

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

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

### **“ESTUDIO GEOLÓGICO Y TECTONO-ESTRATIGRÁFICO DEL RELLENO VOLCANO-SEDIMENTARIO DE LA CIUDAD DE IBARRA Y SUS ALREDEDORES”**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA**

**GALARRAGA MENESES JOSUE LUIS**

**josue\_galarraga@hotmail.com**

**DIRECTOR: Dr. Pedro Reyes**

**Quito, abril de 2018**

## **DECLARACION**

Yo, Josué Luis Galarraga Meneses, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluye en éste.

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

**Josué Luis Galarraga Meneses**

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado por Josué Luis Galarraga Meneses bajo mi supervisión

---

**Dr. Pedro Reyes**

**Director del Proyecto**

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Pedro Reyes por su guía a lo largo de mi carrera universitaria y su gran colaboración en el presente trabajo, por brindarme su ayuda, paciencia y amistad.

Al Dr. German Martin y Josué Salgado por su invaluable colaboración científica y compañía en la etapa de levantamiento de campo en la Ciudad de Ibarra.

A mis grandes amigos y colegas Humberto Guerrero y Andrés Espinosa quienes me brindaron su colaboración durante las jornadas en Green Rock, gracias totales Chino, gracias totales Flaco.

A mis maestros de la facultad, quienes compartieron su conocimiento y me formaron no solo profesionalmente, sino también como ser humano, en especial a la Ing. Eliana Jiménez quien colaboro con la logística del presente proyecto.

Al Instituto de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM) que me permitió realizar las láminas delgadas de mi estudio y por abrirme las puertas al ámbito profesional y en especial a Johanna León que me brindó su ayuda y amistad en el INIGEMM.

Al Municipio de Ibarra por su ayuda y acogida en la ciudad, que fue fundamental para la consecución del presente estudio.

A mis grandes amigos con quienes he compartido alegrías, tristezas y que han estado en las malas y en las peores a lo largo de la carrera ya sea en las aulas de clase o en algún bar e hicieron de la facultad mi hogar Mateo, Juver, Karen, J O H N N Y, Cristian, Andres, Salo, Marco, Charles, Ernesto, Valeria, Vanesa, y por ultimo y no menos importante a Liss por su presión constante y paciencia (pela y pela y pela) que ayudó a la culminación del presente trabajo.

DEDICATORIA

*A mi hijo Emilio Nicolás; Emilio tu sonrisa es mi salvación*

*A mi familia*

## RESUMEN

El área de estudio está ubicada EN la depresión interandina, en el norte del Ecuador, específicamente en ciudad de Ibarra, a 115 km de la ciudad de Quito. El basamento está constituido por rocas volcánicas del Oligoceno al Mioceno sobre estas se depositan sedimentos de origen fluvial y una cobertura volcánica proveniente de los centros volcánicos proximales, el análisis estructural, morfológico y petrográfico permitió identificar unidades litológicas no reportadas anteriormente como la Unidad San Juan de Lachas misma que aflora en la zona noroccidental del área de estudio, así como rocas pertenecientes al Grupo Chota estableciendo sus relaciones estratigráficas respecto al basamento y a las rocas suprayacentes en el área de estudio. Adicionalmente se logró identificar tres bloques morfoestructurales los cuales son controlados por estructuras neotectónicas asociadas a un régimen de fallas inversas de dirección NNW con buzamiento hacia el E, a dichas estructuras se las denominó en el presente trabajo como el sistema Pesillo-Angochagua, la continuación de esta estructura hacia el norte sería la Falla Tahuando y la falla del Río Ambi sería un ramal de esta estructura.

El Sistema Pesillo – Angochagua presumiblemente compuesto por un trazo de falla antiguo limitado al segmento entre los poblados de Pesillo y Angochagua y el trazo joven de esta estructura sería la Falla Tahuando, este sistema presentaría actividad tectónica Neógena. Esta estructura provocaría el levantamiento de la “Sierra de Angochagua” y generaría un cambio morfológico en la depresión interandina al norte del Ecuador. Hacia el sur del frente montañoso la altitud media de la Depresión Interandina varía entre los 2400 y 2600 m.s.n.m. mientras que hacia el norte del mencionado frente la topografía media de la depresión interandina se incrementa entre los 2900 y 3100 m.s.n.m. hacia los poblados de El Ángel, San Gabriel, Tulcán y el sur de Colombia con excepción del valle del Río Chota que tiene elevaciones entre los 1500 a 1800 m.s.n.m. posiblemente asociado a una pequeña cuenca de “pull-apart”.

## ABSTRACT

The study area is located in the Interandean region, at north of Ecuador, specifically in the Ibarra city, 115 km away of Quito city. The basement is composed of Oligocene to Miocene volcanic rocks and fluvial sediments covered by volcanic rocks from the proximal volcanic centers. The structural, morphologic and petrographic study allows identify previously unreported lithologic units as is San Juan de Lachas unit. Outcrops of this unit is located in the northwestern zone and rocks of the Chota Group establishing the stratigraphically relationships with the basement and overlying deposits. The study allows identify three morphostructural blocks controlled by neotectonic structures associated to inverse fault system with dip to E. This study identifies the Sistema Pesillo-Angochagua and prolongation to north is the Tahuando Fault, the Río Ambi Fault is a branch of this system.

The Pesillo-Angochagua system is composed by an old fault stroke restricted to Pesillo-Angochagua villages and the young fault stroke is the Tahuando Fault with neotectonic activity. This structure would cause the uprising of "Sierra de Angochagua" and cause a morphologic variation in the Interandean Depression in the north of Ecuador. To the south of this structure the elevation of Interandean Depression varies between 2400 y 2600 meters above sea level, while to the north of the structure the topography of the Interandean Depression increase from 2900 to 3100 meter above sea level in the village of El Ángel, San Gabriel, Tulcán and the south of Colombia a exception is the valley of Chota river that has elevations between 1500 to 1800 meters above of sea maybe caused by a local "pull-apart" basing

# CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS .....	1
1.2 OBJETIVO GENERAL .....	1
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	1
1.4 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	4
1.5 Morfología.....	5
1.6 Contexto climático .....	6
1.7 Estudios previos .....	7
CAPÍTULO 2.....	9
MARCO TEÓRICO .....	9
2.1 ENTORNO GEODINÁMICO .....	9
2.2 GEOLOGÍA REGIONAL .....	10
2.2.1 CODILLERA REAL .....	10
2.2.1.1 TERRENO GUAMOTE (AMBUQUÍ) .....	11
2.2.2 CORDILLERA OCCIDENTAL.....	12
2.2.2.1 UNIDAD PALLATANGA .....	13
2.2.2.2 UNIDAD SAN JUAN .....	14
2.2.2.3 GRUPO RÍO CALA .....	16
2.2.2.4 UNIDAD YUNGUILLA.....	18
2.2.2.5 UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS.....	19
2.2.3 DEPRESIÓN INTERANDINA .....	19
2.2.3.1 GRUPO ANGAMARCA.....	20
2.2.3.2 GRUPO CHOTA .....	20
2.2.3.3 UNIDAD CHOTA .....	21
2.2.3.4 UNIDAD SANTA ROSA .....	22
2.2.3.5 UNIDAD PEÑAS COLORADAS .....	23
2.2.3.6 UNIDAD CARPUELA .....	24
2.2.3.7 VOLCÁNICOS ANGOCHAHUA.....	24
2.2.3.8 VOLCANICOS CHACHIMBIRO .....	25
2.2.3.9 VOLCÁNICOS IMBABURA .....	26
2.2.3.10 DEPÓSITOS DE CANGAHUA .....	27
CAPÍTULO 3 .....	28



3.1	LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO .....	28
3.1.1	UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS .....	29
3.1.2	UNIDAD ANGOCHAGUA.....	32
3.1.3	UNIDAD CHOTA .....	35
3.1.3.1	UNIDAD YURACRUZ.....	38
3.1.4	UNIDAD MASCARILLA .....	40
3.1.5	UNIDAD IMBAYA .....	44
3.1.6	VOLCÁNICOS IMBABURA .....	45
3.1.7	DEPÓSITOS DE CANGAHUA.....	48
3.1.8	COLUVIALES .....	49
CAPÍTULO 4.....		51
4.1	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	51
4.1.1	DOMINIO ANGOCHAGUA.....	52
4.1.2	DOMINIO IBARRA.....	53
4.1.3	DOMINIO IMBAYA.....	55
4.2	ESTRUCTURAS TECTÓNICAS .....	55
4.2.1	FALLAS DE BASAMENTO .....	56
4.2.2	FALLAS GRAVITACIONALES .....	57
4.2.3	FALLAS NEOTECTÓNICAS.....	58
4.2.3.1	FALLA RÍO AMBI.....	58
4.2.3.2	FALLA TAHUANDO .....	60
4.2.3.3	FRENTE MONTAÑOSO PESILLO – ANGOCHAGUA .....	61
4.2.3.4	FALLA ALOBURO .....	65
4.3	PLIEGUES.....	66
4.3.1	PLIEGUE DEL RELLENO SANITARIO .....	66
4.3.2	ANTIFORMA YAGUARCOCHA.....	67
CAPÍTULO 5.....		68
5.	DISCUSIÓN Y MODELO DE EVOLUCIÓN.....	68
5.1.	CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA CON LA CUENCA SEDIMENTARIA DELCHOTA .....	68
5.2.	TASA DE MOVIMIENTOS DEL SISTEMA PESILLO – ANGOCHAGUA Y FALLA TAHUANDO .....	71
5.3.	CONTROL NEOTECTÓNICO EN LA CIUDAD DE IBARRA .....	71
5.4.	TASA DE MOVIMIENTOS DE LA FALLA DEL RÍO AMBI.....	72
5.5.	MODELO DE EVOLUCIÓN .....	72

CAPÍTULO 6.....	77
6.1. CONCLUSIONES.....	77
6.2 RECOMENDACIONES .....	79
BIBLIOGRAFIA .....	80
ANEXOS .....	90

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1.- Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	4
Figura 2. 1- Resumen de la geología regional de la Cordillera Real y zona Subandina. Modificado de (Aspden et al., 1992).....	11
Figura 2. 2.- Corte geológico simplificado de la configuración tectónica de la Cordillera Occidental. Tomado de Hughes y Pilatasig (2002). .....	13
Figura 2. 3.- Columna estratigráfica de la sección Otavalo Selva Alegre, (Boland et al., 2000) .....	17
Figura 2. 4.- Columnas litoestratigráficas y análisis secuencial de las Unidades Neógenas de la cuenca Chota. (Barragán et al., 1996). .....	23
Figura 3. 1.- A, B microfotografías de lámina delgada con luz natural y luz polarizada respectivamente, microscópicamente la roca es una andesita basáltica con textura pilotáxica, con fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una matriz compuesta por vidrio y microlitos de plagioclasa y hornblenda.....	30
Figura 3. 2- A, B.- Afloramiento de la Unidad San Juan de Lachas y sobre ésta discordantemente se encuentran rocas volcánicas de la Unidad Angochagua (UTM: 819 830 E; 100 44 546 N).....	32
Figura 3. 3 A y B.- fotografía de lámina delgado Luz natural y luz polarizada respectivamente, microscópicamente se trata de una Brecha Volcánica Polimíctica.....	33
Figura 3. 4 A.- Afloramiento de la Unidad Angochagua afectada por fallas conjugadas de dirección en azimut de buzamiento 35°/75° y 275°/42° (UTM: 820 142 E;100 45 022 N). B.- Afloramiento de Unidad Angochagua en el sector de Yahuarcocha (UTM: 824 663 E; 100 39 664 N), C.- Afloramiento de Unidad Angochagua en el sector de Mascarilla (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N). .....	35

Figura 3. 5. Vista panorámica desde el W de la ciudad de Ibarra. Tomada y modificada de Google Earth.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 3. 6.- A y B.- Afloramiento de areniscas con aporte volcánico las cuales se depositan sobre la Unidad Angochagua en el sector de Yuracruz Alto (UTM: 826 214 E; 40 458 N), C.- Afloramiento de conglomerados y areniscas conglomeráticas depositadas sobre los Volcánicos de la Unidad Angochagua y sobre ésta depositada las Mascarilla (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N), D.- Afloramiento de Conglomerados plegados en la Vía Ibarra Salinas (UTM: 820 538 E; 100 45 265 N). ....	38
Figura 3. 7.- A y B Microfotografías con luz natural y luz polarizada respectivamente de Arenisca con aporte volcánico compuesta por plagioclasa, anfíbol, piroxeno, cuarzo redondeado y líticos redondeados de cuarcitas. ....	40
Figura 3. 8- A afloramiento de flujo en masa con clastos volcánicos en una matriz heterométrica, B, C Unidad Mascarilla discordantemente la Unidad Angochagua (UTM:819 735 E, 100 44 270 N), Unidad Mascarilla depositada sobre La Unidad Chota basculada (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N).....	44
Figura 3. 9.- A y B afloramiento de arenisca con presencia de fósiles y concreciones carbonatadas (UTM: 818 988 E; 100 43 637 N), C afloramiento de Unidad Imbaya sobre la Unidad Mascarilla (UTM: 819 735 E; 100 44 270 N), D afloramiento de tobas sobre la Unidad Chota (UTM: 820 538E; 100 45 265 N). ....	45
Figura 3. 10.- A y B.- Afloramiento de brechas volcánicas de coloración a gris con tonalidades rojizas de tipo clasto soportada con bloques de hasta 2 m de andesitas piroxénicas en el sector de Imbaya (UTM: 818 637 E; 100 43 593 N). ....	47
Figura 3. 11.- A y B.- microfotografías con luz natural y luz polarizada respectivamente donde se observa una andesita hipocristalina con fenocristales de plagioclasa y piroxeno en una matriz compuesta por vidrio y microlitos de plagioclasa y piroxeno. ....	48
Figura 3. 12.- Afloramiento de Cangahua estratificados con bioturbación y presencia de arcillas secundarias, sector Yahuarcocha (UTM: 823 886 E; 100 42 385 N) .....	49

Figura 3. 13.- Afloramiento de coluviales afectados por fallas gravitacionales depositados concordantemente sobre niveles de Cangahua en el sector de Yahuarcocha (UTM: 824 361 E; 100 39 919 N). .....	49
Figura 3. 14 Columna litológica sintetizada de la ciudad de Ibarra .....	50
Figura 4. 1. Dominios Morfoestructurales de la zona de estudio. ....	52
Figura 4. 2 Columnas litológicas correspondientes a cada Bloque Morfoestructural .....	55
Figura 4. 3.- Mapa de fallas y estructuras de la zona de estudio .....	56
Figura 4. 4.- A y C Brechas volcánicas de la Unidad Angochagua afectadas por sistemas de fallas de dirección E-W (UTM: 819 735 E, 100 44 270 N). B Andesitas de coloración verdosa propilitizadas pertenecientes a la Unidad San Juan de Lachas afectadas por fallas antiguas. ....	57
Figura 4. 5.- “A” Capas métricas de lapilli, “surge” y tobas afectadas por fallas gravitacionales provocando un “graben” (UTM: 816 515 E; 100 39 591 N). “B” Fallas gravitacionales afectando a capas de lapilli. ....	58
Figura 4. 6.-A. Unidad Mascarilla afectada por Falla Inversa con componente dextral (UTM: 819 331 E; 100 41 100 N). B.- Falla inversa la cual marca el contacto entre la Unidad Angochagua y la Unidad Mascarilla. C.- Escarpe de falla que marca el límite occidental de la ciudad de Ibarra donde el trazo de falla está cubierto por depósitos coluviales. ....	59
Figura 4. 7.- Afloramiento de depósitos de Debris Flow afectados por falla de tipo inversa con dirección ° 70/ 85° en azimut de buzamiento. ....	61
Figura 4. 8 A Falla Tahuando formando una “antiforma” en el sector de Yahuarcocha (trazo “joven” de la Falla principal). B Estructura Pesillo – Angochagua. ....	62
Figura 4. 9.- A Tensor de esfuerzos del sismo del sismo de 8 de octubre del 2000 Modificado de USGS EARTHQUAKE HAZARDS PROGRAM ( <a href="https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000a1g0#moment-tensor">https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000a1g0#moment-tensor</a> ). B Sedimentos fluviales deformados sobre una capa de volcanosedimentos no deformados, posiblemente a causa sismicidad. ....	63
Figura 4. 10.- Mapa de estructuras interpretadas fuera del área de estudio que tendían influencia. ....	64
Figura 4. 11 Falla Aloburo formando un frente escarpado al occidente del Frente Montañosos Angochagua. ....	65

Figura 4. 12.- Pliegue anticlinal volcado afectando a conglomerados del Grupo Chota y al relleno volcanosedimentario Imbaya. Vía Ibarra – Salinas (UTM: 820 538 E; 100 45 265 N). .....	66
Figura 4. 13.- Antiforma Yahuarcocha visto desde el mirador del Arcángel. ....	67
Figura 5. 1 Correlación estratigráfica de las secuencias encontradas en el sector de mascarilla y Yuracruz Alto .....	69
Figura 5. 2 Corte esquemático del sistema Pesillo – Angochagua en la ciudad de Ibarra .....	70
Figura 5. 3.- Corte esquemático de la Falla de Río Ambi en el área de estudio .....	71
Figura 5. 4.- Modelo de evolución Oligoceno – Mioceno del área de estudio, formación de un arco volcánico que forma la Unidad San Juan de Lachas y la Unidad Angochagua, posteriormente en el Mioceno tardío se forma una cuenca donde se depositan los sedimentos del Grupo Chota. ....	73
Figura 5. 5 Modelo de evolución Mioceno – Pleistoceno, existencia de un sistema de esfuerzo W – E provocando fallamiento en las secuencias Oligo-Miocénicas y posteriormente un cambio de régimen de esfuerzos N – S. ....	74
Figura 5. 6.- Formación del volcanismo reciente y actividad neotectónica. A formación de un volcán primario depositando los volcanosedimentos de la Unidad Imbaya. B colapso del volcán produciendo una avalancha de escombros y la formación de la Laguna de Yahuarcocha, levantamiento de bloques morfoestructurales y plegamiento formando una pequeña cuenca de “piggy-back” en el sector de Yahuarcocha. ....	76

# **CAPÍTULO 1**

## **1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS**

El origen de las cuencas intramontañas situadas en los andes septentrionales del Ecuador ha sido relacionado con un régimen tectónico compresivo, ocurrido durante el Neógeno (Lavenu et al., 1995; Barragán et al., 1996; Ego et al., 1996; Egüez y Beate, 1998). Estos autores, mediante análisis cronoestratigráficos, sedimentológicos, análisis estructurales y registros de sismicidad, proponen diferentes mecanismos de formación para la Depresión Interandina. Los primeros trabajos de Baldock (1982) sugieren un modelo estructural controlados por un graben regional. Posteriormente se reporta evidencia de eventos compresionales los cuales resultaron en una inversión tectónica en los límites de las cuencas (Egüez et al, 2003). Estos eventos han sido relacionados con el movimiento transpresional de la Cordillera Occidental respecto a la Cordillera Real a lo largo del Bloque Nor-Andino. Adicionalmente, se interpreta que las cuencas volcano-sedimentarias formadas en la depresión interandina se ubicaron a lo largo del sistema de fallas Pallatanga-Pujilí-Calacalí (Barragán et al., 1996), sugiriendo que la cuenca del Chota, ubicada al norte del área de estudio, se formó en un sistema extensional de dirección W-E a WNW-ESE que finalizó en un régimen compresional de similar orientación.

## **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la cartografía geológica de la ciudad de Ibarra y las secuencias de la Quebrada Tahuando y el Río Ambi con el fin de identificar los procesos tectónicos neógenos y sus implicaciones en el desarrollo de la morfología actual.

## **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un levantamiento geológico a escala 1: 25 000 en la ciudad de Ibarra, en la cuenca de la Quebrada Tahuando y en el Río Ambi.

- Realizar una interpretación morfo-estructural que permita identificar las principales estructuras y procesos tectónicos activos en la ciudad de Ibarra.
- Elaborar columnas litológicas para realizar correlaciones estratigráficas.
- Elabora un modelo geológico-estructural de la ciudad de Ibarra.

## **1.4 METODOLOGÍA**

Recopilación bibliográfica: previo a las salidas de campo, se recopiló toda la información referente a la geología regional y local de la zona de estudio, lo cual abarcó mapas geológicos, fotografías aéreas, fotografías satelitales y trabajos previos influyentes en la zona.

Análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas: el estudio morfológico y estructural de la zona se lo realizó en primera instancia con ayuda de imágenes satelitales y fotografías aéreas, dichas imágenes fueron obtenida del Programa SIGTIERRAS del ministerio de Agricultura, Acuacultura, Ganadería y Pesca, de donde se obtuvo la base de ortofotos a escala 1: 5000, cubriendo un área de aproximadamente 110 km<sup>2</sup>.

Levantamiento geológico: el trabajo de campo se lo realizó en cuatro campañas de trabajo donde se realizaron 20 días efectivos de levantamiento geológico, obteniendo información estructural y litológica, toma de 24 muestras de roca representativas de las unidades geológicas presentes en la zona de estudio, el levantamiento geológico se lo realizó principalmente en los cortes de la carretera Ibarra-Salinas, San Antonio-Imbaya, Ibarra-Aloburo-Yuracruz Alto, Ibarra-Angochagua-Pesillo y en la carretera Panamericana norte cerca al poblado de Ambuquí.

Descripción y análisis macro y microscópica: se realizó el análisis macroscópico de 24 muestras de roca y se realizaron 12 láminas delgadas de las diferentes unidades litológicas de la zona, con ayuda de microscopios OLIMPUS BX54 Con

luz transmitida y ayuda del programa Stream Basic con el que se pudo tomar microfotografías con luz natural y luz polarizada.

Definición de unidades litoestratigráficas: se realizó a partir de las características estratigráficas y litológicas presentes en las diferentes unidades, donde se caracterizó a las diferentes secuencias en unidades informales tomando en cuenta la nomenclatura de Litherland et al (1994), Barragán et al (1996) y Ruiz (2003).

Análisis Estructural, Morfológico y generación de mapa geológico: con la información obtenida en campo se procedió a realizar la interpretación de los datos estructurales que permitieron generar un modelo estructural del área de estudio, así como un mapa geológico, haciendo una comparación con la geología regional de la zona septentrional de la depresión interandina ecuatoriana.

El mapa geológico se lo elaboró sobre la base topográfica 1: 50 000 del Instituto Geográfico Militar (IGM), con el sistema de coordenadas World Geodesic System 1984 (WGS84) con la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) para zona 17 norte con la ayuda de un programa de SIG.

La redacción del trabajo de titulación: a través de la integración de todos los datos obtenidos se desarrolló el presente estudio.



## 1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio está ubicada sobre la depresión interandina, en el norte del Ecuador, específicamente en ciudad de Ibarra, capital de la provincia de Imbabura, a 115 km de la ciudad de Quito (Figura 1.1). Abarcando parcialmente las hojas topográficas de Ibarra y San Pablo del Lago escala 1: 50 000.



Figura 1. 1.- Mapa de ubicación de la zona de estudio.

El acceso al área de estudio se realiza por la carretera Panamericana Norte, un complejo sistema vial conecta las diferentes zonas de estudio dentro de la ciudad de Ibarra.

## 1.5 MORFOLOGÍA

Morfológicamente el área de estudio comprende parte de las cuencas intramontañas del norte influenciadas por la actividad volcánica Neógena y las vertientes occidentales de la Cordillera Real. La cuenca se caracteriza por presentar relieves bajos, y sus elevaciones están entre los 2000 y 2300 m.s.n.m. El dominio morfológico de la Cordillera Real se caracteriza por la presencia de escarpes, pendientes abruptas y valles estrechos que en las zonas más altas superan los 3000 m.s.n.m., además de la presencia de tres edificios volcánicos en la zona sur, los cuales conforman el complejo volcánico Imbabura (Fig. 1).

Los principales rasgos geomorfológicos serían la “Sierra de Angochagua” la cual presenta flancos inclinados hacia el WNW en cuyas faldas se encuentra la laguna de Yahuarcocha; y el volcán Imbabura el cual presenta morfologías cónicas propias de un estratovolcán.

En la zona de estudio se encuentran dos subcuencas hidrográficas importantes que incluyen a la cuenca del Río Ambi y la cuenca de la Quebrada Tahuando, las cuales tienen su origen en el volcán Imbabura. Dichas cuencas se rigen al clima de la zona septentrional de la Depresión Interandina

La zona de estudio forma parte de la cabecera de la cuenca sur del Río Mira, la cual está conformada por sus afluentes principales como son la Quebrada Tahuando y el Río Ambi, dichos afluentes presentan geometrías propias de drenajes dendríticos subparalelos. En la zona norte de la ciudad de Ibarra la Quebrada Tahuando presenta un brusco cambio ortogonal de dirección antes de confluir con el Río Ambi a las afueras de la ciudad de Ibarra.

## 1.6 CONTEXTO CLIMÁTICO

Las principales características climatológicas del Cantón Ibarra se definen por las variedades en microclimas que van desde el frío andino en la zona de Angochagua, hasta el tropical seco del valle del Chota, pasando por el cálido húmedo de la zona de Lita y la Carolina (PDOTCI, 2012). Los anuarios meteorológicos históricos (41 años) determinan una temperatura media de 15.90° C, con una variación mínima menor a 0.3°C. Los registros promedian una temperatura máxima media entre los 20 y 25° C y una mínima media entre los 7 y 11° C (PDOTCI, 2012). Los vientos promedios serían de orden de 7m/s como máximo y de 3.5 m/s, como mínimo. El análisis hidrometeorológico determina que las precipitaciones están entre los 1000 mm y 1400 mm de agua al año. Se presentan épocas de sequía entre los meses de junio y septiembre (PDOTCI, 2012).

Las estaciones que registraron picos de temperatura máxima absoluta en el cantón Ibarra fueron de 27.8°C y una mínima de 5.9 °C (INAMHI, 2016). Sin embargo, las parroquias que se encuentran hacia el sur de la ciudad presentan temperaturas menores (Tabla 1.1). En cuanto a las parroquias que se encuentran hacia la parte norte presentan temperaturas superiores a la media cantonal, este fenómeno resulta fundamentalmente por las variaciones de altura y ubicación (PDOTCI, 2012).

Según PDOTCI (2012) las precipitaciones anuales en el cantón de Ibarra se registran datos que van entre los rangos de 500 a 1000 mm durante el año. En este caso, este fenómeno tiene relación con la proximidad a la que se encuentra a las costas del océano Pacífico, donde se originan evaporaciones que luego se condensan y se precipitan, otra condicionante es la dirección y velocidad de los vientos, que para el caso del cantón Ibarra tienen un direccionamiento del noroccidente al sur oriente (Tabla 1.2).

## 1.7 ESTUDIOS PREVIOS

Los primeros estudios en la zona de Ibarra fueron realizados por Sauer (1965), quien realiza el primer mapa geológico nacional y describe al volcán Imbabura como “un gran volcán” formado sobre una grieta tectónica cuyo edificio se construye hacia el centro de la hoya de Ibarra. Los edificios volcánicos secundarios pertenecientes al complejo volcánico Imbabura se describen como volcanes satélites dispuestos alrededor de cono principal. La litología se compone de andesitas piroxénicas a andesitas anfibólicas.

Posteriormente Baldock (1982) incorpora la información de trabajos previos y realiza un mapa geológico del Ecuador a escala 1: 1 000 000, donde hace un análisis regional de la actividad tectónica y las relaciones con los depósitos de las cuencas intramontañosas, identificando fallas regionales que separan los mencionados depósitos de las rocas del basamento. Litherland et al. (1994) define al terreno Guamote como el límite occidental de la Cordillera Real y el basamento de las cuencas intramontañosas.

En los años ochenta y principios de los noventa se llevó a cabo el proyecto de mapeo geológico a escala 1: 100 000 y 1: 50 000 a cargo de la Dirección General de Geología y Minas y el Instituto Ecuatoriano de Minería (DGGM-INEMIN, 1980) periodo donde se realizó la hoja geológica Ibarra 1: 100 000.

Varios estudios de la actividad Neógena de la “Depresión Interandina” (Winter y Lavenu, 1989; Egúez y Beate, 1992; Lavenu et al., 1995, 1996; Barragán et al., 1996; Ego et al., 1996) realizaron análisis sedimentológicos, levantamiento de campo, y estudios geofísicos entre otros, para describir la evolución de las cuencas intramontañosas del norte del Ecuador, donde se identificó la posible existencia de un sistema transpresivo de tipo dextral producto del movimiento de la Cordillera Occidental respecto a la Cordillera Real, posiblemente asociado a la falla regional Pallatanga-Pujilí-Calacalí.

Los primeros estudios formales de la Unidad Chota fueron realizados por Barragán et al. (1996) quienes dividen a la secuencia sedimentaria en dos Formaciones con diferentes litologías, las cuales alcanzan un espesor total de

3000 metros. Estas dos Formaciones constituyen una intercalación de base a techo de conglomerados, areniscas tobáceas intercaladas con lignito y lutitas de diferentes tonalidades.

Posteriormente Egüez y Beate (1998) realizan un mapeo geológico detallado de la cuenca del Chota además de realizar estudios sedimentológicos y estructurales.

El estudio de la cuenca del Chota ha contribuido con importantes aportes a la comprensión geodinámica de las cuencas intramontañas del norte del Ecuador (Barragán et al., 1996; Winkler et al., 2005), aunque la falta de trabajos cronoestratigráficos dificulta la caracterización cronológica de dichas unidades geológicas.

Posteriormente Abegglen et al. (2001), Tobler et al. (2001) y Winkler et al. (2005) realizaron trabajos cronoestratigráficos en las cuencas de Quito, Guayllabamba y especialmente en la cuenca del Chota utilizando métodos de trazas de fisión en apatitos y zircones obteniendo edades U/Pb de  $3.7 \pm 1.7$  y  $5.4 \pm 0.4$  Ma.

Los estudios más recientes como Benard et al. (2011) y Ruiz (2003) se enfocan en el estudio de la evolución geológica del Complejo volcánico Chachimbiro y del Complejo volcánico Imbabura respectivamente, realizando análisis geoquímico, dataciones de radiocarbono para establecer los ciclos de actividad de dichos volcanes, concluyendo que las rocas de estos volcanes son de afinidad calco-alcalina a adakítica y presentan ciclos eruptivos durante el Pleistoceno.

# CAPÍTULO 2

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 ENTORNO GEODINÁMICO

La orogenia andina está relacionada con la interacción entre las placas Sudamericana y Nazca (Pennington, 1981). La deformación y engrosamiento cortical de la placa Sudamericana están controlados por el sistema de subducción ecuatoriano (Ego et al., 1996) donde la placa Nazca subducta bajo la placa Sudamericana con una dirección EW en convergencia oblicua y a una tasa  $\sim 14 \pm 5$  mm por año (DeMets et al., 2010). Esta interacción ocurre desde el Oligoceno (26 Ma) hasta la actualidad (Pardo-Casas y Molnar, 1987). La convergencia oblicua es acomodada en la parte norte de la placa por fallas activas de dirección NNE las cuales provocan el movimiento diferencial del Bloque Norandino mediante una “zona de fallamiento dextral transpresivo” controlado por grandes fallas transcurrentes e inversas (Soulas et al., 1991; Ego et al., 1996), que han provocado la deformación crustal de los andes ecuatorianos durante los últimos 25 Ma (Lavenu et al., 1995). En Ecuador la mayor expresión del tectonismo asociado a la subducción es la megacizalla Dolores – Guayaquil la cual, constituiría la reactivación de una zona de sutura de terrenos acrecionados durante el Cretácico tardío, la prolongación hacia el norte de esta estructura es la falla Pallatanga- Pujilí – Calacalí (CPP) (Lavenu et al., 1995). Posteriormente el inicio de la subducción hacia el este provocaría la formación de un arco volcánico durante el Maastrichtiano,

El sistema de fallas Cauca-Patía se extiende desde el norte de Medellín hasta zona norte de Ecuador a lo largo de la Falla San Isidro, este sistema de fallas aflora en la zona de Ibarra-Otavalo en una estructura en “cola de caballo” (Soulas et al., 1991) lo que provoca una compleja zona de fallamiento denominada como la falla del Río Ambi (Egüez et al., 2003), la cual es interpretada como una falla tipo “strike-slip” inversa con movimiento dextral de rumbo de  $N 31^\circ E$  que forma escarpes elongados a lo largo del valle del Río Ambi. Esta estructura controlaría

el límite oeste de la cuenca Pleistocénica del Chota y posiblemente afecta a los depósitos volcánicos cuaternarios (Egüez et al., 2003).

## **2.2 GEOLOGÍA REGIONAL**

La zona de estudio se caracteriza por tener una dirección N-S a NNE-SSO (Soulas et al., 1991), la depresión Interandina en Ecuador se extiende desde aproximadamente 2°30'S hasta la frontera norte con Colombia, esta se encuentra en alturas entre los 1500 a 3000 m.s.n.m., en esta se encuentran series de cuencas y subcuencas cuya formación empezó en el Mioceno y continúa hasta la actualidad en el arco y antearco ecuatoriano (Winkler et al., 2005). Los límites o bordes de esta depresión serían las Cordilleras Occidental y Real ligados posiblemente a las fallas regionales formadas durante el Cretácico y el Terciario en eventos de acreción a lo largo del margen continental ecuatoriano (Lavenu et al., 1995; Winkler et al., 2005).

### **2.2.1 CODILLERA REAL**

Los principales estudios geológicos de la Cordillera Real fueron realizados por la misión británica (1986-1994), quienes establecieron cinco terrenos litotectónicos constituidos por cinturones de rocas metamórficas discriminadas informalmente, los cuales de este a oeste constituyen: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora separados por límites estructurales representados por las fallas regionales Peltetec, Frente Baños, Llanganates y Cosanga Méndez respectivamente (Figura 2.1).

DIVISIÓN Oeste-Este	GUAMOTE	ALAO	LOJA	SALADO	AMAZÓNICA		
UNIDADES / LITOLOGÍAS	Fajas: Cuarcitas pánfilas y calles con pocas filitas y grás y pizarras negras.	Pelletes; filitas diseminadas	Tres Lapatas: granito gneíssico	Y A L A L A D E L O S	Andalú; cloritas deformadas y graesoditas	Canoas; batolito de granitoides calco-alcalinos	
	Cebadas; pizarras negras con pocas cuarcitas	Mapasa; metabáiditas	Sabanilla; ortogneíssos y paragneíssos	L A L O S	Upano; rocas verdes andesitas y metagneíssicas	Misahualli; lavas calco- alcalinas y piroclásticas	
		Alas-Paico; metandesitas, esquistos verdes y tobas, esquistos selicíticos(?)	F R E N T E B A N D O S	Apacsa; esquistos pelíticos con gonate y muscovita	D E L O S	Cerro Hermoso; metosedimentos y mármoles	Puente; rocas metavolcánicas sedimentarias
		(El Paso) esquistos grafnosos		Manta-Clece; anfíbolitas	L O S	Cuzco; esquistos pelíticos y gneíssos	Sisimambí; filitas negras y verdes y mármoles
ESTADO TECTÓNICO METAMÓRFICO	Rocas de muy bajo grado, catibaldando al W	Rocas de bajo grado, pliegues verticales y fáblicas empinadas		Rocas de bajo grado. Cobalgamiento al E con imbricaciones. Skarnificación de alto nivel y klipper de serpentinita	L A N A N A T E S	Esencialmente no deformada y no metamorfizada	
EDAD	Jurásico Superior ?	Jurásico Superior (Oxfordiano-Callioviense)	Platares Triásicos en sedimentos Paleozoicos? (Chiginda)	Jurásico con posibles elementos pre-Jurásicos		Rocas ígneas Jurásicas dentro de sedimentos Triásicos (Puente) y Paleozoicos (Sisimambí)	
INTERPRETACIÓN	Sedimentos continentales/ cuña clástica	Piso oceánico, antearco y arco volcánico o cuenca marginal	Granitos tipo 5 en sedimentos derivados del continente	Platares tipo 1 en secuencias volcánicas- sedimentarias		Arco volcánico Plutónico Continental tipo I	

Figura 2. 1- Resumen de la geología regional de la Cordillera Real y zona Subandina. En azul el terreno que sería el basamento de la zona oriental del área de estudio. Modificado de (Aspden et al., 1992).

### 2.2.1.1 TERRENO GUAMOTE (AMBUQUÍ)

Las rocas metamórficas del flanco occidental de la Cordillera Real localizadas entre Riobamba y Azogues se las definió como la Unidad Guamote, rocas similares afloran al este de la ciudad de Ibarra (Aspden et al., 1992), a estas rocas al norte del Ecuador se las denominó como de Unidad Ambuquí.

Según Aspden et al. (1992) y Litherland et al. (1994) la litología de esta Unidad está constituida por una secuencia de origen continental compuesta por ortocuarcitas intercaladas con filitas y pizarras, cuarcitas alternadas con cuarcitas feldespáticas que en ciertos casos se puede observar cuarzo azul, posiblemente derivado de los granitoides del Terreno Loja. Spikings et al. (2014) sugieren que esta Unidad proviene posiblemente de sedimentos provenientes del margen occidental de la placa Sudamericana interpretándola como una consecuencia de la fragmentación de dicha placa producida por un rift Triásico – Jurásico, posteriormente se produciría un proceso de acreción durante el evento compresivo (evento Peltetec) desde los 120 a 110 Ma. El límite oriental de esta Unidad es la falla Peltetec, la cual sería una zona de sutura de terrenos



oceánicos acrecionados. Hacia el occidente el contacto no está definido debido los depósitos volcánicos Mio-Pliocénicos y Cuaternarios que se depositan en el callejón interandino, sea la falla Pujilí o un ramal de ésta (Litherland et al., 1994).

Según Bristow (1973) estas rocas serían de edad pre-Maastichtiano debido a evidencia estratigráfica, sobre éstas se depositan sedimentos de la Unidad Yunguilla de edad Maastichtiano. Spikings et al., (2014) realiza dataciones en zircones recolectados en areniscas de esta Unidad realizando histogramas de frecuencia de edades obteniendo que la edad más joven encontrada en estos zircones es de  $155 \pm 6.1$  Ma lo que indicaría la edad estratigráfica de esta Unidad.

### **2.2.2 CORDILLERA OCCIDENTAL**

La Cordillera Occidental del Ecuador está formada por terrenos oceánicos alóctonos (Jaillard et al., 2005) los que estarían afectados por fallas transcurrentes de desplazamiento dextral con una dirección aproximada N-S, lo cual resulta en una compleja configuración tectono-estratigráfica de las Unidades pertenecientes a la Cordillera Occidental, estas fallas yuxtaponen a secuencias volcano-sedimentarias con similar litología, pero de diferente edad (Vallejo, 2007).

La Unidad Pallatanga está expuesta en la zona oriental de la Cordillera Occidental y estaría delimitada por la falla Toachi hacia el Oeste y por la falla Pallatanga-Pujilí-Calacalí hacia el Este la cual constituye una prolongación hacia el sur de la falla Romeral en Colombia misma que posiblemente marque el límite con Cordillera Real. Estudios geoquímicos indican que estas rocas tienen una afinidad de E-MORB, lo que sugiere que la Unidad Pallatanga posiblemente se formó sobre una pluma mantélica y tienen relación con el plateau Oceánico Caribeño (Lapierre et al., 2000; Hughes y Pilatasig, 2002; Kerr et al., 2002; Vallejo, 2007). La edad de la Unidad Pallatanga se la interpretó indirectamente por dataciones U/Pb realizadas en el gabro de San Juan obteniendo una edad de  $87.1 \pm 1.66$  Ma asumiendo que la Unidad San Juan sería el miembro más antiguo de la Unidad Pallatanga (Vallejo, 2007).

En el borde occidental de la Cordillera Occidental se encuentra la Unidad Macuchi y el límite oriental de ésta coincide con la posible falla regional Chimbo-Toachi

las rocas de la Unidad Macuchi se interpretan como secuencias depositadas en un ambiente de arco de islas con erupciones efusivas submarinas (Boland et al., 2000, Hughes y Pilatasig, 2002) (Figura 2.2). Las dataciones radiométricas y bioestratigráficas indican que estas rocas tienen edades entre Paleoceno y Eoceno. La geoquímica de la Unidad Macuchi presenta afinidades de arco de islas, con anomalías negativas de Nb, Ta y Ti.

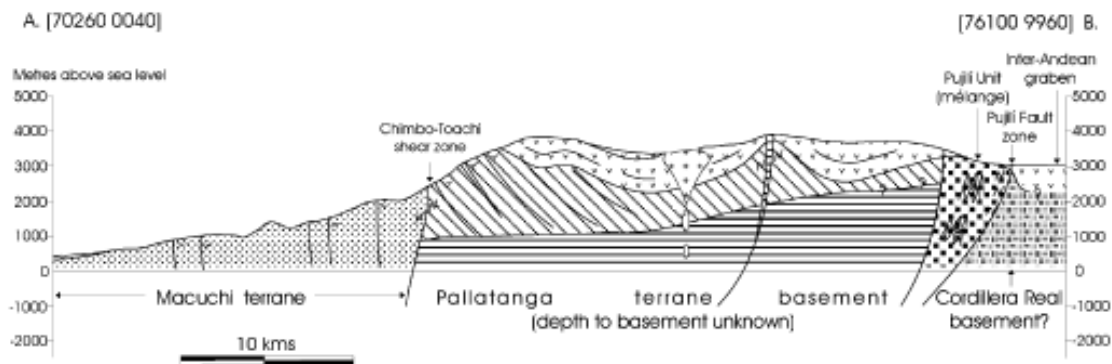


Figura 2. 2.- Corte geológico simplificado de la configuración tectónica de la Cordillera Occidental. Tomado de Hughes y Pilatasig (2002).

### 2.2.2.1 UNIDAD PALLATANGA

La Unidad Pallatanga es interpretada como el basamento volcánico de la Cordillera Occidental, compuesta por basaltos sin olivino, doleritas y hialoclastitas de afinidad geoquímica de tipo N-MORB a plateau oceánico (Reynaud et al., 1999), misma que aflora en el borde occidental de la Cordillera Occidental (McCourt et al., 1997) en secciones discontinuas limitadas por fallas (Dunkley et al., 1997; Pratt et al., 1997; Boland et al., 2000; Kerr et al., 2002).

La Unidad Pallatanga está expuesta a lo largo del borde oriental de la Cordillera Occidental y está separada de la Depresión Interandina por la falla Pallatanga-Pujilí-Calacalí con sentido N-S. La localidad tipo se ubica en el valle de Pallatanga, en las carreteras Ibarra – Lita, Otavalo - Selva Alegre, Quito Chiriboga y en la vía Guaranda – Riobamba (Vallejo, 2007).

La litología está compuesta por basaltos almohadilla, hialoclastitas, doleritas masivas, microgabros, diabasas y peridotitas. Estas rocas presentan varios grados de alteración hidrotermal de fondo marino en facies de esquistos verde baja a intermedia (Kerr et al., 2002; Vallejo, 2007).

A lo largo de la Cordillera Occidental la Unidad Pallatanga aflora como escamas tectónicas separadas de los terrenos adyacentes por fallas regionales con sentido N-S y a su vez ésta tiene una relación con la Unidad Yunguilla presentando continuamente un contacto tectónico. Al norte de 2°S el límite oriental de esta Unidad coincide con la FCPP, un contacto fallado es el límite con la Cordillera Real. En la región norte esta Unidad se encuentra en contacto tectónico con las rocas de la Unidad Silante y discordantemente se encuentran depósitos volcánicos andesíticos probablemente de edad Mio-Pliocénica (Dunkley et al., 1997; Vallejo, 2007, INIGEMM, 2015).

Análisis geoquímicos de la Unidad Pallatanga indica que su composición varía entre afinidades de E-MORB y basaltos de plateau oceánico (Hughes y Bermúdez, 1997; McCourt et al., 1997; Kerr et al., 2002; Hughes y Pilatasig, 2002). Estas rocas normalizadas a las Chondritas presentan patrones planos en los REE y razón La/Yb aproximadas a uno (Vallejo, 2007). El conjunto de muestras de la Unidad Pallatanga indica que su origen sería un plateau oceánico formado posiblemente por una pluma mantélica.

Realizar dataciones en esta Unidad por métodos radiométricos no ha sido posible debido al elevado grado de alteración de las rocas, no obstante, Vallejo (2007) asignó una edad pre-Campaniano, debido a sedimentos con radiolarios de edad Campaniano a Maastrichtiano.

#### **2.2.2.2 UNIDAD SAN JUAN**

Hughes y Bermúdez (1997) interpretan esta Unidad como una secuencia ultramáfica relacionada a la Unidad Pallatanga y sugieren que posiblemente son

fragmentos de una ofiolita desmembrada. Mamberti et al., (2004) utilizan análisis geoquímicos para sugerir que la Unidad San Juan representa una cámara magmática dentro de una configuración de plateau oceánico.

La litología de esta Unidad comprende de una secuencia ultramáfica (Hughes y Bermúdez, 1997; Hughes y Pilatasig, 2002; Mamberti et al., 2004; Vallejo, 2007), que incluye peridotitas serpentizadas, peridotitas de grano fino las cuales presentan cierta estratificación, dunitas, gabros olivínicos, gabros anfibólicos de grano fino, noritas, anortositas y doleritas. Las rocas de la Unidad San Juan presentan alteración hidrotermal pervasiva donde los cristales de piroxeno han sido reemplazados por anfíbol.

Las peridotitas de la Unidad San Juan están en contacto tectónico con sedimentos de edad Maastrichtiano pertenecientes a la Unidad Yunguilla hacia el este, hacia el oeste se encuentran en contacto fallado con la Unidad Pallatanga.

La geoquímica de esta Unidad indica que los cumulos ultramáficos presentes en estas rocas están empobrecidos en LREE, mientras que los gabros presentan patrones planos o ligeramente enriquecidos en LREE (Mamberti et al., 2004). Las muestras presentan un rango más amplio en las relaciones de isótopos de Pb (Mamberti et al., 2004). La evidencia geoquímica sugiere que la Unidad San Juan representa la componente plutónica de un plateau oceánico.

Dataciones U/Pb realizadas en zircones extraídos de gabros estratificados de esta Unidad muestran una edad de  $87.10 \pm 1.66$  Ma (Vallejo, 2007). Estos datos se los interpreta como la edad de cristalización en la cámara magmática de un plateau oceánico cretácico.

### 2.2.2.3 GRUPO RÍO CALA

Se define al Grupo Río Cala como la secuencia sedimentaria y volcánica que cubre a la Unidad Pallatanga (Figura 2.3). Estas rocas se formaron presumiblemente durante el Cretácico tardío e incluye a las Unidades La Portada, Mulaute, Natividad y Río Cala (Boland et al., 2000; Vallejo, 2007; Vallejo et al., 2009).

La litología de este grupo consiste en intercalaciones de andesitas, andesitas basálticas, brechas volcánicas, turbiditas, tobas basálticas y pillow basaltos a la base (Vallejo, 2007) (Figura 2.3).

Los datos geoquímicos e isotópicos de este grupo presentan características geoquímicas de un arco de islas intraoceánico (Vallejo et al., 2009) y sugieren que el enriquecimiento en LREE y Th fue provocado por la fusión parcial de un slab deshidratado que presuntamente subductaba bajo una corteza oceánica engrosada (Allison et al., 2005), el enriquecimiento en Pb y Nd indica la presencia de sedimentos pelágicos depositados sobre dicho slab. El Grupo Río Cala sería la combinación de MORB, un plateau oceánico y sedimentos pelágicos en un ambiente de subducción intra oceánica (Vallejo et al., 2006; Vallejo et al., 2009).

La edad de esta Unidad fue determinada por primera vez con marcadores bioestratigráficos en muestras de sedimentos de la Unidad Natividad por Boland et al. (2000) basándose en fauna foraminífera se asignó una edad Campaniano a Maastrichtiano. Vallejo et al. (2009) realizan dataciones radiométricas  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  obteniendo una edad  $66 \pm 7$  Ma.

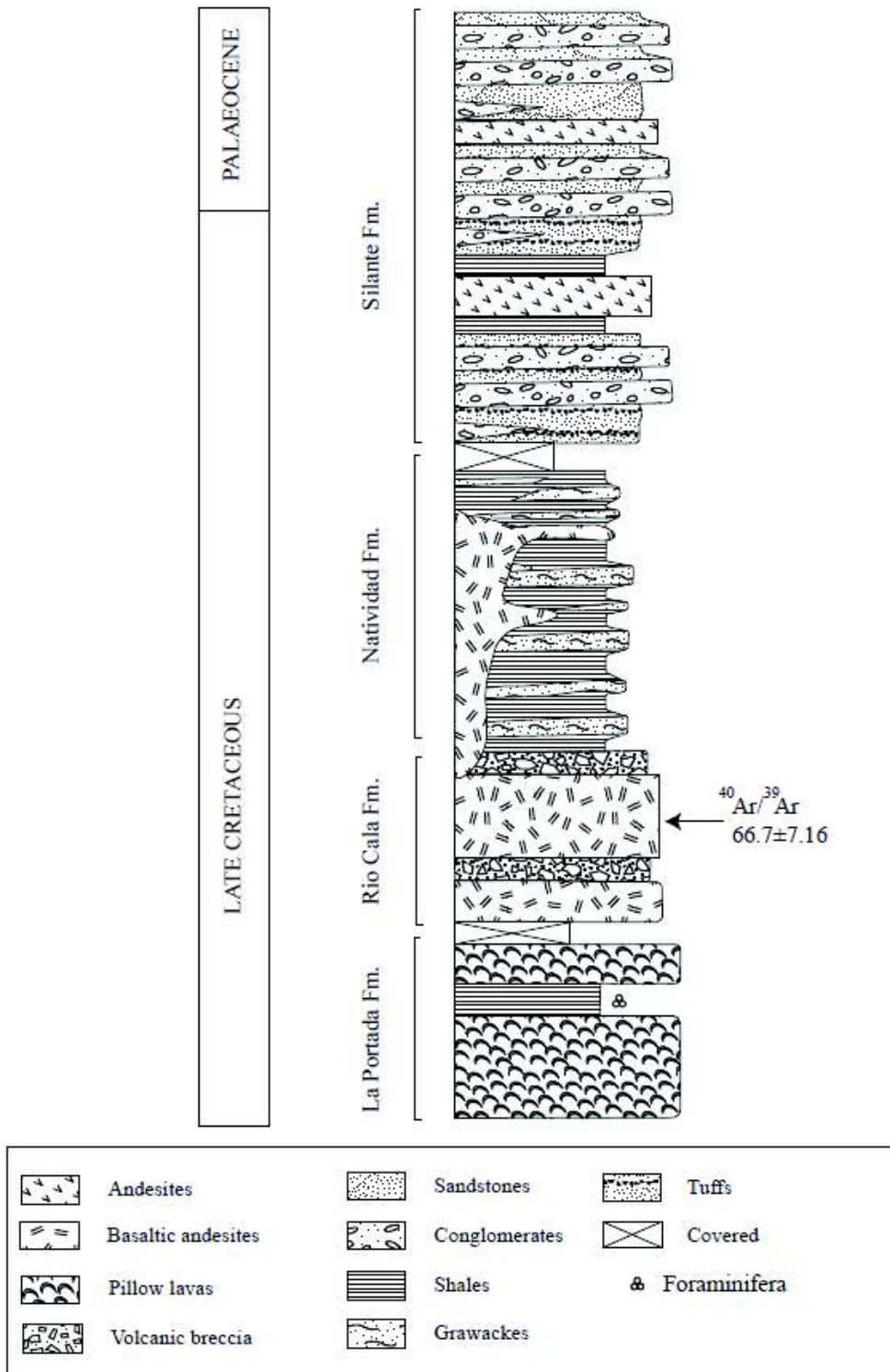


Figura 2. 3.- Columna estratigráfica de la sección Otavalo Selva Alegre, (Boland et al., 2000)

#### 2.2.2.4 UNIDAD YUNGUILLA

Definida por Thalmann (1946) como una serie sedimentaria compuesta por turbiditas negras, limolitas y areniscas. Existe controversia en cuanto a su estratigrafía debido a la ausencia de contactos con otras series sedimentarias y volcánicas de la Cordillera Occidental. La extensión de esta Unidad no está definida y su discriminación se dificulta debido a su similitud con los sedimentos de grano fino del Grupo Angamarca (Vallejo, 2007).

Vallejo (2007) define a esta Unidad como una serie sedimentaria que ha sufrido varias fases de deformación, con una cantidad significativa de componentes derivados de granitoides y rocas metamórficas. La litología de esta Unidad incluye limolitas masivas de color negro, cherts pelágicos, areniscas de grano fino y turbiditas calcáreas. Las areniscas contienen plagioclasa, cuarzo, piroxeno y anfíbol y se las puede clasificar como litarenitas y arcosas líticas, la gradación y ciclicidad de estas rocas sugiere que fueron depositadas por corrientes turbidíticas.

La Unidad Yunguilla aflora a manera de bloques tectónicos los cuales están en contacto fallado varias de las series litológicas de la Cordillera Occidental y estaría asociada a la Unidad Pallatanga (Vallejo, 2007). La Unidad Yunguilla representa la parte central a distal de varios abanicos turbidíticos, similares a depósitos de una cuenca de ante arco, la presencia de cuarzo y minerales de origen metamórfico indican que la fuente de estos serían posiblemente los granitoides y rocas metamórficas pertenecientes a la Cordillera Real.

La edad de esta Unidad ha sido definida mediante marcadores bioestratigráficos obteniendo un rango de edades estratigráficas desde el Campaniano tardío al Maastrichtiano temprano.

### **2.2.2.5 UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS**

Descrita por Van Thournout (1981) consiste en una secuencia volcánica constituida por lavas intercaladas con brechas y sedimentos, afloran a manera de cuerpos aislados al norte y sur del Río Mira, entre los poblados de La Carolina y Parambas, en el sector de San Juan de Lachas (Boland et al., 2000). Los primeros estudios de esta Unidad la relacionan con la Unidad Silante, no obstante, en trabajos posteriores donde se realizan trabajos radiométricos se muestra que estas dos Unidades no tienen relación (Boland et al., 2000).

La litología de esta Unidad está dominada por lavas andesíticas ricas en hornblenda y plagioclasa y brechas de la misma composición (Vallejo, 2007). El espesor de esta Unidad es desconocido. Sobre ésta descansan discordantemente sedimentos de la Unidad El Laurel y volcanosedimentos pertenecientes a la Unidad Pilatón.

La geoquímica de esta Unidad evidencia una afinidad calco-alkalina y posiblemente sería formada en un ambiente intracontinental (Boland et al., 2000).

Las primeras dataciones de esta Unidad fueron realizadas por Van Thournout (1991), quien obtuvo edades radiométricas K/Ar en hornblendas de 32.6 Ma en un dique andesítico. Vallejo (2007) realiza dataciones de trazas fisión en zircones obteniendo edades de  $23.5 \pm 1.5$  y  $24.5 \pm 3.1$  Ma, lo que interpreta como edades de reajuste, adicionalmente realiza dataciones K/Ar en hornblenda obteniendo una edad plateau de  $32.9 \pm 1.2$  Ma relacionada con las primeras dataciones de esta Unidad.

### **2.2.3 DEPRESIÓN INTERANDINA**

Varias series sedimentarias clásticas y secuencias volcánicas de edad Mioceno medio hasta el Pleistoceno se exponen en la Depresión Interandina (Hungerbühler et al., 1997) dichos depósitos están estrechamente ligados a la actividad tectónica del arco volcánico, entre las principales cuencas al norte del



Ecuador están las cuencas del Chota, Quito-San Antonio-Guayllabamba y la cuenca de Riobamba-Alausí en el extremo sur (Winkler et al., 2005).

### **2.2.3.1 GRUPO ANGAMARCA**

El Grupo Angamarca es definido como una serie sedimentaria siliciclástica, que incluye areniscas turbidíticas y conglomerados intercalados con limolitas. Según Vallejo (2007) la edad estratigráfica de este grupo se interpreta desde el Paleoceno al Oligoceno y se subdivide desde la base hasta su secuencia tope en las Unidades Saquisilí, Apagua, Unacota y Gallo Rumi, basándose en análisis litológicos y análisis de proveniencia se incluye a la Unidad El Laurel como la prolongación hacia el norte del Grupo Angamarca (Vallejo, 2007). Esta secuencia sedimentaria aflora al Este de la Unidad Macuchi en contacto tectónico a lo largo de la “falla regional” de tipo inversa con componente dextral Chimbo Toachi. El Grupo Angamarca típicamente tiene un elevado contenido de cuarzo y minerales de origen metamórfico lo que implica que la fuente de estas secuencias sedimentarias fueron las rocas metamórficas de la Cordillera Real (Vallejo, 2007).

### **2.2.3.2 GRUPO CHOTA**

Los primeros estudios los realizaron Barragán et al. (1996) como una de las cuencas intramontañosas formadas durante el Neógeno (Cuenca, Nabón, Girón, Loja y Vilcabamba) posterior la acreción de terrenos oceánicos durante el Paleoceno-Eoceno y el inicio de la subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana durante el terciario. Los márgenes de la cuenca del Chota consisten en varias fallas mayores que limitan los depósitos sedimentarios del basamento el cual está conformado el grupo Ambuquí según Baldock (1982) o Unidad Guamote según Aspden et al. (1992). La litología de la Unidad Guamote consiste predominantemente de turbiditas, rocas verdes, tobas metamorizadas, en menor cantidad mármoles y ortocuarcitas (Litherland et al., 1994).

El Grupo Chota está compuesto por cuatro Unidades las cuales son: Unidad Chota, Unidad Santa Rosa, Unidad Peñas Coloradas y Unidad Carpuela, con diferentes litologías las cuales tienen un espesor total de 3000 metros (Egüez y Beate, 1998), estas cuatro unidades representan una intercalación de base a techo de conglomerados, areniscas tobáceas intercaladas con lignito y lutitas de diferentes tonalidades (Egüez y Beate, 1998).

La litología se caracteriza por secuencias conglomeráticas con gradación normal en un sistema proximal de ríos trenzados (Egüez y Beate, 1998). La secuencia comienza con conglomerados o areniscas conglomeráticas, con estratificación cruzada e imbricaciones de cantos que corresponde a depósitos de canal (Egüez y Beate, 1998) (Figura 2.4). Hacia el tope de la secuencia se caracteriza por la presencia de conglomerados intercalados con areniscas que tienen presencia de laminaciones horizontales, finalmente, hacia el tope se encuentra lutitas y limolitas con presencia de paleosuelos, posiblemente relacionados a depósitos de llanura de inundación (Barragán et al., 1996).

Otros depósitos fluviales pertenecientes a esta cuenca son los sedimentos de abanico aluvial los cuales se caracterizan por su gradación inversa y los depósitos de ambiente lacustre se dividen en facies de sedimentación de baja energía con depósitos laminares y facies de sedimentación de alta energía que se caracteriza por tener depósitos turbidíticos (Barragán et al., 1996).

#### **2.2.3.2.1 UNIDAD CHOTA**

Expuesta principalmente en la parte central de la cuenca donde sobreyace al basamento metamórfico de manera discordante, estratigráficamente representa el inicio de la serie sedimentaria del Grupo Chota, sobre ésta se encuentra la Unidad Santa Rosa.

Esta secuencia tiene un espesor aproximado de 500 m que se subdivide en dos secuencias de 250 m de espesor, la primera secuencia "S1" corresponde a depósitos de ríos trenzados, con secuencias de conglomerados que predominantemente tienen clastos de origen volcánico de composición intermedia a básica y clastos subordinados de rocas metamórficas. La parte

superior de esta secuencia se caracteriza por una sucesión de lutitas y lodolitas (Barragán et al., 1996).

La segunda secuencia "S2" corresponde a depósitos laminares de arcillas de coloración gris a negra y depósitos lodosos de coloración blanco a amarillo con intercalaciones de conglomerados, areniscas con laminación cruzada y la presencia de depósitos evaporíticos, impresiones de hojas y gasterópodos fosilizados, posiblemente depositados en un ambiente lacustre en un sistema hidrológico abierto (Barragán et al., 1996).

#### **2.2.3.2.2 UNIDAD SANTA ROSA**

La unidad Santa Rosa se desarrolla en la zona oeste de la cuenca, donde sobreyace la Unidad Chota, el límite occidental está escasamente determinado debido a la cobertura volcánica cuaternaria (Barragán et al., 1996). Afloramientos del basamento metamórfico en la parte occidental sugieren que esta Unidad se deposita sobre la Unidad Chota y sobre las rocas metamórficas de la Unidad Guamote. Los estudios estratigráficos de esta Unidad indican que el espesor de la secuencia es de aproximadamente 1000 m (Barragán et al., 1996).

La composición de los conglomerados consiste principalmente de clastos metamórficos, con clastos sedimentarios a la base y clastos volcánicos de composición intermedia con líticos pumíticos, los cuales son abundantes en toda la secuencia, tanto en los depósitos fluviales como en los depósitos de caída (Barragán et al., 1996).

Sobre esta Unidad se encuentran depósitos de "Debris Flow" (Brecha Gavilanes), se caracteriza por la presencia de flujos de Debris a la base, brechas volcánicas y volcanosedimentos, estos depósitos estarían relacionados con los volcánicos Angochagua los cuales por métodos radiométricos K/Ar se determinó edades de  $6.3 \pm 0.1$  Ma lo que sugiere que esta Unidad podría ser pre-Pliocénica. Esta Unidad está depositada sobre una superficie erosiva lo que sugiere un periodo de intensa actividad tectónica y cambios climáticos (Barragán et al., 1996) (Figura 2.4).

### 2.2.3.2.3 UNIDAD PEÑAS COLORADAS

Aflora en la zona este de la cuenca del Río Chota, está en contacto tectónico con el basamento metamórfico Guamote y en discordancia angular con los sedimentos de la Unidad Chota. Las relaciones estratigráficas sugieren que se depositó después de la Unidad Santa Rosa (Barragán et al., 1996). La Unidad Peñas Coloradas tiene un espesor aproximado de 600 m con seis secuencias grano crecientes y grano-decrecientes, depositadas en facies de abanicos aluviales donde las secuencias conglomeráticas corresponden a las zonas medias y superiores del abanico y las secuencias de grano fino representan las zonas más bajas del abanico aluvial (Barragán et al., 1996).

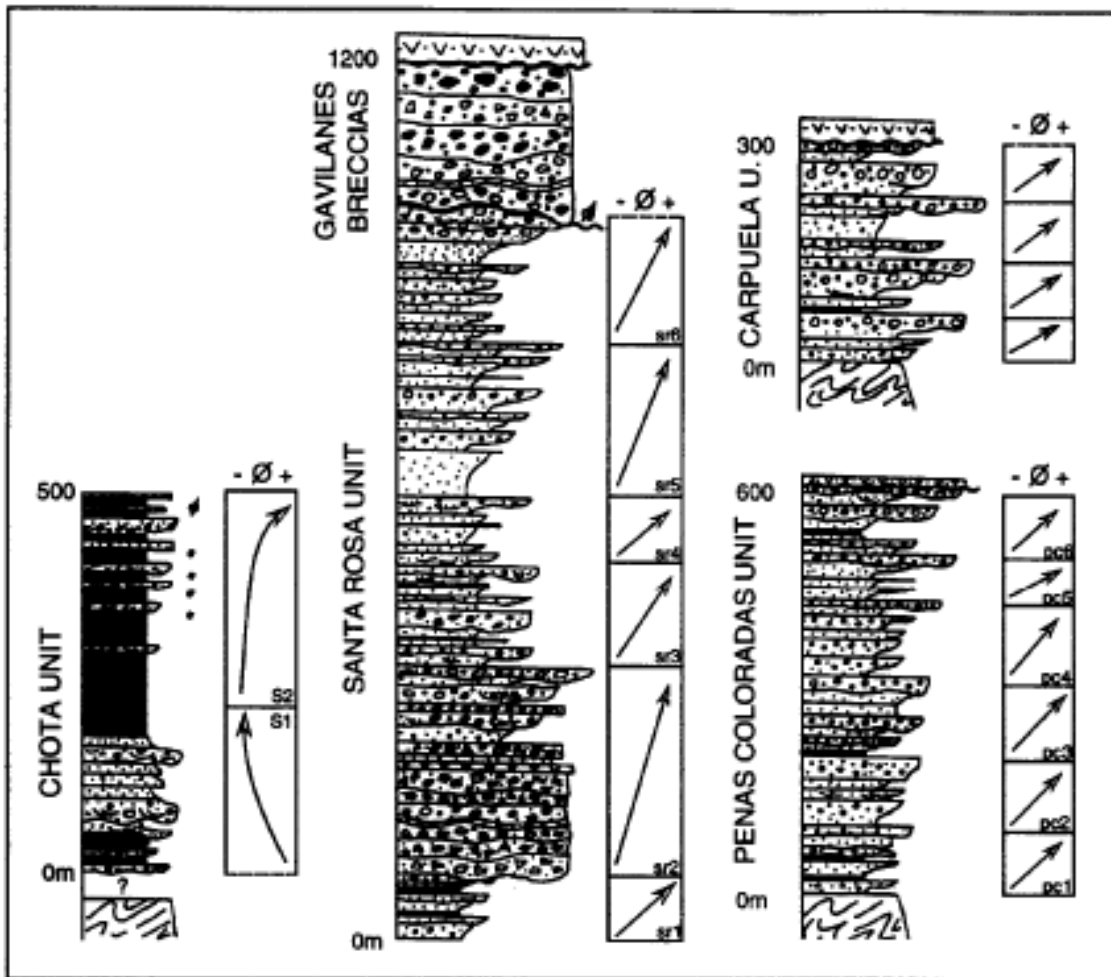


Figura 2. 4.- Columnas litoestratigráficas y análisis secuencial de las Unidades Neógenas de la cuenca Chota. (Barragán et al., 1996).

Los depósitos de “Debris Flow” y “Sheet Flow” indican que se formaron en climas semiáridos a áridos, el aporte terrígeno de esta Unidad sería principalmente rocas metamórficas posiblemente provenientes de la Cordillera Real, la presencia rocas volcánicas es congruente con la existencia depósitos de grano fino de esta Unidad (Barragán et al., 1996).

#### **2.2.3.2.4 UNIDAD CARPUELA**

Esta Unidad se encuentra al este de la cuenca del Río Chota separada del resto de los depósitos de esta cuenca, se identifica un contacto fallado con el basamento metamórfico. La Unidad Carpuela tiene un espesor aproximado de 300 m y consiste en cuatro secuencias con intercalaciones de secuencias progradacionales y retrogradacionales, las cuales se caracterizan por facies conglomeráticas que se derivan de las zonas proximales y definen los abanicos progradacionales. La fuente de esta Unidad es principalmente rocas metamórficas y rocas volcánicas (Barragán et al., 1996).

#### **2.2.3.3 VOLCÁNICOS ANGOCHAHUA**

Identificados por primera vez por DGGM-INEMIN (1980). Denominados de esta manera por el poblado ubicado al SE de la ciudad de Ibarra, constituyen una serie de estratovolcanes y domos andesíticos ubicados en la cresta de la Cordillera Occidental y en menor proporción en el valle interandino (DGGM-INEMIN, 1980). Su litología está conformada por brechas volcánicas, dacitas hornbléndicas de afinidad calco-alcalina y volcanosedimentos (Ruiz, 2003), según Egüez y Beate (1998) estos depósitos volcánicos bordean la cuenca del Chota cubriendo al basamento metamórfico de la Cordillera Real y el basamento de la Cordillera Occidental. Se observa que afloramientos de esta Unidad se prolongan hasta el sector del San Gabriel y El Ángel desde el sur de la ciudad de Ibarra (Egüez y Beate, 1998).

Constituye una secuencia de aproximadamente 2000 m de volcanosedimentos estratificados en capas decimétricas a métricas donde predominan brechas heterolíticas y areniscas de origen volcánico en ciertos sectores se observa flujos de lava y cuerpos subvolcánicos, los cuales se encuentran brechificados y tienen una composición andesítica (Egüez y Beate, 1998). En ciertas zonas presentan deformación presumiblemente a causa de fallas que controlan la evolución de la cuenca intramontañosa del Chota (Egüez y Beate, 1998).

Dataciones radiométricas obtenidas por Barberi et al. (1988) indican una edad de  $6.3 \pm 0.06$  Ma, no obstante, se desconoce los sitios de muestreo de las rocas, por otra parte, datos obtenidos por INECCEL (1980) de  $3.46 \pm 0.1$  Ma indica que la base de esta Unidad es Plioceno superior.

#### **2.2.3.4 VOLCANICOS CHACHIMBIRO**

El primer periodo de actividad del complejo volcánico Chachimbiro construyó el edificio volcánico Huanguillaro, un estratovolcán compuesto principalmente por acumulación de lavas andesíticas de afinidad calco-alkalina (57-31.5wt. %) (Bernard et al., 2011). Los afloramientos de estos depósitos están subordinados al valle del Río Ambi. Se trata de depósitos volcanoclásticos con intercalaciones de Cangahua (Egüez & Beate, 1998).

Dataciones radiométricas K/Ar realizadas por Barberi et al. (1988) obtienen una edad de  $410 \pm 40$  Ka en una andesita procedente de depósitos de avalancha del colapso de este edificio volcánico, sugieren una edad Pleistoceno Medio para este volcán.

El último periodo eruptivo de este volcán se describe como una erupción dirigida, evidenciado en las estructuras sedimentarias y granulometría de los depósitos de este volcán, la cual cubre una extensión de 50 km<sup>2</sup> hacia la zona oriental de edificio volcánico (Bernard et al., 2011). Las dataciones de radiocarbono realizadas por Bernard et al. (2011) obtuvieron un rango de edades de 3640 a 3510 años AP.

### 2.2.3.5 VOLCÁNICOS IMBABURA

Los depósitos del volcán Imbabura se han formado por una compleja sucesión de eventos volcánicos los cuales se caracterizan por la presencia de flujos de lava, flujos piroclásticos y avalanchas de escombros. Se puede identificar dos edificios volcánicos principales los cuales son: Imbabura I e Imbabura II. Este último presenta actividad eruptiva desde 30 000 años hasta los 1800 años antes del presente (Ruiz, 2003).

La secuencia volcánica Imbabura I comprende el edificio más antiguo de este complejo y está constituido por cinco Unidades: lavas basales Pinsaquí, lavas Zapallo Loma, lavas Sanciloma, lavas el Artezón y una Avalancha de Escombros, la cual es un marcador estratigráfico que indica eventos distintos en desarrollo de los edificios volcánicos de este complejo.

Este edificio está conformado por paquetes de lavas masivas de afinidad andesítica que se extienden de manera radial desde el centro de emisión, constituidos por flujos de lava masivos que presentan brechas en los límites superior e inferior de colores grises (Ruiz, 2003).

El espesor aproximado de la secuencia Imbabura I es de 2 km y los buzamientos son bajos ( $<10^\circ$ ) en las partes bajas del edificio llegando a buzamientos de entre  $20^\circ$  y  $30^\circ$  en las zonas altas (Ruiz, 2003).

Según Ruiz (2003) la Avalancha de Escombros es una de las Unidades más extensas del Imbabura I con un área de influencia de  $155 \text{ km}^2$  con un volumen mínimo de  $1.55 \text{ km}^3$  que incluye la superficie del anfiteatro, el depósito se extiende desde el sector de Ilumán hasta la zona norte de la ciudad de Ibarra, la cuales presentan una gradación de facies de bloques en las zonas proximales a facies de matriz en las zonas lejanas y laterales. El tamaño de los bloques presenta un decaimiento gradual en función de la distancia. Los diámetros medios varían desde 5 – 8 metros en las facies de bloques a 0.4 m en las facies de matriz, su composición varía entre andesitas básicas y andesitas ácidas (Ruiz, 2003).

El Imbabura II comprende el segundo edificio volcánico desarrollado post avalancha el mismo que está formado por el cono superior de Taita Imbabura,

depósitos piroclásticos y el volcán Huarmi Imbabura. Formado por lavas, brechas de lava y protrusiones. Un evento importante de esta Unidad es el “Flujo piroclástico del Río Tahuando el cual está compuesto por flujos piroclásticos y ceniza con un espesor aproximado de 30 metros, estos depósitos se encuentran intercalados por sedimentos fluviales y “surges” (Ruiz, 2003).

#### **2.2.3.6 DEPÓSITOS DE CANGAHUA**

El complejo volcánico Imbabura fue sometido a varios episodios erosivos y de removilización de sus depósitos, agentes como el agua y la gravedad potencian los procesos de erosión y transporte siendo las épocas lluviosas donde posiblemente este fenómeno sea más marcado, así como en los eventos glaciares recientes, este conjunto de condiciones provocaron la generación de Cangahua que cubren algunos depósitos del Imbabura, se identifican varios abanicos y depósitos coluviales, un grupo comprende a depósitos fluvio-glaciares ubicados en la zona norte del Imbabura cuya característica geomorfológica es la ruptura de pendiente que ocurre alrededor de los 2800 m.s.n.m. y se componen de paquetes de sedimentos que incluyen materiales no consolidados y de mal sorteo (Ruiz, 2003).

Depósitos de Cangagua y tefra distales cubren los relieves más altos alrededor de la cuenca del Río Tahuando, y el Río Ambi. Se presentan como depósitos subhorizontales primarios. Materiales retrabajados y estratificados de Cangagua y tefras con líticos volcánicos (Egüez y Beate, 1998).



# CAPÍTULO 3

## 3.1 LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

El basamento de la zona de estudio está representado por rocas volcánicas de edad Oligocénica pertenecientes a la Unidad San Juan de Lachas las cuales afloran parcialmente en los lechos más profundamente disectados de los ríos que atraviesan la zona norte del área de estudio; sobre ésta se encuentran las brechas volcánicas de la Unidad Angochagua a manera de paquetes masivos de espesor desconocido que conforman el frente montañoso oriental o “Sierra de Angochagua” que bordea la ciudad de Ibarra.

Siguiendo la secuencia estratigráfica se encuentran discordantemente los depósitos de origen fluvial del Grupo Chota de edad Miocénica, los cuales están expuestos de manera muy puntual sobre las rocas volcánicas de la Unidad Angochagua, sobre estos sedimentos se encuentran depósitos de alta energía como “Debris Flow” pertenecientes a la Unidad Mascarilla los cuales presentan una amplia distribución hacia la zona noroccidental en paquetes subhorizontales con espesores que varían desde pocos metros hasta varias decenas de metros. Hacia el tope de esta secuencia están las rocas volcánicas y volcanosedimentarias cuaternarias provenientes de los volcanes Imbabura los cuales se presentan a manera de flujos dispuestos radialmente en las faldas del Volcán Imbabura que cubren superficialmente a la ciudad de Ibarra, su espesor varía en función de su proximidad al centro volcánico, y finalmente sobre estos depósitos volcánicos se encuentran depósitos de caída del volcán Chachimbiro y otros depósitos aluviales y coluviales.

### 3.1.1 UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS

Afloramientos de esta Unidad se encuentran en el lecho de la Quebrada Tahuando en la coordenada (UTM: 818 988 E; 100 43 637 N) y en el corte de la carretera Ibarra-Salinas en la coordenada (UTM: 819 830E; 100 44 546 N) a la altura del relleno sanitario de la ciudad de Ibarra (Anexo I).

La Unidad San Juan de Lachas fue descrita por primera vez por Van Thournout (1991) quien la definió como una serie de rocas volcánicas de composición andesítica que afloran a lo largo de la carretera Salinas-Lita cerca al poblado de San Juan de Lachas.

Microscópicamente estas litologías presentan una textura hipocristalina, porfirítica con estructura pilotáxica seriada (Figura 3.1 A, B), donde se pueden observar tres generaciones de desarrollo de plagioclasa. Estos cristales constituyen el 30% de la composición de la roca, se puede observar cúmulos de anfíbol (10%) y piroxeno (15%), la roca presenta una matriz compuesta por vidrio volcánico y microlitos de plagioclasa (25%), se observa minerales opacos (5%) y minerales producto de alteración de las plagioclasas como epidota (10%) y clorita (10%) como alteración de minerales máficos.

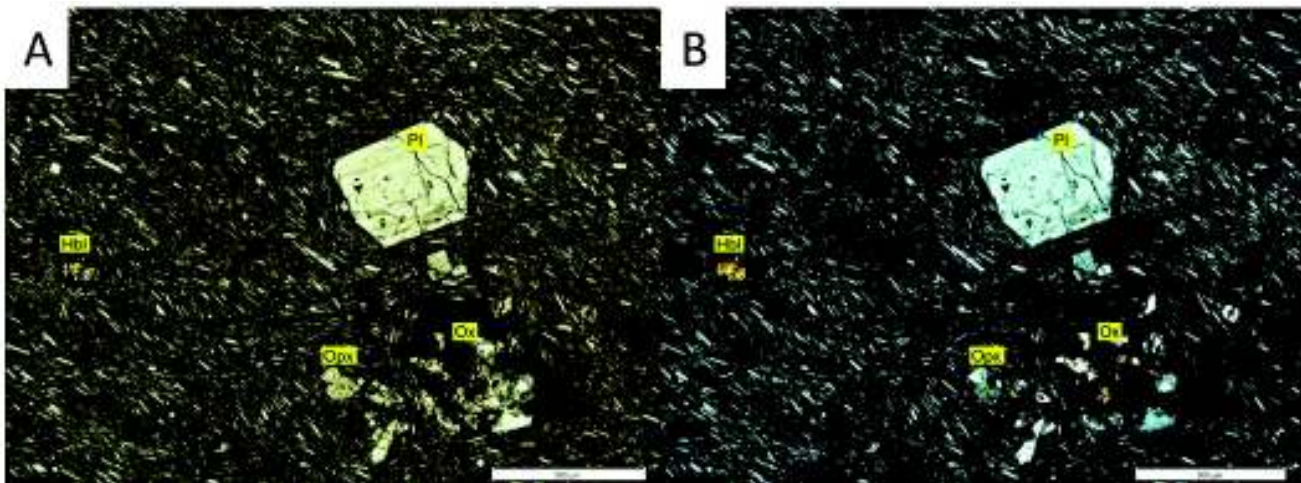


Figura 3. 1.- A, B microfotografías de lámina delgada con luz natural y luz polarizada respectivamente, microscópicamente la roca es una andesita basáltica con textura pilotáxica, con fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una matriz compuesta por vidrio y microlitos de plagioclasa y hornblenda. Plagioclasa (Pl), Hornblenda (Hbl), Ortopiroxeno (Opx), Oxidos (Ox)

En la zona de estudio los afloramientos más importantes de esta Unidad están restringidos al sustrato rocoso del Río Ambi. Dichos Afloramientos no han sido reportados anteriormente en esta zona, por lo cual se desconocía el basamento de las secuencias volcánicas de relleno entre el Río Ambi y la Quebrada Tahuando.

La litología de esta Unidad está compuesta de andesitas anfibólicas de coloración grisácea - negra con textura porfirítica y una mineralogía dominada esencialmente por fenocristales de anfíbol y microlitos de plagioclasa dentro de una matriz de vítrea. Se observa una alteración pervasiva misma que ha provocado que los minerales primarios como plagioclasa y anfíbol e incluso el vidrio se alteren a clorita y arcillas; esta alteración podría ser causada por los procesos de meteorización, la roca se encuentra afectada por procesos de deformación frágil los que provocan fracturamiento en las rocas. Los reemplazamientos minerales son comunes se puede observar en plagioclasas que han sido alteradas a arcillas y en ciertos casos a sericita. En el caso de los anfíboles estos han sido alterados clorita.

En el corte de la carretera Ibarra-Salinas (UTM: 819 830 E; 100 44 546 N) al noreste de la ciudad de Ibarra se encuentran afloramientos de rocas volcánicas tectonizadas (Figura 3.2A), de coloración negra a grisácea con un elevado grado de fracturación que provoca que la roca sea deleznable, dicha fracturación estaría asociada a un sistema de fallas conjugadas de tipo inverso las cuales presentan direcciones de  $0^{\circ}/50^{\circ}$  y  $230^{\circ}/90^{\circ}$  en azimut de buzamiento que afectan incluso a las rocas volcánicas suprayacentes de la Unidad Angochagua.

La geoquímica de esta Unidad según análisis realizados por Van Thournout (1991) y Boland et al. (2000) muestran una afinidad calco-alkalina formados en

una configuración geodinámica de arco continental durante el Oligoceno extendiéndose probablemente al Mioceno temprano (Vallejo, 2007).

Las relaciones estratigráficas de la Unidad San Juan de Lachas con las unidades litológicas adyacentes en la zona de estudio son bastante complejas. En el corte de la carretera en la vía Ibarra-Salinas se observa que la Unidad San Juan de Lachas está discordantemente cubierta por secuencias de brechas volcánicas y volcanosedimentos pertenecientes a los volcánicos Angochagua. Afloramientos del basamento de esta Unidad no han sido observados en el área de estudio, en consecuencia, no se dispone de datos precisos respecto a su potencia y sus relaciones estratigráficas con el basamento; no obstante Vallejo (2007) reporta que esta Unidad se habría depositado discordantemente sobre las rocas de la Unidad El Laurel y sobre los volcanosedimentos de la Unidad Pilatón.





Figura 3. 2- A, B.- Afloramiento de la Unidad San Juan de Lachas y sobre ésta discordantemente se encuentran rocas volcánicas de la Unidad Angochagua (UTM: 819 830 E; 100 44 546 N).

Edades radiométricas reportadas por Van Thournout (1991) y Vallejo (2007), quienes realizan dataciones radiométricas K/Ar en hornblendas obteniendo edades de 32.6 Ma y una edad plateau de  $32.9 \pm 1.2$  Ma respectivamente, indicando que esta Unidad se formó en el Oligoceno.

### 3.1.2 UNIDAD ANGOCHAGUA

Afloramientos de estas rocas se encuentran en la vía Ibarra - Salinas a la altura del relleno sanitario de la ciudad de Ibarra (UTM: 819 474 E, 100 43 911 N) (Figura 3.2 B), en el sector de Aloburo al nororiente de la ciudad de Ibarra (UTM: 824 645 E; 100 42 090 N); extensos afloramientos se pueden apreciar en la vía Aluburo, Yuracruz (UTM: 826 232 E; 100 40 371 N), en el sector de San Miguel de Yahuarcocha, en la vía al mirador del Arcángel (UTM: 824 663 E; 100 39 664 N) y en la carretera Panamericana cerca de la parroquia de Ambuquí (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N) (Ver Anexo I).

Microscópicamente estas rocas son brechas volcánicas polimícticas que presentan una textura hipocristalina, estructura brechosa (Figura 3.3), compuesta por líticos angulosos de andesitas (20%), andesitas basálticas (25%) dispuestos en una matriz compuesta por cristales disgregados de plagioclasa, anfíbol y piroxeno y material tobáceo que conforma el 40% de la roca y minerales opacos en un 5% y minerales de alteración como epidota y clorita (10%).

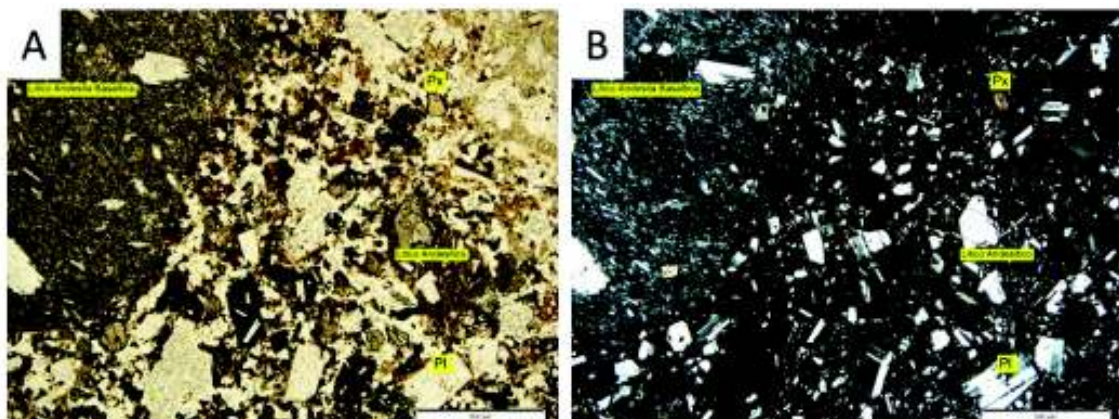


Figura 3. 3 A y B.- fotografía de lámina delgado Luz natural y luz polarizada respectivamente, microscópicamente se trata de una Brecha Volcánica Polimíctica. Piroxeno (Px), Plagioclas (Pl)

En la vía Ibarra-Salinas (UTM: 819 735 E, 100 44 270 N) se observan rocas volcánicas de coloración grisácea de textura brechosa, polimíctica, con líticos de composición andesítica como andesitas basálticas; mismos que presentan una textura porfirítica de estructura masiva compuestos por cristales de plagioclasa y hornblenda en una matriz de vidrio y microlitos de plagioclasa. Se observa clastos de coloración rojiza posiblemente de composición dacítica. Estos líticos tienen un tamaño que varía desde los 2 cm hasta 50 cm indicando que estas rocas se depositaron en un ambiente de alta energía debido al mal sorteo que presenta la roca. Estas litologías presentan un soporte de matriz compuesto por cristales y líticos de similar composición a los descritos anteriormente con granulometría menor a 1 cm de diámetro, los cristales son esencialmente hornblenda, piroxeno y arcillas, estas últimas resultantes de la alteración de material tobáceo. Los minerales como óxidos de Fe y clorita son comunes en la matriz como minerales secundarios.

Estructuralmente la roca se presenta masiva con evidencia de una estratificación lateralmente irregular y ligeramente inclinada hacia el este como se observa en el frente montañoso oriental de la ciudad de Ibarra. Hacia el techo de esta Unidad se presenta un contacto erosivo con flujos de “Debris Flow” de la Unidad Mascarilla con clastos de composición similar a los Volcánicos Angochagua. El espesor de esta Unidad es incierto puesto que en la vía Ibarra- Salinas los afloramientos de estas rocas presentan contactos erosivos hacia el techo y en el sector de Yuracruz alto no ha sido posible identificar afloramientos de la base de esta Unidad. Estas secuencias se encuentran deformadas por un sistema de fallamiento conjugado, que afecta tanto a las rocas pertenecientes a los Volcánicos Angochagua como a la Unidad San Juan de Lachas.

En el corte de la vía de tercer orden Aluburo-Yuracruz al nororiente de la ciudad de Ibarra (UTM: 824 645 E; 100 42 090 N) (Figura 3.4 B y Anexo I) se observan afloramientos de rocas volcánicas de coloración marrón, textura brechosa, polimíctica entre los que se pueden apreciar líticos de composición andesítica cuyo análisis microscópico indica que presentan una textura porfirítica con

fenocristales de plagioclasa + anfíbol ± piroxeno en una matriz compuesta por vidrio y microlitos de plagioclasa, líticos volcánicos de composición andesítica de textura escoriaza y líticos de pómez los cuales microscópicamente presentan una textura epiclástica con estructura porosa, su composición es esencialmente cuarzo, plagioclasa y vidrio, el cual se está alterando a arcillas.

La roca contiene líticos de 2 hasta 30 cm de diámetro indicando un mal sorteo de la roca. En cuanto a la matriz está compuesta por líticos andesíticos cuyos diámetros son menores a 1 cm, cristales de plagioclasa, anfíbol, cuarzo subordinado y minerales arcillosos los cuales son producto de la alteración del material tobáceo. La roca presenta una estructura masiva, textura brechosa y su mal sorteo indica que estas rocas se formaron en un ambiente de alta energía. La propilitización de los líticos volcánicos de composición andesítica es común lo que se evidencia en la coloración verdosa de éstos y principalmente en la aparición de minerales secundarios como clorita, epidota y calcita. En ciertas zonas es posible identificar localmente alteración hidrotermal la cual se caracteriza por la presencia de minerales arcillosos, sericita y óxidos de hierro.

En la carretera panamericana cerca al poblado de Ambuquí (UTM:825 530 E; 100 52 614 N) afloran brechas polimícticas las cuales presentan líticos de composición andesítica, andesita basáltica, pómez y rocas volcánicas de textura escoriaza, roca de tipo matriz soportada la cual está compuesta por líticos andesíticos de diámetros menores a 1 cm, cristales de plagioclasa, anfíbol y cuarzo en menor proporción y arcillas. Su análisis microscópico indica que se trata de una brecha volcánica polimíctica con presencia de líticos de andesita (20%), andesitas basálticas (15%) y líticos escoriazos (15%) dispuestas en una matriz compuestas por cristales de plagioclasa (15%), piroxeno (10%), arcillas (15%) y óxidos de Fe (5%) y sílice (5%) (Ver Anexo V).

Las relaciones estratigráficas con las rocas subyacentes se las puede observar en la vía Ibarra - Salinas a la altura del relleno sanitario de la ciudad de Ibarra (UTM: 819 474 E, 100 43 911 N) donde se encuentra depositada discordantemente sobre la Unidad San Juan de Lachas (Figura 3.2 A y B). Sobre estas rocas se encuentra discordantemente depósitos de la Unidad Mascarilla y depósitos volcánicos cuaternarios. En el sector de Yuracruz alto Rocas

volcánicas de la Unidad Angochagua se encuentran sobreyacidos discordantemente por sedimentos del Grupo Chota.

Por la posición estratigráfica de estas rocas y los datos obtenidos por Winkler et al. (2005) esta Unidad sería de edad Mioceno inferior. Posiblemente se trate de la continuación de el volcanismo continental del Oligoceno (Vallejo, 2007).



Figura 3.4 A.- Afloramiento de la Unidad Angochagua afectada por fallas conjugadas de dirección en azimut de buzamiento  $35^{\circ}/75^{\circ}$  y  $275^{\circ}/42^{\circ}$  (UTM: 820 142 E; 100 45 022 N). B.- Afloramiento de Unidad Angochagua en el sector de Yahuarcocha (UTM: 824 663 E; 100 39 664 N), C.- Afloramiento de Unidad Angochagua en el sector de Mascarilla (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N).

### 3.1.3 UNIDAD CHOTA

Afloramientos de esta Unidad se encuentran en la carreta Ibarra-Salinas a la altura del relleno sanitario (UTM: 820 538 E; 100 45 265 N), en la carretera



Panamericana en el sector de Mascarilla cerca de la parroquia de Ambuquí (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N) y de forma puntual en el sector de Yuracruz Alto (UTM: 826 214 E; 100 40 458 N).

En la vía Ibarra-Salinas en el sector del relleno sanitario (UTM: 820 538 E; 100 45 265 N) (Figura 3.5) afloran muy localmente secuencias sedimentarias fluviales de coloración variada de textura conglomerática, estratificadas de potencia variable desde pocos decímetros hasta alrededor de dos metros. Roca polimíctica con clastos redondeados de hasta 10 cm de diámetro. La litología de estos clastos es variada, se puede encontrar gneis, esquistos sericíticos, cuarzo lechoso y rocas volcánicas de composición andesítica. Roca de tipo matriz soportada, dicha matriz está compuesta esencialmente por cuarzo, plagioclasa y líticas de tamaño > 2 mm (grava). Se puede observar una segunda secuencia de areniscas conglomeráticas de coloración gris con líticas de similar composición a los descritos anteriormente en una matriz tobácea.

En el sector de Mascarilla en la vía Panamericana norte cerca al sector de Ambuquí (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N) se encuentran grandes afloramientos de secuencias de conglomerados intercaladas con areniscas multicolores (Figura 3.6), las secuencias conglomeráticas con matriz soportada, dicha matriz está compuesta por cuarzo, plagioclasa, y líticas de diámetros menores a 2 mm, los clastos están constituidos esencialmente de gneis, esquistos sericíticos,



filitas, cuarzo lechosos y clastos de rocas volcánicas de composición andesítica, mismo que presentan un diámetro máximo de 15 cm además se observan imbricaciones. En cuanto a las areniscas y lutitas son secuencias decimétricas a métricas con estratificación cruzada donde la composición es similar a las secuencias conglomeráticas descritas anteriormente, la presencia de cuarzo, líticos metamórficos e ígneos se observa en casi todas las secuencias.

Estructuralmente estas rocas forman un pliegue anticlinal, posiblemente sea un pliegue de arrastre provocado por la falla de Río Ambi la cual afecta a estas rocas. No se puede observar la relación estratigráfica de la base de estas rocas, pero se presume que estarían sobre la Unidad Angochagua como se observa en el sector de Yuracruz Alto (Figura 3.6) (Ver Anexo II). Sobre ésta se depositan discordantemente una capa decimétrica de lapilli la cual también se encuentra basculada en dirección NW al igual que las capas de conglomerados, a continuación, se encuentra discordantemente una capa de 3 m de brechas monomícticas cuyos clastos son de composición andesítica (Figura 3.5 D).

La determinación de las relaciones estratigráficas es compleja, no obstante, evidencias de campo que indicarían que esta Unidad se encuentra depositada discordantemente sobre brechas volcánicas pertenecientes a la Unidad Angochagua en el sector de Yuracruz Alto, estos depósitos se encuentran basculados en dirección NW. En el sector de Mascarilla estas rocas se encuentran depositadas discordantemente sobre la Unidad Angochagua, estas secuencias se encuentran basculadas en dirección NE (Figura 3.6 C) a continuación, en la secuencia estratigráfica se encuentra un depósito de tipo “Debris Flow” de la Unidad Mascarilla el mismo que no se encuentra basculado, aunque se observan fallas de tipo inversa de dirección NNE que afectan a los depósitos de Debris (Figura 3.6 C).

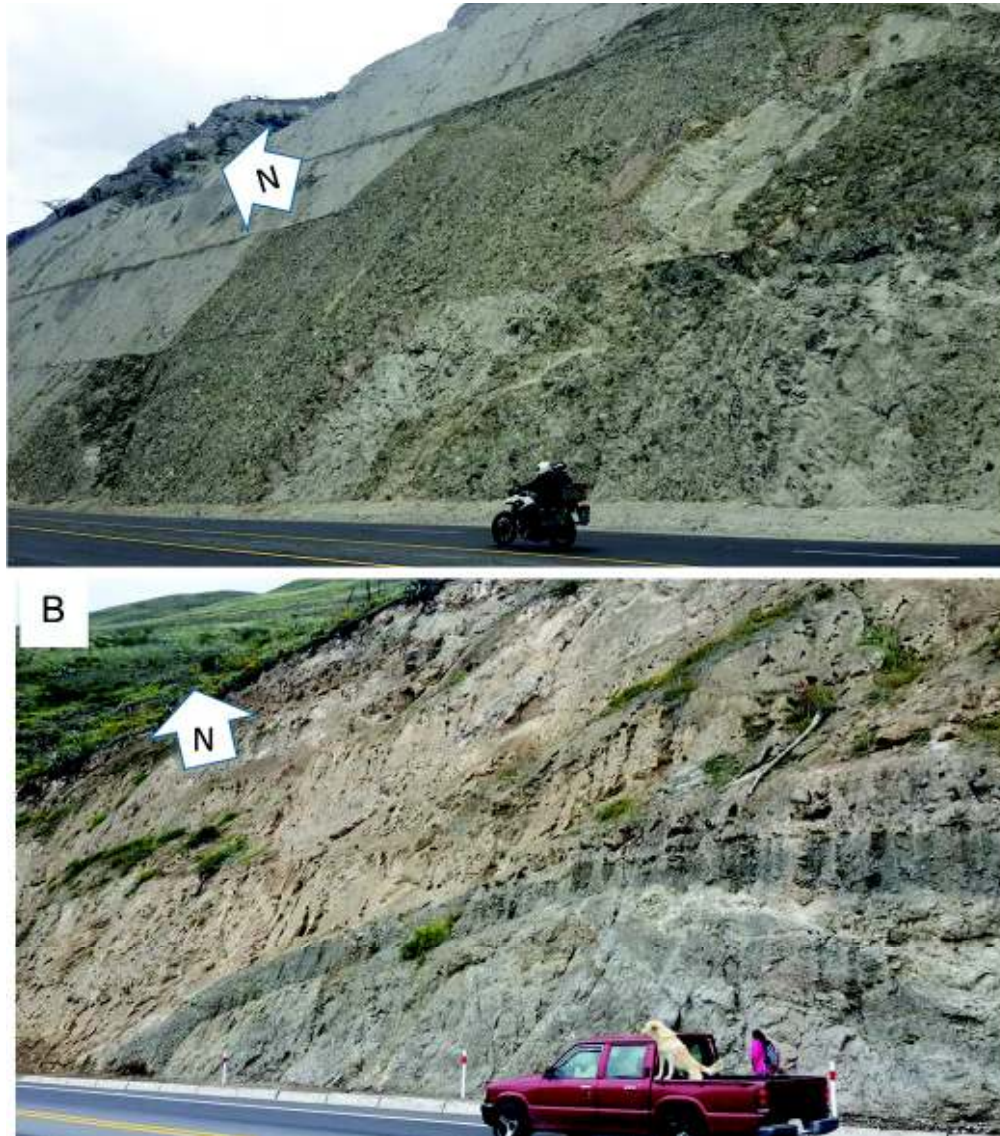


Figura 3. 6.- A.- Afloramiento de conglomerados y areniscas conglomeráticas depositadas sobre los Volcánicos de la Unidad Angochagua y sobre ésta depositada las Mascarilla (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N), B.- Afloramiento de Conglomerados plegados en la Vía Ibarra Salinas (UTM: 820 538 E; 100 45 265 N).

### 3.1.3.1 UNIDAD YURACRUZ

Afloramientos puntuales de secuencias sedimentarias no reportadas en trabajos anteriores, se encuentran en el sector de Yuracruz Alto (UTM: 826 214 E; 100 40 458 N) (Anexo I), donde se exponen series de areniscas intercaladas con capas métricas de conglomerados (Figura 3.7 A y B). Las secuencias de areniscas se caracterizan por tener espesores variados entre decímetros hasta



tres metros, que presentan una textura psamítica (Figura 3.8), se observan estructuras sedimentarias como estratificación cruzada, la composición es esencialmente cristales de plagioclasa, hornblenda, piroxeno, cuarzo y líticos redondeados con diámetros menores a 2 mm de rocas volcánicas, la composición mineralógica indica claramente un aporte volcánico de composición intermedia. Las secuencias conglomeráticas son de tipo matriz soportada con clastos esencialmente de cantos redondeados de hasta 25 cm de diámetro de andesitas de color verde las cuales han sufrido procesos de cloritización y cantos de brechas volcánicas, en cuanto a la matriz de las secuencias conglomeráticas está compuesta por cristales de plagioclasa, anfíbol, piroxeno y líticos andesíticos con diámetros de hasta 2 cm. La relación estratigráfica de estas secuencias es concordante.

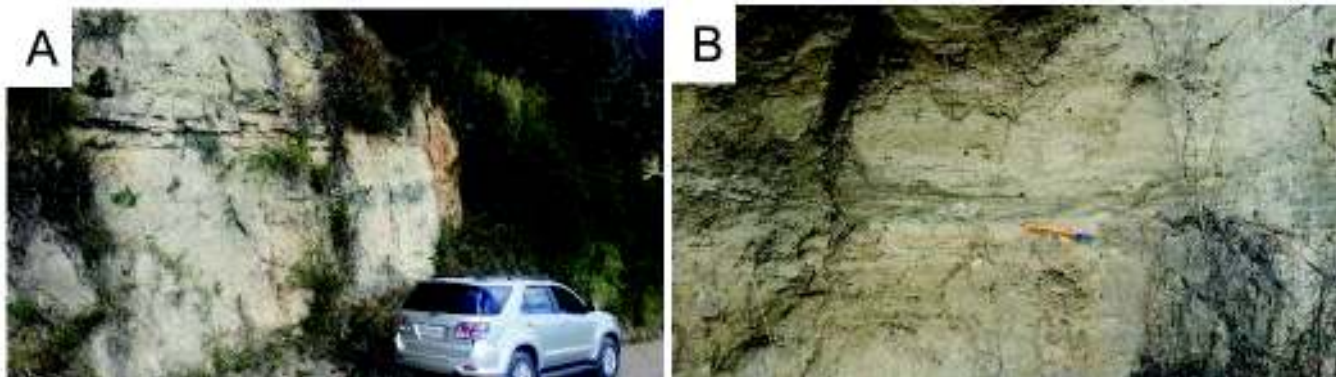


Figura 3. 7 A, B. Afloramiento de areniscas con aporte volcánico en el sector de Yuracruz alto (Unidad Yuracruz)

Microscópicamente esta roca presenta una textura detrítica, epiclástica (Figura 3.7 A y B), estratificada compuesta por plagioclasa (30%), piroxeno (15%), anfíbol (20%), feldespato potásico (15%), cuarzo redondeado (5%), líticos redondeados de rocas metamórficas (15%), los cristales de cuarzo redondeado tienen características como extinción ondulatoria propia de cuarzo generado durante metamorfismo. Por otra parte, la presencia de minerales como plagioclasa, anfíbol y piroxeno indican aporte volcánico proximal no obstante la presencia de cuarzo, feldespato potásico y esencialmente de líticos

metamórficos (cuarcitas) indica un aporte de rocas metamórficas de la Cordillera Real.

Estructuralmente se presentan en estratos basculados hacia el E y se encuentran depositados discordantemente sobre las Brechas volcánicas de la Unidad Angochagua esto indicaría que estos sedimentos corresponderían a la base de la serie sedimentaria del Grupo Chota, las características petrográficas como cantos de rocas volcánicas de composición intermedia y rocas metamórficas (filitas y cuarcitas) son congruentes con la descripción de la Unidad Santa Rosa definido por Barragán et al. (1996) (Ver capítulo 2). Estas características son propias de depósitos de ambientes fluviales, no obstante, resulta muy poco frecuente encontrar este tipo de ambientes sobre los 3000 m.s.n.m. sobre el frente montañoso oriental de la ciudad de Ibarra (Sierra de Angochagua), los cuales posiblemente estarían involucrados dentro de procesos de levantamiento provocados por tectonismo (Ver Anexo I).

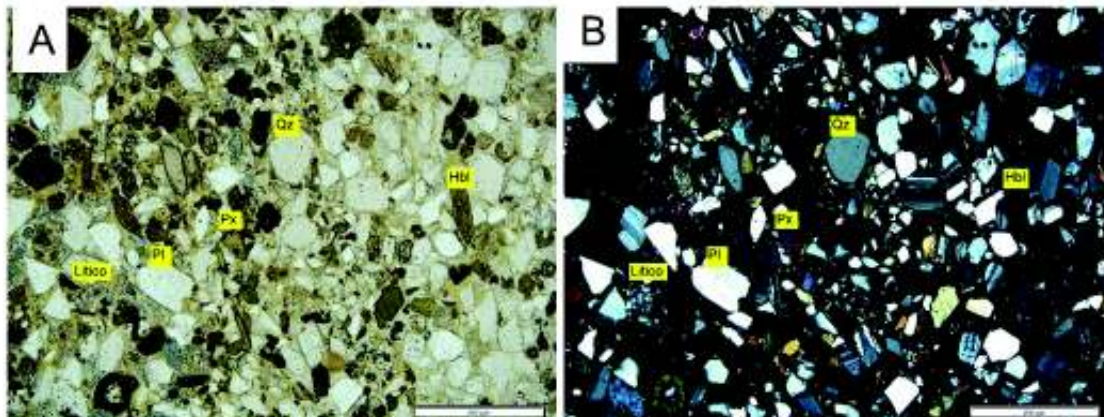


Figura 3. 8.- A y B Microfotografías con luz natural y luz polarizada respectivamente de Arenisca con aporte volcánico de la Unidad Yuracruz compuesta por plagioclasa, anfíbol, piroxeno, cuarzo redondeado y líticos redondeados de cuarcitas. Plagioclasa (Pl), Hornblenda (Hbl), Piroxeno (Px), Líticos metamórficos.

### 3.1.4 UNIDAD MASCARILLA

Extensos afloramientos de la Unidad Mascarilla afloran en la carretera Panamericana en el sector de Mascarilla (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N), en el Río Chorlaví en el sector de Imbaya (UTM: 818 988 E; 100 43 637 N), afloran en

los flancos y en el lecho del Río Ambi (UTM: 818 987 E; 100 44 363 N) y en la vía Ibarra-Salinas (UTM:819 735 E, 100 44 270 N)

En el sector de Mascarilla en el corte de la carretera a la altura del desvío hacia Mira (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N) (Figura 3.9 D), afloran secuencias sedimentarias de tipo brecha de coloración marrón de matriz soportada, de textura clástica, brechosa, con una estructura masiva, dispuesta en paquetes masivos de granulometría bastante heterogénea, donde los clastos presentan formas angulosas a subredondeadas. La litología de dichos clastos corresponde a brechas volcánicas, cantos redondeados de rocas metamórficas posiblemente provenientes de la unida Chota, clastos de pómez, clastos de roca volcánica de composición andesítica y líticos de saprolito lo que evidencia la presencia de paleosuelos al momento de la formación de estas rocas. En cuanto a la matriz presenta una granulometría heterogénea, conformada por arcillas, cristales de plagioclasa, cuarzo, hornblenda y líticos de las litologías antes descritas con diámetros menores a 1 cm.

Estructuralmente estas secuencias están depositadas discordantemente sobre la Unidad Chota y sobre ésta se encuentra una capa de suelo de alrededor de 1 m de espesor. La potencia máxima de esta Unidad en esta zona es de aproximadamente 80 m, se observan fallas inversas posiblemente activas de dirección NW que afectan a estas rocas.

En la conjunción del Río Ambi y la Quebrada Tahuando (UTM: 818 988 E; 100 43 637 N) se pueden apreciar secuencias de paraconglomerados intercalados con brechas y areniscas líticas estas últimas presentan un espesor de hasta 2 metros la cuales presentan una textura clástica, psamítica con un sorteo regular lo que se evidencia en la presencia de líticos andesíticos, pumícticos de hasta 3 cm de diámetro. La matriz está compuesta por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato, fragmentos de roca de diámetros menores a 1 cm y ceniza retrabajada. Sobre esta secuencia se deposita concordantemente una capa de brechas de tipo matriz soportada de 30 metros de espesor, masivas con líticos angulosos a subredondeados de composición andesítica y líticos de saprolito dispuestos en una matriz compuesta por cristales de plagioclasa, anfíbol, piroxeno, cuarzo, y material tobáceo.

En el sector de Imbaya (UTM: 818 988 E; 100 43 637 N) en la parte occidental de la ciudad de Ibarra afloran secuencias de brechas y paraconglomerados con características típicas de “Debris Flow” (Ver Anexo I).

Las secuencias sedimentarias de tipo brecha se caracterizan por tener una coloración grisácea, textura clástica, brechosa, con una estructura masiva compuesta por clastos angulosos de brechas volcánicas, andesitas y pómez en una matriz con granulometría heterogénea, la matriz está compuesta por material tobáceo retrabajado, cristales de plagioclasa, hornblenda, piroxeno y líticos de roca volcánica con diámetros menores a 1 cm. En el sector de Imbaya se observa que sobre secuencias de brechas de la Unidad Mascarilla se deposita concordantemente un nivel de paraconglomerados de coloración marrón que se caracteriza por tener una textura clástica, masiva y sus clastos redondeados de hasta 1 metro de diámetro, la esfericidad de los clastos indica un aporte más distal.

Estas rocas presentan una textura epiclásica, masiva con líticos de rocas volcánicas como andesitas y andesitas basálticas similares a los de la Unidad Angochagua, líticos de saprolito o suelos, los líticos representan un 45% de la composición total, la roca es de tipo matriz soportada, esta matriz representa un 55% de la composición total y presenta una granulometría de tamaño arena donde se puede observar líticos de roca, cristales y material tobáceo.

Debido a la falta de afloramientos y la cobertura volcánica en el sector de Imbaya no ha sido posible observar la base de esta Unidad, pero se presume que se encuentra sobre las rocas volcánicas de la Unidad Angochagua. Discordantemente se depositan sobre estas rocas niveles de tobas con niveles carbonatados.

En la vía Ibarra-Salinas UTM (819 735 E, 100 44 270 N) en el corte de la carretera afloran secuencias de brechas polimícticas de coloración gris (Figura 3.9 B), con textura clástica, brechosa, dispuesta en paquetes masivos. Los clastos tienen un diámetro de hasta 75 cm, su composición varía entre andesitas, andesitas olivínicas, tobas y cantos de rocas metamórficas dispuestos en una matriz heterométrica compuesta por cristales de plagioclasa, hornblenda, piroxeno, material tobáceo y líticos de roca con diámetros menores a 2 cm.

Estructuralmente esta secuencia se encuentra depositada en contacto erosivo sobre las brechas volcánicas pertenecientes a la Unidad Angochagua y Chota, sobre estas rocas se encuentran discordantemente niveles de depósitos volcánicos. Los estratos se encuentran basculados, presentando una dirección  $350^{\circ}/42^{\circ}$ . En cuanto a su espesor en este sitio los estratos presentan una potencia aproximada de 20 metros.





Figura 3. 9- A afloramiento de flujo en masa con clastos volcánicos en una matriz heterométrica de la Unidad Mascarilla, B, C Unidad Mascarilla discordantemente la Unidad Angochagua (UTM:819 735 E, 100 44 270 N), D. Unidad Mascarilla depositada sobre La Unidad Chota basculada y ésta depositada sobre la Unidad Angochagua (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N).

### **3.1.5 UNIDAD IMBAYA**

Representa los depósitos distales retrabajados de los volcanes Imbabura y Chachimbiro. Afloramientos de estas rocas son bastante escasos y su potencia no excede a 20 metros, no obstante, indican el inicio de la actividad volcánica cuaternaria en el área de estudio. Afloramientos de esta Unidad se pueden observar en la vía Ibarra - Salinas UTM (819 735 E, 100 44 270 N), en la Quebrada Tahuando (UTM: 818 988 E; 100 43 637 N), en la vía Ibarra - Salinas a la altura del relleno sanitario UTM (820 538 E; 100 45 265 N).

Litológicamente esta Unidad está compuesta por areniscas con aporte volcánico, tobas retrabajadas y lapilli, mismas que presentan laminación de ripples, con una textura psamítica a pelítica con líticos de composición andesítica, dacítica y pómez con diámetros de hasta 2 cm en una matriz compuesta por cristales de plagioclasa, hornblenda, piroxeno y material tobáceo, se observan niveles carbonatados con presencia de fósiles de gasterópodos y concreciones calcáreas (Figura 3. 10 A) intercalados con paleosuelos que presentan bioturbaciones y restos de carbón.

En la vía Ibarra-Salinas (UTM: 819 735 E; 100 44 270 N) y en la Quebrada Tahuando (UTM: 818 988 E; 100 43 637 N) (Figura 3. 10 B), la Unidad Imbaya está concordantemente sobreyaciendo la Unidad Mascarilla y subyaciendo discordantemente a depósitos volcánicos de volcán Imbabura. En la vía Ibarra - Salinas a la altura del relleno sanitario UTM (820 538 E; 100 45 265 N) estas rocas se encuentran discordantemente sobre la Unidad Chota, el espesor de estas rocas varía desde los 7 hasta los 20 metros (Anexos I y II).

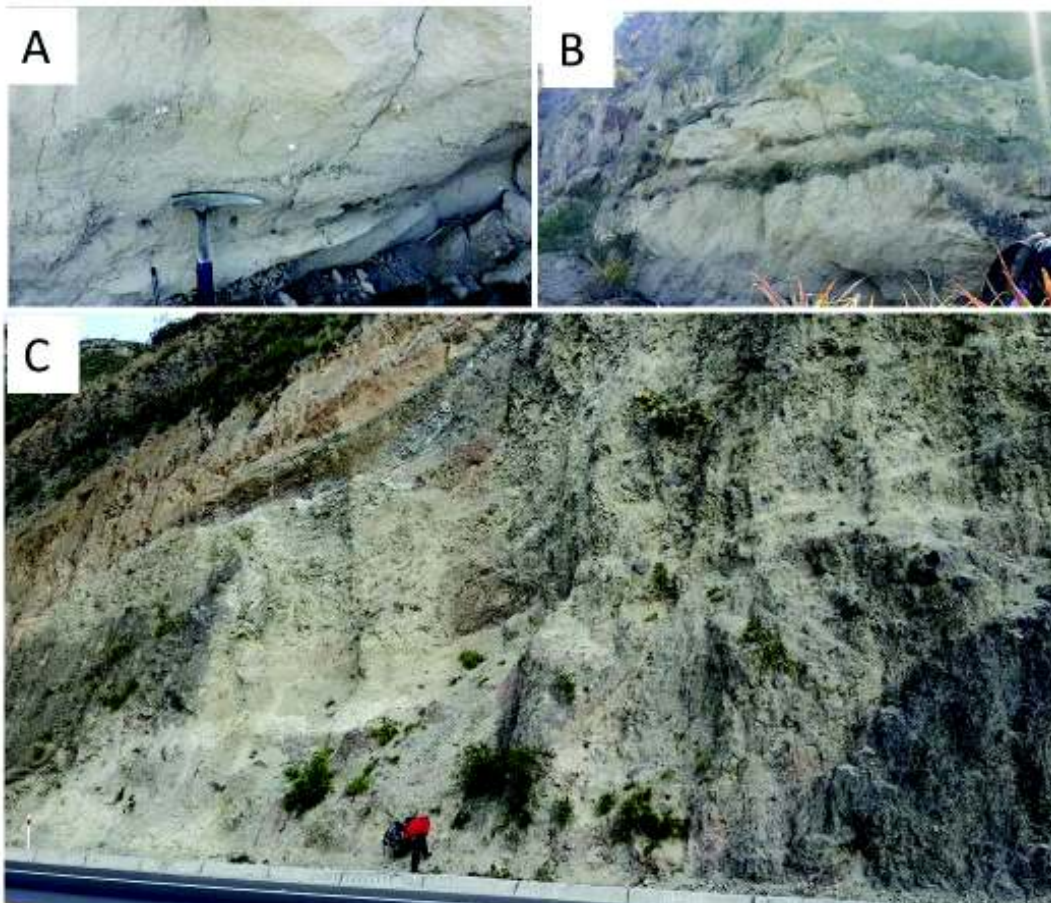


Figura 3. 10.- A y B afloramiento de arenisca con presencia de fósiles y concreciones carbonatadas (UTM: 818 988 E; 100 43 637 N), C afloramiento de Unidad Imbaya sobre la Unidad Mascarilla (UTM: 819 735 E; 100 44 270 N).

### 3.1.6 VOLCÁNICOS IMBABURA

Los depósitos del volcán Imbabura están ampliamente distribuidos en toda la ciudad de Ibarra hasta el sector del relleno sanitario (819 735 E, 100 44 270 N), estos depósitos presentan potencias variables. Representan un evento de avalancha de escombros previo a la construcción del segundo edificio volcánico (Imbabura II) (Ruiz, 2003).

Afloramientos de estas rocas se los encuentra en la Carretera Ibarra-Salinas (UTM: 819 735 E; 100 44 270 N), en el sector de Imbaya (UTM: 818 664 E; 100 42 965 N), en el sector de Yahuarcocha (UTM: 822 514 E; 100 42 389 N) y afloramientos aislados en la ciudad de Ibarra donde se dificulta determinar sus

dimensiones debido a la urbanización. Por el espesor de las capas que se puede apreciar en el corte de la Quebrada Tahuando se asume que gran parte la ciudad está cubierta por este depósito.

En la carretera Ibarra-Salinas (UTM: 819 735 E; 100 44 270 N), se pueden observar rocas de textura brechosa las cuales se depositan discordantemente sobre la Unidad Imbaya con un espesor de 5 metros. La roca presenta una coloración gris con tonalidades rojizas, compuesta por clastos de andesitas piroxénicas y andesitas basálticas de hasta 50 centímetros de diámetro dispuestos en una matriz heterométrica formada por líticos de hasta 2 centímetros de andesitas basálticas, cristales de plagioclasa, hornblenda, piroxeno y material tobáceo.

En el sector de Imbaya (UTM: 818 664 E; 100 42 965 N), afloran secuencias volcánicas masivas, de textura brechosa compuesta por bloques de hasta 2 metros de andesitas piroxénicas, estos depósitos de tipo clasto soportado presentan una matriz compuesta por fragmentos de roca de similar composición, cristales de plagioclasa, hornblenda, piroxeno y material tobáceo (Figura 3.11 A), estos depósitos presentan oxidación en bandas que proporciona a la roca tonalidades rojizas.

Los depósitos piroclásticos recientes del volcán Imbabura cubren la mayor parte de la ciudad de Ibarra y se encuentran depositados subhorizontalmente.

Estructuralmente los volcánicos de la Unidad Imbabura se encuentran suprayaciendo discordantemente a la Unidad Imbaya, esto se puede apreciar en la cantera ubicada en el sector de Imbaya (UTM: 818 637 E; 100 43 593 N) donde el espesor de esta Unidad alcanza los 50 metros. Sobre esta Unidad se encuentran depositados niveles de flujos piroclásticos y depósitos de Cangahua.



Figura 3. 11.- A y B.- Afloramiento de brechas volcánicas de coloración a gris con tonalidades rojizas de tipo clasto soportada con bloques de hasta 2 m de andesitas piroxénicas en el sector de Imbaya correspondientes a los volcánicos Imbabura (UTM: 818 637 E; 100 43 593 N).

Microscópicamente esta roca presenta una composición andesítica piroxénica, de microtextura hipocristalina, porfirítica, seriada, con una estructura masiva compuesta por fenocristales: 35% de plagioclasa, 15 % de ortopiroxeno, 10% de cristales de clinopiroxeno en una matriz compuesta por 20 % de vidrio volcánico y 20% de microlitos de plagioclasa y piroxeno (Figura 3.12 A y B).



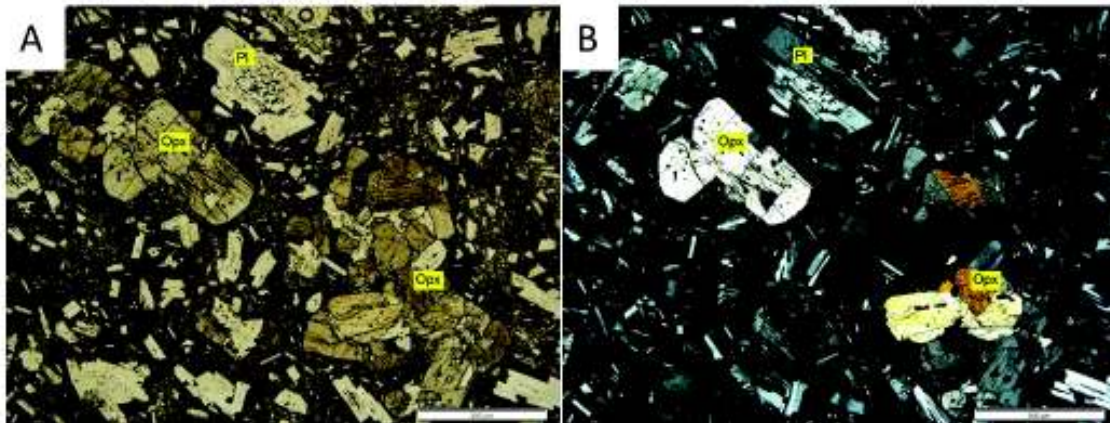


Figura 3. 12.- A y B.- microfotografías con luz natural y luz polarizada respectivamente donde se observa una andesita hipocristalina con fenocristales de plagioclasa y piroxeno en una matriz compuesta por vidrio y microlitos de plagioclasa y piroxeno. Plagioclasa (Pl), Ortopyroxeno (Opx).

### 3.1.7 DEPÓSITOS DE CANGAHUA

Afloramientos de Cangahua se distribuyen en toda la zona de estudio siendo en el sector de Yahuarcocha (UTM: 823 886 E; 100 42 385 N) donde se pueden observar afloramientos de gran potencia. Afloramientos de menor importancia se los puede identificar en la ciudad de Ibarra.

Litológicamente estas rocas esta compuestas por depósitos eólicos, resultado de la erosión de rocas piroclásticas provenientes de los centros volcánicos proximales (Ruiz, 2003) presentan una coloración beige con tonalidades blanquecinas, textura detrítica, psamítica, con presencia de oolitos, masiva. Se compone de material tobáceo, cristales de plagioclasa, anfíbol y líticos de pómez, se observan bioturbaciones lo que indica la formación de paleosuelos (Figura 3.13).

Estas rocas se encuentran interdigitadas con depósitos piroclásticos y “surge”, que según Ruiz (2003) son depósitos recientes del volcán Imbabura. Estructuralmente estos depósitos se encuentran discordantemente sobre los volcánicos Imbabura y representan el techo de la secuencia estratigráfica de la ciudad de Ibarra.



Figura 3.13.- Afloramiento de Cangahua estratificados con bioturbación y presencia de arcillas secundarias, sector Yahuarcocha (UTM: 823 886 E; 100 42 385 N)

### 3.1.8 COLUVIALES

Depósitos gravitacionales superficiales estratificados de pie de monte se pueden identificar en el sector de Yahuarcocha en las laderas de la Sierra Angochagua (UTM: 824 361 E; 100 39 919 N).

Comprende una secuencia de brechas de tipo matriz soportada, con clastos angulosos de hasta 1.5 metros de diámetro de brechas pertenecientes a la Unidad Angochagua (Figura 3.14), pómez y clastos de saprolito. Estos clastos están dispuestos en una matriz heterométrica compuesta por cristales de plagioclasa, hornblenda y líticos de brechas y pómez de hasta 5 centímetros de diámetro. Estructuralmente se encuentran depositadas concordantemente sobre niveles de Cangahua.

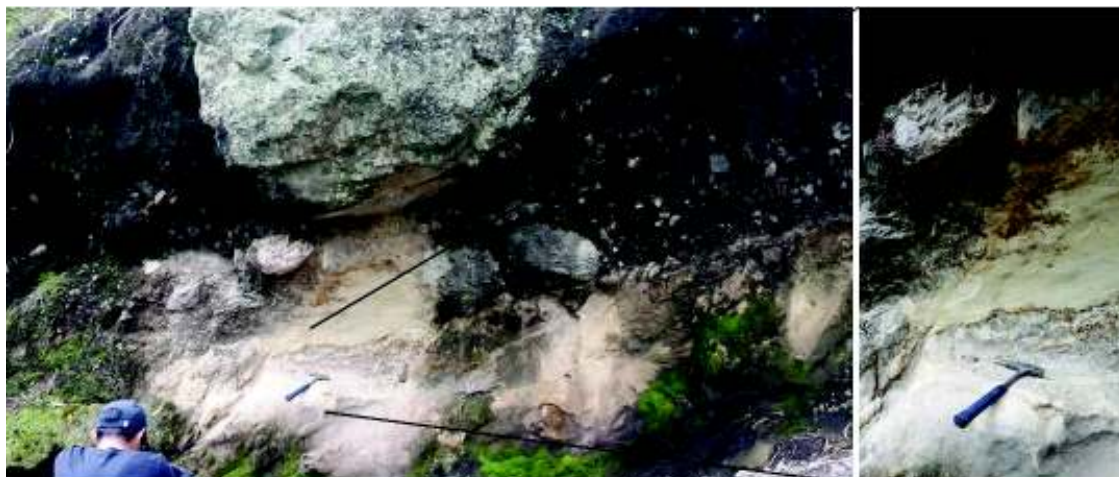


Figura 3. 14.- Afloramiento de coluviales afectados por fallas gravitacionales depositados concordantemente sobre niveles de Cangahua en el sector de Yahuarcocha (UTM: 824 361 E; 100 39 919 N).

COLUMNA LITOLÓGICA GENERALIZADA DEL ÁREA DE ESTUDIO

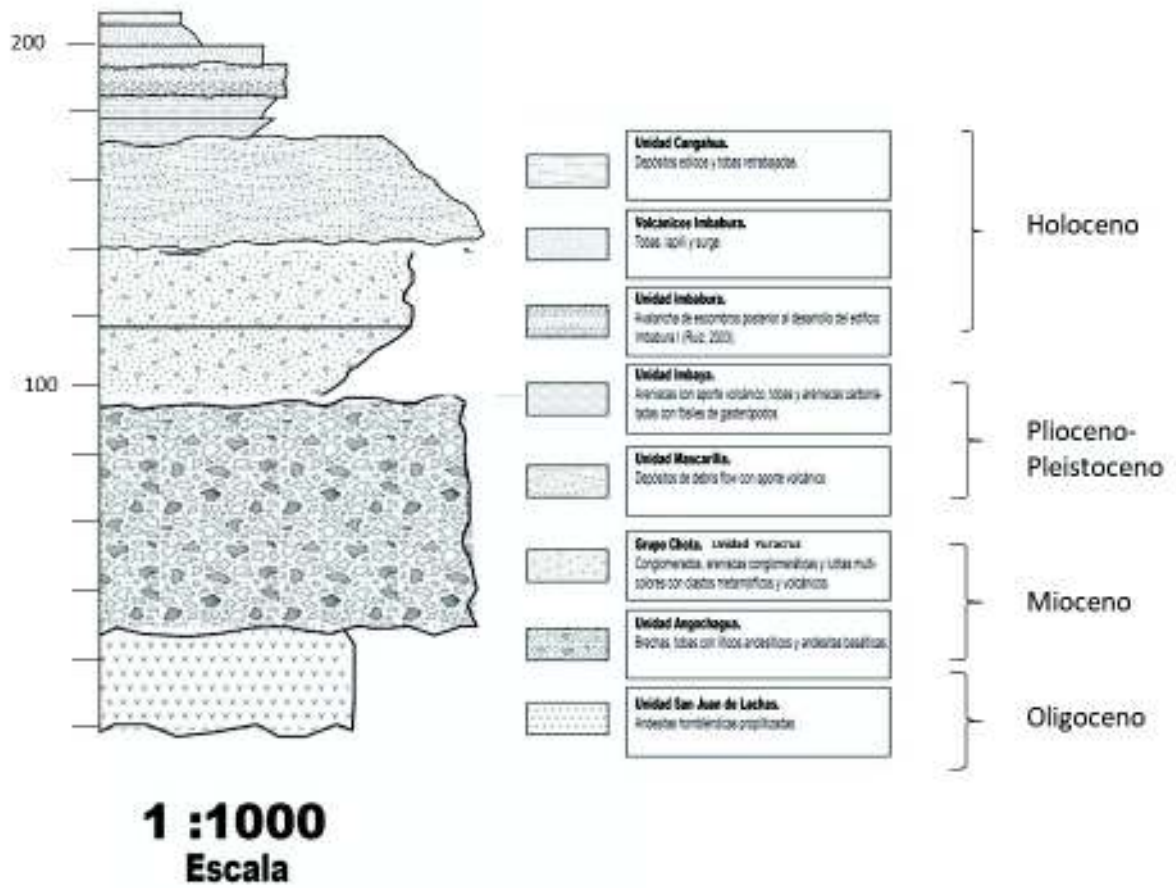


Figura 3. 15 columna litológica sintetizada de la ciudad de Ibarra

# CAPÍTULO 4

## 4.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La morfología de los andes septentrionales está definida por el levantamiento de dos cordilleras subparalelas con dirección NNE separadas por la Depresión Interandina se encuentra ocupada tanto por sedimentos detríticos provenientes de la erosión de dichas cordilleras como por materiales producto de la extrusión en centros volcánicos cuaternarios. La zona de estudio ocupa una parte de la Depresión Interandina y el flanco occidental Cordillera Real. El dominio sedimentario se caracteriza por la presencia de sedimentos fluviales (continentales), volcanosedimentos y rocas volcánicas el cual se muestra disectado por la actividad erosiva de los ríos que lo atraviesan de sur a norte. Hacia el occidente las rocas volcánicas de edad Oligocena presentan relieves escarpados. Hacia el sur del área de estudio se encuentra el volcán Imbabura que conforma un dominio volcánico con forma cónica típica de un estrato volcán. En general la zona de estudio presenta tres Dominios Morfoestructurales que Incluye el Dominio Angochagua, el Dominio Ibarra y el Dominio Imbaya (Figura 4.1) cuya morfología es controlada por la litología de las rocas y por las estructuras regionales que afectan a las mismas. En este capítulo se describen las geoformas y su relación con los factores litológicos y tectónicos presentes.

El Dominio Ibarra el cual comprende la ciudad de Ibarra, el Dominio Angochagua el que constituye la Sierra de Angochagua sobre el frente montañoso oriental de la ciudad de Ibarra y el Dominio Imbaya el que comprende la llanura al oeste de la ciudad de Ibarra (Figura 4.1).



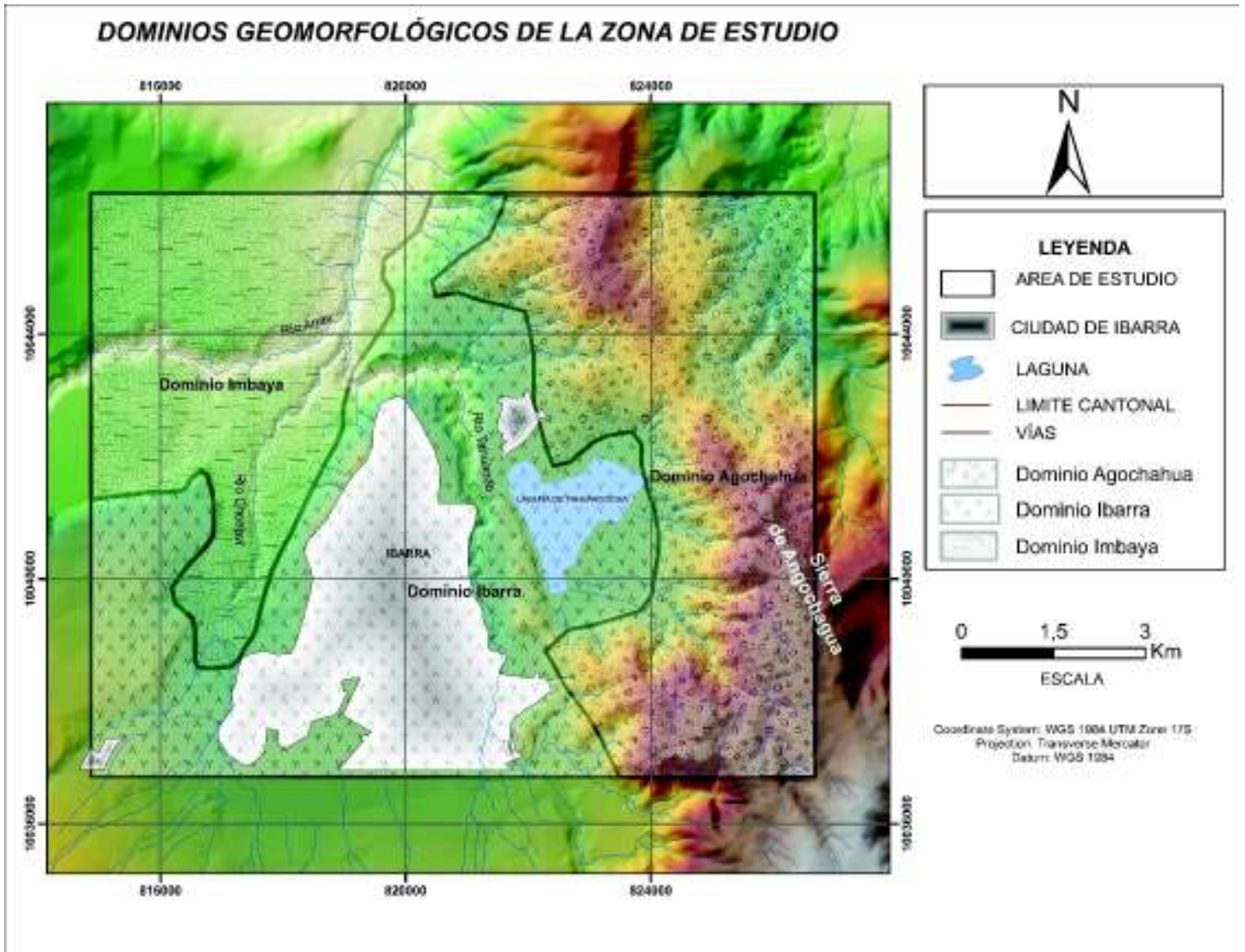


Figura 4. 1. Dominios Morfoestructurales de la zona de estudio.

#### 4.1.1 DOMINIO ANGOCHAGUA

El Dominio Angochagua presenta una morfología accidentada con relieves fuertes y taludes de pendiente entre 20° a 65°, el relieve relativo entre el punto más bajo en la Laguna de Yahuarcocha y su punto más alto en el sector de Yuracruz Alto al oriente de la ciudad de Ibarra es de 700 metros. El segmento norte de esta “Sierra” (sector la Aloburo) marca la separación entre la cuenca hidrográfica de la Quebrada Chota-Ambuquí hacia el norte y el área de la cuenca hidrográfica de la Quebrada Tahuando hacia el sur. Las laderas son escarpadas y la presencia de depósitos de pie de monte son comunes debido al cambio de

pendiente. La red de drenaje desemboca en su mayoría en la Laguna de Yahuarcocha.

Este dominio constituye un frente montañoso de dirección NNW-SSE altamente disectado en su vertiente occidental donde se exponen de forma truncada los volcánicos pobremente estratificados de la unidad Angochagua cubiertos hacia su tope por los sedimentos de la Unidad Yuracruz. De esta manera, siendo las rocas dominantes de este bloque las brechas de la Unidad Angochagua, debido a su competencia y litificación presentan un paisaje con morfologías fuertes en las zonas altas (sobre los 3000 m.s.n.m.), mientras que en las zonas bajas se encuentran depósitos de Cangahua y depósitos coluviales estratificados. La parte superior de este frente montañoso presenta morfologías regularizadas y poco disectadas donde los efectos de la incisión fluvial iniciados en parte frontal aún no han sido propagados hacia la cabecera de las cuencas hidrográficas de la mencionada “Sierra de Angochagua”.

#### **4.1.2 DOMINIO IBARRA**

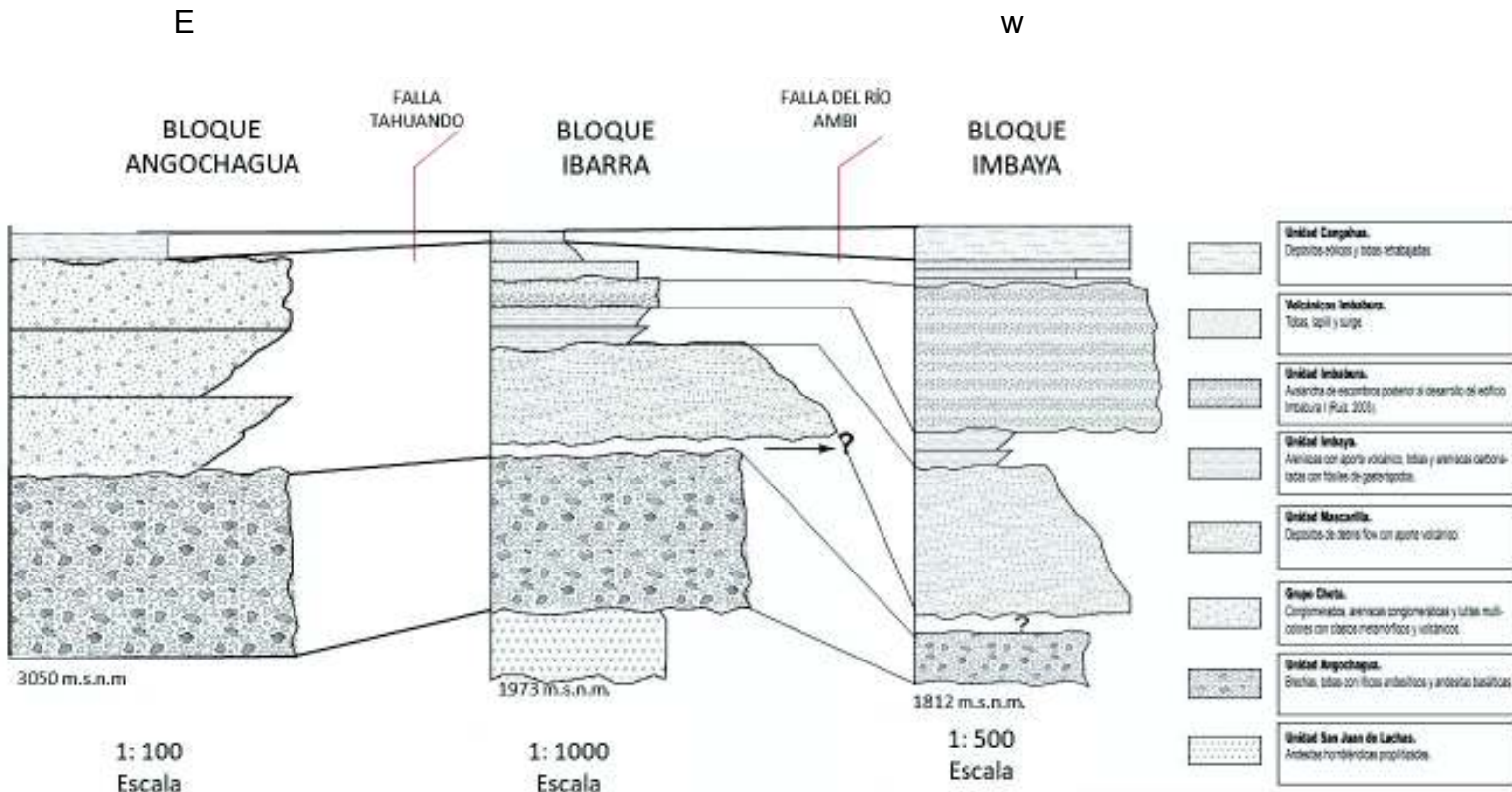
El Dominio Ibarra se caracteriza por relieves bajos a ligeramente empinados hacia el occidente. Este dominio se presenta como una planicie relativamente más alta con respecto al bloque adyacente Imbaya (Figura 4.1) y se encuentra limitada por medio de una pendiente abrupta manifestada por una zona escarpada inclinada hacia el oeste (e.g. Figura 3.5) ligada a un alto estructural N-S donde se asienta la parte noroccidental de la ciudad de Ibarra. Los depósitos aluviales y piroclásticos de la Unidad Imbaya presentan superficies regulares a planares. Hacia el este se encuentra el límite con el pie de monte del Dominio Angochagua donde se pueden identificar laderas cóncavas. Se observa que los paquetes volcanosedimentarios de la Unidad Imbaya presentan un ligero basculamiento hacia el SE.

Los depósitos volcánicos recientes pertenecientes al volcán Imbabura tienen un rol importante en la morfología de este Dominio, puesto que estos depósitos se

extienden en gran parte de la ciudad de Ibarra presentando estratificaciones subhorizontales a inclinadas hacia el W.

Este Dominio presenta un lineamiento morfológico a lo largo de la Quebrada Tahuando (Figura 4.1) la que se une con la Quebrada Marianita de dirección E-W proveniente del sector de Pimán, estas quebradas disectan a un alto estructural provocando un valle fluvial de dirección E-W donde se expone la secuencia estratigráfica bajo la ciudad de Ibarra, posteriormente estas desembocan en el Río Chorlaví y luego en el Río Ambi (Figura 4.1).

La estratigrafía de los Dominios Ibarra e Imbaya es correlacionable litológicamente (Figura 4.2). Se presume en este trabajo que tanto el Bloque Ibarra como el Bloque Imbaya se encontraban al mismo nivel, el alto estructural encontrado en el Bloque Ibarra representaría un levantamiento cabalgante sobre Bloque Imbaya, provocando que unidades litológicas similares afloren en diferentes cotas en ambos Bloques Morfoestructurales contiguos, sugiriendo la existencia de un evento de deformación Neógeno que afecta incluso a rocas volcánicas recientes.



### **4.1.3 DOMINIO IMBAYA**

El Dominio Imbaya presenta relieves bajos de planicie disectados localmente donde predominan volcanosedimentos provenientes del Volcán Imbabura y Chachimbiro. Este dominio está conformado por series sedimentarias subhorizontales mismas que forman superficies regulares heredadas del relleno volcanosedimentario las cuales son incisadas por los drenajes del Río Ambi y Chorlaví que presentan una dirección E-W y N-S respectivamente. En las partes bajas se forman llanuras planares las cuales son intersectadas por valles estrechos formados por la erosión de los ríos antes mencionados, dichos valles presentan laderas con ángulos  $>70^\circ$  (Figura 4.1), en este caso la morfología está relacionada a la erosión fluvial debido a un posible cambio de nivel de base del río y a factores litológicos.

En este Bloque se encuentran depósitos de pie de monte producto de la erosión de los escarpes ubicados al oriente del mismo Bloque (Ver anexo I). Estos depósitos estarían sobreyaciendo a paquetes sedimentarios basculados por acción de fallas menores posiblemente activas. Hacia el occidente se encuentran las brechas de la Unidad Imbabura y sobreyaciendo a éstas, depósitos piroclásticos los cuales son segmentados por fallamiento normal debido a extensión local.

## **4.2 ESTRUCTURAS TECTÓNICAS**

Las estructuras que controlan la configuración morfológica de la zona de estudio presentan una orientación tanto NNE-SSW (rumbo andino) como NNW-SSE (rumbo del frente montañoso o Sierra de Angochagua), muchas de las cuales presentan actividad neotectónica y representan algunos de los límites estructurales entre los diferentes dominios morfoestructurales anteriormente descritos.



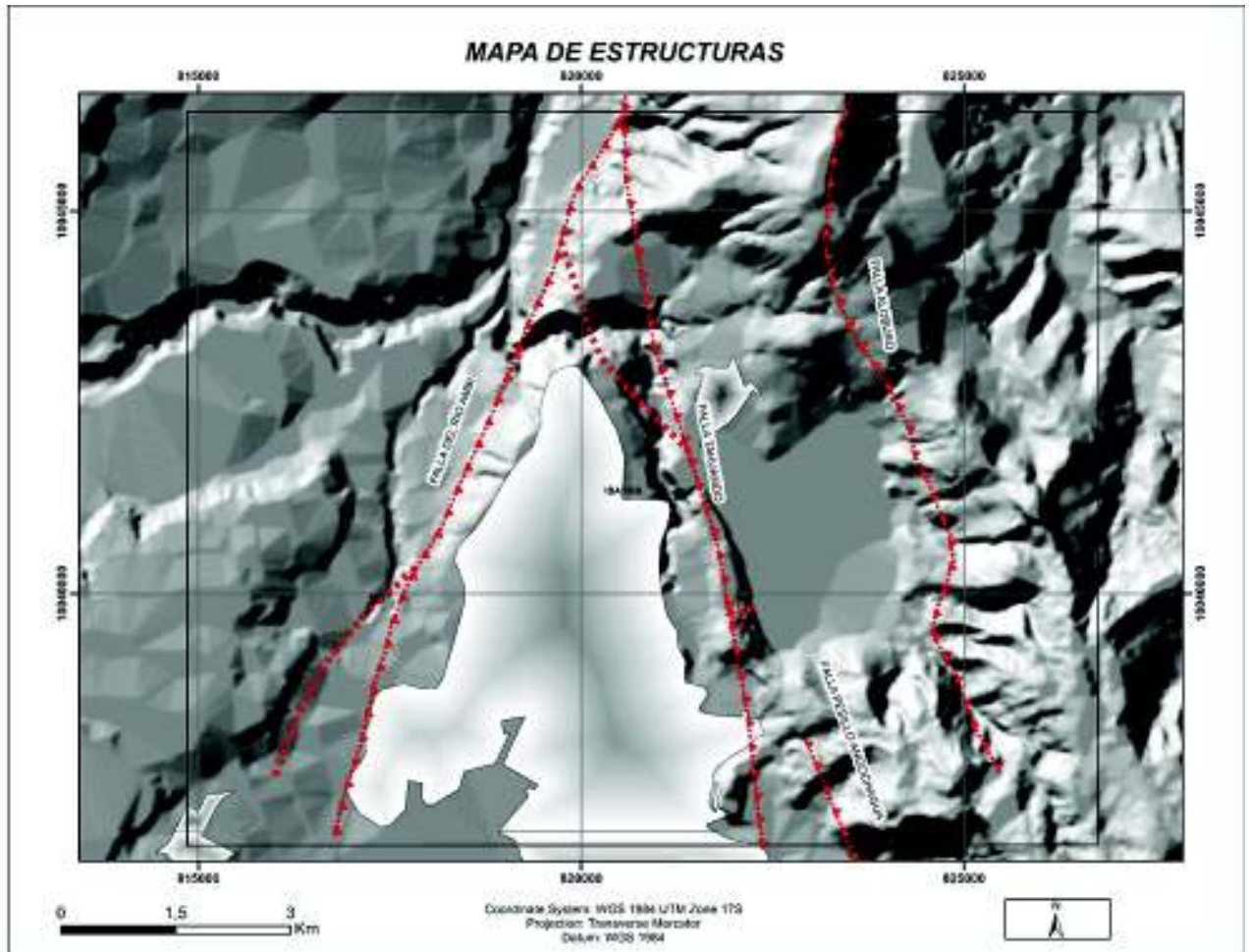


Figura 4. 3.- Mapa de fallas y estructuras de la zona de estudio

#### 4.2.1 FALLAS DE BASAMENTO

Representan todas aquellas fallas inactivas que fracturan a las rocas volcánicas de basamento particularmente a las rocas de la Unidad San Juan de Lachas y Angochagua. Se pueden observar en afloramientos en el corte de la carretera Ibarra – Salinas (UTM: 819735E, 100 44270N) con un rumbo preferencial E-W. Las rocas presentan dos sistemas de fallas conjugadas mismas que tienen una dirección  $0^{\circ}/80^{\circ}$  y  $165^{\circ}/70^{\circ}$  de cinemática inversa con componente dextral

(Figura 4.4). Un régimen tectónico de dirección E-W se interpreta hasta el Mioceno superior.

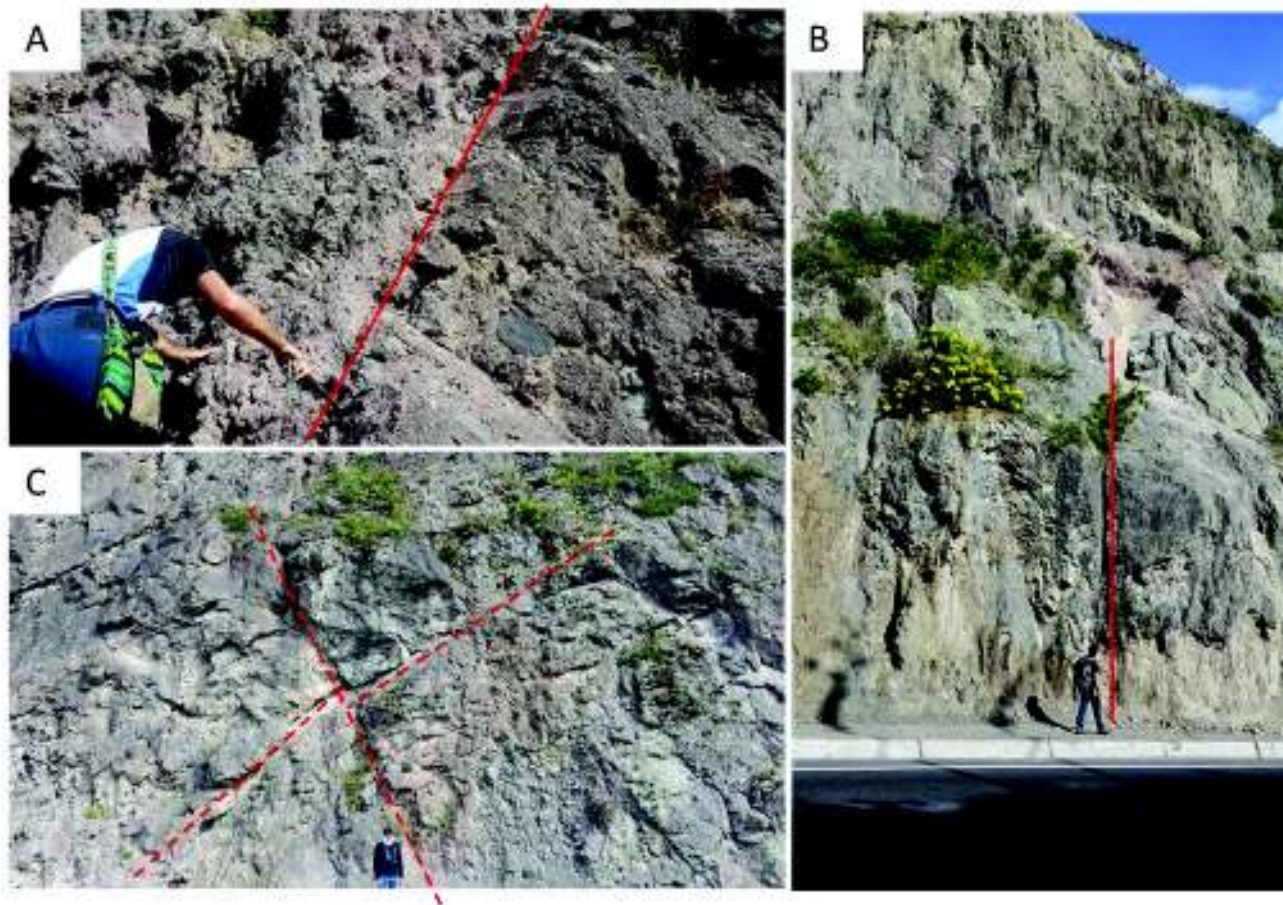


Figura 4. 4.- A y C Brechas volcánicas de la Unidad Angochagua afectadas por sistemas de fallas de dirección E-W (UTM: 819 735 E, 100 44 270 N). B Andesitas de coloración verdosa propilitizadas pertenecientes a la Unidad San Juan de Lachas afectadas por fallas antiguas.

#### 4.2.2 FALLAS GRAVITACIONALES

Depósitos de varias decenas de metros de lapilli, “surges” y tobas provenientes del volcán Imbabura ubicadas en la vía San Antonio-Imbaya (UTM: 816 515 E; 100 39 591 N) se encuentran segmentados por fallas gravitacionales con dirección E-W y NN-E (Figura 4.5). Estas estructuras estarían asociadas a un



régimen extensional local que controlaría la formación de un pequeño graben en el área suroccidental de la zona de estudio (Figura 4.3).



Figura 4. 5.- "A" Capas métricas de lapilli, "surge" y tobas afectadas por fallas gravitacionales provocando un "goben" (UTM: 816 515 E; 100 39 591 N). "B" Fallas gravitacionales afectando a capas de lapilli.

### 4.2.3 FALLAS NEOTECTÓNICAS

#### 4.2.3.1 FALLA RÍO AMBI

Un sistema de fallas neotectónicas ha sido reportado por Egüez et al. (2003) hacia el norte del río Ambi. Estos autores proponen un trazo de falla aproximadamente por el lineamiento del Río Ambi con cinemática inversa y componente dextral de rumbo N 31° E con una inclinación hacia el W.

En el presente trabajo se ha determinado que la Falla del Río Ambi presenta una dirección NNE-SSW (Figura 4.3) con buzamiento leve hacia el Este, lo cual es contrario a lo que sugieren Egüez et al. (2003). Pequeñas expresiones en superficie de la falla se las observa en la conjunción de la Quebrada Tahuando y el Río Ambi (UTM: 819331 E; 100 41 100 N) donde ésta afecta a la Unidad Mascarilla y a los depósitos de Cangahua. La falla presenta una cinemática inversa con dirección NNE-SSW (Falla 4.6 A). Esta estructura levanta al Bloque oriental de la ciudad de Ibarra contra el bloque occidental de Imbaya (Ver Anexo

II), provocando la exhumación de rocas volcánicas antiguas y yuxtaponiendo a las secuencias sedimentarias recientes contra los depósitos volcánicos de las Unidades Angochagua y San Juan de Lachas. El límite noroccidental de la ciudad de Ibarra representa un escarpe alargado (Figura 4.6 C) de fuerte pendiente asociado a la deformación inducida en superficie por la cinemática de la Falla del Río Ambi. La mayor parte de la Falla del Río Ambi no aflora en superficie, siendo el único afloramiento la parte baja del cañón de la Quebrada Tahuando (falla ciega).

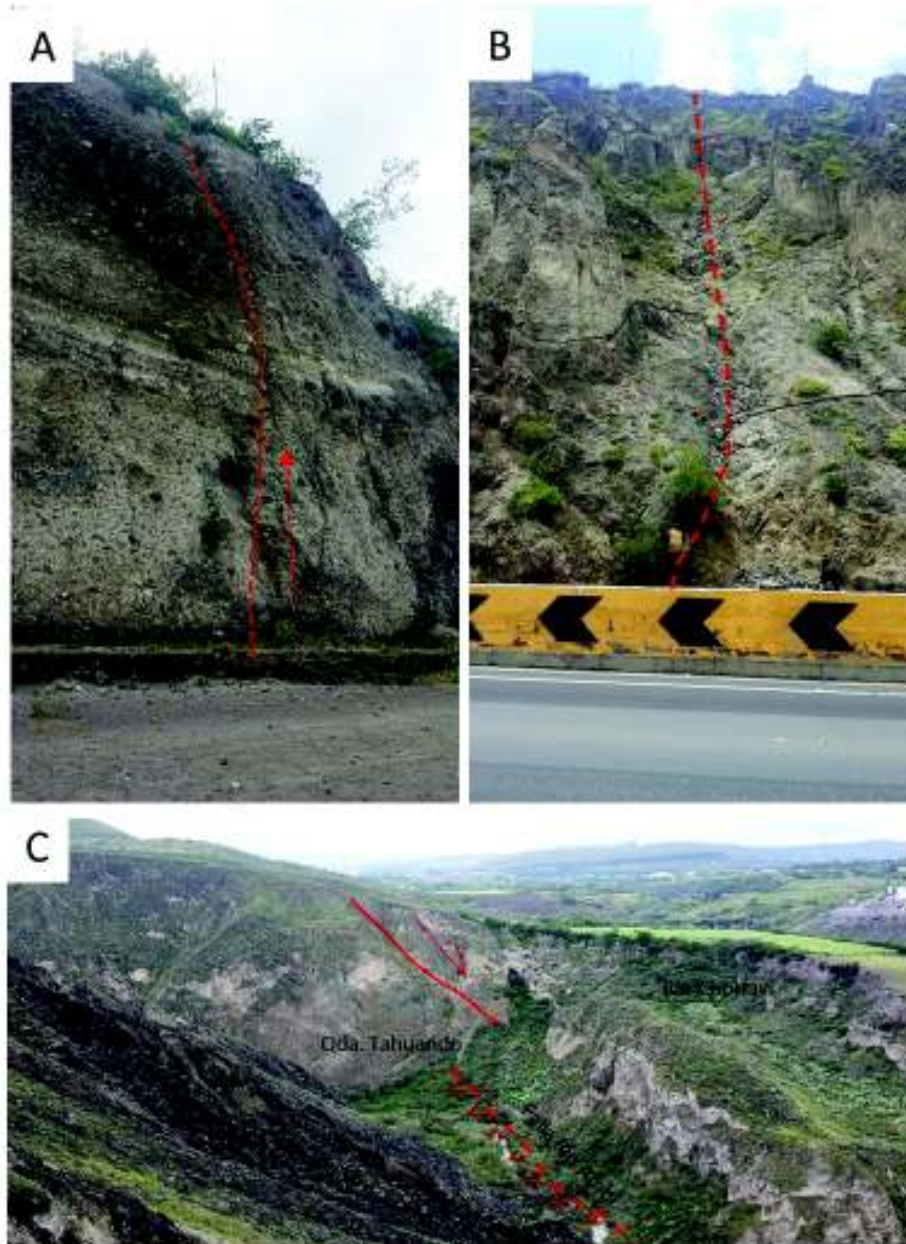


Figura 4. 6.-A. Unidad Mascarilla afectada por Falla Inversa con componente dextral (UTM: 819 331 E; 100 41 100 N). B.- Falla inversa la cual marca el contacto entre la Unidad Angochagua y la Unidad Mascarilla. C. - falla del Río Ambi a lo largo de la quebrada Tahuando y fallas normales menores asociadas, esta estructura marca el límite occidental de la ciudad de Ibarra donde el trazo de falla está cubierto por depósitos coluviales.



Se ha realizado una correlación estratigráfica a ambos lados de la Falla del Río Ambi (Figura 4.2) demostrando que los Dominios presentan series estratigráficas similares hacia el tope, particularmente niveles de volcanosedimentos de la Unidad Imbaya y Brechas de la Unidad Imbabura que pueden observarse a ambos lados de dicha falla. Esta evidencia sugiere que el decalaje vertical se produjo luego de los depósitos de la Unidad Imbaya, no obstante, en el bloque Imbaya no se pudo confirmar la presencia del basamento debido a que estructuralmente éste se encontraría a mayor profundidad respecto al levantado bloque adyacente (Dominio Ibarra).

#### **4.2.3.2 FALLA TAHUANDO**

La Falla Tahuando comprende la deformación cuaternaria relacionada con la loma de Guayabillas al sur (ver figura 4.8a), el lineamiento principal de la Falla Tahuando es el pliegue anticlinal que conforma el límite occidental de la Laguna de Yahuarcocha, esta estructura sería la expresión en superficie de dicha falla y se prolongaría hacia el norte siguiendo el frente escarpado de la vía Ibarra-Chota al este de Salinas hasta la desembocadura del Río Chota sobre el Río Mira en el sector de Tulquizán. En el sector del relleno sanitario se pueden identificar pequeños escarpes de falla que presenta una dirección en NNW con buzamiento hacia el E (figura 4.7). La actividad de esta falla se la interpreta como posterior a una fase lacustre de gran amplitud, puesto que en el puente de la Quebrada Tahuando existen afloramientos de sedimentos lacustres correlacionables (Figura 4.2), dichos sedimentos posiblemente están asociados con lo que fuese una laguna primaria de mayor extensión la cual fue reducida por acción de la Falla Tahuando a lo que actualmente constituye la laguna de Yahuarcocha, lo cual significa que la Falla Tahuando controlaría el desarrollo de la mencionada laguna. Otra evidencia importante de la actividad de esta falla es la diferencia de cota a la que afloran estos sedimentos lacustres en los márgenes de la Quebrada Tahuando siendo mayor la cota del bloque oriental que divide la mencionada Quebrada.



Figura 4. 7.- Afloramiento de depósitos de Debris Flow afectados por falla de tipo inversa con dirección ° 70/ 85° en azimut de buzamiento.

Las fallas Tahuando y Ambi se unen en la zona del relleno sanitario para formar una sola estructura anticlinal hacia el norte hasta el sector de Tulquizán

#### 4.2.3.3 FRENTE MONTAÑOSO PESILLO – ANGOCHAGUA

El frente montañoso Pesillo-Angochagua representa una estructura regional NNW-SSE que no ha sido reportada en trabajos anteriores que nace al sur en el sector de Pesillo (norte del volcán Cayambe), continuando por el poblado de Angochagua hasta la zona del mirador San Miguel Arcángel (Figuras 4.8 y 4.10). Esta estructura es el resultado de la actividad de una falla inversa con buzamiento hacia el Este que probablemente en su parte sur ya se encuentre inactiva, los poblados de Pesillo y Angochagua se asentarían en el pie de monte de dicha falla (Figura 4.8). Esta estructura controlaría el levantamiento del frente montañoso de Angochagua donde se expone la Unidad del mismo nombre, así como la Unidad Yuracruz. En el poblado de Pesillo se pueden observar relieves bajos con morfologías poco accidentadas, lo que indicaría que la actividad

tectónica de este segmento habría cesado, siendo los factores erosivos y climáticos los que controlan la morfología al sur de la estructura.

El trazo joven con actividad tectónica reciente sería representado por la Falla Tahuando cuya dirección es aproximadamente similar al trazo antiguo, pero con una propagación hacia el W del frente montañoso principal.

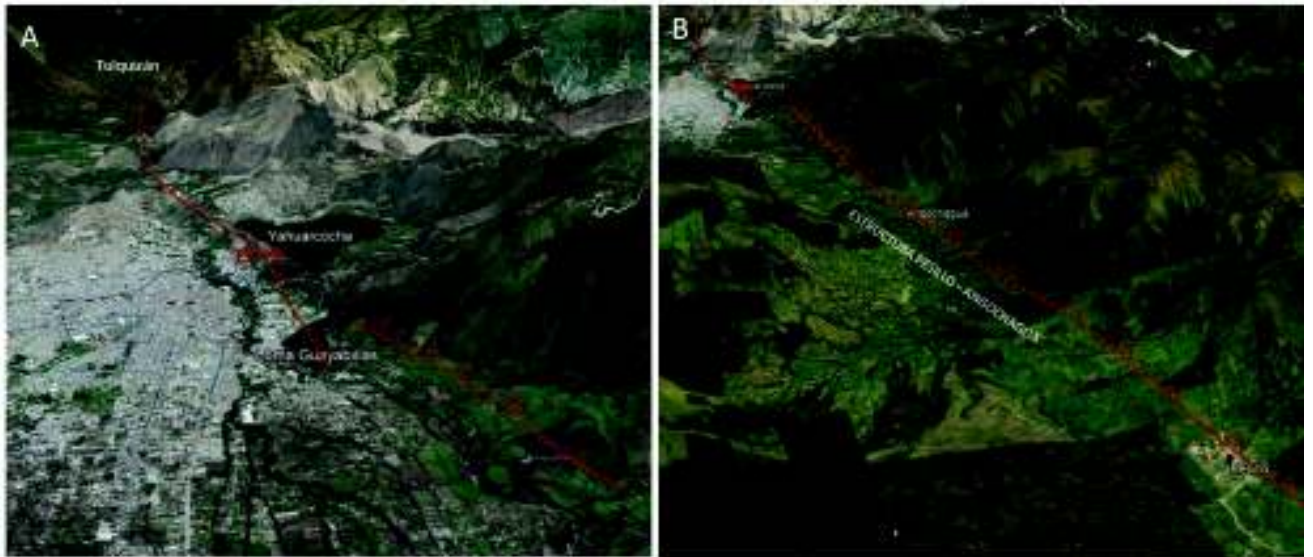


Figura 4. 8 A Falla Tahuando formando una "antiforma" en el sector de Yahuarcocha (trazo "joven" de la Falla principal). B Estructura Pesillo – Angochagua.

La evidencia de sismicidad en el área de estudio es escasa, sin embargo, existen registros de actividad sísmica en sedimentos con capas "contornadas" (Moretti et al., 1997) ubicados en el corte del puente de la Quebrada Tahuando (UTM: 821 471 E; 100 39 797 N) (Figura 4.9 B). Existen datos recientes de sismicidad registrados en el área de estudio, uno de estos tiene su epicentro en el sector de Pimán en octubre del año 2000 de magnitud 5.1 en la escala de Richter cuyo tensor de esfuerzos presenta una dirección NNW (USGS EARTHQUAKE HAZARDS PROGRAM, 2018) (Figura 4.9 A).

Centroid Moment Tensor (Mwc)

Moment	5.495e+16 N·m
Magnitude	5.1
Depth	15.0 km
Percent DC	92 %
Half Duration	1.1 s
Catalog	US
Data Source	HRV <sup>1</sup>
Contributor	US <sup>2</sup>

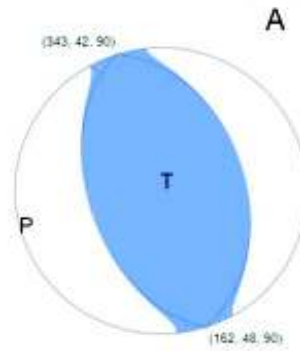


Figura 4. 9.- A Tensor de esfuerzos del sismo del sismo de 8 de octubre del 2000 Modificado de USGS EARTHQUAKE HAZARDS PROGRAM (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000a1g0#moment-tensor>). B Sedimentos fluviales deformados sobre una capa de volcanosedimentos no deformados, posiblemente a causa sismicidad.



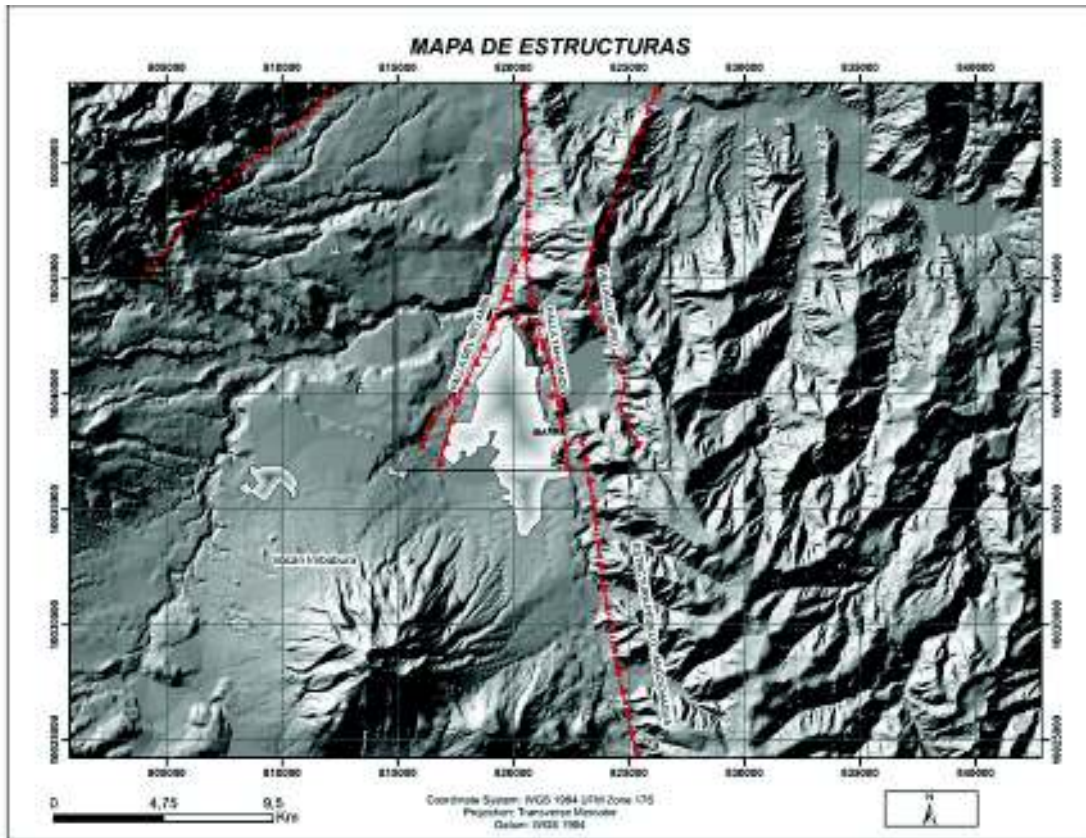


Figura 4. 10.- Mapa de estructuras interpretadas fuera del área de estudio que tendrían influencia en el área de estudio.

El frente montañoso Pesillo-Angochagua genera un cambio morfológico en la depresión interandina norte del Ecuador. Hacia el sur del frente montañoso la altitud media de la Depresión Interandina varía entre los 2400 y 2600 m.s.n.m. mientras que hacia el norte del mencionado frente la topografía media de la depresión interandina se incrementa entre los 2900 y 3100 m.s.n.m. hacia los poblados de El Ángel, San Gabriel, Tulcán y el sur de Colombia con excepción del valle del Río Chota donde la erosión fluvial produce una disección muy local entre los 1500 a 1800 m.s.n.m.

#### 4.2.3.4 FALLA ALOBURO

Esta falla bordea el frente escarpado oriental de la laguna de Yahuarcocha pasando por Aloburo y se extiende hacia el norte sobre el borde occidental de la cuenca del Chota (poblado Chota). La cinemática es de tipo inverso pues levanta el segmento oriental sobre el occidental, siendo evidente en la cuenca sedimentaria del Chota la inversión tectónica del borde occidental de la mencionada cuenca controlada por esta falla (Figura 4.11).



Figura 4. 11 Falla Aloburo formando un frente escarpado al occidente del Frente Montañosos Angochagua.

### 4.3 PLIEGUES

La presencia de plegamiento como resultado de deformación provocada por las fallas que actúan sobre el relleno sedimentario y volcanosedimentario, se lo identifica básicamente a lo largo del lineamiento de la Falla de la Quebrada Tahuando (Figura 4.3).

#### 4.3.1 PLIEGUE DEL RELLENO SANITARIO

En la Vía Ibarra – Salinas (UTM: 820 538 E; 100 45 265 N) a la altura del relleno sanitario se observa plegamiento en secuencias de conglomerados, areniscas conglomeráticas y volcanosedimentos. Estructuralmente estas rocas aparecen formando un pliegue anticlinal volcado cuya charnela tiene una dirección NNW, posiblemente se trate de un pliegue de arrastre formado por la falla de Río Ambi la cual atraviesa por este sitio. Sobre este pliegue se depositan capas decimétricas de Cangahua basculadas hacia el W (Figura 4.12). Representa la expresión en superficie de las fallas Tahuando y Ambi



Figura 4. 12.- Pliegue anticlinal volcado afectando a conglomerados del Grupo Chota y al relleno volcanosedimentario Imbaya. Vía Ibarra – Salinas (UTM: 820 538 E; 100 45 265 N).



#### 4.3.2 ANTIFORMA YAGUARCOCHA

En el sector de Yahuarcocha (UTM: 8 20 4228 E; 100 43 025 N) afloran secuencias volcanosedimentarias (Figura 4.13). Estas secuencias se encuentran fracturadas con dirección  $230^{\circ} / 62^{\circ}$  en azimut de buzamiento y forman una antiforma a lo largo del límite occidental de la Laguna de Yahuarcocha. Análisis de fotografías aéreas y anaglifos sugieren que se trata de un pliegue anticlinal de dirección NNW-SSE (Figura 4.3). Se presume que esta estructura representaría la evidencia en superficie de la falla Tahuando (Figura 5.6C). Su continuidad hacia el sur sería la loma de Guayabillas



Figura 4. 13.- Antiforma Yahuarcocha visto desde el mirador del Arcángel.

# CAPÍTULO 5

## 5.DISCUSIÓN Y MODELO DE EVOLUCIÓN

Este capítulo abarca los resultados de el mapeo geológico y el análisis estructural realizado en la ciudad de Ibarra donde se interpretan las relaciones estratigráficas de las diferentes Unidades y se plantea un modelo de evolución geológica del área de estudio.

### 5.1. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA CON LA CUENCA SEDIMENTARIA DELCHOTA

En la zona de estudio se ha identificado a la Unidad Yuracruz como equivalente lateral del Grupo Chota. Esta Unidad sobreyace a las rocas volcánicas de la Unidad Angochagua (Figura 4.2), lo cual es observado en la cuenca del Chota donde el relleno sedimentario reposa sobre materiales volcánicos en el sector de Mascarilla. La secuencia del sector de Yuracruz Alto consta de conglomerados y areniscas cuyo análisis microscópico mostró la presencia de cuarzo redondeado con extinción ondulatoria y líticos metamórficos (ver Anexo VII) sugiriendo que estas rocas serian equivalentes a las secuencias de la base del Grupo Chota. Bajo estas secuencias se encuentran las brechas volcánicas de la Unidad Angochagua (ver Anexo II), (Figura 5.1). En cambio, en el sector de Mascarilla los sedimentos del Grupo Chota sobreyacen a unos volcánicos basales observados a lo largo de la vía en el sector de Salinas, por medio de un contacto discordante (Figura 5.1). Egüez y Beate (1998) ubican estratigráficamente a la secuencia del Chota bajo la Unidad Angochagua mientras que Winkler et al. (2005) obtienen edades en los volcánicos Angochagua de  $10 \pm 2$  y  $12 \pm 4$  Ma, siendo estos volcánicos más antiguas que el Grupo Chota sugiriendo que este Grupo se encuentra estratigráficamente sobre dichos volcánicos que se asumen pertenecerían a la Unidad Angochagua y estos a su vez sobre las rocas metamórficas de la Unidad Guamote en la zona del Chota, indicando que la Unidad Angochagua seria del Mioceno medio.

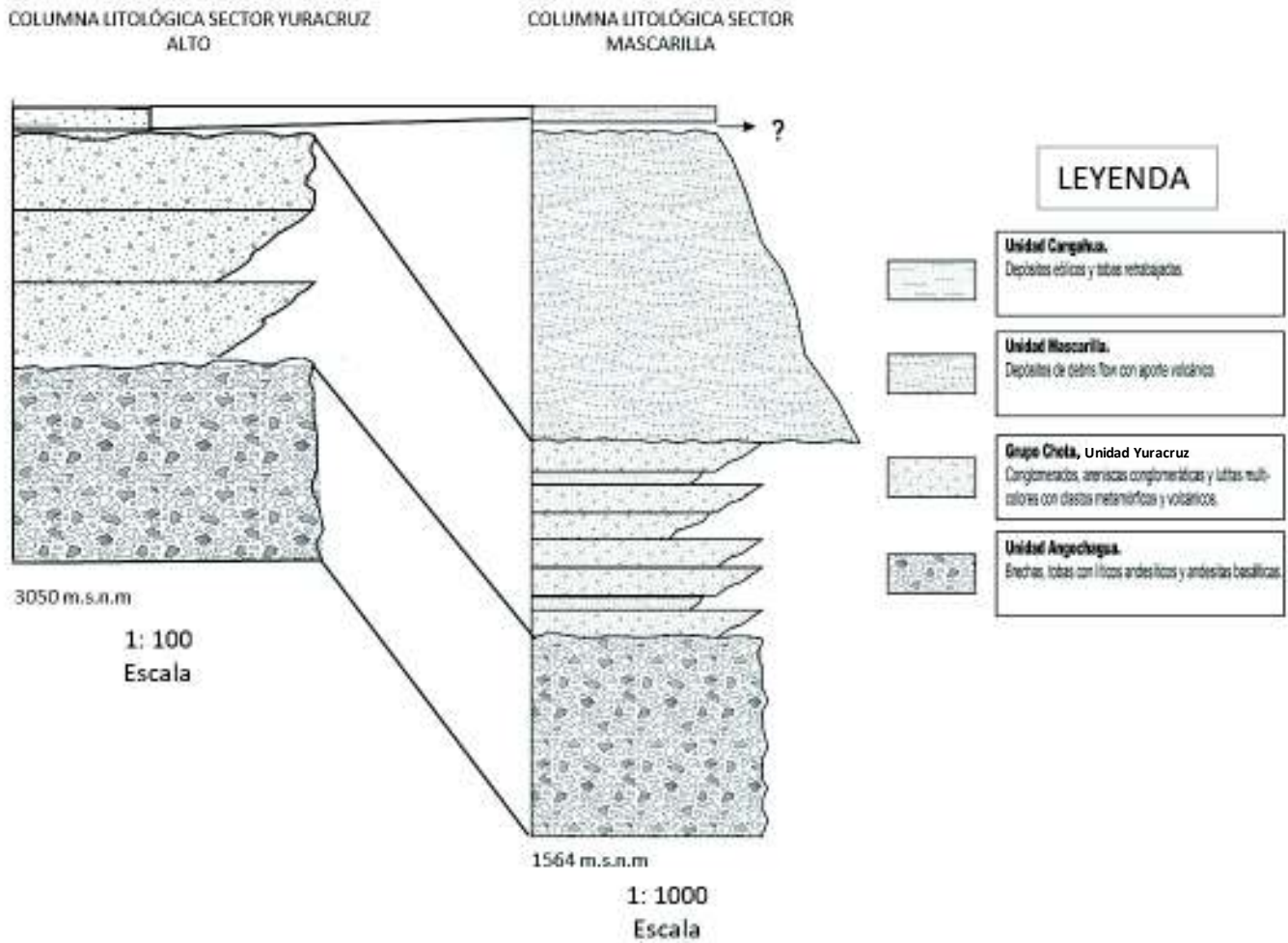


Figura 5. 1 Correlación estratigráfica de las secuencias encontradas en el sector de mascarilla y Yuracruz Alto

El contacto erosivo entre los volcánicos del sector de Chota – Mascarilla (UTM: 825 530 E; 100 52 614 N) y el grupo Chota se encuentra a ~1500 m.s.n.m., mientras que el contacto de la Unidad Yuracruz sobre la Unidad Angochagua estaría sobre los 3000 m.s.n.m. En este Trabajo se interpreta a los volcánicos del sector del Chota – Mascarilla como equivalentes laterales de los volcánicos Angochagua.

La diferencia de altitud entre la base de los sedimentos del Chota y Yuracruz respecto a los volcánicos basales sugiere un levantamiento tectónico asociado con la estructura Pesillo Angochagua. El presente estudio sugiere que la mencionada estructura controla los límites de los Dominios geomorfológicos Ibarra y Angochagua. Esta estructura provocaría el levantamiento de la “Sierra de Angochagua” (Figura 5.2) y a los sedimentos del Grupo Chota hallados en el sector de Yuracruz Alto (Unidad Yuracruz), en este sector las secuencias sedimentarias superiores posiblemente fueron erosionadas. (Figura 5.6 C).

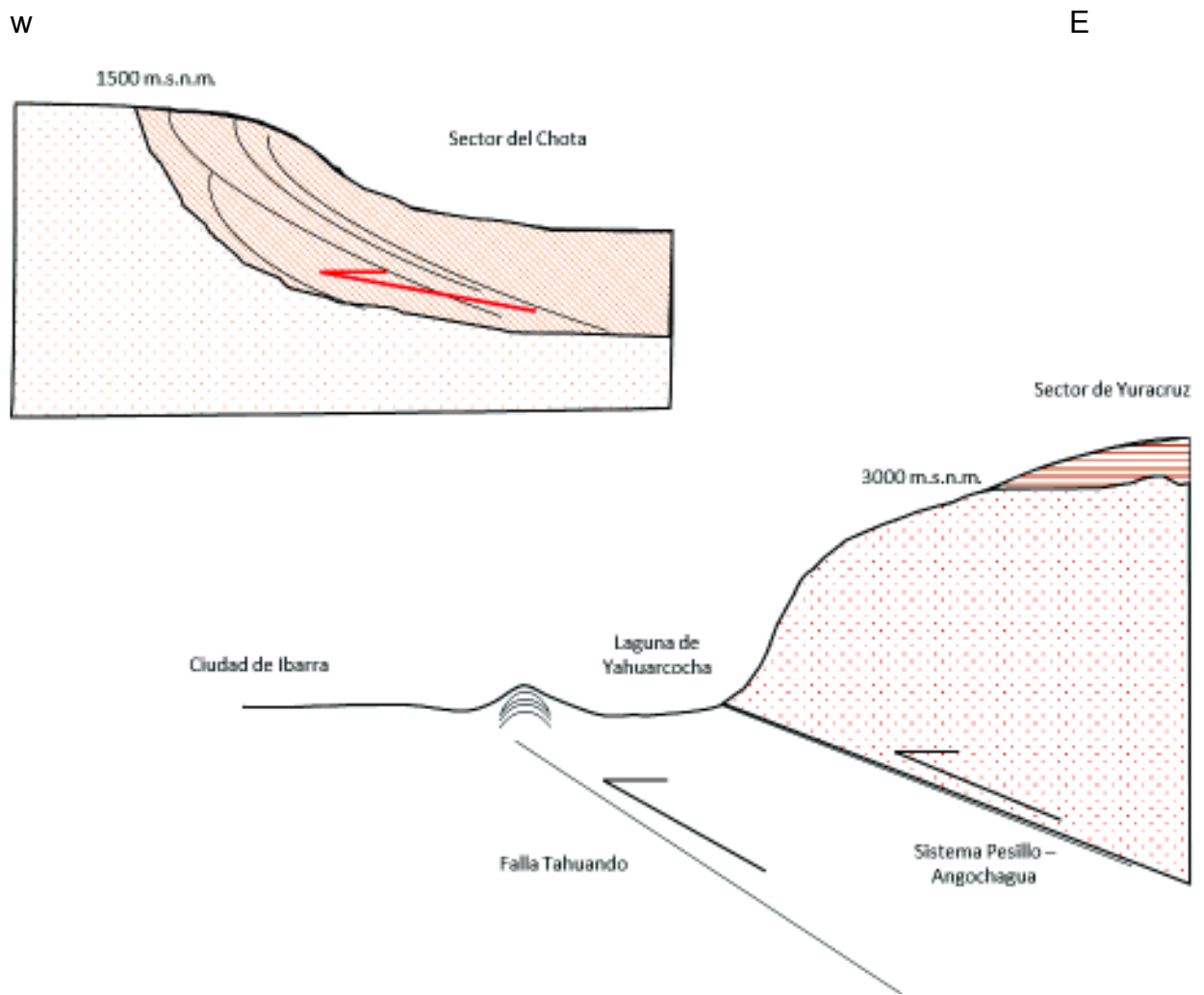


Figura 5. 2 Corte esquemático del sistema Pesillo –Angochagua en la ciudad de Ibarra

## 5.2. TASA DE MOVIMIENTOS DEL SISTEMA PESILLO – ANGOCHAGUA Y FALLA TAHUANDO

Dataciones realizadas por Winkler et al. (2005) indican que la edad estratigráfica más joven del Grupo Chota es de  $2.9 \pm 1.5$  Ma, el cierre de esta cuenca podría estar asociado a un evento tectónico regional, en este caso a la estructura Pesillo – Angochagua. El análisis estratigráfico de los contactos de la base del Grupo Chota en el sector de Chota - Mascarilla y en el sector de Yuracruz Alto indican que existe una diferencia de 1500 metros de desnivel, se asume que estos contactos son correlacionables lateralmente y que se encontraban a un mismo nivel estructural. Esto sugiere que la estructura Pesillo-Angochagua tendría una tasa de movimiento aproximado de 0.5 mm/año desde el Plioceno.

## 5.3. CONTROL NEOTECTÓNICO EN LA CIUDAD DE IBARRA

La estructura principal que controla la actividad neotectónica de la zona de estudio es la Falla Tahuando que controlaría la geodinámica de la parte norte de la “Sierra de Angochagua”, provocando que el bloque Angochagua se levante contra el Bloque Ibarra (Figura 5.6 C) y la Falla del Río Ambi que controlaría el movimiento del Bloque Ibarra y causa que dicho bloque se levante contra el Bloque Imbaya (Figura 5.3).

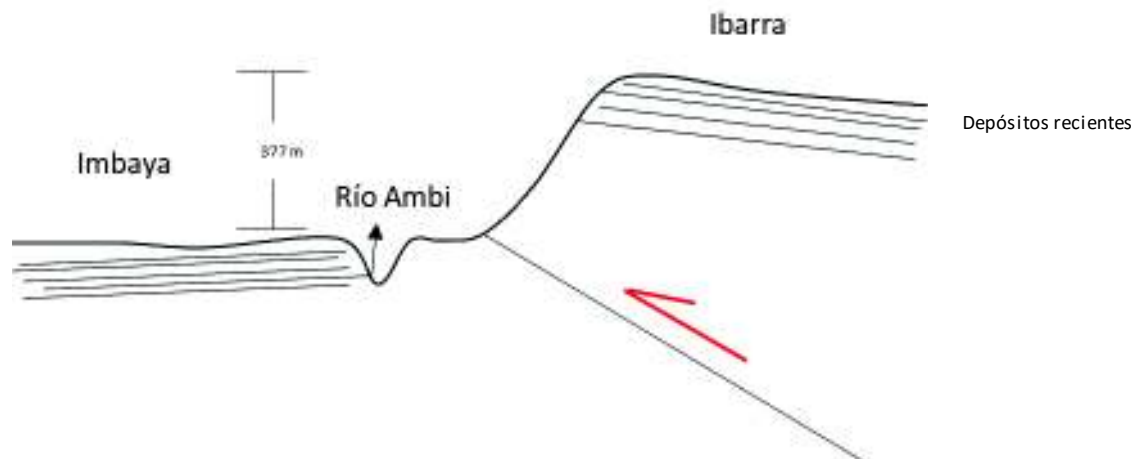


Figura 5. 3.- Corte esquemático de la Falla de Río Ambi en el área de estudio

#### **5.4. TASA DE MOVIMIENTOS DE LA FALLA DEL RÍO AMBI**

Los depósitos del volcán Imbabura y Cachimbiro se encuentran afectados por la Falla de Río Ambi en la parte occidental del área de estudio, esto evidencia la actividad Neógena de dicha falla, depósitos volcánicos correlacionables encontrados en los Dominios Ibarra e Imbaya asociados a la Unidad Imbabura, los contactos de estos volcánicos con la Unidad Imbaya se encuentran en cotas de 2189 y 1812 m.s.n.m. respectivamente, lo que indicaría un desplazamiento de 377 m aproximadamente (Figura 4.2), dataciones C14 realizadas por Ruiz (2003) en paleosuelos encontrados sobre depósitos de la Unidad Imbabura indican una edad superior a 30 000 años A.P, no obstante la potencia de la unidad Imbabura es mucho mayor en el Dominio Imbaya posiblemente por un mayor espacio de acomodación sugiriendo que la actividad de la falla inició mucho antes que la formación de estos depósitos, dataciones realizadas por Barberi et al. (1988) en rocas del complejo Imbabura (Imbabura I) indican edades de 1.7 Ma, estos datos sugieren que el movimiento de la Falla del Río Ambi tendría una tasa aproximada de más de 0.2 y menor a 9 mm/año.

#### **5.5. MODELO DE EVOLUCIÓN**

El presente capítulo describe la secuencia estratigráfica de la zona de estudio y los eventos tectónicos que han influenciado en la configuración tectónica actual de la Ciudad de Ibarra y sus alrededores.

En el Bloque Ibarra se encontró afloramientos de la Unidad San Juan de Lachas misma que sería el basamento de los Dominios Ibarra e Imbaya esta unidad se habría depositado en el Oligoceno (30 – 33 Ma) extendiéndose posiblemente hasta el Mioceno (Vallejo, 2007). En el Mioceno medio la existencia de volcanismo continental dio lugar a la formación de la Unidad Angochagua la misma que tendría una edad entre 10 y 12 Ma (Winkler et al., 2005), estas rocas



se depositan discordantemente sobre la Unidad San Juan de Lachas y sobre las rocas Jurásicas de la Unidad Guamote (Winkler et al., 2005) (Figura 5.4). Durante el Mioceno tardío (~6.3 Ma) se formó el Grupo Chota la cual tiene aporte tanto volcánico continental como de rocas metamórficas provenientes de la Cordillera Real (Figura 5.4) (Winkler et al., 2005), estas secuencias fluviales se depositan discordantemente sobre la Unidad Angochagua y las rocas metamórficas de la Unidad Guamote (Barragán et al., 1996; Egüez y Beate, 1998; Winkler et al., 2005) (Figura 5.4)

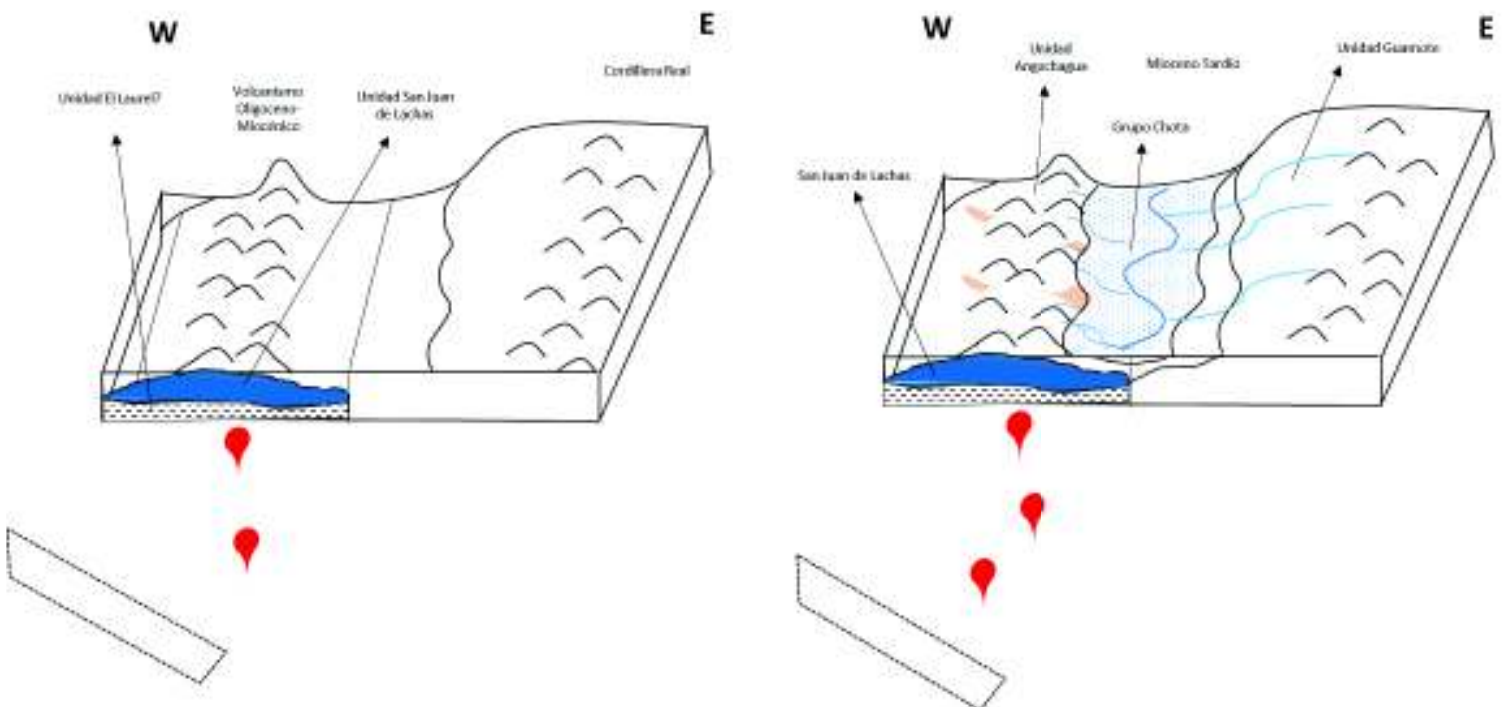


Figura 5. 4.- Modelo de evolución Oligoceno – Mioceno del área de estudio, formación de un arco volcánico que forma la Unidad San Juan de Lachas y la Unidad Angochagua, posteriormente en el Mioceno tardío se forma una cuenca donde se depositan los sedimentos del Grupo Chota.

Evidencia de campo encontrada en afloramientos en el corte de la carretera Ibarra- Salinas muestra que las secuencias volcánicas de la Unidad San Juan de lachas y Angochagua se encuentran afectadas por fallas conjugadas de dirección E-W posiblemente provocado por un régimen de esfuerzos de dirección E-W, este sistema de esfuerzos actuaría desde el Mioceno tardío hasta el Plioceno (Figura 5.5). En el Bloque Angochagua aflora únicamente las secuencias Miocénicas de la Unidad Angochagua y Grupo Chota, lo que sugiere



que este bloque ya era un alto estructural en el Pleistoceno indicando que las fallas neotectónicas asociadas a la estructura mayor Pesillo – Angochagua (Falla Tahuando Y Río Ambi) estarían asociadas a la estructura Pesillo-Angochagua de dirección NNW, sugiriendo que dichas estructuras estarían activas durante esta época, la falla Tahuando empezaría su actividad aproximadamente a los 2.9 Ma y la falla del Río Ambi una actividad más reciente que 1.7 Ma (Figura 5.5). Los procesos de levantamiento y erosión provocados por este régimen influirían en la formación de abanicos de “Debris Flow” que forman la Unidad Mascarilla (Figura 5.5), Winkler et al. (2005) realiza dataciones en cenizas volcánicas depositadas sobre el Grupo Chota posiblemente relacionadas a la Unidad Mascarilla lo que indica que esta unidad sería de edad Pleistoceno medio.

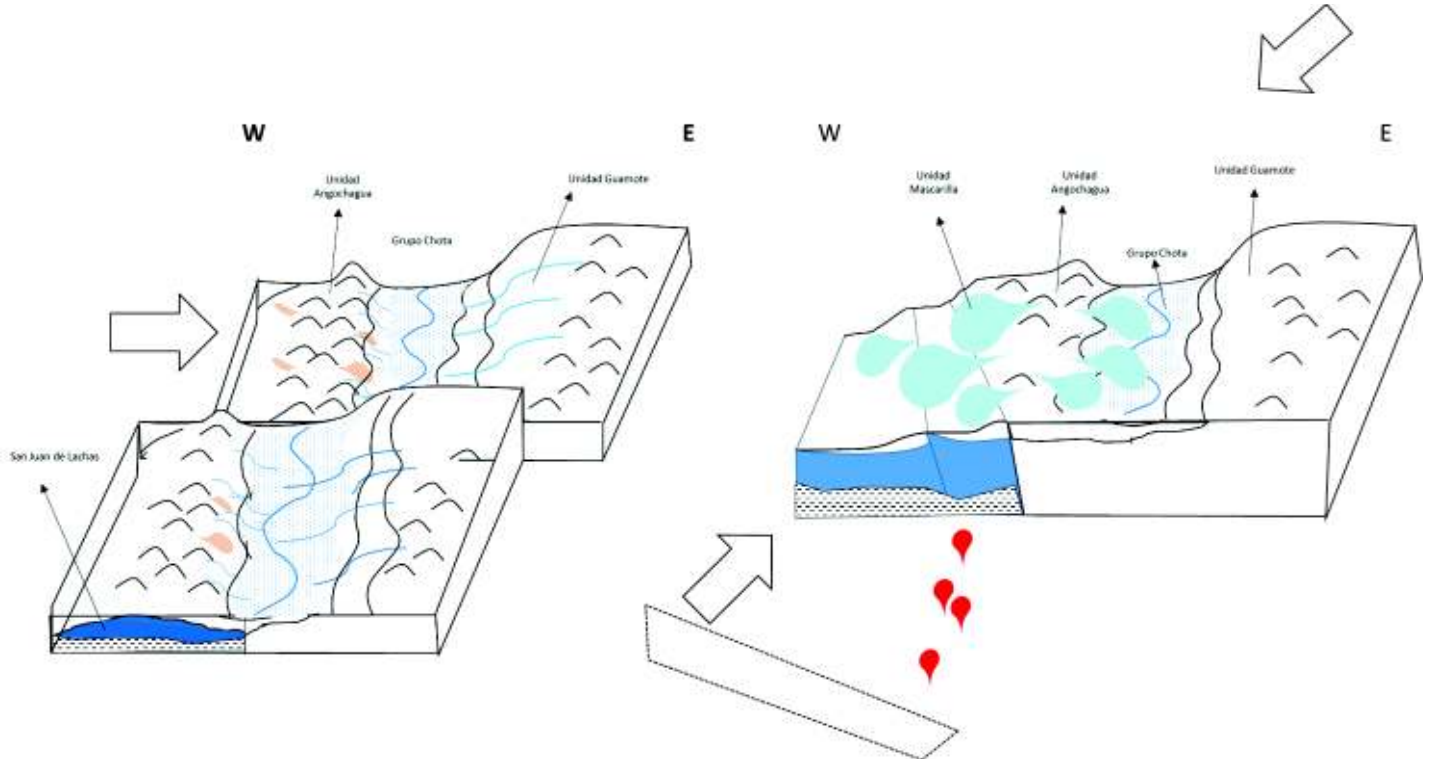


Figura 5. 5 Modelo de evolución Mioceno – Pleistoceno, existencia de un sistema de esfuerzo W – E provocando fallamiento en las secuencias Oligo-Miocénicas y posteriormente la formaion de las estructuras Neógenas de dirección NNW.

Los eventos de erosión y levantamiento estarían asociados a la existencia de un “gap” estratigráfico de la secuencia de Ibarra durante el Mioceno Tardío y Pleistoceno.

Durante el Pleistoceno superior se produce la formación del volcanismo reciente, entre estos está el Volcán Imbabura, el mismo que en su primera fase de formación deposita los volcanosedimentos de la Unidad Imbaya (Figura 5.6 A)

Siguiendo con la secuencia sedimentaria se encuentran las brechas volcánicas del Volcán Imbabura las cuales se las interpreta como una avalancha de escombros por colapso del primer edificio volcánico (Imbabura I) (Ruiz ,2003) (Figura 5.6 B), estas secuencias se las encuentra únicamente en los Dominios Ibarra e Imbaya y se encuentran afectadas por las fallas que controlan el movimiento de dichos Dominios (Figura 4.2). Este evento de depositación posiblemente se asocia a la formación de la Laguna de Yahuarcocha, en puente de la Quebrada Tahuando se encuentran depósitos lacustres los que se encuentran discordantemente sobre esta avalancha de escombros. La expresión de la Falla Tahuando como una antiforma en el sector de Yahuarcocha causaría una pequeña estructura “piggy-back” (Figura 5.6 C)

Los depósitos recientes como los depósitos de Cangahua se los interpreta como depósitos eólicos en un ambiente árido, producto del evento de glaciación del Pleistoceno superior – Holoceno. Los depósitos piroclásticos de caída del volcán Imbabura y Chachimbiro que conforman las capas superiores de la secuencia de Ibarra (Figura 5.6 C).

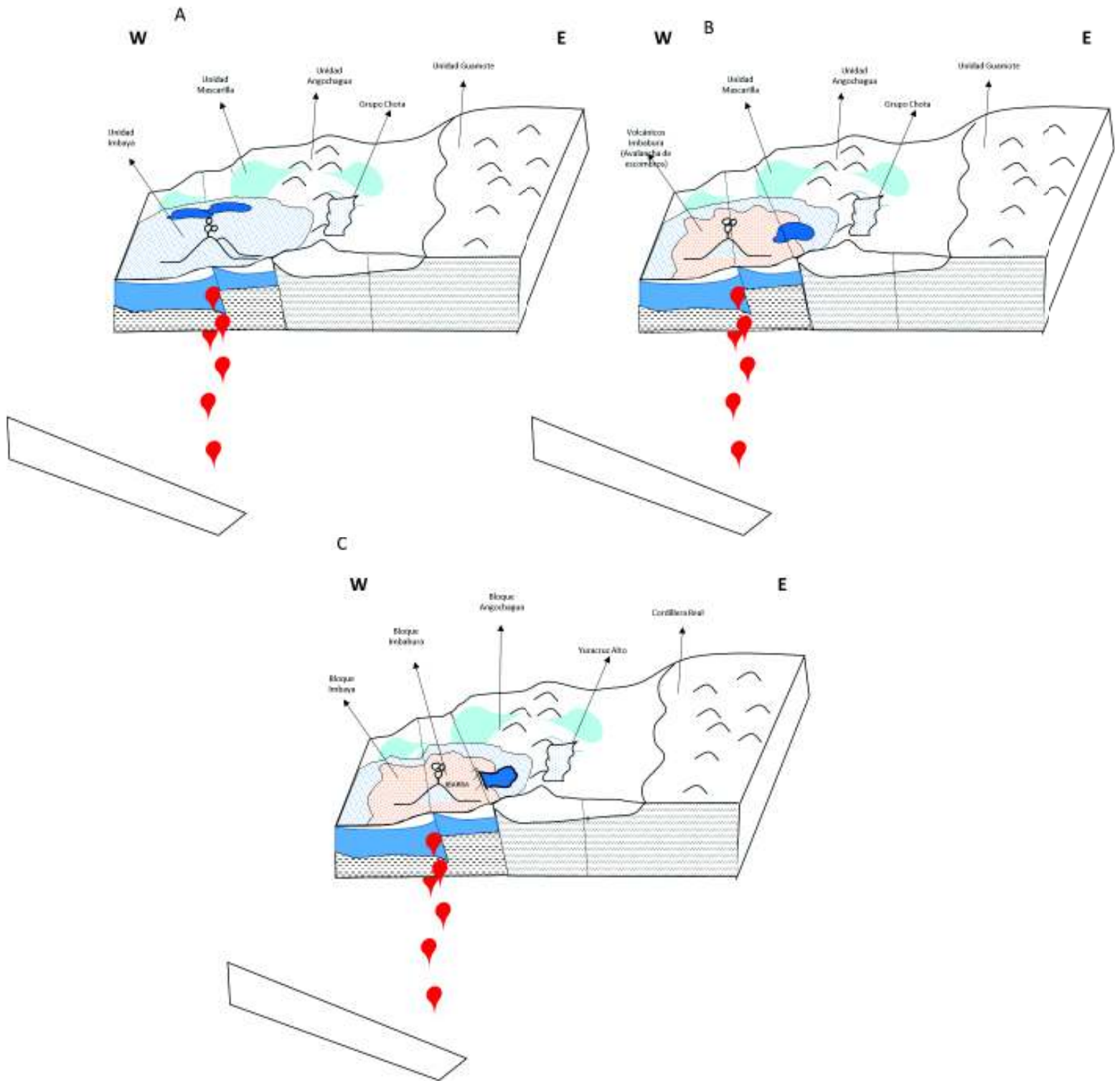


Figura 5. 6.- Formación del volcanismo reciente y actividad neotectónica. A formación de un volcán primario depositando los volcanosedimentos de la Unidad Imbaya. B colapso del volcán produciendo una avalancha de escombros y la formación de la Laguna de Yahuarcocha. C levantamiento de bloques morfoestructurales y plegamiento formando una pequeña cuenca de "piggy-back" en el sector de Yahuarcocha.

# CAPÍTULO 6

## 6.1. CONCLUSIONES

La base de la secuencia estratigráfica de la Ciudad de Ibarra es la Unidad San Juan de Lachas de edad Oligoceno, misma que aflora en la zona norte del Bloque Ibarra, la presencia de afloramientos en superficie está ligada a la actividad tectónica de la Falla del Río Ambi y Tahuando.

Las fallas Tahuando y Río Ambi son fallas neotectónicas de tipo inversas puras con dirección NNW-SSE y NNE-SSW respectivamente, con inclinación hacia el Este posiblemente asociadas al sistema Pesillo- Angochagua.

El análisis microscópico de las rocas de la Unidad Yuracruz indican la presencia de cuarzo redondeado con extinción ondulatoria y líticos de rocas metamórficas y su posición estratigráfica indicarían que esta unidad es equivalente lateralmente a los sedimentos de la base del Grupo Chota.

La evidencia estratigráfica encontrada en el sector de Yuracruz Alto muestra a los volcánicos Angochagua subyaciendo a la Unidad Yuracruz, en el sector de Mascarilla se encontró rocas volcánicas bajo sedimentos de Grupo Chota, estas rocas volcánicas serían equivalentes estratigráfica y litológicamente a la Unidad Angochagua.

El Bloque morfoestructural Angochagua se levanta sobre el Bloque Ibarra y este a su vez se levantan sobre el Bloque Imbaya, estos procesos de levantamiento están controlados por la Falla Tahuando y Río Ambi respectivamente.

La evidencia estratigráfica encontrada a en los Dominios Imbaya e Ibarra sugieren que depósitos correlacionables de la Unidad Imbabura se encuentran a una diferencia de cota de 377 metros, esta sería causada por el movimiento de la Falla Río Ambi.

La diferencia de altitud de 1500 metros entre la base de los sedimentos del Chota en el sector de Mascarilla y Yuracruz respecto a los volcánicos basales sugiere

un levantamiento tectónico asociado con el sistema Pesillo - Angochagua (Figura 5.1)

El Sistema Pesillo – Angochagua presumiblemente se trate de una falla inversa de dirección NNW con buzamiento hacia el E compuesta por un trazo de falla antiguo limitado al segmento entre los poblados de Pesillo y Angochagua y el trazo joven de esta estructura sería la Falla Tahuando, este sistema presentaría actividad tectónica Neógena. Esta estructura provocaría el levantamiento de la “Sierra de Angochagua”, trabajos cartográficos realizados por Barragán et al. (1996), Egúez y Beate (1998) y Winkler (2005) en la zona del Chota indican que el basamento de las secuencias Chota y Angochagua encontradas en este Bloque son las rocas Jurásicas de la Unidad Guamote.

El frente montañoso Pesillo-Angochagua representa una estructura regional NNW-SSE que no ha sido reportada en trabajos anteriores que nace al sur en el sector de Pesillo (norte del volcán Cayambe), continuando por el poblado de Angochagua hasta la zona del mirador San Miguel Arcángel. Esta estructura es el resultado de la actividad de una falla inversa con buzamiento hacia el este que probablemente en su parte sur ya se encuentre inactiva. Esta estructura controlaría el levantamiento del frente montañoso de Angochagua. En el poblado de Pesillo se pueden observar relieves bajos con morfologías poco accidentadas, lo que indicaría que la actividad tectónica de este segmento habría cesado

El frente montañoso Pesillo-Angochagua genera un cambio morfológico en la depresión interandina norte del Ecuador. Hacia el sur del frente montañoso la altitud media de la Depresión Interandina varía entre los 2400 y 2600 m.s.n.m. mientras que hacia el norte del mencionado frente la topografía media de la depresión interandina se incrementa entre los 2900 y 3100 m.s.n.m. hacia los poblados de El Ángel, San Gabriel, Tulcán y el sur de Colombia con excepción del valle del Río Chota que tiene elevaciones entre los 1500 a 1800 m.s.n.m. posiblemente asociado a una pequeña cuenca de “pull-apart”.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un mapeo regional en la parte occidental y noroccidental del área de estudio con el fin de concatenar las estructuras y saber a ciencia cierta la extensión de éstas.

Realizar estudios geofísicos en el área de estudio para poder determinar a qué profundidad se encuentra el basamento en el bloque Imbaya y Angochagua.

Realizar análisis de gestión del riesgo en la zona urbana de Ibarra con el fin de identificar las zonas vulnerables de la ciudad. Considerando que por Ibarra atraviesan dos fallas activas.

# BIBLIOGRAFIA

Abegglen, P., 2001. Geologie des intermontanen Beckens von Chota (Pliozän, Nordecuador)-Ostteil. Thesis, ETH-Zürich, p. 87.

Allibon, J., Monjoie, P., Lapierre, H., Jaillard, E., Bussy, F., Bosch, D., 2005. High Mg-basalts in the Western Cordillera of Ecuador: evidence of plateau root melting during Late Cretaceous arc magmatism. In: Proceedings of the Sixth International Symposium on Andean Geodynamics, Program and Abstracts, Barcelona, España, pp. 3335.

Aspden, J.A. and Litherland, M. 1992. The Geology and Mesozoic Collisional History of the Cordillera Real, Ecuador. *Andean Geodynamics*. Oliver, R.A. et al. (Editores): *Tectonophysics*, v. 205, p. 187-204.

Baldock, J.W. 1982. Geology of Ecuador: Explanatory Bulletin of the National Geological map of the Republic of Ecuador. Quito, DGGM.

Baragán, R., Baudino, R., Marocco, R., 1996. Geodynamic evolution of the Neogene intermontane Chota basin, northern Andes of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences* 9 (5/6), 309–319.

Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, J.M., Santacroce, R., 1988. Plio-Quaternary volcanism in Ecuador. *Geological Magazine* 125, 1–14.

Bernard, B. C., Beate B., Robin C., Hidalgo S., 2011. Nuevo Modelo Evolutivo y Actividad Reciente del Volcan Chachimbiro. Escuela Politécnica Nacional. Quito – Ecuador.

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



Informacion cartografica y Geológica, Informe No. 10. CODIGEM-BGS, Quito, Ecuador, 72 pp.

British Geological Survey and Corporación de Desarrollo e Investigación Geologico, Minero y metalúrgico. 1997. Geological map of the Western Cordillera, Ecuador between 0° and 1° N. (1: 200,000). BGS, Keyworth, UK.

British Geological Survey and Corporación de Desarrollo e Investigación Geologico, Minero y metalúrgico. 1997. Geological map of the Western Cordillera, Ecuador between 0° and 1° S. (1: 200,000). BGS, Keyworth, UK.

British Geological Survey and Corporación de Desarrollo e Investigación Geologico, Minero y metalúrgico. 1997. Geological map of the Western Cordillera, Ecuador between 1° and 2° S. (1: 200,000). BGS, Keyworth, UK.

British Geological Survey and Corporación de Desarrollo e Investigación Geologico, Minero y metalúrgico. 1997. Geological map of the Western Cordillera, Ecuador between 2° and 3° S. (1: 200,000). BGS, Keyworth, UK.

British Geological Survey and Corporación de Desarrollo e Investigación Geologico, Minero y metalúrgico. 1997. Geological map of the Western Cordillera, Ecuador between 3° and 4° S. (1: 200,000). BGS, Keyworth, UK.

Bristow, C. R. (1973). Guide of Geology of the Cuenca Basin, Southern Ecuador. Ecuadorian Geological and Geophysical Society, 151. Quito.

Bristow, C.R., Hoffstetter, R. 1977. Lexique Stratigraphique International; Ecuador. Second edition. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique, 412 p.

DeMets C., Gordon R., Argus D., 2010 Geologically Current Plate Motions. *Geophysical Journal International*, Volume 181, Issue 1, 1 April, Pages 1–80,

Dirección General de Geología y Minas (DGGM) – Instituto Nacional de Energía y Minas (INEMIN). (1980). Hoja Geológica Otavalo, ESC. 1: 100 000.

Dunkley, P. y Gaibor, A., 1997. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2° - 3°S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Informacion Cartografica y Geologica, Informe 2 CODIGEM–BGS, Quito, Ecuador, 139pp.

Ego, F., Sébrier, M., 1996. The Ecuadorian inter-Andean Valley: a Major and Complex Restraining Bend and Compressive Graben Since late Miocene time. *Annales Tectonicae* 10, 31–59.

Egüez, A., Alvarado A., Yepes A., Machette M., Costa C., Dart R., (2003). Database and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. A project of the International Lithosphere Program Task Group II-2, Major Active Faults of the World, 77.

Egüez, A., Bourgois, J., 1986. La Formacion Apagua, edad y posición estructural en la Cordillera Occidental del Ecuador. Cuarto Congreso Ecuatoriano de geologia Minas y petroleos, 161-178.

Egüez, A., Beate, B., 1998. Estratigrafia y Tectonica de la Cuenca Intramontañoso del Chota. Departamneto de Geologia, Escuela Politecnica Nacional, 14. Quito, Ecuador.

Feininger, T. and Bristow, C.R. 1980 Cretaceous and Palaeogene geologic history of Coastal Ecuador: *Geologische Rundschau*, v. 69, p. 40-44.

Hughes R., Bermudez 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. Report Number 4. CODIGEM – British Geological Survey, Quito, Ecuador, 75 pp.

Hughes, R.A., Pilatasig, L.F. 2002. Cretaceous and Tertiary Block accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador: *Tectonophysics*, v. 345, p. 29-48.

Hungerbühler, D. 1997. Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador (3°00' 4°20'): Sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. PhD Thesis, Institute of Geology ETH Zurich, Switzerland, p. 182.

Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D.E., Helg, U., Hammer, C. 2002. Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador: *Earth-Science Reviews*, v. 57, p. 75-124.

INIGEMM. (2015). MEMORIA TÉCNICA HOJA GEOLÓGICA LA CAROLINA ESCALA 1: 50 000. Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias de Recursos Minerales en el Territorio Ecuatoriano, 129. Quito, Ecuador.

INAMHI. (2016). BOLETIN METEOROLOGICO MES: FEBRERO. Dirección Gestión Meteorológica Estudios e Investigaciones Meteorológicas.

Jaillard, E., Ordoñez, M., Benitez, S, Berrones, G., Jimenez, N., Montenegro, G., And Zambrano, I. 1995. Basin Development in an Accretionary, Oceanic-floored Fore-Arc Setting: Southern Coastal Ecuador During Late Cretaceous-Late Eocene time: *AAPG Memoir*, v. 62, p. 615-631.

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

Jaillard, E., Bengtson, P., Dhondt, A. 2005. Late Cretaceous marine transgressions in Ecuador and northern Peru: A refined stratigraphic framework: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 19, p. 307–323.

Kerr, A. C., Iturralde-Vinent, M. A. Saunders, A. D. Babbs, T. L., Tarney, J. 1999. A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks: *Geological Society of America Bulletin*, v. 111, p. 1581-1599.

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

Lapierre, H., Dupuis, V., de Lepinay, B.M., Bosch, D., Monie, P., Tardy, M., Maury, R.C., Hernandez, J., Polve, M., Yeghicheyan, D., Cotten, J. 2000. Late Jurassic oceanic crust and Upper Cretaceous Caribbean plateau picritic basalts exposed in the Duarte igneous complex, Hispaniola: *Journal of Geology*, v. 107, p. 193-207.

Lavenu, A., Noblet, C., Bonhomme, M.G., Egüez, A., Dugas, F., Vivier, G. 1992. New K-Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: implications for the relationship between sedimentation, volcanism, and tectonics: *J South Amer Earth Sci.*, v. 5, p. 309–320.

Lavenu, A., Winter, Th., Da´vila, F., 1995. A Pliocene–Quaternary compressional basin in the inter-Andean depression, central Ecuador. *Geophysical Journal International* 121, 279–300.

Lavenu, A., Baudino, R., Ego, F., 1996. Stratigraphie des deposits tertiaires et quaternaires de la depression interandine d'Equateur (entre 08 et 281500S). *Bulletin de l'Institut franc¸ais des e´tudes andines* 25, 1–15.

Lapierre, H., Dupuis, V., de Lepinay, B.M., Bosch, D., Monie, P., Tardy, M., Maury, R.C., Hernandez, J., Polve, M., Yeghicheyan, D., Cotten, J. 1999. Late Jurassic oceanic crust and Upper Cretaceous Caribbean plateau picritic basalts exposed in the Duarte igneous complex, Hispaniola: *Journal of Geology*, v. 107, p. 193-207.

Lapierre, H., Bosch, D., Dupuis, V., Polve, M., Maury, R., Hernandez, J., Monie, P., Yeghicheyan, D., Jaillard, E., Tardy, M., Mercier de Lepinay, B., Mamberti, M., Desmet, A., Keller, F. and Senebier, F., 2000. Multiple plume events in the genesis of the peri-Caribbean Cretaceous oceanic plateau province: *Journal of Geophysical Research*, v. 105, p. 8403-8421.

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*, v. 74, p. 343–351.

Litherland, M., Aspden, J.A. 1992. Terrane-boundary reactivation: a control on the evolution of the Northern Andes: *Journal of S. Am. Earth Sci.*, v. 5, p. 71–76.

Litherland, M., Aspden, J., Jemielita, R.A., 1994. The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey, Overseas Memoir*, 11, 147 pp.

Lonsdale, P. Klitgord, K.D. 1978. Structure and tectonic history of the Eastern Panama Basin, *Geological Society of America Bulletin*, v. 89, p. 981–999.

Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Ethien, R., Jaillard, E., Hernandez, J., Polve, M. 2003. Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean Colombian plateau in Ecuador: *Lithos*, v. 66, p. 173–199.

Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Jaillard, E., Hernandez, J., Polve, M. 2004. The Early Cretaceous San Juan Plutonic Suite, Ecuador: a magma chamber in an oceanic plateau?: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 41, p. 1237–1258.

McCourt, W.J., Aspden, J.A., Brooks, M. 1997. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: Continental growth by multiple accretion: *Journal of the geological Society of London*, v. 141, p. 831-845.

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

Moretti M., Alfaro, P., J.M. Soria, 1997. Soft-sediment deformation structures induced by earthquakes (seismites) in Pliocene lacustrine deposits (Guadix-Baza Basin, Central Betic Cordillera). *Eclogae Geologicae Helveticae* 90:531-540

OLADE-INECEL, 1980. Informe geo-vulcanológico: proyecto de investigación geotérmica de la República del Ecuador. Organización Latinoamericana de Energía, Quito p. 54.

Pardo-Casas, Molnar, 1987. Relative Motion of The Nazca (Farallón) and South American Plates Since Late Cretaceous Time: *Tectonics*, v. 6, p. 233-248.

Pratt, W.T., Figueroa, J., Flores, B. 1997. Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 348S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartografica y Geologica, CODIGEMBGS, Quito, Informe 1.

Pennington, W.D., 1981. Subduction of the eastern Panama basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research* 86 (B11), 10753–10770.

Municipio de Ibarra. (2012). Plan de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Ibarra. 56p.

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*, v. 307, p. 235-254.

Ruiz, P. A. (2003). Estudio Geovolcanológico del complejo volcánico Imbabura. Tesis de Grado, Facultad de Geología y Petróleos EPN, 317.

Sauer, W. 1965. Geología del Ecuador. Ministerio de Educación, Quito. pp. 583.

Soulas J., Egüez A., Yopez H., Perz V. 1991. Tectónica Activa y Riesgo Sísmico en los Andes ecuatorianos y el extremo sur de Colombia. *Bol. Geol. Ecuador.*, 2, 1, 3-11.

Spikings, R.A., Crowhurst, P.V., 2004. (U–Th)/He thermochronometric constraints on the late Miocene–Pliocene tectonic development of the northern Cordillera Real and the Interandean Depression, Ecuador: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 17, p. 239-251.

Spikings, R.A., Seward, D., Winkler, W. and Ruiz, G.M., 2000. Low temperatura thermochronology of the northern Cordillera Real, Ecuador tectonic insights from zircon and apatite fission-track analysis: *Tectonics*, v. 19, p. 649-668.

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

Spikings, R.A. Winkler, W., Seward, D., Handler, R. 2001. Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 186, p. 57-73.

Spikings, R., Cochrane R., Villagomez D., Van Der Lelij R., Vallejo C., Winkler W., Beate B., 2014 The geological history of northwestern South America: from



Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75Ma). In: Gondwana Research, 2015, vol. 27, n° 1, p. 95-139.

Steinmann, M. 1997. The Cuenca basin of southern Ecuador: tectono sedimentary history and the Tertiary Andean evolution. Ph.D. dissertation, Institute of Geology, ETH Zurich, Switzerland.

Thalman, H.E. 1946. Micropaleontology of upper Cretaceous and Paleocene in western Ecuador: AAPG Bulletin, v. 30, p. 337-347

Tobler, St, 2001. Geologie des intermontanen Beckens von Chota (Pliozän, Nordecuador)-Westteil. Thesis, ETH-Zürich, p. 102.

Tschopp, H.J. 1948. Geological sketch of Ecuador. Bulletin de l'Association Suisse de Geologie Ingenieur et Petrologie, v. 15, p. 14–45.

Vallejo, C., Spikings, R.A., Winkler, W., Luzieux, L., Chew, D., Page, L. 2006. The early interaction between the Caribbean Plateau and the NW South American Plate: Terra Nova, v. 18, p. 264-269

Vallejo, C. (2007). Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Latecretaceous-Paleogene). Doctoral Thesis ETH No. 17023, 215.

Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R.A., Luzieux, L., Heller, F., Bussy, F., 2009. Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes of Ecuador. The Geological Society of America Memoir 204, 197-216.

Van Thournout, F. 1991. Stratigraphy, magmatism and tectonism in the Ecuadorian northwestern cordillera: Metallogenic and Geodynamic implications. PhD thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 150 pp.

Van Thournot, F., Hertogen, J., Quevedo, L. 1992. Allochthonous Blocks in northern Ecuador: Tectonophysics, v. 205, p. 205-222.

Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, S., Egüez, A., 2002. The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 19, p. 5-19.

Winter, Th., Lavenue, A., 1989a. Morphological and microtectonic evidence for a major active right-lateral strike-slip fault across central Ecuador (South America). *Annales Tectonicae* 3 (2), 123–139.

Winter, Th., Lavenue, A., 1989b. Tectonique active en Equateur: Ebauche d'une nouvelle interpretation geodynamique. *Bulletin de l'Institut francais des études andines* 18 (1), 95–115.

# ANEXOS



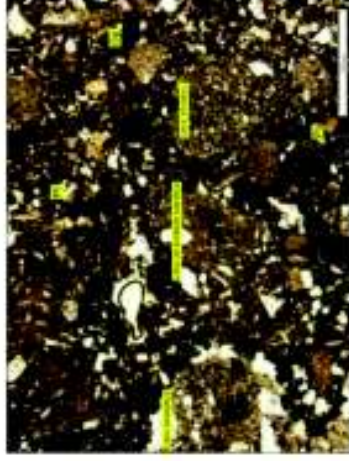
ANEXO III

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"  
FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

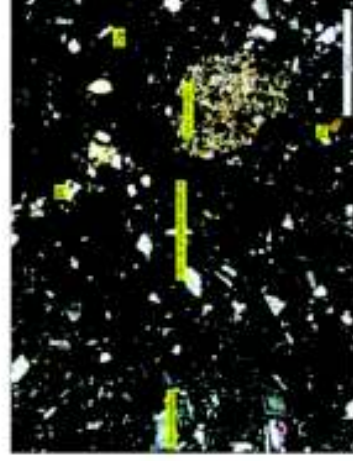
HOJA GEOLÓGICA: IBARRA  
 CÓDIGO: JST-MS  
 FECHA: 14/11/2017  
 DESCRITO POR: José Galarraga  
 COLECTOR: José Galarraga  
 COORDENADAS UTM (WGS 84) X: 824663 Y: 39664 Z:

		DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:		
MICROTEXTURAS:	Ruidica	Epiclástica	Brechosa	
MICROESTRUCTURAS:	Mixta			
COMPONENTE	% TOTAL MINERALES:	% CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:		
40	Plagioclasa	30	Cristales incolores, tabulares alargados, relieve bajo, machados, birrefringencia muy débil, basial(-)	
	Ortoproxeno	10	Cristales verde-castaño, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, basial(-)	
MINERALES PRINCIPALES:				
MINERALES ACCESORIOS:				
MINERALES SECUNDARIOS:				
LITICOS:	40	Líticos And. Basáltica	15	Líticos angulosos, hipocristalinos, porfiríticos, traquíticos, compuestos por plagioclasa, proxeno y vidrio.
		Líticos andesíticos	15	Líticos angulosos, hipocristalinos, porfiríticos, compuestos por plagioclasa y vidrio.
		Líticos de intrusivos	10	Líticos angulosos de roca intrusiva, de composición intermedia
CEMENTO /MATRIZ:	15	Siliceo	10	Material incoloro, amorfo, birrefringencia débil
		Arcillas	5	Partículas finas de color marrón, relieve medio, birrefringencia moderada
MINERALES OPACOS:		Óxidos de Fe	5	Minerales de color negro con luz transmitida y grises con luz reflejada, posible magnetita
OBSERVACIONES GENERALES:		Roca sedimentaria detrítica, compuesta por cristales diagénicos de plagioclasa, proxeno, y fílicos de andesita basáltica, andesita proxenítica y fílicos de rocas intrusivas de composición intermedia. Los fílicos están dispuestos en una matriz compuesta por cristales de plagioclasa, proxeno y arcillas.		
NOMBRE DE LA ROCA:		BRECHA POLIMICTICA		

MICROFOTOGRAFÍAS  
LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA





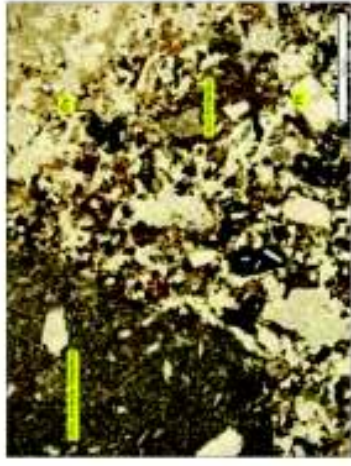
ANEXO IV

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"

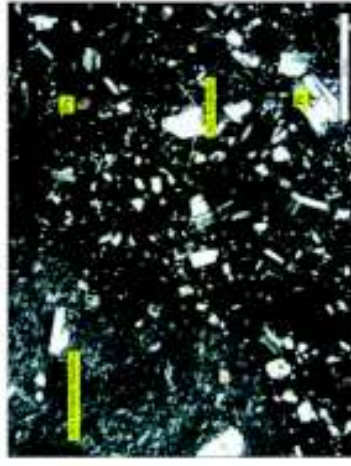
FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

HOJA GEOLOGICA: IBARRA      CÓDIGO: JGT-001  
 FECHA: 13/11/2017      DESCRITO POR: Josué Galárraga  
 COLECTOR: Josué Galárraga  
 COORDENADAS UTM (WGS 84)      X: 813707      Y: 44253      Z:

MICROFOTOGRAFÍAS  
LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MICROTEXTURAS:	Rudítica	Epiclástica	Brechosa
MICROESTRUCTURAS:	Másiva		
COMPONENTE	% TOTAL MINERALES:	% CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:	
40	Plagioclasa	25	Cristales incolores, tabulares alargados, relieve bajo, machados, birrefringencia muy débil, biaxial(-)
	Piroxeno	15	Cristales castaño-verde, picocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, biaxial(-)
MINERALES PRINCIPALES:			
MINERALES ACCESORIOS:			
MINERALES SECUNDARIOS:			
LITICOS:	40	Líticos andesíticos	10 Líticos angulosos, hipocristalinos, porfiríticos, compuestos por plagioclasa y vidrio volcánico
		Líticos And. Basáltica	15 Líticos angulosos, hipocristalinos, porfiríticos, traquíticos, compuestos por plagioclasa, piroxeno y vidrio
		Lítico de escoria	15 Líticos angulosos, hipocristalinos, vesicularios, con fenocristales de plagioclasa en una matriz vítreo
CEMENTO /MATRIZ:	15	Silíceo	5 Material incoloro, amorfo, birrefringencia débil
		Arcillos	10 Partículas finas de color marrón, relieve medio, birrefringencia moderada
MINERALES OPACOS:		Oxidos de Fe	5 Minerales de color negro con luz transmitida y grises con luz reflejada, posible magnetita
OBSERVACIONES GENERALES:		Roca sedimentaria brechosa, compuesta por cristales disgregados de plagioclasa, piroxeno, y líticos de rocas volcánicas como andesita, andesita basáltica y escoria de composición andesítica. La muestra corresponde a una roca de tipo matriz soportada la cual está compuesta por cristales de plagioclasa, piroxeno y material tabólico.	
NOMBRE DE LA ROCA:	BRECHA POLIMÍCTICA		





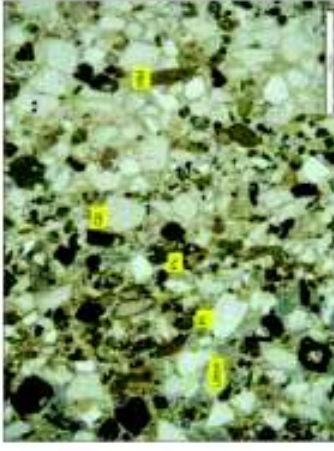
ANEXO V

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"

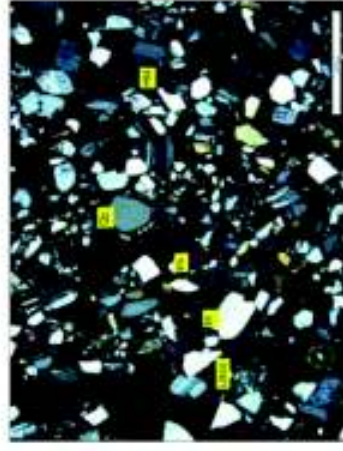
FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

HOJA GEOLÓGICA: IBARRA      CÓDIGO: JET-M8  
 FECHA: 13/11/2017      DESCRITO POR: Josué Galarraga  
 COLECTOR: Josué Galarraga      Y: 38237      Z:

COORDENADAS UTM (WGS 84)      X: 823065



MICROFOTOGRAFÍAS  
LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MICROTEXTURAS:	Detritica	
MICROESTRUCTURAS:	Estratificación	Psamítica
COMPONENTE %TOTAL MINERALES:		
MINERALES PRINCIPALES:	65	% CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS: 25 Cristales incoloros, tabulares alargados, relieve bajo, machados, birrefringencia muy débil, biaxial (-) 15 Cristales castaños, subhedrales, birrefringencia moderada, relieve medio, biaxial (-) 15 Cristales castaños-verdes, piroclásticos, prismaicos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, biaxial (-) 5 Cristales incoloros, anhedrales, relieve bajo, birrefringencia débil, uniaxial (+) 5 Feldespatos potásico 5 Cristales incoloros, subhedrales, relieve bajo, birrefringencia muy débil, extinción paralela, biaxial (-)
MINERALES ACCESORIOS:		
MINERALES SECUNDARIOS:		
LITICOS:	10	Fragmentos de roca metamórfica de bajo grado como filita y cuarcita Fragmentos de roca ígnea intrusiva
CEMENTO /MATRIZ:	20	Silíceo Arcillas
MINERALES OPACOS:	Óxidos de Fe	Óxidos de Fe Minerales de color negro con luz transmitida y rojitos con luz reflejada, posible hematita
OBSERVACIONES GENERALES:	Roca sedimentaria detritica con textura psamítica y estratificada, con alto contenido de plagioclasa de origen ígneo así como de hornblenda y piroxeno en menor proporción. Se pueden observar clastos de cuarzo y feldespatos potásico y filitas de filitas, cuarzos y de intrusivos.	
NOMBRE DE LA ROCA:	ARCOSA	



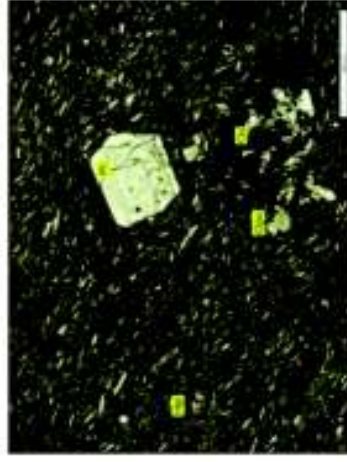
ANEXO VI

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"

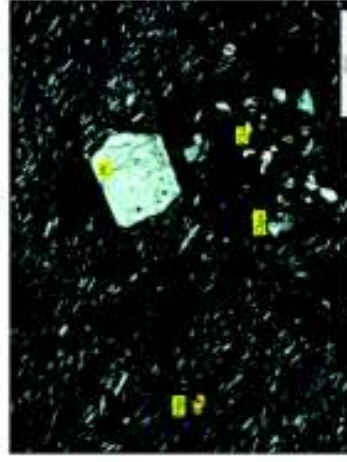
FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS ÍGNEAS

HOJA GEOLÓGICA: IBARRA  
 FECHA: 10/11/2017  
 COLECTOR: José Galarraga  
 COORDENADAS UTM (WGS 84): X: 819830 Y: 44546 Z: 1994  
 CÓDIGO: JGT-003  
 DESCRITO POR: José Galarraga

MICROFOTOGRAFÍAS  
 LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MICROTEXTURAS:	Hipocristalina	Porfírica	Pilotálica
MICROESTRUCTURAS:	Mesiva		
COMPONENTE	% TOTAL MINERALES:	%	CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:
FENOCRISTALES:	40 Plagioclasa	15	Cristales incoloros, tabulares alargados, relieve bajo, macledos, birrefringencia muy débil, biaxial (-)
	Ortopiroxeno	15	Cristales verde-castaño, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. débil, extinción paralela, biaxial (-)
	Hornblenda	10	Cristales castaños, subhedral, birrefringencia moderada, relieve medio, biaxial (-)
MATRIZ:	50 Plagioclasa Vidrio volcánico	35 15	Microcristales incoloros, tabulares alargados, relieve bajo, macledos, birrefringencia muy débil Material incoloro, amorfo, isotrópico
MINERALES ACCESORIOS:			
MINERALES SECUNDARIOS:	10 Arcillas	10	Agregados pulverulentos de birrefringencia débil reemplazando a la matriz
MINERALES OPACOS:			
OBSERVACIONES GENERALES:	Roca volcánica porfírica con textura de flujo (pilolical), donde los cristales de plagioclasa están dispuestos en la dirección de las líneas de flujo. Se observan tres generaciones de cristales donde grandes cristales de plagioclasa y piroxeno están dispuestos en una matriz compuesta por vidrio y microcristos de plagioclasa y piroxeno. Los minerales ferromagnesianos están oxidados.		
NOMBRE DE LA ROCA:	ANDESITA PORFIRITICA		





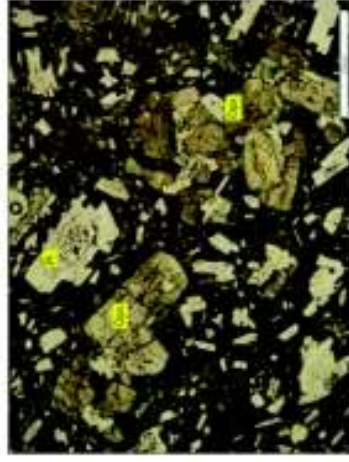
ANEXO VII

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"

FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS ÍGNEAS

HOJA GEOLOGICA: IBARRA  
 FECHA: 09/11/2017  
 COLECTOR: José Galarraga  
 COORDENADAS UTM (WGS 84) X: 822514 Y: 42385 Z: 2282  
 CÓDIGO: JGT-M3  
 DESCRITO POR: José Galarraga

MICROFOTOGRAFÍAS  
 LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MICROTEXTURAS:	Hipocristalina	Porfírica Señada	Pilotámica	
MICROESTRUCTURAS:	Mixta			
COMPONENTE	% TOTAL MINERALES:	%	CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:	
FENOCRISTALES:	Plagioclasa	30	Cristales incoloros, tabulares alargados, relieve medio, maclados, birrefringencia muy débil, biaxial(-)	
	Ortoproxeno	25	Cristales verde-castaño, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, biaxial(-)	
	Clinoproxeno	5	Cristales verde-castaño, prismáticos, relieve alto, birrefringencia fuerte, extinción inclinada, biaxial(+)	
MATRIZ:	Plagioclasa	10	Microcristales incoloros, tabulares alargados, relieve bajo, maclados, birrefringencia muy débil	
	Vidrio volcánico	20	Material incoloro, amorfo, isotrópico	
	Proxeno	5	Cristales incoloros, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, biaxial(-)	
MINERALES ACCESORIOS:				
MINERALES SECUNDARIOS:				
MINERALES OPACOS:	5	Sulfuros	5	Minerales de color negro con luz transmitida y amarillentos con luz reflejada
OBSERVACIONES GENERALES:	Roca volcánica porfírica con textura de flujo, compuesta por cristales de plagioclasa, la misma que presenta 4 generaciones de cristales que en ciertos casos presenta una textura fantasma posiblemente por cambios en la composición del magma. La presencia de cumulos de proxeno indica que la roca se encontraba en un proceso de diferenciación fraccional, la roca no presenta ningún tipo de alteración.			
NOMBRE DE LA ROCA:	ANDESITA PIROXÉNICA			



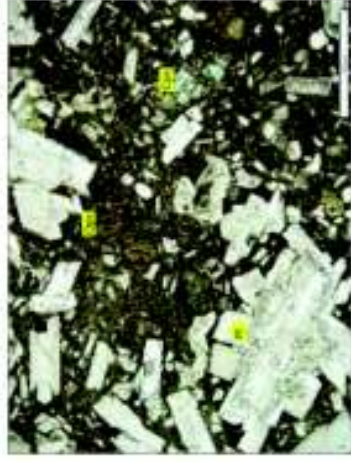
ANEXO VII

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"

FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS ÍGNEAS

HOJA GEOLÓGICA: IBARRA  
 FECHA: 14/11/2017  
 COLECTOR: José Galarraga  
 COORDENADAS UTM (WGS 84): X: 820465 Y: 43880 Z: 2189  
 CÓDIGO: JST-002  
 DESCRITO POR: José Galarraga

MICROFOTOGRAFÍAS  
LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MICROTEXTURAS:	Hipocristalina	Porfírica Señada
MICROESTRUCTURAS:	Vesículas	
COMPONENTE	% TOTAL MINERALES:	%
FENOCRISTALES:	Plagioclasa	25
	Ortopiroxeno	15
	Clinopiroxeno	10
	Vesículas	10
MATRIZ:	Plagioclasa	15
	Vidrio volcánico	20
MINERALES ACCESORIOS:		
MINERALES SECUNDARIOS:		
MINERALES OPACOS:	5	5
OBSERVACIONES GENERALES:	Roca volcánica porfírica en la que se pueden reconocer cuatro generaciones de cristales de plagioclasa. La muestra está compuesta por plagioclasa, orto y clinopiroxeno en una matriz de microlitos de plagioclasa y vidrio volcánico, además presenta un importante porcentaje de vesículas. Minerales de color negro con luz transmitida y grises con luz reflejada, posible magnetita. CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS: Cristales incoloros, tabulares alargados, relieve bajo, macledos, birrefringencia muy débil, biaxial(-) Cristales verde-castaño, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, biaxial(-) Cristales verde-castaño, prismáticos, relieve alto, birrefringencia fuerte, extinción inclinada, biaxial(+) Vacíos provocados por la exolución de gases Material incoloro, amorfo, isotrópico	
NOMBRE DE LA ROCA:	ANDESITA DE DOS PIROXENOS	

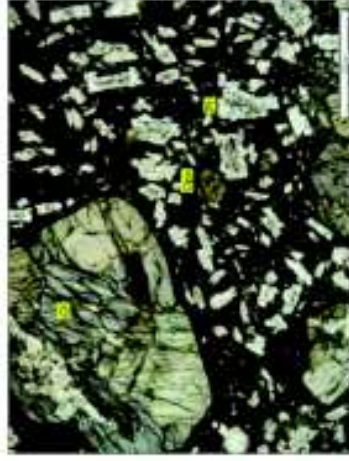
ANEXO IX

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"

FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS ÍGNEAS

**HOJA GEOLOGICA:** IBARRA **CÓDIGO:** JGT-M5  
**FECHA:** 13/11/2017 **DESCRITO POR:** Josué Galárraga  
**COLECTOR:** Josué Galárraga  
**COORDENADAS UTM (WGS 84)** X: 817366 Y: 42209 Z:

MICROFOTOGRAFÍAS  
LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

<b>MICROTEXTURAS:</b>	Hipocristalina	Porfírica Señada	
<b>MICROESTRUCTURAS:</b>	Mixta		
<b>COMPONENTE</b>	<b>%TOTAL MINERALES:</b>	<b>%</b>	<b>CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:</b>
<b>FENOCRISTALES:</b>	60 Plagioclasa	25	Cristales incolores, tabulares alargados, relieve bajo, maciados, birrefringencia muy débil, biaxial(-)
	Ortoproxeno	15	Cristales castaño-verde, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, biaxial(-)
	Hornblenda	15	Cristales castaños, subhedral, birrefringencia moderada, relieve medio, biaxial(-)
	Olivino	5	Cristales incolores, subhedral, relieve alto, birrefringencia extrema, biaxial(-)
<b>MATRIZ:</b>	35 Plagioclasa	15	Microcristales incolores, tabulares alargados, relieve bajo, maciados, birrefringencia muy débil
	Vidrio volcánico	20	Material incoloro, amorfo, isotrópico
<b>MINERALES ACCESORIOS:</b>			
<b>MINERALES SECUNDARIOS:</b>			
<b>MINERALES OPACOS:</b>	5 Óxidos de Fe	5	Minerales de color negro con luz transmitida y grises con luz reflejada, posible magnetita
<b>OBSERVACIONES GENERALES:</b>	Roca volcánica de composición intermedia, con textura porfírica, compuesta por plagioclasa, hornblenda, ortoproxeno y olivino como mineral asimilado posiblemente del basamento ultrabásico.		
<b>NOMBRE DE LA ROCA:</b>	ANDESITA OLIVÍNICA		





ANEXO X

PROYECTO DE TITULACION "NEOTECTONICA Y ESTRATIGRAFIA EN LA CIUDAD DE IBARRA"

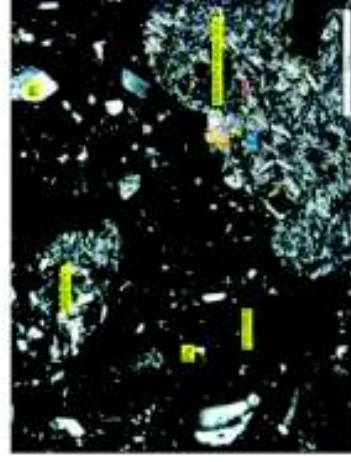
FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

HOJA GEOLOGICA: IBARRA      CÓDIGO: JGT-M2  
 FECHA: 09/11/2017      DESCRITO POR: Josué Galárraga  
 COLECTOR: Josué Galárraga  
 COORDENADAS UTM (WGS 84)      X: 824228      Y: 43025      Z: 2484

MICROFOTOGRAFÍAS  
LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MICROTEXTURAS:	Rudítica	Epiclástica	Brechosa
MICROESTRUCTURAS:	Másiva		
COMPONENTE	% TOTAL MINERALES:	% CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:	
	25	Plagioclasa	15
		Ortopiroxeno	10
MINERALES PRINCIPALES:			
MINERALES ACCESORIOS:			
MINERALES SECUNDARIOS:			
LITICOS:	50	Líticos Andesíticos	20
		Líticos And. Basáltica	15
		Líticos escoriaciones	15
CEMENTO /MATRIZ:	20	Silíceo	5
		Arcillos	15
MINERALES OPACOS:		Óxidos de Fe	5
OBSERVACIONES GENERALES:	Roca sedimentaria diálica con textura brechosa, compuesta por microcristales de plagioclasa, piroxeno y líticos de composición andesítica, andesita basáltica y escoria de composición andesítica, dispuestos en una matriz arcillosa. La presencia de plagioclasa y piroxeno son evidencia de un aporte exclusivamente volcánico.		
NOMBRE DE LA ROCA:	BRECHA POLIMÍCTICA		



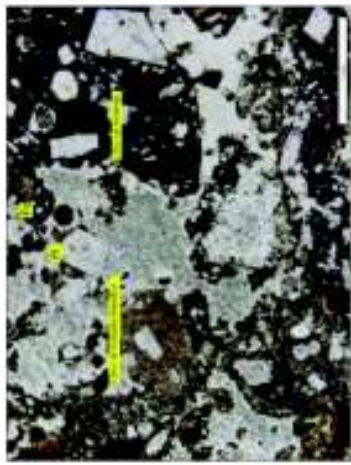
ANEXO XI

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"  
 FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

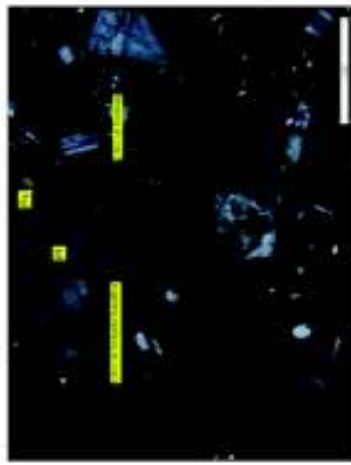
HOJA GEOLÓGICA: IBARRA  
 CÓDIGO: JST-M7  
 FECHA: 09/11/2017  
 DESCRITO POR: José Galarraga  
 COLECTOR: José Galarraga  
 Y: 38171 Z:   
 COORDENADAS UTM (WGS 84) X: 823634

		DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:	
MICROTEXTURAS:	Ruidica	Epiclastica	Brechosa
MICROESTRUCTURAS:	Mixta		
COMPONENTE	% TOTAL MINERALES:	% CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:	
40	Plagioclasa	25	Microcristales incolores, tabulares alargados, relieve bajo, macledos, birrefringencia muy débil
	Piroxeno	15	Cristales castaño-verde, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, basal( )
MINERALES PRINCIPALES:			
MINERALES ACCESORIOS:			
MINERALES SECUNDARIOS:			
LITICOS:	45	20	Líticos angulosos, hipocristalinos, porfiríticos, compuestos por plagioclasa y vidrio
		15	Líticos Angulosos, hipocristalinos, porfiríticos, traquíticos, compuestos por plagioclasa, piroxeno y vidrio
		10	Líticos angulosos, holoctistalinos, compuestos por piroxeno y plagioclasa
CEMENTO /MATRIZ:	10	5	Material incoloro, amorfo, birrefringencia débil
		5	Agregados pulverulentos de birrefringencia débil dispuestos como matriz
MINERALES OPACOS:	Óxidos de Fe de Fe	5	Minerales de color negro con luz transmitida y rojitos con luz reflejada, posible hematita
OBSERVACIONES GENERALES:	Roca volcánica, de textura brechosa compuesta por líticos angulosos de origen ígneo, se observa la presencia de cristales disgregados y fracturados de plagioclasa y piroxeno.		
NOMBRE DE LA ROCA:	BRECHA POLIMÍCTICA		

MICROFOTOGRAFÍAS  
 LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA



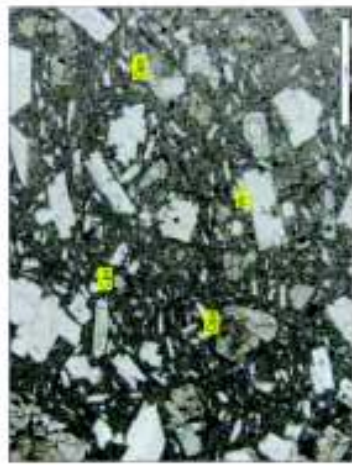
ANEXO XII

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"  
 FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS ÍGNEAS

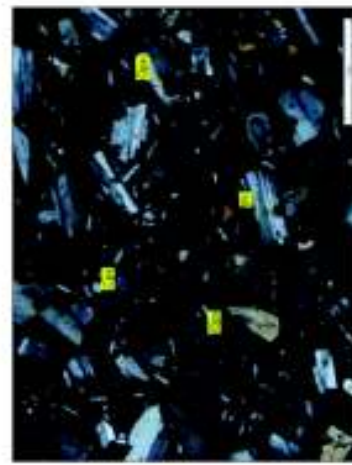


HOJA GEOLOGICA: IBARRA  
 FECHA: 02/01/2017  
 COLECTOR: José Galarraga  
 COORDENADAS UTM (WGS 84): X: 820711 Y: 41562 Z:   
 CÓDIGO: JGT-MG  
 DESCRITO POR: José Galarraga

MICROFOTOGRAFÍAS  
 LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MICROTEXTURAS:	Hipocristalina	Porfírica	Píctabica
MICROESTRUCTURAS:	Mixta		
COMPONENTE	% TOTAL MINERALES:	%	CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:
FINOCRISTALES:	Plagioclasa	25	Cristales incolores, tabulares alargados, relieve bajo, machados, birrefringencia muy débil, biaxial(-)
	Ortoproxeno	20	Cristales verde-castaño, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, biaxial(-)
	Clinoproxeno	15	Cristales verde-castaño, prismáticos, relieve alto, birrefringencia fuerte, extinción inclinada, biaxial(-)
MATRIZ:	Plagioclasa	20	Microcristales incolores, tabulares alargados, relieve bajo, machados, birrefringencia muy débil
	Vidrio volcánico	15	Material incoloro, amorfo, isométrico
MINERALES ACCESORIOS:			
MINERALES SECUNDARIOS:			
MINERALES OPACOS:	5	Sulfuros	5
OBSERVACIONES GENERALES:	Roca volcánica de composición intermedia, con textura porfírica y evidencia de fracturamiento de cristales. Se observan cúmulos de proxenos, lo que indica cristalización fraccional al momento de solidificarse.		
NOMBRE DE LA ROCA:	ANDESITA DE DOS PROXENOS		





ANEXO XIII

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"

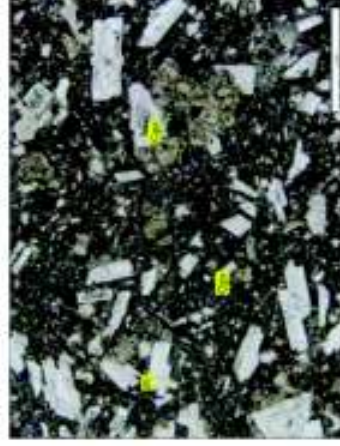
FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS ÍGNEAS

**UNIDAD GEOLÓGICA:** IBARRA **CÓDIGO:** JET-M6  
**FECHA:** 02/01/2018 **DESCRITO POR:** José Galarraga  
**COLECTOR:** José Galarraga **Y:** 39122 **Z:** \_\_\_\_\_  
**COORDENADAS UTM (WGS 84)** **X:** 816483

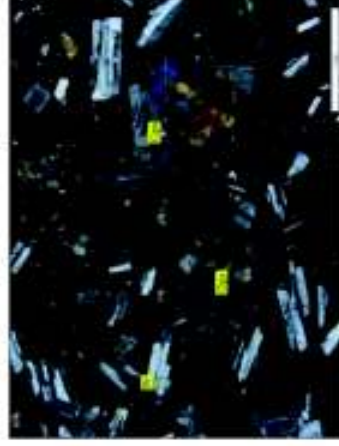
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MICROTEXTURAS:	Hipocristalina	Porfírica	Píotabica
MICROESTRUCTURAS:	Mixta		
COMPONENTE	% TOTAL MINERALES:	%	CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:
FENOCHRISTALES:	55 Plagioclasa	25	Cristales incoloros, tabulares alargados, relieve bajo, macledos, birrefringencia muy débil, biaxial(-)
	Clinopiroxeno	15	Cristales verde-castaño, prismáticos, relieve alto, birrefringencia fuerte, extinción inclinada, biaxial(+)
	Oriopiroxeno	15	Cristales verde-castaño, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, biaxial(-)
MATRIZ:	40 Plagioclasa	20	Microcristales incoloros, tabulares alargados, relieve bajo, macledos, birrefringencia muy débil
	Vidrio volcánica	20	Material incoloro, amorfo, isotrópico
MINERALES ACCESORIOS:			
MINERALES SECUNDARIOS:			
MINERALES OPACOS:	5 Óxidos de Fe	5	Minerales de color negro con luz transmitida y grises con luz reflejada, posible magnetita
OBSERVACIONES GENERALES:	Roca volcánica de textura pliotabica, con tres generaciones de cristales de plagioclasa, lo que indica procesos de contaminación del magma y la presencia de cúmulos indica cristalización fraccional.		
NOMBRE DE LA ROCA:	ANDESITA DE DOS PIROXENOS		

MICROFOTOGRAFÍAS  
LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA





ANEXO XIV

PROYECTO DE TITULACIÓN "NEOTECTÓNICA Y ESTRATIGRAFÍA EN LA CIUDAD DE IBARRA"

FICHA DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS ÍGNEAS

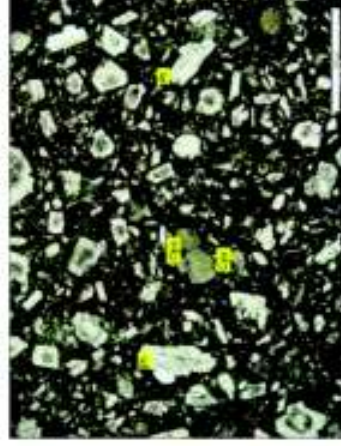
INSTITUCIÓN:	IBARRA	CÓDIGO:	JGT-M1
FECHA:	09/11/2017	DESCRITO POR:	Josué Galarraga
COLECTOR:	Josué Galarraga	Y:	37688
COORDENADAS UTM (WGS 84)	X: 817539	Z:	2227

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

MICROTEXTURAS:	Hipocristalina	Porfírica Señada		
MICROESTRUCTURAS:	Mixta	Vesículas		
COMPONENTE	%TOTAL MINERALES:	%	CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS:	
FENOCRISTALES:	Plagioclasa	35	Cristales incoloros, tabulares alargados, relieve bajo, maclados, birrefringencia muy débil, biaxial(-)	
	Ortopiroxeno	15	Cristales verde-castaño, pleocroicos, prismáticos, relieve alto, birref. Débil, extinción paralela, biaxial(-)	
	Clinopiroxeno	10	Cristales verde-castaño, prismaédicos, relieve alto, birrefringencia fuerte, extinción inclinada, biaxial(+)	
MATRIZ:	Plagioclasa	20	Microcristales incoloros, tabulares alargados, relieve bajo, maclados, birrefringencia muy débil	
	Vidrio volcánica	15	Material incoloro, amorfo, isotrópico, en forma de agregados que forma la matriz	
MINERALES ACCESORIOS:				
MINERALES SECUNDARIOS:				
MINERALES OPACOS:	5	Opacos	5	Minerales de color negro con luz transmitida y grises con luz reflejada, posible magnetita
OBSERVACIONES GENERALES:	Roca ígnea extrusiva de textura hipocristalina, porfírica. Se observan tres generaciones de cristales de plagioclasa, orto y clinopiroxenos los cuales en ciertas zonas están formando cúmulos, lo que indica que el magma al momento de extruir estaba sufriendo un proceso de diferenciación fraccional. La muestra, en general no presenta ningún tipo de alteración o reemplazamiento de minerales.			

NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA DE DOS PIROXENOS

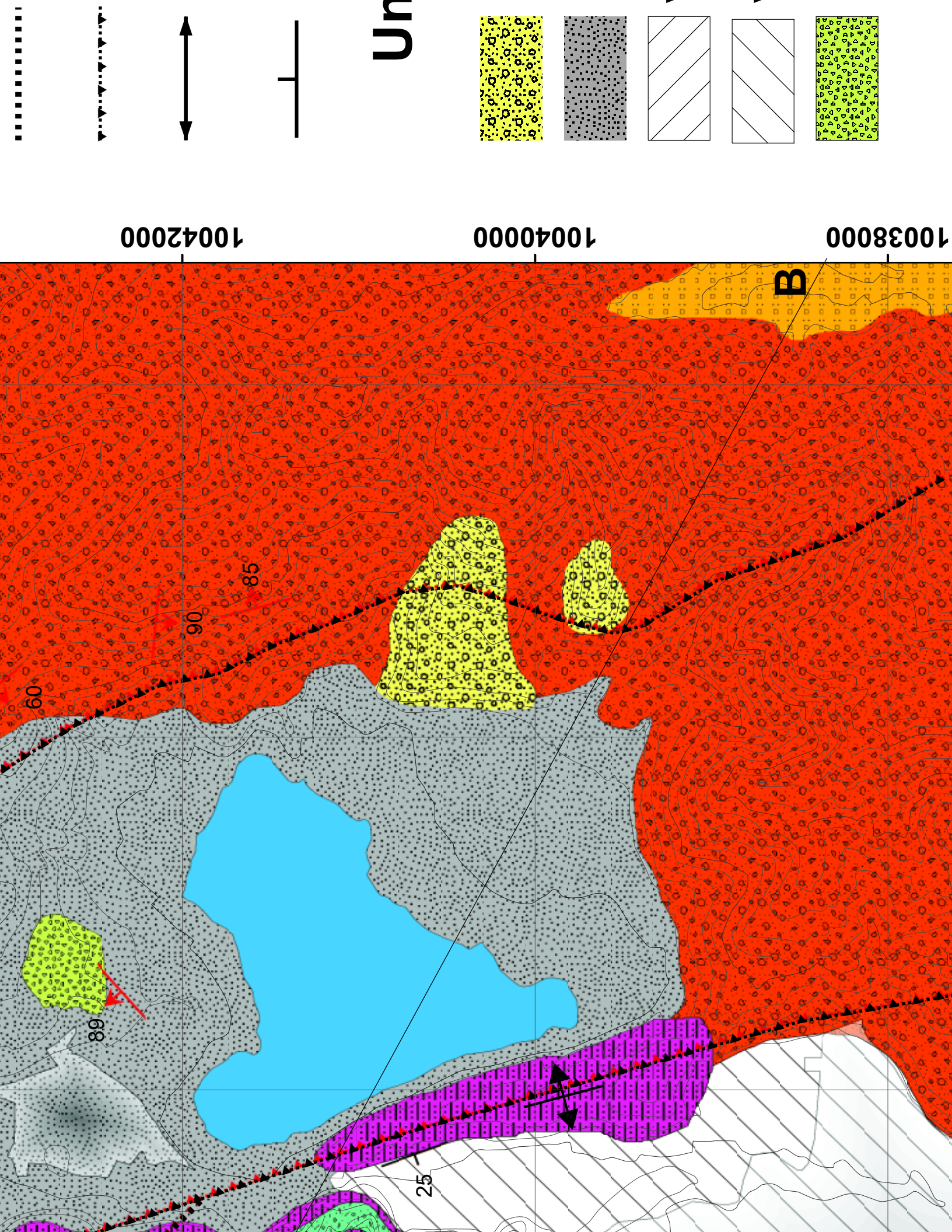
MICROFOTOGRAFÍAS  
LUZ NATURAL



LUZ POLARIZADA







# Perfil Geológico A-B

Ciudad  
de Ibarra

Q. Tahuando

