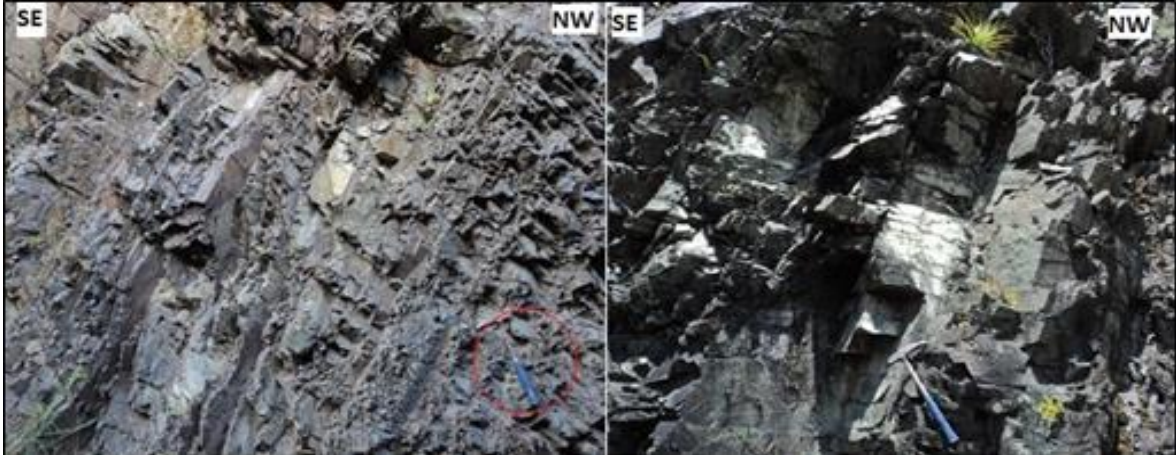
**Litología.-** La unidad se compone de rocas sedimentarias en estratos de espesor variable desde centimétricos hasta métricos (Fotografía 3.2), son en general areniscas, microbrechas, lutitas, limolitas verdes y cherts. Estos estratos se presentan consolidados y silicificados.

Las areniscas presentan tonalidades verdes oscuras con texturas clásticas de grano fino a medio. Exhiben un sorteo moderado y material cementante de composición silíceo. Las rocas están compuestas principalmente por plagioclasas, piroxenos, fragmentos líticos volcánicos, además de minerales secundarios como clorita, cuarzo y epidota. La composición mineral de las areniscas indica una fuente volcánica.

Microbrechas con fragmentos líticos andesíticos han sido observadas en el extremo suroeste de la zona de estudio, cerca de la Qda. Río Verde (UTM: 799517-10079420), así como en el margen derecho del Río Mira (UTM: 810263-10081898). Las brechas son matriz-soportadas con líticos ígneos subangulares de tamaños variables pero no mayor a 1,5 cm. Los clastos se encuentran soportados en una matriz arcillosa-clorítica.

Los sedimentos finos son lutitas y limolitas de color verde oscuro-gris. Las lutitas están fuertemente silicificadas y cloritizadas, presentando buen sorteo y laminación fina. Niveles de cherts verdes, rojos y negros finamente laminados se muestran intercalados entre areniscas de grano medio.

Este conjunto de rocas sedimentarias (areniscas, microbrechas y lutitas) en ocasiones se encuentran cortadas por vetillas cruzadas de cuarzo lechoso debido a soluciones hidrotermales.



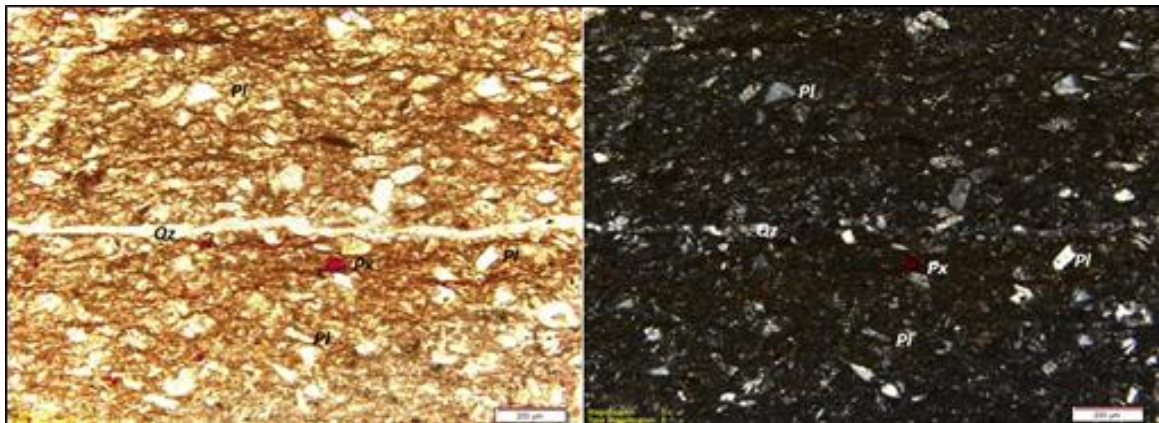
**Fotografía 3.2.** Rocas sedimentarias en estratos de espesor variable de la Unidad Pilatón, Carretera Ibarra-San Lorenzo. (A) Areniscas y grauvacas estratificadas incluyendo capas de cherts (UTM: 809685-10079943). (B) Estratos centimétricos de areniscas con buzamiento el Este (UTM: 810889-10078819).

De manera local, en el tramo vial asfaltado Guadual-La Chorrera de Tablas (UTM: 810900-10079017), filitas verdes son incluidas dentro de la Unidad Pilatón. Las filitas se han generado por deformación dúctil (dinamometamorfismo). Estas rocas contienen sericita, clorita, plagioclasa y talco?, son rocas de bajo grado metamórfico constituyen parte de la Zona de Cizallamiento Oriental (ZCO), estructura tectónica que será analizada posteriormente para establecer las características de la deformación del área de estudio (Ver Capítulo 4).

Análisis microscópicos-petrográficos en areniscas y lutitas, determina un sorteo moderado con tamaño de los componentes minerales entre (125 $\mu$ m-1mm). Las areniscas son matriz-soportadas con empaquetamiento puntual a tangencial y están constituidas por plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno en menor cantidad y como minerales de alteración clorita, epidota, cuarzo, arcillas además de líticos ígneos. Los componentes minerales se encuentran soportados en una matriz microcristalina de clorita anhedral, plagioclasa de tamaño menor a 90 $\mu$ m y limos. Los líticos ígneos son de tamaño promedio 450 $\mu$ m, poco transportados (subangulares), con texturas semitraquíticas. Análisis microscópicos en algunas muestras de areniscas, determinan un alto contenido de matriz mayor al 15%, lo que correspondería precisamente a grauvacas.



Las lutitas presentan microtexturas clásticas de grano fino, bien sorteadas. Las rocas están constituidas por plagioclasa y piroxeno además de minerales secundarios como cuarzo con extinción paralela, clorita anhedral y epidota de birrefringencia alta en cristales granulares (Fotografía 3.3). La matriz constituye los minerales arcillosos y limos. Las lutitas generalmente se encuentran afectadas por vetillas cruzadas de cuarzo hidrotermal en forma de estilolitos micrométricos que llevan soluciones mineralizantes.



**Fotografía 3.3.** Lutita con textura clástica de grano fino afectada por una vetilla de Qz, roca perteneciente a la Unidad Pilatón, Muestra de sección delgada EC-T36 (lente 4x/ 0.13P). Luz transmitida y polarizador cruzado.

**Relaciones estratigráficas y potencia.-** No se ha observado la base de la unidad geológica, sin embargo como constituye la secuencia más antigua expuesta en la zona de estudio, se considera que forma parte del basamento de la Cordillera Occidental. La Unidad Pilatón se encuentra cubierta por la Unidad Collapí y El Laurel en contacto discordante. Por otra parte, el contacto con la unidad oligocénica San Juan de Lachas en el centro de la zona de estudio es tectónico. La unidad Pilatón tiene un espesor aproximado de 1000 m estimado en el tramo La Chorrera de Tablas-Guadual, sin embargo Vallejo (2007) sugiere que puede llegar a los 2000 m.

**Edad.-** Boland *et al.* (2000) mediante estudios micropaleontológicos sugiere una edad maastrichtiana para la secuencia de rocas sedimentarias presentes en la vía Ibarra-San Lorenzo. Vallejo (2007) propone que la Unidad Pilatón fue depositada en el Cretácico tardío, probablemente en el período campaniano-maastrichtiano en base a relaciones estratigráficas, tal y como lo reportó Sigal (1968) basados en estudios de microfauna foraminífera.

### 3.2. UNIDAD COLLAPÍ ( Pal-E?c)

**Definición.-** Deriva su nombre del poblado de Collapí (UTM: 800718-10087675). Definida primera vez por Van Thournout en INEMIN-AGDC (1990) con el nombre de Unidad Collapí, la cual es descrita como un conjunto de areniscas tobáceas con una estratificación bien marcada, a veces retrabajadas, además de tobas y brechas. Boland et al., (2000) incluye esta litología dentro de la Unidad Pilatón y no define la presencia de la Unidad Collapí en la zona de estudio, sin embargo es claro que se trata de un conjunto litológico asociado con la Unidad El Laurel y nuevamente la Unidad Collapí es redefinida en el presente trabajo.

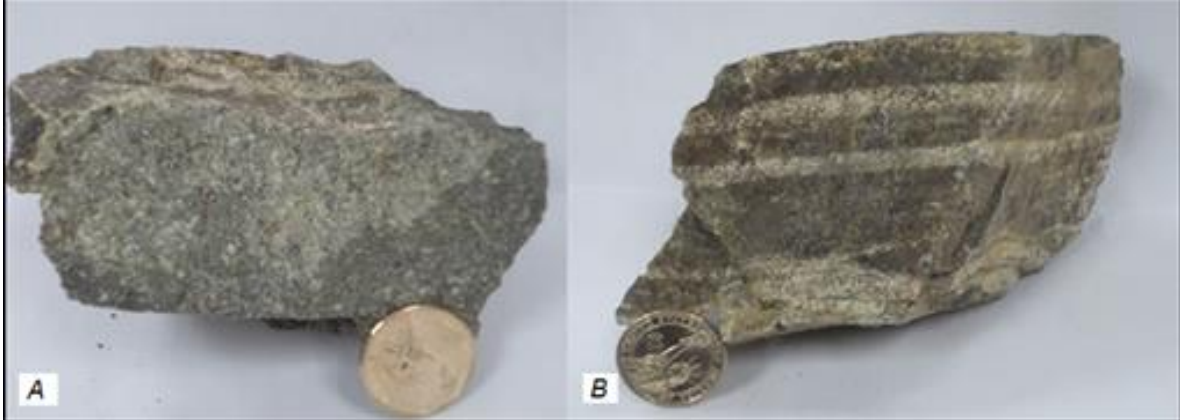
**Distribución y localidad tipo.-** Se localiza en el noroeste de la zona de estudio. El afloramiento tipo se localiza en el margen norte del Río Mira, en la vía lastrada Caliche – Jijón y Caamaño (UTM: 804206-10086553, Fotografía 3.4A) en donde areniscas estratificadas se encuentran en afloramientos de más de decenas de metros.



**Fotografía 3.4.** Afloramientos de la Unidad Collapí, Carretera Caliche-Jijón y Caamaño; Salinas-Lita. (A) Afloramiento y planos de estratificación de rocas volcanosedimentarias de la Unidad Collapí (UTM: 804425-10086659). (B) Afloramiento de rocas volcanosedimentarias de la Unidad Collapí (UTM: 803972-10085138).

Adicionalmente, la unidad geológica aflora en los tramos viales Salinas – Lita, Peña Negra (UTM: 803972-10085138, Fotografía 3.4) y Espejo 1-Gualchán (UTM: 808809-10085099) de primer y segundo orden respectivamente.

**Litología.-** Consiste principalmente de volcanosedimentos estratificados a masivos como areniscas con aporte volcánico, lutitas y tobas cristalinas intercalados entre sí. La litología se detalla a continuación.



**Fotografía 3.5.** Muestra EC-T30 de la Unidad Collapí. (A) Toba cristalina cloritizada de composición andesítica. (B) Arenisca con laminaciones centimétricas de ceniza volcánica producto de erupciones aéreas.

- *Areniscas con aporte volcánico.*

Las rocas constituyen la parte basal de las facies volcanosedimentarias de la unidad geológica (Figura 3.1). Las areniscas están formadas principalmente por piroxeno, plagioclasa, feldespato K en menor proporción, y como minerales de alteración clorita y arcillas. La matriz está constituida de minerales arcillosos y microcristales de plagioclasa, clorita, calcita y vidrio volcánico. La mayoría de las areniscas son de color gris a gris-verde, pero depende de la cantidad de feldespato K en la matriz.

Niveles centimétricos de ceniza volcánica como depósitos de caída se encuentran intercalados entre las capas de areniscas, lo que permite deducir un aporte aéreo proveniente de un arco volcánico contemporáneo (Fotografía 3.5B). Material volcánico piroclástico intercalado entre tobas también ha sido reportado por INEMIN-AGDC (1990).

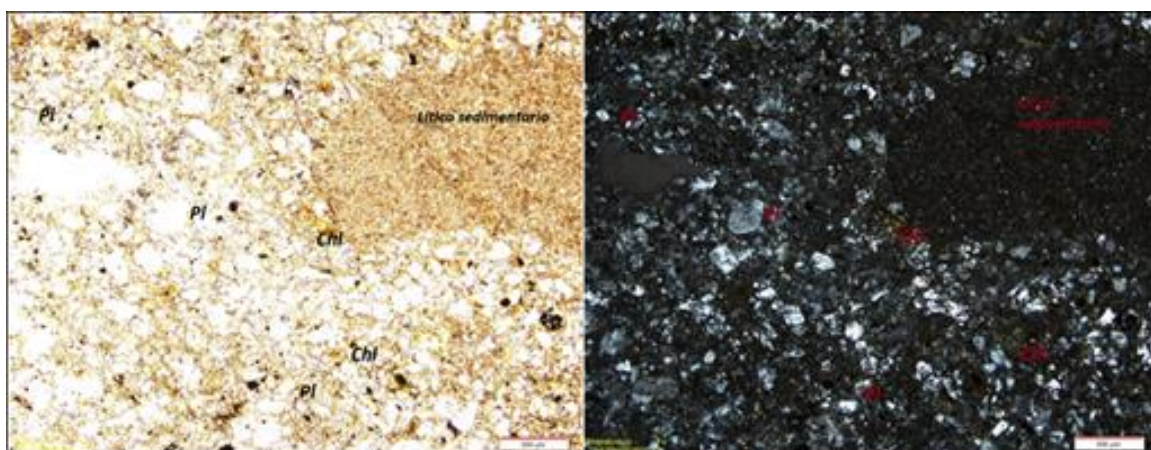
En la Qda. El Rosario (UTM: 803972-10085138) y en la Qda. La Colegiala (UTM: 803983-10085138), las areniscas presentan estructuras “almohadilladas” a manera de pillow por efectos de la meteorización de las rocas.

Análisis mineralógicos-petrográficos en areniscas de la Unidad Collapí, definen una textura clástica de grano grueso (500µm-1mm), con cristales subhedrales inequigranulares. Las rocas están constituidas por líticos sedimentarios subredondeados de tamaño promedio 1.2mm, componentes minerales, matriz y



cemento. Los componentes minerales son plagioclasa de composición intermedia-básica, piroxeno, clorita, vidrio y feldespato-K. La matriz es diagenética arcillosa-limosa con granos de tamaño menor a 100  $\mu\text{m}$  de plagioclasa. El cemento está constituido de arcillas y calcita micrítica, localmente sílice. Las areniscas son grano-soportadas con sorteo moderado a malo y contactos tangenciales entre los granos (Fotografía 3.6).

Análisis por difracción de rayos X (XRD) en areniscas (*Muestra EC-T4, Ver Anexo 4*), determinan que las rocas contienen cuarzo (5.1%), clorita (0.4%), plagioclasa (37.3%,  $An_{20}$ ), feldespato-K (24.4%), muscovita (13.4%), arcillas-zeolitas (19.4%). Además, se ha identificado por XRD un alto contenido en zeolitas cálcicas como laumontita, heulandita y chabazita, las cuales son comunes en ambientes ígneos básicos o en rocas metamórficas de bajo grado de fondo marino (Pablo Duque, comunicación personal).



**Fotografía 3.6.** Muestra de lámina delgada EC-T11, Unidad Collapí. Arenisca con lítico sedimentario subredondeado de tamaño mayor a dos milímetros. Luz transmitida y polarizador cruzado (4x / 0.13P).

- **Lutitas**

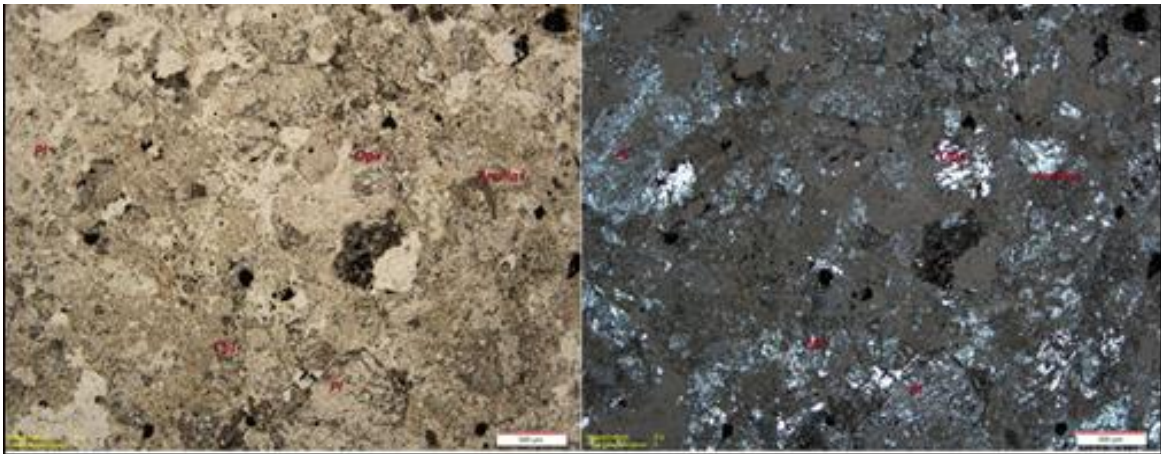
Las lutitas son de color verde-gris, bien sorteadas presentan textura clástica pelítica y bandeamiento muy fino. Estratos centimétricos de lutitas grises se encuentran intercalados entre capas de areniscas volcánicas. Debido al tamaño de grano es complicado determinar el contenido y porcentaje mineral. La silificación singenética es local en las partes finas. Los sedimentos finos presentan un conjunto de estructuras sedimentarias que indican una depositación rítmica probablemente asociada a corrientes mareales.

- *Tobas cristalinas*

Están formadas principalmente por plagioclasa, piroxeno, líticos, clorita, hematita y arcillas. Son rocas volcanoclásticas de grano grueso de composición basáltica a andesítica. La mayoría de las tobas son de color gris oscuro-verde (Fotografía 3.5A). La matriz está constituida de arena, limos y microcristales de clorita, además contiene líticos ígneos subangulares. Las tobas tienen un alto grado de meteorización y en ocasiones se encuentran afectadas por vetillas milimétricas de calcita.

Niveles centimétricos de ceniza volcánica, areniscas y lutitas grises-verdes se encuentran intercalados entre estas rocas volcanoclásticas.

Análisis microscópicos petrográficos en tobas presentan una microtextura clástica con cristales subhedrales disgregados y rotos. Las rocas están constituidas por líticos andesíticos subangulares a subredondeados de tamaño promedio 750  $\mu\text{m}$  (9%), componentes minerales (51%) y matriz (40%). Los componentes minerales son plagioclasa ( $An_{40}$ ), ortopiroxeno, clinopiroxeno en menor cantidad, clorita anhedral, arcillas, pirita e ilmenita. La matriz de las rocas está constituida por ceniza volcánica, arcillas, vidrio volcánico y microlitos de plagioclasa.



**Fotografía 3.7.** Muestra de sección delgada EC-T9. Toba cristalina cloritizada con aporte volcánico perteneciente a la Unidad Collapí. Fotografía en luz transmitida y polarizador cruzado (4x/0.13P).

Las tobas presentan un soporte en granos, así como mal sorteo y no exhibe material cementante, es decir los componentes están soldados (Fotografía 3.7).

**Relaciones estratigráficas y potencia.-** La Unidad Collapí se encuentra dispuesta discordante sobre la Unidad Pilatón. Esta unidad se encuentra cubierta por la Unidad El Laurel también en contacto aparentemente discordante y por la

Unidad San Juan de Lachas a manera de una discordancia erosional (Figura 3.1). La base de la unidad geológica no ha sido observada. Se estima un espesor aproximado de 700 metros en el margen derecho del Río Mira hacia el Río Blanco, sin embargo la exposición es bastante mala y es posible que la Unidad Collapí se encuentre plegada.

**Edad.-** Debido a la falta de dataciones en el presente trabajo, este estudio considerada edades relativas para establecer la edad de la Unidad Collapí.

**-Estratigrafía secuencial.-** Debido a que la Unidad Collapí se encuentra cubierta por rocas eocénicas de la Unidad El Laurel, se considera que la edad de la Unidad Collapí deberá ser paleoceno a eoceno inferior. INEMIN-AGDC (1990) considera una edad eocénica para la Unidad Collapí, sin embargo no se da mayor información.

**Interpretación.-** La mineralogía descrita en rocas pertenecientes a la Unidad Collapí sugiere una fuente volcánica de composición básica a intermedia. Niveles de depósitos de caída de ceniza intercalados entre areniscas volcánicas y tobas cristalinas sugiere la existencia de un volcanismo contemporáneo a la depositación de la Unidad Collapí de edad probable paleoceno a eoceno inferior. Sin embargo, hay que establecer también ciertas consideraciones regionales debido a la ubicación del área de estudio tan cerca a la frontera colombiana. En la Cordillera Occidental de Colombia equivalente a la Cordillera Occidental del Ecuador, específicamente sobre el terreno Dagua, no ha sido reportada la presencia de rocas paleo-eocénicas (Restrepo y Toussaint, 1988), lo cual constituye un problema con respecto a la extensión de un arco volcánico de edad paleógena en los Andes septentrionales entre Ecuador y Colombia.

### 3.3. UNIDAD EL LAUREL (E<sub>L</sub>)

**Definición.-** El término fue previamente introducido por Van Thournout (1991), el cual describió como una serie de areniscas de grano fino, las cuales se superponen a calizas en el norte de la Cordillera Occidental. Vallejo (2007),

considera que la unidad forma parte del Grupo Angamarca basado en similitudes petrográficas, las cuales se discutirán más adelante.

***Distribución y localidad tipo.***- Se encuentra en afloramientos de pocos metros de altura distribuidos de manera muy local en la zona de estudio. Aflora en la vía lastrada Tablas-San Francisco de Tablas (Fotografía 3.8), en el margen derecho del Río Mira a manera de un lente tectónico (UTM: 809000-10081436) y en la comunidad El Puerto (UTM: 803879-10082422) en donde se exhiben lutitas deformadas en afloramientos de decenas metros de altura. Adicionalmente, cerca del poblado San Juan de Lachas (UTM: 807284-10082889) se presenta a manera de un lente tectónico, el cual no es cartografiable a la escala de trabajo, sin embargo por efectos de la importancia para explicar el modelo geológico de la zona se ha exagerado la escala.

La mejor exposición se observa cerca del poblado Espejo 1, en las calizas Gualchán (UTM: 808872-10085123) donde se presenta el cuerpo calcáreo intercalado entre lutitas negras cizalladas.

***Litología.***- La unidad geológica consiste de rocas sedimentarias como lutitas y areniscas de grano fino, además presenta intercalaciones de calizas bioclásticas de espesores métricos. El estrato calcáreo más importante de la zona de estudio es denominado Calizas Gualchán. La litología se detalla a continuación.

- *Lutitas y areniscas de grano fino.*

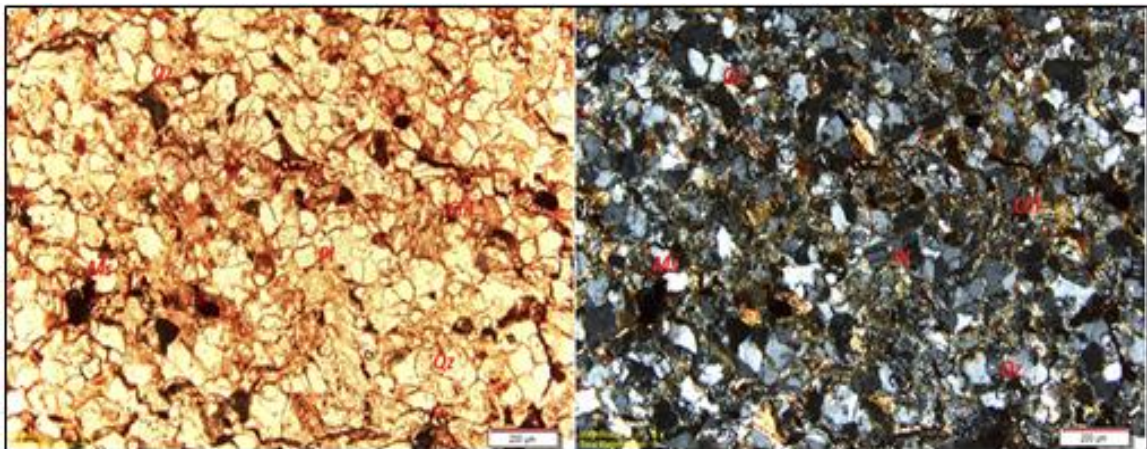
Las lutitas y areniscas de grano fino presentan texturas clásticas con laminaciones milimétricas. Las rocas tienen un alto contenido de minerales arcillosos y materia orgánica (substancias carbonosas). Las lutitas están formadas también por filosilicatos observados sobre los planos de fisibilidad. En la comunidad El Puerto, lutitas negras presentan un alto contenido de calcita producto de la disolución y precipitación de carbonato de calcio proveniente de los niveles calcáreos.





**Fotografía 3.8.** Afloramiento de lutitas grises estratificadas (So) pertenecientes a la Unidad El Laurel. Vía de tercer orden San Francisco de Tablas-Tablas (UTM: 809460-10081734).

Análisis microscópicos en lutitas y areniscas presentan microtexturas clásticas de grano fino (63-125  $\mu\text{m}$ ). Las rocas presentan buen sorteo y microestructura laminada muy fina. Las lutitas están constituidas por componentes minerales (80%), matriz (10%) y cemento (10%). Los componentes minerales se encuentran formados por cristales de plagioclasa ( $An_{30-36}$ ), cuarzo, muscovita, clorita y minerales opacos de alto relieve (Fotografía 3.9). Los cristales están soportados en una protomatriz constituida por limos, clorita y arcillas. El material cementante es de composición silíceea. En ocasiones, las rocas se encuentran afectadas por vetillas de cuarzo hidrotermal.



**Fotografía 3.9.** Subarcosa de microtextura clástica de grano fino con cristales de cuarzo, micas y plagioclasa (Muestra de lámina delgada EC-T49). Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).

Por otra parte, areniscas están formadas por minerales de origen volcánico (plagioclasa y máficos) y minerales de alteración como clorita y arcillas. La matriz está constituida de minerales arcillosos, microcristales de plagioclasa, micas, clorita y vidrio. Además, clastos de calizas de dimensiones métricas se encuentran soportados dentro de las areniscas masivas. Estos bloques constituyen calizas bioclásticas retrabajadas y ubicadas hacia el tope de la Unidad El Laurel. Afloramientos de mega-clastos de calizas se observan en la vía de segundo orden La Carolina-El Puerto principalmente en estas tres localidades (UTM: 803121-10081690, UTM: 804848-10082271, UTM: 803879-10082422).

Análisis por difracción de rayos X (XRD) en lutitas pertenecientes a la Unidad El Laurel (Muestra EC-T41, Ver Anexo 4) determinan el contenido y porcentaje mineral, los cuales se detallan a continuación.

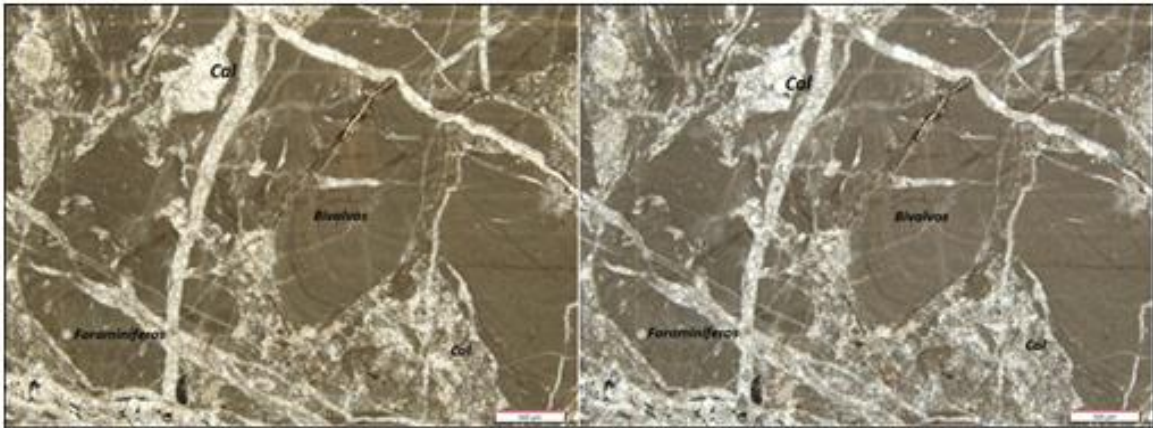
Cuarzo (42.3%), clorita (19.9%), grupo de las plagioclasas (16%,  $An_{16}$ ) y muscovita (21.8%).

- *Calizas bioclásticas*

Las calizas son rocas organodetríticas arrecifales y están formadas por organismos fosilíferos como algas, conchas y corales. Estas rocas tienen estructuras químicas como microestilólitos y se encuentran afectadas por vetillas cruzadas y grietas de tensión rellenas de calcita. Las calizas bioclásticas son claras, de color gris.

Análisis microscópicos en calizas definen texturas organodetríticas-bioclásticas con microestructuras oolíticas y estilolíticas. Las rocas están formadas por minerales, matriz, cemento y organismos fosilíferos. Los componentes minerales son calcita (25%) y aragonita ( $\leq 5\%$ ). La matriz es limosa-micrítica de grano fino (30%) y cemento calcáreo-esparítico (8%), el cual adhiere los componentes con la matriz. Las calizas presentan microfósiles como bivalvos, algas, corales, y foraminíferos, constituyendo el 32% de la roca (Fotografía 3.10). Varios autores han propuesto clasificaciones para rocas carbonatadas utilizando criterios como la textura y energía del medio en que se formaron, las cuales permiten clasificar a las calizas de la zona en Boundstone-Grainstone (Clasificación textural de Dunham) y Bioquímica (Clasificación textural de Folk) ya que presentan

componentes ortoquímicos micríticos y esparíticos, además de soporte de granos y contactos tangenciales entre los componentes de las rocas.



**Fotografía 3.10.** Caliza bioclástica con microfósiles de bivalvos y foraminíferos afectada por vetillas cruzadas de calcita cristalina, Muestra de sección delgada EC-T60. Luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).

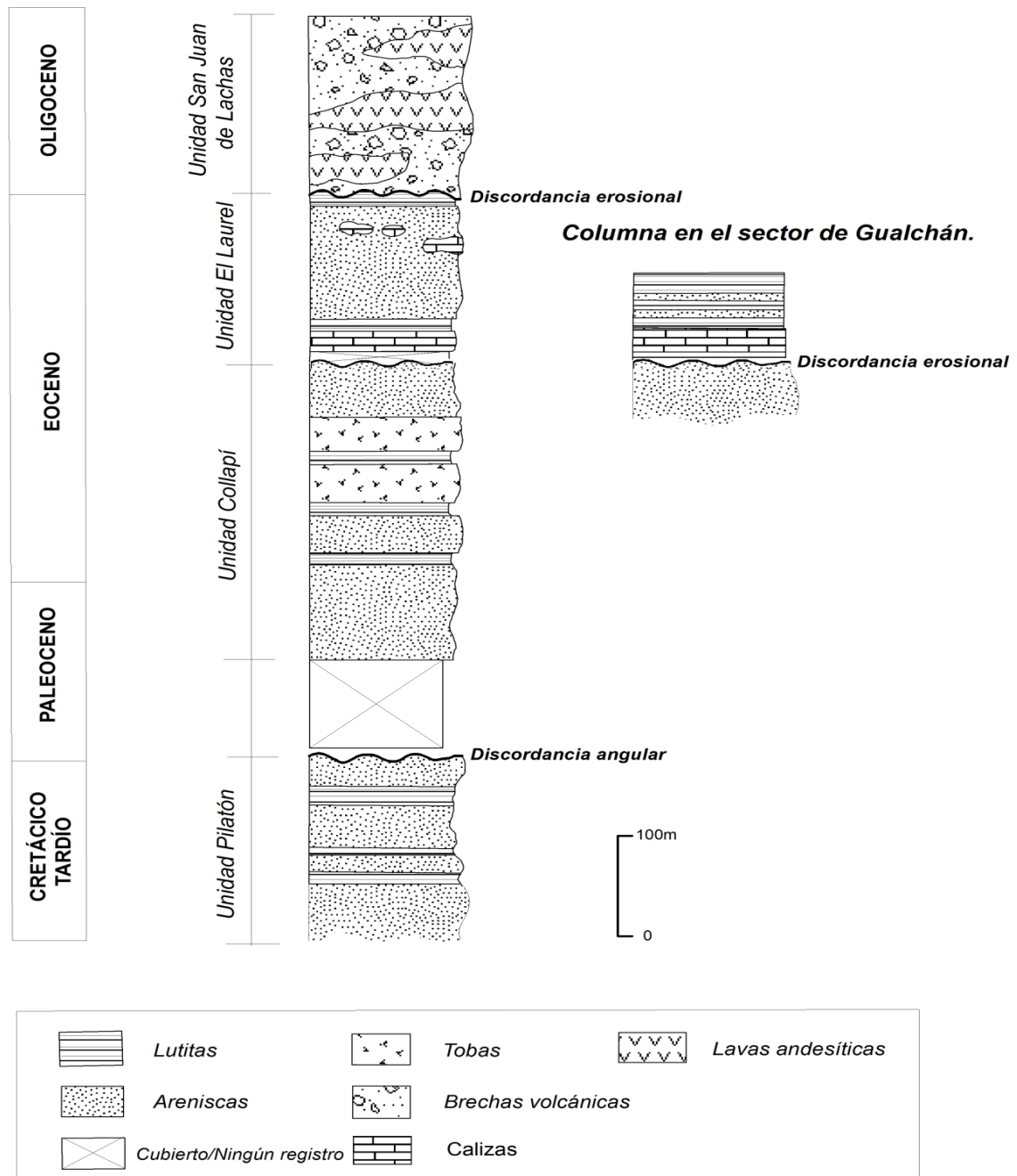
**Relaciones estratigráficas y potencia.-** La unidad El Laurel se encuentra sobre la Unidad Collapí dispuesta en forma discordante en el centro norte de la zona de estudio. En la esquina suroeste del área de estudio, se presenta en forma de lentes tectónicas controlados por fallamientos locales.

En la zona de estudio no se precisa una relación directa entre las rocas de la Unidad El Laurel y la Unidad San Juan de Lachas, no obstante se estima que las rocas volcánicas de la Unidad San Juan de Lachas se encuentran sobre la Unidad El Laurel a manera de una discordancia erosional.

La unidad geológica presenta una potencia aproximada de 500m en la zona de estudio, sin embargo se sugiere que puede sobrepasar tal espesor alcanzado los 750 metros (INIGEMM, 2013 B).

**Edad.-** La edad de la Unidad El Laurel está basada en análisis micropaleontológicos de foraminíferos presentes en las calizas de Gualchán realizados en trabajos anteriores. Una edad eocénica (Lutetiano) a miocénica inferior fue atribuida por Durán (1983) para las rocas bioclásticas de Gualchán. Años más tarde, Wernli (1986) y Butterlin (1986) establecieron para las calizas edades entre eoceno medio a oligoceno. En base a la información anterior, se considera una edad eocénica media para las rocas calcáreas pertenecientes a las calizas ubicadas hacia la base de la Unidad El Laurel y el tope de la Unidad probablemente constituya el Eoceno tardío.

**Interpretación.-** Análisis microscópicos petrográficos de la Unidad El Laurel, determinan un aporte continental basado en el contenido mineral presente en las muestras analizadas. Además, la composición mineralógica es muy similar a los análisis microscópicos de la Unidad Apagua descritos en McCourt et al. (1997). Por otra parte, los sedimentos turbidíticos de la Unidad El Laurel fueron depositados en la parte distal de un abanico submarino proveniente de la emergente Cordillera Real.



**Figura 3.1.** Columna estratigráfica general de las unidades paleógenas que conforman la zona de estudio.



### 3.4. UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS (OM<sub>Sjl</sub>)

**Definición.-** La unidad fue descrita por primera vez por Salazar (1981). Deriva su nombre del poblado San Juan de Lachas, en la margen derecha del Río Mira. Van Thournout (1991) define a la Unidad San Juan de Lachas, como una secuencia de andesitas y brechas que afloran en la carretera Salinas-Lita.

**Distribución y localidad tipo.-** La unidad geológica volcánica se encuentra presente en el centro occidente de la zona de estudio, en ambos márgenes del Río Mira. Extensos afloramientos se presentan en la carretera Ibarra-San Lorenzo, en los tramos viales La Carolina - Peña Negra (UTM: 806374-10082684) y Llano Grande - San Pedro (UTM: 802062-10087175) en donde afloran buenas secciones de autobrechas con intercalación de lavas andesíticas. Buenas exposiciones se encuentran en la vía San Juan de Lachas-La Julia (UTM: 806243-10083226) al norte del Río Mira en la confluencia con el Río Blanco, así como en el centro norte de la zona de estudio en la Qda. Gualehancito (UTM: 808256-10086899) en donde se observa un predominio de autobrechas volcánicas expuestas en afloramientos que superan las decenas de metros de altura.

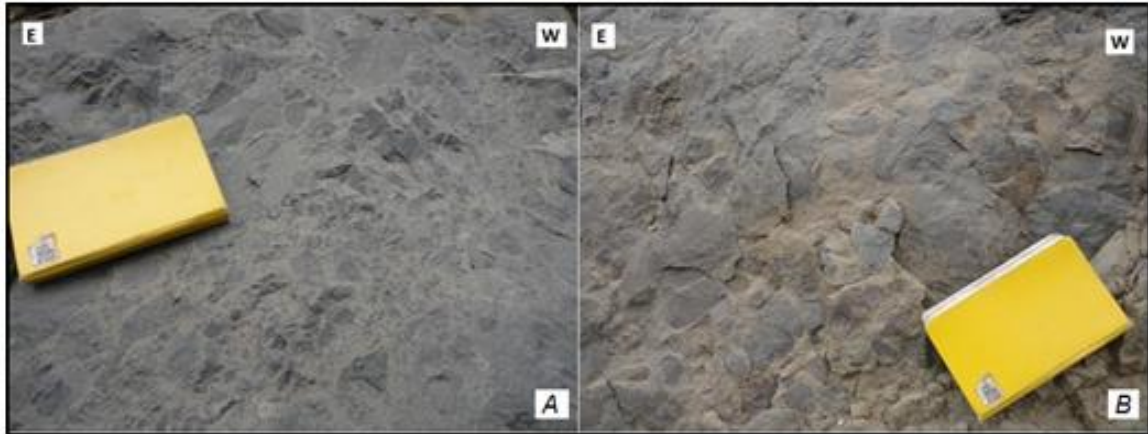
**Litología.-** Consiste principalmente de autobrechas, lavas de composición andesítica, volcanosedimentos y diques ricos en anfíboles. La litología se detalla a continuación.

- *Autobrechas*

Las autobrechas de color gris oscuro-azul están soportadas en una matriz lávica, con estructuras masivas a ligeramente fluidales y remanentes magnéticos. Estas rocas contienen clastos angulares de tamaño centimétrico a métrico (Fotografía 3.11; Fotografía 3.12).

Los clastos son ígneos andesíticos, presentan fenocristales de plagioclasa y matriz afanítica. Además, clastos con tonalidades rojizas de textura porfirítica con fenocristales de hornblenda y plagioclasa se presentan en menor cantidad.

La matriz está constituida por lava presentando cristales de plagioclasa y piroxenos aislados.



**Fotografía 3.11.** Brecha volcánica con líticos andesíticos angulares. Unidad San Juan de Lachas (UTM: 807143-10084975). (A) Autobrecha fresca con matriz lávica. (B) Autobrecha andesítica con alteración argílica.

Cerca del poblado Jijón y Caamaño (UTM: 807143-10084973), las brechas volcánicas se encuentran meteorizadas y alteradas. Meteorización esferoidal formando cascarones externos de arcillas afectan a las brechas desde afuera hacia adentro (Fotografía 3.12). En la misma zona, las brechas presentan alteración propilítica ( $\text{Chl} \pm \text{Ep} \pm \text{Arc} \pm \text{Cc}$ ).

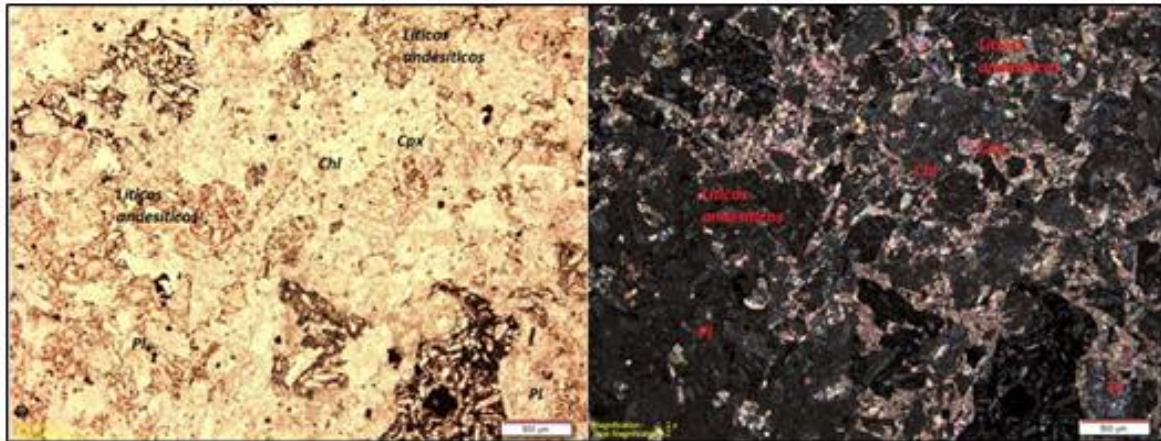


**Fotografía 3.12.** (A) Meteorización esferoidal formando cascarones de arcillas en autobrechas andesíticas (UTM: 805710-10084109). (B) Líticos andesíticos subangulares de gran tamaño.

Lavas andesíticas anfibólicas y areniscas con aporte volcánico se presentan intercaladas dentro de las brechas.

Análisis microscópicos petrográficos en brechas volcánicas presentan microtexturas brechosas uniformes (Fotografía 3.13), están constituidas de líticos volcánicos (11%), fenocristales (44%) y matriz (45%). Los líticos son andesíticos con contenidos minerales de anfíboles y plagioclasas. Además, son líticos subangulares de tamaño promedio 1.5 mm.

Los fenocristales incluyen plagioclasa maclada ( $An_{48}$ ), clinopiroxenos y hornblenda con coronas de oxidación bien marcadas, como minerales de alteración clorita, calcita y arcillas. La matriz de las brechas es microlítica-felsofídica formada por cristales de plagioclasa de tamaño menor a  $100\ \mu\text{m}$ , ceniza volcánica y arcillas.



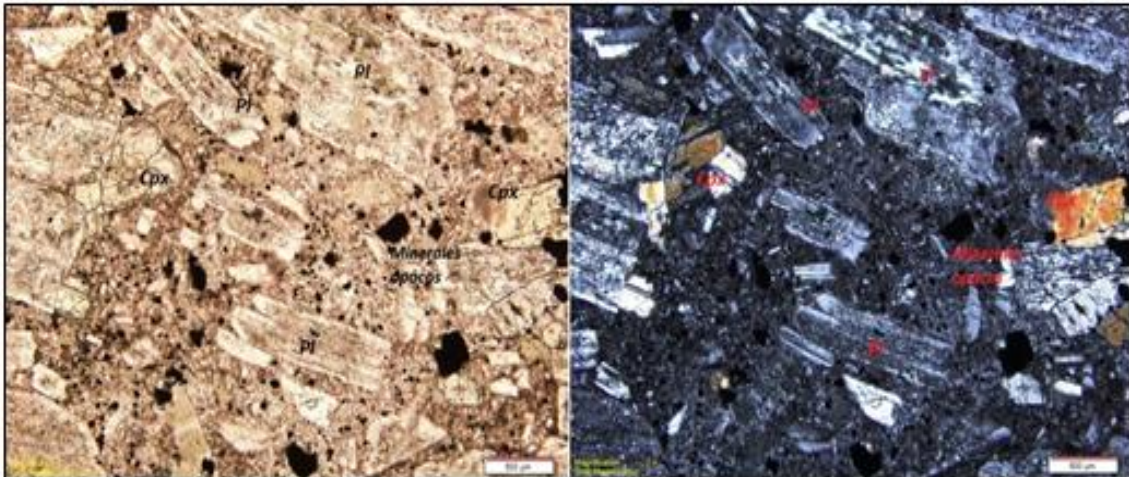
**Fotografía 3.13.** Líticos subangulares andesíticos de tamaño  $900\ \mu\text{m}$  en brechas, Muestra de lámina delgada EC-T39. Luz transmitida y polarizador cruzado ( $4x/0.13P$ ).

- **Andesitas**

Lavas andesíticas hornbléndicas de color gris claro a oscuro conforman también la unidad geológica. Las rocas presentan estructuras masivas con bajo grado de meteorización. Las andesitas poseen una textura porfírica con fenocristales de anfíboles tamaño  $\leq 8\ \text{mm}$ , plagioclasas y ocasionalmente piroxenos, además como minerales de alteración presentan clorita, calcita y arcillas en menor cantidad. La matriz de las andesitas es afanítica-vitrofídica.

Análisis petrográficos en rocas andesíticas de la Unidad San Juan de Lachas definen microtexturas hipocristalinas porfíricas con cristales subhedrales y microestructuras orientadas-masivas. Las andesitas presentan fenocristales de plagioclasa ( $An_{40-46}$ ) a veces zonados, hornblenda y clinopiroxeno maclado. Minerales de alteración como clorita verde y arcillas finogranulares conforman el contenido mineral. La matriz es microlítica fluidal-semitraquítica, formada de microlitos de plagioclasa, clorita y minerales opacos además de ceniza volcánica y vidrio. La cantidad de minerales opacos se estima en un 5% del contenido total de las muestras analizadas (Fotografía 3.14).





**Fotografía 3.14.** Fenocristales de plagioclasas, piroxenos y matriz microlítica con minerales opacos en andesita, Muestra de sección delgada EC-T38. Fotografía en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).

- **Areniscas**

Areniscas volcánicas de grano medio se encuentran intercaladas entre las brechas hacia el tope de la unidad geológica. Las areniscas poseen cristales rotos de plagioclasa y máficos en una matriz areno-arcillosa. Las rocas presentan minerales de alteración como clorita, arcillas y calcita. No se observan líticos volcánicos presentes en las rocas.

**Relaciones estratigráficas y potencia.-** La unidad San Juan de Lachas se encuentra discordante sobre la Unidad Collapí de edad paleocena a eocénica media. Constituye la unidad volcánica paleógena más joven de la zona de estudio. Se estima un espesor de 700 metros.

**Edad.-** Vallejo (2007) sugiere una edad oligocénica de  $32.9 \pm 1.2$  Ma para una andesita hornbléndica datada mediante el método radiométrico  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  cerca del poblado de Jijón y Caamaño (UTM: 806395-10083179), la cual coincide con una edad de 32.6 Ma obtenida por Van Thournout (1991) basado en el método K-Ar para un dique hornblendítico que corta lavas de la unidad San Juan de Lachas. Boland *et al.* (2000) obtiene dos edades diferentes dentro de la zona de estudio mediante el método radiométrico K-Ar en hornblenda, una edad en el margen norte del Río Mira (UTM: 806299-10083373) de  $32.6 \pm 1.3$  Ma y otra cerca del poblado de San Pedro (UTM: 801907-10087128) de  $19.8 \pm 3.1$  Ma. Los datos

sugieren que la unidad San Juan de Lachas fue originada durante el Oligoceno y el evento volcánico posiblemente se extendió hasta el Mioceno temprano.

### 3.5. CUERPOS INTRUSIVOS Y DIQUES

Se encuentran distribuidos en el área de estudio. A continuación se describen en orden cronológico relativo basados en las unidades litológicas que cortan los cuerpos intrusivos y diques.

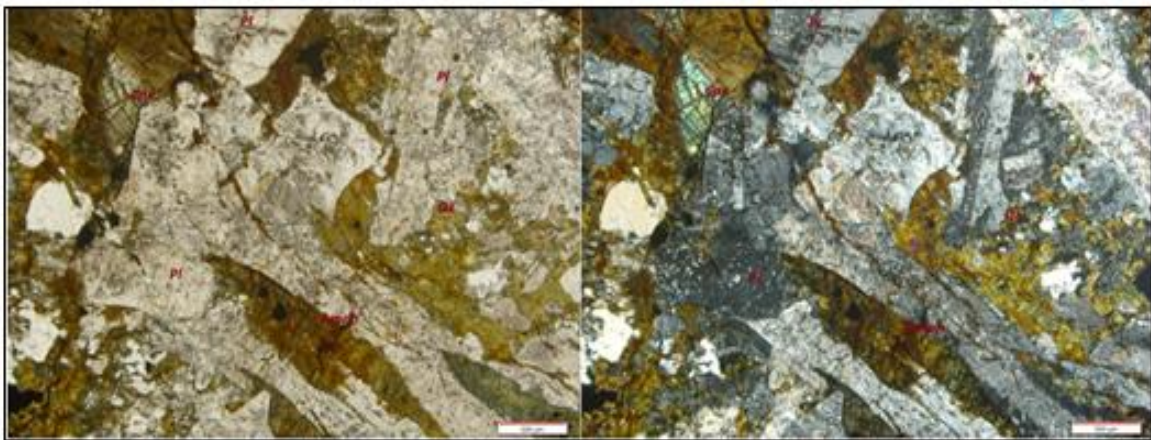
#### 3.5.1. INTRUSIVO EL PUERTO (D<sub>1</sub>)

Se localiza al centro occidente de la zona de estudio, en la vía de segundo orden La Carolina-Urbina (UTM: 802962-10081429). El cuerpo intrusivo tiene una extensión aproximada de 1,3 km<sup>2</sup> (Fotografía 3.15). La intrusión es diorítica de grano medio a grueso con textura fanerítica. Las rocas contienen minerales principales de plagioclasa gris y piroxenos. Minerales de alteración constituyen clorita, arcillas, limonita y epidota en menor cantidad. Las dioritas se encuentran afectadas por vetillas cruzadas de cuarzo hidrotermal. El cuerpo intrusivo se presenta meteorizado e intruye a rocas cretácicas de la Unidad Pilatón.



**Fotografía 3.15.** Geoforma redondeada relacionada con el cuerpo intrusivo El Puerto, el cual aflora en la vía La Carolina-Urbina, cerca del poblado El Puerto (UTM: 803542-10081713).

Análisis microscópicos petrográficos en rocas del intrusivo El Puerto, definen una microtextura holocristalina fanerítica de grano medio a grueso con cristales euhedrales a subhedrales (Fotografía 3.16). Las rocas están constituidas por cristales de plagioclasa ( $An_{58}$ ), clinopiroxeno, ortopiroxeno y anfíbol (<2%). La roca se encuentra alterada por lo que presenta minerales de clorita, cuarzo con extinción paralela y en forma de vetillas, epidota y arcillas finogranulares producto de la alteración de las plagioclasas. Como minerales opacos se presentan pirita y hematita. El cuerpo intrusivo sufre alteración característica de rocas básicas (saussuritización) es decir transformación de plagioclasa cálcica en epidota.



**Fotografía 3.16.** Diorita con textura fanerítica de grano medio con fenocristales de plagioclasa y clorita, Muestra de lámina delgada EC-T83. Fotografía en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).

### 3.5.2. INTRUSIVOS HORNBLENDÍTICOS (D<sub>2</sub>)

Los cuerpos máficos se encuentran bien expuestos en los tramos viales de segundo orden La Carolina-Urbina cerca del poblado La Carolina (UTM: 806569-10082179) y en el margen derecho del Río Mira entre San Juan de Lachas-El Cabuyal (UTM: 808272-10083638) denominados *Intrusivos La Carolina* y *El Cabuyal* respectivamente.

Las hornblenditas presentan texturas faneríticas de grano medio a grueso, como minerales primarios se observan plagioclasas, anfíboles, piroxenos en menor cantidad y como minerales de alteración poseen alto contenido de clorita, arcillas y limonita. Los cristales de anfíboles se presentan orientados y entrecrecidos a manera de estructura fluidal (Fotografía 3.17). Las rocas se encuentran afectadas por vetillas cruzadas de cuarzo hidrotermal, recristalizando las rocas.



Cerca del poblado La Carolina (UTM: 806569-10082179), se observan bordes quemados con coloraciones ocre-rojizas en areniscas cretácicas por efectos del emplazamiento de la intrusión básica. Los cuerpos intrusivos se encuentran emplazados dentro la Unidad Pilatón, es decir probablemente las intrusiones son de edad paleocena a eocena.

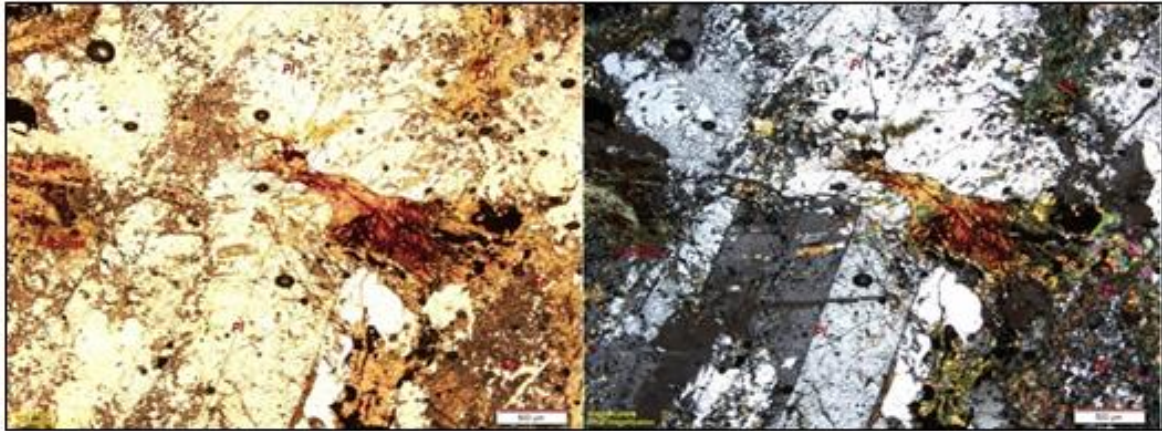
Van Thournout en INEMIN-AGDC (1990) reporta gabros ricos en hornblendas cerca del sector de Cachaco (A 10 km de distancia de la zona de estudio) y en base a métodos radiométricos ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , hornblenda) sugiere una edad eocénica media ( $45\pm 9$  Ma). Es muy probable que constituyan cuerpos máficos de similar naturaleza a los intrusivos reportados en el presente trabajo.



**Fotografía 3.17.** Roca hornblendítica recristalizada con fenocristales entrecrecidos de hornblendas. Tramo vial San Juan de Lachas-El Cabuyal (UTM: 808272-10083638).

El análisis petrográfico-microscópico determina que las rocas tienen una microtextura hipidiomórfica granular holocristalina con cristales equigranulares subhedrales a euhedrales. En ciertas zonas, las hornblenditas presentan microtexturas mirmequíticas. Como minerales principales contienen plagioclasa cálcica ( $\text{An}_{60-72}$ ), hornblendas en tonalidades verde oliva y clinopiroxeno. Como minerales secundarios se encuentran cuarzo producto de la disolución de las plagioclasas como entrecrecimiento micrográfico, clorita, epidota granular con birrefringencia alta y arcillas. La presencia de minerales metálicos es representada por cristales opácos euhedrales poligonales ( $\leq 2\%$ ). En las rocas se presentan soluciones hidrotermales, las cuales han desarrollado cristales de cuarzo, plagioclasa y anfíboles, es decir una recristalización posterior a la

formación de los minerales primarios (Fotografía 3.18). Los cristales de plagioclasa se encuentran alterados a epidota (saussuritización).



**Fotografía 3.18.** Hornblendita con microtextura hipidiomórfica granular formada por cristales de plagioclasa, epidota y anfíboles, Muestra de sección delgada EC-T31. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).

### 3.5.3. INTRUSIVO CUARZODIORÍTICO CATARAMA (Q<sub>D3</sub>)

Se localiza al centro sur de la zona de estudio y aflora en la Quebrada Catarama (UTM: 806185-10079596). El cuerpo intrusivo presenta una extensión aproximada de 1.8 km<sup>2</sup>. Las rocas están compuestas de minerales de plagioclasa, piroxeno, anfíbol, biotita y cuarzo en menor cantidad. Además, contiene mineralización metálica de calcopirita y pirita.

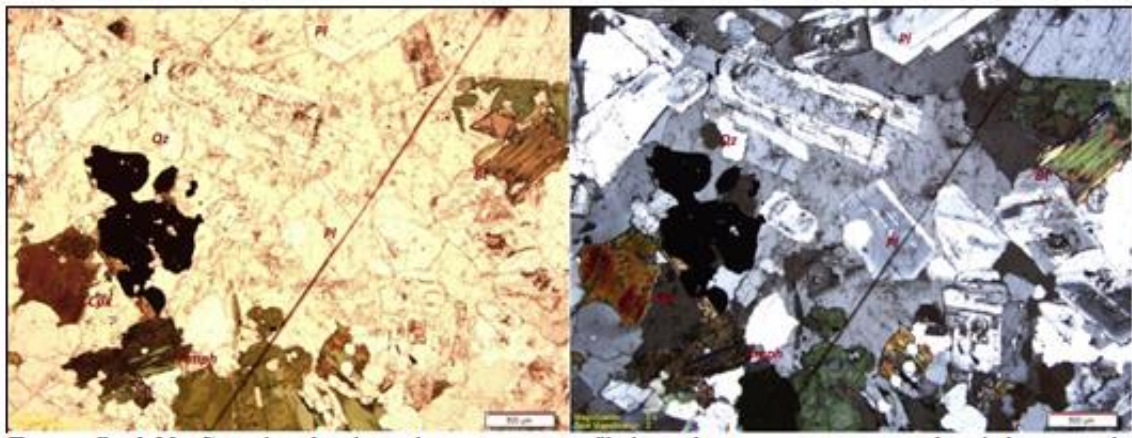
Hacia los bordes de la intrusión, las plagioclasas se encuentran transformándose a caolín debido a la meteorización física.



**Fotografía 3.19.** (A) Intrusión de composición cuarzodiorítica expuesta en la Qda. Catarama (UTM: 806185-10079596). (B) Roca de textura fanerítica con cristales de plagioclasa, piroxeno, biotita y cuarzo.



Análisis microscópico en lámina delgada (Fotografía 3.20), definen una microtextura holocristalina panidiomórfica granular de grano medio en función del grado de cristalización y tamaño de los cristales. Los cristales son equigranulares principalmente euhedrales y subhedrales en menor proporción. Las rocas intrusivas presentan minerales principales de plagioclasa con macla polisintética ( $An_{42}$ ), clinopiroxeno, coexiste cuarzo, cristales prismáticos de hornblenda y biotita parda. Es común observar piritita y calcopiritita diseminada. No presenta minerales de alteración.



**Fotografía 3.20.** Cristales de plagioclasa, cuarzo, anfíboles y biotita en textura panidiomórfica granular. Muestra de lámina delgada EC-T44. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).

El cuerpo intrusivo está emplazado en rocas sedimentarias cretácicas y probablemente esté relacionado con el batolito La Merced de Buenos Aires (A 5 km al suroeste de la zona de estudio) de edad miocénica (Boland et al., 2000).

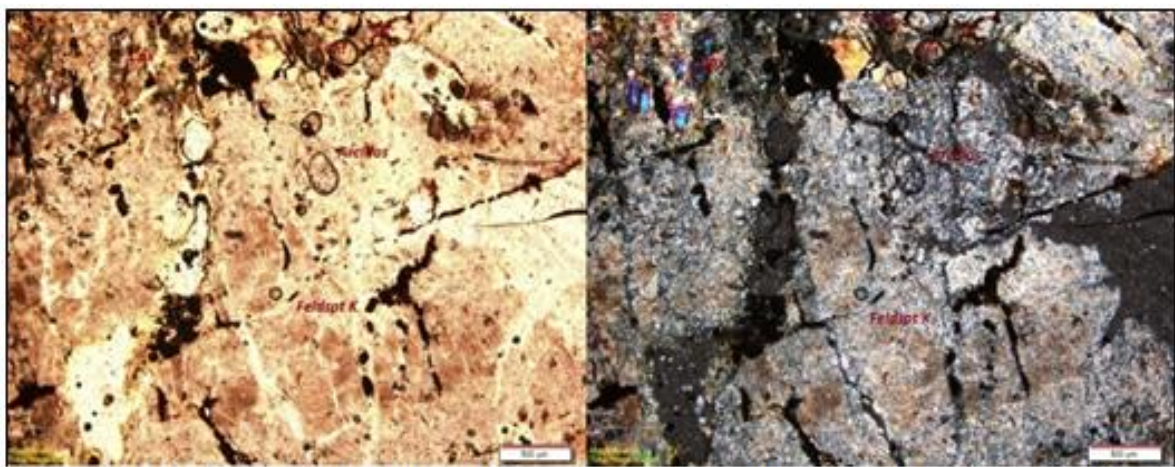
#### 3.5.4. INTRUSIVO DIORÍTICO (D<sub>4</sub>)

Se presenta en el centro del área de estudio, aflorando en el margen norte del Río Mira, en el tramo San Juan de Lachas - El Cabuyal (UTM: 807457-10083547). Este intrusivo se presenta como una roca muy alterada, de grano medio a grueso, donde se puede observar cristales de plagioclasa y piroxenos aislados junto con arcillas. La intrusión presenta alteración argilíca avanzada y se encuentra emplazado en rocas de la Unidad Pilatón y Collapí (Fotografía 3.21).



**Fotografía 3.21.** Contacto intrusivo y rocas volcanosedimentarias de la Unidad Collapí. Tramo vial de tercer orden San Juan de Lachas-El Cabuyal (UTM: 807457-10083547).

En lámina delgada (Fotografía 3.22), la roca exhibe una microtextura holocristalina aliotriomórfica granular, con cristales subhedrales disgregados y meteorizados. La muestra presenta alteración argilíca debido al alto contenido de minerales arcillosos (20%). La intrusión está compuesta por minerales de plagioclasa, clinopiroxenos y como minerales acompañantes feldespato K y cuarzo en menor cantidad. Minerales de alteración como agregados de clorita, arcillas finogranulares y óxidos de hierro conforman el contenido mineral.



**Fotografía 3.22.** Fenocristal de Feldespato K alterado a arcillas en diorita con alteración argilíca. Muestra de sección delgada EC-T32. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).



### 3.5.5. DIQUES ANDESÍTICOS

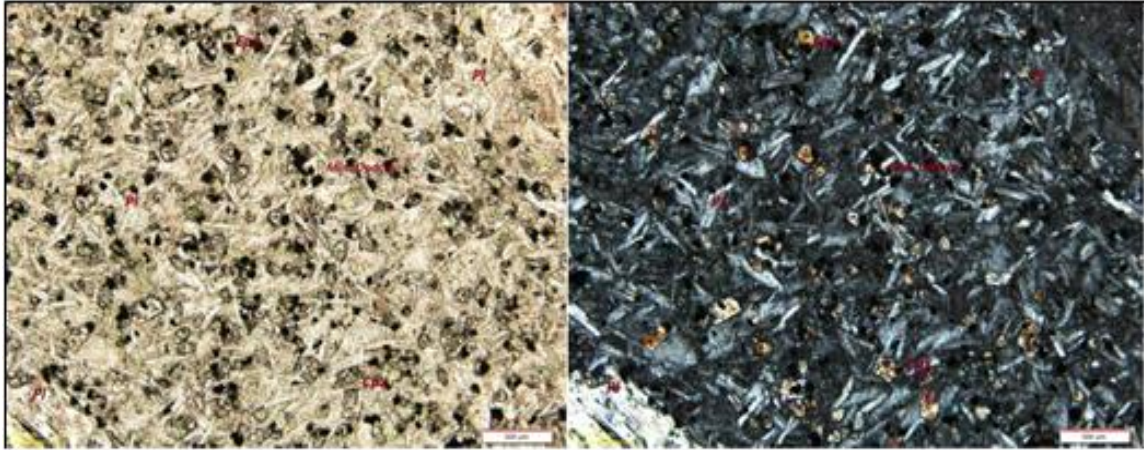
Se encuentran bien expuestos al noroeste de la zona de estudio, al sur del poblado de San Pedro, en la Qda. La Colegiala (UTM: 801741-10085405).



**Fotografía 3.23.** Cuellos volcánicos andesíticos cortando a rocas volcanosedimentarias de la Unidad Collapí (contactos en rojo). Sector Qda. La Colegiala (UTM: 801741-10085405).

Constituyen diques entrecruzados de tamaño de decenas de centímetros (Fotografía 3.23). Los diques se presentan como una roca gris oscura de textura afanítica y cortan a rocas sedimentarias de la Unidad Collapí. La caracterización petrológica geoquímica de los diques es aún desconocida, lo cual se discutirá más adelante (Ver Capítulo 5).

Análisis microscópicos petrográficos (Lámina EC-T10A, Fotografía 3.24), establecen que las rocas son de composición andesítica basáltica, las cuales tienen una microtextura dimensional seriada a veces interseccional con matriz microcristalina. Está formada por minerales de plagioclasa ( $An_{63}$ ), augita, clorita y minerales opacos relativamente abundantes (15%). La matriz es microlítica-felsofídica, constituye el 55% de la roca.



**Fotografía 3.24.** Andesita basáltica con microcristales de plagioclasa y textura dimensional seriada. Muestra de lámina delgada EC-T10A. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).

### 3.5.6. DIQUE ANDESÍTICO HORNBLÉNDICO

Se localiza en el margen norte del Río Mira, en el tramo vial lastrado San Juan de Lachas-Jijón y Caamaño (UTM: 806243-10083226). Consiste en un dique diaclasado, masivo y corta a las rocas andesíticas de la unidad San Juan de Lachas (Fotografía 3.25). Las rocas presentan una textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda.

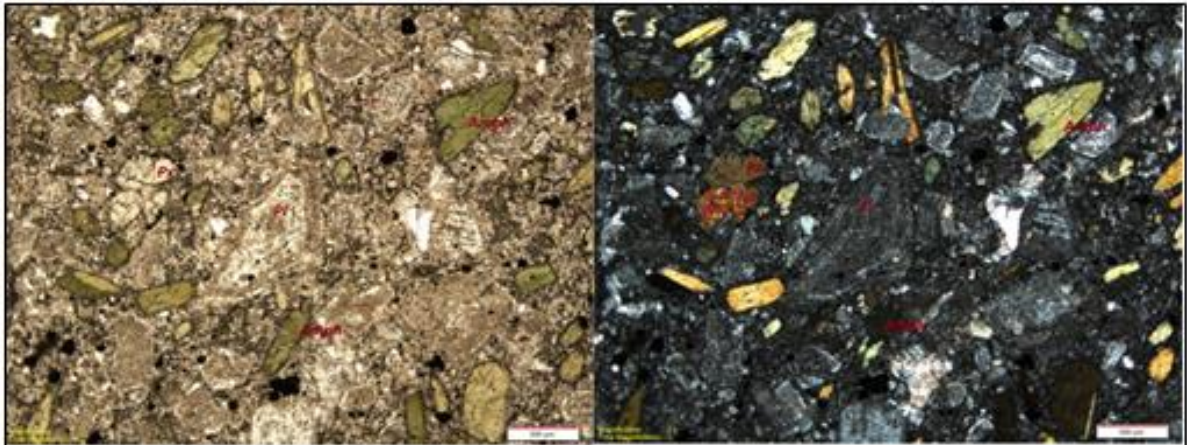
Análisis microscópicos en secciones delgadas (M5-334 y EC-T13), definen una microtextura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y anfíbol euhedral. Análisis estadísticos porcentuales establecen el contenido de fenocristales (40%) y matriz (60%). Las andesitas están formadas por fenocristales de plagioclasa ( $An_{40-42}$ ), hornblenda con alto relieve por efecto de las coronas de oxidación, augita y minerales opacos accesorios (3%). Estos minerales están soportados en una matriz microcristalina ofítica constituida de plagioclasa, anfíbol, clorita, piroxeno, arcillas y vidrio volcánico (Fotografía 3.26).

Van Thournout (1991) sugiere una edad de 32.6 Ma para el dique hornbléndico mediante el método radiométrico K-Ar en hornblenda. Constituye un cuerpo tabular que forma parte de la Unidad San Juan de Lachas.





**Fotografía 3.25.** Dique de composición intermedia cortando a rocas de la Unidad San Juan de Lachas (contacto en rojo). Vía San Juan de Lachas-Jijón y Caamaño (UTM: 806243-10083226).



**Fotografía 3.26.** Muestra de sección delgada EC-T13, Andesita con fenocristales de plagioclasa y hornblenda en matriz microcristalina-vitrofidica. Fotografías en luz transmitida y polarizador cruzado (4x /0.13P).

## **CAPÍTULO 4.**

### **TECTÓNICA Y MICROTECTÓNICA**

La zona de estudio se encuentra afectada por estructuras tectónicas de naturaleza frágil y dúctil que actúan desde el cretácico tardío relacionadas a un campo de esfuerzos principales en dirección Este – Oeste, la cual genera un ambiente transpresivo en los Andes del Ecuador presentando fallamientos y zonas de cizallamiento regionales anteriormente ya descritas.

El estilo de deformación principal genera la presencia de varias fallas regionales en dirección de rumbo NE, plegamientos con plano axial de dirección NE, además de zonas de cizallamiento afectando tanto a unidades geológicas de edad cretácica y paleógena. Las estructuras tectónicas son descritas a continuación.

#### **4.1. SISTEMAS DE FALLAS**

##### **4.1.1. FALLAS TRANSCURRENTES NE-SW**

Estas estructuras presentan generalmente una orientación de rumbo N40°E. La mayoría de estas estructuras constituyen contactos tectónicos entre las unidades geológicas, además poseen una dirección semiparalela a las zonas de cizallamiento, las cuales son descritas más adelante. Las fallas muestran el desarrollo de estrías, grietas, espejos de falla y zonas de “gouge” así como brechas de falla. Las estructuras tectónicas afectan tanto a unidades de edad cretácica como paleógena. Estas estructuras frágiles son descritas detalladamente y son las principales responsables de la presencia de los cuerpos intrusivos, los cuales afloran y se encuentran presentes en una tendencia NE ya que han generado zonas de debilidad por donde han facilitado la migración y el ascenso de las intrusiones.

*Sistema de Fallas El Guacho.*- El plano de falla se encuentra bien expuesto en la Quebrada El Guacho, cerca de la vía La Carolina-El Puerto (UTM: 805881-10081737) en dirección noreste. La falla presenta una longitud de 11,5 km

observada solo en la zona de estudio, pero se estima que su longitud sea mayor ya que constituye un fallamiento regional (INIGEMM, 2013A, B). La falla El Guacho con una dirección N30°E/40°NW atraviesa el Río Mira y está cubierta por depósitos aluviales y terrazas cuaternarias del mismo afluente. El fallamiento afecta a rocas sedimentarias de la Unidad Pilatón y de la Unidad Collapí es decir, la estructura marca un contacto tectónico entre las dos unidades presentando milonitas y brechas sobre el plano de falla en el centro de la zona de estudio (Ver mapa geológico).



**Fotografía 4.1.** Falla El Guacho, donde se exhiben los planos de fallamiento y estriado (en rojo) (UTM: 805904-10081712).

Sobre el plano de falla se muestran recristalizaciones de minerales secundarios como cuarzo, calcita y clorita en menor cantidad. La estructura tiene una cinemática transcurrente dextral con componente inverso definido por estrías sobre el plano de falla (Fotografía 4.1). Este sistema de fallas El Guacho constituye un ramal tectónico, el cual separa las Unidades San Juan de Lachas y Collapí con una dirección de falla N25°E (UTM: 807391-10084093) en donde se presenta material y bloques sueltos con un estriado incipiente cerca del caserío El Cabuyal. En este sector, el plano de falla presenta estrías subhorizontales, lo cual indica un desplazamiento netamente transcurrente. Otro ramal del sistema de fallas El Guacho separa las unidades volcanosedimentarias Collapí-El Laurel de la

unidad Pilatón, con una dirección de falla N30°E. Este ramal aparentemente constituye una zona de debilidad por donde ascendió el cuerpo diorítico argilitizado (D<sub>4</sub>) y probablemente la intrusión El Cabuyal (D<sub>2</sub>), debido a la cercanía al sistema de fallas.

*Falla Río Collapí.*- Definida en el presente trabajo. La falla forma un lineamiento morfológico muy marcado en dirección NE. La estructura tectónica se localiza en el noroeste de la zona de estudio, con un rumbo N30°E (Figura 4.1). La Falla Río Collapí constituye un contacto fallado entre las Unidades Pilatón y San Juan de Lachas fuera de la zona de estudio (INIGEMM, 2013A) y en la zona de estudio se encuentra cubierta por la Unidad San Juan de Lachas. La estructura frágil presenta una zona de falla en donde las rocas se encuentran cizalladas, presentando estrías asociadas a la cinemática, así como “gouge” y brechas de falla además de zonas ricas en grafito. Rocas con superficie brillante debido a la recristalización de filosilicatos por efecto del cizallamiento se encuentran de manera local (INIGEMM, 2013A). Ordoñez (2013), establece que la estructura constituye una prolongación de la falla Toachi proveniente desde el sur, la misma que muestra una cinemática dextral.

*Falla Tablas.*- Constituye un fallamiento con dirección de rumbo N45°E en donde afloran lentes tectónicos de areniscas y lutitas asociadas a la Unidad Collapí y El Laurel respectivamente cerca del poblado de Tablas (UTM: 809460-10081534). Los lentes tectónicos muestran un leve cizallamiento por efecto del desplazamiento presentando una cinemática dextral. La falla Tablas limita bruscamente los sedimentos paleógenos con los sedimentos cretácicos. El fallamiento se estima que presenta una longitud de 13 km y atraviesa la zona de estudio continuando en dirección NE. Aparentemente constituye la zona de debilidad por donde se emplazó el cuerpo intrusivo Catarama (Q<sub>D3</sub>), el cual no muestra evidencias de deformación o cizallamiento asociado a la estructura frágil, es decir la intrusión se emplazó después que cesó la actividad tectónica.

*Falla Río San Gerónimo.*- Un lineamiento morfológico muy marcado es representado por la falla Río San Gerónimo en dirección NE, la cual afecta a la unidad cretácica Pilatón. El plano de falla aflora a lo largo del camino de segundo orden entre San Gerónimo-El Corazón de Guadual (UTM: 809468-10079411).



Sobre el plano de falla se observa recristalización de minerales secundarios como epidota y cuarzo así como grietas de tensión y estrías, las cuales indican el sentido de movimiento dextral con componente inverso menor. La falla Río San Gerónimo se estima que presenta una longitud aproximada de 7 km dentro de la zona de estudio (Figura 4.1).

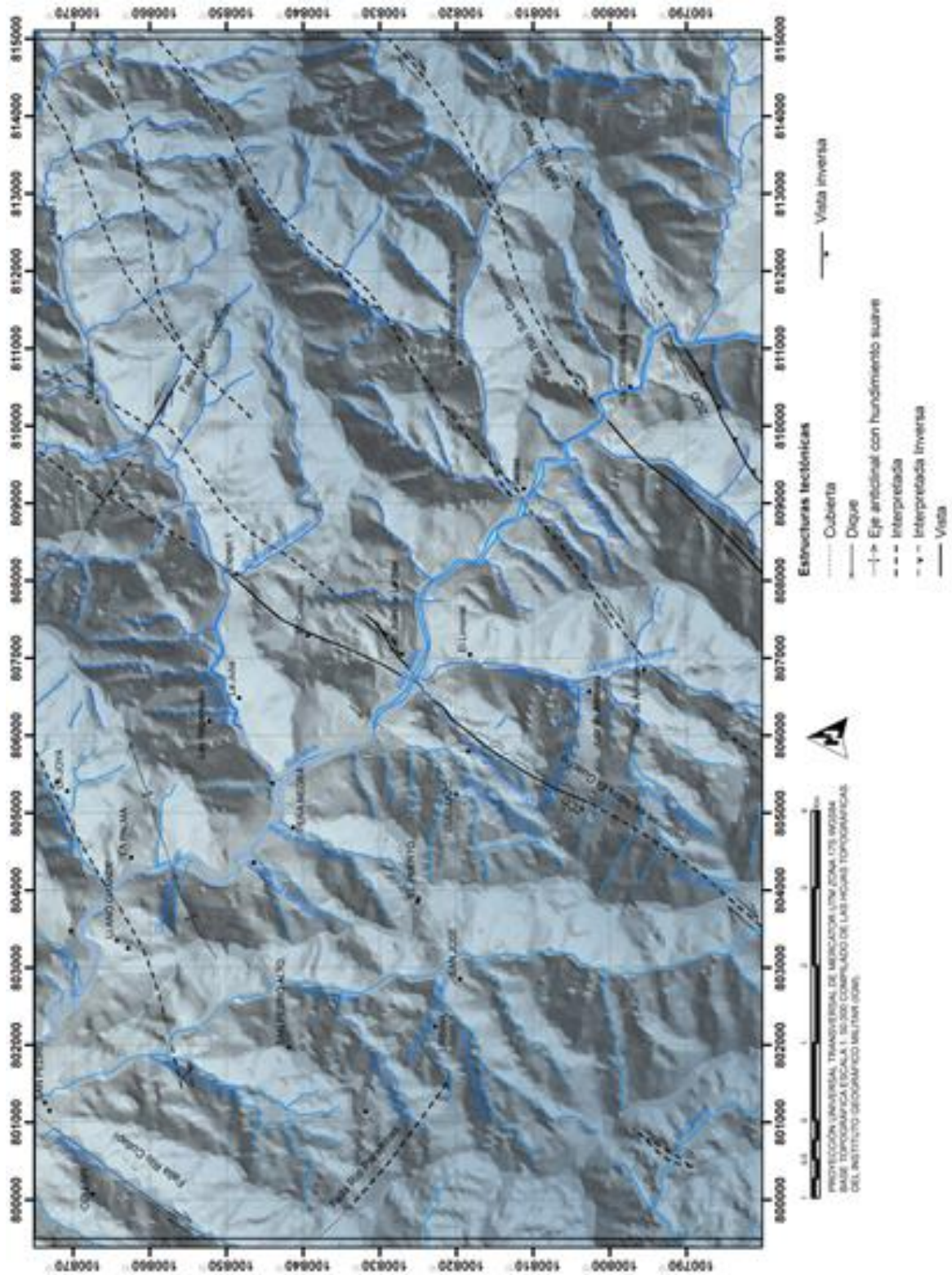
Además, lineamientos han sido inferidos usando fotografías aéreas e imágenes SRTM que siguen una dirección NE. Sin embargo, evidencias claras de fallamientos no han sido identificadas en campo como es el caso del lineamiento del Río Jordán. A lo largo del Río Jordán (UTM: 8043100-10086880), se presenta un lineamiento probablemente asociado a un fallamiento NE, el cual cambia la dirección del rumbo hacia el suroeste, afectando probablemente a la unidad Collapí. Constituye un lineamiento de 5.5 km de longitud aproximadamente.

Debido a los cambios bruscos de litología entre rocas de la Unidad Pilatón y Laurel, se han establecido contactos tectónicos entre las dos unidades geológicas, como se exhibe al noreste de la zona de estudio (Ver Mapa Geológico), delimitando una faja tectónica para la Unidad El Laurel.

#### **4.2.1. FALLAS TRANSCURRENTES NW-SE**

Las estructuras presentan una dirección de rumbo entre N40°W y N45°W. Las fallas muestran el desarrollo de zonas de "gouge" y zonas de brechas de falla. Estas estructuras afectan tanto a rocas sedimentarias cretácicas y a rocas volcanosedimentarias paleógenas.

Estos sistemas de fallas transcurrentes NW-SE fuera de la zona de estudio, son los principales responsables de la presencia de intrusivos y diques alineados en dirección NW al oeste fuera de la zona de estudio (INIGEMM, 2013A). Las estructuras tectónicas presentes en la zona son descritas a continuación.



*Figura 4.1. Estructuras tectónicas en la zona de estudio.*

*Falla Río Parambas.-* Esta estructura se localiza cerca del poblado de Urbina al Oeste. Atraviesa la zona de estudio con una longitud aproximada de 3.5 km

(Figura 4.1), sin embargo puede constituir una mayor longitud que continúa fuera de la zona. Evidencias claras de fallamiento o indicadores cinemáticos de movimiento no se han observado debido a la espesa cobertura vegetal de la zona, no obstante lineamientos en fotografías aéreas infieren la presencia de esta falla. Ordoñez (2013) asocia esta estructura como la principal responsable de la mineralización y alteración presente en la Concesión Cascabel ubicada a 3 km al oeste de la zona de estudio.

*Falla Río Gualchán.*- Esta estructura se encuentra al Norte, en el camino Espejo 1-Gualchán (UTM: 810024-10085934). Una zona de falla de espesor 15 m con dirección N45°W, ha sido observada, la cual tiene un desplazamiento sinistral con componente normal menor y constituye un contacto tectónico entre las unidades Pilatón y Collapí además delimita la faja tectónica de la Unidad El Laurel al noreste de la zona de estudio (Ver mapa geológico). La zona de falla presenta bloques sueltos, estrías de falla, y recristalización de minerales secundarios como epidota. La falla se encuentra en parte cubierta por un depósito coluvial, el cual dificulta continuar la dirección del plano de falla. El fallamiento no afecta a rocas andesíticas de la Unidad San Juan de Lachas por lo que se estima que actuó hasta el Eoceno y cesó su actividad a inicios del Oligoceno.

#### **4.1.3. FALLAS INVERSAS**

Estos fallamientos se encuentran distribuidos en el área de estudio y constituyen fallamientos con ángulo de 25° en general a manera de fallas cabalgantes. Por otra parte, desplazamientos verticales también han sido identificados entre bloques rocosos como fallas inversas estrictas.

Estas estructuras constituyen fallamientos locales de varias dimensiones desde centimétricos hasta métricos (Fotografía 4.2). Las fallas no muestran un rumbo preferencial pero si una tendencia N-S a NE-SW. En el caso de las estructuras cabalgantes los bloques presentan vergencia en dirección Este. En las rocas pertenecientes a la Unidad Pilatón, Collapí y en los cuerpos calcáreos distribuidos por toda el área, las estructuras presentan un carácter frágil y resaltan en este tipo

de material rocoso debido a su naturaleza, a diferencia de las lutitas poco consolidadas de la Unidad El Laurel. No obstante, fallas menores cabalgantes se observan aisladamente en lutitas asociadas a la Unidad El Laurel, las cuales debido al carácter semidúctil estos fallamientos terminan en pliegues de acomodación (Fotografía 4.3B).



**Fotografía 4.2.** Bloque calcáreo de la Unidad El Laurel afectado por un fallamiento cabalgante (en negro) con vergencia en dirección Este (UTM: 805380-10081769). Flexuras de las capas por efecto del fallamiento (en amarillo).



**Fotografía 4.3. (B)** Falla inversa afectando a lutitas de la Unidad El Laurel terminando en un pliegue de acomodación (UTM: 809035-10085299).



El fallamiento inverso más significativo presente en la zona de estudio consiste en la estructura tectónica denominada Falla Río Plata.

*Falla inversa Río Plata.* - Se encuentra en el sector sureste de la zona de estudio, en donde la estructura aflora en el tramo vial Guadual-Tablas (UTM: 810862-10078568) y afecta a la unidad cretácica Pilatón. El plano de falla presenta dimensiones métricas (40 m de altura) en donde se exhibe la recristalización de minerales secundarios como epidota y calcita, así como “gouge” de falla actuando como estriadores suaves además de grietas de tensión y surcos por efecto de la fricción entre los bloques (Fotografía 4.4A).



**Fotografía 4.4.** (A) Plano de falla de 40 metros de altura afectando a la Unidad Pilatón. (B) Estructuras “sigmoidales” (en amarillo) las cuales definen un desplazamiento inverso estricto.

Estas evidencias marcan claramente que la estructura consistió en un fallamiento transcurrente con cinemática dextral. Sin embargo, un fallamiento inverso estricto posterior se exhibe sobre el mismo plano de falla, evidenciado por estructuras “sigmas”, los cuales permiten definir un cizallamiento vertical evidenciando un levantamiento de un bloque con respecto al otro (Fotografía 4.4B).

Por lo tanto, en el plano de falla se observan claramente dos eventos de deformación, el primer evento con cinemática dextral y un segundo evento compresivo asociado al desarrollo de movimientos inversos.

## **4.2. ZONAS DE CIZALLAMIENTO**

El término zonas de cizallamiento (*shear zones*) es usado para caracterizar regiones de la corteza terrestre de diversas dimensiones aunque generalmente estrechas y subparalelas, en donde son registradas altas tasas de deformación y grandes desplazamientos (Ramsay, 1980). Este tipo de estructuras atraviesan en dirección NE el área de estudio, y se extienden en unidades de kilómetros. Estas estructuras son definidas a continuación.

### **4.2.1. ZONA DE CIZALLAMIENTO CENTRAL (ZCC)**

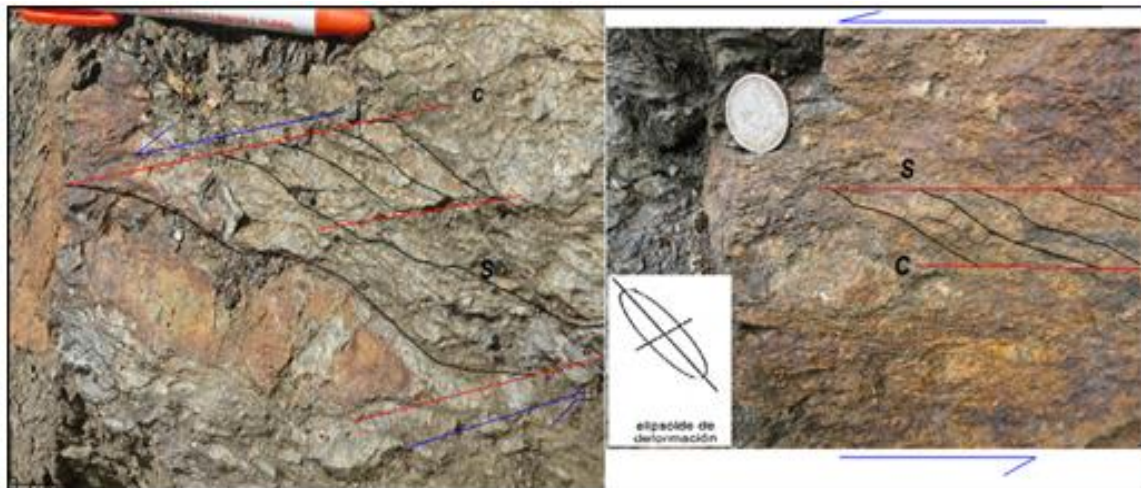
Se encuentra ubicada en el centro del área de estudio, se extiende desde el Sur a través de la Quebrada Santa Martha (UTM: 803370-10078003) actuando como una estructura frágil y continua cerca de la Quebrada El Guacho en donde se observa rocas milonitizadas, las cuales han ayudado a definir criterios cinemáticos. La zona de cizallamiento central (ZCC) sigue en dirección NE y se encuentra limitada y controlada probablemente por el ramal tectónico del Sistema de fallas El Guacho, el cual separa las unidades geológicas cretácicas y paleógenas. La zona de cizallamiento aflora en el tramo vial lastrado La Carolina-El Puerto (UTM: 805881-10081737).

La cizalla constituye una parte de la Falla El Guacho con dirección de rumbo NE (N25°E). La zona de cizalla (ZCC) aproximadamente tiene 2.5 km de longitud con un ancho de dimensiones variables pero no mayor a 1 km y cruza el Río Mira donde es cubierta por depósitos aluviales. En función de la geometría, constituye una zona de cizalla con límites difusos.

La intensidad del cizallamiento se concentra en la zona de la Quebrada El Guacho (UTM: 805881-10081737) resaltando en el plano de falla y en las

areniscas pertenecientes de la Unidad Collapí pero con menor intensidad en rocas de la Unidad Pilatón debido a su naturaleza más frágil.

Someramente, la zona de cizallamiento (ZCC) se manifiesta por la trituración de areniscas de la Unidad Pilatón e inclusive de volcanosedimentos de la Unidad Collapí formando “gouge” de falla. La zona de cizalla presenta el desarrollo de planos paralelos semi-pulidos con buzamiento al Oeste, producto de la fricción que se presenta en la zona, la cual ayuda al desarrollo de la depresión que constituye la Quebrada El Guacho. La deformación es plástica, se manifiesta por la presencia de estructuras dúctiles como bandas de cizalla (Fotografía 4.5), fracturación secundaria y fibras de crecimiento. Por lo tanto, constituye un cizallamiento de condiciones intermedias, es decir posee un carácter dúctil-frágil.



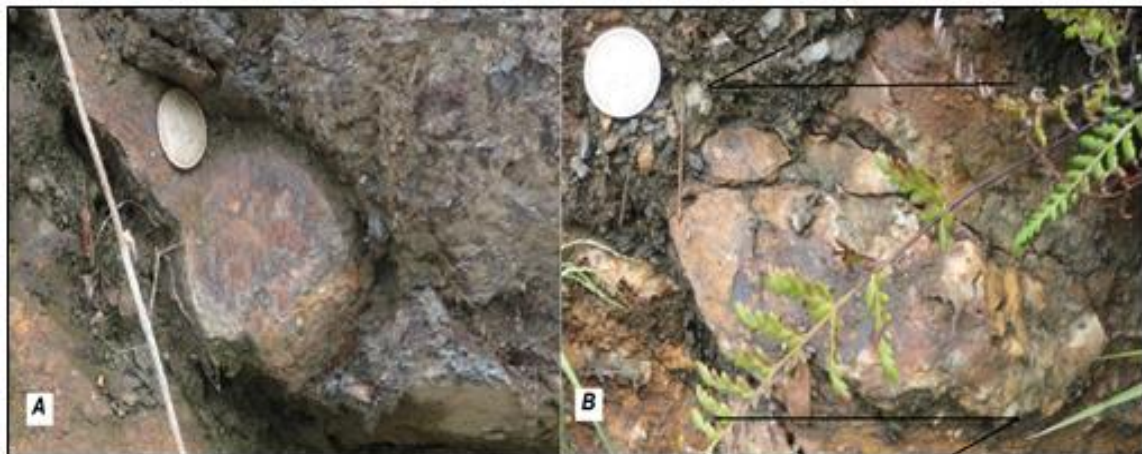
**Fotografía 4.5.** Ortomilonita con fragmentos de roca sigmoidales, la cual muestra el desarrollo de una fábrica S-C (en negro-en rojo) con cinemática transcurrente sinistral. Elipsoide de deformación.

Evidencias cinemáticas en la zona de cizalla han sido observadas en ortomilonitas sobre el plano de falla El Guacho en donde existen bandas de cizallamiento con rumbo N y NE generando fábricas S-C, estructuras aladas de fragmentos de rocas silicificadas tipo “sigmas” y “deltas” bien desarrollados de hasta 15 cm (Fotografía 4.5), bookshelf sliding e inclusiones espirales cuya cinemática muestra un desplazamiento de tipo sinistral (Fotografía 4.6) asociados a posibles fracturas de anti Riedel.

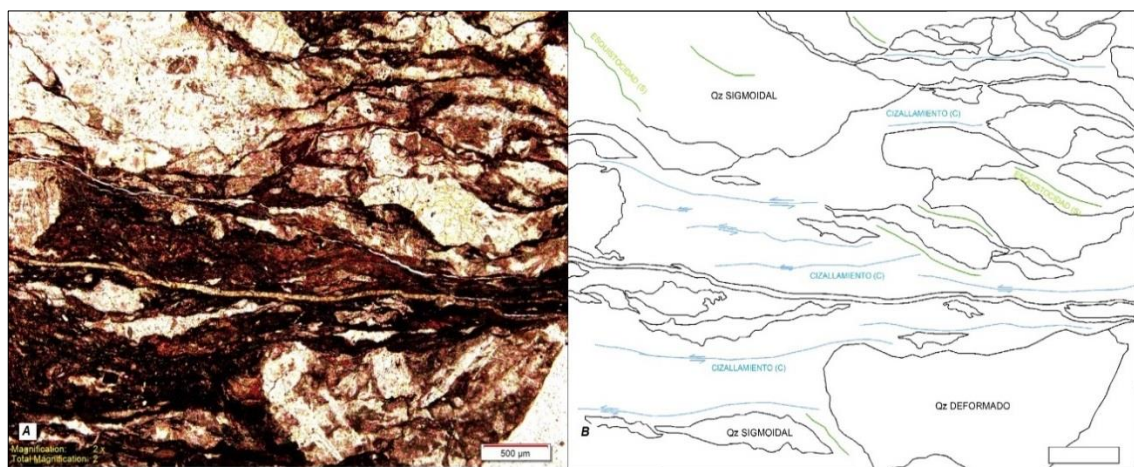




**Fotografía 4.6.** Estructuras sigmoidales en milonitas (en negro). (A) Estructuras “sigma” y “deltas” de fragmentos silicificados de rocas en milonitas con indicadores cinemáticos de movimiento sinestral (en azul). (B) Estructuras “sigmas” de tamaño 15 cms que evidencia una cinemática sinestral .



**Fotografía 4.7.** (A) Estructura “sigma” en milonita. (B) Fragmento silicificado de roca que evidencia una cinemática sinestral (en negro).



**Fotografía 4.8.** (A) (B) Protomilonita con porfiroblastos sigmoidales de cuarzo, lineaciones de cloritas paralelas al cizallamiento-C (en azul). Muestra de sección delgada EC-T5A.



Evidencias microscópicas observadas en protomilonitas del sector SW del poblado La Carolina (UTM: 805881-10081737), indica la presencia de porfiroblastos recristalizados de cuarzo en forma sigmoidal y algunos rotados, como parte de la matriz se desarrollan cristales alargados de clorita dispuestas en dirección del cizallamiento C (Fotografía 4.8).

Esta zona se genera probablemente en un ambiente transpresional, y se forma debido al distinto comportamiento de los diferentes materiales que constituyen las unidades geológicas, las implicaciones tectónicas acerca de la actividad de la zona de cizalla se discutirán más adelante.

Los períodos iniciales de la actividad del cizallamiento están relacionados con eventos de brechificación principalmente de areniscas de la Unidad Pilatón generando autobrechas con líticos sedimentarios subredondeados y ricos en cuarzo. A continuación de la brechificación, el periodo de cizallamiento continúa y se caracteriza por la exhumación y somerización de la zona de cizallamiento en donde se determina la presencia de milonitas con estructuras “gnéicas” y ortomilonitas con recristalizaciones de cuarzos deformados.

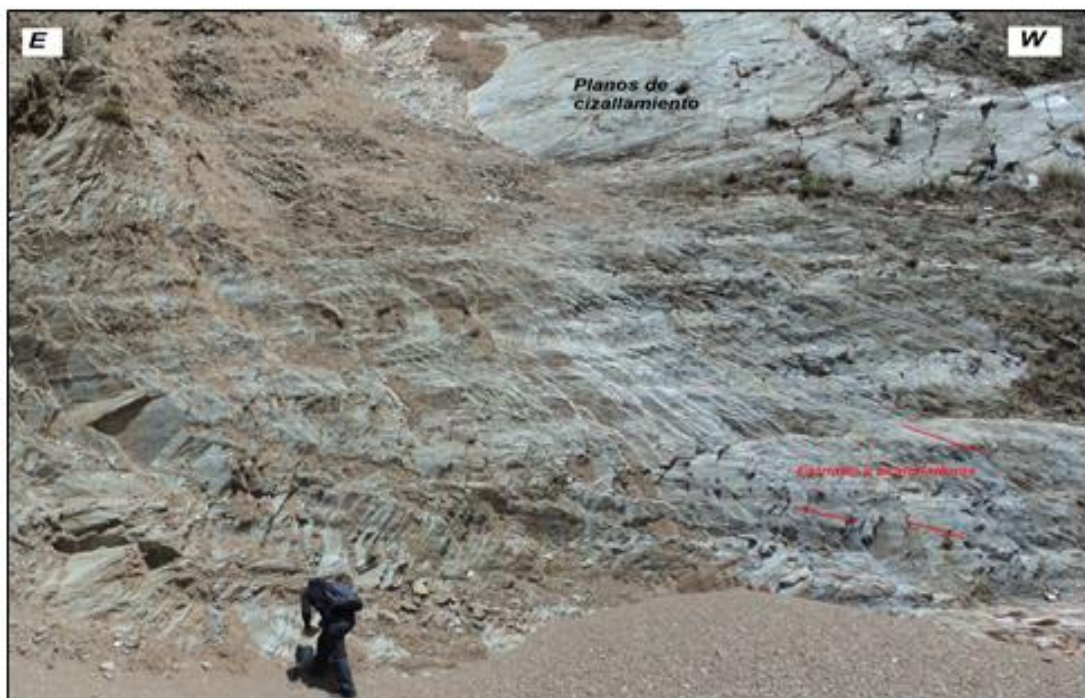
#### **4.2.2. ZONA DE CIZALLAMIENTO ORIENTAL (ZCO)**

Aflora en la vía principal Salinas-Lita en las coordenadas (UTM: 810902-10079011, Fotografía 4.9) con dimensiones aproximadas de 2 km de longitud y 50 m de ancho donde presenta una dirección NE de similar rumbo que la zona de cizallamiento central descrita anteriormente. Constituye una zona de cizalla local, la cual en el mapa geológico presentado en este trabajo se ha exagerado el área para su representación. Únicamente, la zona de cizalla ha sido observada en el afloramiento ya descrito, en donde desaparece tanto en dirección suroeste como noreste, sin encontrar mayores vestigios en los alrededores, por lo tanto no constituye una zona de cizallamiento regional. Boland et al. (2000) describen este sitio como una zona de deformación dúctil con una fábrica S-C, la cual es localmente desarrollada en la carretera Salinas-Lita (UTM: 811100-100980000, Psad 56) indicando un sentido de movimiento dextral. Aparentemente, la zona de

cizallamiento oriental (ZCO) atraviesa la cuenca hidrográfica del Río Mira y está cubierta por depósitos aluviales del mismo cauce además del suelo y la espesa cobertura vegetal.

La zona de cizalla no marca un contacto tectónico y afecta a rocas sedimentarias de edad cretácica. El cizallamiento presenta un rumbo andino  $N40^{\circ}-60^{\circ}E$  y se manifiesta por la presencia de estructuras dúctiles como micro plegamientos “chevron”, kink bands, grietas tensionales y estructuras frágiles como acanaladuras y estrías, las cuales indican la cinemática de movimiento dextral con componente inverso. La zona de cizalla no es continua y los límites son difusos.

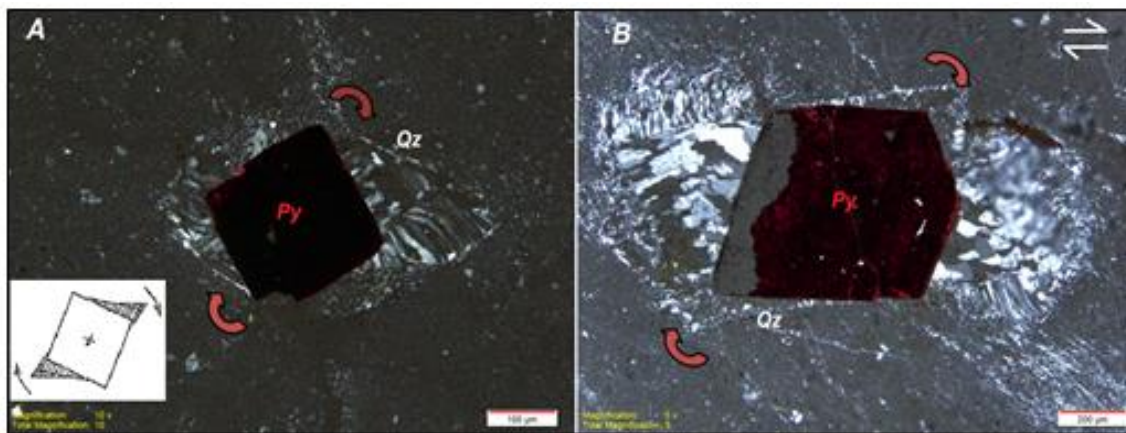
Superficialmente, el cizallamiento se manifiesta por la trituración de las rocas formando material deleznable de grano fino y el desprendimiento de material rocoso de dimensiones centimétricas a métricas, los cuales constituyen bloques sueltos generando impactos, rebotes y rodaduras entre sí, creando un deslizamiento tipo depósito de caída con dimensiones de 90 metros de altura, en el cual se desprende material cubriendo a menudo la carretera principal Salinas-Lita.



**Fotografía 4.9.** Zona de cizallamiento oriental (ZCO) en rocas de la Unidad Pilatón, producto de una intensa deformación de rocas pelíticas, Carretera Salinas-Lita (UTM: 810902-10079011).

Este cizallamiento se exhibe principalmente en areniscas y cherts de la Unidad Pilatón, las cuales han experimentado cambios texturales y mineralógicos que se manifiestan a lo largo de los planos de foliación  $S_1$  (N40°E/60°SE) y se generan como el resultado de una intensa deformación de la zona. El alto grado de cizallamiento ha generado que las rocas turbidíticas se transformen en pizarras y filitas verdes creadas por “metamorfismo dinámico”, donde las rocas no han perdido cohesión permitiendo que se deformen plásticamente sin la posibilidad de fracturarse presentando un comportamiento dúctil. Las rocas poseen una estructura foliada-filítica y contienen minerales como sericita, clorita, plagioclasa, cuarzo y pirita diseminada.

La zona de cizalla presenta una naturaleza dúctil con carácter penetrativo en rocas foliadas. Las evidencias microscópicas y análisis microtectónicos observados en rocas del sector indican la presencia de zonas de abrigo, sombras de presión, kink bands y microplegamientos que ayudan a definir la cinemática de la zona (Fotografías 4.10; 4.11.).



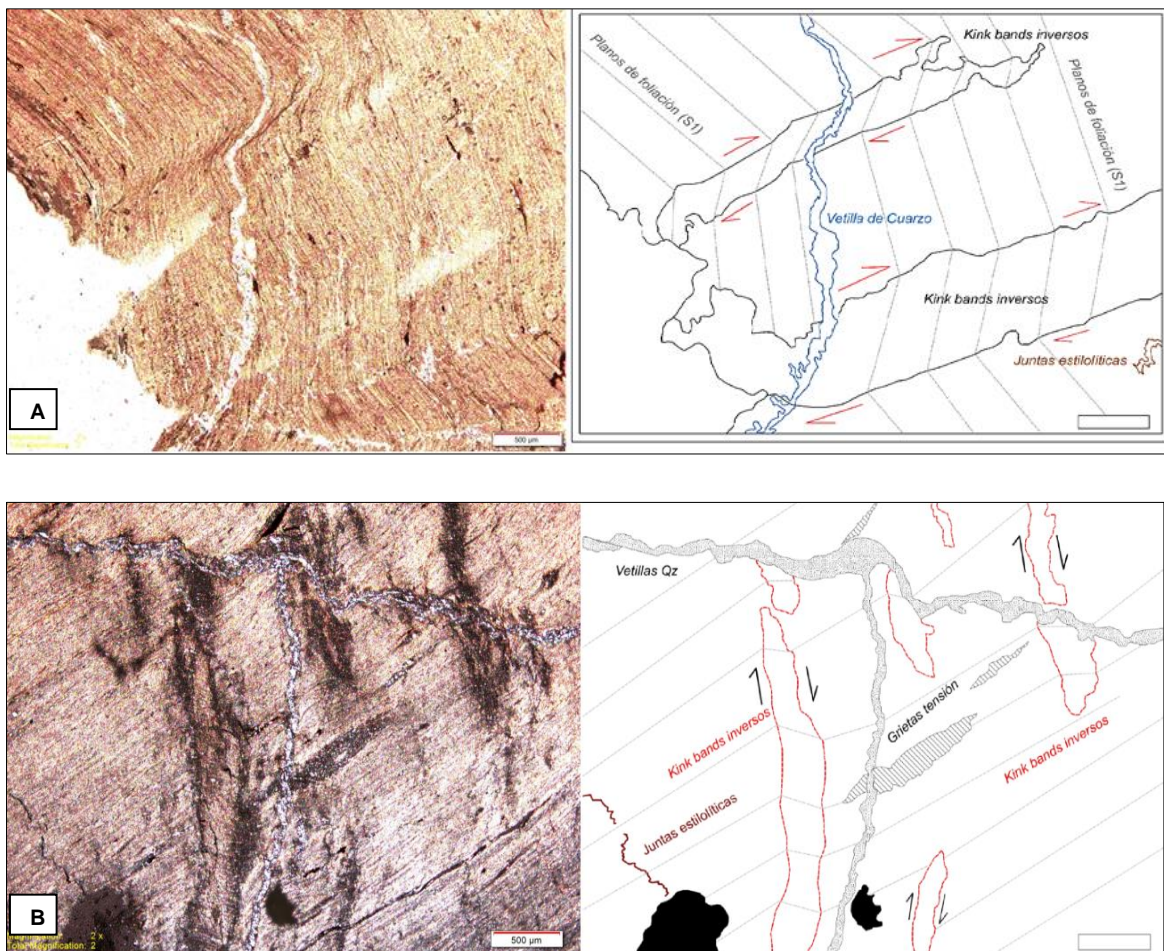
**Fotografía 4.10.** *Fibras rígidas en zonas de abrigo de un cristal de pirita en una metapelita cizallada con cinemática dextral. Muestra de sección delgada (EC-T26B). Fotografías con polarizador cruzado (4x /0.13P). (A) Crecimiento de fibras de cuarzo perpendiculares a la cara del cristal de pirita. (B) Orientación de las fibras rígidas en las zonas de abrigo.*

Indicadores cinemáticos de movimiento dextral son evidenciados en zonas de abrigo y sombras de presión generados en cristales de pirita de tamaño aproximado 400  $\mu\text{m}$ , en donde por la rotación del cristal se producen vacíos y posteriormente recrystalizan minerales fibrosos de cuarzo de manera perpendicular a las caras del cristal en varias generaciones sucesivas (Fotografía 4.10A, B).



Estructuras kink bands sintéticos e inversos, grietas de tensión, juntas estilolíticas (Fotografía 4.11A, B) así como microplegamientos chevron con flancos planares y charnela angular ayudan a establecer la presencia de un esfuerzo compresivo aparentemente contemporáneo al cizallamiento transcurrente.

El cizallamiento al evolucionar cambia el ambiente de deformación de dúctil a frágil por efecto del levantamiento y exhumación, en el cual se observan fallamientos menores asociados así como estriadores sobre los planos de foliación. A escala macroscópica, estrías con dirección  $L_1$ :  $N50^\circ E/30^\circ NE$  sobre el plano de pizarrosidad  $S_1$ , definen un movimiento transcurrente dextral.



**Fotografía 4.11.** Sección de lámina delgada, Muestra EC-T26A y EC-T26B. (A) Kink bands inversos sintéticos (líneas semiparalelas negras) afectando a una vetilla de Qz (en azul), fotografía con luz transmitida (4x /0.13P) y esquema. (B) Kink bands inversos sintéticos (en rojo) con juntas estilolíticas perpendiculares a la foliación  $S_1$ , fotografía con polarizador cruzado (4x /0.13P) y esquema.

La generación de este tipo de estructuras debe estar relacionada a la existencia de un esfuerzo compresivo regional en dirección E-W basado en el modelo de

fracturas del experimento de Riedel, el cual establece que la dirección del esfuerzo principal  $\sigma_1$  se encuentra a  $45^\circ$  con respecto al cizallamiento. La dirección del cizallamiento constituye las medidas obtenidas en los planos de foliación, por lo tanto si la dirección de la cizalla tiene una dirección de rumbo  $N40^\circ E$ , la dirección del esfuerzo principal es  $N265^\circ$  ( $S85^\circ W$ ). Además, en la zona de cizalla oriental (ZCO), se observan grietas tensionales rellenas de cuarzo (vista en planta) en donde la propagación de las puntas de las venas “sigmoidales” indican la dirección del esfuerzo principal  $\sigma_1$  de  $N290^\circ$  azimutal ( $N70^\circ W$ ). Por lo tanto, la dirección del esfuerzo principal varía entre  $N265^\circ$ - $N290^\circ$  aproximadamente E-W.

En la zona de cizalla, no se observó fábricas S-C en rocas del sector descritas por Boland et al. (2000).

### **4.3. DEFORMACIÓN DE LAS UNIDADES PALEÓGENAS**

Los resultados del análisis tectónico en las unidades paleógenas indican la presencia de una o varias superficies de deformación (S), plegamientos, grietas de tensión y fábricas S-C, las cuales son descritos a continuación para cada unidad geológica.

#### **4.3.1. DEFORMACIÓN EN LA UNIDAD COLLAPÍ (Pal-E?c)**

El análisis del estilo de deformación de la unidad geológica es limitado debido a que los afloramientos en la zona de estudio exponen rocas masivas volcanosedimentarias y afloramientos con estratificación bien marcada son restringidos dificultando el análisis de la deformación, sin embargo es posible definir algunas características importantes.

La deformación de la unidad Collapí está directamente relacionada con un importante plegamiento que afecta a toda la secuencia noroccidental en donde aflora la unidad paleógena. La presencia del plegamiento es estimada debido a la variación del buzamiento de los estratos, los cuales presentan medidas estructurales relacionados a la estratificación (**So**) en dirección  $N40^\circ E/30^\circ NW$  en el sitio de coordenadas (UTM: 804076-10085942) y  $N75^\circ E/20^\circ SE$  en el sitio de coordenadas (UTM: 803983-10089138).

Esta deformación se expresa como un pliegue anticlinal abierto (ángulo interflancos  $130^\circ$ ) que corresponde a la primera y única deformación ( $D_1$ ) presente en las areniscas. Esta estructura fue definida en el tramo vial La Carolina-Llano Grande. El eje del pliegue obtenido como resultado del levantamiento geológico tiene un rumbo  $N50^\circ E$  y mediante imágenes SRTM se determina que constituye en un eje axial curvado debido probablemente a una reorientación del anticlinal por un cambio en la dirección del esfuerzo principal deformando el pliegue.

La estructura puede ser vista también en la margen derecha del Río Mira en el tramo vial Jijón y Caamaño-Caliche, en donde de igual forma se observa el cambio de buzamiento de los estratos.

Es probable que el anticlinal presente un hundimiento suave hacia el noreste ya que la presencia de rocas de la Unidad Collapí no afloran en el poblado de Urbina, lo cual sugiere que las rocas paleógenas fueron erosionadas en la parte alta exponiendo parte del basamento cretácico por efecto del levantamiento y únicamente las rocas de la Unidad Collapí se restringen hacia las partes bajas de la cuenca del Río Mira.

Además, los afloramientos localizados dentro del área de estudio, presentan un clivaje de fractura semi espaciado y no penetrativo en areniscas y tobas de la unidad Collapí formando estructuras planares con una dirección preferencial E-W/ $45^\circ N$ .

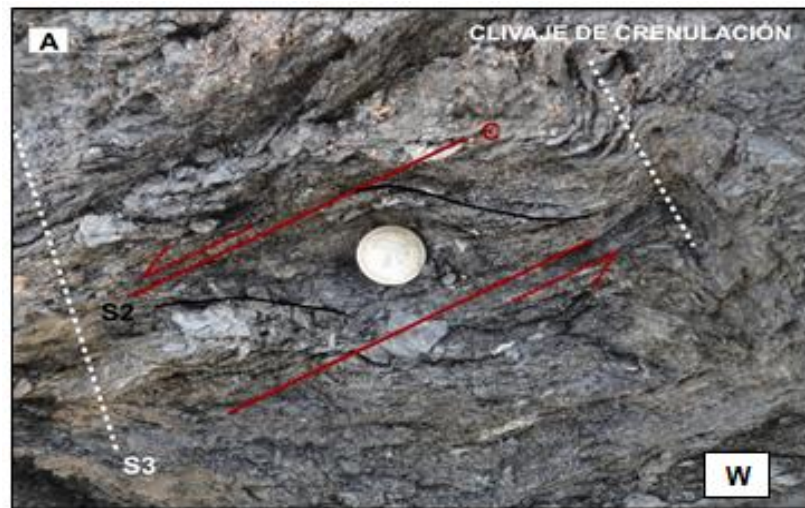
#### **4.3.2. DEFORMACIÓN EN LA UNIDAD EL LAUREL ( $E_L$ )**

Las lutitas y areniscas de la unidad El Laurel se encuentran discordantes sobre la Unidad Collapí y registran la mayor parte de la deformación eocénica en el área de estudio. Aunque los afloramientos existentes no son extensos, estos ayudan al desarrollo del análisis de la deformación, ya que debido a su naturaleza semidúctil responden de mejor manera a la deformación que ha ocurrido en la región.

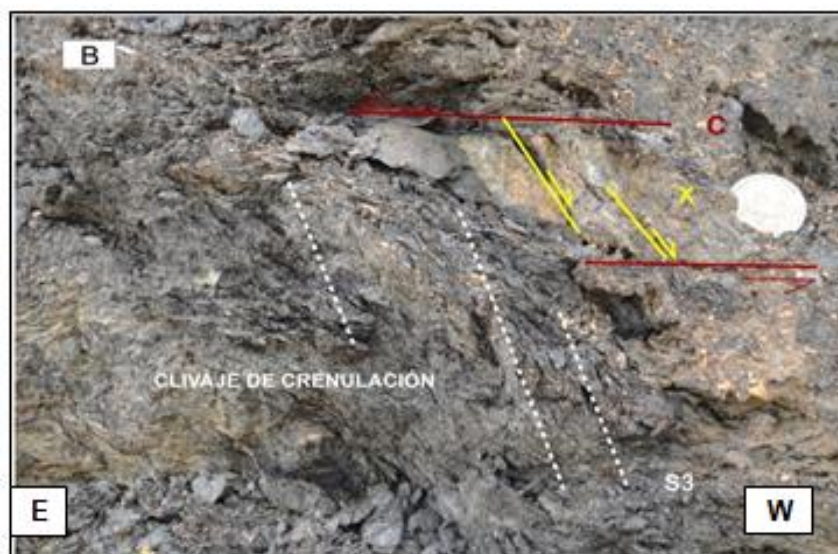
El afloramiento más significativo que conserva información acerca de la deformación se encuentra en el poblado El Puerto (UTM: 803888-10082453).

Lutitas grafitosas presentan evidencias de cizallamiento que genera una foliación penetrativa  $S_1$  (C) subparalela a la estratificación  $S_0 \approx N30^\circ E/20^\circ SE$ .

Fábricas  $S_2$ -C (*schistosité-cisaillement*, en francés) con estructuras planares penetrativas  $S_2 \approx N30^\circ E/40^\circ NW$  se encuentran desarrolladas en lutitas de la Unidad El Laurel (Fotografía 4.12). Además, estructuras “book shelves” (tejados) se despliegan en bloques calcáreos sigmoidales a través de clivajes de fractura X con un ángulo entre  $140^\circ$ - $150^\circ$  respecto al cizallamiento (Fotografía 4.13). Vetillas estilolíticas rellenas de calcita se encuentran muy deformadas y no permiten establecer la dirección del esfuerzo principal.



**Fotografía 4.12.** Deformación en lutitas de la Unidad El Laurel, poblado el Puerto (UTM: 803888-10082453). (A) Estructura sigmoidal con fábrica  $S_2$ -C (en negro-rojo) con cinemática sinistral afectado por un clivaje de crenulación  $S_3$  (en blanco).



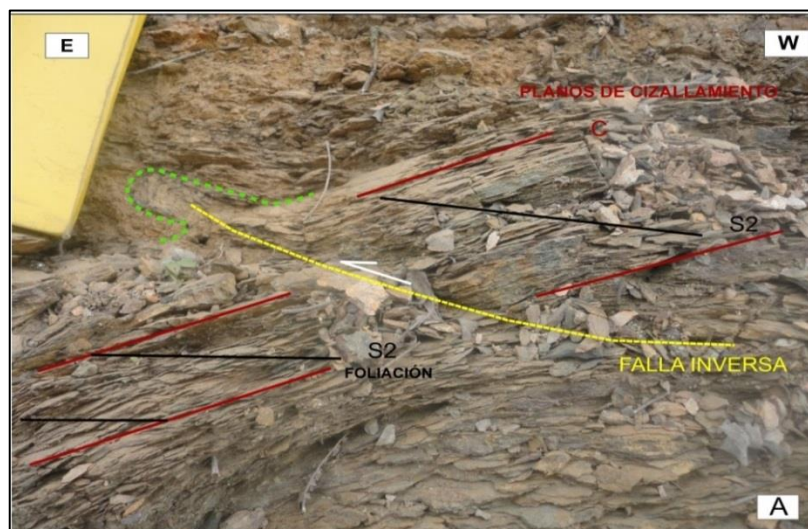


**Fotografía 4.13.** Lutitas deformadas pertenecientes a la Unidad El Laurel (UTM: 803888-10082453. (B) Lítico calcáreo de forma sigmoidal formando estructuras “book shelves” a través de las fracturas X (en amarillo) con desplazamientos normales.

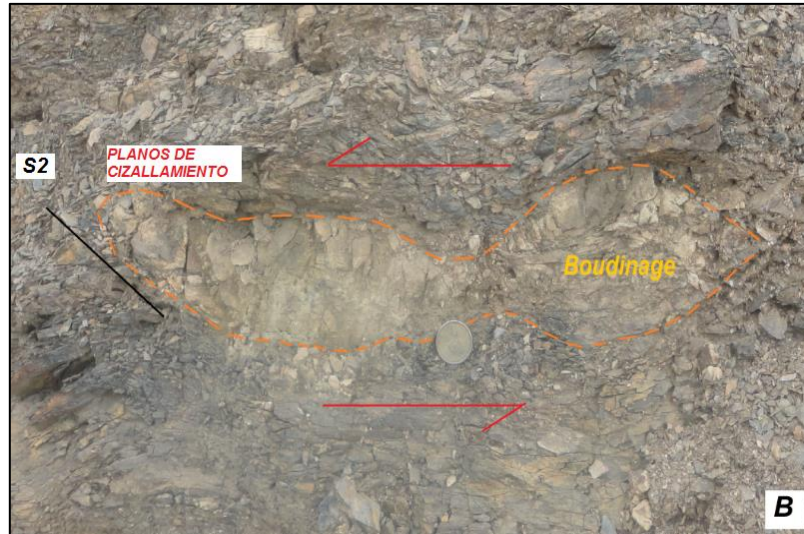
Afectando a las estructuras planares ( $S_1$  y  $S_2$ ), se desarrolla un clivaje de crenulación penetrativo  $S_3$ , el cual genera microplegamientos con una orientación aproximada N35°E/65°NW, deformando fuertemente las lutitas (Fotografía 4.12; 4.13). Además, microplegamientos aislados son también observados y no corresponden al clivaje de crenulación  $S_3$  ya que su disposición es caótica y no forman una estructura planar.

Afloramientos que muestran evidencias de deformación también han sido localizados en el tramo Espejo 1-Gualchán. En el sector de Espejo 1 (UTM: 809035-10085299), en lutitas y areniscas de grano fino de la Unidad El Laurel presentan evidencias de cizallamiento debido al contraste anisotrópico entre rocas competentes e incompetentes, lo cual genera una foliación  $S_1$  con orientación N45°E/40°SE subparalela a la estratificación  $S_0$ .

La deformación presente en este sector, se manifiesta por zonas de cizallamiento que generan fábricas  $S_2-C$  y estructuras sigmoidales, los cuales indican una cinemática de movimiento sinistral predominante aunque a veces se observan marcadores cinemáticos dextrales en menor proporción. La cizalla desarrollada muestra una fábrica  $S_2-C$ , con una foliación  $C$  de orientación N50°E/50°SE ( $S_1$ ), y la foliación  $S_2$  presenta una dirección N5°E/50°NW desarrollado en planos con dirección de rumbo E-W (Fotografía 4.14A).







**Fotografía 4.14.** (A) Desarrollo de una fábrica S-C (rojo-negro) con cinemática sinistral afectada por un plegamiento (en verde). (B) Boudinage de arenisca desarrollado en una matriz de material fino (en naranja).

Debido a la variación de competencia entre las lutitas y las areniscas se desarrollan “boudinages” de areniscas principalmente soportados en una matriz de lutitas. El eje de mayor deformación es subparalelo a la dirección del cizallamiento, en donde las estructuras “boudinage” se estiran provocando la rotura de los estratos y quedando como cuerpos aislados (Fotografía 4.14B).

#### 4.3.2.1. Deformación en las Calizas Gualchán.

El carácter competente semifrágil de las calizas en relación a las lutitas deleznable y areniscas de grano fino pertenecientes a la Unidad El Laurel, no permite el desarrollo de estructuras asociadas a la deformación como plegamientos y zonas de cizalla descritas anteriormente, sin embargo cuando este tipo de rocas son sometidas a esfuerzos compresivos se forman grietas tensionales (Fotografía 4.15B), vetillas de calcita y sistemas conjugados asociados, estructuras que permiten definir características importantes con respecto a la dirección del esfuerzo principal.

Las grietas de tensión constituyen fracturas alargadas rellenas de minerales secundarios que se forman debido a la acción de esfuerzos que actúan durante la deformación. Este tipo de estructuras ayudan a definir la historia de la deformación que ha sufrido la roca caja, ya que las grietas de tensión tienden a

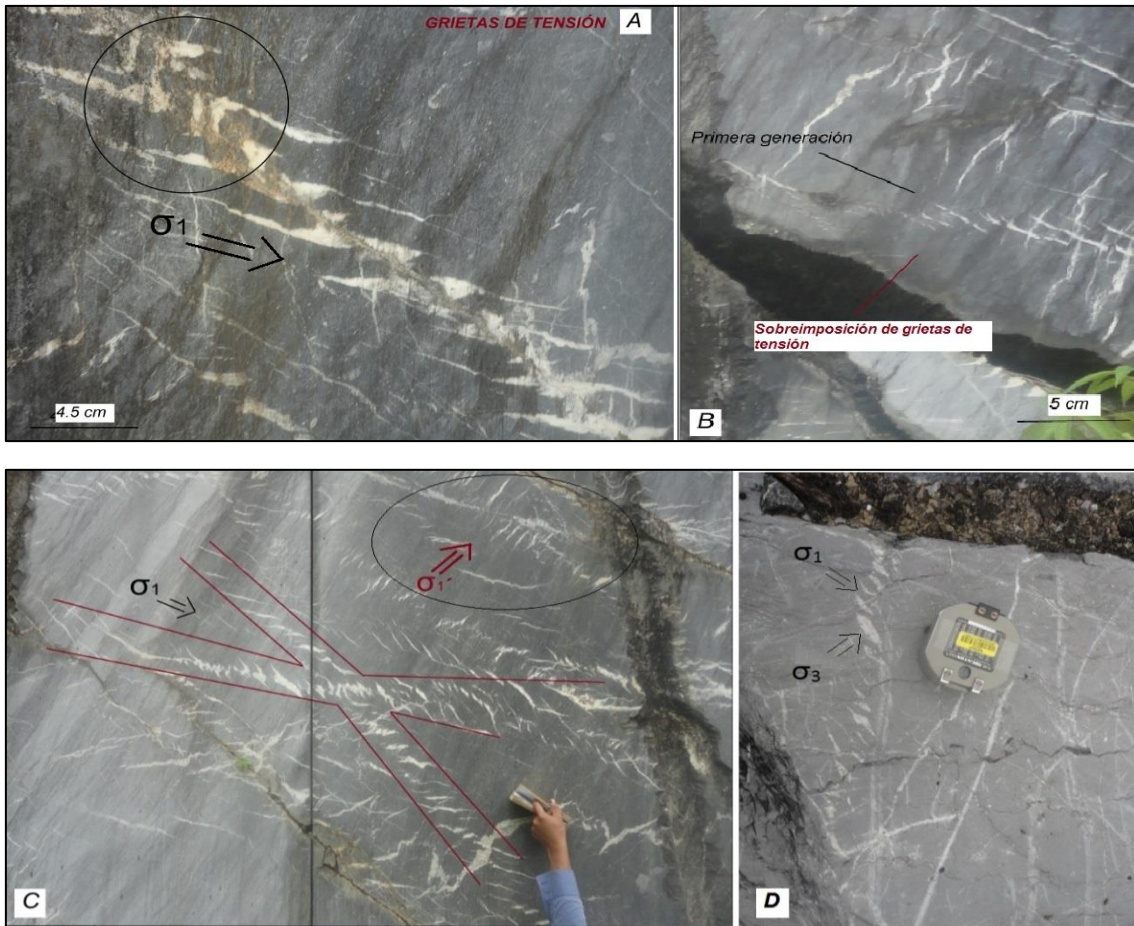
ensancharse en dirección del menor esfuerzo ( $\sigma_3$ ) y la propagación de las puntas de las venas “sigmoidales” generalmente indican la dirección del esfuerzo principal ( $\sigma_1$ ), la cual es paralela al eje de menor deformación (Fotografía 4.16D). Estas grietas de tensión presentan dimensiones centimétricas no mayores a 40 cm.

Las estructuras se encuentran rellenas de calcita producto de la disolución y precipitación de carbonatos (Fotografía 4.15 A, B). En la zona de estudio, se desarrollan principalmente al interior de los bloques de calizas de la Unidad El Laurel, donde marcan una dirección de esfuerzo principal N80°W vista en planta, es decir registran un evento compresivo casi en dirección E-W, constituyendo una primera generación. Una superposición de vetillas tensionales sigmoidales es desarrollada afectando a la primera familia de grietas. Esta superposición de grietas indican una nueva dirección del esfuerzo principal en el plano vertical estableciendo así un segundo período compresivo posterior casi vertical (Fotografía 4.16 B, C) debido a la variación en los campos de esfuerzos.



**Fotografía 4.15.** (A) Afloramiento de calizas Gualchán pertenecientes a la Unidad El Laurel. (B) Grietas de tensión y venas en echelon sigmoidales rellenas de calcita.

Debido a la alta solubilidad, en las rocas se forman sistemas conjugados de grietas tensionales rellenas de calcita, las cuales se encuentran relacionados a la primera generación de grietas sigmoidales formando planos conjugados, los cuales marcan la dirección del esfuerzo principal E-W asociados a un mismo campo de esfuerzos (Fotografía 4.16 C).



**Fotografía 4.16.** (A) Grietas de tensión y rotación por cizalla dúctil en el centro (círculo negro). (B) Desarrollo de grietas tensionales, primera generación (en negro) y sobreimposición de grietas de calcita (en rojo). (C) Sistemas conjugados de grietas (líneas rojas) que indican la dirección del esfuerzo principal  $\sigma_1$  y sobreimposición de grietas subverticales. (D) Grietas tensionales exhibiendo la dirección de los esfuerzos principales (en negro)  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ .

### 4.3.3. INTERPRETACIÓN DE LA DEFORMACIÓN

En base a lo anteriormente descrito tanto en las estructuras tectónicas así como en los estilos de deformación de las unidades geológicas, se interpreta la tectónica regional que actuó en la zona de estudio.

Un primer evento de deformación ( $D_1$ ) es registrado por las rocas cretácicas de la Unidad Pilatón, la cual se estima que se encuentra plegada a manera de un anticlinal debajo de la cobertura paleógena (ver perfil B-B'). La disposición de los estratos de la unidad sedimentaria presenta una dirección de buzamiento al Este y probablemente se encuentre asociado a un importante evento tectónico regional. El presente trabajo, asume que los estilos de deformación registrados en las rocas cretácicas son relacionados a la acción de un evento acrecionario, esto

podría ser correlacionable con la acreción del Campaniano (Vallejo, 2007) la cual es representada por una discordancia angular entre las unidades Pilatón y Collapí como se presenta en la Figura 3.1.

Por otra parte, las rocas volcanosedimentarias de la Unidad Collapí presentan un evento de deformación ( $D_2$ ) evidenciado con un plegamiento anticlinal en dirección de rumbo N-NE observado en areniscas estratificadas. Este evento de deformación se considera que actuó en el Paleoceno tardío y probablemente se relaciona con una zona de convergencia donde la fosa presenta una dirección N-NE, produciendo un ambiente compresivo en la zona septentrional del Ecuador asociado con un esfuerzo principal  $\sigma_1$  en dirección E-W. Este evento es representado y registrado en una discordancia erosional entre las Unidades Collapí y El Laurel. Además, en el mapa geológico es representado por la disposición del contacto entre las Unidades Pilatón y El Laurel en el centro-oeste de la zona de estudio.

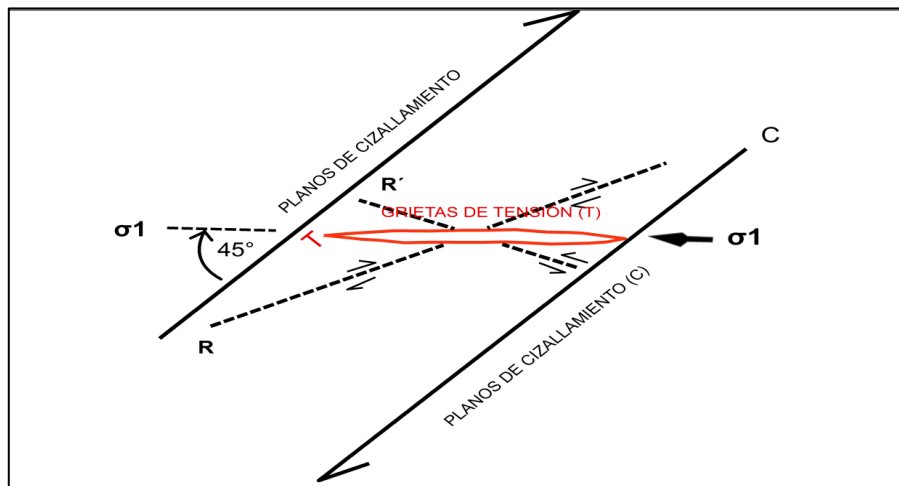
La evidencia de un tercer evento de deformación ( $D_3$ ) puede ser relacionada con el desarrollo de la foliación penetrativa  $S_1$  en la Unidad El Laurel. Esta superficie de foliación estaría asociada a un evento importante de deformación, el cual generó un cizallamiento principal desarrollando estructuras planares  $S_1$  con fábricas S-C en lutitas grafitosas deformadas (Fotografía 4.12). La segunda superficie de esquistosidad ( $S_2$ ) presente en la Unidad El Laurel se relaciona también con fábricas S-C y se puede correlacionar con la evolución y la continuidad del cizallamiento principal. Esta estructura penetrativa ( $S_1$ ) es probable relacionarla con la generación de “boudinages” de areniscas soportados en una matriz pelítica, donde el eje de mayor deformación es subparalelo a la dirección del cizallamiento provocando la rotura de estratos de la Unidad El Laurel. Posteriormente, un clivaje de crenulación sub-penetrativo ( $S_3$ ) corta a las superficies de foliación principales ( $S_1$ ,  $S_2$ ) evidenciando una continua evolución de la cizalla.

Como se mencionó anteriormente, las zonas de cizalla y los fallamientos dextrales NE son asociados a un evento compresivo en la región, donde la dirección del esfuerzo principal es estimado por la presencia de grietas tensionales rellenas en



las Calizas Gualchán, las cuales establecen una dirección  $\sigma_1$  de N80°W, es decir registran un evento compresivo casi en dirección W-E, descrita en la primera generación de grietas tensionales presentes en las calizas. Esta idea es soportada por la presencia de planos de cizallamiento desarrollados en la ZCO donde un previo análisis de la dirección del esfuerzo principal determinó también una dirección E-W.

Esto probablemente estaría asociado al desarrollo de clivaje de fractura espaciado reportado para la Unidad Collapí, el cual coincide con la dirección del esfuerzo principal actuando como grietas tensionales sin precipitación de minerales secundarios. Además, la presencia de fallas inversas en rocas de edad cretácica hasta eocénica soportaría la hipótesis de un esfuerzo principal compresivo ya que los fallamientos cabalgantes presentan vergencia al Este.



**Figura 4.2.** Elementos tectónicos en una zona de cizallamiento y orientación del esfuerzo principal respecto al cizallamiento para el segundo evento de deformación ( $D_2$ ).

Por lo tanto, un importante evento de deformación en el Eoceno tardío hasta finales del Oligoceno ha sido registrado en rocas de la Unidad El Laurel. La existencia de un régimen compresivo estaría relacionada con importantes tasas de exhumación y levantamiento registradas tanto en la Cordillera Occidental y Real por Spikings et al. (2001, 2005) establecidas para el Eoceno, probablemente estaría relacionado a la acreción del Bloque Naranjal en el norte del país (Boland et al., 2000). Este evento regional es representado como una discordancia erosional entre las unidades El Laurel y San Juan de Lachas, como se presenta en la Figura 3.1.

## CAPÍTULO 5.

### GEOQUÍMICA DE ROCAS INTRUSIVAS Y VOLCÁNICAS

El magmatismo y volcanismo están representados por varios cuerpos intrusivos de composición básica a intermedia emplazados en rocas sedimentarias y por mantos de lavas con brechas andesíticas expuestas en la zona de estudio.

Para la caracterización y discriminación se realizaron un total de 13 análisis químicos (Ver Tabla 5.1) para elementos mayores, elementos traza y tierras raras, en rocas frescas con pocos signos de alteración y/o meteorización. Los resultados de los análisis químicos usados en la interpretación se indican en el Anexo 3.

*Tabla 5.1. Código, unidad geológica y ubicación de las muestras utilizadas en la interpretación geoquímica de rocas volcánicas e intrusivas.*

MUESTRA	UNIDAD GEOLÓGICA	COORDENADA X	COORDENADA Y	LITOLOGÍA
EC-T31	Intrusivo El Cabuyal	808272	10083638	Hornblendita
EC-T33*	San Juan de Lachas	806374	10082684	Andesita
EC-T38A	San Juan de Lachas	805710	10084109	Andesita
EC-T38B	San Juan de Lachas	805710	10084109	Andesita
EC-T39*	San Juan de Lachas	807143	10084975	Brecha volcánica
EC-T44	Intrusivo Catarama	806185	10079596	Cuarzodiorita
EC-T75*	Intrusivo El Puerto	802962	10081434	Diorita
EC-T66	Intrusivo El Puerto	802961	10081429	Diorita
EC-T2	Intrusivo El Puerto	802987	10081616	Diorita
EC-T6	Intrusivo La Carolina	805872	10081653	Hornblendita
EC-T7	Intrusivo La Carolina	805913	10081648	Hornblendita
EC-T10A	Dique andesítico	801741	10085405	Andesita basáltica
EC-T13	Dique andesítico Hbl	806243	10083226	Andesita hornbléndica

Para la interpretación de los datos químicos, el contenido de los elementos mayores (wt%) fue recalculado para cada óxido y normalizado a una base anhidra libre de volátiles (sin LOI), considerando que el 100% constituye el total del contenido en óxidos de los elementos mayores.

El LOI (*loss on ignition*) expresado en wt%, constituye un parámetro que proporciona una idea de la confiabilidad de los resultados obtenidos en los análisis geoquímicos. Este parámetro indica la cantidad total de volátiles y materia orgánica que se encuentra presente en la muestra, por lo tanto puede ser un indicador del grado de alteración de las rocas (Gill, 2010).



De este grupo de datos geoquímicos, tres muestras (EC-T39\*, EC-T75\*, EC-T33\*) no fueron consideradas en las interpretaciones, debido a que el LOI presenta valores altos. Se eliminaron las muestras con valores de LOI superiores a 3.5 ya que pueden representar alteración y/o meteorización en las rocas y llevar a interpretaciones erróneas (Figura 5.1).

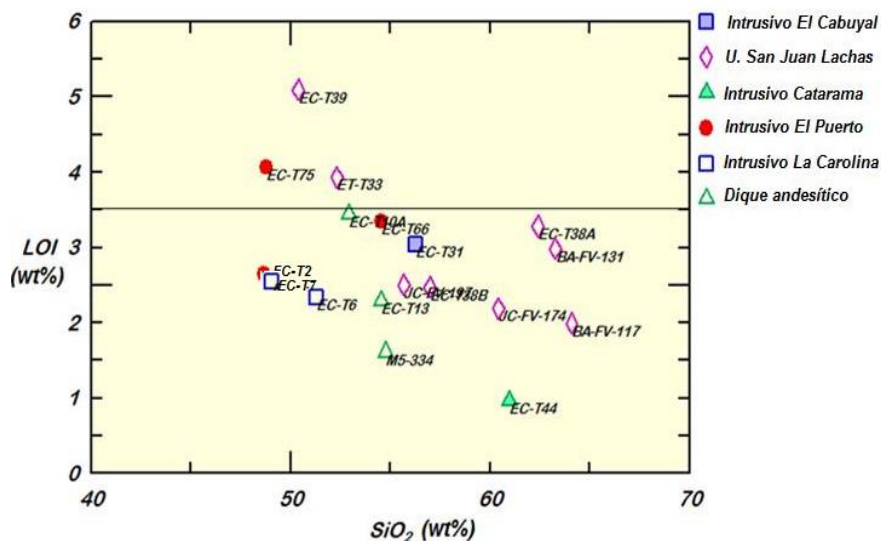


Figura 5.1. Relación LOI (Loss on ignition) vs SiO<sub>2</sub> (wt%). Muestras con LOI mayor a 3.5 no serán consideradas para las interpretaciones.

## 5.1. NATURALEZA DE LOS CUERPOS INTRUSIVOS

### 5.1.1. CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

En este subcapítulo, se consideraron un total de seis análisis geoquímicos de rocas para la caracterización petrológica de los cuerpos intrusivos.

El contenido de los elementos mayores está expresado en porcentaje en peso total (wt%), mientras que los contenidos en elementos traza y tierras raras son expresadas en partes por millón (ppm).

Los análisis geoquímicos de rocas pertenecientes a los cuerpos intrusivos de la zona exhiben composiciones básicas a intermedias entre 48,78 wt% - 60,96 wt%SiO<sub>2</sub>, en base al contenido absoluto de sílice. Las rocas de los intrusivos *La Carolina*, *El Cabuyal* y *El Puerto* presentan ciertas tendencias básicas entre gabros y dioritas básicas representadas en el diagrama de Le Bas et al. (1986) en base a la relación (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O vs SiO<sub>2</sub>). Por otra parte, el cuerpo intrusivo

Catarama es relativamente ácido en comparación a los granitoides máficos, y exhibe una composición intermedia-ácida (Figura 5.2).

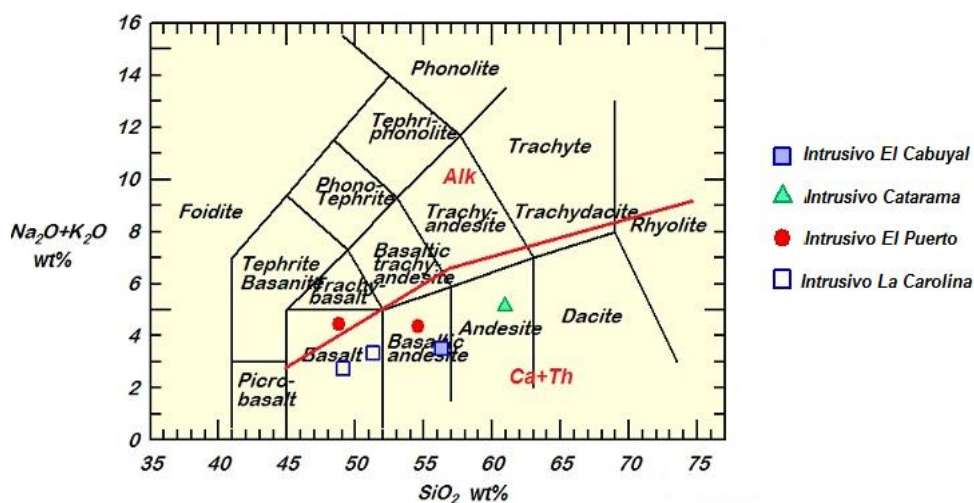


Figura 5.2. (A) Diagrama de clasificación de rocas intrusivas,  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$  (wt%). (Le Bas et al., 1986).

Además, las muestras de rocas intrusivas representadas en el diagrama de clasificación de Irvine y Baragar (1971) caen dentro del campo subalcalino con contenidos de  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  entre 2,76 – 5,11 wt% (Figura 5.3A). Esto es soportado por el diagrama de clasificación De La Roche et al. (1980) en donde las muestras caen reiteradamente en el campo subalcalino (Figura 5.3 B).

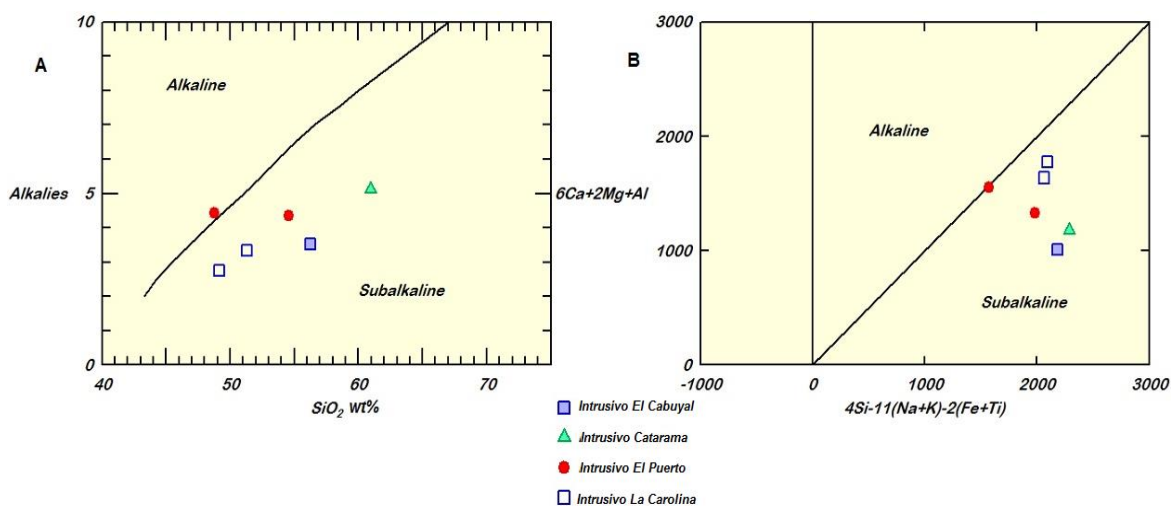
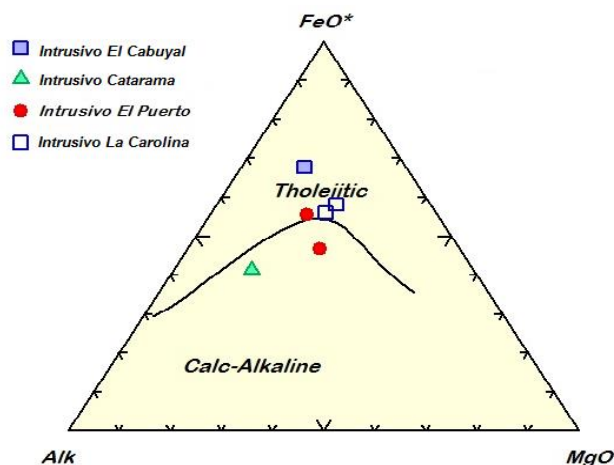


Figura 5.3. Índice de alcalinidad de los cuerpos intrusivos de la zona de estudio. (A) Diagrama de clasificación de Irvine y Baragar (1971). (B) Diagrama de clasificación De La Roche et al., (1980).

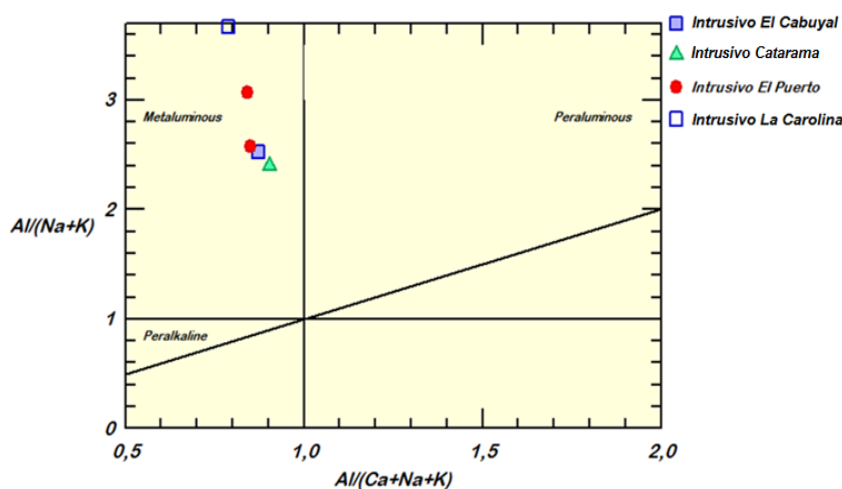
Basados en el índice de alcalinidad, las cuatro muestras de rocas pertenecientes a los intrusivos La Carolina, El Puerto y El Cabuyal corresponden a series

toleíticas evidenciado en el diagrama triangular de Irvine y Baragar (1971), a diferencia del granitoide *Catarama*, el cual pertenece a la serie calcoalcalina normal (Figura 5.4). Sin embargo, una muestra del intrusivo El Puerto es contradictoria ploteándose en el campo calcoalcalino.



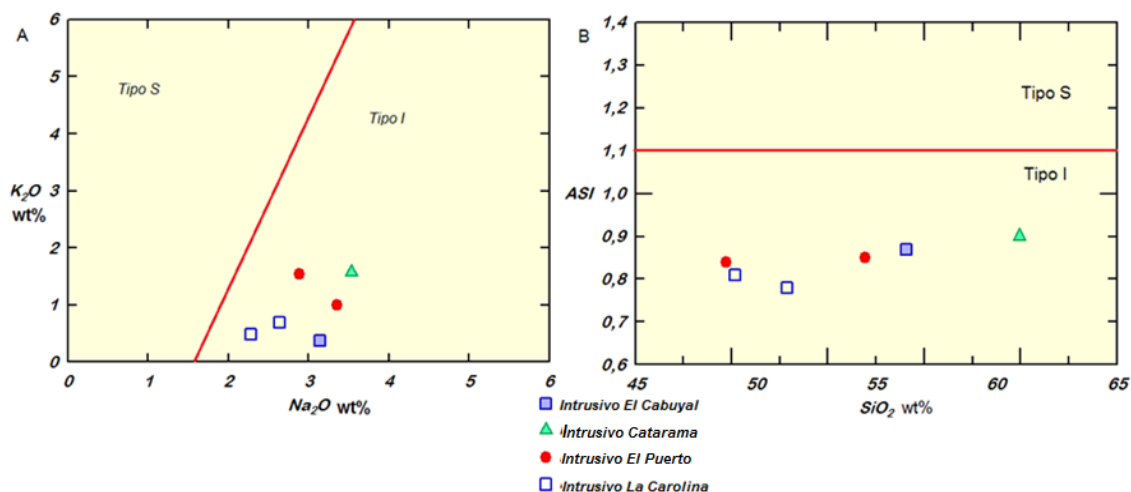
**Figura 5.4.** Afinidades geoquímicas en función de la alcalinidad para los cuerpos intrusivos. Diagrama triangular de Irvine y Baragar (1971).

Con respecto a la saturación de alumina, el índice de saturación en alumina  $ISA = (Al / (Ca + Na + K))$  para las rocas intrusivas de la zona de estudio varía entre 0,78-0,91 estableciendo características metaluminosas para todas las muestras ploteadas (Figura 5.5). Esta relación considera los valores de los elementos Al, Ca, Na y K expresado en moles mediante las relaciones  $(Al / (Na + K))$  vs  $(Al / (Ca + Na + K))$  representadas en el diagrama de Maniar y Picolli (1989).

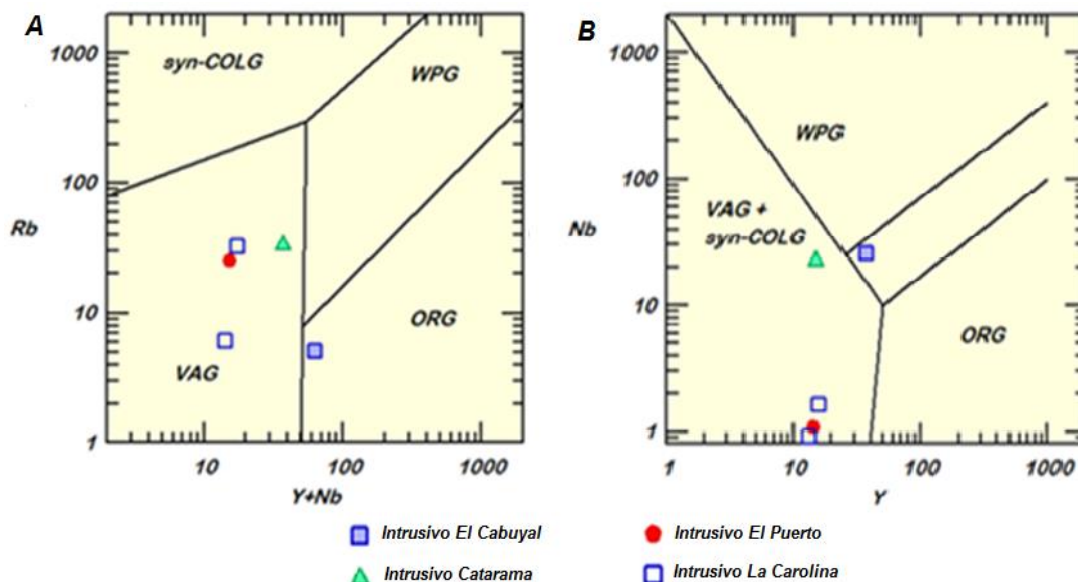


**Figura 5.5.** Diagrama de Maniar y Picolli (1989) para los granitoides presentes en la zona de estudio con características metaluminosas.

Considerando los diagramas de Chappell y White (1974) para la discriminación entre granitoides tipo S e I, las seis muestras de rocas pertenecientes a los intrusivos de la zona de estudio exhiben en general tendencias tipo *I-Cordilleranos* (Figura 5.6). El parámetro ASI considerado por Chappell y White (1974) constituye la relación  $Al/Ca-1,67P+Na+K$  expresado en moles.



**Figura 5.6.** (A) Diagrama  $K_2O$  vs  $Na_2O$ , campos de granitoides tipo S e I. (B) Diagrama ASI (Aluminum Saturation Index) (moles) vs  $SiO_2$  (wt%).



**Figura 5.7.** Caracterización de los granitoides en función del ambiente tectónico, (A)  $Rb$  vs  $Y+Nb$  (B)  $Nb$  vs  $Y$ . (Pearce et al., 1984). VAG (volcanic arc granite), syn-COLG (syn collision granite), WPG (within plate granite, anorogenic field), ORG (ocean ridge granite).

Con respecto al origen o ambiente tectónico de formación, los cuerpos intrusivos El Puerto, La Carolina, El Cabuyal y Catarama corresponden a granitoides de arco volcánico (VAG) relacionados a márgenes convergentes con zonas de

subducción. Para esta discriminación se utilizaron las relaciones presentadas por Pearce et al., (1984), el cual ha considerado ciertos elementos traza (Nb, Rb, Y) representados en dos diagramas logarítmicos (Figura 5.7).

### **5.1.2. INTERPRETACIÓN PETROLÓGICA DE LOS CUERPOS INTRUSIVOS BÁSICOS.**

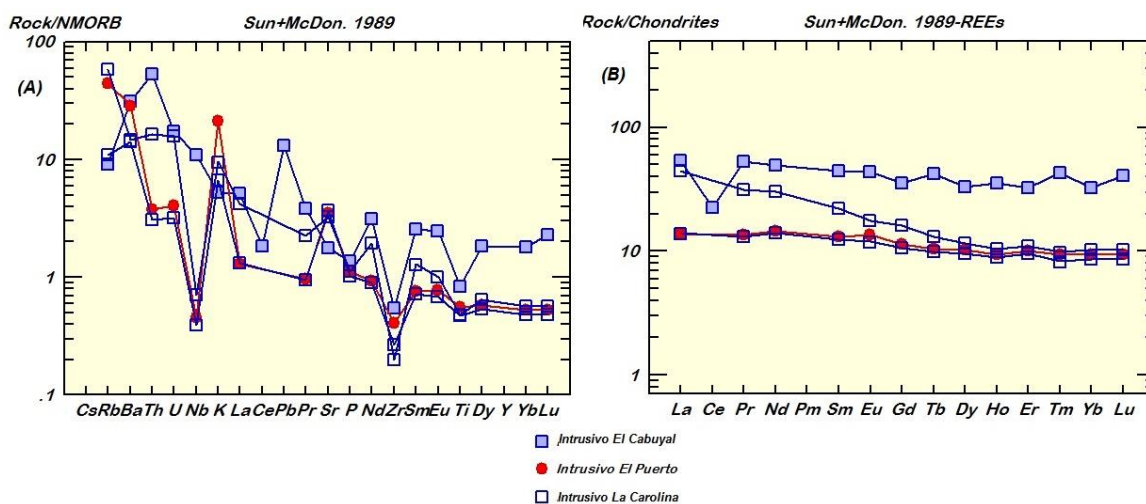
Con respecto a la petrología de los cuerpos intrusivos se ha establecido mediante diagramas spider multielementales normalizados las siguientes relaciones.

En el diagrama de Sun y McDonough (1989) normalizado a N-Morb (Figura 5.8A), los intrusivos máficos *El Puerto*, *La Carolina* y *El Cabuyal* presentan un marcado enriquecimiento en elementos incompatibles LILE (Large ion lithophile elements) en Rb, Ba, Th, Sr y baja abundancia en elementos incompatibles HFSE (High field strength elements) en Zr, Nb y Ti. Los diagramas spider exhiben picos negativos en Nb y Ti, esto marca una característica típica de rocas resultantes de magmatismo sugiriendo un proceso de subducción (Rollinson, 1993). Además, un espectro plano bien marcado entre 0.4-0.6x para elementos de tierras raras HREE (High rare earth elements) en Dy, Y, Yb y Lu es evidenciado en el diagrama spider con respecto al N-Morb.

En el diagrama extendido de incompatibilidad de tierras raras normalizado a condrita, prácticamente el patrón es plano, se observa que la concentración de tierras raras livianas (LREE) como La, Ce, Pr, Nd y Sm llega hasta el orden de 13x condrita presente en dos muestras y a 50x condrita para una muestra del intrusivo *El Cabuyal*. Además, una muestra del intrusivo *La Carolina* presenta cierta tendencia donde las tierras raras livianas (LREE) son ligeramente enriquecidas y disminuye levemente su contenido en tierras raras pesadas (HREE) indicando un leve o mínimo fraccionamiento. En general, los diagramas con patrón plano, los cuales no exhiben un fraccionamiento de LREE a HREE sugieren una relación con basaltos primitivos (McCourt et al., 1997). Además, los espectros planos entre el orden de 13x y 50x condrita, sugieren que las muestras



constituyen intrusiones máficas de afinidad toleítica asociadas a posibles arcos de islas (Wilson, 1994) (Figura 5.8B).



**Figura 5.8.** (A) Diagrama multielementos normalizado al N-MORB (Sun y McDonough, 1989) para los intrusivos básicos. (B) Diagrama de tierras raras normalizado a condritas (Sun y McDonough, 1989) para las rocas básicas.

En conclusión, el contenido de elementos de tierras raras con respecto a las condritas así como el débil o nulo fraccionamiento que exhiben los espectros de las intrusiones máficas establecen afinidades toleíticas (Wilson, 1994). Esta idea también es soportada por diagramas de variantes y triangulares anteriormente presentados (Figura 5.4). Por lo tanto, las intrusiones básicas *El Cabuyal*, *La Carolina* y *El Puerto* muy posiblemente están relacionados a ambientes toleíticos de arcos primitivos o de islas.

Los gabros hornblendíticos bajo estas consideraciones parecen constituir el basamento de una cámara magmática parte de un complejo volcánico de probable edad eoceno medio.

## 5.2. VOLCANISMO OLIGOCÉNICO

### 5.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

En este subcapítulo, se consideraron un total de nueve análisis geoquímicos de rocas para el estudio del volcanismo San Juan de Lachas, de los cuales cuatro análisis de muestras han sido tomados de INIGEMM (2012A) e INIGEMM (2013A)

ubicadas cerca de la zona de estudio. Además, un análisis geoquímico de roca ha sido recolectada de Boland et al. (2000).

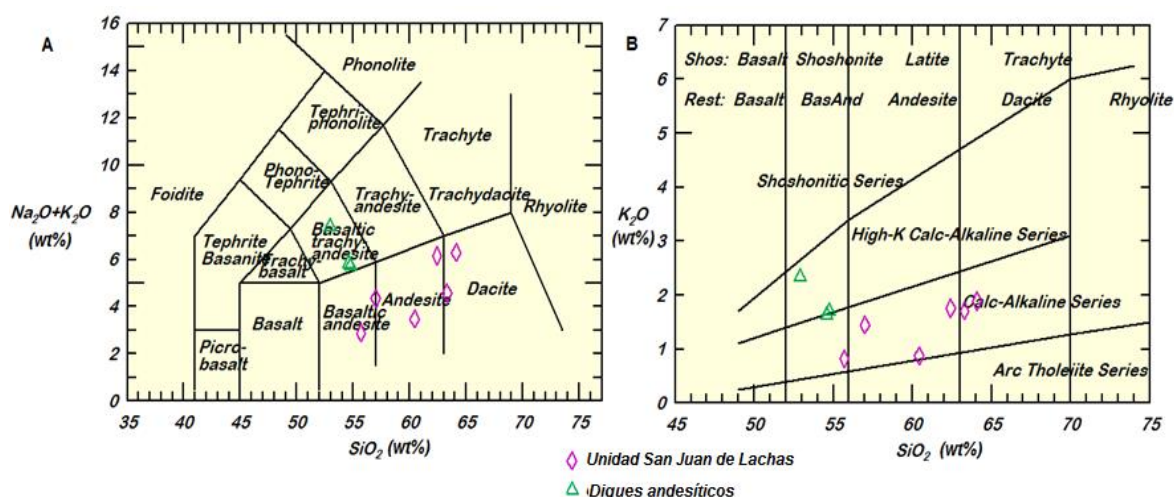
Los análisis bibliográficos utilizados son presentados en un listado (Tabla 5.2).

**Tabla 5.2.** Código de muestra, unidad geológica y ubicación de los ejemplares utilizados en el estudio del volcanismo oligoceno.

MUESTRA	U. GEOLÓGICA	COORDENADA X (WGS 84)	COORDENADA Y (WGS 84)	LITOLOGÍA	FUENTE
BA-FV-117	San Juan de Lachas	806081	10068563	Andesita	INIGEMM (2012A)
BA-FV-131	San Juan de Lachas	794333	10063922	Andesita	INIGEMM (2012A)
JC-FV-174	San Juan de Lachas	800026	10085377	Andesita	INIGEMM (2013A)
JC-FV-197	San Juan de Lachas	796841	10082888	Andesita	INIGEMM (2013A)
M5-334	San Juan de Lachas	806305	10083330	Andesita	Boland et al. (2000)

El contenido de los elementos mayores está expresado en porcentaje en peso total (wt%), mientras que los contenidos en elementos traza y tierras raras son expresadas en partes por millón (ppm).

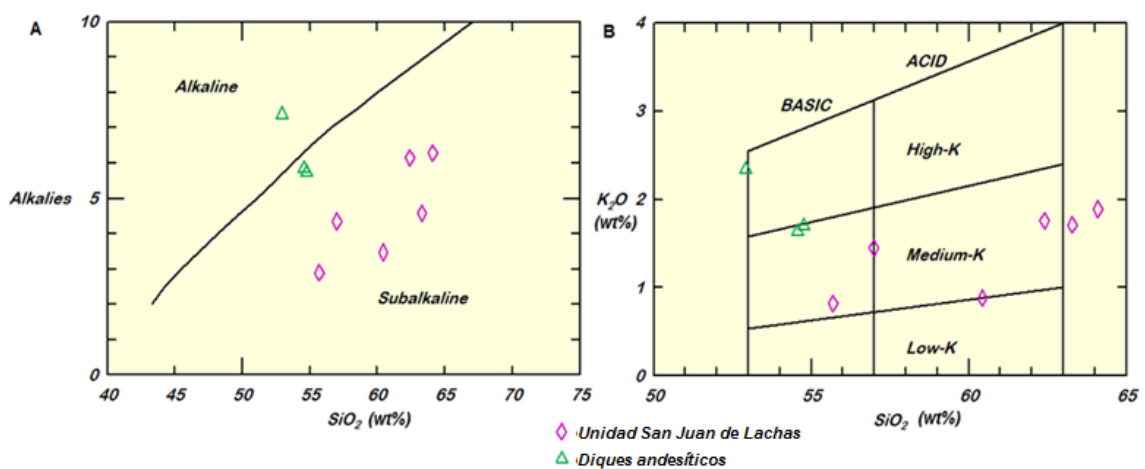
En función del contenido de sílice, las muestras de rocas volcánicas analizadas presentan un amplio rango composicional entre andesitas basálticas a dacitas (52,91-64,10 wt%SiO<sub>2</sub>) basados en la clasificación Alcalies-Silica (Le Bas et al., 1986), con excepción de los diques andesíticos, los cuales se ubican en el campo composicional de traqui-andesita basálticas (Figura 5.9A), sin embargo no se ha reportado minerales alcalinos en análisis petrográficos microscópicos de los diques andesíticos.



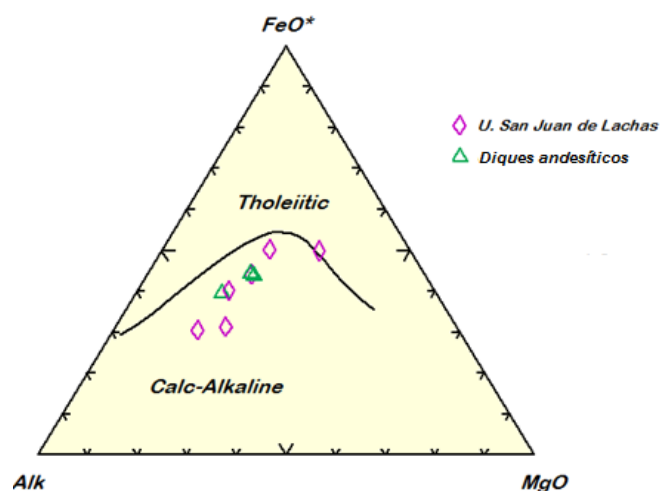
**Figura 5.9.** (A) Diagrama de clasificación de rocas volcánicas Unidad San Juan de Lachas,  $Na_2O+K_2O$  vs  $SiO_2$  (wt%). (Le Bas et al., 1986). (B) Diagrama de clasificación de rocas volcánicas,  $K_2O$  vs  $SiO_2$  (wt%). (Peccerillo y Taylor, 1976).

Típicamente desde el punto de vista composicional, todas las rocas analizadas en la zona de estudio en general presentan una serie calcoalcalina típica de rocas de arco continental (Figura 5.9B). Las muestras de los diques andesíticos se encuentran en el límite entre las series calcoalcalina y calcoalcalina con alto K evidenciado en el diagrama Peccerillo y Taylor (1976).

En base a la alcalinidad, la mayoría de las rocas son subalcalinas (Figura 5.10A) con concentraciones de K dispersas pero dentro del campo de medio K evidenciado en el diagrama de Gill (1981).



**Figura 5.10.** (A) Diagrama de clasificación Irving y Baragar (1971) para las rocas volcánicas de la Unidad San Juan de Lachas. (B) Diagrama de clasificación  $K_2O$  vs  $SiO_2$  (wt%), Gill (1981).



**Figura 5.11.** Diagrama triangular AFM, Irving y Baragar (1971) para las rocas volcánicas de la Unidad San Juan de Lachas.

Todas las rocas analizadas presentan características típicas de un arco volcánico continental calcoalcalino como se presenta en los diagramas anteriores (Figura 5.9B y Figura 5.11) es decir constituyen rocas, las cuales sufren un proceso de diferenciación magmática.

### 5.2.2. ELEMENTOS MAYORES

Las variaciones composicionales de los elementos mayores con respecto al  $\text{SiO}_2$  es representado en forma de diagramas Harker y su comportamiento con respecto a rocas evolucionadas será discutido a continuación.

El  $\text{Al}_2\text{O}_3$  varía entre 15,47 – 18,51wt% en las rocas volcánicas y diques de composiciones andesíticas. En el diagrama Harker, las rocas muestran una tendencia negativa clara con respecto al  $\text{SiO}_2$ . Los diques andesíticos presentan alto contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre menor contenido de  $\text{SiO}_2$  muestren, a diferencia de las lavas andesíticas de la Unidad San Juan de Lachas (Figura 5.12).

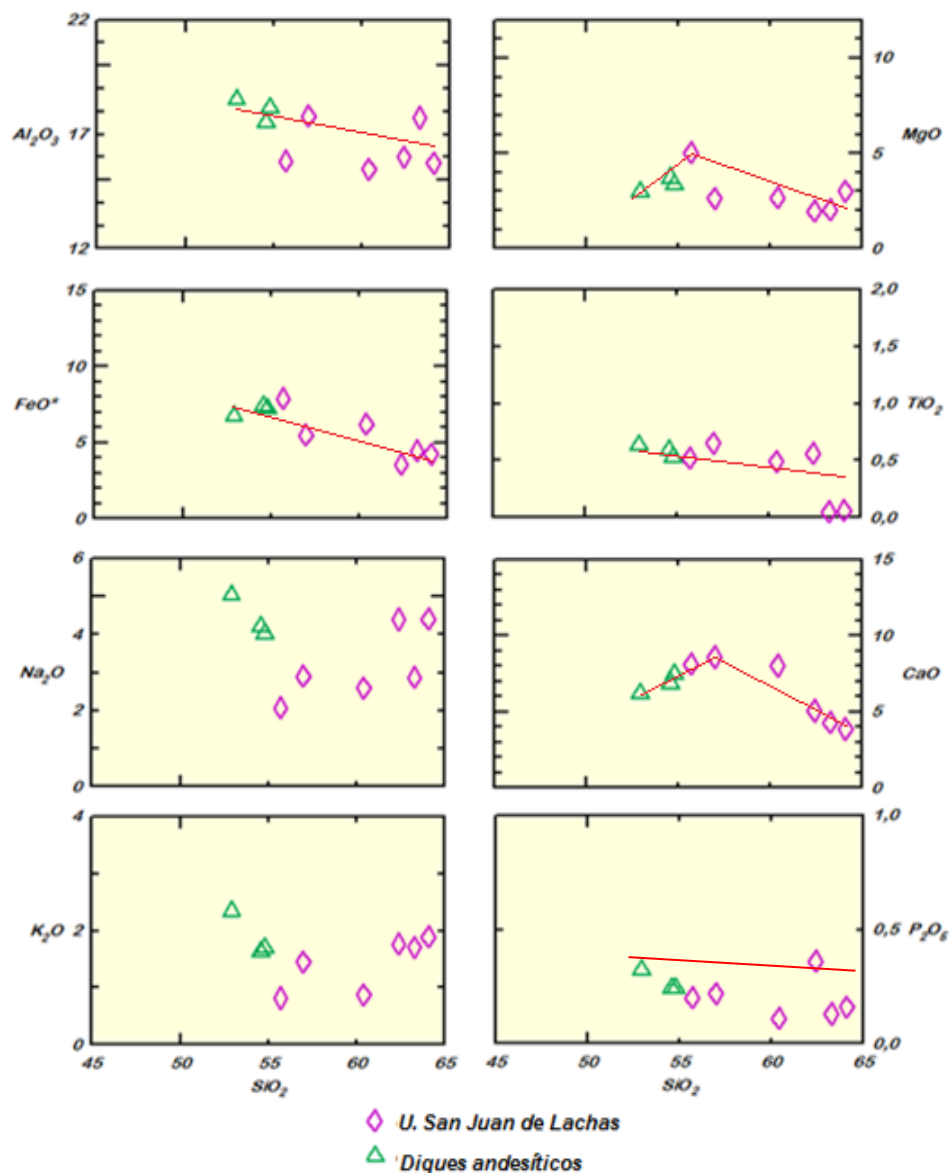
El  $\text{MgO}$  presenta concentraciones entre 1,98 – 5,02wt%. Las rocas exhiben una tendencia positiva al aumentar el  $\text{SiO}_2$  hasta 55%wt  $\text{SiO}_2$  generando un pico, el cual decae con una tendencia negativa al aumentar  $\text{SiO}_2$ , en donde disminuye el contenido de  $\text{MgO}$  al aumentar el  $\text{SiO}_2$ , debido probablemente a procesos de diferenciación magmática (Rollinson, 1993).

Con respecto al contenido en  $\text{FeO}^*$ , los valores varían entre 3,98 – 8,75wt% y las rocas exhiben cierta tendencia negativa al aumentar el contenido de  $\text{SiO}_2$  para las rocas de la Unidad San Juan de Lachas. Los diques andesíticos tienen un alto contenido de  $\text{FeO}^*$ .

El  $\text{TiO}_2$  varía entre 0,05 – 0,65 wt% en las muestras de la Unidad San Juan de Lachas. En el diagrama  $\text{TiO}_2$  vs  $\text{SiO}_2$  se observa una leve tendencia negativa al aumentar el contenido de  $\text{SiO}_2$ . El valor más alto corresponde a una andesita proveniente de un dique volcánico.

Con respecto al  $\text{Na}_2\text{O}$ , no se observa una tendencia clara positiva, los valores contenidos entre 2,07- 5,03 wt% se encuentran dispersos en la gráfica  $\text{Na}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$  (Figura 5.12).

El contenido de CaO presenta valores entre 3,87-8,59 wt%, en la gráfica se observa una clara tendencia positiva hasta 56 wt% SiO<sub>2</sub>, desarrollando un pico, el cual decae con una tendencia negativa al aumentar el contenido de SiO<sub>2</sub> en andesitas de la Unidad San Juan de Lachas. Esta tendencia puede ser interpretada como el fraccionamiento de fases minerales ricas en Ca como plagioclasa cálcica (Rollinson, 1993). Análisis microscópicos petrográficos en andesitas de la Unidad San Juan de Lachas, determinan la cristalización de bytownita y andesina, soportando la idea del fraccionamiento mineral.



**Figura 5.12.** Diagramas de variación Harker en los que se presentan los valores de los elementos mayores (wt%) vs SiO<sub>2</sub> (wt%).



El  $K_2O$  varía entre 0,82-2,34 wt%, no se observa una clara correlación de los valores que presentan las muestras. Sin embargo, se estima que el contenido de  $K_2O$  es proporcional al aumentar el  $SiO_2$ .

Con respecto al contenido de  $P_2O_5$ , los valores varían entre 0,11 - 0,36 wt%. Los datos no exhiben una tendencia clara en relación al contenido de  $SiO_2$ , sin embargo se estima una leve tendencia negativa para las rocas de la Unidad San Juan de Lachas.

### **5.2.3. ELEMENTOS TRAZA**

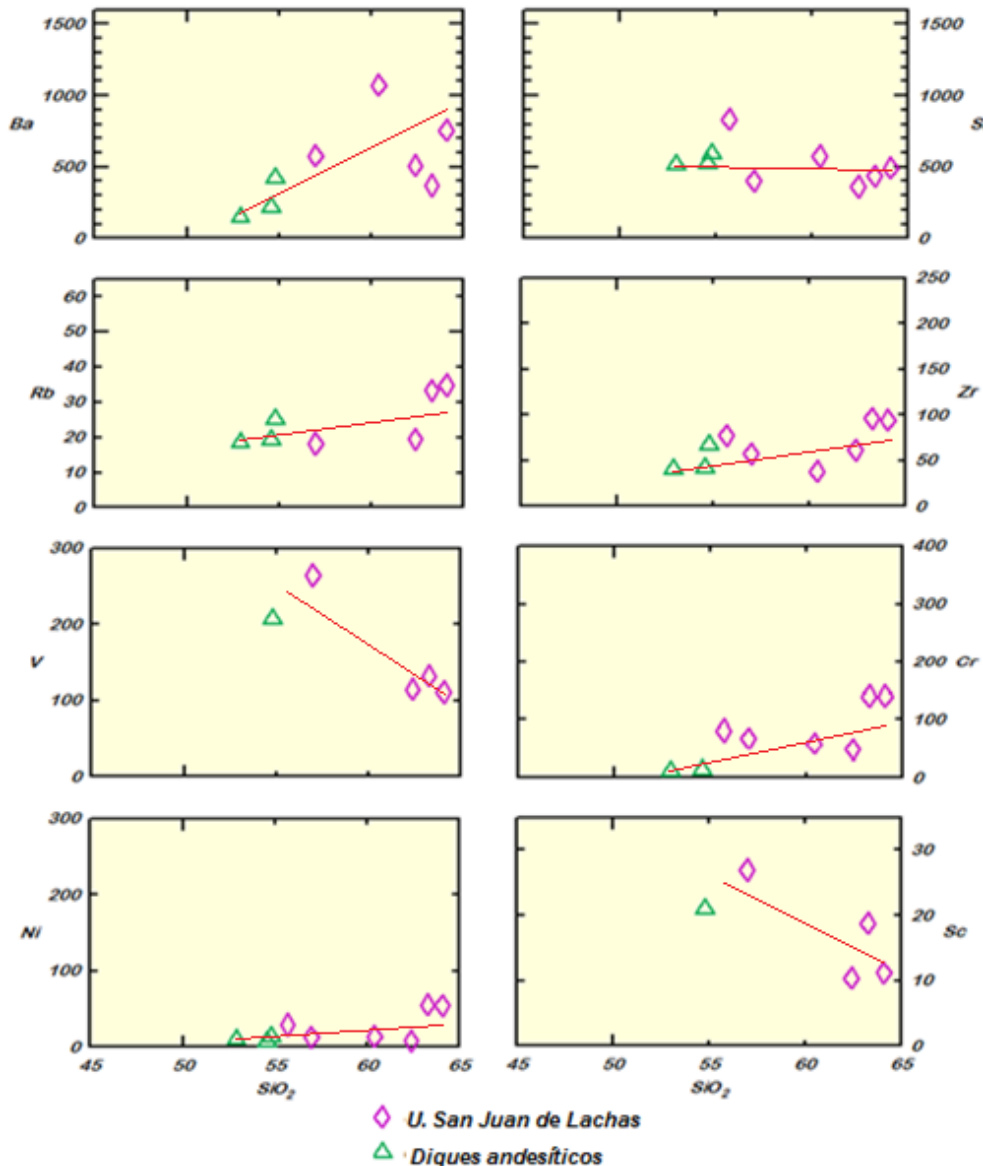
Las relaciones composicionales de algunos elementos traza con respecto al contenido de  $SiO_2$ , se presentan en los diagramas pseudo-Harker (Figura 5.13).

El contenido de Ba en las rocas de la Unidad San Juan de Lachas exhiben valores entre 145,20 – 2266 ppm, y constituye una correlación positiva con respecto al  $SiO_2$  a diferencia del elemento Sr, el cual varía entre 362,30 – 833 ppm, y exhibe una tendencia plana a relativamente negativa al aumentar el contenido de  $SiO_2$  (wt%).

El Rb exhibe una correlación levemente positiva con respecto al contenido de  $SiO_2$ . Este elemento traza se encuentra en valores entre 18,15 – 34,80 ppm.

Elementos como el Zr y Cr, exhiben una tendencia ligeramente positiva hacia las fases más evolucionadas a diferencia de los elementos trazas como V y Sc, los cuales muestran una tendencia negativa cuando aumenta el contenido de  $SiO_2$ .

Con respecto al metal de transición Ni, las muestras presentan valores entre 7,36 – 55,60 ppm. El Ni no presenta una tendencia marcada es más bien plana a ligeramente positiva, observada en el diagrama pseudo-Harker Ni vs  $SiO_2$ .

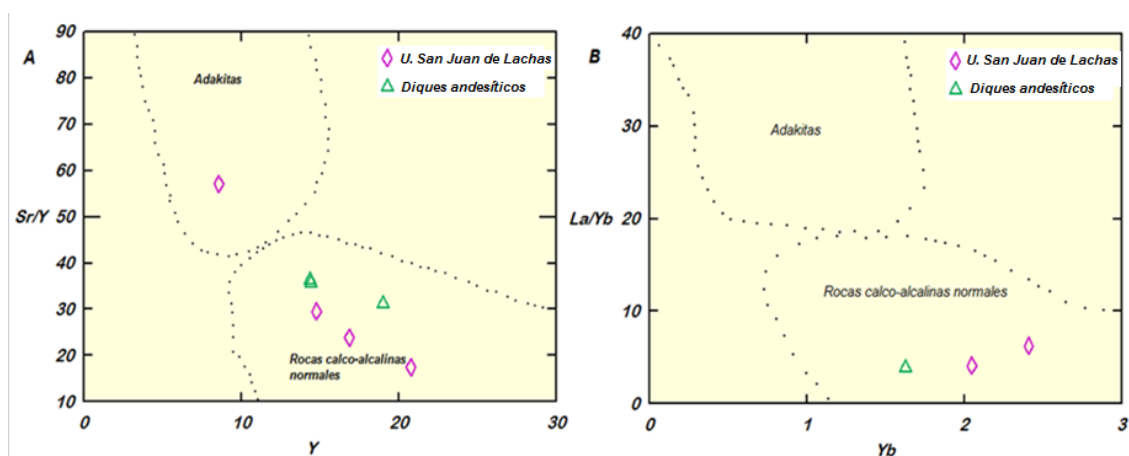


**Figura 5.13.** Diagramas pseudo-Harker de variación para elementos traza (ppm) vs el contenido de SiO<sub>2</sub> (wt%).

Por otra parte, la clasificación de rocas volcánicas cuyas composiciones químicas sugieren que fueron producidas por la fusión parcial de una fuente basáltica y relacionadas con diferentes procesos petrogenéticos de formación ha sido considerada, es así que se ha mencionado en los últimos años, la presencia de firmas adakíticas en el arco volcánico ecuatoriano. Estas consideraciones han sido establecidas en el presente estudio para el volcanismo oligoceno.

Las adakitas son rocas volcánicas con características geoquímicas particulares, las cuales son producidas por la fusión parcial de la corteza oceánica deshidratada en zonas de subducción presentando contenidos de SiO<sub>2</sub>>56wt%,

$Al_2O_3 > 15wt\%$ ,  $Sr > 400$  ppm,  $Y < 18$  ppm,  $Yb < 1,8$  ppm,  $La/Yb > 20$  y  $Sr/Y > 40$  (Defant y Drummond, 1990).



**Figura 5.14.** Diagramas de relaciones Sr/Y vs Y, La/Yb vs Yb en los que se exhibe los campos adakíticos y calco-alcalinos normales.

Basados en esta información previa, únicamente una muestra de la Unidad San Juan de Lachas cae en el campo adakítico y las demás constituyen rocas calcoalcalinas normales (Figura 5.14). Además, las rocas con afinidades adakíticas presentan espectros altamente fraccionados con respecto a los diagramas multielementales normalizados a N-Morb, sin embargo se observan espectros fraccionados característicos de rocas con firmas calcoalcalinas como los que se presentan a continuación (Figura 5.15B).

Los valores en Sr, Y, Yb y La no han sido determinadas para algunas muestras de rocas por lo que en las gráficas no han sido ploteados.

#### 5.2.4. DIAGRAMAS MULTIELEMENTALES SPIDER

Con respecto a la petrología de las rocas volcánicas se ha establecido mediante diagramas spider multielementales normalizados, las siguientes relaciones.

En el diagrama extendido de incompatibilidad de tierras raras normalizado para condrita (Figura 5.15A), el patrón no es plano, se observa que las concentraciones de tierras raras livianas (LREE) son enriquecidas en La, Pr, Nd y Sm entre el orden de 20x a 80x condrita para las rocas de la Unidad San Juan de

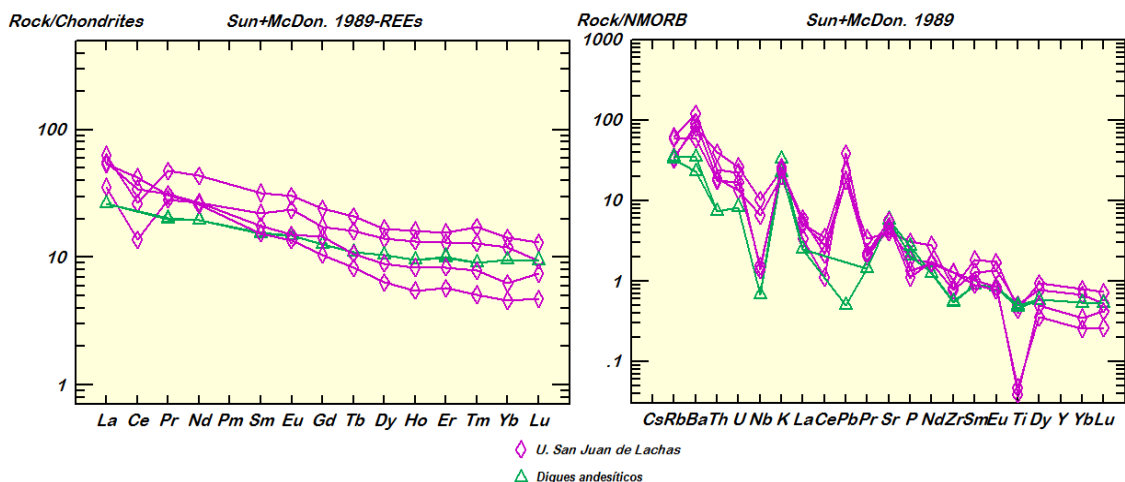
Lachas y diques andesíticos. Por otra parte, una anomalía negativa en Ce sugiere que puede ser producida por la incorporación significativa de sedimentos pelágicos con la interacción de agua de mar en el proceso de subducción (Neal y Taylor, 1989).

Las tierras raras pesadas (HREE) son empobrecidas en relación a las tierras raras livianas (LREE) como se observan en los elementos Ho, Tm, Yb y Lu. Los elementos de tierras raras pesadas (HREE) presentan espectros semiplanos en valores en torno a 4x y 20x condrita. Claramente se observa un fraccionamiento muy marcado de LREE a HREE propio de procesos de diferenciación magmática.

En general, los diagramas con estas tendencias bien establecidas sugieren que pueden estar relacionadas con el fraccionamiento de fases minerales (Wilson, 1994). Con respecto a los espectros de elementos de tierras raras, estas tendencias son típicas de arco volcánico continental, tanto para las rocas volcánicas y los diques andesíticos.

En el diagrama extendido de incompatibilidad de elementos traza y tierras raras normalizado para N-Morb (Figura 5.15B), se observa un marcado enriquecimiento de elementos incompatibles LILE (Large ion lithophile elements) en Rb, Th y Ba. El enriquecimiento en los elementos LILE se atribuye a procesos de metasomatismo (Toselli, 2010). Una anomalía positiva bien marcada en Pb de las muestras de la Unidad San Juan de Lachas sugiere un importante aporte de sedimentos pelágicos en el proceso de subducción (Nils Suhr, comunicación personal). Esto concuerda con los datos obtenidos en el diagrama spider normalizado a condrita, en donde la anomalía negativa de Ce soporta también la hipótesis de un importante aporte de sedimentos en el slab.

Con respecto a los elementos incompatibles HFSE (High field strength elements) se observan claras anomalías negativas en Nb y Ti para las rocas de la Unidad San Juan de Lachas y diques andesíticos lo que es una característica típica de rocas ígneas resultantes de magmatismo en zonas de subducción (Wilson, 1994).



**Figura 5.15.** (A) Diagrama spider normalizado a condritas para las rocas volcánicas de la Unidad San Juan de Lachas y diques andesíticos (Sun y McDonough, 1989). (B) Diagrama spider normalizado a N-Morb para las rocas volcánicas oligocénicas (Sun y McDonough, 1989).

En los diagramas multielementales normalizados al N-Morb, las rocas de la Unidad San Juan de Lachas así como los diques andesíticos se alinean concordantemente en una misma tendencia indicando una petrogenesis común, por lo tanto se considera que los diques constituyen parte del volcanismo oligoceno.

### 5.2.5. INTERPRETACIÓN PETROLÓGICA DEL VOLCANISMO SAN JUAN DE LACHAS.

Basados en la información anterior con respecto a elementos mayores, traza y tierras raras descritas anteriormente es necesario definir un proceso evolutivo magmático predominante en el volcanismo oligocénico de la zona de estudio.

Las relaciones existentes entre los elementos mayores vs  $\text{SiO}_2$ , exhiben tendencias negativas, como es el caso de los óxidos  $\text{FeO}^*$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ , los cuales se asocian a un proceso de fraccionamiento de las fases minerales, donde el cumulado se enriquece con el contenido de estos óxidos hacia las fases minerales menos diferenciadas y el líquido residual se empobrece con el contenido de los óxidos a lo largo de la diferenciación (Wilson, 1994).

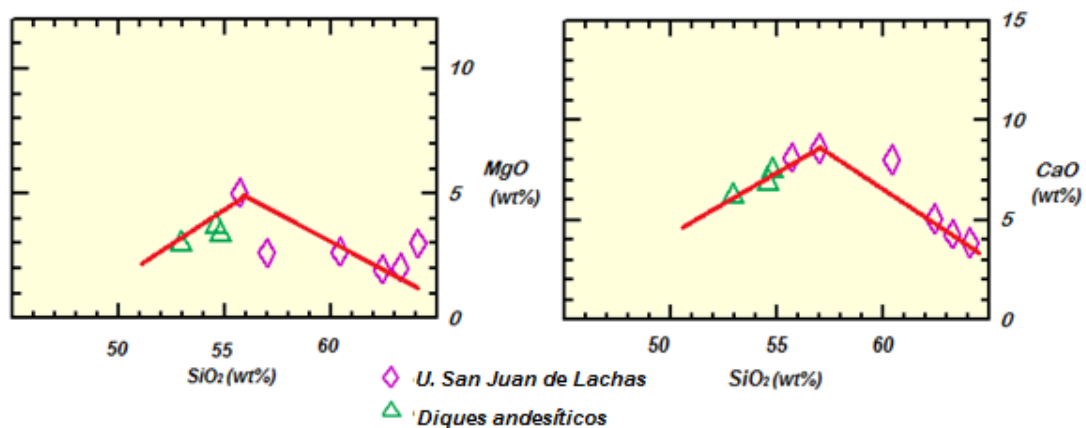
Los contenidos de  $\text{FeO}^*$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{TiO}_2$  disminuyen con el aumento de  $\text{SiO}_2$ , esto indica un probable fraccionamiento de óxidos de hierro, apatito y esfena presentes



en el cumulado, es decir deberán constituir fases minerales. Basados en análisis microscópicos en andesitas, únicamente óxidos de hierro considerados como opacos constituyen la única fase mineral metálica presente en las rocas, sin establecer la presencia de apatito y esfena. Probablemente estas fases minerales se han desarrollado en la cámara magmática y no se encuentran presentes en los productos volcánicos.

Basados en los diagramas Harker, los elementos mayores MgO y CaO presentan tendencias positivas hacia las fases menos evolucionadas (menor contenido  $\text{SiO}_2$ ) y posteriormente tendencias negativas al aumentar el contenido de  $\text{SiO}_2$  (Figura 5.16). Esta tendencia característica marca un fraccionamiento de minerales como clinopiroxeno y plagioclasa cálcica (Wilson, 1994).

Esta idea es soportada por la presencia de fenocristales de clinopiroxeno y plagioclasa básica a intermedia observado en análisis microscópicos petrográficos para las rocas del volcanismo oligocénico evidenciando que constituyen fases minerales presentes en las rocas.



**Figura 5.16.** Diagramas Harker MgO vs  $\text{SiO}_2$  y CaO vs  $\text{SiO}_2$ , líneas de comportamiento del líquido magmático residual (en rojo).

El incremento en el contenido de  $\text{Na}_2\text{O}$  hacia las fases más evolucionadas, puede estar asociado a la ausencia del elemento hacia las fases minerales, enriqueciéndose en el líquido residual a medida que la roca es más diferenciada, en donde el elemento no ha sufrido un proceso de fraccionamiento y no exhibe cristalización de plagioclasas sódicas.

El  $K_2O$  presenta una afinidad similar tanto por el líquido residual y por el sólido (cumulato), de tal manera que su concentración a lo largo de la diferenciación se mantiene constante y aún no es afectado por el fraccionamiento (Rollinson, 1993).

Con respecto a los elementos trazas, el elemento Sr, se presenta como elemento incompatible y exhibe una ligera anomalía negativa hacia las fases más evolucionadas (Figura 5.13) debido a que el elemento probablemente entra en las fases minerales de las plagioclasas y anfíboles (Rollinson, 1993). Además, el proceso de cristalización fraccional es soportado por la zonación de cristales de plagioclasas en andesitas de la unidad San Juan de Lachas evidenciando un proceso de diferenciación magmática.

En base a la información anterior se considera que el volcanismo oligoceno San Juan de Lachas parece estar controlado por un proceso de cristalización fraccional.

## **CAPÍTULO 6.**

### **ASPECTOS GEODINÁMICOS Y EVOLUCIÓN**

La evolución geodinámica de la zona involucra grupos litológicos que van desde el Cretácico hasta probablemente el Mioceno. El presente estudio propone un modelo de evolución para la zona de estudio centrándose en la historia paleo-eocénica, además de establecer una probable fuente de los depósitos volcanosedimentarios de edad paleógena?, la Unidad Collapí.

Esta interpretación se basa en los resultados obtenidos durante el levantamiento geológico cartográfico, análisis de laboratorio, interpretación petrológica y datos tectónicos, considerando también estudios geológicos regionales que se han realizado en los últimos años.

#### **6.1. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Un terreno alóctono de naturaleza oceánica se desarrolló en el océano Pacífico denominado Plateau Caribe, el cual migró en dirección NE contra el margen sudamericano noroccidental. Entre el plateau oceánico y el margen continental sudamericano se desarrolló una zona de subducción, en donde la placa subducida va en dirección oeste debajo del plateau (Vallejo, 2007). Esta zona de convergencia formó un arco de islas con afinidades toleíticas a calcoalcalinas denominado Río Cala (Boland et al., 2000).

El arco Río Cala de edad cretácico tardío (Boland et al., 2000) generó productos volcanosedimentarios de abanico turbidítico marino distal como las unidades geológicas Natividad, Mulaute y Pilatón, esta última constituye el basamento cretácico que forma parte de la zona de estudio. A finales del Campaniano e inicios del Maastrichtiano, el terreno de naturaleza oceánica se acrecionó al continente (Vallejo, 2007) por lo que se bloqueó la zona de subducción que dio origen al Arco Río Cala. Este evento es registrado por períodos de enfriamiento rápido y exhumación (Spikings et al., 2000), así como cambios en la sedimentación y reajustes térmicos en la Cordillera Real (Aspden et al., 1992).

Una nueva zona de convergencia se desarrolló a finales del Maastrichtiano e inicios del Paleoceno, en donde la placa oceánica se subduce hacia el Este desarrollando un arco volcánico en el paleoceno tardío e inicios del eoceno. En la Cordillera Occidental del Ecuador, un arco volcánico con la edad mencionada es denominado Macuchi *sensu stricto* (Egüez, 1986) donde al parecer las raíces del complejo volcánico constituyen los cuerpos intrusivos máficos con firmas toleíticas (*La Carolina, El Puerto y El Cabuyal*) reportados en la zona de estudio de probable edad eoceno medio basados en similitudes petrográficas con gabros hornblendíticos reportados por Van Thournout en INEMIN-AGDC (1990). Estas raíces se encuentran emplazadas en la Unidad Pilatón.

Durante el Paleoceno tardío, condiciones marinas se reanudaron y dominaron la región, depositando secuencias volcanosedimentarias de la Unidad Collapí (areniscas, tobas cristalinas y lutitas) provenientes de una fuente volcánica básica a intermedia. La composición de la fuente de los sedimentos de la Unidad Collapí se ha determinado mediante análisis microscópicos y por XRD. Se considera que la fuente volcánica probablemente constituye el arco Macuchi.

Posteriormente, un evento de deformación plegó las secuencias volcanosedimentarias de la unidad paleocénica asociado a un ambiente compresivo en la zona septentrional del país generando también fallamientos transcurrentes con cinemática dextral y un levantamiento de las secuencias volcanosedimentarias de la Unidad Collapí.

Durante el Eoceno medio, continúa la sedimentación sincrónica de la Unidad Collapí así como el inicio de la depositación de la Unidad El Laurel con aporte continental constituyendo abanicos distales provenientes del Este. Al mismo tiempo, en este período favorecen las condiciones marinas someras para el desarrollo de pequeñas plataformas arrecifales indicadas como Gualchán.

Un evento compresivo ( $D_3$ ) de probable edad eocénica es registrado en todas las rocas que afloran en la zona de estudio, generando fallamientos transcurrentes en dirección NE. Fallas transcurrentes con dirección de rumbo NW probablemente constituyen juegos conjugados. Al mismo tiempo, fallas cabalgantes con vergencia al Este se desarrollaron principalmente en los sedimentos de la Unidad

El Laurel. Además, grietas tensionales observadas en calizas indican un dirección del esfuerzo principal ( $\sigma_1$ ) Este-Oeste. Este evento compresivo regional tal vez se encuentre asociado a un período de levantamiento y exhumación (43-30 Ma) reportado por Spikings et al. (2000). Este evento puede ser relacionado con la acreción del Bloque Naranjal en el norte del país reflejado en cambios de la naturaleza de sedimentación de las Unidades La Cubera y El Tortugo (Boland et al., 2000). En el presente trabajo, este evento es reflejado a manera de una discordancia erosional a finales del Eoceno.

Durante el Oligoceno, un arco continental con afinidades calcoalcalinas fue desarrollado al norte de la latitud  $0^\circ$ . El volcanismo San Juan de Lachas, el cual consiste en mantos de lavas andesíticas y brechas, se desarrolló plenamente en los Andes Septentrionales ecuatorianos constituyendo parte del arco volcánico cenozoico.

Posteriormente, en el Mioceno se emplazaron los granitoides Catarama ( $Q_{D3}$ ) de *tipo I* y el intrusivo diorítico ( $D_4$ ) en rocas cretácicas y paleógenas. Estos intrusivos probablemente se encuentren relacionados con el batolito La Merced de Buenos Aires de edad  $15.6 \pm 1.1$  Ma (Boland et al., 2000).



## CAPÍTULO 7.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La cartografía geológica realizada en la zona de estudio a escala 1:50 000 de un área aproximada de 130 km<sup>2</sup>, permitió caracterizar unidades geológicas y estructuras tectónicas que afloran en la zona, además de establecer algunas consideraciones regionales en los Andes Septentrionales occidentales ecuatorianos como se menciona a continuación.

- Los datos litológicos y estructurales determinan la presencia de rocas volcanoclásticas de edad probable paleocena a eocena agrupadas en la Unidad Collapí, además de lutitas eocénicas de la Unidad El Laurel. Sin embargo, hay que establecer ciertas consideraciones regionales debido a la ubicación de la zona de estudio tan cercana al límite fronterizo con Colombia específicamente en los terrenos Cañasgordas y Dagua (Cordillera Occidental Colombiana) sobre los cuales no ha sido reportado la presencia de unidades geológicas paleógenas (Restrepo y Toussaint, 1988), por lo que regionalmente constituye un problema correlativo en relación a la geología del Ecuador. Con respecto a la geología de la Cordillera Occidental Septentrional del Ecuador, unidades paleógenas han sido reportadas por Van Thournout en INEMIN-AGDC (1990) y Vallejo (2007), los cuales confirmarían la presencia de unidades geológicas de la edad antes mencionada. La escasez de información geológica en el límite fronterizo de Ecuador y Colombia es un problema a considerar.

- Los análisis petrográficos microscópicos y por difracción de rayos X determinan que la Unidad El Laurel presenta un aporte continental debido a la presencia de cuarzo y muscovita, aspectos que permiten concluir que los componentes de la unidad eocénica provienen de la Cordillera Real. Además, los resultados de los análisis microscópicos de la Unidad El Laurel con respecto al contenido mineralógico-textural muestran similitud a las descripciones micro petrográficas de la Unidad Apagua realizadas por McCourt et al. (1997). Aparentemente la Unidad El Laurel constituye un equivalente en el norte del país de la Unidad Apagua.

- Las secuencias sedimentarias paleógenas que afloran en la zona de estudio, incluidas en la Unidad Collapí, Calizas Gualchán y Unidad El Laurel, son muy similares litológicamente y geocronológicamente a las secuencias sedimentarias presentes en el centro del país definidas por Egüez (1986), constituyendo probablemente los equivalentes de las unidades Pilaló, Unacota y Apagua respectivamente en los Andes septentrionales. Esta secuencia indicaría la presencia de una cuenca de trasarco desarrollada durante el Paleo-eoceno.

- La interpretación de este estudio establece la presencia del arco paleo-eoceno Macuchi en la Cordillera Occidental Septentrional debido a que, el ambiente geológico es exactamente similar a las secuencias sedimentarias del Grupo Angamarca definidas por Hughes y Bermúdez (1997) en el centro del país. Además, una edad de  $35.12 \pm 1.66$  Ma obtenida por Vallejo (2007) cerca del poblado de Lita a 20 km al oeste del área de estudio, soportan esta hipótesis. Por otra parte, se descarta la idea planteada por Hughes y Pilatasig (2002) quienes establecen que el arco Macuchi únicamente se encuentra al oeste de la Falla Chimbo-Toachi ya que en la zona de estudio estas secuencias paleo-eocénicas se ubican al Oriente.

- Los cuerpos máficos definidos como *La Carolina*, *El Puerto* y *El Cabuyal* presentes en la zona de estudio, tienen un origen relacionado a rocas máficas con afinidades toleíticas. Esto es soportado por análisis petrográficos microscópicos que indican composiciones básicas y ensayos geoquímicos-petroológicos multielementales normalizados a condrita, los cuales establecen un patrón plano y no exhiben un fraccionamiento de LREE a HREE. Además, diagramas spider normalizados a N-Morb exhiben picos negativos en Nb y Ti, siendo una característica típica de rocas resultantes de proceso de subducción. Bajo estas consideraciones, los intrusivos máficos parecen constituir las raíces de un complejo volcánico de arco insular de probable edad eoceno medio, es decir Macuchi.

- Un evento regional de deformación a finales del Eoceno tardío e inicios del Oligoceno ha sido determinado, el cual se encuentra relacionado a un ambiente compresivo generando microplegamientos, zonas de cizalla y fallamientos cabalgantes. Análisis estructurales en grietas de tensión en calizas eocénicas

indican una dirección del esfuerzo principal N80°W, el cual sería el responsable y aparentemente relacionado al tercer evento tectónico registrado en la zona de estudio. Este evento de deformación puede estar asociado a uno de los eventos tectónicos definidos por Van Thournout et al. (1992) en el noroccidente del Ecuador, sin embargo el mismo autor propone que los estilos de deformación de las estructuras tectónicas ocurrieron en el Eoceno y Oligoceno. En el presente trabajo no se han encontrado estructuras tectónicas que afecten a rocas volcánicas oligocénicas de la Unidad San Juan de Lachas por lo que si bien, este trabajo coincide con la existencia de un evento tectónico en el Eoceno tardío, no existen claras evidencias para establecer un evento regional en el Oligoceno.

- La unidad San Juan de Lachas se encuentra formada por rocas de composiciones intermedias (52,52-64,97 wt%SiO<sub>2</sub>) subalcalinas con contenidos de K medio a alto y afinidades calcoalcalinas evidentes. Además, mediante diagramas multielementales normalizados para condrita, establecen que el patrón no es plano sugiriendo un fraccionamiento muy marcado de LREE a HREE propio de procesos de diferenciación magmática. Claras anomalías negativas en Nb y Ti observadas en diagramas multielementales con respecto a N-Morb, sugieren procesos magmáticos relacionados a zonas de subducción, comprobándose la pertenencia de esta unidad al arco continental cenozoico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aspden, J., Harrison, S, Rundle, C., (1992). New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and El Oro Province of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 6, No. 1/2. p. 77-96.

Aspden, J.A., McCourt, W.J. y Brook, M., (1987). Geometrical control of subduction-related magmatism; the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Colombia. *J. Geol. Sot. London*, Vol.147, p. 893-905.

Baldock, J.W., (1982). *Geology of Ecuador: Explanatory bulletin of the National Geological map of the Republic of Ecuador 1: 1,000,000 scale*. Dirección General de Geología y Minas (DGGM), Quito.

Boland, M.P., Pilatasig, L.F., Ibandango, C.E. McCourt, W.J., Aspden, J.A., Hughes, R.A., Beate, B., (2000). *Geology of the Western Cordillera between 0°-1°N, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica, Informe No. 10. CODIGEM-BGS, 72 p. Quito-Ecuador.*

Butterlin, J., (1986). *Informe de análisis micropaleontológico*. Institut de Physique du Globe de Paris, Université Pierre et Marie Curie, p.1. Paris.

Chappell, B. y White R., (1974). Two constrasting granite types. *Pacific Geology* 8, p. 173 – 174.

Chiaradia, M., (2009). Adakite –like magmas from fractional crystallization and melting – assimilation of mafic lower crust (Eocene Macuchi arc, Western Cordillera, Ecuador). *Elsevier*, Vol. 265, p. 468-487.

Defant, M. y Drummond, M., (1990). Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere, 347, p. 662-665, London.

De La Roche, H., Leterrier, J., Grandelaude, P., Marchal, M., (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses; its relationships with current nomenclature, *Chemical Geology*. Vol. 29, p. 183-210.

Dirección Nacional de Geología-DINAGE, (2004). *Mapa geológico del Ecuador, escala 1: 100.000. Hoja No.43 Zapallo*. Ministerio de Energía y Minas, Quito – Ecuador.

Durán, G., (1983). *Informe de análisis micropaleontológico*, Dirección General de Geología y Minas –DGGM, Memorándum S/N, p.1. Quito.

Egüez, A., (1986). *Evolution Cenozoique de la Cordillere Occidentale septentrionale d'Equateur (0°15' S - 01°10' S), les mineralisations associeetes*. Doctoral Thesis, UPMC, Paris, 116 p. Unpublished.

Gill, J. B., (1981). Orogenic andesites and plate tectonics. Springer-Verlag, p. 389, Berlin.

Gill, R., (2010). Igneous Rocks and Processes a practical guide. Wiley –Blackwell, A John Wiley y sons, Ltd., Publication, 428 p.

Henderson, W.G., (1979). Cretaceous to Eocene volcanic arc activity in the Andes of northern Ecuador: Journal of the Geological Society of London, Vol. 136, p. 73-78.

Hughes, R. y Bermúdez, R., (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0°00' and 1° 00'S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica. Informe No. 4. CODIGEM – BGS, 75 p. Quito - Ecuador.

Hughes, R.A. y Pilatasig, L., (2002). Cretaceous and Tertiary Block accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador: Tectonophysics, Vol. 345, p. 29-48.

Instituto Ecuatoriano de Minería-Agencia Gubernamental de Cooperación en Desarrollo INEMIN-AGCD., (1990). Inventario de recursos minerales metálicos en el Noroccidente del Ecuador, Proyecto Desarrollo del Sector Minero en el Ecuador, Tomo I: Investigaciones Geológicas y Metalogénicas, 107 p. Quito - Ecuador.

Instituto Ecuatoriano de Minería-Dirección General de Geología y Minas INEMIN-DGGM, (1986). Mapa geológico del Ecuador, escala 1: 100 000. Hoja No. 81 Maldonado. Quito-Ecuador.

Instituto Nacional de Estadística y Censos-INEC., (2012). Población por área según provincia, cantón de las parroquias Jijón y Caamaño-La Carolina, Quito-Ecuador.

Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico-INIGEMM, (2012A). Proyecto Mapeo Geológico escala 1: 50 000 (Zonas prospectivas mineras) Mapa geológico La Merced de Buenos Aires escala 1: 50 000. Mapa y memoria técnica, 107 p. No publicado. Quito-Ecuador.

Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico-INIGEMM, (2013A). Proyecto Mapeo Geológico escala 1: 50 000 (Zonas prospectivas mineras) Mapa geológico Jijón y Caamaño escala 1: 50 000. Mapa y memoria técnica, 69 p. No publicado. Quito-Ecuador.

Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico-INIGEMM, (2013B). Proyecto Mapeo Geológico escala 1: 50 000 (Zonas prospectivas mineras) Mapa geológico La Carolina escala 1: 50 000. Mapa y memoria técnica. En elaboración. Quito - Ecuador.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI., (2010). Anuario Meteorológico del Ecuador. No.50. Versión preliminar. Estación Meteorológica Lita M105. 123 p. Quito - Ecuador.

Irvine, T. y Baragar, W., (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, p. 523 – 548.

Jaillard, E., Ordoñez, M., Suarez, J., Toro, J., Iza, D., Lugo, W., (2004). Stratigraphy of the late Cretaceous-Paleogene deposits of the cordillera occidental of central Ecuador: geodynamic implications: *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 17, p. 49-58.

Kehrer, W. y Van Der Kaaden, G., (1979). Notes on the geology of Ecuador, with special reference to the Western Cordillera: *Geologische Jahrbuch*, Vol. 35, p. 5-57.

Kerr, A.C., Aspden, J.A., Tarney, J., Pilatasig, L.F., (2002). The nature and provenance of accreted oceanic Blocks in western Ecuador: geochemical and tectonic constraints: *Journal of the Geological Society*, Vol. 159, p. 577-594.

Le Bas, M.J., Lemaitre, R.W., Streckeisen, A. y Zanettin, B., (1986). A Chemical Classification of Volcanic-Rocks Based on the Total Alkali Silica Diagram, *Journal of Petrology*, Vol. 27, p. 745-750.

Lebrat, M., Megard, F., Dupuy, C., Dostal, J., (1987). Geochemistry and tectonic setting of pre-collision Cretaceous and Paleogene volcanic rocks of Ecuador: *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 99, p. 569-578.

Lebrat, M., Mégard, F., Juteau, T., Calle, J., (1985). Pre-orogenic volcanic assemblage and structure in the Western Cordillera of Ecuador. between 1° 40'S and 2° 20'S *Geol. Rundschau*, Vol. 74, p. 343–351.

Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Ethien, R., Jaillard, É, Hernández, J. y Polvé, M., (2003). Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean-Colombian Plateau in Ecuador. *Lithos*, Vol. 66, p. 173-199.

Maniar, P. y Piccoli, P., (1989). Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 101, p. 635 – 643.

McCourt, W.J., Duque, P. y Pilatasig, L.F., (1997). Geology of the Western Cordillera between 1°-2°S, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información cartográfica y Geológico, Informe No. 3, CODIGEM-BGS, 69 p. Quito - Ecuador.

Neal, C. y Taylor, L., (1989). A negative Ce anomaly in a peridotite xenolith: Evidence for crustal recycling into the mantle or mantle metasomatism? *Pergamon Press*, Vol. 53, p. 1035-1040. USA.



Ordoñez, F., (2013). Estudio de geología, mineralización y alteraciones en la concesión minera Cascabel. Provincia de Imbabura. Tesis de Grado – Escuela Politécnica Nacional, No publicada, 209 p. Quito - Ecuador.

Pearce, A., Harris, W. y Lindle, G., (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 5, p. 956-983.

Peccerillo, A. y Taylor, S., (1976). Geochemistry of Eocene cal-alkaline volcanic Rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, Vol. 58, p. 63-81.

Pilatasig, L. y López, E., (2005). La Zona de Cizallamiento Naranjal y su rol sobre en la evolución del noroccidente ecuatoriano. Memorias-Resúmenes de XII Congreso Latinoamericano de Geología-IX Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas, Petróleos y Ambiente-I Congreso Ecuatoriano de Hidrogeología. Ministerio de Energía y Minas-Colegio de Ingenieros Geólogos, de Minas, Petróleos y Ambiental, p.1-5. Quito-Ecuador.

Ramsay, J.G., (1980). Shear zone geometry: a review. *Journal of Structural Geology*, Pergamon, Vol. 2 (1/2), p. 88-89, Oxford.

Restrepo, J. y Toussaint, J., (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes*, Vol. 11, N° 3, p. 189-193.

Reynaud, C., Jaillard, E., Lapierre, H., Mamberti, M., Mascle, G., (1999). Oceanic Plateau Island arcs of Southwestern Ecuador: Their place In the Geodynamic Evolution of Northwestern South America: *Tectonophysics*, Vol. 307, p. 235-254.

Rollinson, H.R., (1993). *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific y Technical. John Wiley y Sons, Inc., New York, 315 p.

Romero, S., (2011). Creación de una empresa agroindustrial de producción y comercialización de dulces derivados de la guayaba, en la Parroquia la Carolina, Cantón Ibarra. Tesis de Grado – Universidad Técnica del Norte, No publicada, Ibarra - Ecuador, 160 p.

Salazar, E., (1981). Informe de comisión realizada a Hualchán del 24 de Noviembre al 4 de Diciembre de 1981. Dirección General de Geología y Minas. DGGM. Informe 5973. Unpublished Report. Quito - Ecuador.

Servicio Nacional de Geología y Minería - SNGM, (1969). Mapa geológico nacional de la República del Ecuador, escala 1: 100 000, Quito-Ecuador.

Sigal, J., (1968). Estratigrafía micropaleontológica del Ecuador, datos anteriores y nuevos. Informe Instituto Francés de petróleo y Servicio Nacional de Geología y Minería. Quito - Ecuador.

Spikings, R.A., Seward, D., Winkler, W. y 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, p. 649-668.

Spikings, R.A., Winkler, W., Hughes, R.A., y Handler, R., (2005). Thermochronology of Allochthonous Blocks in Ecuador: unraveling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes: *Tectonophysics*, Vol. 399, p. 195–220.

Sun, S. y McDonough, W., (1989). Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes., In: Saunders, Norry (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins.*, *Geol. Soc. London Spec. Pub.*, 42, p. 313–345.

Toselli, A., (2010). Elementos básicos de petrología ígnea. Instituto Superior de Correlación Geológica-INSUGEO, 344 p. San Miguel de Tucumán – Argentina.

Vallejo, C., (2007). Evolution of the western cordillera in the Andes of Ecuador (late Cretaceous-Paleogene). Swiss federal institute of technology Zürich. Doctoral Thesis ETH No. 17023, 145 p. Unpublished.

Van Thournout, F., (1991). Stratigraphy, magmatism and tectonism in the Ecuadorian northwestern cordillera: Metallogenic and Geodynamic implications. Doctoral Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 150 p.

Van Thournout, F., Hertogen, J., Quevedo, L., (1992). Allochthonous Blocks in northern Ecuador: *Tectonophysics*, Vol. 205, p. 205-222.

Wernli, R., (1986). Informe de análisis micropaleontológico. Département de géologie et de paléontologie, Université de Genève, Section des Sciences de la Terre, 3 p.

Wilson, M., (1994). *Igneous petrogenesis, A Global Tectonic Approach.* Chapman y Hall London-Great Britain, 416 p.

**ANEXOS**  
**ANEXO 1: DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE**  
**MUESTRAS MACROSCÓPICAS.**

X	Y	ALTURA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	TIPO DE ROCA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD LITOLÓGICA
802987	10081616	1377	EC-T1	ARENISCA	TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO, ROCA DE COLOR VERDE, ESTRUCTURA LAMINADA, MINERALES PLAGIOCLASA, CLORITA Y CUARZO, CONTACTOS TANGENCIALES, SORTEO BUENO A MODERADO.	UNIDAD PILATÓN
802987	10081616	1377	EC-T2	DIORITA	ROCA IGNEA DE TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES PRIMARIOS PLAGIOCLASA Y PIROXENO, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, CUARZO Y MINERALES OPACOS.	INTRUSIVO
803057	10081705	1383	EC-T3	CALIZA	ROCA COLOR GRIS, TEXTURA BIOCLÁSTICA-FOSILÍFERA, MINERAL PRINCIPAL CALCITA, ROCA AFECTADA POR VETILLAS DE CALCITA Y GRIETAS DE TENSIÓN.	UNIDAD COLLAPÍ
804954	10082555	1374	EC-T4	ARENISCA CON APORTE VOLCÁNICO	SORTEO MODERADO, PRESENTA COMO MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, PIROXENO Y COMO MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA Y ARCILLAS.	UNIDAD EL LAUREL
805904	10081712	1133	EC-T5	MILONITA-GNEIS	ROCA DE FALLA COLOR GRIS CLARO, CON RECRISTALIZACIÓN DE CUARZO, PRESENTA MINERALES CUARZO Y CLORITA, SE OBSERVAN INDICADORES CINEMÁTICOS SINISTRALES CON DESARROLLO DE FÁBRICAS S-C	ROCA DE FALLA
805872	10081653	1139	EC-T6	HORNBLENDITA	TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO GRUESO, ESTRUCTURA MASIVA-FLUIDAL, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, ANFÍBOLES Y COMO MINERALES DE ALTERACIÓN CUARZO, CLORITA Y EPIDOTA. ROCA RECRISTALIZADA CON ALTERACIÓN CLORÍTICA.	INTRUSIVO
805913	10081648	1154	EC-T7	GABRO-HORNBLENDITA	TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO GRUESO, ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, HORNBLENDA, PIROXENO?, MINERALES DE ALTERACIÓN CUARZO, EPIDOTA Y ARCILLAS.	INTRUSIVO
801766	10085674	995	EC-T8	ARENISCA CON APORTE VOLCÁNICO	TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO, ROCA COLOR GRIS-VERDE, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, PIROXENO, FELDESPATO, COMO MINERALES DE ALTERACIÓN ARCILLAS Y CLORITA.	UNIDAD COLLAPÍ
801766	10085781	978	EC-T9	TOBA CRISTALINA	TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO A GRUESO, COLOR GRIS-VERDE, MINERALES PRIMARIOS PLAGIOCLASA Y PIROXENO, MINERALES SECUNDARIOS ARCILLAS Y CLORITA, MATRIZ ARCILLOSA-ARENA DE GRANO FINO, CONTACTOS TANGENCIALES, MATRIZ-SOPORTADA.	UNIDAD COLLAPÍ
801741	10085405	1025	EC-T10A	ANDESITA BASÁLTICA	TEXTURA AFANÍTICA, ROCA COLOR GRIS OSCURO, ESTRUCTURA MASIVA, CRISTALES DE PLAGIOCLASA, CON FUERTE MAGNETISMO, BAJO GRADO DE ALTERACIÓN.	DIQUES ANDESÍTICOS
801741	10085405	1025	EC-T10B	ARENISCA	TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO, ROCA COLOR GRIS-VERDE, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, FELDESPATO K, MINERALES SECUNDARIOS ARCILLAS Y CLORITA, ESTRUCTURA ESFEROIDAL ALMOHADILLADA (AFLORAMIENTO).	UNIDAD COLLAPÍ
804086	10085899	928	EC-T11	ARENISCA CON APORTE VOLCÁNICO	TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, PIROXENO Y FELDESPATO K, COMO MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, MATRIZ ARCILLOSA-LIMOSA, SORTEO MALO, MATRIZ SOPORTADA.	UNIDAD COLLAPÍ
804201	10086534	817	EC-T12	ARENISCA CON APORTE VOLCÁNICO	TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO CON MINERALES PRINCIPALES PIROXENO Y PLAGIOCLASA, MINERALES SECUNDARIOS CLORITA, MATRIZ ARCILLOSA-ARENOSA, MATRIZ SOPORTADA, SORTEO MODERADO, EMPAQUETAMIENTO PUNTUAL A TANGENCIAL.	UNIDAD COLLAPÍ
806243	10083226	987	EC-T13	ANDESITA HORNBLÉNDICA	ROCA GRIS CLARA, TEXTURA HIPOCRISTALINA PORFIRITICA CON FENOCRIALES PLAGIOCLASA, HORNBLENDA Y PIROXENOS, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, MATRIZ AFANÍTICA, ESTRUCTURA MASIVA.	DIQUE ANDESÍTICO HORNBLÉNDICO
806569	10082179	999	EC-T14	HORNBLENDITA	TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO MEDIO A GRUESO, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, HORNBLENDA, MINERALES SECUNDARIOS O DE ALTERACIÓN CLORITA, ARCILLAS Y EPIDOTA EN MENOR CANTIDAD, ROCA CON ALTERACIÓN CLORÍTICA.	INTRUSIVO
810530	10081850	1262	EC-T15	ARENISCA VERDE	ROCA SEDIMENTARIA CLÁSTICA, TEXTURA PSAMÍTICA, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, CUARZO, PIROXENO?, MINERALES SECUNDARIOS CLORITA, EPIDOTA Y ARCILLAS, PRESENTA LAMINACIÓN FINA.	UNIDAD PILATÓN
810263	10081898	1272	EC-T16	MICROBRECHA	ROCA VOLCANOCLÁSTICA DE COLOR VERDE OSCURO-GRIS, CON MINERALES PRINCIPALES DE PLAGIOCLASA Y PIROXENO, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA. LA ROCA PRESENTA LÍTICOS SUBANGULARES ANDESÍTICOS DE TEXTURA AFANÍTICA, SORTEO MALO, MATRIZ-SOPORTADA.	UNIDAD PILATÓN
807718	10082574	964	EC-T17	ARENISCA	ROCA SEDIMENTARIA DE TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO FINO, COLOR VERDE, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, COMO MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, LAMINACIÓN FINA, SORTEO MODERADO.	UNIDAD PILATÓN
808052	10076287	1325	EC-T18	LUTITA	ROCA SEDIMENTARIA CLÁSTICA DE GRANO FINO, TEXTURA PELTICA, ESTRUCTURA LAMINADA MUY FINA, MINERALES DE PLAGIOCLASA, CLORITA Y CUARZO, BUEN SORTEO.	UNIDAD PILATÓN
808751	10080999	1030	EC-T19	LUTITA	ROCA SEDIMENTARIA CLÁSTICA DE GRANO FINO, TEXTURA PELTICA, ESTRUCTURA MUY LAMINADA, ROCA SILICIFICADA, MINERALES PLAGIOCLASA, PIROXENOS Y CLORITA. LA ROCA SE ENCUENTRA AFECTADA POR VETAS DE CUARZO HIDROTHERMAL.	UNIDAD PILATÓN
816549	10080785	1499	EC-T21	ARENISCA	ARENISCA CON TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA Y PIROXENO, COMO MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA Y CUARZO. ROCA MATRIZ-SOPORTADA, CONTACTOS PUNTALES Y SORTEO MODERADO.	UNIDAD PILATÓN
817741	10082840	1722	EC-T24	LUTITAS	ROCAS SEDIMENTARIAS DE GRANO FINO, TEXTURA CLÁSTICA PELTICA, ESTRUCTURA LAMINADA MUY FINA, PRESENCIA DE FILOSILICATOS SOBRE LOS PLANOS DE FISIBILIDAD, BUEN SORTEO.	UNIDAD EL LAUREL
810253	10079838	1059	EC-T25	LIMOLITA	ROCA SEDIMENTARIA COLOR VERDE OSCURO, TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO FINO, PRESENTA MINERALES DE PLAGIOCLASA, CLORITA Y CUARZO. ROCA SILICIFICADA, BUEN SORTEO.	UNIDAD PILATÓN
810900	10079017	1135	EC-T26 A	FILITA	ROCA METASEDIMENTARIA, ESTRUCTURA FOLIADA-FILICA, PRESENTA MINERALES DE SERICITA, CLORITA, PLAGIOCLASA, TALCO? Y PIRITA. LA ROCA PRESENTA ESTRUCTURAS TECTÓNICAS COMO KIND BANDS Y CUIVAJE DE CRENULACIÓN. LA ROCA SE FORMA POR EFECTOS DEL CIZALLAMIENTO.	UNIDAD PILATÓN (ZCO)
810900	10079017	1135	EC-T26 B	FILITA	ROCA METASEDIMENTARIA, ESTRUCTURA FOLIADA-FILICA, PRESENTA MINERALES DE CUARZO, CLORITA, PLAGIOCLASA, TALCO? Y PIRITA. LA ROCA PRESENTA ESTRUCTURAS TECTÓNICAS COMO KIND BANDS Y CUIVAJE DE CRENULACIÓN. LA ROCA SE FORMA POR EFECTOS DEL CIZALLAMIENTO (DINAMOMETAMORFISMO).	UNIDAD PILATÓN (ZCO)
810889	10078819	1146	EC-T27	ARENISCA	ROCA SEDIMENTARIA CON TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA, ROCA CON MINERALES DE CLORITA, PIROXENO Y PLAGIOCLASA. ALTERACIÓN CLORÍTICA-SILICEA.	UNIDAD PILATÓN
804425	10086659	889	EC-T30 A	ARENISCA CON APORTE VOLCÁNICO	ROCA COLOR VERDE-CAFÉ CON APORTE VOLCÁNICO, ESTRUCTURA LAMINADA, TEXTURA DETRÍTICA DE GRANO MEDIO, PRESENTA MINERALES DE PLAGIOCLASA, CLORITA Y ARCILLAS, SORTEO MALO, MATRIZ SOPORTADA.	UNIDAD COLLAPÍ

804425	10086659	889	EC-T30 B	TOBA CRISTALINA	ROCA VOLCANO-CLÁSTICA CON APORTE VOLCÁNICO, ESTRUCTURAS MASIVA, TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO GRUESO, PRESENTA MINERALES DE PLAGIOCLASA, CLORITA Y ARCILLAS ADEMÁS DE LÍTICOS SEDIMENTARIOS, SORTEO MALO.	UNIDAD COLLAPÍ
808272	10083638	1413	EC-T31	HORNBLENDITA	ROCAS COLOR CREMA-BLANCO GRIS OSCURO, TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO MEDIO A GRUESO, CRISTALES <4MM, ESTRUCTURA MASIVA-SEMI FLUIDAL, ALTERACION ARGILICA BAJA, MINERALES PLAGIOCLASA, HORNBLENDA, CUARZO Y CLORITA.	INTRUSIVO
807613	10083167	1166	EC-T32	DIORITA ARGILITIZADA	TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO MEDIO, MINERALES DE PLAGIOCLASA, FELDSPATO K, CUARZO Y ARCILLAS, ROCA CON ALTERACIÓN ARGÍLICA, NO SE OBSERVAN MINERALES MÁFICOS.	INTRUSIVO
806374	10082684	917	EC-T33	ANDESITA ANFIBÓLICA	ROCA COLOR GRIS-VERDE, TEXTURA PORFIRÍTICA, FENOCRIETALES PLAGIOCLASA, PIROXENO, HORNBLENDA, MINERALES SECUNDARIOS CLORITA Y CALCITA, ESTRUCTURA MASIVA, MATRIZ MICROLÍTICA-VÍTREA.	UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS
811363	10081864	1560	EC-T36	LUTITA	ROCA SEDIMENTARIA DE COLOR VERDE CLARO, TEXTURA CLÁSTICA PELTICA, ESTRUCTURA LAMINADA, MINERALES PLAGIOCLASA, PIROXENOS Y CLORITA COMO MINERAL DE ALTERACIÓN, BUEN SORTEO.	UNIDAD PILATÓN
811102	10081985	1520	EC-T37	LUTITALIMO	ROCA SEDIMENTARIA, COLOR GRIS OSCURO-VERDE, TEXTURA CLÁSTICA PELTICA, MINERALES CLORITA, EPIDOTA Y LIMOS. ROCA CON LAMINACIÓN FINA. ROCA SILICIFICADA.	UNIDAD PILATÓN
805710	10084109	965	EC-T38B	ANDESITA	ROCA COLOR GRIS OSCURO, TEXTURA PORFIRÍTICA CON FENOCRIETALES DE PLAGIOCLASA Y MÁFICOS, ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, EPIDOTA, CALCITA Y ARCILLAS.	UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS
807143	10084975	991	EC-T39	BRECHA VOLCÁNICA	ROCA COLOR GRIS OSCURO, TEXTURA BRECHOSA, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, ÓXIDOS FE Y ARCILLAS, PRESENTA METEORIZACIÓN ESFEROIDAL, LÍTICOS SUBANGULARES ANDESÍTICOS CON TEXTURA AFANÍTICA, DE TAMAÑOS CENTIMÉTRICOS.	UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS
808872	10085123	1072	EC-T40	CALIZA	ROCA COLOR GRIS CLARO, TEXTURA BIOCLÁSTICA, CONTIENE FÓSILES, PRESENTA VETILLAS CRUZADAS DE CALCITA RECRISTALIZADA.	UNIDAD EL LAUREL
8088809	10085099	1150	EC-T41	ARENISCA	ROCA COLOR VERDE-CAFÉ (RODADO), TEXTURA DETRÍTICA DE GRANO MEDIO, MINERALES PRINCIPALES CLORITA, PIROXENO, PLAGIOCLASA, FELDSPATO Y ARCILLAS, SORTEO MODERADO, MATRIZ SOPORTADA.	UNIDAD COLLAPÍ
810024	10085934	1096	EC-T42	DIORITA	ROCA COLOR GRIS-VERDE, TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO FINO, PRESENTA MINERALES PRIMARIOS DE PLAGIOCLASA, PIROXENO, COMO MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, CUARZO, EPIDOTA. ROCA CON ALTERACIÓN CLORÍTICA.	INTRUSIVO
810140	10086371	1104	EC-T43	DIORITA	ROCA COLOR GRIS CLARO DE TEXTURA FANERÍTICA, PRESENTA MINERALES DE PLAGIOCLASA Y PIROXENO, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA. ROCA CON ESTRUCTURA MASIVA.	INTRUSIVO
806185	10079596	1173	EC-T44	CUARZODIORITA	ROCA COLOR NEGRO-BLANCO, TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA Y CONSOLIDADO, FENOCRIETALES <4MM DE PLAGIOCLASA, PIROXENOS, BIOTITA, CUARZO, HORNBLENDA Y ARCILLAS. PRESENTA MENAS METÁLICAS COMO PIRITA Y CALCOPIRITA.	INTRUSIVO
803947	10082426	1476	EC-T45	LUTITAS CALCAREAS	ROCA DE COLOR NEGRO, ESTRUCTURA LAMINACIÓN FINA, BUEN SORTEO, TEXTURA CLÁSTICA PELTICA CON MINERALES DE CALCITA, FILOSILICATOS?, CUARZO Y ARCILLAS, ESTRUCTURAS DE CIZALLAMIENTO CON CINEMÁTICA SINISTRAL (FÁBRICAS S-C), MICROPLEGAMIENTOS.	UNIDAD EL LAUREL
805913	10081714	1135	EC-T46	LUTITA	ROCA COLOR NEGRO, TEXTURA CLÁSTICA-PSAMÍTICA, ESTRUCTURA LAMINADA, CLASTOS NO OBSERVABLES, MATRIZ LIMOSA, CEMENTO SILÍCEO Y CALCÁREO, BUEN SORTEO, SIN FÓSILES. PRESENTA INDICADORES CINEMÁTICOS SINISTRALES.	UNIDAD COLLAPÍ
808800	10085267	1065	EC-T47	LUTITA	ROCA COLOR NEGRO, ESTRUCTURA LAMINACIÓN FINA (FISIBLE), TEXTURA CLÁSTICA PELTICA, ROCA METERIZADA DELEZNABLE, MINERALES CUARZO Y FILOSILICATOS, MATRIZ LIMOSA, BUEN SORTEO.	UNIDAD EL LAUREL
813100	10087657	S/A	EC-T48	DIORITA ALTERADA	ROCA COLOR GRIS-VERDE, TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO FINO A MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, PIROXENO, MINERALES SECUNDARIOS CLORITA, CUARZO Y EPIDOTA. ALTERACIÓN CLORÍTICA.	INTRUSIVO
809460	10081734	1116	EC-T49	LUTITAS	LUTITAS DE COLOR NEGRO, TEXTURA CLÁSTICA PELTICA-ALEURÍTICA, ESTRUCTURA FISIBLE, MINERALES FILOSILICATOS EN LOS PLANOS DE FISIBILIDAD. PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA DEBIDO A SU COLORACIÓN.	UNIDAD EL LAUREL
803561	10087016	904	EC-T50	TOBA CRISTALINA	ROCA DE TEXTURA CLÁSTICA PSAMÍTICA, MINERALES DE PLAGIOCLASA Y PIROXENO, CON ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA Y ARCILLAS. ROCA CON SORTEO MODERADO A MALO Y MATRIZ SOPORTADA.	UNIDAD COLLAPÍ
804210	10086543	885	EC-T51	ARENISCA MATRIZ SOPORTADA	ROCA COLOR VERDE OSCURO, TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA, MATRIZ LIMO-ARCILLOSA, MINERALES PRINCIPALES CUARZO, PLAGIOCLASA, PIROXENO, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA Y CALCITA. ROCA DE SORTEO MODERADO Y MATRIZ SOPORTADA.	UNIDAD COLLAPÍ
803888	10082453	1533	EC-T52	LUTITA CALCÁREA	ROCA DE COLOR NEGRO CON LAMINACIÓN FINA DE TEXTURA CLÁSTICA PELTICA, MINERALES PRINCIPALES FILOSILICATOS, CALCITA, CUARZO, Y ARCILLAS, ESTRUCTURAS DE CIZALLAMIENTO SINISTRAL (FÁBRICAS S-C), MICROPLEGAMIENTO. ROCA DE SORTEO BUENO.	UNIDAD EL LAUREL
803972	10085138	923	EC-T53	ARENISCA TOBÁCEA	ROCA DE COLOR CAFÉ GRIS, TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO A GRUESO, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, PIROXENOS Y FELDSPATO K, COMO MINERALES SECUNDARIOS CALCITA, MATRIZ LIMO-ARCILLOSA, CRISTALES SOLDADOS NO EXHIBE CEMENTO, PRESENTA INTERCALACIONES DE LIMOS, CLASTOS IGNEOS ANGULOSOS, CONTACTO TANGENCIAL A PUNTUAL.	UNIDAD PILATÓN
801259	10083019	S/A	EC-T54	ARENISCA	ROCA DE COLOR VERDE CLARO, TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO FINO, ROCA CON INTERCALACIÓN O NIVELES DE CHERTS CENTIMÉTRICOS, MINERALES PRINCIPALES CLORITA, PLAGIOCLASA Y CUARZO. ROCA SORTEO BUENO, MATRIZ SOPORTADA.	UNIDAD PILATÓN
802049	10082319	3635	EC-T55	LUTITA SILICIFICADA	ROCA SEDIMENTARIA DE TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO FINO A MEDIO, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, COMO MINERALES SECUNDARIOS CLORITA, CUARZO Y HEMATITA. ROCA CON ESTRUCTURA LAMINADA Y BUEN SORTEO.	UNIDAD PILATÓN
808800	10085267	1065	EC-T56	CALIZA	ROCA COLOR GRIS CLARO, TEXTURA BIOCLÁSTICA, ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES DE CALCITA EN FORMA DE VETILLAS, PRESENTA FÓSILES.	UNIDAD EL LAUREL
802380	10084943	1240	EC-T57	ARENISCA CALCÁREA	ROCA DE COLOR GRIS-VERDE, TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO A GRUESO, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, PIROXENO, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, CUARZO, ARCILLAS Y PRECIPITADOS DE CALCITA, MATRIZ LIMO-ARCILLOSA, MATRIZ SOPORTADA, SORTEO MODERADO.	UNIDAD COLLAPÍ
800018	10085353	1402	EC-T58	ANDESITA	ROCA COLOR GRIS OSCURO DE TEXTURA HIPOCRISTALINA PORFIRÍTICA CON FENOCRIETALES DE PLAGIOCLASA, PIROXENO Y ANFIBOLES. COMO MINERALES SECUNDARIOS CLORITA Y ARCILLAS, MATRIZ VITROFÍDICA-AFANÍTICA.	UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS
803808	10080119	2042	EC-T59	ARENISCA	ROCA SEDIMENTARIA DE TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO, COLOR VERDE CLARO, MINERALES PRIMARIOS DE PLAGIOCLASA Y CUARZO, COMO MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, ROCA CON ESTRUCTURA MASIVA, MATRIZ LIMO-ARCILLOSA, SORTEO MODERADO. ROCA CLORITIZADA.	UNIDAD PILATÓN
803121	10081690	1336	EC-T60	CALIZA	ROCA DE COLOR GRIS CLARO, TEXTURA BIOCLÁSTICA, ESTRUCTURA MASIVA, CONTIENE FÓSILES, MINERALES DE CALCITA EN FORMA DE VETILLAS.	UNIDAD COLLAPÍ

804848	10082271	1300	EC-T61	CALIZA	ROCA COLOR GRIS CLARO, TEXTURA BIOCLÁSTICA, ESTRUCTURA MASIVA, CEMENTO CALCÁREO, MATRIZ MICRÍTICA, COMPONENTES FÓSILES PRESENTES. EMPAQUETAMIENTO PUNTUAL A TANGENCIAL.	UNIDAD EL LAUREL
805175	10081403	1358	EC-T62	LUTITA	ROCA DE COLOR VERDE CLARO, TEXTURA CLÁSTICA PELÍTICA, BUEN SORTEO, CEMENTO SILÍCEO, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, EPIDOTA Y CUARZO EN MENOR CANTIDAD.	UNIDAD PILATÓN
806037	10079632	1184	EC-T63	LUTITA	ROCA DE COLOR VERDE CLARO-GRIS, ESTRUCTURA PSEUDOESTRATIFICADA, MINERALES PRIMARIOS DE PLAGIOCLASA, PIROXENOS Y CLORITA, ROCA AFECTADA POR VETILLAS DE CUARZO DE 4MM DE ESPESOR.	UNIDAD PILATÓN
806283	10079980	1173	EC-T64	ARENISCA	ROCAS SEDIMENTARIA CON APOORTE VOLCÁNICO, COLOR VERDE CLARO, TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO, MINERALES PRINCIPALES DE CLORITA, EPIDOTA Y PLAGIOCLASA. ESTRUCTURA LAMINADA MUY FINA. SORTEO MODERADO.	UNIDAD PILATÓN
800429	10080036	2190	EC-T65	LIMOLITA	ROCA SEDIMENTARIA, COLOR VERDE CLARO, TEXTURA CLÁSTICA PELÍTICA, BUEN SORTEO, ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES PRINCIPALES DE PLAGIOCLASA, PIROXENOS Y CLORITA, ALTERACIÓN CLORITICA.	UNIDAD PILATÓN
802962	10081429	S/A	EC-T66	DIORITA	ROCA IGNEA INTRUSIVA, TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA Y ANFÍBOL, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA, CUARZO, EPIDOTA Y ARCILLAS.	INTRUSIVO
800169	10079827	2116	EC-T67	LUTITAS	ROCAS SEDIMENTARIAS, COLOR VERDE, INTERCALADO CON MICROBRECHAS, TEXTURA CLÁSTICA, BUEN SORTEO, ESTRUCTURA LAMINADA. MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, CLORITA Y MÁFICOS.	UNIDAD PILATÓN
799517	10079420	1971	EC-T68	MICROBRECHAS	ROCAS CLÁSTICAS DE GRANO MEDIO A GRUESO MAYOR A 3 MM, SORTEO MALO, MATRIZ SOPORTADO, LITICOS DE CHERTS, PRESENTA LAMINACIONES DE CUARZO HIDROTHERMAL.	UNIDAD PILATÓN
799529	10079192	1890	EC-T69	LIMOLITA	ROCA CLÁSTICA DE GRANO FINO, TEXTURA PELÍTICA, COLOR NEGRO-GRIS, ROCA SILICIFICADA, LAMINACIÓN MUY FINA, SORTEO BUENO, CEMENTO SILÍCEO.	UNIDAD PILATÓN
799878	10079408	1137	EC-T70	LUTITA SILICIFICADA	ROCAS SEDIMENTARIAS DE GRANO FINO, ESTRUCTURA LAMINADA, CON NIVELES DE CHERTS, TEXTURA PELÍTICA, ALTERACIÓN PROPIÚTICA, GRADO DE METEORIZACIÓN MEDIO. CEMENTO SILÍCEO, SOPORTADO EN MATRIZ.	UNIDAD PILATÓN
800092	10079368	1959	EC-T71	LUTITA SILICIFICADA	ROCAS SEDIMENTARIAS DE GRANO FINO COLOR NEGRO, TEXTURA CLÁSTICA PELÍTICA, ESTRUCTURA LAMINADA, CORTADO POR VETILLAS DE QZ LECHOSO. SOPORTE EN MATRIZ, BUEN SORTEO.	UNIDAD PILATÓN
800671	10079398	2039	EC-T72	LIMOLITA	ROCAS SEDIMENTARIAS DE GRANO FINO, COLOR NEGRO, TEXTURA CLÁSTICA PELÍTICA, SORTEO BUENO A MODERADO, ROCA SILICIFICADA.	UNIDAD PILATÓN
801787	10080213	2134	EC-T73	LUTITA SILICIFICADA	ROCAS SEDIMENTARIAS DE GRANO FINO, ESTRUCTURA LAMINADA, CON NIVELES DE CHERTS, TEXTURA CLÁSTICA PELÍTICA, ALTERACIÓN PROPIÚTICA (CUARZO, EPIDOTA, CLORITA), GRADO DE METEORIZACIÓN MEDIO.	UNIDAD PILATÓN
802852	10081085	1683	EC-T74	ARENISCA	ROCAS SEDIMENTARIAS COLOR VERDE, GRANO FINO A MEDIO, TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO MEDIO TAMAÑO MENOR A 1MM, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA Y MÁFICOS, CEMENTO SILÍCEO, MATRIZ LIMOS Y ARENAS, MATRIZ SOPORTADA, SORTEO BUENO.	UNIDAD PILATÓN
802962	10081429	1557	EC-T75	DIORITA	CUERPO INTRUSIVO COLOR GRIS OSCURO-VERDE, TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA, GRADO DE METEORIZACIÓN MEDIO, PRESENTA MINERALES PLAGIOCLASA, PIROXENO, ANFÍBOLES, CUARZO SECUNDARIO, CLORITA Y ARCILLAS.	INTRUSIVO
802062	10087175	904	EC-T76	ANDESITA PIROXÉNICA	ROCA VOLCÁNICA, COLOR GRIS VERDE, TEXTURA SUBPORFIRÍTICA, ESTRUCTURA MASIVA, CONSOLIDADA, BAJO GRADO DE METEORIZACIÓN, FENOCRIETALES (25%) DE PLAGIOCLASA Y PIROXENO, MATRIZ AFANÍTICA (75%).	UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS
804070	10085950	928	EC-T77	ARENISCA	ROCA COLOR VERDE-CAFÉ, TEXTURA CLÁSTICA PSAMÍTICA, ESTRUCTURA LAMINADA, MINERALES PL FSP, PX, MINERALES SECUNDARIOS CLORITA Y ARCILLAS. CEMENTO CALCÁREO-ARCILLOSO. SOPORTADO EN MATRIZ.	UNIDAD COLLAPÍ
803914	10082471	1505	EC-T78	LIMOLITA CALCÁREA	ROCA SEDIMENTARIA, COLOR NEGRO, MUY DEFORMADA, PRESENTES AUTOLÍTICOS SUBREDONDEADOS, GRAN CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO DE AHÍ SU COLOR. PRECIPITACIÓN DE MATERIAL CARBONATADO EN FORMA DE VETILLAS Y COMO LAMINAS SUPERFICIALES.	UNIDAD EL LAUREL
805152	10081867	1253	EC-T79	ARENISCA MATRIZ SOPORTADA	ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO MEDIO, TEXTURA CLÁSTICA, COLOR VERDE-CAFÉ, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA, PIROXENO, CLORITA Y ARCILLAS, ROCA MATRIZ SOPORTADA, SORTEO MODERADO.	UNIDAD EL LAUREL
806493	10082117	1044	EC-T80	GABRO-HORNBLENDITA	ROCA INTRUSIVA DE GRANO MEDIO, TEXTURA FANERÍTICA-SEMIFLUIDAL, PRESENTA MINERALES PLAGIOCLASA, PIROXENO, HORNBLENDA, COMO MINERALES SECUNDARIOS CLORITA Y ARCILLAS.	INTRUSIVO
808952	10085302	1051	EC-T81	CALIZA	ROCA SEDIMENTARIA BIOCLÁSTICA, COLOR GRIS OSCURO, PRESENTA CALCITA Y ORGANISMOS FOSILÍFEROS. SE ENCUENTRA AFECTADA POR VETILLAS CRUZADAS DE CALCITA.	UNIDAD COLLAPÍ
806251	10083237	1024	EC-T82	ANDESITA	ROCA IGNEA VOLCÁNICA, TEXTURA PORFIRÍTICA, CON FENOCRIETALES DE PLAGIOCLASA Y PIROXENO, MATRIZ AFANÍTICA, PRESENTA MINERALES ALTERACIÓN CLORITA Y ARCILLAS.	UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS
803118	10081396	1359	EC-T83	DIORITA	ROCA IGNEA INTRUSIVA, TEXTURA FANERÍTICA DE GRANO MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA Y HORNBLENDA, MINERALES SECUNDARIOS CLORITA, CUARZO Y ARCILLAS.	INTRUSIVO
802106	10087955	956	EC-T84	ANDESITA	ROCA VOLCÁNICA DE COLOR VERDE OSCURO, TEXTURA PORFIRÍTICA, ESTRUCTURA MASIVA, POSEE 35% FENOCRIETALES, 65% MATRIZ, FENOCRIETALES DE PLAGIOCLASA, PIROXENO Y HORNBLENDA, MATRIZ VITROFÍDICA-FELSOFÍDICA, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA Y CALCITA.	UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS
810533	10084175	1718	EC-T85	ARENISCA	ROCA SEDIMENTARIA DE COLOR VERDE CLARO, TEXTURA DETRÍTICA DE GRANO MEDIO, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA Y MÁFICOS, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA Y ARCILLAS, ESTRUCTURA MASIVA, SORTEO MODERADO.	UNIDAD PILATÓN
814762	10087081	1283	EC-T86	LUTITA	LUTITA DE COLOR NEGRO, TEXTURA CLÁSTICA PELÍTICA-ALEURÍTICA, ESTRUCTURA FISIBLE, MINERALES FILOSILICATOS DE GRANO FINO EN LOS PLANOS DE FISIBILIDAD. PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA DEBIDO A SU COLORACIÓN.	UNIDAD EL LAUREL
813885	10078184	1229	EC-T87	ARENISCA	ROCA DE TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO FINO A MEDIO, ESTRUCTURA MASIVA-NO LAMINADA, COLOR VERDE CLARO, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA Y MÁFICOS, MINERALES DE ALTERACIÓN CUARZO, CLORITA Y EPIDOTA.	UNIDAD PILATÓN
808217	10086759	1334	EC-T88	ANDESITA ALTERADA	ROCAS COLOR GRIS OSCURO, TEXTURA PORFIRÍTICA CON FENOCRIETALES DE PLAGIOCLASA, MATRIZ AFANÍTICA, ESTRUCTURA MASIVA, ROCA ALTERADA CLORITIZADA, MINERALES SECUNDARIOS CLORITA Y EPIDOTA. PRECIPITACIÓN DE CALCITA EN LA SUPERFICIE DE LA ROCA.	UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS
814680	10086467	1415	EC-T89	ARENISCA	ROCA SEDIMENTARIA DE TEXTURA CLÁSTICA DE GRANO FINO A MEDIO, COLOR VERDE, MINERALES PRINCIPALES PLAGIOCLASA Y MÁFICOS, MINERALES DE ALTERACIÓN CLORITA Y EPIDOTA. ROCA SILICIFICADA.	UNIDAD PILATÓN



**ANEXO 2: FICHAS DE DESCRIPCIONES  
PETROGRÁFICAS DE SECCIONES DELGADAS.**

**ANEXO 3: DETALLE Y RESULTADOS DE ANÁLISIS  
GEOQUÍMICOS DE ROCA TOTAL, ELEMENTOS TRAZA  
Y TIERRAS RARAS.**



**ANEXO 4: RESULTADOS DE ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN  
DE RAYOS X (XRD).**

## ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X -XRD



ESTUDIO GEOLÓGICO DEL PALEÓGENO EN LA CORDILLERA OCCIDENTAL SEPTENTRIONAL DEL ECUADOR. PROVINCIAS DE CARCHI E IMBABURA  
ENSAYO ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X.

COMPOSICIÓN Y CONTENIDO MINERAL EXPRESADO EN PORCENTAJE EN PESO TOTAL (wt%).

MUESTRAS DE ROCAS RECOLECTADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO.

MINERAL	FORMULA QUÍMICA	EC-T2	EC-T4	EC-T12
CUARZO (%)	SiO <sub>2</sub>	3,8	5,1	9,4
GRUPO CLORITA (%)	Mg <sub>3.75</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1.25</sub> Si <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	16,6	0,4	0,8
GRUPO PLAGIOCLASA		54,3	37,3	35,6
(ALBITA-ANORTITA) (%)	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> . Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	An 58	An 20	An 31
MOSCOVITA (%)	KAl <sub>2</sub> ((AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> )	10,4	13,4	SV
RICHTERITE (%)	(Na, Ca) <sub>2</sub> (Mg, Mn, Fe) <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	13,4	SV	SV
PIRITA (%)	Fe <sup>2+</sup> S <sub>2</sub>	1,5	SV	SV
Grupo K-Feldespatos (ORTOCLASA, MICROCLINA, SANIDINA) (%)	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	SV	24,4	23,7
GRUPO KAOLINITA (CAOLINITA, DICKITA, NACRITA) (%)	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	SV	7,2	SV
CHABAZITE (%)	Ca <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>24</sub> *12(H <sub>2</sub> O)	SV	8,1	SV
LAUMONTITE (%)	Ca <sub>4</sub> Al <sub>8</sub> Si <sub>16</sub> O <sub>48</sub> *14(H <sub>2</sub> O)	SV	4,1	13
HEULANDITE (%)	(Ca, Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>7</sub> O <sub>18</sub> *6(H <sub>2</sub> O)	SV	SV	16,4
MASSICOT (%)	PbO	SV	SV	1,1
MINERAL	FÓRMULA QUÍMICA	EC-T41	EC-T47	
CUARZO (%)	SiO <sub>2</sub>	42,3	42,3	
GRUPO CLORITA (%)	Mg <sub>3.75</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1.25</sub> Si <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	19,9	22,5	
GRUPO PLAGIOCLASA (ALBITA-ANORTITA) (%)	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> . Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	16	12,9	
		An 16	An 38	
MUSCOVITA (%)	KAl <sub>2</sub> ((AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> )	21,8	22,3	

S/V: SIN VALOR PORCENTUAL

## **MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO**



