

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**ESTUDIO DE LA ESTRATIGRAFÍA Y DE LA EVOLUCIÓN
MORFOESTRUCTURAL DE LA SECUENCIA VOLCANO-
SEDIMENTARIA DE SACAPALCA AL NORTE DE CARIAMANGA -
PROVINCIA DE LOJA**

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

DIEGO JAVIER VINUEZA HERAS
diegovinueza89@gmail.com

Director: PhD. PEDRO REYES BENÍTEZ
pedro.reyes@epn.edu.ec

Quito, Febrero 2016

DECLARACIÓN

Yo, Diego Javier Vinueza Heras, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias que se incluyen en este documento.

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

Diego Javier Vinueza Heras

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Javier Vinueza Heras, bajo mi supervisión.

PhD. Pedro Santiago Reyes Benítez

DIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios que me ha dado la fortaleza para concluir esta etapa de mi vida, y que a pesar de todo siempre estuvo cuidándome.

A mami que ha sido mi ejemplo personal y me apoyó en todo lo que necesité para que este trabajo sea culminado.

Al Doctor Pedro Reyes, que más que un director es un amigo, que confió en mi y me guió con sus consejos en el transcurso de este proyecto de titulación.

A la PhD. Ana Cabero y el MSc. Fabián Villares que tuvieron la paciencia de revisar este proyecto de titulación, y me dieron buenos consejos para mejorarlo.

A mi hermano Juan C. que sin saber nada de geología me ayudó un montón en campo.

A mis amigos de Carlos Torres, Darío Fuentes, Rolando Jácome, Wilson Jiménez, que han estado pa' las que sea en las buenas y malas.

A los famosos Mera, Beto y Juan Fer. y claro a Milton Gonzaga (los tesisistas) que siempre están ahí, brindando su apoyo y hemos compartido buenos momentos.

A mis amigos Josselyn Rojas y Ricardo Cartagena que ayudaron en campo, siempre estaré agradecido por el acole.

A Diego Chamba y Michelle Endara que han sido buenos amigos y que me ayudaron en la realización de este trabajo.

A mis compañeros de facultad Maribel T., Diego N., Francisco V., Wilmer M., Marco A., quienes he compartido buenos momentos y de los cuales he aprendido mucho.

A mis profesores de la carrera que me inculcaron el amor por la geología, y me enseñaron más que clases lecciones de vida y que han sido un ejemplo, tanto personal como profesionalmente.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado para toda mi familia, en especial para mi mami Gloria H. que siempre nos ha sacado adelante, y me ha dado su apoyo desde siempre.

Para mi tía Magdalena V. que ha sido un soporte incondicional.

Para mis hermanos Ricardo y Juan Carlos.

Para mis abuelitos, que siempre estaré orgulloso de ellos.

RESUMEN

El presente trabajo geológico fue realizado en la provincia de Loja, al sur del Ecuador; se enfocó en el estudio litoestratigráfico y morfoestructural de la zona de Sacapalca, al norte de Cariamanga. Como objetivo principal se planteó proponer un modelo geológico para los bloques tectónicos que conforman el área. La información previa fue recopilada de investigaciones anteriores, mientras que la nueva información fue compilada durante jornadas de campo, que se complementaron con observaciones de imágenes satelitales y secciones delgadas realizadas a partir de muestras tomadas.

La estratigrafía de la zona estudiada está conformada por un relleno volcano-sedimentario, que empieza a la base con lavas y pórfidos de composición andesítica-basáltica interpretados como el Miembro Sacapalca Basal de edad Paleoceno. Sobre estos, se encuentran volcano-sedimentos, facies piroclásticas e intrusivos de la Formación Loma Blanca, del Eoceno superior al Oligoceno medio. Al tope, se depositó la Formación Gonzanamá que muestra facies de cuenca lacustre y se la interpretó, en este trabajo, del Mioceno Medio. Por último, la secuencia termina con flujos piroclásticos y pórfidos que se encuentran sobre las Formaciones Loma Blanca y Gonzanamá, interpretada como volcánicos del Mioceno Medio.

Estructuralmente el área se encuentra limitada por fallas que forman bloques tectónicos. Estos fueron determinados mediante la utilización de fotografías aéreas, imágenes satelitales y observaciones en campo. Se determinaron cinco bloques tectónicos: el Bloque Sur, Bloque Suroeste, el Bloque Oriental, Central y Occidental; estos tres últimos forman un sistema detachment, en el cual los bloques se encuentran basculados hacia el E, en un sistema de tipo "dominó". En estos, se observa la secuencia estratigráfica con polaridad normal que va desde las formaciones más antiguas en el bloque Occidental hasta la secuencia sedimentaria más joven en el Bloque Oriental. Los volcánicos Miocénicos se encuentran extendidos a lo largo del área estudiada.

La evolución de la zona, empezó con la formación de los volcánicos de Sacapalca en el Paleoceno. Un evento compresivo en el Oligoceno con depositación de

volcánicos y fujos piroclásticos. Un evento extensivo en el Mioceno con la creación de los Bloques Occidental, Central y Oriental. Por último un evento compresivo con reactivación de fallas antiguas que formó nuevas fallas inversas en la región.

ABSTRACT

The present geological study is located in the province of Loja, in southern Ecuador; it focused on lithostratigraphic and morphostructural analysis in Sacapalca area, north of Cariamanga. The main objective is contribute to a geological model for the tectonic blocks that make up the area. Information was compiled from previous research and new data was determined with field work, and satellite images observations. Samples and thin sections analysis were taken account for the discussion and conclusions.

The stratigraphy of the study area is formed by a volcano-sedimentary fill, beginning at the base with andesitic lavas and porphyry-basaltic composition interpreted as the Sacapalca Paleocene Formation. On the top, volcano-sediments, pyroclastic and intrusive facies assigned to Late Paleocene to Middle Oligocene were found at the area of study. At the top, the Gonzanamá Formation was deposited, interpreted as lake facies, with a Middle Miocene age. The sequence ends with pyroclastic flows and porphyries on the top of Oligocene volcanism and Gonzanamá Formation, corresponding to a Middle Miocene volcanic events.

The area is limited by main faults that segment tectonic blocks. Five tectonic blocks were determined using aerial photographs, satellite imagery and field observations: South, Southwest, Western, Eastern and Central Blocks. The last three blocks form a detachment system, in which the blocks are tilted to the E. In these blocks, the stratigraphic sequence is observed cropping out the oldest Formations in the Western Block and the younger sedimentary sequence in the Eastern Block. Volcanic attributed to Miocene are distributed throughout the study area.

The evolution of the area began with the formation of volcanic Sacapalca in the Paleocene. A compressive event in the Oligocene with deposition of volcanism and pyroclastic flows. An extensive event in the Miocene and the creation of the West,

Central and Eastern Blocks. Finally, a compressive event with reactivation of old faults that formed new inverse faults in the region.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XXIII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN Y MARCO GEODINÁMICO	1
1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS.....	1
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3. ALCANCE	3
1.4. METODOLOGÍA	4
1.5. ÁREA DE ESTUDIO	5
1.5.1. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	5
1.5.1. MORFOLOGÍA.....	5
1.5.2. HIDROGRAFÍA.....	7
1.5.3. CLIMA Y VEGETACIÓN	7
1.6. TRABAJOS PREVIOS REALIZADOS.....	8
1.7. MARCO GEODINÁMICO	10

CAPÍTULO 2	12
2. GEOLOGÍA REGIONAL	12
2.1. INTRODUCCIÓN	12
2.2. BASAMENTO METAMÓRFICO AUSTRAL	14
2.2.1. CORDILLERA REAL	14
2.2.2. CUENCA ALAMOR-LANCONES (CAL)	16
2.2.3. BLOQUE AMOTAPE-TAHUÍN (BAT).....	17
2.2.3.1. Sub-provincia I.....	18
2.2.3.2. Sub-provincia II.....	19
2.3. RELLENO VOLCANO-SEDIMENTARIO	19
2.3.1. FORMACIÓN SACAPALCA	19
2.3.2. FORMACIÓN LOMA BLANCA	20
2.3.2.1. Miembro Cuarzo-Porfirítico Purunuma	20
2.3.2.2. Miembro Solanda.....	21
2.3.3. FORMACIÓN QUINARA.....	21
2.4. RELLENO SEDIMENTARIO AUSTRAL.....	21
CAPÍTULO 3	24
3. GEOLOGÍA LOCAL: LITOESTRATIGRAFÍA	24
3.1. GEOLOGÍA LOCAL	24
3.2. BASAMENTO.....	24
3.2.1. UNIDAD CHIGUINDA	24
3.2.2. UNIDAD TRES LAGUNAS	25
3.3. FORMACIÓN SACAPALCA.....	26
3.3.1. MIEMBRO SACAPALCA BASAL / UNIDAD CHANGAIMINA	26
3.3.2. MIEMBRO TOBAS.....	33
3.4. EQUIVALENTES DE LA FORMACIÓN LOMA BLANCA	42
3.4.1. MIEMBRO CUARZO-PORFIRÍTICO PURUNUMA.....	43

1.1.1. MIEMBRO VOLCANO-SEDIMENTARIO	44
1.1.1. MIEMBRO VOLCANO-CLÁSTICO	51
1.1.1. MIEMBRO BRECHAS SUPERIORES	60
3.5. ROCAS INTRUSIVAS	65
3.5.1. INTRUSIVO PALO BLANCO	65
3.5.2. DIQUES	68
3.5.3. PÓRFIDOS	69
3.5.3.1. Pórfidos del Eoceno	69
3.5.3.2. Pórfidos del Mioceno	70
3.5.3.3. Pórfidos indiferenciados	71
3.6. FORMACIÓN GONZANAMÁ	72
3.6.1. GONZANAMÁ BASAL	73
3.6.2. GONZANAMÁ INTERMEDIO	74
3.6.3. GONZANAMÁ SUPERIOR	75
3.6.4. DEFORMACIÓN POR PÓRFIDOS	78
3.7. VOLCANISMO MIOCÉNICO	80
3.8. DEPÓSITOS CUATERNARIOS	88
CAPÍTULO 4	93
4. GEOMORFOLOGÍA ESTRUCTURAL	93
4.1. INTRODUCCIÓN	93
4.2. DOMINIOS MORFOESTRUCTURALES	95
4.2.1. GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA ORIENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	97
4.2.2. GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA CENTRAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	98
4.2.3. GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA OCCIDENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	99

4.3. ESTRUCTURAS	99
4.3.1. ESTRUCTURAS REGIONALES.....	99
4.3.2. ESTRUCTURAS LOCALES	100
4.3.2.1. Fallas de segmentación dentro de la zona de estudio.....	101
4.4. BLOQUES TECTÓNICOS	105
4.4.1. ESTRUCTURACIÓN DE LOS BLOQUES	107
4.4.1.1. Bloque Oriental	107
4.4.1.2. Bloque Central	111
4.4.1.3. Bloque Occidental.....	116
4.4.1.4. Bloque Sur y Suroeste.....	119
4.4.2. BASCULAMIENTO DE LOS BLOQUES.....	120
CAPÍTULO 5	121
5. MODELO DE EVOLUCIÓN Y DISCUSIÓN.....	121
5.1. SÍNTESIS LITOLÓGICA DEL ÁREA ESTUDIADA	121
5.1.1. BLOQUE OCCIDENTAL Y SUROESTE.....	123
5.1.2. BLOQUE CENTRAL	124
5.1.3. BLOQUE ORIENTAL	125
5.1.4. BLOQUE SUR	126
5.2. SÍNTESIS TECTÓNICA DEL ÁREA ESTUDIADA.....	127
5.3. MODELO DE EVOLUCIÓN	128
5.4. DISCUSIÓN	134
CAPÍTULO 6	138
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
7. BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS	148
Anexo 1.....	149
Anexo 2.....	150

Anexo 3.....	151
Anexo 4.....	152
Anexo 5.....	153
Anexo 6.....	154
Anexo 7.....	155
Anexo 8.....	156
Anexo 9.....	157
Anexo 10.....	160
Anexo 11.....	161
Anexo 12.....	162
Anexo 13.....	164
Anexo 14.....	165
Anexo 15.....	196

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de la zona de estudio, ubicado en la provincia de Loja.....	6
Figura 1.2: Microcuencas cantón Gonzanamá (Tomado del GAD Gonzanamá, 2011).	7
Figura 1.3: Marco geodinámico de la parte norte de Sudamérica y principales estructuras tectónicas. Subducción de la placa de Nazca debajo de la Sudamericana (Tomado de Silva, 2007; Modificado de Gutscher 1999).	11
Figura 2.1: Esquema geológico regional; cuadro rojo, zona de estudio (Modificado de DINAGE, 2005).....	14
Figura 2.2: Mapa general del BAT (Modificado de Aspden et al., 1995).....	18
Figura 2.3: Modelo paleo-estructural del sur de Ecuador entre el Mioceno medio al Mioceno superior. BLAFZ: Zona de falla Baños-Las Aradas; ChC: Cordillera Chongón Colonche; CE: Ensenada Cuenca; CPFZ: Zona de falla Calacalí-Pallatanga; JF: Falla Jubones; JTB: Cuenca Jambelí-Túmbez; LE: Ensenada Loja; MB: Cuenca de Manabí; PI: Elevación Playas; PB: Cuenca Progreso; SE: Elevación Santa Elena; SS: Elevación Santa Rosa-Saraguro. A) Reconstrucción tectónica regional del Mioceno medio. B) Ingreso marino en las ensenadas de Cuenca y Loja, con relleno de los mares someros del este debido a la	

entrada de sistemas fluviales y deltaicos. C) En el Mioceno superior comenzó la compresión E-W, pero continuó un movimiento NNE de las unidades del antearco causado por una subsidencia de la cuenca Jambelí-Túmbez contemporánea; en la región interandina el levantamiento y la sedimentación ocurrió en las cuencas Intramontañosas (Tomado de Hungerbühler et al., 2002).	23
Figura 4.1: Delimitación de la cuenca del Río Catamayo entre las cartas de Catacocha, Nambacola, Gonzanamá y Cariamanga	94
Figura 4.2: Dominio sedimentario en el sector de Gonzanamá (a) y Nambacola (b), relieves bajos; c) Dominio volcánico con relieves altos; d) Dominio volcano-sedimentario.....	96
Figura 4.3: a) Escarpe con facetas triangulares en el sector de Potrerillos, evidencia de una falla normal afectando al intrusivo Palo Blanco y a las capas orientales (Google, Images CNES / Astrium, 2015). b) Ejemplo de formación de facetas indicadoras de una falla (Tomado de Martonne, 1909, en Gutiérrez, 2008)	102
Figura 4.4: Facetas triangulares en el sector de la parroquia de Sacapalca, evidencia de una posible falla similar a la de Potrerillos (vista al NE de la figura), pero menos desarrollada, que provoca que los volcano-sedimentos de la Fm. Loma Blanca que se encuentran al oriente, basculen hacia el E (Google, Images CNES / Astrium, 2015).....	103
Figura 4.5: Falla inferida en el sector de Pusanuma (línea entrecortada roja), al W de Changaimina se observa facetas triangulares poco desarrolladas, al igual que un gran escarpe en el sector de Changaimina que confirma la falla en el sector; se determinó una falla en dirección E-W (UTM: 0661684 / 9535333) que provoca bloques caídos con fallas normales más pequeñas; al W se observa la falla Ningomine de determinada por Kennerley, 1973 (línea entrecortada negra) imágenes satelitales tomadas de www.sigtierras.gob.ec, MAGAP, 2015.	104
Figura 4.6: Falla en el sector del cantón Gonzanamá que levanta el Bloque Sur al lado oeste de la falla la cual se consideró inactiva (Google, Images CNES / Astrium, 2015).	104
Figura 4.7: Falla inversa en el sector NW de Nambacola que levanta los sedimentos de la Fm. Gonzanamá ubicados al sur de la falla (Google, Images CNES / Astrium, 2015)....	105
Figura 4.8: Bloques tectónicos determinados en el área de estudio. El Bloque Sur se encuentra levantado, y del cual se desprenden N los Bloques Occidental y Central.....	106
Figura 4.9: Columna litológica sintética del Bloque Oriental.....	110
Figura 4.10: Proyección estereográfica de los polos de las medidas estructurales del Bloque Oriental, y el plano de basculamiento promedio del bloque con 100°/35° en azimut de buzamiento.	110
Figura 4.11: Esquema del Bloque Central basculado en el sector de la falla Potrerillos, las capas se encuentran erosionadas hacia el W, por lo que al observar se tiene la columna	

estratigráfica desde lo más antiguo a lo más joven de W a E. En la parte superior del intrusivo en reportó volcánicos atribuidos a la Fm. Loma Blanca y sedimentos detríticos de la Fm. Gonzanamá.	112
Figura 4.12: Columna litológica sintética del Bloque Central.	115
Figura 4.13: Proyección estereográfica de los polos de las medidas estructurales del Bloque Central, y el plano de basculamiento promedio del bloque con $87^{\circ}/30^{\circ}$ en azimut de buzamiento.	116
Figura 4.14: Proyección estereográfica de los polos de las medidas estructurales del Bloque Occidental, y el plano de basculamiento promedio del bloque con $81^{\circ}/13^{\circ}$ en azimut de buzamiento.	117
Figura 4.15: Corte esquemático W-E en el centro de los bloques basculados. Falla lítrica (Bloque Oriental) y en dominó (Bloque Central), con una combinación de una falla plana (Bloque Occidental). La Formación Quinara no se encuentra basculada por lo que fue depositada posterior a la tectónica extensiva o fue sin-extensional.	117
Figura 4.16: Columna litológica sintética del Bloque Occidental y Bloque Suroeste.	118
Figura 4.17: Columna litológica sintética del Bloque Sur. Entre el Mb. Brechas Superiores se observó pórfidos miocénicos.	119
Figura 4.18: Relación entre los planos promediados de los tres Bloques principales el Occidental (rojo), Central (verde), y Oriental (amarillo).	120
Figura 5.1: Pórfidos, depósitos de tobas (Mb. Tobas) y posibles direcciones de los flujos de lava que se formaron en el Cretácico Superior al Paleoceno Inferior atribuidos. Las lavas corresponden al Mb. Sacapalca Basal estas son interpretadas como parte del arco volcánico Sacapalca.	129
Figura 5.2: Paleogeografía de la zona entre finales de Eoceno a finales del Oligoceno en donde se tuvo una cuenca lacustre marginal con aportes sedimentarios pelíticos con direcciones de las flechas azules en el aporte sedimentario. La dirección fluvial pudo ser E-W debido que conglomerados son encontrados hacia el E con un decrecimiento de tamaño de grano hacia el W. En el Oligoceno inferior ocurre un evento compresivo que da lugar a la aparición de fallas inversas que provocan el levantamiento del Bloque Sur y con el cierre de la cuenca lacustre al W de la zona estudiada. Para el Oligoceno superior, el Intrusivo Palo Blanco, empezó a emplazarse sobre las andesitas del Mb. Sacapalca Basal y las brechas volcánicas del Miembro Brechas Superiores en el lado este del área de estudio.	130
Figura 5.3: Paleogeografía de la zona en el Mioceno Inferior ($\sim 17\text{Ma}$), ingreso de ambientes fluviales que dieron paso a la depositación de conglomerados atribuidos a la Formación Gonzanamá Basal. Mientras el área fue afectada por un evento extensivo se fueron	

formando fallas normales que posteriormente evolucionaron en un sistema dominó. La dirección fluvial pudo ser en dirección SE-NW, SW-NE y E-W ya que los conglomerados observados se encuentran en el lado este del área de estudio.	131
Figura 5.4: Paleogeografía a ~16Ma de la zona estudiada. A esta época se tiene un ambiente de cuenca lacustre evidenciado por la Formación Gonzanamá. Los aportes sedimentarios pudieron venir del SW (flecha amarilla), en el mismo tiempo continuó la apertura extensiva en la zona (flechas azules). Probablemente a esta época, la falla Potrerillos empieza a seccionar el área. Pórfidos atribuidos a un volcanismo contemporáneo afectó a los sedimentos de la Formación Gonzanamá, y las brechas volcánicas de la Formación Loma Blanca intruyendo diques en estas últimas.....	132
Figura 5.5: En el Mioceno Medio (~15-13 Ma), se tuvo la formación de un sistema de fallas en dominó que seccionó el área de estudio en los Bloques Tectónicos Oriental, Central y Occidental. Las fallas normales provocaron el basculamiento de los bloques hacia el ENE.	133
Figura 5.6: Desde el Mioceno superior (~9 Ma), tiene a lugar un evento compresivo que provoca una inversión tectónica que dio paso a reactivación de fallas inversas y creación de una falla inversa en el Bloque Oriental que levanta los sedimentos de la Formación Gonzanamá.	134
Figura 5.7: Modelo de inversión tectónica para fallas tipo dominó, posible efecto sobre los depósitos sin-extensionales de los volcánicos Miocénicos (Modificado de Cristallini, 1998).	137

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1: Filitas de la Unidad Chiguinda como basamento al este del área (UTM: 0685049 / 9536159).....	25
Fotografía 3.2: a) Lavas andesíticas grises verdosas atribuidas a el Miembro Sacapalca Basal (UTM: 0673259 / 9549295); b) Andesitas de textura afanítica, de color gris oscura a verdosa, con vetas rellenas (UTM: 0667367 / 9543163).	27
Fotografía 3.3: Afloramiento de lavas de andesitas basálticas verdes a rojizas en 0664443 / 9539679, porfiríticas, con cristales de plagioclasa; las lavas se encuentran fracturadas.	27
Fotografía 3.4: Miembro Sacapalca Basal (0669384 / 9538990), andesitas de textura porfirítica, de color verdoso a púrpura; ciertas muestras poseen xenolitos de origen metamórfico.	28

Fotografía 3.5: Andesitas de la unidad Changaimina: a) Andesitas en el UTM: 0664449 / 9535184; b) Andesitas alteradas en el punto 0663457 / 9533804; c) Andesitas en la parte inferior del punto a. UTM: 0663130 / 9534663.	29
Fotografía 3.6: Lámina delgada de la muestra 2014-GZ-13, andesita cloritizada, plag=plagioclasa, cpx=clinopiroxeno, cl=clorita, ser=sericita, cal=calcita. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.	29
Fotografía 3.7: Lámina delgada de la muestra 2015-CH-09, andesita epidotizada, plag=plagioclasa, px=piroxeno epidotizado, ep=epidota, hb=hornblenda, matriz. Aumento 2,5x, izq.: luz normal; der.: luz polarizada (UTM: 0664449 / 9535184).	30
Fotografía 3.8: Sección delgada de la muestra 2015-SC-15.2 (UTM: 0666820 / 9544316), lava de andesita basáltica, compuesta de plag=plagioclasa, y una matriz de plagioclasa, vidrio volcánico, se observa fracturas y zonas de alteración a arcilla entre la matriz. Aumento 2,5x, izq.: luz normal; der.: luz polarizada.	31
Fotografía 3.9: a) Andesitas grisáceas porfíricas, parte oeste del área de estudio. b) Lavas andesíticas lajadas y deformadas, en 0660705/9531369. c) Andesitas diaclasadas grises rojizas de la unidad Changaimina. d) Andesitas con fracturas rellenas de cuarzo, pertenecientes a la Fm. Sacapalca.	32
Fotografía 3.10: Secuencia de tobas ignimbríticas de composición andesítica en 0666039 / 9537781, sector "Y" de Sacapalca-Changaimina.	34
Fotografía 3.11: Lámina delgada, toba ácida (muestra 2015-GZ-20.1), plag=plagioclasa, ep=epidota. Aumento 2,5x, izq.: luz normal, der.: luz polarizada (UTM: 0666039 / 9537781).	35
Fotografía 3.12: Muestra 2014-GZ-20.2 correspondiente a una toba vítrea; qz=cuarzo, plag=plagioclasa, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada (UTM: 0666039 / 9537781).	35
Fotografía 3.13: Tobas retrabajadas en el sector de Sacapalca (UTM: 0664915 / 9541514): a) Toba café verdosa cuarzo feldespática; b) Toba arenosa verde, cuarzo feldespática cloritizada.	36
Fotografía 3.14: Contacto entre tobas retrabajadas de color café verdoso a la base con flujos piroclásticos rosados silicificados al tope (UTM: 0665024 / 9541957).	37
Fotografía 3.15: Toba verde de Sacairo a) Loma afectada por la alteración clorita-epidota, litológicamente se conforma de flujos piroclásticos de tobas verdes, encontrada en el sector de Sacairo (UTM: 0664324 / 9543435); b) Secuencia de areniscas volcánicas verdes retrabajadas e intercaladas con arcillas volcánicas color caqui rojizo (UTM: 665071 / 9542515); c) Toba verde con tamaño de clastos de lapilli muy consolidada, sector de Sacairo (UTM: 664618 / 9543096).	38

Fotografía 3.16: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-16 (UTM: 0666169 / 9539233), toba verde epidotizada. Aumento 2,5x; plag= plagioclasa, hb= hornblenda, qz= cuarzo, feld K= feldespato potásico; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.	39
Fotografía 3.17: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-36, toba verde epidotizada (UTM: 0664618 / 9543096). Aumento 2,5x; plag= plagioclasa, hb= hornblenda, qz= cuarzo, feld K= feldespato potásico, cl=clorita; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.	39
Fotografía 3.18: Muestra 2015-SC-17 (UTM: 0666169 / 9539233), toba rosácea, con feld K=feldespato potásico, plag=plagioclasa, hb=hornblenda, líticos y matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.; luz polarizada.	40
Fotografía 3.19 (Pág. anterior): Muestra 2015-SC-20.2 (UTM: 0665402 / 9542043, toba bandeada (ignimbrita), con plag=plagioclasa, feld K=feldespato potásico, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.; luz polarizada.	40
Fotografía 3.20: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-03 (UTM: 0663587 / 9547281), se observa una orientación preferencial de los cristales indicando la dirección de flujo; plag= plagioclasa, opx=ortopiroxeno, cl=clorita. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.	41
Fotografía 3.21: Lámina delgada de la muestra 2015-NB-17, toba lítica cloritizada; plag=plagioclasa, feld K=feldespato potásico, cl=clorita. Aumento 2,5x, izq.: luz normal; der.: nicoles cruzados.	42
Fotografía 3.22: Lámina delgada de la muestra 2014-GZ-1.2, Miembro Cuarzo-Porfírico Purunuma (UTM: 0682158 / 9534444); plag: plagioclasa, feld K: feldespato potásico, qz: cuarzo. Aumento 2,5x, izq.: luz normal; der.: nicoles cruzados.	43
Fotografía 3.23: Conglomerados y brechas volcánicas atribuidos a la Mb. Volcano-sedimentos: a) Conglomerado en el punto UTM: 0661414 / 9531618; b) Brecha clasto soportada (UTM: 0660323 / 9538334).	44
Fotografía 3.24: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-19 (UTM: 0657522/9537613). Matriz de las brechas volcánicas basales de la Fm. Loma Blanca, compuesta de una toba cristalina-lítica con plag=plagioclasa, feld K= feldespato potásico, hb=hornblenda, qz=cuarzo. Aumento de 2,5x; izq.: luz normal, der.: nicoles cruzados.	46
Fotografía 3.25: Muestra 2015-SC-09 en lámina delgada, toba con tamaño de grano lapilli, matriz de las brechas volcánicas basales. Abreviación: plag=plagioclasa, cl=clorita. Aumento 2,5x. Izq.: luz normal; der.: luz polarizada.	46
Fotografía 3.26: Conglomerados atribuidos al Miembro Volcano-sedimentario, que subyacen en discordancia a brechas volcánicas correspondientes posiblemente al Mb. Brechas Superiores en 0669371/9539172. (Escala: Geólogo Milton A. Gonzaga).....	47

Fotografía 3.27: Conglomerados, clasto soportado, muy consolidados (a y b), atribuidos al Mb. Volcano-sedimentos en el punto UTM: 0664936 / 9539820.	47
Fotografía 3.28: Secuencia de volcano-sedimentos atribuidos al Mb. Volcano-sedimentos, secuencia de areniscas, limos y lutitas, y al tope se encuentran conglomerados (UTM: 0660404 / 9531397).	48
Fotografía 3.29: Mb. Volcano-sedimentos, sector de Pusanuma: a) Secuencia intercalada de limos y areniscas volcánicas basculadas hacia el E (UTM: 0659177 / 9536875); b) Secuencia de tobas y areniscas intercaladas subhorizontales (UTM: 0660903 / 9536514); c) Volcano sedimentos compuestos de brechas volcánicas a la base, red beds, tobas amarillentas, al tope brecha volcánica, inclinadas localmente hacia el N (UTM: 0660475 / 9536692); d) Capas de red beds laminadas con plagioclasa y feldespato potásico.	49
Fotografía 3.30: Brechas volcánicas de Mb. Volcano-clástica (Unidad La Cruz, Paleoceno INIGEMM, 2012) sobre capas rojas, limos y conglomerados atribuidos al Mb. Volcano-sedimentario (UTM: 0664515 / 9540103). La vegetación provoca un efecto visual en el contacto de las brechas y volcano-sedimentos, el cual hace parecer discordante.	50
Fotografía 3.31: Sección delgada de la muestra 2015-SC-11 (UTM: 0667174 / 9538389) toba con líticos de tamaño de grano lapilli, con plagioclasa (plag), hornblenda (hb), clorita (cl), en la foto no se observa líticos los cuales se encuentran en un 8% del total de la muestra en una matriz compuesta de ceniza, plagioclasa y vidrio principalmente. Aumento 2,5x. Fotografía izquierda con luz normal, derecha con luz polarizada.	52
Fotografía 3.32: Muestra 2015-SC-34 en sección delgada. Toba cristalina de composición andesítica, con plagioclasa (plag), hornblenda (hb), matriz compuesta de plagioclasa, anfíbol y ceniza. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.	53
Fotografía 3.33: Sección delgada de la muestra 2015-SC-12, matriz de las brechas volcánicas interpretada como una toba cristalina de textura cinerítica, con plag=plagioclasa, hb= hornblenda, cpx= clinopiroxeno, matriz de ceniza y arcilla. Aumento 2,5x, imagen izquierda: luz normal, imagen derecha: nicoles cruzados.	54
Fotografía 3.34: Brecha volcánica sobre las tobas café grisáceas consolidadas, matriz soportada, con clastos volcánicos y piroclásticos andesíticos que sobresalen de la matriz.	54
Fotografía 3.35: Muestra 2014-GZ-02 en la lámina delgada. Toba cristalina; plag=plagioclasa, hb=hornblenda, px=piroxeno, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada (UTM: 0680351 / 9537068).	56
Fotografía 3.36: Sección delgada de la muestra 2014-GZ-09 (UTM: 0676613/9542213), toba cristalina con plag=plagioclasa, hb=hornblenda, px=piroxeno y matriz. Aumento 2,5x, foto izquierda: luz normal, foto derecha: luz polarizada.	56

Fotografía 3.37: Secuencia del Mb. Volcano-clástico: a) Brechas volcánicas, a la base de la secuencia volcano-clástica descrita; b) Micro-conglomerado sobre las areniscas volcánicas, parte de la secuencia volcano-clástica; c) y d) Brecha volcánica sobre las tobas café grisáceas consolidadas, matriz soportada, con clastos volcánicos y piroclásticos andesíticos que sobresalen de la matriz; e) Capas de tobas café grisáceas a la base, brecha volcánica (c y d) a la que se sobrepone una arenisca arcillosa volcánica amarillenta, con líticos volcánicos, plagioclasa, anfíbol, en matriz con tamaño de grano arcilla; f) Arenisca volcánica negra con anfíboles en un 10% que se sobrepone a una toba color caqui; g) Conglomerado similar al de (b) pero con clastos de tamaño entre 5 y 10 cm; h) Brecha volcánica con clastos dacíticos de tamaño decimétrico a métrico al tope de la secuencia antes descrita; i) Secuencia de las capa descritas, con vista N 170°, capas buzando al E.....	57
Fotografía 3.38: Toba blanca en el Cerro Surapo, muestra 2015-SC-02 (UTM: 0667111/9538966); a) Muestra de mano toba blanca con cristales de anfíbol oxidados; b) Lámina delgada de la muestra, con plag=plagioclasa, hb=hornblenda, ep=epidota, matriz. Aumento 2,5x, izq.: luz normal, der.: nicoles cruzados.....	58
Fotografía 3.39: Toba blanca en el área de Sacapalca: a) b) y c) Toba blanca alterada en el punto UTM: 0666222 / 9537621, muestras 2015-GZ-01 y 2015-SC-13; sobre estas se observa brechas volcánicas de la Fm. Loma Blanca superior; d) Toba blanca en el punto UTM: 0664962 / 9541781 al norte de Sacapalca, muestra 2014-GZ-21.....	58
Fotografía 3.40: Muestra 2015-GZ-01 (UTM: 0666222 / 9537621), toba cristalina en sección delgada con cristales orientados; qz=cuarzo, feld K= feldespato potásico, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.	59
Fotografía 3.41: Muestra 2014-GZ-21, UTM: 0664962 / 9541781, toba cristalina con plag= plagioclasa, cpx=clinopiroxeno, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: nicoles cruzados.	59
Fotografía 3.42: Brechas volcánicas del Mb. Brechas Superiores: a) Brecha volcánica cerca del poblado de Sacapalca (UTM: 0663872 / 9540224); b) Brechas volcánicas en las coordenadas UTM: 0664031 / 9538333; c) Brecha volcánica similar a las encontradas en la imagen a. (UTM: 0672929 / 9546095); d) Brechas volcánicas a la base de una secuencia volcano-clástica en UTM: 0667174 / 9538389.	61
Fotografía 3.43: Brechas volcánicas con clastos de andesitas en matriz volcánica bien soldada (UTM: 0670336 / 9535682).....	61
Fotografía 3.44: Brechas volcánicas atribuidas a la Fm. Loma Blanca, Miembro Brechas Superiores en el punto UTM: 0666606 / 9542973. Clastos verdosos, rojizos y grisáceos que se encuentran en una matriz compuesta de arena rojiza.	62

Fotografía 3.45: Brechas volcánicas alteradas, de color rosáceo: a) y b) clastos alterados de las brechas volcánicas superiores de la Formación Loma Blanca (UTM: 0669821 / 9532423); c) Afloramiento de las brechas alteradas en el punto UTM: 0669479 / 9533114, 5,5 km al Este de Changaimina.	63
Fotografía 3.46: Muestra 2015-SC-21 (UTM: 0670336 / 9535682) en lámina delgada. Matriz de las brechas volcánicas; qz= cuarzo, plag=plagioclasa. Aumento 2,5x; imagen izquierda: luz normal, imagen derecha: luz polarizada.	64
Fotografía 3.47: Fotografía panorámica del intrusivo Palo Blanco en el punto UTM: 0670807 / 9542438, composición granito con variaciones en ciertas partes a granodiorita.	66
Fotografía 3.48: Contacto entre las andesitas verdes de la Unidad Changaimina (Mb. Sacapalca Basal) y el intrusivo Palo Blanco, en el UTM: 0666239 / 9545303. Contacto irregular, con alternancia en entre el granito y las andesitas.	66
Fotografía 3.49: Sección delgada del intrusivo, muestra 2015-SC-26, en 0666759 / 9543342; qz= cuarzo, ort= ortoclasa, plag= plagioclasa. La plagioclasa se la observa alterada a arcilla. Aumento 2,5x, izq.: luz normal, der.: luz polarizada.	67
Fotografía 3.50: Granito con alto grado de alteración, encontrado en el oeste de la Quebrada Potrerillo (UTM: 0666759 / 9543342).	67
Fotografía 3.51: Lámina delgada de la muestra 2014-GZ-17 (UTM: 0665445 / 9536891); monzo-diorita compuesta de plag=plagioclasa, mcl=microclina, hb=hornblenda, ep=epidota, op=opacos. Aumento 2,5x, imagen izquierda: luz normal, imagen derecha: luz polarizada.	68
Fotografía 3.52: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-10 (UTM: 0669013 / 9536280); andesita compuesta de plag=plagioclasa, hb=hornblenda, px=piroxeno. Aumento 2,5x, imagen izquierda: luz normal, imagen derecha: luz polarizada.	69
Fotografía 3.53: Lámina delgada de la muestra 2015-GZ-02, composición granítica, con plag=plagioclasa, feld K= feldespato potásico, qz= cuarzo, arcilla. Aumento de 2,5x, izq.: luz normal; der.: luz polarizada.	70
Fotografía 3.54: Pórfido de riocitas, muy alterado a arcilla, poco consolidado; a) Pórfido en el punto UTM: 0673118 / 9535231 y b) Pórfido alterado a arcilla en el punto UTM: 0672895 / 9535171.	71
Fotografía 3.55: Formación Gonzanamá basal: a) Conglomerados basales estratificados en el punto UTM: 0670570 / 9545843, sector de Illaca; b) Conglomerados basales pertenecientes a la Formación Gonzanamá (UTM: 0672767 / 9533913).	73
Fotografía 3.56: a) y b) Capas intercaladas de areniscas y lutitas negras estratificadas, correspondiente a la parte media de la Formación Gonzanamá (UTM: 0673775 / 9533294).	74

Fotografía 3.57: Lámina delgada de la muestra 2015-GZ-4.2 (UTM: 0674496 / 9533006), toba arenosa retrabajada y cloritizada; con plag=plagioclasa, cl=clorita, arcilla como cemento. Aumento 2,5x, imagen izq.: luz normal, imagen der.: luz polarizada.....	75
Fotografía 3.58: a) Formación Gonzanamá superior en el sector de Pueblo Nuevo (UTM: 0669632 / 9540106); b) Oolitos observados en el afloramiento en limos blancos amarillentos a verdosos; c) Capa de areniscas con líticos blancos grisáceos, de grano arena fina a limo con cemento ferruginoso-arcilloso; d) Capa de microbrecha con clastos cuarzosos de tamaño 2-3 cm sorteo malo en matriz cuarzo-feldespático de origen volcánico, cemento silíceo, clastos volcánicos porfiríticos andesíticos, cuarzosos.....	76
Fotografía 3.59: Brechas volcánicas sobre la Formación Gonzanamá (UTM: 0675293 / 9532349); imagen izquierda vista al N 100°, imagen derecha a 7 metros al S de la imagen izquierda, vista N 90°.....	77
Fotografía 3.60: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-22 (UTM: 0669638 / 9539440), arenisca arcosa, feld K=feldespato potásico, qz=cuarzo, plag=plagioclasa, arcilla como cemento, cristales subangulares a subredondeados. Aumento 2,5x, imagen izq.: luz normal, imagen der.: luz polarizada.	77
Fotografía 3.61: Estratos de areniscas, limos y lutitas plegadas, anticlinal asimétrico, flanco occidental en la Fm. Gonzanamá (UTM: 0669638 / 9539440), en contacto con un pórfido andesítico al W.	78
Fotografía 3.62: Formación Gonzanamá afectada por metamorfismo de contacto, se observa los planos de foliación en las capas de meta-lutitas (UTM: 0669390 / 9540363).	78
Fotografía 3.63: Formación Gonzanamá afectada por metamorfismo de contacto debido a pórfidos emplazados, producto de volcanismo posterior a la Formación; a) y b) Fm. Gonzanamá entre un pórfido de composición andesítica en el punto UTM: 0681111 / 9536346; c) y d) Estratos de limos y areniscas de la Fm. Gonzanamá 15 m al E del punto en a).	79
Fotografía 3.64: Secuencia de volcano-sedimentos atribuidos al Mioceno Medio, capas subhorizontales, friables (UTM: 0662625 / 9541462).	83
Fotografía 3.65: Paleo-lahar correspondiente al volcanismo Miocénico (UTM: 0662797 / 9542015).	84
Fotografía 3.66: Volcánicos Miocénicos, compuestos de brechas volcánicas y lahares ligeramente estratificados en el punto UTM: 0664317 / 9529293.....	85
Fotografía 3.67: Brechas volcánicas poco consolidadas con clastos métricos de color anaranjado en matriz arenosa poco consolidada, del Mioceno.	85

Fotografía 3.68: Brechas volcánicas a la base y sobre estas paleo-lahares Miocénicos (UTM: 0664796 / 9529271).....	86
Fotografía 3.69: Brechas volcánicas clasto soportada y poco consolidadas, subhorizontales, que cortan a un paleo-lahar en las coordenadas UTM: 0664317 / 9529293.	86
Fotografía 3.70: Posible volcanismo del Mioceno al NE del área de estudio (UTM: 0672960 / 9548871), se encuentra sobre sedimentos erosionados de la Fm. Gonzanamá; se la consideró una toba compuesta de ceniza, y brecha en partes debido a la ocurrencia de varios clastos riolíticos.	87
Fotografía 3.71: Coluvial con clastos angulares de andesitas verdosas pertenecientes al Miembro Sacapalca Basal en el UTM: 0665443 / 9536885.....	89
Fotografía 3.72: Terrazas cuaternarias por depósitos fluviales en discordancia sobre el Mb. Sacapalca Basal (UTM: 0673188 / 9541141).....	89
Fotografía 4.1: Anticlinal en sedimentos de la Fm. Gonzanamá, sector de Potrerillos (UTM: 0669638 / 9539440).....	101
Fotografía 4.2: Fallas normales, en dirección E-W buzando al N, que provocan desplazamiento vertical en los volcansedimentos del Miembro Volcano-sedimentos (UTM: 0659404 / 9531866). La capa 1 está compuesta de red beds volcánicos, mientras que la capa 2 está compuesta de areniscas y limos.	101
Fotografía 4.3: Comparación de la Formación Gonzanamá Miembro Superior en el Bloque Central y Oriental: a) Estratos del Miembro Gonzanamá Superior en el Punto UTM: 669632 / 9540106 en el Bloque Central; b) Estratos deformados de la Formación Gonzanamá con metamorfismo de contacto debido al contacto con un pórfido en el punto UTM: 672833 / 9542376, Bloque Oriental; c) y d) Estratos de la Formación Gonzanamá Miembro Superior, UTM: 672718 / 9548337, Bloque Oriental, similares a los encontrados en el Bloque Central (Foto a).....	108
Fotografía 4.4: Miembro Brechas Superiores (continuidad lateral de la Fm. Loma Blanca) a lo largo del área estudiada: a) y b) afloramiento del Miembro Brechas Superiores en el Bloque Central UTM: 0663824 / 9538778; c) Brechas volcánicas en el Bloque Central en 0663872 / 9540224, se observa vetillas alteradas a arcillas d) Brechas volcánicas encontradas en el UTM: 0657522 / 9537613 en el Bloque Occidental; e) y f) Brechas volcánicas interpretadas como el Miembro Brechas Superiores en el Bloque Oriental (UTM: 0672929 / 9546095), similares las de la fotografías a, b y c; g) Afloramiento de brechas volcánicas en UTM: 0663902 / 9538628, Bloque Central.....	109
Fotografía 4.5: Foto panorámica desde el punto UTM: 0664449 / 9535184 hacia N48°. Vista del Bloque Central. Se observa la falla al W de Sacapalca que separa un bloque más	

pequeño que se encuentra en dominó junto con el Bloque Central. Al fondo de la fotografía se observa la falla Potrerillos que separa el Bloque Central del Occidental, que se parte superior se observa sedimentos de la Fm. Gonzanamá, los mismos que se encontraron en la parte occidental del Cerro Surapo, lo que indicaría una repetición de la Formación en el bloque siguiente pero que se encuentra basculado en forma de un sistema en dominó.

.....	113
Fotografía 4.6: Fotografía panorámica hacia N200°, sector La Cruz de Yazapa, al W de Sacapalca, se observa bloques con capas de volcano-sedimentos atribuidos a la Formación Loma Blanca, en línea roja entrecortada la falla que divide el Bloque Central, en bloques más pequeños en un sistema en dominó, las capas se encuentran con azimut de buzamiento de 90°/15° y 100°/20° .	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Resumen de la estratigrafía de las cuencas intramontañosas, las edades han sido determinadas mediante ZFT (Zircon Fission-Track); modificado de Hungerbühler et al., 2002.	22
Tabla 3.1: Datación radiométrica para el Miembro Sacapalca Basal.....	32
Tabla 3.2: Tabla de dataciones en la Formación Loma Blanca, tomadas de Hungerbühler, 1997; Hungerbühler et al., 2002; Steinmann et al., 1999.	65
Tabla 3.3: Datación del intrusivo Palo Blanco, Jaillard et al., 1996.....	68
Tabla 3.4: Tabla de descripción de muestras en sección delgada.....	90

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN Y MARCO GEODINÁMICO

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS

En la región de los Andes del Norte, a la latitud ecuatorial, han ocurrido varios episodios intermitentes de actividad volcánica que datan al menos desde el Jurásico hasta el presente. Este tipo de volcanismo continental es controlado por la zona de convergencia entre las placas Nazca y Sudamérica (Pennington, 1981); y afectado por la cordillera de Carnegie que subduce bajo la costa de Ecuador (Gutscher, et al., 1999). Las zonas de depósito volcano-sedimentario clásicamente registran las diferentes etapas del volcanismo pasado. Este tipo de secuencias son muy extendidas en la región nor-andina y a menudo son agrupadas como formaciones y grupos. En Ecuador las formaciones volcánicas presentan un orden cronoestratigráfico secuencial, aunque poco definido. Las secuencias más antiguas corresponden, por citar algunos ejemplos, a las formaciones: Misahuallí en el Jurásico (Aspden & Litherland, 1992; Baby, et al., 2004), Alao en el Cretácico (Aspden & Litherland, 1992), Sacapalca en el Paleoceno (Kennerley, 1973; Hungerbühler, 1997), Loma Blanca y Saraguro en el Oligoceno (Lavenu, et al., 1992; Hungerbühler, et al., 2002), Quinara, Pisayambo, Latacunga, en el Mioceno, (Lavenu, et al., 1996; Hungerbühler, et al., 2002). El presente proyecto de titulación se concentró en la litoestratigrafía y estructura geológica de las formaciones Sacapalca y Loma Blanca en la provincia de Loja.

La secuencia de Sacapalca se localiza entre los poblados de Catacocha y Cariamanga en la provincia de Loja al sur del Ecuador (Figura 1.1). Este relleno volcánico y volcano-sedimentario ha sido anteriormente estudiado por varios investigadores entre los que resalta inicialmente Kennerley (1973), quien describió principalmente la estratigrafía regional con la descripción de al menos dos fases de volcanismo: uno en el Paleoceno llamado Sacapalca y otro en el Oligoceno llamado Loma Blanca. Estudios más recientes han sido realizados en la cuenca Lancones por Jaillard et al. (1996) quienes describieron las rocas de basamento y las

agruparon como los volcánicos Celica y las turbiditas Alamor, además de incluir ciertas edades correspondientes a cuerpos intrusivos del Oligoceno-Mioceno. Finalmente Hungerbühler (1997) describió las secuencias sedimentarias más jóvenes principalmente aquellas relacionadas con las cuencas intramontañosas neógenas.

Sin embargo, debido a que no hay estudios específicos anteriores de la zona de Sacapalca, se crea una incertidumbre con respecto a las fases de relleno volcano-sedimentario de la cuenca y la dinámica de la tectónica extensiva y compresiva que ocurrió en la zona.

El interés geológico del área de estudio es relevante por dos aspectos: (1) las fases secuenciales de volcanismo paleógeno y (2) la tectónica involucrada en el desarrollo y cierre de las cuencas sedimentarias marino-continentales miocénicas. La definición litológico-cartográfica del volcanismo Sacapalca es aún incierta, sin embargo tanto el volcanismo Loma Blanca presente en la zona y el volcanismo Quinara ubicado hacia el este de la zona han sido bien definidos y datados por Hungerbühler et al. (2002). Gran parte de estos materiales volcánicos presentan una importante continuidad lateral y pueden ser proyectados estructuralmente hacia las partes superiores de la cuenca de Sacapalca. Por otra parte, la sedimentación neógena de las cuencas de Gonzanamá y Catamayo sugiere un escenario tectónico extensivo durante sus primeras fases de desarrollo seguido de un escenario compresivo para el cierre. Hungerbühler et al. (2002) proponen un modelo extensivo-compresivo, no obstante la ubicación de las fallas limitantes de este modelo es aún incierta.

De acuerdo con lo expuesto, el estudio de la estratigrafía y de la evolución morfoestructural de la secuencia volcano-sedimentaria de Sacapalca contribuirá con un modelo geológico coherente con el entorno estructural observado en el área, a fin de discriminar las distintas fases de relleno volcánico de la cuenca de Sacapalca, la dinámica de la deformación extensivo-compresiva neógena y el contexto estructural resultante manifestado en el relieve actual.

Al proponer un modelo geológico del área de Sacapalca se tendrá un mayor conocimiento de la zona, así se aportará con datos geológicos para otras

actividades de índole municipal o gubernamental como las relacionadas con la geotecnia, y en general un nuevo aporte a la investigación geológica del Ecuador.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir con un modelo geológico para las rocas tanto del basamento volcánico como de la serie volcano-sedimentaria paleógena del área de Sacapalca, y los volcánicos oligocenos, así como para los materiales Neógenos y Cuaternarios.

1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Tener un análisis preliminar de la zona mediante uso de fotografías aéreas.
- Determinar la geología de la zona, datos estructurales y petrográficos mediante mapeo de campo y láminas delgadas.
- Definir la litoestratigrafía local que incluya el basamento y el relleno volcano-sedimentario.
- Determinar la reconstrucción geológico-estructural del área a partir de la morfología y tectónica actual.
- Discriminar las fases extensiva y compresiva presentes en el desarrollo de la cuenca.
- Proponer un modelo de evolución morfo-estructural de la zona de estudio.

1.3. ALCANCE

- La cartografía se realizó a una escala 1:50.000 por medio de seis jornadas de campo de 10 días con el fin de delimitar básicamente los contactos entre grandes formaciones y demarcar los trazos de falla principales. El área de estudio abarca un área aproximada 460 km² (Figura 1.1).
- La estratigrafía local fue definida por medio de al menos dos columnas estratigráficas sintéticas con descripciones de campo y laboratorio.
- Para la descripción y caracterización litológica se utilizó 115 muestras (Anexo 9) de roca, de las cuales se realizaron 59 secciones delgadas.
- El análisis geomorfológico y fotogeológico se realizó tanto para el basamento como para la secuencia de relleno volcano-sedimentario por medio del uso

de fotografías aéreas, modelos digitales de elevación, imágenes satelitales y mapas topográficos.

- El esquema de evolución morfoestructural del área estudiada fue realizado en base a información de campo y datos numéricos de topografía digital.

1.4. METODOLOGÍA

Para realizar este proyecto de titulación se utilizó la siguiente metodología:

- La cartografía se realizó por medio de jornadas de campo con el fin de describir la litología con muestras de mano, delimitar contactos entre grandes formaciones y demarcar los trazos de falla principales. El área de estudio abarcó una superficie aproximada 460 km², el cual se encuentra en los alrededores de la parroquia de Sacapalca, al norte del catón Cariamanga, provincia de Loja (Figura 1.1).
- La estratigrafía local fue definida por medio de columnas estratigráficas sintéticas (Anexo 2-Anexo 8) con descripciones de campo. Para la descripción y caracterización litológica se utilizaron 59 secciones delgadas (Anexo 14) realizadas en el laboratorio de láminas delgadas de la E.P.N. La petrología permitió identificar los principales minerales que conforman las rocas. Para identificar la composición de las plagioclasas se utilizó el método de Michel-Levy.
- El análisis geomorfológico y fotogeológico se realizó tanto para el basamento como para la secuencia de relleno volcánico-sedimentario por medio del uso de fotografías aéreas pancromáticas, de escala 1:60.000 tomadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM); modelos digitales de elevación, imágenes satelitales Landsat tomadas de Google Earth (2015); y mapas topográficos correspondientes a las cartas de Catacocha, Nambacola, Cariamanga y Gonzanamá (IGM) a escala 1:50.000 y Datum WGS-84, los cuales ayudaron en la identificación de estructuras tectónicas y contactos.
- Por último, se propuso un esquema de evolución morfoestructural del área estudiada que ha sido realizado en base a información de campo y datos numéricos de topografía digital.

1.5. ÁREA DE ESTUDIO

1.5.1. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El lugar de estudio de este proyecto se encuentra en los alrededores de las cuencas intramontañosas de la Sierra Sur del Ecuador, zona de Sacapalca, parroquia de Gonzanamá, provincia de Loja. Comprende aproximadamente 460 km² entre las cartas topográficas de Catacocha al NW, Nambacola al NE, Cariamanga al SW y Gonzanamá al SE. Los principales poblados ubicados son: los cantones Cariamanga al sur y Gonzanamá al sureste del área de estudio, Nambacola al este, Changaimina centro-sur y Sacapalca en el centro-norte de la zona, siendo estos tres últimos, parroquias de Gonzanamá (Figura 1.1).

La vía de acceso principal desde la ciudad de Loja es la vía Loja-Catamayo-Gozanamá, tomando el desvío a Sacapalca a 3 km aproximadamente antes de llegar al cantón Gonzanamá. Hasta la fecha de la elaboración de este proyecto de titulación, las vías de movilización son caminos lastrados y lodosos de tercer orden y senderos de difícil acceso vehicular, frecuentes deslizamientos en épocas lluviosas. Existen buenos afloramientos a lo largo de las vías.

1.5.1. MORFOLOGÍA

Es una zona de alto relieve, con topografía elevada al sur del área estudiada de hasta 2640 m.s.n.m. en el cerro Chonta (UTM: 0671414 / 9537910, WGS-84) y en La Panuma de 2450 msnm (UTM: 0665491 / 9534972, WGS-84), que disminuye en altura hacia el noroeste en el río Catamayo hasta 940 m.s.n.m. En general el área de estudio y sus alrededores han sido afectados por múltiples drenajes que han dado lugar a quebradas que afectaron la parte sur y que tienen una dirección nor-noroeste hacia el río Catamayo. Estos drenajes son provocados por la meteorización en los depósitos volcánicos y por fallas geológicas que han contribuido en la variación de la morfología.

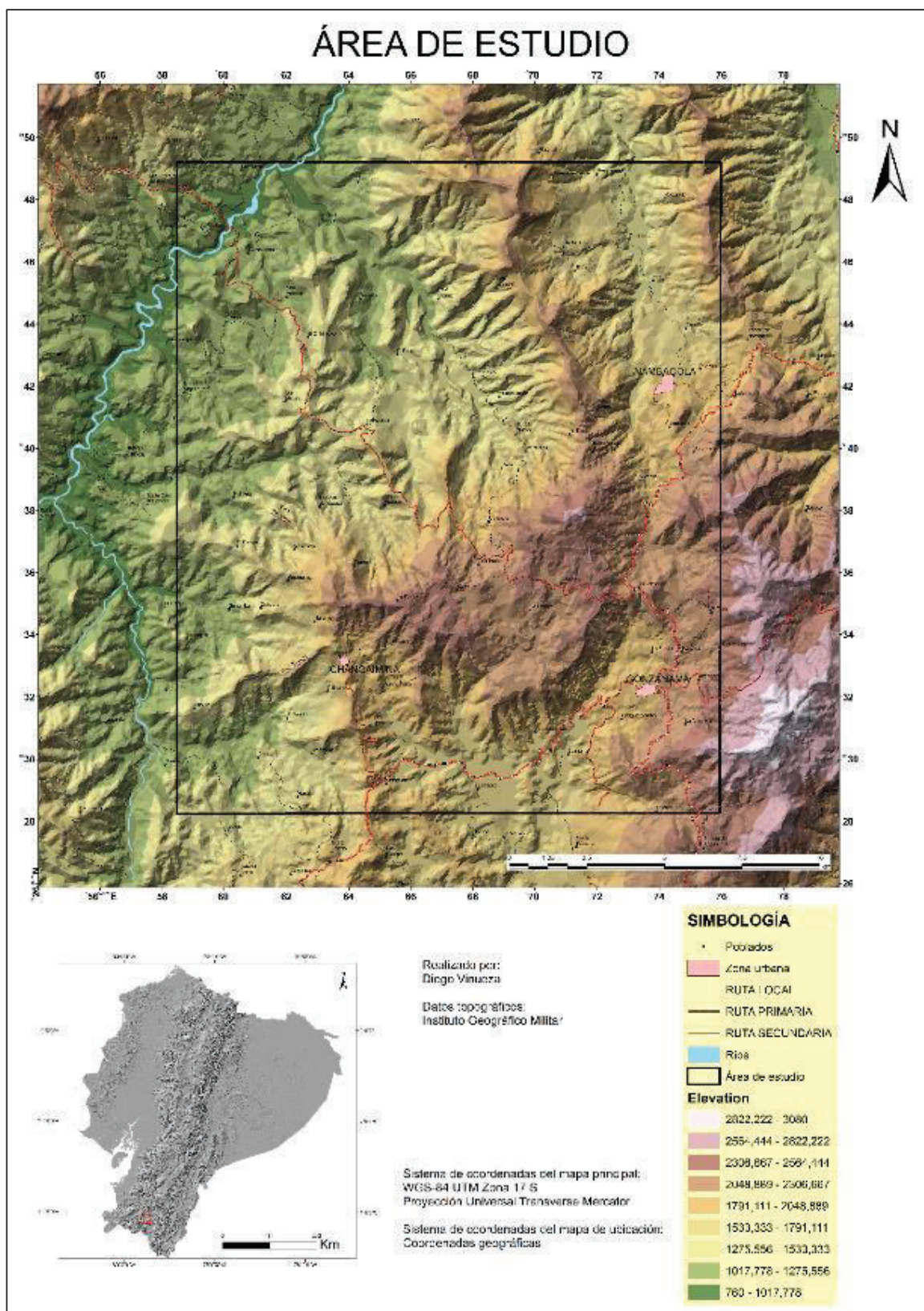


Figura 1.1: Mapa de la zona de estudio, ubicado en la provincia de Loja.

1.5.2. HIDROGRAFÍA

La hidrografía de la zona está compuesta por varias microcuencas las cuales aportan la escorrentía del río Catamayo. El cantón Gonzanamá pertenece a la cuenca hidrográfica Catamayo, principal caudal suministrado por las quebradas del lugar. Se encuentran varias quebradas entre ellas, las principales: Surapo, Potrerillos, Santa Rosa, La Vega, Sacairo, Sabaca, Pilancay que son aporte para el río Catamayo (Figura 1.2). (GAD Gonzanamá, 2011)

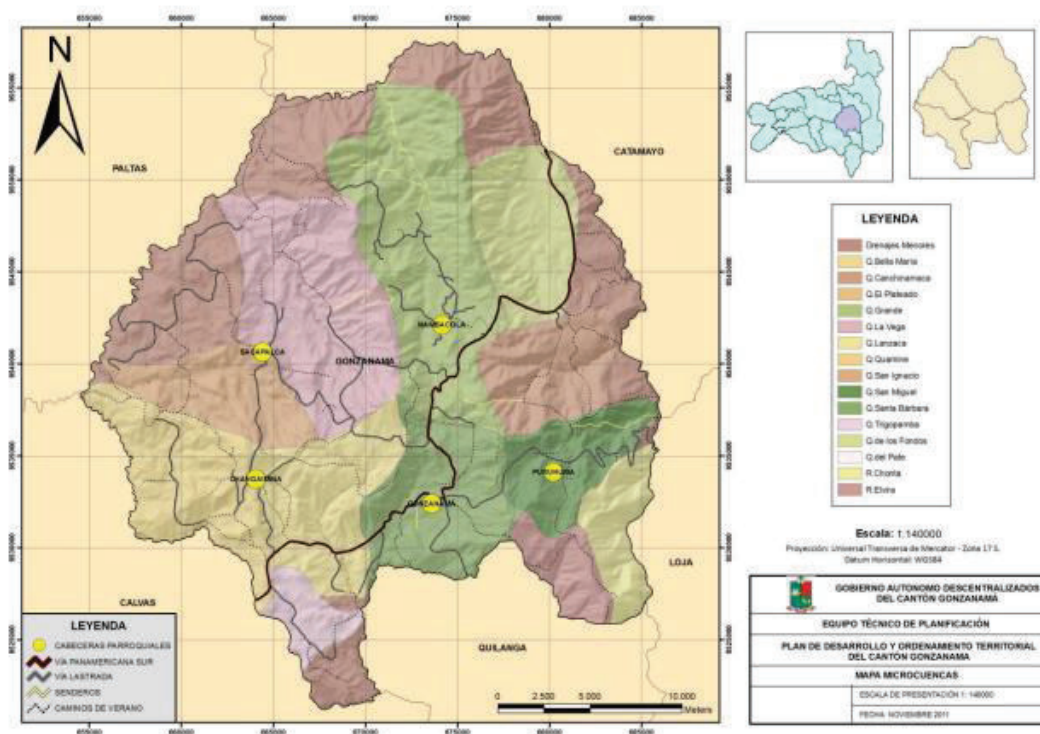


Figura 1.2: Microcuencas cantón Gonzanamá (Tomado del GAD Gonzanamá, 2011).

1.5.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

El área de Gonzanamá posee de un clima por lo general templado. Los meses con menor temperatura atmosférica son desde enero hasta marzo y los más cálidos son agosto y septiembre. En los meses de junio a octubre, la región sufre de fuertes vientos, así como heladas en los meses de diciembre a enero. Con respecto a la humedad, esta varía entre 88 y 91 %; con una velocidad de los vientos de 2 m/s en dirección sur-norte (Abarca, 2010, GAD Gonzanamá, 2011).

El clima puede variar a lo largo de la zona desde frío a templado en partes altas a cálido seco en partes bajas. La temperatura promedio anual de Gonzanamá es de 17.3 °C, y las precipitaciones son de 1182 mm/a (Abarca, 2010).

Con respecto a la temperatura, el poblado de Gonzanamá se mantiene entre 16 y 20 °C; en cambio en Changaimina la temperatura se encuentra entre 17 y 21 °C; en Nambacola fluctúa entre 15 y 24 °C y en Sacapalca oscila entre 17 y 21 °C (Abarca, 2010).

Con respecto a la vegetación, esta es muy variada y cubre gran parte del área estudiada, por lo que resulta difícil encontrar contactos geológicos. Las diferentes especies forestales son de montaña y arbustivas, en contraste se puede encontrar pastizales y cultivos en donde hay actividad humana (GAD Gonzanamá, 2011).

1.6. TRABAJOS PREVIOS REALIZADOS

El trabajo geológico elaborado en las cercanías de Sacapalca ha sido realizado en base a trabajos anteriormente publicados por diferentes autores, como parte de la cuenca Catamayo-Gozanamá. Los primeros trabajos geológicos fueron realizados por J. B. Kennerley en 1973, quien realizó un estudio completo de la provincia de Loja, que abarcó trabajo de campo, correlaciones estratigráficas y estructurales; de la Cuenca Alamor-Lancones, Cuencas Intramontañosas de Loja, y parte de las provincias de El Oro y Azuay, como resultado, presentó la litología principal de la zona y mapeo geológico regional. En 1980, el mismo Kennerley publicó una recopilación de la Geología del Ecuador.

Jaillard et al. (1996), estudió la parte oriental de la Cuenca Alamor-Lancones, incluyó la zona de Catamayo-Gozanamá, la secuencia de la sección de Río Playas y la zona aquí estudiada, donde describe a la Formación Sacapalca, intruída por plutones, y sobreyacida por capas rojas (redbeds), la Formación Gonzanamá que le atribuye una edad de Maestrichtiano a Paleoceno, y a la Formación Catamayo del Oligoceno superior al Mioceno inferior; la Formación (Fm.) Loma Blanca la atribuye al Mioceno inferior en discordancia sobre la Fm. Catamayo.

Hungerbühler (1997) y Hungerbühler et al (2002) abarcaron el estudio de las Cuencas Intramontañosas neógenas en el sur de Ecuador que incluye el área de

Gonzanamá y Sacapalca, e introdujeron edades determinadas con trazas de zircón (ZTF, Zircon Fission-Tracks), discriminaron las formaciones de origen volcánico y sedimentario, y como resultado concluyeron dos etapas de formación, una etapa de extensión y una etapa de compresión como cierre de las cuencas. Atribuyeron a la Formación Sacapalca una edad del Paleoceno al Eoceno inferior, que en discordancia sobreyace la Formación Loma Blanca con una edad del Oligoceno y en la que ocurrió un hiato sedimentario para depositarse en el Mioceno medio las Formaciones Catamayo y Gonzanamá, edades que difieren con las determinadas por Jaillard et al. (1996).

Un estudio posterior, correspondiente a Steinmann et al. (1999), propusieron un levantamiento de las Cuencas Intramontañosas, incluyendo la cuenca Catamayo-Gozanamá, en donde basándose en el modelo de Hungerbühler (1997) determinaron la tasa de exhumación los sedimentos de 0,7 mm/a en los últimos 9 Ma.

Reyes et al. (2008), realizaron un estudio sobre las cuencas de Catamayo-Gozanamá y Malacatos-Vilcabamba. Datos de campo demostraron que eventos magmáticos y volcánicos afectaron a ambas cuencas y sugirieron una nueva interpretación del área, en la cual la deformación local se produjo por intrusiones en lugar de una tectónica regional. Se registró también la presencia de peperitas en el área.

En el 2012, el Instituto Nacional de Investigación Geológico, Minero y Metalúrgico (INIGEMM) realizó la carta geológica de Cariamanga a escala 1:100000, en la cual se discriminó unidades de la Formación Sacapalca que cubrió la parte occidental del área estudiada en este proyecto de titulación. Describieron unidades litológicas, de las cuales, cuatro afloran en la zona de estudio: la unidad Changaimina (Paleoceno), unidad La Cruz (Paleoceno), la unidad San Vicente (Paleoceno) y unidad Sacapalca (Eoceno), así como intrusivos y pórfidos indiferenciados. En cuanto a las estructuras, identificaron fallas de tipo inverso al este de Cariamanga con dirección N-S, y al oeste con dirección NEE-SOO, otra al este de Catacocha en dirección NOO-SEE. Lo relevante es que la Formación Sacapalca es redefinida como unidad, que sobreyace a las unidades Changaimina y La Cruz antes mencionadas.

1.7. MARCO GEODINÁMICO

La dinámica del Bloque Nor-Andino, ubicado al noroeste de Ecuador, se halla controlada por una zona de convergencia entre placas tectónicas, donde la placa oceánica Nazca es la que subduce bajo del margen occidental de la placa continental Sudamericana, sin embargo, la interacción geodinámica de las placas Cocos y Caribe situadas hacia el norte también afecta a la tectónica de la región (Pennington, 1981) (Figura 1.3). Este proceso geodinámico induce a la actividad volcánica dentro de un arco volcánico continental y al desarrollo de relieves altos que dan lugar a la orogenia de los Andes del Norte. El Bloque Nor-Andino, el cual está limitado por la falla Bocono en Venezuela y la Megacizalla Dolores-Guayaquil (DGM), que parte del Golfo de Guayaquil, presenta un movimiento dextral con respecto al resto de Sudamérica (Ego et al., 1995; Trenkamp et al., 2002).

Según Bourdon et al. (2003), el volcanismo sudamericano está dividido en cuatro provincias divididas una de otra por un gap sísmico. Dichas provincias son: la Northern Volcanic Zone (NVZ) en Colombia y Ecuador, la Central Volcanic Zone en Perú y norte de Chile, la Southern Volcanic Zone en el centro de Chile y la Austral Volcanic Zone en el sur de Chile. En la NVZ en el área de Ecuador se produce el transporte tectónico de la Cordillera de Carnegie sobre la placa de Nazca, formada debido al paso de dicha placa sobre el punto caliente Galápagos, cuya subducción bajo la placa Sudamericana empezó hace ~5 Ma. (Bourdon et al., 2003). Debido a la subducción oblicua de la placa de Nazca, se crea un empuje sobre el bloque Nor-Andino que provoca un movimiento dextral con azimut N 30° - N 40° y con una velocidad de 6-9 mm/año (Nocquet et al., 2009).

Al oeste de la DGM, el basamento está compuesto por terrenos alóctonos de naturaleza oceánica que se acrecionaron al continente desde el Cretácico Superior al Eoceno (Mamberti et al., 2003; Vera, 2013); al este de la DGM el basamento es de origen continental con terrenos metamórficos, volcano-sedimentarios y cuerpos intrusivos. Más hacia el este en la Cuenca Oriente el basamento está conformado por el cratón Guyanés y Brasileño (Mamberti et al., 2003).

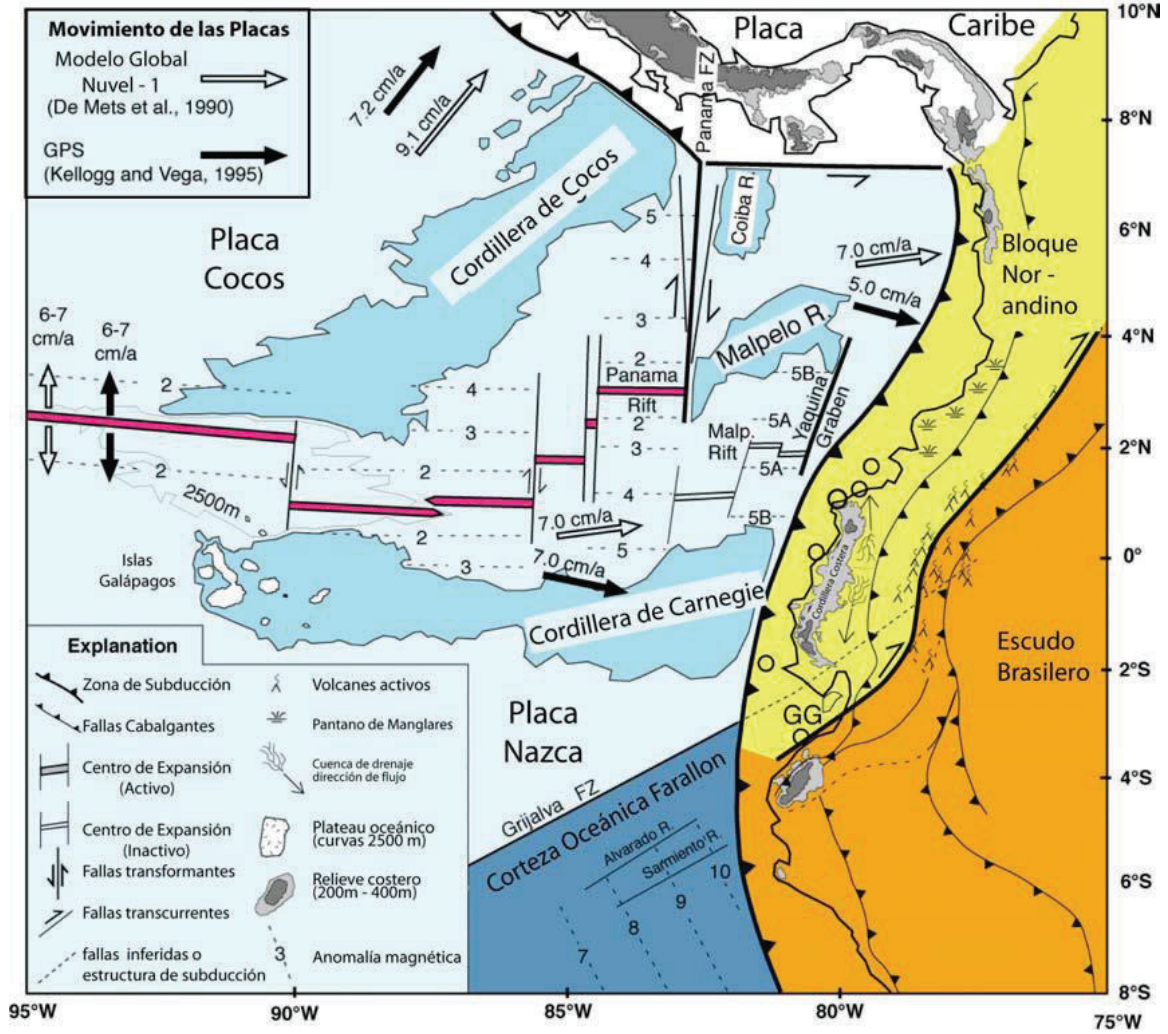


Figura 1.3: Marco geodinámico de la parte norte de Sudamérica y principales estructuras tectónicas. Subducción de la placa de Nazca debajo de la Sudamericana (Tomado de Silva, 2007; Modificado de Gutscher 1999).

CAPÍTULO 2

2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador continental se encuentra situado entre las latitudes 2°N y 4°S y presenta tres grandes morfoestructuras: la planicie costera al oeste (Costa), la cordillera de los Andes del Norte (Sierra) y la cuenca amazónica al este (Oriente) (Figura 2.1).

La región Costa presenta una planicie de antearco con un basamento oceánico de composición máfica de edad Campaniano. Este basamento oceánico se conoce como el terreno Piñón (Hughes & Pilatasig, 2002), el cual se encuentra cubierto por un relleno sedimentario cenozoico (Eoceno medio), depositado dentro de cuencas tanto de plataforma como marginales, abiertas dentro del basamento oceánico luego de su acreción al continente (Marocco & Winter, 1988). La creación de estas cuencas antearco pudo ser debido a una fase compresional en el Paleoceno Superior al Eoceno (Jaillard et al., 1997).

La región Sierra está formada por dos grandes cordilleras separadas por un valle de origen tectónico (Valle Interandino). La Cordillera Occidental tiene dirección NNE, y está conformada principalmente por un basamento de plateau oceánico, melange tectónico, turbiditas marinas del Cretácico superior, y el arco volcánico Macuchi, cubierto por varios depósitos de volcanes Plio-Cuaternarios (Hughes & Pilatasig, 2002; Vera, 2013). La Cordillera Real con dirección NNE, se compone por terrenos de diferentes orígenes, un cinturón metamórfico Cretácico, batolitos Jurásicos y rocas Paleozoicas y Precámbricas afectadas por tectonismo; al igual que la Cordillera Occidental cubierta por volcanes y depósitos volcánicos del Plioceno al Cuaternario (Aspden & Litherland, 1992; Vera, 2013; Lavenu, 1994).

Estas cordilleras fueron formadas en el Oligoceno, luego de la acreción del terreno Piñón y del arco volcánico Macuchi durante el Cretácico al Paleógeno (Kerr et al., 2002). El modo de formación, levantamiento y deformación fue guiado por la subducción; consecuentemente se crearon fallas en dirección NNE en la placa Sudamericana, y un volcanismo calco-alcalino continuo (Hungerbühler et al., 1995).

Una de las características de los Andes del Norte es la acreción de terrenos oceánicos con movimientos laterales dextrales (Jaillard et al., 2001).

El Valle interandino es la depresión que separa la Cordillera Occidental de la Cordillera Real. El depósito del material volcánico-clástico continental, lacustre y aluvial tiene su origen en el Neógeno en varias cuencas a lo largo de la depresión interandina (Barragán et al., 1996).

El Oriente es considerado una cuenca de antepaís ubicado al este del Ecuador, sobre el cratón Guyanés-Brasileño de edad Precámbrico (Dashwood & Abbotts, 1990), y sobre éste se depositan secuencias sedimentarias que van desde el Paleozoico (Silúrico-Devónico) al Cuaternario (Baby et al., 2004). La secuencia Paleozoica-Jurásica comprende secuencias de carbonatos, lutitas, areniscas y conglomerados estructuralmente deformados por períodos de extensión y levantamiento (White et al. 1995). La secuencia cretácica que aloja hidrocarburos, ha sido formada por ciclos sedimentarios alternantes entre areniscas, carbonatos y lutitas en ambiente fluvial y marino (Daswood & Abbotts, 1990; Baby et al., 2004). La secuencia del Paleógeno compuesta por conglomerados, areniscas y lutitas, fue influenciada por movimientos andinos contemporáneos (White et al., 1995).

En la parte suroeste del Ecuador se encuentra el Bloque Amotape Tahuín (BAT), que representa un conjunto de rocas metamórficas de alto grado como esquistos azules y eclogitas del Jurásico al Cretácico con una contrastante dirección E-W, así como plutones Triásicos, serpentinitas, esquistos verdes y sedimentos metamorizados Paleozoicos (Aspden et al., 1995).

Al sur del BAT, se concentran una serie de cuencas intramontañosas de edad Neógeno, éstas son: la cuenca de Cuenca, Loja, Girón-Santa Isabel, Malacatos-Vilcabamba, Nabón, Catamayo, Gonzanamá y Río Playas. Las cuencas han sufrido, según Hungerbühler et al. (2002), una etapa extensiva en el Mioceno medio y una etapa compresiva en el Mioceno superior. Estos rellenos, son controlados por la subducción, así también, por la tectónica compresional y extensional de la región desde el Mioceno hasta la actualidad (Hungerbühler, 1997).

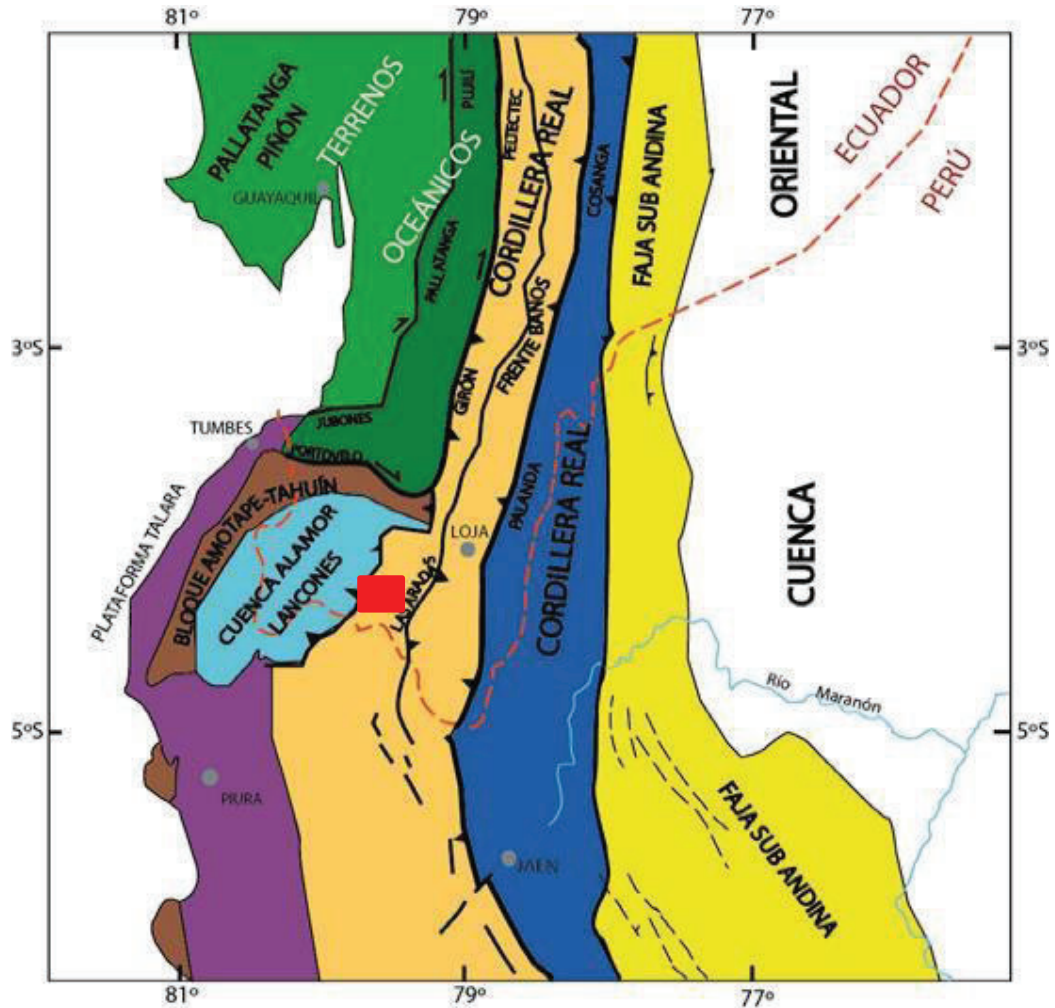


Figura 2.1: Esquema geológico regional; cuadro rojo, zona de estudio (Modificado de DINAGE, 2005).

2.2. BASAMENTO METAMÓRFICO AUSTRAL

El basamento del sur del Ecuador está compuesto por rocas metamórficas y plutónicas de la Cordillera Real, además de rocas metamórficas del Bloque Amotape-Tahuín y volcano-sedimentos de la Cuenca Alamor-Lancones.

2.2.1. CORDILLERA REAL

La Cordillera Real constituye la cadena orogénica oriental de los Andes ecuatorianos. Está compuesta por cinturones lineales de rocas metamórficas con dirección NNE, e intruídas por plutones graníticos tipo S y tipo I mesozoicos y cenozoicos, cubiertos en su mayoría por rocas volcánicas cenozoicas (PRODEMINTA vol. 1, 2000). Aspden & Litherland (1992) proponen cinco divisiones litotectónicas principales.

Al oeste de la Cordillera Real, se ubica la división Guamote que consiste de ortocuarzitas de bajo grado metamórfica intercalada con filitas y pizarras (Aspden & Litherland, 1992). Limita hacia el oeste con el valle interandino por medio de la falla Ingapirca donde subyace a la Formación Yunguilla de forma discordante. Al este, limita con la división Alao a través de la falla Peltetec. La edad de la división es atribuida al Jurásico Inferior - Cretácico Inferior, depositada dentro de un ambiente marino (Litherland et al, 1994).

La división Alao consta de ofiolitas desmembradas, metaturbiditas, rocas verdes y tobas andesíticas con bajo grado de metamorfismo de ambiente de arco volcánico oceánico, esquistos grafitosos, esquistos verdes y filitas. Hacia el este limita con la división Loja por medio del frente Baños. La edad de la división está atribuida al Jurásico superior, con un ambiente de corteza oceánica relacionado a un arco volcánico de islas acrecionado al continente (Litherland et al, 1994; Aspden & Litherland, 1992).

La división Loja está limitada al oeste por el frente Baños y hacia el este con la división Salado por medio de un contacto tectónico. La litología se compone del granito Tres Lagunas, el gneis Sabanilla, esquistos pelíticos, anfibolitas, filitas negras y cuarcitas. Presenta una imbricación hacia el este, y en general, los granitoides poseen grado de metamorfismo bajo a medio, en cambio, el gneis Sabanilla posee el más alto grado metamórfico en la cordillera. La edad de intrusión de los plutones es de 227 Ma (Litherland et al, 1994). Los sedimentos son, en gran parte, de origen continental y los granitoides son tipo S (Litherland et al, 1994).

La división Salado comprende rocas volcánicas máficas metamorizadas, rocas verdes y metasedimentos (Aspden & Litherland, 1992). Hacia el oeste limita con la división Loja a través de la falla Llanganates. Está compuesta por granodioritas deformadas Azafrán, con edad de 142.7 Ma (Litherland et al, 1994); contiene también meta-sedimentos y mármoles que representa facies distales hacia el oeste de la secuencia volcano-sedimentaria (Litherland et al, 1994). Presenta imbricación al este y napas de skarns correspondientes a la unidad Cuyuja. La edad que se atribuye a la división es al Jurásico (Aspden & Litherland, 1992; Litherland et al, 1994).

La división Zamora se encuentra al oriente de la Cordillera Real. Consta de granitoides calco-alcalinos Zamora, lavas y piroclastos calco-alcalinos de la unidad Misahuallí, rocas sedimentarias y metavolcánicas de la unidad Piuntza, filitas y mármoles de la unidad Isimanchi (Litherland et al., 1994). Una edad del Carbonífero es atribuida a la unidad Isimanchi; la unidad Piuntza tiene una edad del Triásico, mientras que los granitoides tipo-I, de la unidad Zamora, son del Jurásico (Litherland et al., 1994).

2.2.2. CUENCA ALAMOR-LANCONES (CAL)

La cuenca Alamor-Lancones, o también denominada por ciertos autores como Celica-Lancones (Jaillard et al., 1999), está ubicada en la parte suroeste de la provincia de Loja y al noroeste de Perú. Kennerley (1973) discrimina la cuenca antearco Alamor, la cual se constituye de una serie de turbiditas Cretácicas. Se encuentra sobre el basamento Paleozoico del complejo metamórfico Amotape-Tahuín (BAT) al oeste, y sobre un arco volcánico continental al este (Jaillard et al., 1999). Es interpretada como una cuenca extensional formada en entre el BAT y la Cordillera Andina (Kennerley, 1973).

La estratigrafía en el oeste de la cuenca se compone de grawacas basales que conforman una serie sedimentaria que se encuentra en discordancia sobre el complejo metamórfico Amotape-Tahuín; litológicamente se componen de grawacas y lutitas, de edad Cretácica (Jaillard et al., 1999). Le sobrepone la Formación Bosque de Piedra con conglomerados gradando hacia arriba a lutitas y areniscas con capas delgadas de calizas y tobas, con una edad atribuida al Cretácico inferior (Shoemaker, 1982 en Jaillard et al., 1999). A esta última se encuentra la Formación Puyango y conforma una sucesión de margas bituminosas laminadas y calizas, interestratificadas con calcoarenitas y grawacas; la edad es del Aptiano tardío (Jaillard et al., 1999).

Le sigue la Formación Cazaderos compuesta principalmente de lutitas negras calcáreas estratificadas, laminaciones de turbiditas arenosas y conglomerados inter-estratificados con areniscas. La edad de depósitos se atribuye al Cretácico superior (Kennerley, 1973; Jaillard et al., 1999). Sobre esta se encuentra la Formación Zapotillo, Kennerley (1973) considera a esta Formación como un flysh de grawaca y lutita, con metamorfismo muy bajo en las lutitas.

Al este de la Cuenca Alamor-Lancones, la litoestratigrafía está compuesta principalmente por la Formación Celica. Según Kennerley (1973) esta Formación se compone de lavas y tobas andesíticas extruidas en el Cretácico inferior al superior, asociado con intercalaciones de capas delgadas de calizas negras laminadas; bajo grado de metamorfismo en la Formación (Aguirre, 1992). Para Jaillard et al. (1996) y Berrones et al. (1993) la edad es del Albiano. Sobre la Formación Celica se encuentra el Grupo Alamor, Kennerley (1973) describe como un cinturón de sedimentos con intercalaciones volcánicas del Cretácico; depositados en gran parte de la provincia de Loja, se encuentran también lutitas, areniscas, limolitas estratificados (Duque, 2000). Para Berrones et al. (1993) la edad de la Formación es atribuida al Turoniano.

La Formación Naranjo se sobrepone a la Formación Alamor, Jaillard et al. (1996) describe como margas calcáreas fosilíferas con capas de grawacas y calizas fosilíferas, con una edad del Santoniano al Maestrichtiano (Jaillard et al., 1996; Berrones et al., 1993).

La Formación Casanga sobreyace concordantemente a la Formación Naranjo; comprende conglomerados, lutitas laminadas con grawacas turbidíticas y calizas nodulares; se le atribuyen una edad del Maestrichtiano (Jaillard et al., 1996). Se sobrepone la Formación Ciano, la litología consiste de sedimentos con intercalaciones de piroclastos y lavas, estas últimas son andesitas altamente alteradas. Hacia el sureste de la cuenca, se encuentra la Formación Zambí, y consiste de un flysch metamorfizado, e intercalaciones de rocas metavolcánicas (Kennerley, 1973), con edad del Coniaciano al Maestrichtiano temprano (Jaillard et al., 1999).

2.2.3. BLOQUE AMOTAPE-TAHUÍN (BAT).

Es el cinturón metamórfico con dirección E-W que se encuentra en la provincia de El Oro, al SW de Ecuador y al NW de Perú. Geológicamente se encuentra entre la Cordillera de los Andes al este, depósitos cuaternarios de la planicie costera al noroeste y la Cuenca Alamor-Lancones al sur (Aspden et al. 1995; DINAGE, 2005).

El Bloque Amotape-Tahuín, primeramente estudiado por Feininger (1978), presenta una división de dos sub-provincias geológicas propuesta por Aspden et al. (1995) (Figura 2.2).

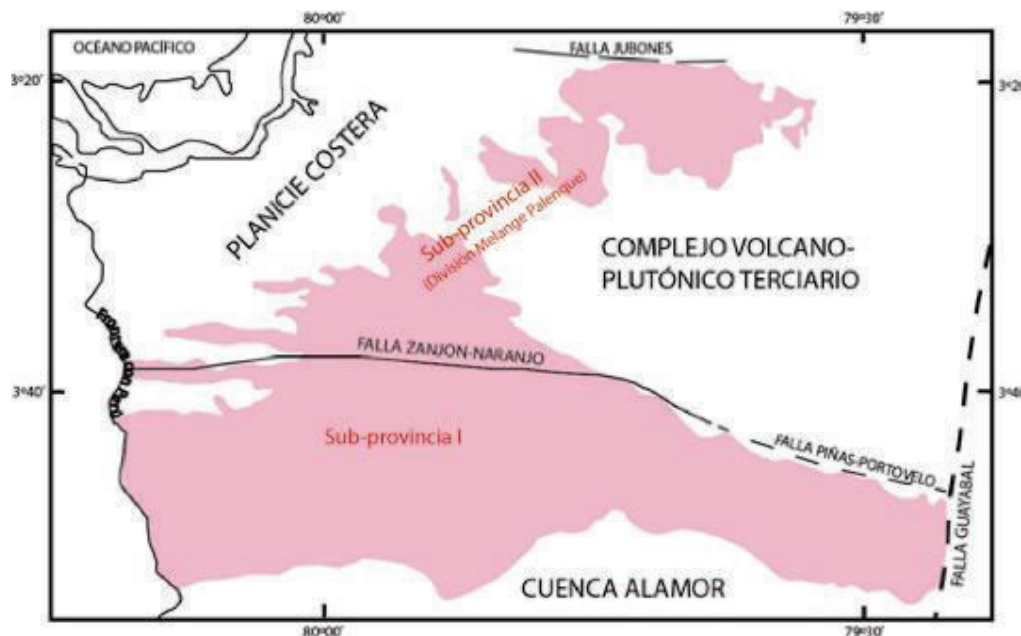


Figura 2.2: Mapa general del BAT (Modificado de Aspden et al., 1995).

2.2.3.1. Sub-provincia I

La primera sub-provincia contiene la división Tahuín. Consiste de una secuencia semi-pelítica de metamorfismo variable que aumenta desde el sur hacia el norte. Consiste de unidades sedimentarias al sur aumentando el grado metamórfico hacia el norte. La litología varía desde arcosas, grawacas, limolitas y lutitas no metamorizadas de ambiente turbidítico en la unidad El Tigre hasta filitas, pizarras, esquistos pelíticos y gneises migmatíticos de edad Paleozoico en la unidad La Victoria (Aspden, et al., 1995). Se incluye granitoides, principalmente de granodioritas variablemente foliadas y en menor cantidad migmatitas, para-gneises de alto grado y granodioritas muscovítico-biotítico, que presentan cizallamiento en ciertas partes, con edad Triásica (Aspden et al., 1995).

El complejo granitoide Moromoro se incluye en la sub-provincia I, y con tiene las unidades La Bocana y La Florida, y los plutones Marcabelí y El Prado (Aspden, et al., 1995).

2.2.3.2. Sub-provincia II

La sub-provincia II del complejo metamórfico se encuentra al norte de la falla Zanjón-Naranjo, y contiene el melange Palenque que consiste de metasedimentos de bajo a medio grado metamórfico, tamaño de grano fino a medio; filitas y pizarras semi-pelíticas, en menor cantidad esquistos cuarzo-sericíticos, esquistos feldespáticos, metagrawacas, cherts verdosos a grises, esquistos verdes y esquistos anfibolíticos (Aspden et al., 1995). Dentro de la división melange Palenque se encuentran lentes graníticos migmatíticos intercalados de anfibolitas, la edad es atribuida al Triásico superior (Aspden, et al., 1995).

El complejo ofiolítico Raspas se encuentra dentro de la misma sub-provincia y está dividido en tres unidades informales por Aspden et al. (1995). La unidad Río Panupali contiene esquistos verdes foliados a masivos; Aspden et al. (1995) atribuye una edad del Jurásico superior al Cretácico inferior. La unidad El Toro se compone de harzburgitas serpentinizadas masivas con tamaño de grano medio, presenta foliación en ciertas partes y alta esquistosidad (Aspden et al., 1995). La unidad La Chilca está conformada de esquistos pelíticos, también hay la ocurrencia de esquistos azules y eclogitas de edad Jurásico superior al Cretácico inferior (Aspden et al., 1995).

2.3. RELLENO VOLCANO-SEDIMENTARIO

La zona montañosa austral del Ecuador se encuentra constituida por un relleno volcano-sedimentario conformada según Hungerbühler et al. (2002), de cuatro formaciones:

2.3.1. FORMACIÓN SACAPALCA

Kennerley (1973) describió la Formación Sacapalca como un conjunto de lavas andesíticas y piroclastos que afloran a lo largo de una depresión elongada de norte a sur desde Catacocha hasta Cariamanga. Las lavas presentan más resistencia a la erosión que las tobas asociadas. Según Jaillard et al. (1996) se conforma de tobas y aglomerados andesíticos, con intercalaciones de “red-beds volcánicos” en la parte superior. Posteriormente Hungerbühler (1997) la describió como tobas andesíticas a dacíticas, flujos de lava y brechas volcánicas, con clastos de hasta un metro. El espesor es estimado hasta 3000 metros (Baldock, 1982). La edad de

la Formación no está bien establecida, Kennerley (1980) atribuye al Eoceno medio, sin embargo, para Jaillard et al. (1996) consideran una edad del Paleoceno o más antigua. Hungerbühler (1997) y Hungerbühler et al. (2002) determinaron una edad del Maestrichtiano tardío al Paleoceno superior; con su límite más joven del Paleoceno inferior.

La Formación está cortada por varios plutones, como el Plutón San Lucas al W del pueblo de Cariamanga y el intrusivo Palo Blanco al oeste de Nambacola (Jaillard et al, 1996).

2.3.2. FORMACIÓN LOMA BLANCA

Esta Formación volcánica ocurre en el área entre Catamayo-Malacatos hasta el noreste Catacocha. Consiste de piroclastos de composición intermedia a ácida, generalmente ignimbritas, tobas de pómez y brechas volcánicas (Hungerbühler et al., 2002).

Fierro (1991) describió la Formación Loma Blanca en la cuenca de Malacatos-Vilcabamba, conformada por tobas y depósitos piroclásticos con leve estratificación, incluye también flujos de lava. Se refirió a las tobas como andesíticas a riolíticas, de color amarillo, en algunas zonas con estratificación, con un espesor de 1500 metros. Hungerbühler (1997) describió a Loma Blanca como piroclastos intermedios a ácidos incluyendo tobas blancas a grises estratificadas y flujos de lavas andesíticas.

La edad determinada con Trazas de Fisión en Zircón por Hungerbühler (1997) fue del Eoceno superior al Oligoceno, con espesor máximo de 2000 metros. Hungerbühler (1997) también diferencia dos miembros dentro de la Formación Loma Blanca, el miembro Cuarzo-Porfirítico Purunuma y el Miembro Solanda.

2.3.2.1. Miembro Cuarzo-Porfirítico Purunuma

Kennerley (1973) y Kennerley & Almeida (1975a), mencionaron la aparición de un pórfido rico en cuarzo en la zona de Purunuma, Baldock (1982) lo atribuyó al Grupo Saraguro. Sin embargo, en el afloramiento tipo, Hungerbühler (1997) describió al miembro como una toba gris rica en cuarzo con estructura porfirítica, con xenolitos de hasta 10 centímetros, piroclastos de composición básica a intermedia posiblemente de la Formación Sacapalca, que lo correlacionó a la Formación Loma

Blanca y no al pórvido asumido por Kennerley (1973). Sin un espesor determinado y con una edad del Oligoceno Superior (Hungerbühler, 1997).

2.3.2.2. Miembro Solanda

Hungerbühler (1997), define al Miembro Solanda como conglomerados con clastos metamórficos, areniscas rojas y verdes, lutitas limosas negras e intercalaciones de tobas, bien consolidados. Espesor de 100 metros máximo. La edad de este miembro se le atribuye al Oligoceno inferior determinado por ZTF (Zircon Fission-Track).

2.3.3. FORMACIÓN QUINARA

Esta Formación ha sido reportada por Hungerbühler et al. (2002) quienes la detallaron como piroclastos de composición ácida en capas de espesores de hasta 2 metros; tobas de color gris a blanco ricas en vidrio principalmente ignimbritas, tobas con clastos metamórficos y brechas volcánicas con piroclastos retrabajados. Tiene un espesor de 300 metros. La edad es de 15 a 14 millones de años (Mioceno Medio inferior). Se encuentra discordante sobre los metamórficos Paleozoicos en la cuenca de Malacatos-Vilcabamba (Deniaud, 2000).

2.4. RELLENO SEDIMENTARIO AUSTRAL

Parte del relleno volcano-sedimentario de las Cordilleras Real y Occidental y el Bloque Amotape-Tahuín lo constituyen las Cuencas Intramontañosas al sur del Ecuador entre las latitudes 2°S y 4°20'S. Estas cuencas de edad Neógena fueron interpretadas por Steinmann et al. (1999) y Hungerbühler (1997) como rellenos sedimentarios depositados en dos episodios. El primer episodio fue entre los 15 a 10 Ma (Mioceno medio) en un ambiente costero, con depósitos marinos y deltaicos, interpretado como un período de extensión y lo denominó etapa "Pacífico Costera" en la cual ocurrió una subsidencia extensional con ingreso de mares someros (Figura 2.3B) (Hungerbühler, 1997; Hungerbühler et al., 2002). La segunda etapa tuvo lugar hace 9 y 5 Ma (Mioceno superior), definido como un período de cierre de las cuencas en un ambiente tectónico compresivo denominado etapa intramontañosa, en la cual se formaron cuencas más pequeñas (Figura 2.3C) (Hungerbühler, 1997; Hungerbühler et al., 2002).

La Formación Gonzanamá, forma la cuenca sedimentaria más antigua registrada en el área. Nombrada por primera vez por Villemour en 1967 (Bristow & Hoffstetter, 1977), consta de una secuencia de sedimentos y materiales volcánicos. Los sedimentos se componen de lutitas, limos y areniscas calcáreas estratificadas, con lutitas negras como característica principal, con zonas calcáreas y cherts, en menor cantidad conglomerados. La edad está atribuida al Mioceno medio (Hungerbühler et al., 2002; Bristow & Hoffstetter, 1997; Jaillard et al., 1996).

El aporte sedimentario de las cuencas proviene de la Cordillera Real al este y de la Cordillera Occidental en el oeste. Por otra parte, trazas de fisión en apatito, sugieren que la exhumación de las cuencas intramontañosas ocurrió desde ≈ 9.5 Ma (Steinmann et al., 1999 en Hungerbühler et al., 2002); afectado también por la subducción de la Cordillera de Carnegie.

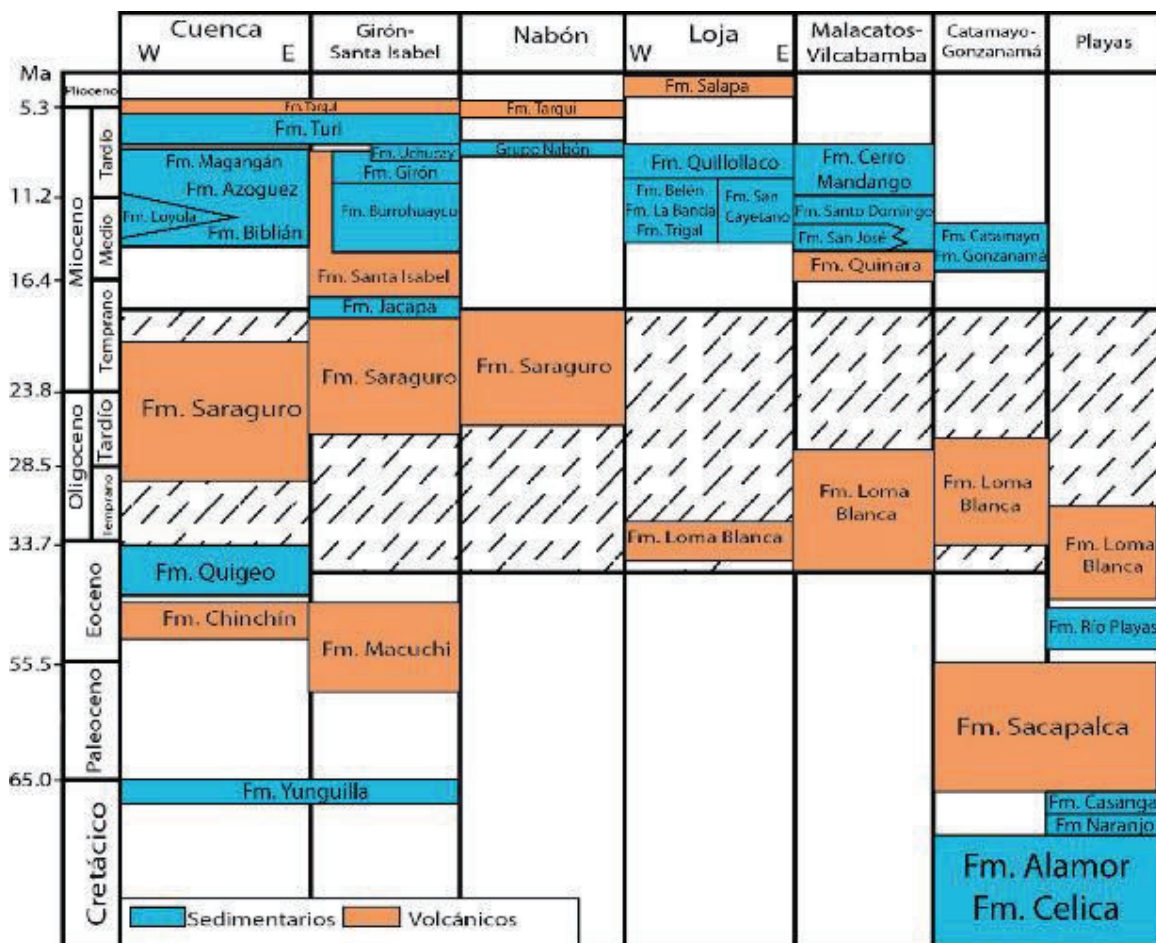


Tabla 2.1: Resumen de la estratigrafía de las cuencas intramontañosas, las edades han sido determinadas mediante ZFT (Zircon Fission-Track); modificado de Hungerbühler et al., 2002.

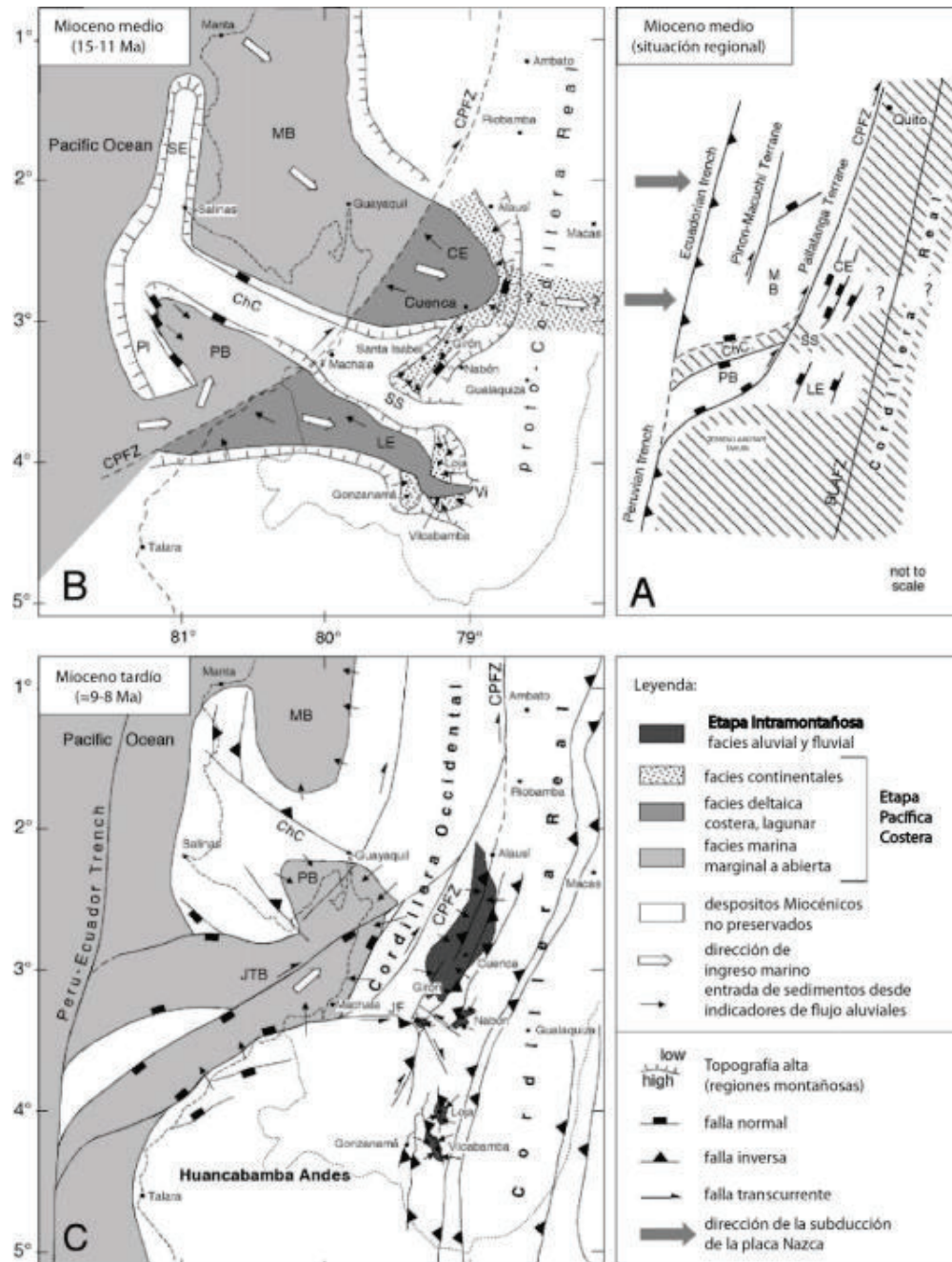


Figura 2.3: Modelo paleo-estructural del sur de Ecuador entre el Mioceno medio al Mioceno superior. BLAFZ: Zona de falla Baños-Las Aradas; ChC: Cordillera Chongón Colonche; CE: Ensenada Cuenca; CPFZ: Zona de falla Calacalí-Pallatanga; JF: Falla Jubones; JTB: Cuenca Jambelí-Túmbez; LE: Ensenada Loja; MB: Cuenca de Manabí; PI: Elevación Playas; PB: Cuenca Progreso; SE: Elevación Santa Elena; SS: Elevación Santa Rosa-Saraguro. A) Reconstrucción tectónica regional del Mioceno medio. B) Ingreso marino en las ensenadas de Cuenca y Loja, con relleno de los mares someros del este debido a la entrada de sistemas fluviales y deltaicos. C) En el Mioceno superior comenzó la compresión E-W, pero continuó un movimiento NNE de las unidades del antearco causado por una subsidencia de la cuenca Jambelí-Túmbez contemporánea; en la región inter-andina el levantamiento y la sedimentación ocurrió en las cuencas Intramontañosas (Tomado de Hungerbühler et al., 2002).

CAPÍTULO 3

3. GEOLOGÍA LOCAL: LITOSTRATIGRAFÍA

3.1. GEOLOGÍA LOCAL

Para determinar la litoestratigrafía se realizó el levantamiento geológico del área, mediante salidas de campo en varias jornadas desde diciembre de 2014 a agosto de 2015; por medio de las múltiples vías y senderos del área estudiada. Los recorridos de campo se los realizó a pie y en vehículo. Se describieron más de doscientos puntos a lo largo de distintos afloramientos y se utilizaron cartas topográficas a escala 1:50.000, las que se utilizaron como base para la elaboración de un mapa geológico (Anexo 15). Los puntos tomados en campo se encuentran en sistema de proyección geográfica Universal Transversal Mercator (UTM) con datum World Geodetic System 84 (WGS 84).

El presente trabajo geológico permitió la identificación de al menos cuatro importantes formaciones de origen volcánico e intrusivo, y sedimentario. Esta secuencia litoestratigráfica tiene las rocas basales al oeste del área, y al este la secuencia es más completa con formaciones más jóvenes. Se determinó el Miembro Sacapalca Basal / Unidad Changaimina a la base, sobre éste, volcánicos equivalentes a la Formación Loma Blanca, Formación Gonzanamá y al tope Volcánicos Miocénicos.

3.2. BASAMENTO

El basamento del área estudiada lo conforman rocas metamórficas de la Cordillera Real al este y rocas volcánicas paleocenas-oligocenas al oeste.

3.2.1. UNIDAD CHIGUINDA

Esta unidad corresponde a la División Loja de la Cordillera Real (Litherland et al., 1994). Esta unidad no aflora en la zona de estudio, pero se la encuentra a unos 15 km hacia el este, en los puntos UTM: 0682846 / 9534666 y 0685049 / 9536159 (Río Solanda), donde se observan afloramientos de rocas metamórficas de bajo grado como pizarras, filitas, cuarcitas, y esquistos grafitosos (Fotografía 3.1). La unidad

Chiguinda se halla en contacto discordante con volcánicos de la Fm. Loma Blanca. Se caracteriza por estar plegada a escala métrica y en ciertos lugares se observa una foliación preferencial N-S (0700613 / 9518127), así como vetas grandes de cuarzo de alrededor de 30 cm de espesor y de varios metros de longitud que se encuentran a lo largo de los afloramientos. La edad atribuida por Aspden et al. (1994) es del Paleozoico, correlacionada con rocas del Devónico al Carbonífero en Perú y Bolivia.



Fotografía 3.1: Filitas de la Unidad Chiguinda como basamento al este del área (UTM: 0685049 / 9536159).

3.2.2. UNIDAD TRES LAGUNAS

Al igual que la unidad anterior, es parte de la División Loja, y se compone de granito gnéisico con cuarzo azul con tamaño de cristales medio a grueso, contiene biotita, feldespato potásico y plagioclasa. No aflora en la zona de estudio, sin embargo se la ha podido encontrar en la parte oriental y se la asocia con la unidad Chiguinda.

La edad de esta unidad determinada por Spikings et al. (2014), por el método U/Pb fue de $233,7 \pm 0,8$ Ma, del Triásico Superior.

3.3. FORMACIÓN SACAPALCA

La Formación Sacapalca se consideró en este trabajo como la parte basal de la zona de estudio, consta principalmente de rocas andesíticas, de textura afanítica y porfirítica, pertenecientes a lavas y pórfidos, depósitos piroclásticos que fueron atribuidos como la parte superior de la Formación, tomando el nombre de Sacapalca con la antigua nomenclatura de Kennerley (1973) agrupando los volcánicos y piroclastos paleocenos. Se puede identificar una variación litológica, y se determinó dos miembros dentro de la Formación (Tabla 3.4).

3.3.1. MIEMBRO SACAPALCA BASAL / UNIDAD CHANGAIMINA

En este trabajo se considera la parte basal, los volcánicos Sacapalca nombrados por Kennerley 1973 o Unidad Changaimina por el INIGEMM (2012), se caracteriza por rocas volcánicas, que en su mayoría, se encuentran diaclasadas o lajadas, con fracturas extensas a lo largo de la Formación. Puede encontrarse vetas rellenas de cuarzo y arcilla, esta última como producto de alteración.

Ubicación y afloramientos: La unidad aflora esporádicamente en toda el área de estudio. Se la puede observar en las partes bajas de las quebradas que socavan las rocas más jóvenes. Se extiende hacia el norte hasta la cuenca de Catamayo y al sur hasta el sector de Cariamanga, al oeste se encuentra limitada por la falla Algarrobera (explicada en el siguiente capítulo) en contacto con el Batolito de Tangula (INIGEMM, 2012), hacia el este la unidad se extiende hasta la cuenca de Malacatos-Vilcabamba. Fue descrita en varios puntos mostrando una litología similar. Afloramientos tipo fueron encontrados al NNE del poblado de Changaimina, sector La Panuma (UTM: 0664449 / 9535184) y en el sector de Sacapalca (0665317 / 9538738; 0664443 / 9539679). Otro punto de interés se encontró en la vía Combolo-Potrerrillos (0669384 / 9538990). En el sector Corral Chico (UTM: 0667391 / 9543223) y Paja Blanca (0666820 / 9544316) también es posible encontrar a la unidad.

Litología: Se compone de lavas andesíticas basálticas de color verde, púrpura y gris verdoso. Su textura varía de afanítica a porfirítica, con estructura en general

masiva y muy consolidada (Fotografía 3.2). En el sector de Sacapalca afloran lavas verdosas de textura porfírica, con matriz compuesta de vidrio volcánico y cristales de plagioclasa hasta un 60%, vetas de cuarzo están presentes (Fotografía 3.3). También aflora como una roca porfírica de color verdoso, con matriz de vidrio volcánico, cristales de plagioclasas y anfíbol, masiva y muy consolidada.



Fotografía 3.2: a) Lavas andesíticas grises verdosas atribuidas a el Miembro Sacapalca Basal (UTM: 0673259 / 9549295); b) Andesitas de textura afanítica, de color gris oscura a verdosa, con vetas rellenas (UTM: 0667367 / 9543163).



Fotografía 3.3: Afloramiento de lavas de andesitas basálticas verdes a rojizas en 0664443 / 9539679, porfíricas, con cristales de plagioclasa; las lavas se encuentran fracturadas.

En la vía Combolo – Potrerillos, el Miembro Sacapalca Basal (Unidad Changaimina) presenta xenolitos de origen metamórfico de bajo grado (Fotografía 3.4).



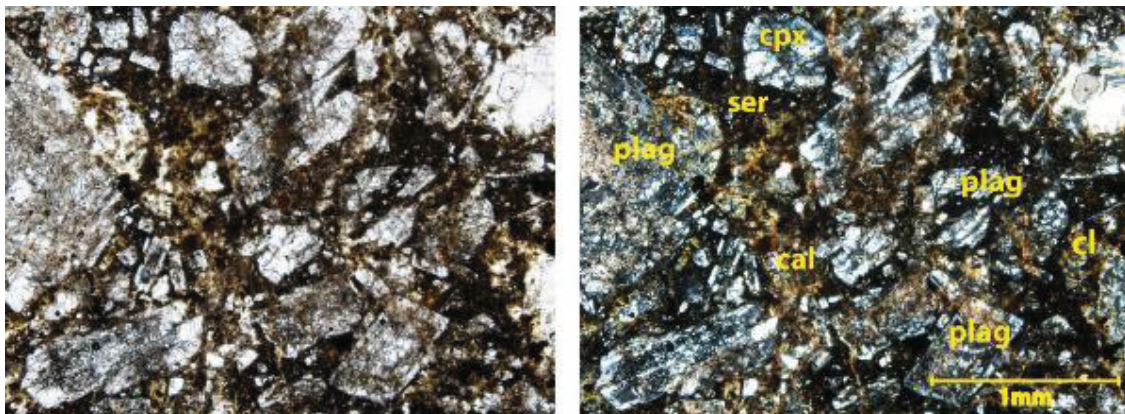
Fotografía 3.4: Miembro Sacapalca Basal (0669384 / 9538990), andesitas de textura porfirítica, de color verdoso a púrpura; ciertas muestras poseen xenolitos de origen metamórfico.

INIGEMM (2012) denominó a estas rocas como Unidad Changaimina donde se agrupan todas las lavas andesíticas porfiríticas de color gris verdoso y púrpura. En el sector de Changaimina, el miembro Sacapalca Basal aflora como andesitas verdes muy consolidadas, con cristales de anfíbol y plagioclasa en matriz volcánica verdosa; el sitio se consideró como pórfido resistente a la erosión formando grandes picos con alturas de hasta 2240 m.s.n.m. (Fotografía 3.5).

Petrografía: La muestra 2014-GZ-13, tomada en el punto UTM: 662468 / 9537248 4km al N de Changaimina, mostró en lámina delgada textura porfídica y estructura desordenada, la mineralogía estuvo compuesta por fenocristales de plagioclasas (andesina) (30%), clinopiroxeno (20%), en menor cantidad ortopiroxeno (5%), anfíbol (5%); minerales secundarios como sericita (4%) y epidota (5%), en una matriz (29%) compuesta de plagioclasa, arcilla y calcita secundaria. Por lo que se la definió como una andesita cloritizada (Fotografía 3.6) (Ver Tabla 3.4 y Anexo 14).



Fotografía 3.5: Andesitas de la unidad Changaimina: a) Andesitas en el UTM: 0664449 / 9535184; b) Andesitas alteradas en el punto 0663457 / 9533804; c) Andesitas en la parte inferior del punto a. UTM: 0663130 / 9534663.

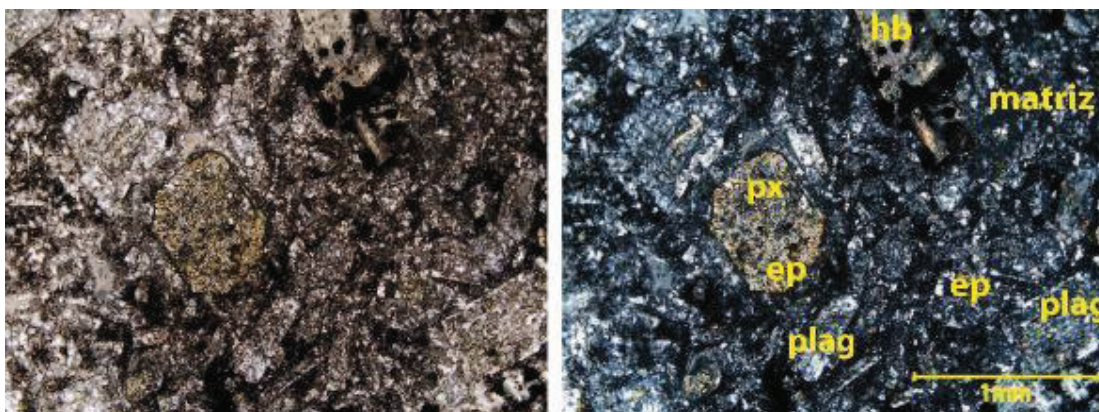


Fotografía 3.6: Lámina delgada de la muestra 2014-GZ-13, andesita cloritizada, plag=plagioclasa, cpx=clinopiroxeno, cl=clorita, ser=sericita, cal=calcita. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.

La lámina delgada de la muestra 2014-GZ-06.1 tomada en el punto UTM: 0662954 / 9534940, 2 km al N de Changaimina, expuso una textura porfídica, con estructura

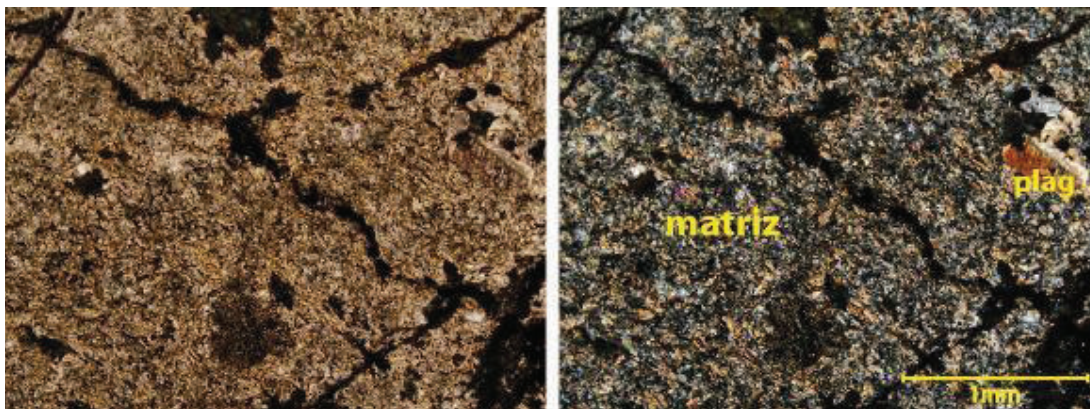
desordenada entre sus cristales y la matriz. La composición mineralógica fue fenocristales de plagioclasa (28%), ortopiroxeno (15%), anfíbol alterado (5%), cuarzo (5%), clinopiroxeno (1%), con minerales secundarios opacos (4%), óxidos (2%) minerales de alteración como clorita (20%) y calcita secundaria (15%), en una matriz (7%) conformada por plagioclasa, piroxenos, clorita y óxidos. Se clasificó como una andesita cloritizada (Ver Anexo 14).

En el sector La Panuma, se tomó la muestra 2015-CH-09. La sección delgada presentó una textura porfídica y estructura desordenada, fenocristales de plagioclasa (30%), anfíbol (10%) y piroxeno (5%), los minerales secundarios son notables, como epidota (15%), arcilla (10%), sericita (5%), opacos (2%); matriz (23%) compuesta de plagioclasa y vidrio volcánico; se la denominó como una andesita epidotizada (Fotografía 3.7; Anexo 14).



Fotografía 3.7: Lámina delgada de la muestra 2015-CH-09, andesita epidotizada, plag=plagioclasa, px=piroxeno epidotizado, ep=epidota, hb=hornblenda, matriz. Aumento 2,5x, izq.: luz normal; der.: luz polarizada (UTM: 0664449 / 9535184).

En la zona centro-noreste del área estudiada, sector de Paja Blanca, las andesitas del Mb. Sacapalca Basal son de color verdoso, basáltica, como lo indicó la muestra 2015-SC-15.2, la cual manifestó una textura afanítica pilotáxica, mineralógicamente contiene fenocristales de plagioclasa, hornblenda, piroxeno (orto- y clinopiroxeno) los cuales no sobrepasan el 8% de la cantidad de la muestra total. Los minerales secundarios fueron arcilla (2%) y opacos (1%). Una matriz (89%) comprendida de microcristales de plagioclasa, piroxeno y en menor cantidad vidrio volcánico (Fotografía 3.8) interpretada como una lava andesítica basáltica. La muestra indicó la fase lávica (proximal) de la Formación, la cual se extiende a lo largo de la zona este.

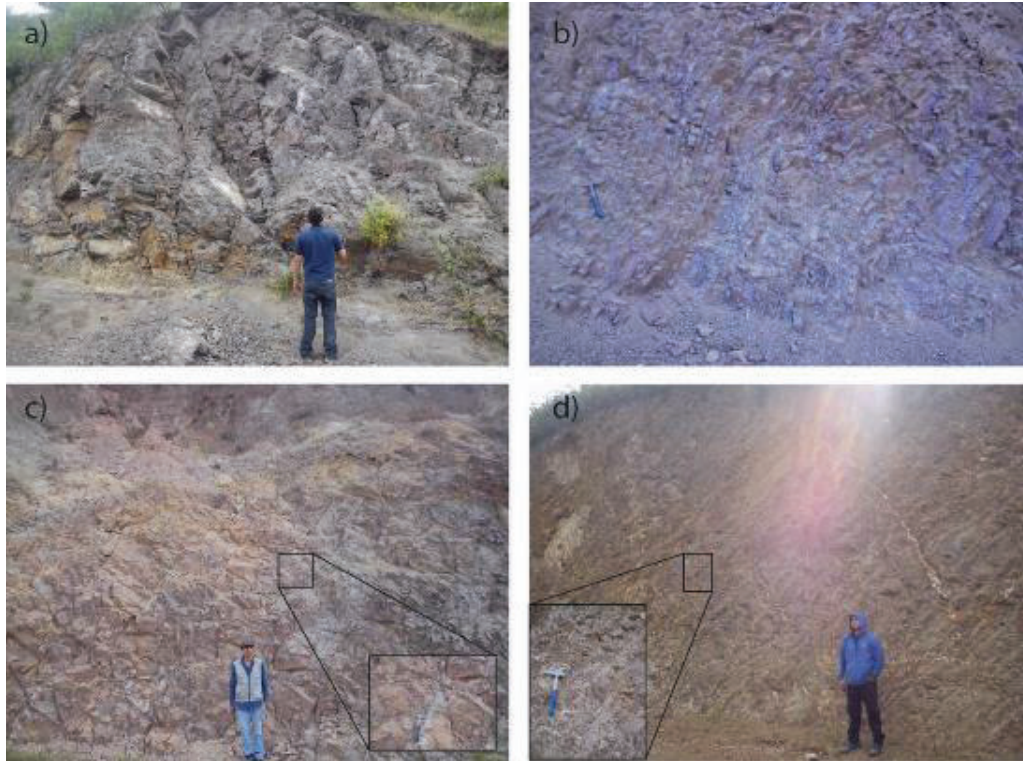


Fotografía 3.8: Sección delgada de la muestra 2015-SC-15.2 (UTM: 0666820 / 9544316), lava de andesita basáltica, compuesta de plag=plagioclasa, y una matriz de plagioclasa, vidrio volcánico, se observa fracturas y zonas de alteración a arcilla entre la matriz. Aumento 2,5x, izq.: luz normal; der.: luz polarizada.

Hacia el oeste de la zona la composición se mantiene, se encontraron afloramientos de andesitas con textura porfírica de estructura masiva muy consolidada, de color gris verdosa, marrón rojizo y gris, cristales de plagioclasas, en menor cantidad hornblenda, matriz compuesta de vidrio volcánico, presentan fracturas rellenas de cuarzo y en parte alteraciones a epidota, algunas lavas se encuentran lajadas y con diaclasas (Fotografía 3.9).

Correlación estratigráfica: En la parte oriental de la zona de estudio se la observa en las partes inferiores en contacto discordante con volcánicos del Oligoceno y la Formación Gonzanamá, mientras que al oeste se encuentra en discordancia debajo de volcano-sedimentos de edad más joven. Al sur del área, en el sector de Changaimina se encuentra en los altos relieves que conforman las montañas. Al NE del área, en el sector de Corral Chico, se encuentra en contacto con el Plutón Palo Blanco.

En afloramientos al este (Nambacola) y suroeste (Changaimina) de la zona estudiada, la roca se encuentra entre rocas que poseen una textura fanerítica lo que indica cuerpos intrusivos o hipoabisales con tamaño de los cristales medio a fino con un contenido de plagioclasa y hornblenda distinguibles en muestra de mano. Esta última podría corresponder a un cuerpo intrusivo más joven y no corresponder a la misma unidad.



Fotografía 3.9: a) Andesitas grisáceas porfíricas, parte oeste del área de estudio. b) Lavas andesíticas lajadas y deformadas, en 0660705/9531369. c) Andesitas diaclasadas grises rojizas de la unidad Changaimina. d) Andesitas con fracturas rellenas de cuarzo, pertenecientes a la Fm. Sacapalca.

En ciertos lugares, en el oeste y norte de la zona de estudio, así como en afloramientos en el sector de Combolo, es difícil distinguir entre la Formación Loma Blanca debido al alto grado de meteorización, debido al clima árido característico del lugar que meteoriza la roca por lo que la litología es similar en ambas formaciones.

Espesor: La potencia del Miembro Sacapalca Basal / Unidad Changaimina se encuentra entre 900 y 1300 metros en el área de estudio, sin ver la base; y el espesor total podría estar entre los 2000 metros (Hungerbühler et al., 2002).

Edad: La edad de la unidad es considerada del Paleoceno Inferior por Hungerbühler et al (2002), quien data $66,9 \pm 5,8$ Ma (Tabla 3.1).

Formación	UTM (WGS84)		Edad (Ma)	Litología	Sector	Fuente
Sacapalca	645792	9554743	66.9 ± 5.8	Dacita	NW de Catacocha	Hungerbühler, 1997

Tabla 3.1: Datación radiométrica para el Miembro Sacapalca Basal.

3.3.2. MIEMBRO TOBAS

Como lo mencionó Kennerley (1973), se reconocen flujos piroclásticos sobre las lavas afaníticas y rocas porfíricas que se atribuyeron a Formación Sacapalca (antigua nomenclatura de Kennerley, 1973). El Miembro Tobas, aquí mencionado, está descrito por el INIGEMM (2012), dentro de la Unidad San Vicente con una edad del Paleoceno; sin embargo, se la separó de la unidad debido a que la litología encontrada en el área fue en su mayoría de tobas, las cuales son solo una parte de toda la litología encontrada en la Unidad San Vicente.

Ubicación y afloramientos: La ocurrencia es, en general, al centro-norte del área de estudio. Se identificaron dos afloramientos principales uno en el sector “La Y” vía Changaimina-Sacapalca (0666039 / 9537781), y el otro en sector de Sacairo (UTM: 0664622 / 9543087) y sus alrededores, como es las faldas del Cerro Surapo (UTM: 0666207 / 9539199), La Vega Grande (0663965 / 9547565), al este de Sacapalca (0665191 / 9540720) y “La Y” vía Sacapalca-Santa Ester (0661740 / 9544422).

Litología de las tobas del sector “La Y” vía Changaimina-Sacapalca: En este sector, se exhibe una secuencia de tobas (Fotografía 3.10). A la base una toba de color café oscuro, con clastos de pómez de tamaño de 3 a 2 centímetros, la matriz de la toba se compone de ceniza fina, cristales de plagioclasa y líticos volcánicos, algunos de los cuales se encuentran cloritizados. En general, la toba se encuentra silicificada. Sobre esta, se encontraron tobas de color rosáceo pálido, silicificada, que contiene anfíbol cloritizado y plagioclasa alterada; la matriz está compuesta de ceniza fina, líticos de pómez de 5 mm a 1 mm están presentes. Se encuentra bien consolidada.

Hacia el tope, se encuentra una toba cristalina-vítrea de color verde, con clastos de pómez color rosado, cristales de plagioclasa en menor cantidad; la matriz contiene ceniza fina, silicificada muy consolidada. Se encuentra cloritizada. Sobre la toba verde se encontró tobas rosáceas, silicificadas, con cristales de anfíbol y plagioclasa; la matriz está compuesta de ceniza fina de color rosado claro, se encuentran también, líticos volcánicos con 3 mm en tamaño promedio. Toba bien consolidada.

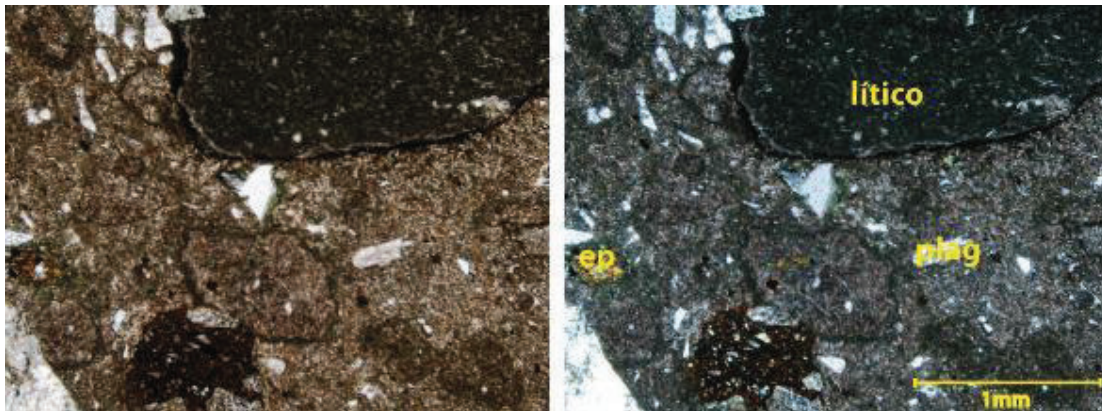


Fotografía 3.10: Secuencia de tobas ignimbríticas de composición andesítica en 0666039 / 9537781, sector "Y" de Sacapalca-Changaimina.

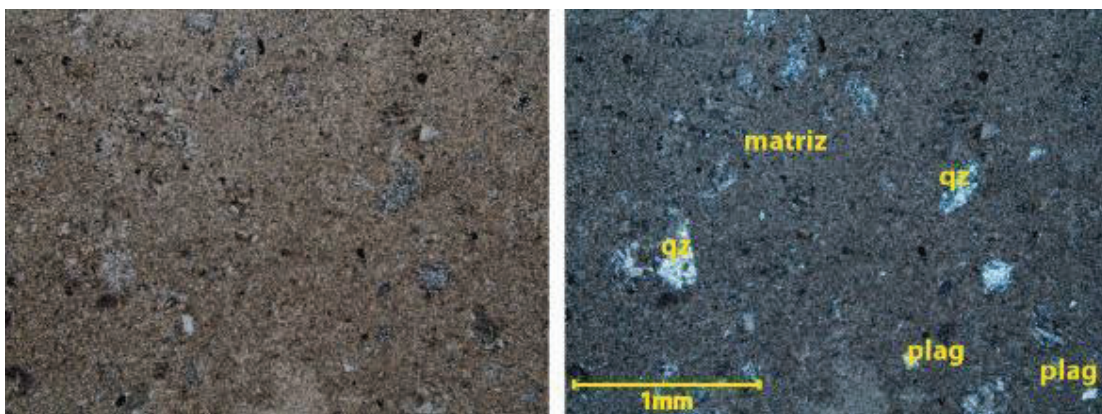
Petrografía de las tobas del sector "La Y" vía Changaimina-Sacapalca: Las tobas encontradas fueron estudiadas bajo microscopio petrográfico. La muestra 2014-GZ-20.1 (UTM: 0666039 / 9537781) presentó una textura piroclástica, microestructura desordenada, cristales de cuarzo (7%), líticos de origen ígneo y sedimentario (10%), feldespatos potásicos (5%) y plagioclasa (5%); minerales secundarios como opacos y óxidos; en una matriz vítrea (47%) conformada por ceniza y vidrio volcánico; fue nombrada como una toba cristalina-vítrea riodacítica cloritizada (Fotografía 3.11; Tabla 3.4 y Anexo 14).

La muestra 2014-GZ-20.2 (UTM: 0666039 / 9537781), reveló una textura tuffítica, microestructura desordenada, cristales de plagioclasa (6%), líticos de origen ígneo de textura fanerítica y porfírica de composición ácida (3%), cuarzo secundario (2%), alteraciones a clorita (2%); en una matriz vítrea-arcillosa oxidada (84%)

compuesta de vidrio volcánico y arcilla; representa una toba vítrea silicificada de composición intermedia (Fotografía 3.12; Tabla 3.4 y Anexo 14).



Fotografía 3.11: Lámina delgada, toba ácida (muestra 2015-GZ-20.1), plag=plagioclasa, ep=epidota. Aumento 2,5x, izq.: luz normal, der.: luz polarizada (UTM: 0666039 / 9537781).



Fotografía 3.12: Muestra 2014-GZ-20.2 correspondiente a una toba vítrea; qz=cuarzo, plag=plagioclasa, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada (UTM: 0666039 / 9537781).

Litología de las tobas en el Sector de Sacairo: Tobas volcánicas con tamaño de grano variando de lapilli a ceniza fueron descritas en los alrededores del poblado de Sacairo, al norte del pueblo de Sacapalca, estas se encuentran en toda extensión de la depresión de Sacapalca hasta el sector de San Vicente del Río.

Se encontró tobas de color pardo verdoso, con tamaño de grano de arena gruesa, cuarzo-feldespática, en menor cantidad plagioclasa y líticos volcánicos. La toba se encuentra levemente silicificada y con un espesor no mayor a un metro. Por correlación estratigráfica, se considera como un miembro inferior de las tobas encontradas ya que se encuentran a la base de la secuencia (Fotografía 3.13a).



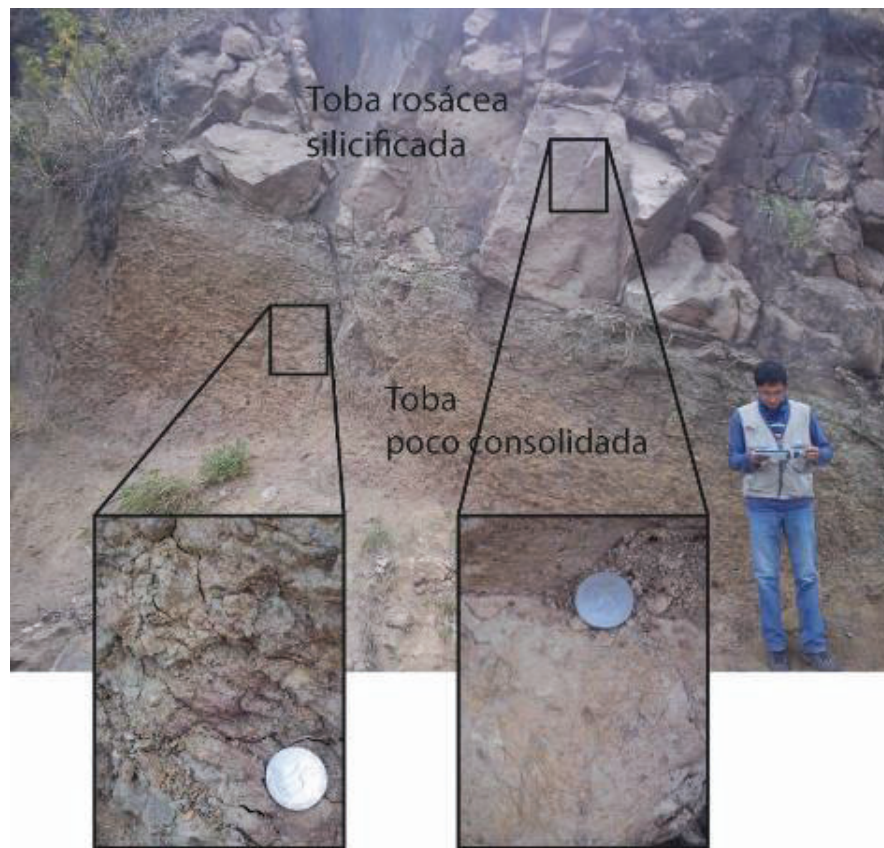
Fotografía 3.13: Tobas retrabajadas en el sector de Sacapalca (UTM: 0664915 / 9541514): a) Toba café verdosa cuarzo feldespática; b) Toba arenosa verde, cuarzo feldespática cloritizada.

Sobre la anterior se encontraron también tobas de color verde intenso a verde oscuro, poco consolidada y con tamaño de grano de arena.

Hacia el este de Sacapalca, la misma toba varía en tamaño de grano a clastos tipo lapilli (muestra 2015-SC-30); se compone de cristales de plagioclasa, feldespato potásico en menor cantidad cuarzo; también se encontró líticos volcánicos angulares de color verde, rojo y anaranjado, estos poseen textura porfirítica y afanítica, se encuentran epidotizados y cloritizados; el tamaño de los líticos varía de pocos milímetros hasta 3 centímetros. La matriz de la toba tiene tamaño de grano que varía de ceniza gruesa a fina, de color verde oscuro. La toba se encuentra débilmente consolidada debido a la meteorización, presenta vetillas rellenas de yeso, y posee una ligera estratificación.

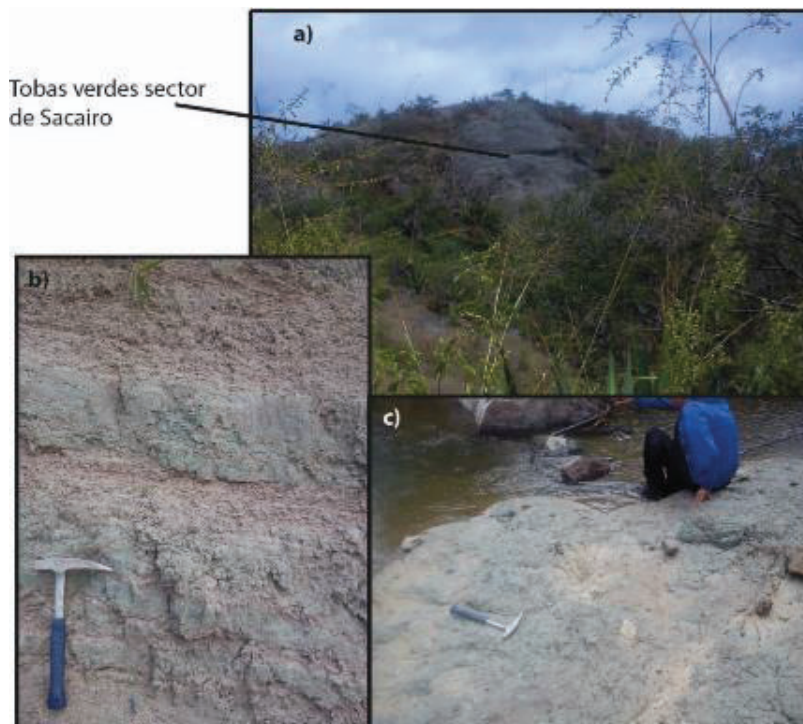
Sobre las tobas verdes se encontró una toba rosácea (Fotografía 3.14) muy consolidada que se compone de plagioclasa, clastos volcánicos de tamaño de 0,5 a 1 cm con buen sorteo dentro de la matriz silicificada (Muestras 2015-SC-17, 2015-SC-18, 2015-SC-20.2, 2015-SC-29, 2015-SC-31, 2015-SC-35, Anexo 9 y Anexo 14). Se encontraron también flujos piroclásticos rosáceos, con tamaño de grano de

lapilli; con líticos de hasta 30 mm subangulares a angulares, con textura porfirítica, color rojo oscuro, verde claro y gris oscuro, la composición de los líticos es dacítica y andesítica contenidos en una matriz de ceniza de composición riolítica con plagioclasa, cuarzo, anfíbol. Además, se describió un flujo piroclástico con clastos andesíticos y dacíticos de hasta 20 mm, angulares de color gris y rojo, con textura porfirítica, los cuales se encuentran en una matriz compuesta por ceniza rosada con plagioclasa, anfíbol y cuarzo.



Fotografía 3.14: Contacto entre tobas retrabajadas de color café verdoso a la base con flujos piroclásticos rosados silicificados al tope (UTM: 0665024 / 9541957).

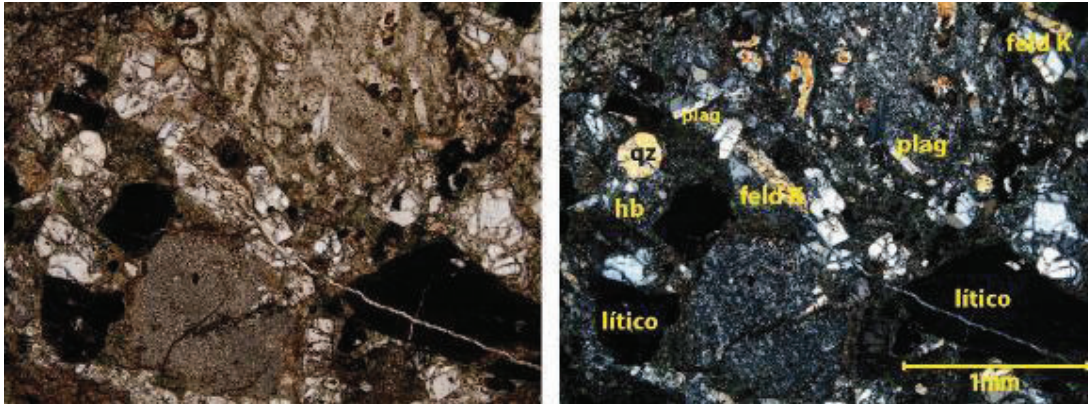
En este miembro los flujos piroclásticos cambian lateralmente, gradando en tamaño de grano de la matriz y de los líticos hacia el norte del área. Debido a la alteración de clorita-epidota que han sufrido estas rocas es complicado definir límites entre las tobas, por lo que se asumió un solo miembro correspondiente al Mb. Tobas (Fotografía 3.15).



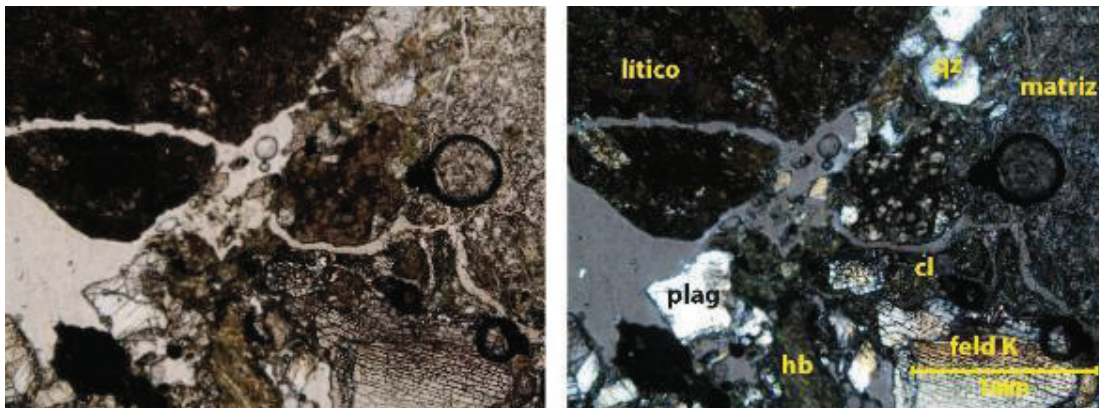
Fotografía 3.15: Toba verde de Sacairo a) Loma afectada por la alteración clorita-epidota, litológicamente se conforma de flujos piroclásticos de tobas verdes, encontrada en el sector de Sacairo (UTM: 0664324 / 9543435); b) Secuencia de areniscas volcánicas verdes re trabajadas e intercaladas con arcillas volcánicas color caqui rojizo (UTM: 665071 / 9542515); c) Toba verde con tamaño de clastos de lapilli muy consolidada, sector de Sacairo (UTM: 664618 / 9543096).

Petrografía de las tobas en el sector de Sacairo: La lámina delgada de la muestra 2015-SC-16 presentó una textura piroclástica brechoide, la microestructura una leve orientación de los cristales. La mineralogía se compuso de plagioclasa sódica (35%), feldespato de potasio (15%), líticos indiferenciados (17%), hornblenda (2%) y cuarzo (<1%); minerales secundarios opacos (2%); la matriz (13%) estuvo compuesta de ceniza volcánica y alterada a epidota y arcilla. Se la definió como lapilli tobáceo de composición riodacítica, alterado a epidota y arcilla (Fotografía 3.16; Anexo 14).

La muestra 2015-SC-36, tomada en el UTM: 0664618 / 9543096, estuvo constituida con textura tuffítica y microestructura desordenada. La mineralogía se compuso de plagioclasa intermedia a sódica (15%), feldespato potásico (5%), hornblenda (10%), cuarzo (5%) y líticos de composición andesítica a dacítica (25%); minerales secundarios arcilla (7%), opacos (3%), clorita (15%) y calcita (1%); en cuanto a la matriz (15%), está compuesta por ceniza y vidrio volcánico. Demostró ser un lapilli tobáceo lítico de composición riodacítica cloritizado (Fotografía 3.17; Anexo 14).



Fotografía 3.16: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-16 (UTM: 0666169 / 9539233), toba verde epidotizada. Aumento 2,5x; plag= plagioclasa, hb= hornblenda, qz= cuarzo, feld K= feldespato potásico; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.



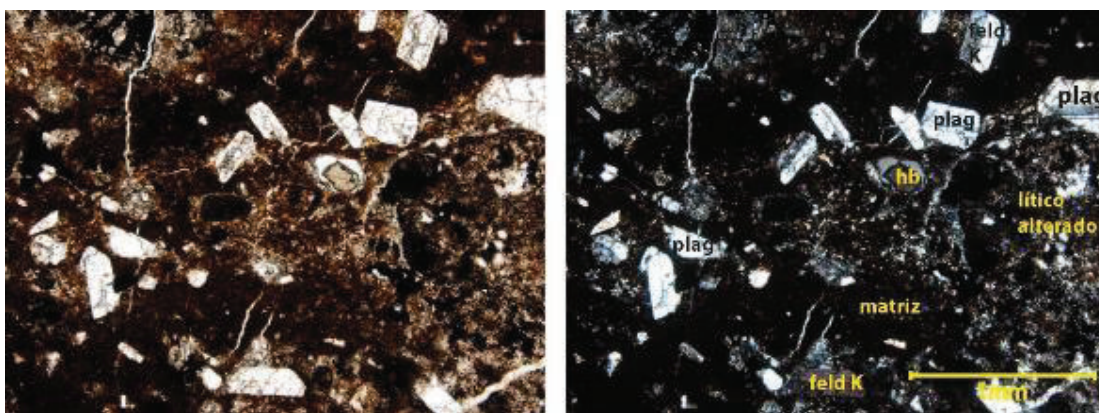
Fotografía 3.17: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-36, toba verde epidotizada (UTM: 0664618 / 9543096). Aumento 2,5x; plag= plagioclasa, hb= hornblenda, qz= cuarzo, feld K= feldespato potásico, cl=clorita; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.

En cuanto a las tobas rosadas que se encuentran sobre las tobas verdes, la petrología es la siguiente: La muestra 2015-SC-17 (Fotografía 3.18) y la muestra 2015-SC-20.2 (Fotografía 3.19), resultaron tener una textura piroclástica cinerítica, microestructuras con cristales orientados y matriz que indica la dirección de flujo. Contenido de cristales de plagioclasa intermedia, feldespato potásico, líticos volcánicos andesíticos; matriz compuesta de vidrio y ceniza, silicificada; se denominaron como tobas líticas-cristalinas (Anexo 14).

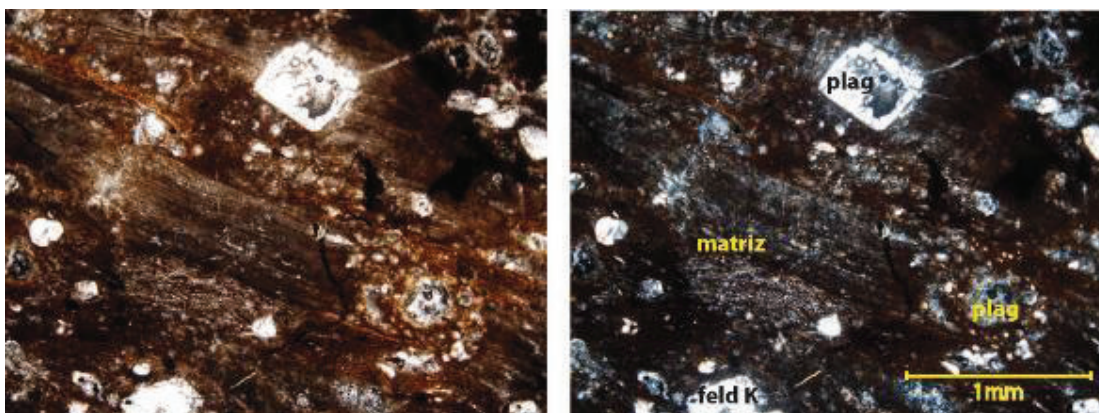
La muestra 2015-SC-29, tomada en el punto UTM: 0665566 / 9542326, en sección delgada se observó una textura eutaxítica, microestructura con matriz y cristales orientados. Se compone de fenocristales de feldespato potásico (20%), plagioclasa (10%), clinopiroxeno (15%) y anfíbol (5%); minerales secundarios como opacos

(3%) y epidota (2%); una matriz (45%) de ceniza y vidrio volcánico. Interpretada como toba cristalina bandeada de composición ácida (Anexo 14).

La muestra 2015-SC-31 (UTM: 0660260 / 9547100, sector del puente sobre el río Catamayo, vía Sacapalca-Catacocha), reveló en sección delgada una textura piroclástica brechoide, en cuanto a las microestructuras presentó cristales y matriz orientados. La mineralogía se compuso por cristales de plagioclasa sódica (27%), líticos dacíticos (20%), feldespato potásico (10%) y clinopiroxeno (1%); minerales secundarios compuestos por opacos (5%) y epidota (2%); la matriz (35%) estuvo constituida por ceniza y vidrio volcánico. Se la denominó como lapilli tobáceo lítico de composición ácida (Tabla 3.4 y Anexo 14).



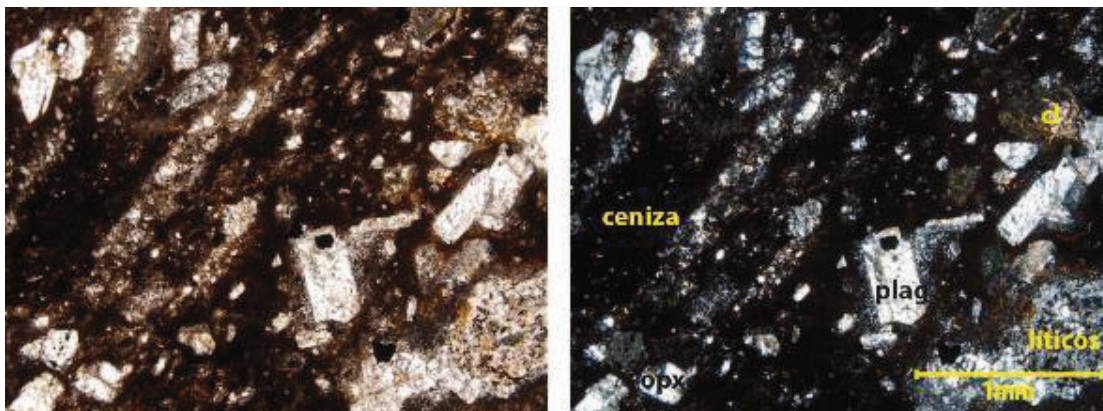
Fotografía 3.18: Muestra 2015-SC-17 (UTM: 0666169 / 9539233), toba rosácea, con feld K=feldespato potásico, plag=plagioclasa, hb=hornblenda, líticos y matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.; luz polarizada.



Fotografía 3.19 (Pág. anterior): Muestra 2015-SC-20.2 (UTM: 0665402 / 9542043, toba bandeada (ignimbrita), con plag=plagioclasa, feld K=feldespato potásico, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.; luz polarizada.

En el sector de La Vega, se identificó una toba bandeada muy consolidada, similar que se la correlacionó con las tobas antes descritas. La muestra 2015-SC-03

tomada en el punto UTM: 0663587 / 9547281, demostró tener una textura eutaxítica y microestructuras con cristales orientados y matriz bandeada. Posee fenocristales de plagioclasa intermedia (20%), clinopiroxeno (10%), ortopiroxeno (5%), líticos volcánicos cloritizados (2%); minerales secundarios como calcita (3%), opacos y óxidos (6%); en una matriz (54%) de plagioclasa y ceniza volcánica; la cual se la nombró como una toba lítica andesítica (Fotografía 3.20; Tabla 3.4 y Anexo 14).

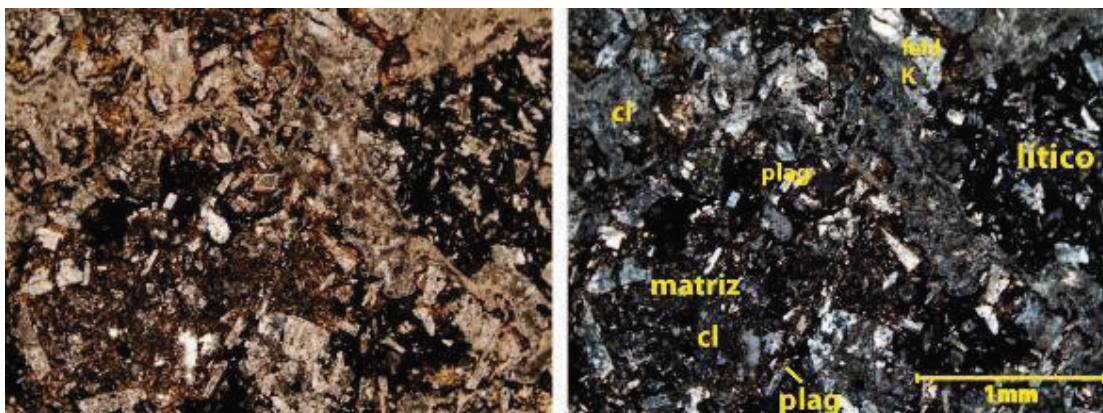


Fotografía 3.20: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-03 (UTM: 0663587 / 9547281), se observa una orientación preferencial de los cristales indicando la dirección de flujo; plag= plagioclasa, opx=ortopiroxeno, cl=clorita. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.

La ocurrencia de las tobas del sector “La Y” vía Changaimina-Sacapalca, se restringe al sector central de la zona de estudio y se las correlacionó con las tobas encontradas en Sacairo, al norte de la zona estudiada. La similitud petrográfica entre estas tobas es significativa, lo cual sugiere una continuidad lateral de las tobas o en el mejor de los casos sobreyacen a éstas.

En el lado este del área de estudio (0673218 / 9549098), al norte de Nambacola, se reportó una toba similar de color rosáceo que se encuentra sobre las lavas andesíticas de la unidad Changaimina. En lámina delgada, la muestra 2015-NB-17 se la describió con una textura piroclástica y estructura desordenada, con cristales de plagioclasa (25%), sanidina (10%), líticos andesíticos (20%), clinopiroxeno (5%); cuarzo recristalizado (7%), clorita (8%) y calcita secundaria (5%) como minerales secundarios; matriz (20%) rojiza pálida conformada de ceniza y vidrio volcánico, fue identificada como una toba lítica de composición dacítica a riódacítica cloritizada (Fotografía 3.21; Anexo 14).

La diferencia en altura entre las tobas del sector de Sacairo y la encontrada al norte de Nambacola (400 m con la toba encontrada en el puente del río Catamayo), sugiere que la zona ha sido afectada por tectónica, que la separó en bloques a diferentes cotas de altura.



Fotografía 3.21: Lámina delgada de la muestra 2015-NB-17, toba lítica cloritizada; plag=plagioclasa, feld K=feldespato potásico, cl=clorita. Aumento 2,5x, izq.: luz normal; der.: nicoles cruzados.

Correlación estratigráfica: Las tobas antes descritas, se estima que subyacen a los volcano-sedimentos oligocénicos equivalentes a la Fm. Loma Blanca. Se sobreponen al Miembro Sacapalca Basal / Unidad Changaimina.

Espesor: La potencia del miembro Tobas es estimada en 100 y 80 metros correspondiente a las tobas verdes y 20 metros a las tobas rosáceas que se encuentran sobre las anteriores.

Edad: De acuerdo a INIGEMM (2012), la Unidad San Vicente, de la cual se la separó al Miembro Tobas, posee una edad del Paleoceno; por tanto, el Mb. Tobas se encuentra sobre las lavas andesíticas del Mb. Sacapalca Basal (Unidad Changaimina), ambos miembros agrupados dentro de la Formación Sacapalca.

3.4. EQUIVALENTES DE LA FORMACIÓN LOMA BLANCA

En este trabajo se denominó como Formación Loma Blanca a tobas, volcano-sedimentos y brechas volcánicas que se extienden a lo largo de toda el área estudiada con una continuidad lateral respecto al área tipo (Cuenca de Malacatos-Vilcabamba), y que se encuentran en forma discordante sobre las andesitas verdes del Miembro Sacapalca Basal (Unidad Changaimina) en la parte oeste y este de la zona de estudio, en el centro de la zona se encuentran sobre el Miembro Tobas, el

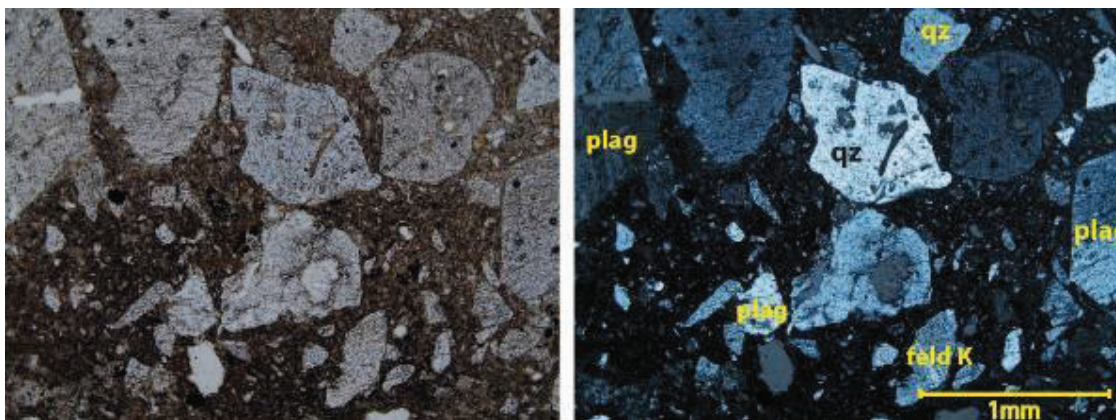
cual se lo diferenció por la litología y debido que se encuentran en contacto discordante.

3.4.1. MIEMBRO CUARZO-PORFIRÍTICO PURUNUMA

El Miembro Cuarzo-Porfirítico Purunuma descrito por Hungerbühler (1997) se lo identificó en la vía Malacatos - Purunuma (UTM: 0682158 / 9534444), en donde se considera el afloramiento tipo. En la zona de estudio, no se encontró este miembro. Se lo comparó con el Miembro Tobas (Sector La Vega Grande), lo que dio similares composiciones en la mineralogía, sin resultados concluyentes para correlacionarlas.

Litológicamente se lo determinó como una roca piroclástica, de color rosáceo, y bandeada. Posee cristales de plagioclasa en una matriz compuesta de ceniza volcánica muy consolidada; se la consideró como una toba soldada. En el mismo afloramiento tipo se encontró flujos de lava de dacitas rosáceas que se encuentran en menor cantidad.

En sección delgada, la muestra 2014-GZ-01.1 presentó una textura tuffítica, microestructura con leve orientación de los cristales, con contenido de fenocristales de plagioclasa (20%), ortopiroxeno (15%), cuarzo (5%), clinopiroxeno (2%), anfíbol (5%); minerales secundarios como calcita (5%), clorita (3%), opacos (2%) y zircón (1%); rodeados de una matriz cristalina (40%) que comprende arcilla, calcita, piroxeno y plagioclasa. La toba fue considerada cristalina dacítica (Fotografía 3.22).



Fotografía 3.22: Lámina delgada de la muestra 2014-GZ-1.2, Miembro Cuarzo-Porfirítico Purunuma (UTM: 0682158 / 9534444); plag: plagioclasa, feld K: feldspato potásico, qz: cuarzo. Aumento 2,5x, izq.: luz normal; der.: nicoles cruzados.

La relación estratigráfica del Miembro con las demás formaciones no está registrada, debido a que no aflora en la zona estudiada. Sin embargo, se lo menciona debido a que Hungerbühler (1997) atribuye el miembro a la Formación Loma Blanca en las cercanías orientales de la zona estudiada en el presente proyecto.

1.1.1. MIEMBRO VOLCANO-SEDIMENTARIO

Se consideró a este miembro como la parte basal de los volcánicos equivalentes a la Fm. Loma Blanca. Se caracteriza por tener capas retrabajadas y sedimentos de origen volcánico.

Ubicación y afloramientos: Se los pueden encontrar al oeste de la zona de estudio y en menor ocurrencia en la parte central. En el oeste, sector El Fundo (UTM: 0661414 / 9531618), se observa afloramientos de volcano-sedimentos atribuidos al miembro; al igual que en El Carmelo (UTM: 0659177 / 9536875), 6 km al NW de la parroquia de Changaimina. En la parte central del área estudiada, se encontraron en el sector de Sacapalca (UTM: 0664936 / 9539820, vía Sacapalca – Sunamanga) y en la vía Combolo – Potrerillos (UTM: 0669371 / 9539172).

Litología: Se compone a la base de brechas y conglomerados (Fotografía 3.23) que se encuentran en discordancia litológica sobre el Miembro Sacapalca Basal, seguido de volcano-sedimentos compuestos de lutitas, limos y areniscas.

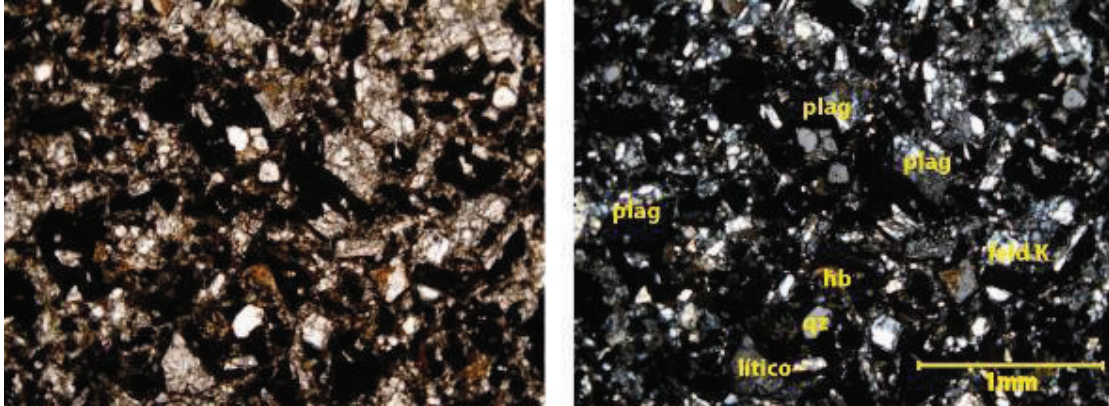


Fotografía 3.23: Conglomerados y brechas volcánicas atribuidos a la Mb. Volcano-sedimentos: a) Conglomerado en el punto UTM: 0661414 / 9531618; b) Brecha clasto soportada (UTM: 0660323 / 9538334).

En la parte occidental, sector El Fundo, se tiene a la base brechas volcánicas y lentes de conglomerados muy consolidados, con clastos de tamaño máximo de un metro a tamaño decimétrico, angulares y sub-angulares en partes redondeados, con mal sorteo. Los clastos son de color verde grisáceo, gris rojizo, rojos, de textura porfirítica, composición andesítica. La matriz se compone de arena con arcilla y líticos de origen volcánico.

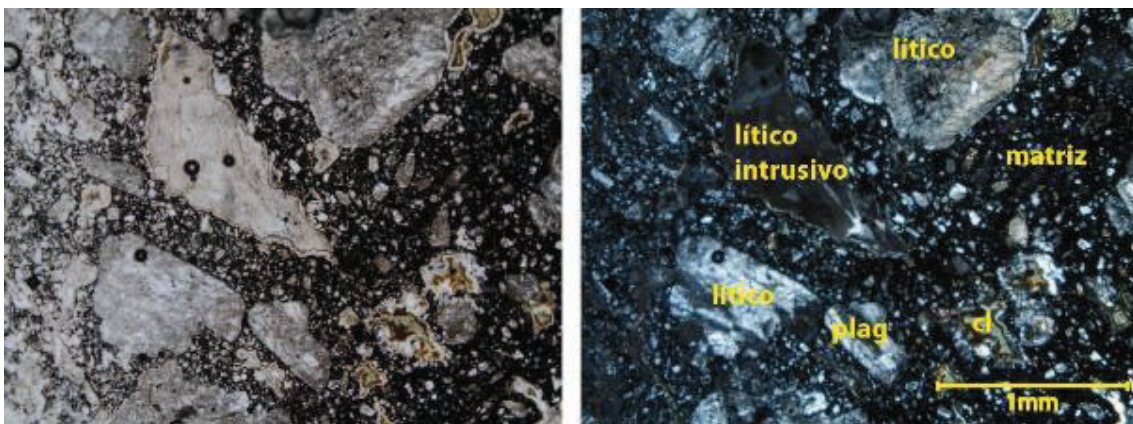
En el sector de Potrerillos (Fotografía 3.26) y la vía Sacapalca-Sunamanga (Fotografía 3.27), se encontraron conglomerados clasto soportado con un 70% de clastos, redondeados a subredondeados, mal sorteo con tamaño de 1 metro a 1 centímetro; presenta fracturas rellenas de cuarzo. Los clastos tienen color rojo, verde y blanco amarillento, textura afanítica y porfirítica, de composición andesítica. La matriz del conglomerado varía desde arena gruesa a fina con líticos volcánicos, cuarzo y feldespato potásico. La fuente de los clastos podría corresponder a los pórfidos y lavas del Miembro Sacapalca Basal que se brechificaron en eventos explosivos volcánicos, que posteriormente fueron retrabajados en ciertas partes teniendo así, conglomerados.

Petrografía: En lámina delgada, la petrografía de la muestra 2015-SC-19 (Anexo 14) indicó que la matriz de las brechas se compone de una textura piroclástica cinerítica y microestructuras desordenada; la mineralogía se compuso de plagioclasa sódica (Oligoclasa, 30%), sanidina (4%), piroxeno (5%), anfíbol (3%) y líticos volcánicos de composición andesítica (18%) y cuarzo (<1%); minerales secundarios como opacos (2%), circón (2%); en una matriz (35%) compuesta de vidrio volcánico y plagioclasa. Se la determinó como una toba lítica-cristalina de composición riódacítica (Fotografía 3.24; Tabla 3.4 y Anexo 14).



Fotografía 3.24: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-19 (UTM: 0657522/9537613). Matriz de las brechas volcánicas basales de la Fm. Loma Blanca, compuesta de una toba cristalina-lítica con plag=plagioclasa, feld K= feldespato potásico, hb=hornblenda, qz=cuarzo. Aumento de 2,5x; izq.: luz normal, der.: nicoles cruzados.

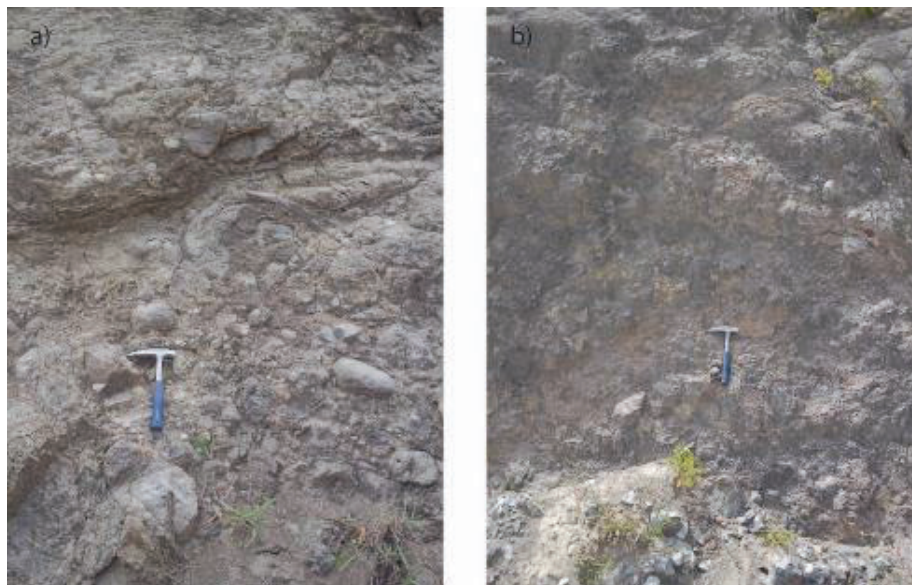
La muestra 2015-SC-09 (Anexo 14), compuesta de la matriz de la brecha volcánica, presentó una textura cinerítica, microestructura desordenada; la composición mineralógica fue plagioclasa (20%), piroxeno (5%), líticos ígneos con textura fanerítica (25%) estos líticos, compuestos de feldespato potásico, plagioclasas y anfíbol dando una composición de granodiorita a granito; mineral secundario fue clorita (10%); en una matriz (40%) compuesta de plagioclasa, arcilla y ceniza. Fue nombrado como toba lítica con tamaño de grano lapilli por los observados en muestra de mano (Fotografía 3.25).



Fotografía 3.25: Muestra 2015-SC-09 en lámina delgada, toba con tamaño de grano lapilli, matriz de las brechas volcánicas basales. Abreviación: plag=plagioclasa, cl=clorita. Aumento 2,5x. Izq.: luz normal; der.: luz polarizada.



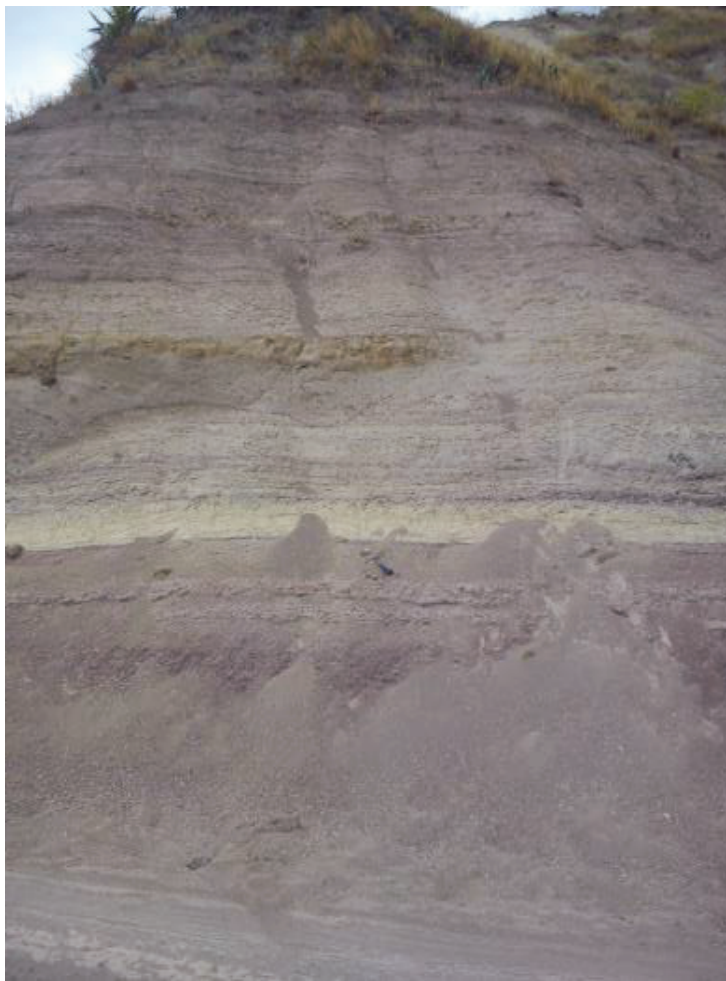
Fotografía 3.26: Conglomerados atribuidos al Miembro Volcano-sedimentario, que subyacen en discordancia a brechas volcánicas correspondientes posiblemente al Mb. Brechas Superiores en 0669371/9539172. (Escala: Geólogo Milton A. Gonzaga)



Fotografía 3.27: Conglomerados, clasto soportado, muy consolidados (a y b), atribuidos al Mb. Volcano-sedimentos en el punto UTM: 0664936 / 9539820.

La ocurrencia de estas brechas conglomeráticas se restringe al oeste de la zona estudiada, en el sector occidental del poblado de Changaimina, con pocas ocurrencias en la parte central del área de estudio.

En el sector de El Fundo, se encontró volcansedimentos estratificados que se ubican sobre las brechas y conglomerados antes mencionados. Compuestas de areniscas volcánicas de color rojo oscuro con líticos volcánicos grano medio. Capas de limos tobáceos blancos amarillentos con cristales de plagioclasa. Capas de brechas volcánicas rojizas oscuras, con clastos andesíticos y matriz soportada compuesta de arenisca rojiza volcánica silicificada. Intercalaciones de red-beds volcánicos con limos amarillos. Al tope, brechas conglomeráticas clasto-soportada, muy consolidada. En este sector, las capas se encuentran subhorizontales con una leve deformación tectónica local (Fotografía 3.28; Anexo 5).



Fotografía 3.28: Secuencia de volcansedimentos atribuidos al Mb. Volcansedimentos, secuencia de areniscas, limos y lutitas, y al tope se encuentran conglomerados (UTM: 0660404 / 9531397).

Los volcano-sedimentos también se observaron en el sector de El Carmelo, aproximadamente a la misma altura que el sector de El Fundo (1300 m.s.n.m.). Aquí, constan de tobas retrabajadas con tamaño de grano de limo gradando a arena media, color amarillo, con plagioclasa y anfíbol; intercalada con capas de tobas retrabajadas rojizas, con tamaño de grano de arena gruesa, líticos volcánicos, plagioclasa y anfíbol. Al tope, varía a una brecha volcánica con clastos porfiríticos de andesitas de color roja, y tamaño entre 5 y 7 cm de los clastos.

En este sector, se los observa basculados hacia el E; sin embargo 1200 metros al este y 60 metros más en altitud (UTM: 0660903 / 9536514, Pusanuma), se observó volcano-sedimentos subhorizontales que se los atribuyó a la misma secuencia pero sin notable influencia tectónica (Fotografía 3.29).



Fotografía 3.29: Mb. Volcano-sedimentos, sector de Pusanuma: a) Secuencia intercalada de limos y areniscas volcánicas basculadas hacia el E (UTM: 0659177 / 9536875); b) Secuencia de tobas y areniscas intercaladas subhorizontales (UTM: 0660903 / 9536514); c) Volcano sedimentos compuestos de brechas volcánicas a la base, red beds, tobas amarillentas, al tope brecha volcánica, inclinadas localmente hacia el N (UTM: 0660475 / 9536692); d) Capas de red beds laminadas con plagioclasa y feldespato potásico.

Correlación estratigráfica: Las brechas y conglomerados se encontraron sobre los volcánicos del Miembro Sacapalca Basal (Unidad Changaimina) en discordancia litológica, pero la ocurrencia de estos no es evidente a lo largo de la zona centro y este del área estudiada, y no afloran en una gran extensión.

Los volcano-sedimentos parecen localizarse sobre las brechas volcánicas y conglomerados del mismo miembro, y se encuentran de forma concordante. Sobre los volcano-sedimentos, se observó una nueva secuencia de brechas volcánicas la cual yace en forma concordante sobre las tobas re TRABAJADAS, limos, areniscas y lutitas descritas (Fotografía 3.30).

Espesor: El espesor de este miembro ronda entre 300 y 400 metros.



Fotografía 3.30: Brechas volcánicas de Mb. Volcano-clástica (Unidad La Cruz, Paleoceno INIGEMM, 2012) sobre capas rojas, limos y conglomerados atribuidos al Mb. Volcano-sedimentario (UTM: 0664515 / 9540103). La vegetación provoca un efecto visual en el contacto de las brechas y volcano-sedimentos, el cual hace parecer discordante.

Edad: INIGEMM (2012) menciona estos conglomerados junto con los sedimentos volcánicos denominándolos como Unidad El Fundo, y les atribuyeron una edad del Plioceno. Sin embargo, por el grado de litificación y posición estratigráfica se sugiere una edad más antigua, al igual que se tiene evidencia que se encuentran debajo de brechas volcánicas descritas como Unidad La Cruz que le atribuyen una edad del Paleoceno medio (INIGEMM, 2012). En este trabajo, se denominó una

edad del Eoceno superior, determinada por Hungerbühler et al. (2002) para la parte inferior de la Fm. Loma Blanca.

1.1.1. MIEMBRO VOLCANO-CLÁSTICO

Una secuencia volcano-sedimentaria, situada en la parte central de la zona en el sector del Cerro Surapo y de Sacapalca, presenta a la base brechas volcánicas que se sobreponen a los volcano-sedimentos del Miembro Volcano-sedimentario (Fotografía 3.30, Fotografía 3.37a) o en ciertos puntos sobre las lavas del Mb. Sacapalca Basal. Estas brechas son similares a las brechas encontradas en la parte basal del Mb. Volcano-sedimentos. Se sobreponen una secuencia de tobas, brechas que se encuentran en contacto concordante. Al tope, se encuentran tobas blancas que indican eventos piroclásticos. La secuencia se encuentra estratificada con basculamiento de las capas hacia el E, lo que indicaría un evento tectónico posterior a la depositación.

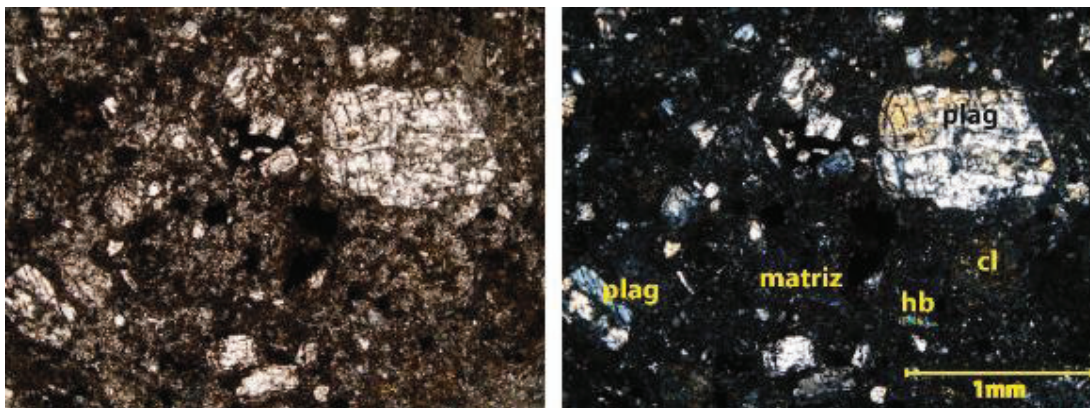
Ubicación y afloramientos: Las brechas volcánicas se encuentran en el sector Sacapalca (UTM: 0663872 / 9540224); al norte de Nambacola (0672929 / 9546095), sobre volcánicos del Miembro Sacapalca Basal. La secuencia de tobas y brechas que se sobreponen a las anteriores fueron encontradas solamente en el sector del Cerro Surapo (0667174 / 9538389) y se extienden hacia el norte hasta el sector de Loma Tandora (0665530 / 9544400). Las tobas blancas afloran en el norte de Purunuma (0680351 / 9537068, sector de Sasaco); al este de Nambacola (0676613 / 9542213), en el Cerro Surapo (0667111 / 9538966) y en el sector de “La Y” vía Changaimina-Sacapalca.

Litología de las brechas volcánicas: Las brechas volcánicas basales del Miembro Volcano-clástico constan de clastos subangulares a subredondeados, tamaño de clastos métricos a decimétricos, con mal sorteo; fracturas rellenas de yeso, arcilla y limos amarillentos. Los clastos de origen volcánico, de color amarillento, violetas, grises y rojizos; poseen textura porfirítica, con minerales de plagioclasa alterada a arcilla, en una matriz de vidrio volcánico, composición andesítica y dacítica. La matriz de la brecha tiene un color café amarillenta, compuesta de arena, plagioclasa, y líticos volcánicos.

Espesor de las brechas volcánicas: El espesor de estas brechas volcánicas es de aproximadamente 80 metros.

Litología y petrografía de la secuencia volcano-clástica: En concordancia sobre las brechas volcánicas, se encontraron tobas de color café grisáceo, con componentes cristalinos y líticos. Los líticos tienen un tamaño de lapilli, y composición intermedia a ácida. Los fenocristales están compuestos de plagioclasa, anfíbol, y cuarzo. La matriz de la toba está compuesta de ceniza volcánica, muy consolidada (Fotografía 3.37e; Anexo 6).

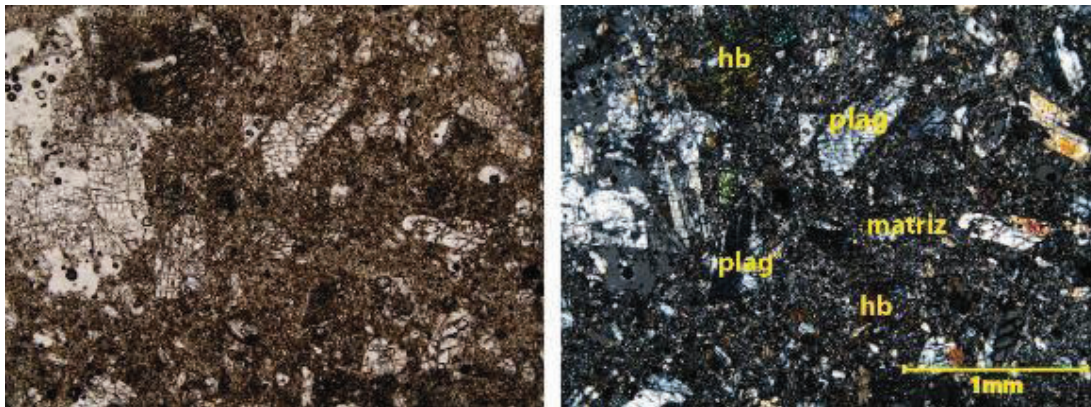
La muestra 2015-SC-11, (sector del Cerro Surapo), en lámina delgada mostró tener una textura brechoide piroclástica, estructura desordenada; con fenocristales de plagioclasa (Andesina-Oligoclasa, 30%), hornblenda (15%), líticos volcánicos andesíticos (8%); minerales secundarios opacos (2%) y clorita (2%); la matriz (43%) compuesta de plagioclasa, vidrio, ceniza y arcilla. Fue determinada como lapilli tobáceo de composición dacítica (Fotografía 3.31; Tabla 3.4 y Anexo 14).



Fotografía 3.31: Sección delgada de la muestra 2015-SC-11 (UTM: 0667174 / 9538389) toba con líticos de tamaño de grano lapilli, con plagioclasa (plag), hornblenda (hb), clorita (cl), en la foto no se observa líticos los cuales se encuentran en un 8% del total de la muestra en una matriz compuesta de ceniza, plagioclasa y vidrio principalmente. Aumento 2,5x. Fotografía izquierda con luz normal, derecha con luz polarizada.

Otra muestra (2015-SC-34), tomada 3400 metros al norte del Cerro Surapo, en el UTM: 0666520 / 9541568, presentó una textura cinerítica, microestructura desordenada. Compuesta de cristales de plagioclasa (25%), hornblenda (20%), clinopiroxeno (3%); minerales secundarios como opacos (9%), epidota (3%). La matriz de la roca está compuesta por hornblenda, plagioclasa, ceniza y vidrio volcánico. Resultó ser una toba cristalina hornbléndica (Fotografía 3.32; Anexo 14).

Es similar a la encontrada en el Cerro Surapo. Se observó que la secuencia se extiende hacia el N, con capas basculadas hacia el E.

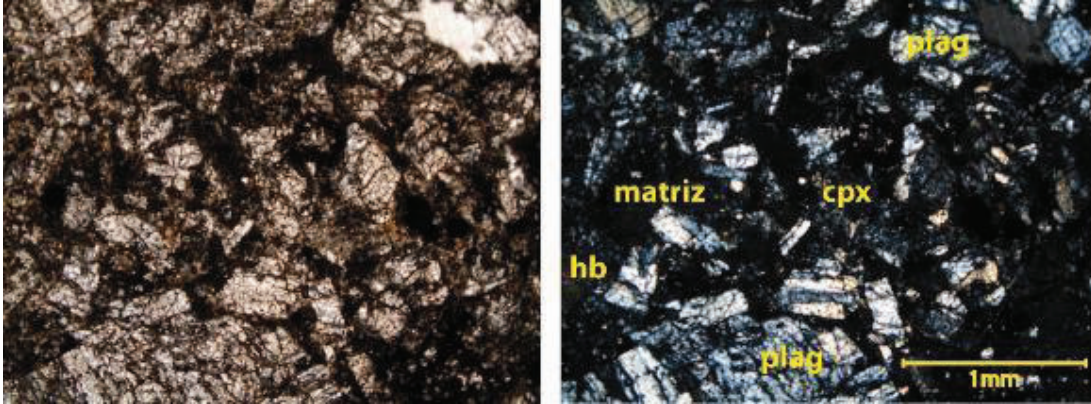


Fotografía 3.32: Muestra 2015-SC-34 en sección delgada. Toba cristalina de composición andesítica, con plagioclasa (plag), hornblenda (hb), matriz compuesta de plagioclasa, anfíbol y ceniza. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.

En el sector del Cerro Surapo (Anexo 6), en concordancia a la toba descrita anteriormente, se sobrepone una secuencia de brechas volcánicas, con matriz soportada a la base gradando a clasto soportada al tope; clastos redondeados, con mal sorteo (Fotografía 3.34 y Fotografía 3.37c, d y e). Contiene bloques angulares de rocas faneríticas alteradas (Muestra 2015-SC-12). Los clastos son de color rojizo, violeta y gris, con textura porfírica y contenido mineralógico de plagioclasa y una matriz de vidrio volcánico, con una composición andesítica. La matriz de la brecha se conforma de ceniza, plagioclasa y líticos volcánicos, muy consolidada.

En microscopio petrográfico la muestra 2015-SC-12, tomada de la matriz de la brecha, se la describió con una textura cinerítica, microestructura desordenada; con fenocristales de plagioclasa (Andesina, 45%), hornblenda (6%), clinopiroxeno (13%); minerales secundarios compuestos por opacos (1%); y una matriz (34%) compuesta por arcilla y piroxeno. Se la denominó como toba piroxénica de tamaño de grano de ceniza andesítica (Fotografía 3.33; Anexo 14).

Sobre las brechas se encuentran areniscas con tamaño de grano entre los 2 mm, color amarillo a café claro. Contenido de cuarzo, plagioclasa, anfíbol, líticos de origen volcánico. Matriz tamaño arcilla tipo lutita volcánica gris. Con paso transicional con las brechas subyacentes.



Fotografía 3.33: Sección delgada de la muestra 2015-SC-12, matriz de las brechas volcánicas interpretada como una toba cristalina de textura cinerítica, con plag=plagioclasa, hb= hornblenda, cpx= clinopiroxeno, matriz de ceniza y arcilla. Aumento 2,5x, imagen izquierda: luz normal, imagen derecha: nicoles cruzados.

Sobre las areniscas se encontró microconglomerados, matriz soportada, con tamaño de clastos de 4 y 3 centímetros, redondeados a subredondeados, buen sorteo. Clastos compuestos de andesitas. Matriz de color café amarillento, compuesta de ceniza volcánica. Con un espesor de la capa no mayor a 2 metros (Fotografía 3.37b).



Fotografía 3.34: Brecha volcánica sobre las tobas café grisáceas consolidadas, matriz soportada, con clastos volcánicos y piroclásticos andesíticos que sobresalen de la matriz.

Sobre el microconglomerado, sobreyace concordantemente una arenisca volcánica, de color negra grisácea, que contiene anfíboles. Hacia el tope, pasa

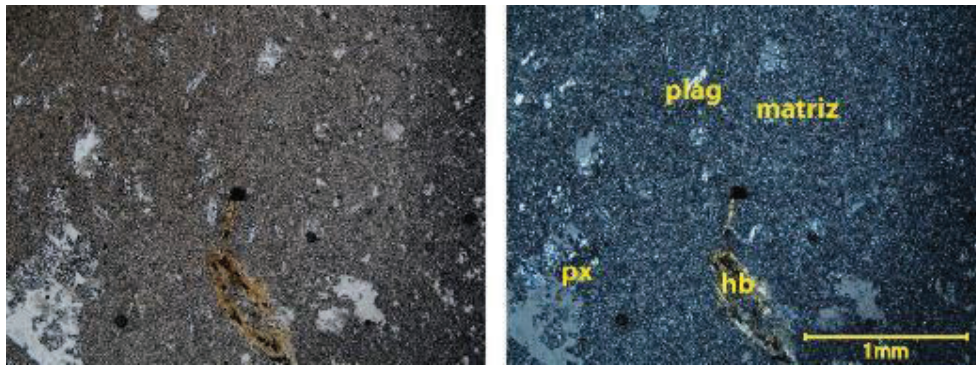
transicionalmente a una toba soldada con matriz de ceniza, color café claro, que contiene anfíboles y plagioclasa; con un espesor de la capa de pocos centímetros (Fotografía 3.37f). Sobre estos últimos, se tiene una capa de conglomerado con clastos entre 5 y 10 centímetros, buen sorteo, se encuentra consolidada. La matriz, de color café claro, está compuesta de arena volcánica. Los clastos son andesitas. El espesor de los conglomerados es de 1,6 metros (Fotografía 3.37g).

Sobre la secuencia descrita, se encuentran brechas volcánicas, de color café amarillento. Con una matriz muy consolidada, compuesta de ceniza volcánica y plagioclasa. Estas brechas son la parte superior de lo que se denominó como la parte superior de los volcánicos equivalentes de la Fm. Loma Blanca (Fotografía 3.37h).

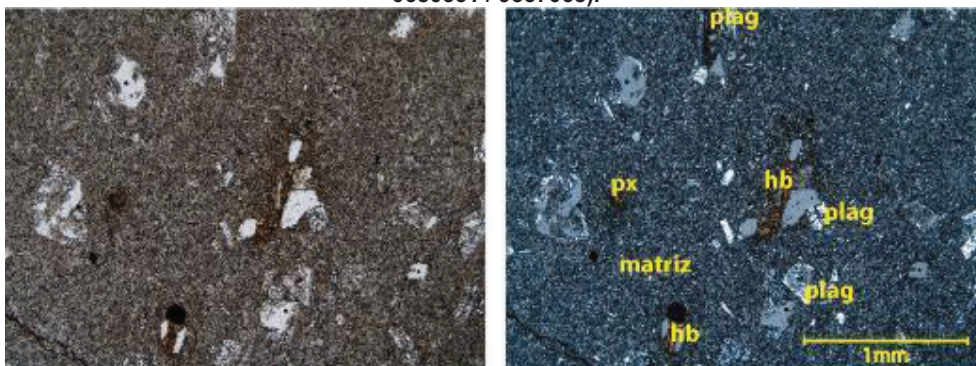
Litología de las tobas blancas: Estratigráficamente sobre las brechas aflora una unidad compuesta por tobas blancas. Estas se describen como depósitos piroclásticos, de color blanco, muy consolidados.

Petrografía de la tobas blancas: En sección delgada, la muestra: 2014-GZ-02, mostró textura piroclástica cinerítica, microestructura con minerales y matriz orientados. Contiene plagioclasa (15%), hornblenda alterada (15%), esta última reemplazada en algunos casos por minerales arcillosos y óxidos; minerales secundarios compuestos de opacos (2%), circón (1%) y epidota (5%). La matriz (55%) de la toba contiene cristales amorfos de clinopiroxeno, sericita, plagioclasa y hornblenda alterada, levemente orientada; denominada como toba cristalina andesítica (Fotografía 3.35).

Al este de Nambacola, la muestra 2014-GZ-09 presentó, bajo microscopio, una textura cinerítica, la microestructura exhibió fracturas y cristales orientados. Mineralógicamente tiene cristales amorfos de clinopiroxeno (10%), plagioclasa (5%) y hornblenda (25%); minerales secundarios como opacos (5%), epidota (3%) y óxidos. La matriz (60%) está compuesta de microcristales de hornblenda, plagioclasa, piroxeno y sericita. Se la denominó como una toba cristalina (Fotografía 3.36).



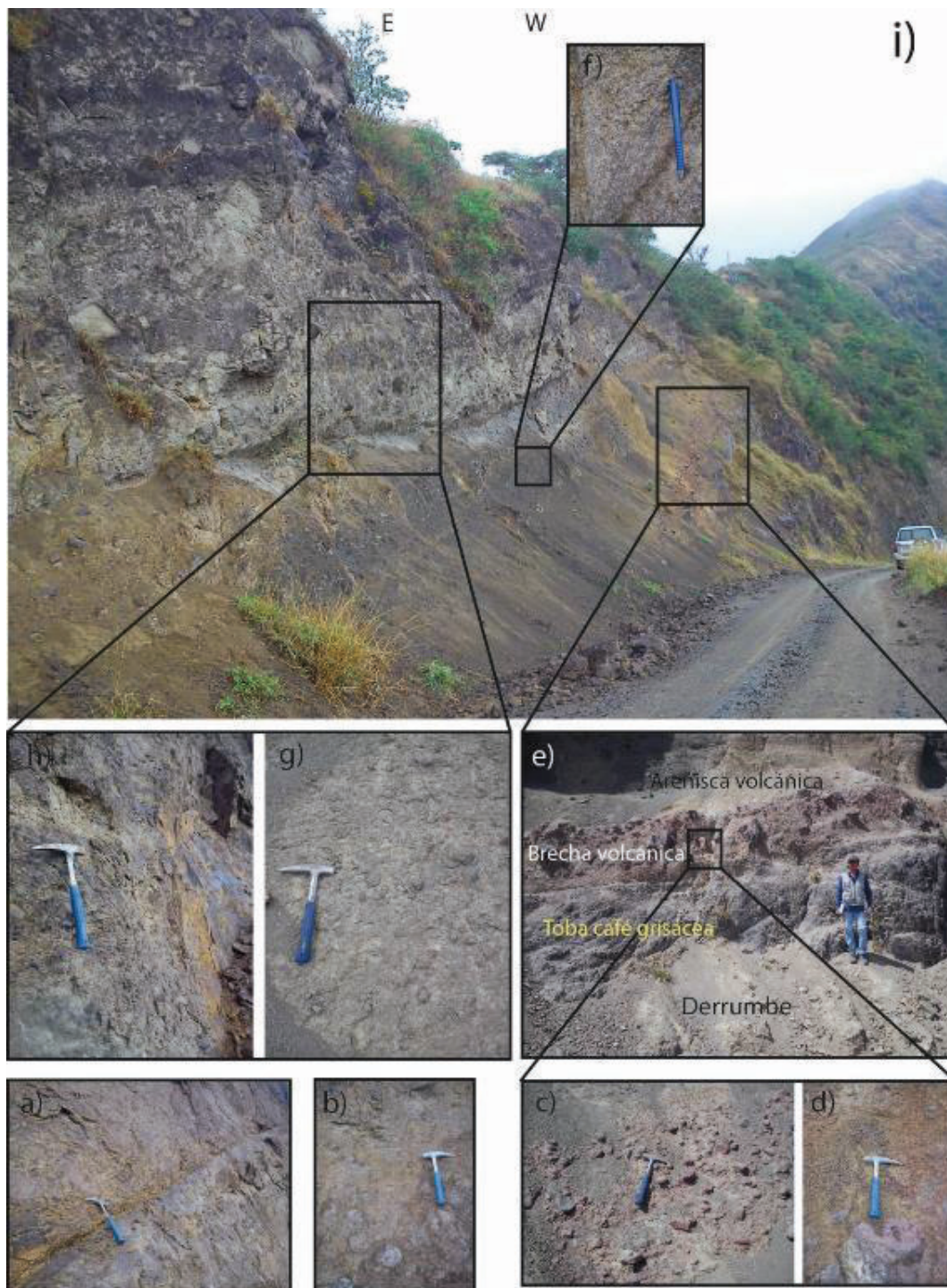
Fotografía 3.35: Muestra 2014-GZ-02 en la lámina delgada. Toba cristalina; plag=plagioclasa, hb=hornblenda, px=piroxeno, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada (UTM: 0680351 / 9537068).



Fotografía 3.36: Sección delgada de la muestra 2014-GZ-09 (UTM: 0676613/9542213), toba cristalina con plag=plagioclasa, hb=hornblenda, px=piroxeno y matriz. Aumento 2,5x, foto izquierda: luz normal, foto derecha: luz polarizada.

Una toba similar, que fue encontrada en el Cerro Surapo, consta de fenocristales de piroxeno y anfíbol (Muestra: 2015-SC-02) (Fotografía 3.38).

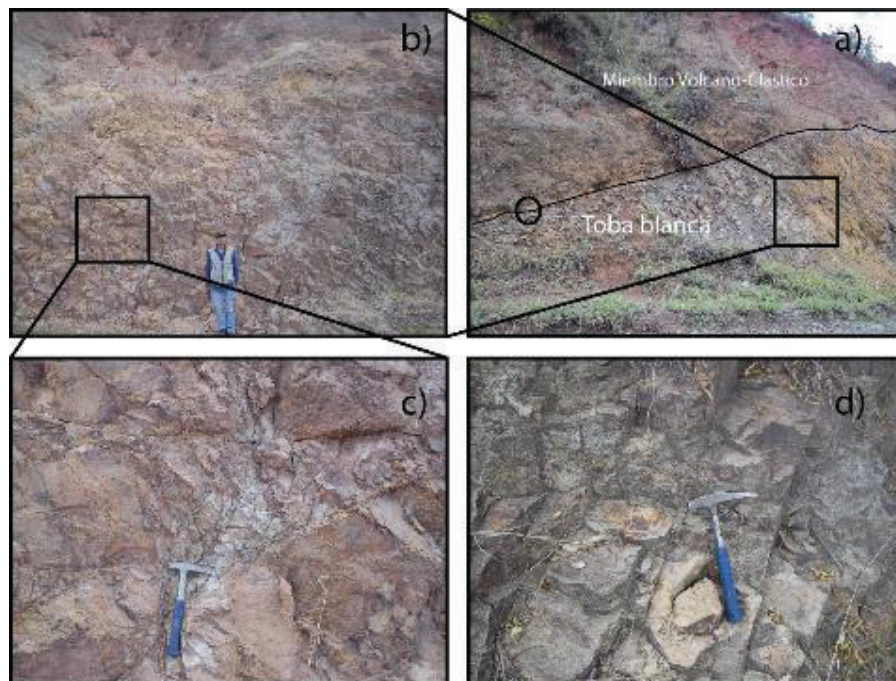
Otra toba, fue observada sobre el Miembro Tobas en el poblado de Sacairo, al igual que en el sector de la “Y” Changaimina-Sacapalca (Fotografía 3.39a, b y c) y al norte de la parroquia Sacapalca (Fotografía 3.39d). Las muestras 2015-GZ-01 (Fotografía 3.40) y 2015-SC-13 (Anexo 12), (UTM: 0666222 / 9537621), se las describió en sección delgada. Presentaron textura eutaxítica, microestructura con cristales orientados. Tienen cristales de anfíbol, feldespato potásico, plagioclasa; en menor cantidad cuarzo y líticos ígneos alterados; matriz compuesta de arcilla, plagioclasa, feldespato y arcilla. Denominadas como tobas cristalinas de composición riodácica. La muestra 2014-GZ-21 (Fotografía 3.41) (UTM: 0664962 / 9541781), se determinó como una toba cristalina con hornblenda, clinopiroxeno, plagioclasa en bajos porcentajes, en una matriz compuesta de cristales amorfos de clinopiroxeno, plagioclasa, arcilla y óxidos.



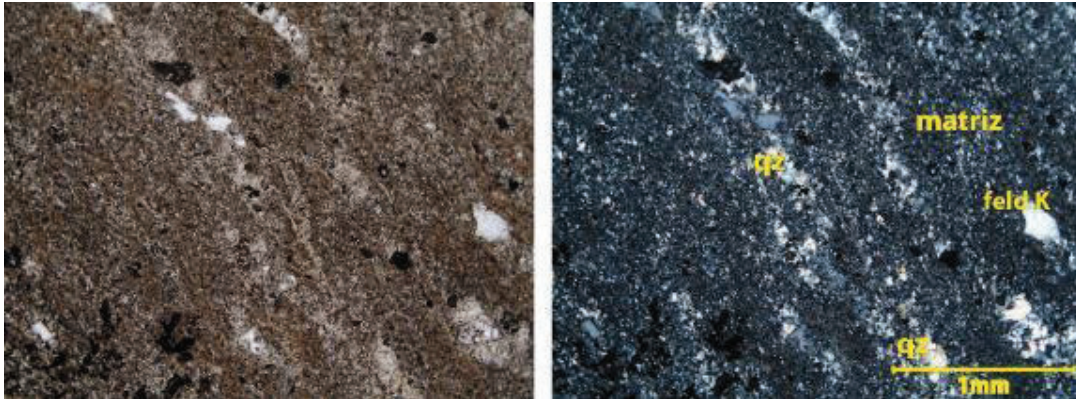
Fotografía 3.37: Secuencia del Mb. Volcano-clástico: a) Brechas volcánicas, a la base de la secuencia volcano-clástica descrita; b) Micro-conglomerado sobre las areniscas volcánicas, parte de la secuencia volcano-clástica; c) y d) Brecha volcánica sobre las tobas café grisáceas consolidadas, matriz soportada, con clastos volcánicos y piroclásticos andesíticos que sobresalen de la matriz; e) Capas de tobas café grisáceas a la base, brecha volcánica (c y d) a la que se superpone una arenisca arcillosa volcánica amarillenta, con líticos volcánicos, plagioclasa, anfíbol, en matriz con tamaño de grano arcilla; f) Arenisca volcánica negra con anfíboles en un 10% que se superpone a una toba color caqui; g) Conglomerado similar al de (b) pero con clastos de tamaño entre 5 y 10 cm; h) Brecha volcánica con clastos dacíticos de tamaño decimétrico a métrico al tope de la secuencia antes descrita; i) Secuencia de las capa descritas, con vista N 170°, capas buzando al E.



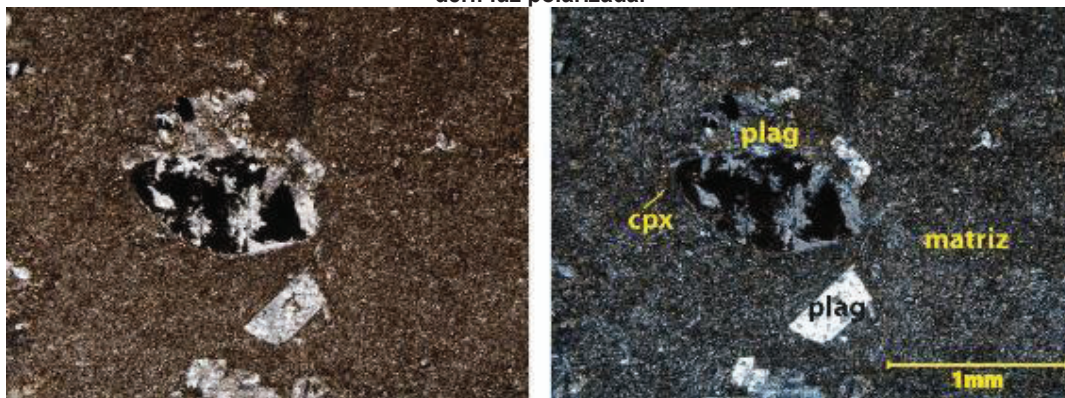
Fotografía 3.38: Toba blanca en el Cerro Surapo, muestra 2015-SC-02 (UTM: 0667111/9538966); a) Muestra de mano toba blanca con cristales de anfíbol oxidados; b) Lámina delgada de la muestra, con plag=plagioclasa, hb=hornblenda, ep=epidota, matriz. Aumento 2,5x, izq.: luz normal, der.: nicoles cruzados.



Fotografía 3.39: Toba blanca en el área de Sacapalca: a) b) y c) Toba blanca alterada en el punto UTM: 0666222 / 9537621, muestras 2015-GZ-01 y 2015-SC-13; sobre estas se observa brechas volcánicas de la Fm. Loma Blanca superior; d) Toba blanca en el punto UTM: 0664962 / 9541781 al norte de Sacapalca, muestra 2014-GZ-21.



Fotografía 3.40: Muestra 2015-GZ-01 (UTM: 0666222 / 9537621), toba cristalina en sección delgada con cristales orientados; qz=cuarzo, feld K= feldespato potásico, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: luz polarizada.



Fotografía 3.41: Muestra 2014-GZ-21, UTM: 0664962 / 9541781, toba cristalina con plag= plagioclasa, cpx=clinopiroxeno, matriz. Aumento 2,5x; izq.: luz normal, der.: nicoles cruzados.

Relación estratigráfica: Las brechas volcánicas, que se encuentran en la parte inferior del miembro, se encuentran sobre el Miembro Volcano-sedimentario, de forma concordante. Sobre las brechas se encuentra la secuencia volcano-clástica encontrada en el sector del Cerro Surapo. Sobre esta última, se encuentran tobas blancas que son descritas en el sector de Sasaco y Purunuma, en donde probablemente se encuentran sobre lavas andesíticas; en el sector de Sacapalca parecen encontrarse sobre el Miembro Tobas. Se deduce que estas tobas blancas, descritas como Fm. Loma Blanca en el sector de Malacatos-Vilcabamba (Reyes et al., 2008), afloran hacia el oeste, en el área estudiada cerca del poblado de Sacapalca.

Espesor: El espesor del Miembro Volcano-clástico es aproximadamente de 400 metros.

Edad: La edad de estos volcánicos podrían estar entre el Eoceno superior al Oligoceno medio.

1.1.1. MIEMBRO BRECHAS SUPERIORES

Sobre el Miembro Volcano-clástico, afloran brechas volcánicas al sureste del área estudiada y se consideró en este proyecto como un miembro superior de los volcánicos equivalentes de la Formación Loma Blanca debido a su continuidad lateral. Las brechas se encuentran muy consolidadas, sin embargo, se varios sectores se encuentran considerablemente alteradas.

Ocurrencia y afloramientos: Las brechas afloran en la parte sureste de la zona de estudio. Un afloramiento tipo se lo puede encontrar el sector de Tinajón (UTM: 0670336 / 9535682). En los alrededores de la Loma Puenteillo (UTM: 0669821 / 9532423) las brechas se encuentran alteradas. La extensión de la unidad es grande en la zona de la Loma Lumos (0666740 / 9535632) y Loma Puenteillo, al oeste del cantón Gonzanamá, y en el sector de la Chorrera al noreste de la parroquia Changaimina (0664201 / 9535483); se las observa también, al norte del poblado de la Cruz de Yazapa y al NW de Nambacola. En el lado oeste de la zona de estudio afloran en el sector de Amanuma (0662183 / 9530691). En el sector de El Paito (0666606 / 9542973), se encontraron una brechas similares a las de los puntos anteriores. Al norte del poblado La Cruz de Yazapa (0664031 / 9538333; Fotografía 3.42) se encuentran en contacto posiblemente fallado con las lavas verdes de la Mb. Sacapalca Basal.

Litología: Las brechas volcánicas presentan un color gris, matriz (40%) soportada variando a clasto soportada; clastos (60%) con mal sorteo, de tamaño métrico a centimétrico, angulosos, y con color gris, rojo, violeta, verde oscuro y claro; matriz muy consolidada. Los clastos de textura porfirítica, poseen fenocristales de plagioclasas y en menor cantidad cuarzo; en una matriz de vidrio volcánico. Los clastos son en su mayoría dacitas. La matriz de la brecha volcánica se compone de ceniza volcánica y minerales de plagioclasa, líticos volcánicos, por tanto se le atribuye como un evento piroclástico (Fotografía 3.43).



Fotografía 3.42: Brechas volcánicas del Mb. Brechas Superiores: a) Brecha volcánica cerca del poblado de Sacapalca (UTM: 0663872 / 9540224); b) Brechas volcánicas en las coordenadas UTM: 0664031 / 9538333; c) Brecha volcánica similar a las encontradas en la imagen a. (UTM: 0672929 / 9546095); d) Brechas volcánicas a la base de una secuencia volcano-clástica en UTM: 0667174 / 9538389.



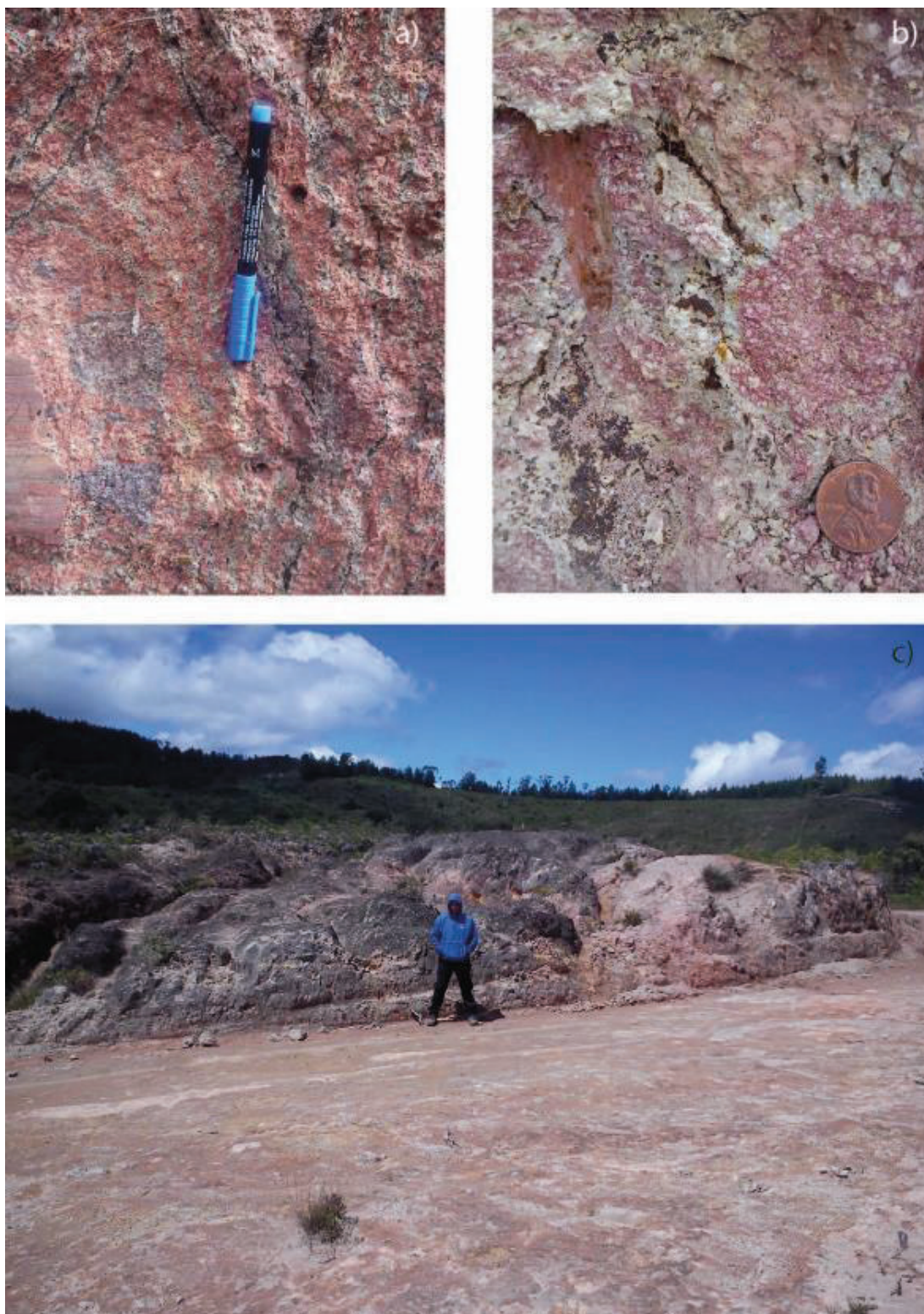
Fotografía 3.43: Brechas volcánicas con clastos de andesitas en matriz volcánica bien soldada (UTM: 0670336 / 9535682).

En el sector de El Paito, se encontraron brechas volcánicas con fracturas rellenas, clasto soportado, con clastos angulosos a subangulosos, tamaño de clastos entre 0,5 y 40 cm, con mal sorteo; con una matriz compuesta de ceniza rojiza levemente consolidada. Los clastos tienen color gris, rojizo y verde, textura porfirítica. Éstas se encuentran cortando al intrusivo Palo Blanco (explicado más adelante) en el lado W de la Quebrada Potrerillo, y su extensión abarca la zona de la Quebrada Combolo al S y el sector de El Paito al N del área. Sin embargo, atribuirles a un Miembro o Formación en específico puede generar dudas, ya que estas brechas se encuentran sobre la secuencia volcano-clástica equivalente a la Fm. Loma Blanca, que bien pueden ser pertenecientes al Miembro Brechas Superiores, o bien, ser considerados más jóvenes atribuidos a los volcánicos del Mioceno Superior (véase más adelante). Sin embargo, por su similitud a las brechas equivalentes laterales de la Fm. Loma Blanca, se los atribuyó a esta (Fotografía 3.44).



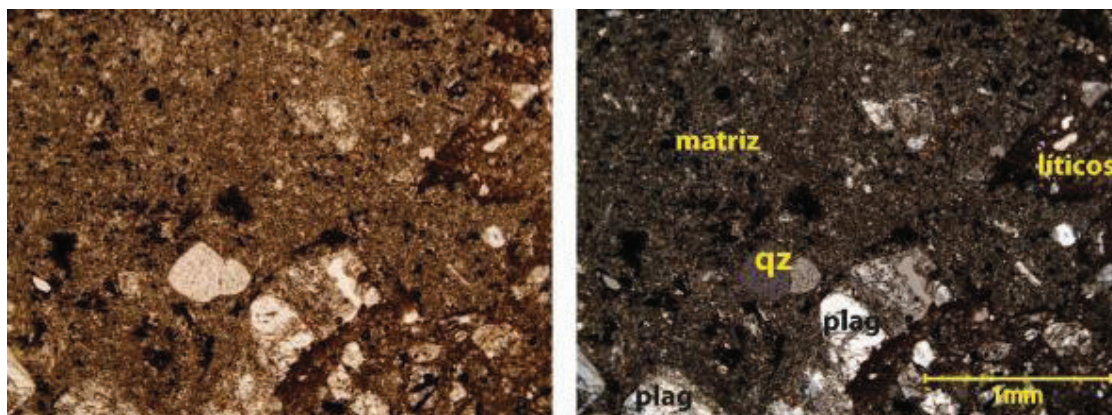
Fotografía 3.44: Brechas volcánicas atribuidas a la Fm. Loma Blanca, Miembro Brechas Superiores en el punto UTM: 0666606 / 9542973. Clastos verdosos, rojizos y grisáceos que se encuentran en una matriz compuesta de arena rojiza.

En el sector de la Loma Puenteillo, las brechas volcánicas se encuentran altamente meteorizadas y alterados a arcillas principalmente caolinita, en donde se observa a los clastos y la matriz, alterados, con fracturas rellenas de arcillas (Fotografía 3.45).



Fotografía 3.45: Brechas volcánicas alteradas, de color rosáceo: a) y b) clastos alterados de las brechas volcánicas superiores de la Formación Loma Blanca (UTM: 0669821 / 9532423); c) Afloramiento de las brechas alteradas en el punto UTM: 0669479 / 9533114, 5,5 km al Este de Changaimina.

Petrografía: La lámina delgada de la muestra 2015-SC-21, tuvo una textura rudítica brechoide, microestructura desordenada; la mineralogía estuvo compuesta de fenocristales de plagioclasa (Oligoclasa, 30%), cuarzo (5%) y líticos de origen volcánico (10%); minerales secundarios como opacos (10%); con una matriz (45%) compuesta de ceniza y óxidos. La matriz de la brecha volcánica mostró ser una toba riodacítica (Fotografía 3.46; Tabla 3.4 y Anexo 14).



Fotografía 3.46: Muestra 2015-SC-21 (UTM: 0670336 / 9535682) en lámina delgada. Matriz de las brechas volcánicas; qz= cuarzo, plag=plagioclasa. Aumento 2,5x; imagen izquierda: luz normal, imagen derecha: luz polarizada.

Correlación estratigráfica: El Miembro Brechas Superiores se encuentra en forma concordante sobre el Miembro Volcano-clástico en el sector del Cerro Surapo. Al sureste del área estudiada el miembro se encuentra sobre las andesitas del Miembro Sacapalca Basal (Unidad Changaimina) de forma discordante.

Espesor: El espesor de la unidad se encuentra entre unos 300 m, en donde se tiene que las brechas alteradas rosáceas cubren una gran área en los puntos antes mencionados.

Edad: La edad determinada para el Miembro Brechas Superiores se estimó por correlación estratigráfica en el Oligoceno inferior al Oligoceno medio.

La edad de los equivalentes laterales de la Formación Loma Blanca se asumió en este estudio entre finales Eoceno superior a comienzos del Oligoceno superior, edades determinadas por dataciones realizadas por Steinmann (1997) y Hungerbühler (1997), (Tabla 3.2).

Formación	Miembro /Unidad	UTM (WGS84)		Edad (Ma)	Litología	Sector	Fuente
LOMA BLANCA	Formación Loma Blanca	0698880	9546495	36.2 ± 6.8	Ignimbritas y tufitas	Sur de Loja	Steinmann et al., 1999
		0685733	9537774	26.6 ± 4.0	Ignimbritas y tufitas	Noroeste de Malacatos	Hungerbühler, 1997
		0685641	9537827	33 ± 3.2	Ignimbritas y tufitas	Noroeste de Malacatos	Hungerbühler, 1997
		686925	9536725	33.4 ± 3.6	Ignimbritas y tufitas	Noroeste de Malacatos	Hungerbühler, 1997
		700239	9519064	50,5 ±6,4	Ignimbritas y tufitas	Yangana	Steinmann et al., 1999
		678661	9561991	25.2 ± 3.2	Cuello volcánico	Catamayo	Hungerbühler et al., 2002
		680331	9544067	29 ± 2.8	Ignimbrita	Matala	Hungerbühler, 1997
		646417	9558561	31.1 ± 2.8	Ignimbritas y tufitas	Norte de Catacocha	Hungerbühler, 1997
		647323	9559018	42.2 ± 3.4	Ignimbritas y tufitas	Norte de Catacocha	Hungerbühler, 1997
	Miembro Solanda	686002	9536661	36.50 ± 4.40	Tobas	Noroeste de Malacatos	Hungerbühler, 1997
	Miembro Cuarzo-Porfirítico Purununa	682758	9534738	30.30 ± 4.40	Ignimbritas y tufitas	Purunuma (Loma Riodopamba)	Hungerbühler, 1997

Tabla 3.2: Tabla de dataciones en la Formación Loma Blanca, tomadas de Hungerbühler, 1997; Hungerbühler et al., 2002; Steinmann et al., 1999.

3.5. ROCAS INTRUSIVAS

En el área de estudio, fueron registrados varios cuerpos intrusivos de diferente edad. El principal intrusivo encontrado fue el denominado Intrusivo Palo Blanco. Además, se encontraron varios pórfidos que se encuentran a lo largo de la zona estudiada, así como diques que afectan a los miembros oligocénicos y a la Formación Gonzanamá.

3.5.1. INTRUSIVO PALO BLANCO

El intrusivo se ubica a 4 kilómetros al oeste de la parroquia de Nambacola, nombrado como intrusivo Palo Blanco por Jaillard et al. (1996), de color blanco a tonos verdosos, está compuesto por granito y hacia los bordes del intrusivo varía a granodiorita. Se encuentra con un alto grado de meteorización.

Afloramientos: El intrusivo fue descrito en el sector de Corral Chico (UTM: 0667391 / 9543223), al oeste del Cerro Peña Negra (0670537 / 9541922) y al lado oeste de la quebrada Potrerillo (UTM: 0666759 / 9543342).

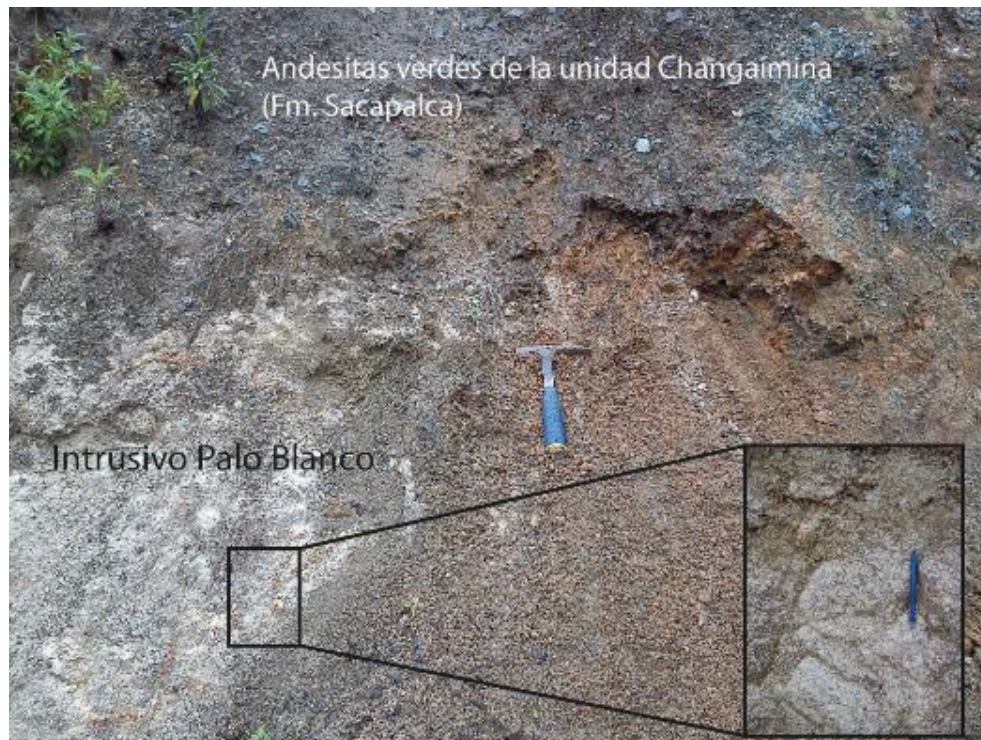
Litología: El intrusivo está compuesto de una textura fanerítica, sin embargo, debido a la alta meteorización, daría la impresión que en ciertas partes el intrusivo

tuviera una matriz de arcilla con textura porfirítica (Fotografía 3.47 y Fotografía 3.48). Mineralógicamente contiene plagioclasa, cuarzo, arcillas formadas por la alteración de las plagioclasas.

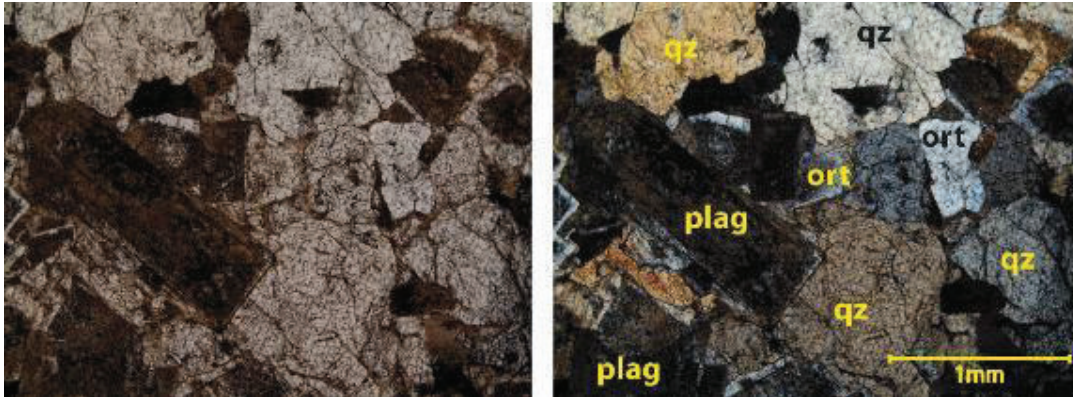


Fotografía 3.47: Fotografía panorámica del intrusivo Palo Blanco en el punto UTM: 0670807 / 9542438, composición granito con variaciones en ciertas partes a granodiorita.

Petrografía: Al lado oeste de la Quebrada Potrerillo se encontró también el intrusivo de color blanco. La sección delgada de la muestra 2015-SC-26 mostró una textura fanerítica panidiomorfa, microestructura desordenada. Contenido de cuarzo (30%), plagioclasa (35%), ortoclasa (20%) y hornblenda (5%); minerales secundarios arcilla (7%) y opacos (3%). Se lo nombró como un monzo-granito (Fotografía 3.49 y Fotografía 3.50; Tabla 3.4 y Anexo 14).



Fotografía 3.48: Contacto entre las andesitas verdes de la Unidad Changaimina (Mb. Sacapalca Basal) y el intrusivo Palo Blanco, en el UTM: 0666239 / 9545303. Contacto irregular, con alternancia en entre el granito y las andesitas.



Fotografía 3.49: Sección delgada del intrusivo, muestra 2015-SC-26, en 0666759 / 9543342; qz= cuarzo, ort= ortoclasa, plag= plagioclasa. La plagioclasa se la observa alterada a arcilla. Aumento 2,5x, izq.: luz normal, der.: luz polarizada.



Fotografía 3.50: Granito con alto grado de alteración, encontrado en el oeste de la Quebrada Potrerillo (UTM: 0666759 / 9543342).

Relación estratigráfica: En los puntos antes descritos, el plutón intruye a las andesitas verdes de la Unidad Changaimina (Miembro Sacapalca Basal). El contacto entre los dos es muy irregular y se tiene alternancia entre las andesitas y el granito a lo largo de varias decenas de metros por ejemplo en el punto UTM: 0666239 / 9545303.

Edad del intrusivo Palo Blanco: La edad del intrusivo está determinada por las dataciones realizadas por Jaillard et al. (1996), quienes determinaron que la edad se encuentra entre 26.6 ± 0.6 y 21.2 ± 0.6 Ma; del Oligoceno superior al Mioceno inferior (Tabla 3.3).

Unidad	UTM (WGS84)		Edad (Ma)	Litología	Fuente
Plutón Palo Blanco	668941	9541427	26.6 ± 0.6	Granodiorita (Plagioclasas)	Jaillard et al., 1996
	668941	9541427	21.2 ± 0.6	Granodiorita (Roca total)	

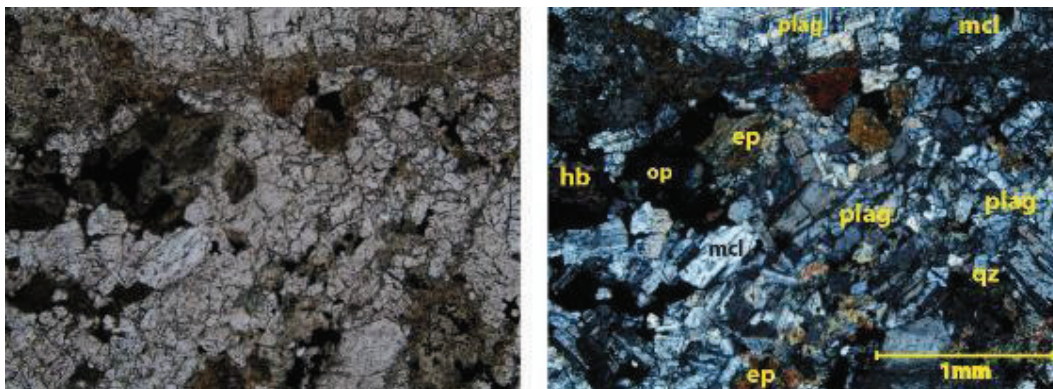
Tabla 3.3: Datación del intrusivo Palo Blanco, Jaillard et al., 1996.

3.5.2. DIQUES

Intrusivos menores como diques se registran entre las brechas volcánicas oligocénicas del Miembro Brechas Superiores. Se las encontraron en el sector de Las Huacas (UTM: 0665445 / 9536891); al igual que en el sector Los Encuentros (0669013 / 9536280).

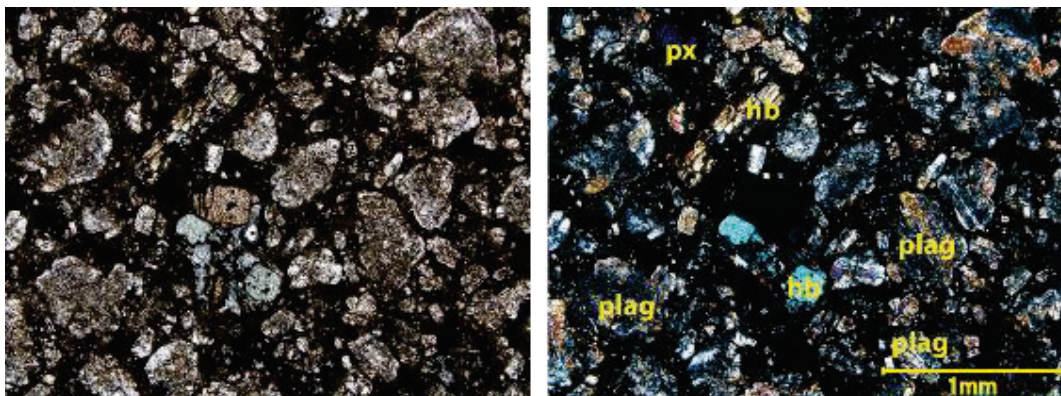
Litología: Se componen de dioritas gabroicas, de color negro. Contenido alto de hornblenda. Andesitas verdes propilitizadas también están presentes. La aparición de los diques no es muy recurrente.

Petrografía: La muestra 2014-GZ-17 bajo microscopio, dio como resultado ser una monzo-diorita de textura fanerítica panidiomorfa, con hornblenda (20%), plagioclasa (36%), microclina (15%), cuarzo (3%) y nefelina (<1%); con alteración a minerales secundarios de sericita (5%), epidota (10%) y opacos (pirita y magnetita, 10%). Se la denominó como una monzonita por la presencia de nefelina (Fotografía 3.51; Anexo 14).



Fotografía 3.51: Lámina delgada de la muestra 2014-GZ-17 (UTM: 0665445 / 9536891); monzo-diorita compuesta de plag=plagioclasa, mcl=microclina, hb=hornblenda, ep=epidota, op=opacos. Aumento 2,5x, imagen izquierda: luz normal, imagen derecha: luz polarizada.

La muestra 2015-SC-10 fue también estudiada bajo microscopio. Tuvo una textura porfídica seriada, con microestructura desordenada. Mineralógicamente presentó plagioclasa (Andesina, 45%), hornblenda (36%), ortopiroxeno (3%); con minerales secundarios como opacos (1%); una matriz (15%) compuesta por microcristales de plagioclasa, arcilla y vidrio volcánico. Se la consideró como una andesita hornbléndica hipoabisal (Fotografía 3.52; Tabla 3.4 y Anexo 14).



Fotografía 3.52: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-10 (UTM: 0669013 / 9536280); andesita compuesta de plag=plagioclasa, hb=hornblenda, px=piroxeno. Aumento 2,5x, imagen izquierda: luz normal, imagen derecha: luz polarizada.

Relación estratigráfica: Se observó que los diques encontrados intruyen al Miembro Volcano-clástico y al Miembro Brechas Superiores, por lo que son más jóvenes a estos. La edad de los diques no está determinada, sin embargo, son más jóvenes que los volcánicos equivalentes laterales de la Fm. Loma Blanca.

3.5.3. PÓRFIDOS

Se registró la ocurrencia de pórfidos de menor tamaño que el Intrusivo Palo Blanco, en diferentes puntos de la zona estudiada.

3.5.3.1. Pórfidos del Eoceno

Un cuerpo porfídico fue registrado en el sector de Sarango (UTM: 0658972 / 9544626).

Pórfido en el sector de Sarango: Posee un color amarillo, con textura porfirítica. Compuesto de fenocristales plagioclasa, en menor cantidad cuarzo y una matriz amarillenta de vidrio volcánico. Se lo clasificó como riodacita.

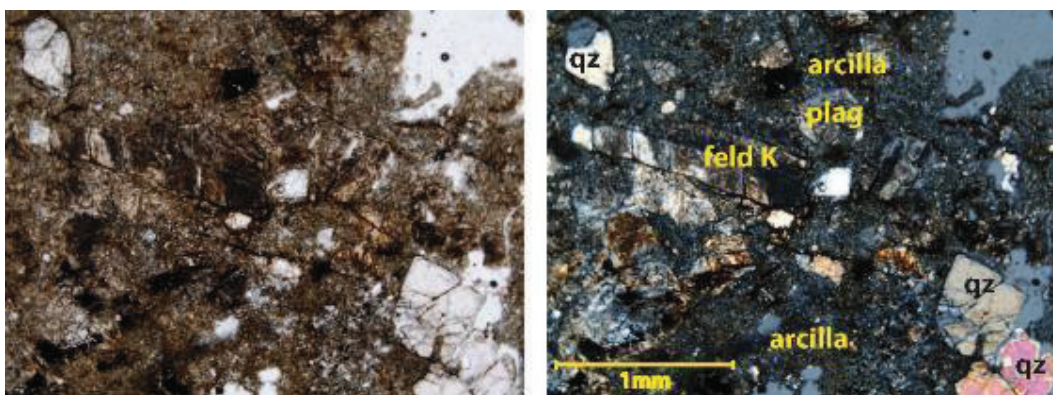
La edad de este pórfido se lo consideró del Eoceno ya que los volcano-sedimentos del Miembro Volcano-sedimentario, están en contacto lateral al pórfido, y este, intruye a las andesitas verdes del Mb. Sacapalca Basal paleocenas.

3.5.3.2. Pórfidos del Mioceno

Uno de estos pórfidos se encontró en el sector de Pueblo Nuevo (0668751 / 9540956) el cual se encuentra cerca al intrusivo Palo Blanco. Otro pórfido fue encontrado en el sector de Sunamanga (0673118 / 9535231). En el sector oriental de Peña Negra (0672940 / 9541835) fue identificado también un pórfido.

Pórfido en Pueblo Nuevo: se lo diferenció del Intrusivo Palo Blanco, por la textura y el color más amarillento que posee, también por el grado de meteorización, el cual es menor en el pórfido. Otra diferencia es que el pórfido afectó a sedimentos de la Fm. Gonzanamá el Mioceno medio, los cuales presentan metamorfismo de contacto, lo que indicaría que el pórfido es posterior a la depositación de la Fm. Gonzanamá.

Petrografía del pórfido en Pueblo Nuevo: La muestra 2015-GZ-02 arrojó una mineralogía comprendida de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico con un alto grado de alteración a arcilla (Fotografía 3.53; Tabla 3.4 y Anexo 14); una composición similar a la del intrusivo principal Palo Blanco, sin embargo la mineralogía determinada, indicaría que es un cuerpo ígneo distinto.

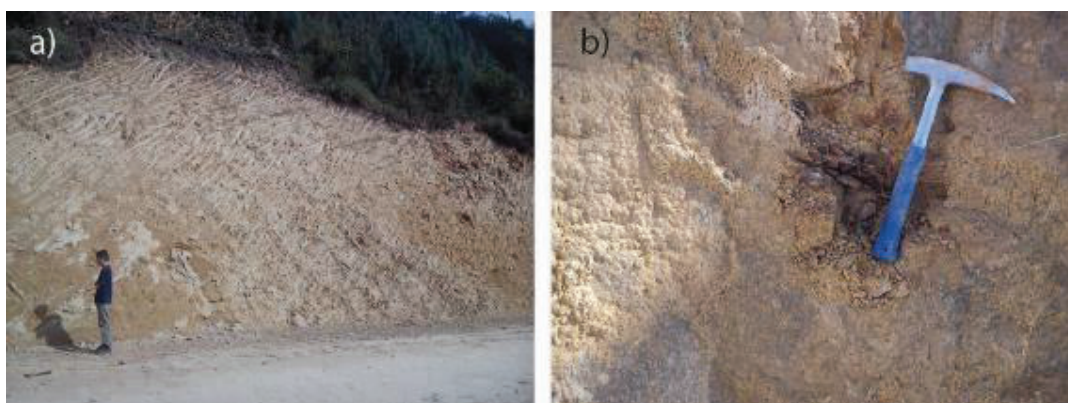


Fotografía 3.53: Lámina delgada de la muestra 2015-GZ-02, composición granítica, con plag=plagioclasa, feld K= feldespato potásico, qz= cuarzo, arcilla. Aumento de 2,5x, izq.: luz normal; der.: luz polarizada.

Pórfido en el sector de Sunamanga: El pórfido posee un alto grado de meteorización. El color del pórfido es de color café amarillento. La mineralogía

consta de caolín en un 40%, plagioclasa y una matriz alterada con menor porcentaje de cuarzo. El grado de consolidación es muy bajo. Resultó ser una riódacita, (Fotografía 3.54). Hacia el lado W, se encuentra en contacto lateral con las brechas volcánicas del Miembro Brechas Superiores; al lado E en la carretera Sunamanga-Gonzanamá se observa el mismo pórfido menos alterado y en contacto con los sedimentos de la Fm. Gonzanamá, estos últimos sin ser afectados por el pórfido, y se encuentran sobre el pórfido. Se observó xenolitos de andesitas basálticas verdes de la Fm. Sacapalca.

Al igual que el anterior pórfido este puede tener una edad del Mioceno, debido a que se observa metamorfismo de contacto en las brechas volcánicas del Oligoceno, y en los sedimentos de la Fm. Gonzanamá del Mioceno medio que se encuentran sobre el pórfido.



Fotografía 3.54: Pórfido de riódacitas, muy alterado a arcilla, poco consolidado; a) Pórfido en el punto UTM: 0673118 / 9535231 y b) Pórfido alterado a arcilla en el punto UTM: 0672895 / 9535171.

Pórfido en el sector de Peña Negra: Este pórfido se compone de cristales plagioclasa de tamaño de pocos milímetros en una matriz de vidrio volcánico, se lo denominó como una andesita hipoabisal.

Se encuentra intruyendo a los sedimentos de Gonzanamá, los cuales se los observó deformados y con metamorfismo de contacto. Debido a esto se lo atribuyó al Mioceno medio, época en donde existió eventos volcánicos y magmáticos en la región (Hungerbühler, 1997).

3.5.3.3. Pórfidos indiferenciados

Se encontraron pórfidos andesíticos en la parte más oriental del área de estudio (E de Nambacola y SE de Gonzanamá). Se encuentran intruyendo a andesitas de la

Unidad Changaimina (Mb. Sacapalca Basal) y parecen estar afectando a los sedimentos de la Fm. Gonzanamá, como los observados en el sector de Peña Negra y Pueblo Nuevo. La edad de estos pórfidos son del Mioceno medio, según Reyes et al. (2008).

3.6. FORMACIÓN GONZANAMÁ

Conforma los sedimentos que conforman la Cuenca de Gonzanamá. Se la denominó en cuatro miembros: Gonzanamá Basal, Gonzanamá Intermedia, Gonzanamá Superior y Gonzanamá Superior Volcánico.

Ubicación y afloramientos: La ocurrencia de la Formación está limitada al lado este de la zona estudiada. Se la puede observar en la depresión de Gonzanamá, en una franja hacia el N hasta el sector de Nambacola.

Se la observó en los alrededores de los pueblos de Gonzanamá y Nambacola, y está expuesta a lo largo de la carretera Gonzanamá-Nambacola-Catamayo. El Miembro Gonzanamá Basal, se lo identificó en los sectores de Illaca (UTM: 0670570 / 9545843), y al NW de Gonzanamá sector de La Banda (UTM: 0672767 / 9533913). Gonzanamá Intermedio se lo encontró al N del poblado de Gonzanamá (0673775 / 9533294; 0674496 / 9533006) y al N de Nambacola (0672811 / 9547193). Gonzanamá Superior se lo encontró en los sectores de Pueblo Nuevo (UTM: 0669632 / 9540106; 0669390 / 9540363), la carretera Gonzanamá-Nambacola (0674496 / 9533006), Potrerillos (0669638 / 9539440).

Litología: Está compuesta de conglomerados que se los denominó como Gonzanamá Basal, se sobrepone una secuencia intercalada de limos, lutitas de color negro y areniscas denominado Gonzanamá Intermedio. En la parte superior, la litología de la Formación se la definió como una secuencia sedimentaria estratificada de areniscas, limos y lutitas con tobas intercaladas, denominados Gonzanamá Superior. Con volcánicos al tope de la secuencia denominados como Gonzanamá Superior Volcánico.

Correlación estratigráfica: Se sobrepone a la Unidad Changaimina (Mb. Sacapalca Basal). Al este del área de estudio, se encuentra también sobre los volcánicos oligocénicos, sin embargo, el contacto no es claro.

3.6.1. GONZANAMÁ BASAL

La ocurrencia del miembro no es amplia en la zona estudiada. Se encontró afloramientos en el este del área de estudio, en los sectores de Illaca y La Banda.

La parte basal de la Formación está constituida por conglomerados. Se lo describe como clasto soportado en su parte inferior, y matriz soportado hacia la parte superior. En varios afloramientos en Illaca, los conglomerados se encuentran estratificados. Los clastos son redondeados a sub-redondeados con tamaño de hasta 10 centímetros, y mal sorteo. Los clastos son andesitas en su mayoría, con textura porfirítica y minerales como plagioclasa y en menor cantidad anfíbol, entre una matriz compuesta de vidrio volcánico. La matriz del conglomerado, de color amarillento, se compone de arenisca, con tamaño de grano medio. Sobre los conglomerados se observa areniscas color café amarillenta, con cuarzo y líticos volcánicos (Fotografía 3.55).

Estos conglomerados, a simple vista, son similares a los conglomerados encontrados en el Miembro Volcano-sedimentario; sin embargo, la composición petrográfica en la matriz es diferente, ya que los primeros poseen una matriz con componentes piroclásticos y los conglomerados de Gonzanamá tienen una matriz de origen sedimentario.



Fotografía 3.55: Formación Gonzanamá basal: a) Conglomerados basales estratificados en el punto UTM: 0670570 / 9545843, sector de Illaca; b) Conglomerados basales pertenecientes a la Formación Gonzanamá (UTM: 0672767 / 9533913).

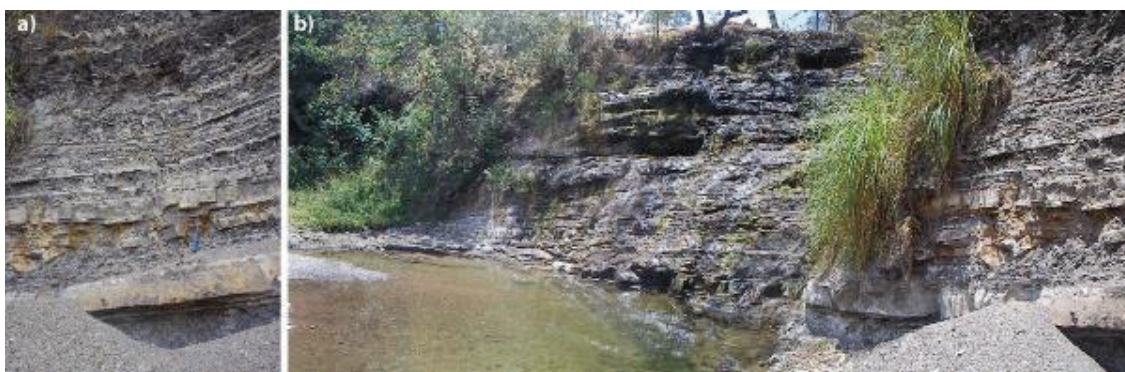
Estratigráficamente se encuentran sobre las lavas andesíticas del Miembro Sacapalca Basal en el N del poblado de Gonzanamá. En cambio en el sector de Illaca, los conglomerados parecen encontrarse sobre el Miembro Brechas Superiores.

3.6.2. GONZANAMÁ INTERMEDIO

Este miembro se lo encontró en el N de Gonzanamá, sector de La Banda, al N Nambacola, sector de Illaca. La secuencia varía a la parte media con areniscas intercaladas con lutitas de color negras a pardas que son conspicuas en la Formación. En diferentes niveles de la secuencia pueden aparecer zonas calcáreas (Anexo 7), intercaladas con las areniscas, o bien el cemento puede ser calcáreo.

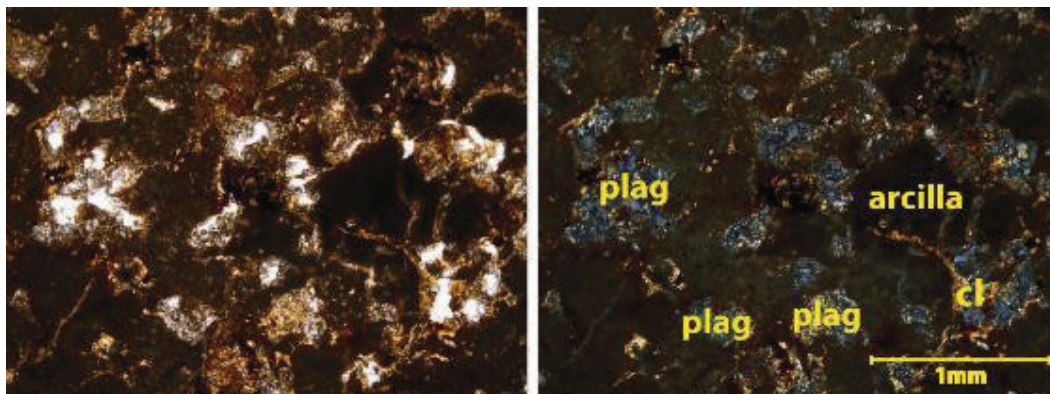
Existen estratos con arcosas que afloran en la secuencia, de color amarillento, con tamaño de grano de arena media, clastos subangulares, capas muy consolidadas. Compuestas de cuarzo y feldespato potásico, y en menor cantidad, líticos volcánicos. Cemento varía en composición según la capa ya que es posible encontrar cemento silíceo y en otras capas cemento calcáreo.

Se encuentran también, lutitas en capas de hasta 40 centímetros, fisibles, de color negro indicativo de materia orgánica (Fotografía 3.56).



Fotografía 3.56: a) y b) Capas intercaladas de areniscas y lutitas negras estratificadas, correspondiente a la parte media de la Formación Gonzanamá (UTM: 0673775 / 9533294).

Petrografía de Gonzanamá Intermedio: La muestra 2015-GZ-4.2, tomada cerca del pueblo de Gonzanamá, presentó una textura piroclástica arenosa-lutítica, microestructura con cristales alargados y orientados, indicando la estratificación. La mineralogía está conformada por plagioclasa (25%); alterada a clorita (15%); matriz (60%) compuesta por arcilla. Con cemento arcilloso. Se la denominó como una toba retrabajada con tamaño de grano arena (Fotografía 3.57).



Fotografía 3.57: Lámina delgada de la muestra 2015-GZ-4.2 (UTM: 0674496 / 9533006), toba arenosa retrabajada y cloritizada; con plag=plagioclasa, cl=clorita, arcilla como cemento. Aumento 2,5x, imagen izq.: luz normal, imagen der.: luz polarizada.

Gonzanamá Intermedio se encuentra sobre el miembro Gonzanamá Basal, con un paso transicional entre los dos. También, es posible verlo sobre las brechas del Miembro Brechas Superiores con discordancia litológica. Pasando transicionalmente, sobre Gonzanamá Intermedio se encuentra el miembro Gonzanamá Superior.

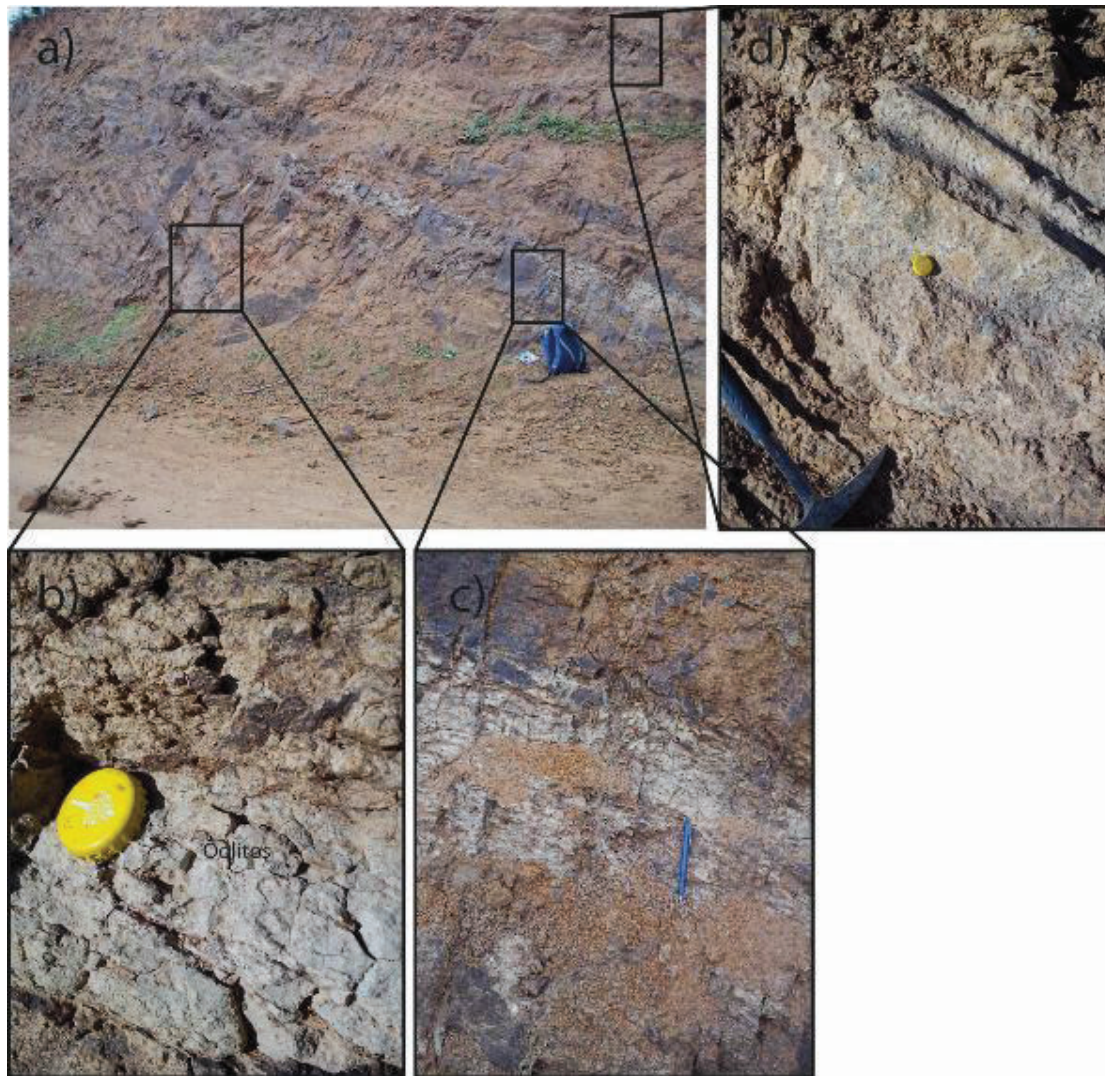
3.6.3. GONZANAMÁ SUPERIOR

La parte superior de la Formación se la reconoció en el sector de Pueblo Nuevo y en la carretera Gonzanamá-Nambacola, en donde se observa capas de areniscas de grano grueso con líticos volcánicos, cuarzo y feldespato potásico, intercaladas con capas de limos, color café claro a amarillo verdoso. Areniscas líticas y cuarzosas de color blanco grisáceo, de grano fino, con cemento ferruginoso (Fotografía 3.58). Como lo reporta Hungerbühler et al. (2002; pág. 86), en la parte superior de la Formación Gonzanamá, se encontró también oolitos de 2 mm de diámetro aproximadamente entre limos blancos amarillentos (Anexo 8).

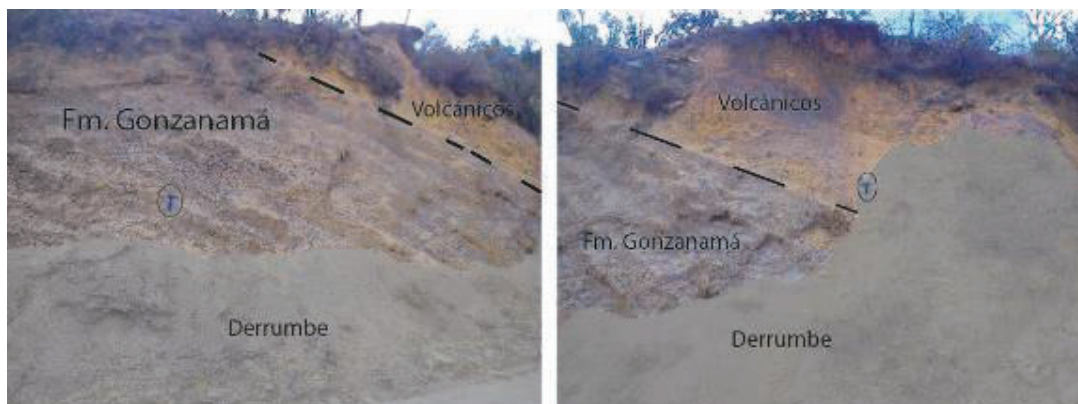
Se encuentran también, arcosas y areniscas estratificadas intercaladas con lutitas negras a cafés. Las arcosas son de color blanco a amarillo pálido, con tamaño de grano arena media, subangulares y poco esféricos, orientados en dirección de la estratificación. La mineralogía consta, de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico en una matriz arcillosa, con cemento arcilloso.

Se caracteriza por estar compuesta por volcánicos, que son también parte de la secuencia, que denominaron como Gonzanamá Superior Volcánico. Estos se componen de brechas volcánicas, de matriz soportada, con clastos porfiríticos de

composición andesítica, así como tobas grises de composición andesítica muy consolidadas (Fotografía 3.59).

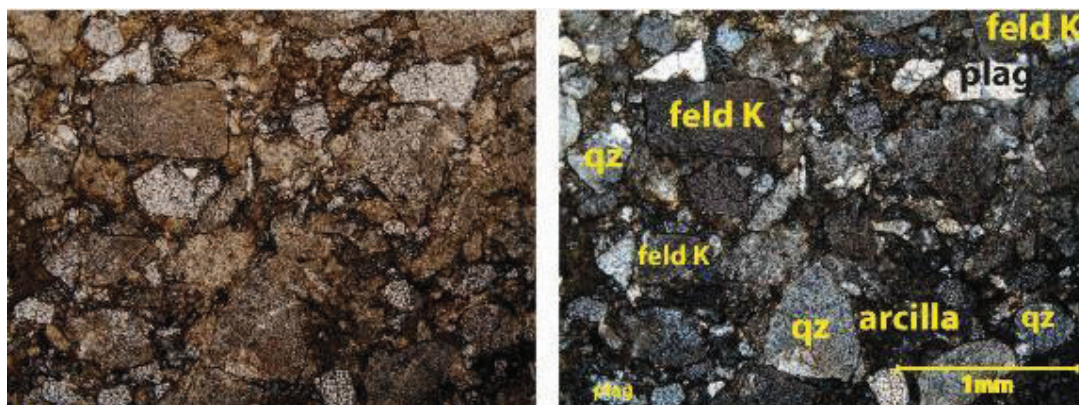


Fotografía 3.58: a) Formación Gonzanamá superior en el sector de Pueblo Nuevo (UTM: 0669632 / 9540106); b) Oolitos observados en el afloramiento en limos blancos amarillentos a verdosos; c) Capa de areniscas con líticos blancos grisáceos, de grano arena fina a limo con cemento ferruginoso-arcilloso; d) Capa de microbrecha con clastos cuarzosos de tamaño 2-3 cm sorteo malo en matriz cuarzo-feldespático de origen volcánico, cemento silíceo, clastos volcánicos porfiríticos andesíticos, cuarzosos.



Fotografía 3.59: Brechas volcánicas sobre la Formación Gonzanamá (UTM: 0675293 / 9532349); imagen izquierda vista al N 100°, imagen derecha a 7 metros al S de la imagen izquierda, vista N 90°.

Petrografía de Gonzanamá Superior: la muestra 2015-SC-22 bajo microscopio presentó una textura arenosa brechoide, microestructura desordenada porosa. La mineralogía compuesta de cuarzo (15%), feldespato potásico (40%), plagioclasa (30%) y anfíbol (<1%); levemente cloritizada (2%), con arcilla (7%); en una matriz (5%) y cemento compuesto de arcilla. Fue determinada como una arcosa (Fotografía 3.60; ver Anexo 14).



Fotografía 3.60: Lámina delgada de la muestra 2015-SC-22 (UTM: 0669638 / 9539440), arenisca arcosa, feld K=feldespato potásico, qz=cuarzo, plag=plagioclasa, arcilla como cemento, cristales subangulares a subredondeados. Aumento 2,5x, imagen izq.: luz normal, imagen der.: luz polarizada.

En el sector de Potrerillos, se encontró areniscas de la Fm. Gonzanamá, en contacto con un pórfido de composición andesítica. Aquí los estratos se encuentran deformados, y plegados en forma anticlinal. Al centro de este se encontró areniscas de grano grueso y arcosas, atribuidas a Gonzanamá Superior (Fotografía 3.61).



Fotografía 3.61: Estratos de areniscas, limos y lutitas plegadas, anticlinal asimétrico, flanco occidental en la Fm. Gonzanamá (UTM: 0669638 / 9539440), en contacto con un pórfido andesítico al W.

3.6.4. DEFORMACIÓN POR PÓRFIDOS

La Formación Gonzanamá ha sufrido deformación producto del emplazamiento de cuerpos intrusivos como pórfidos. Evidencia de ello, se encuentra en Pueblo Nuevo y Las Lagunas (0681111 / 9536346; fuera del área de estudio, lado E).

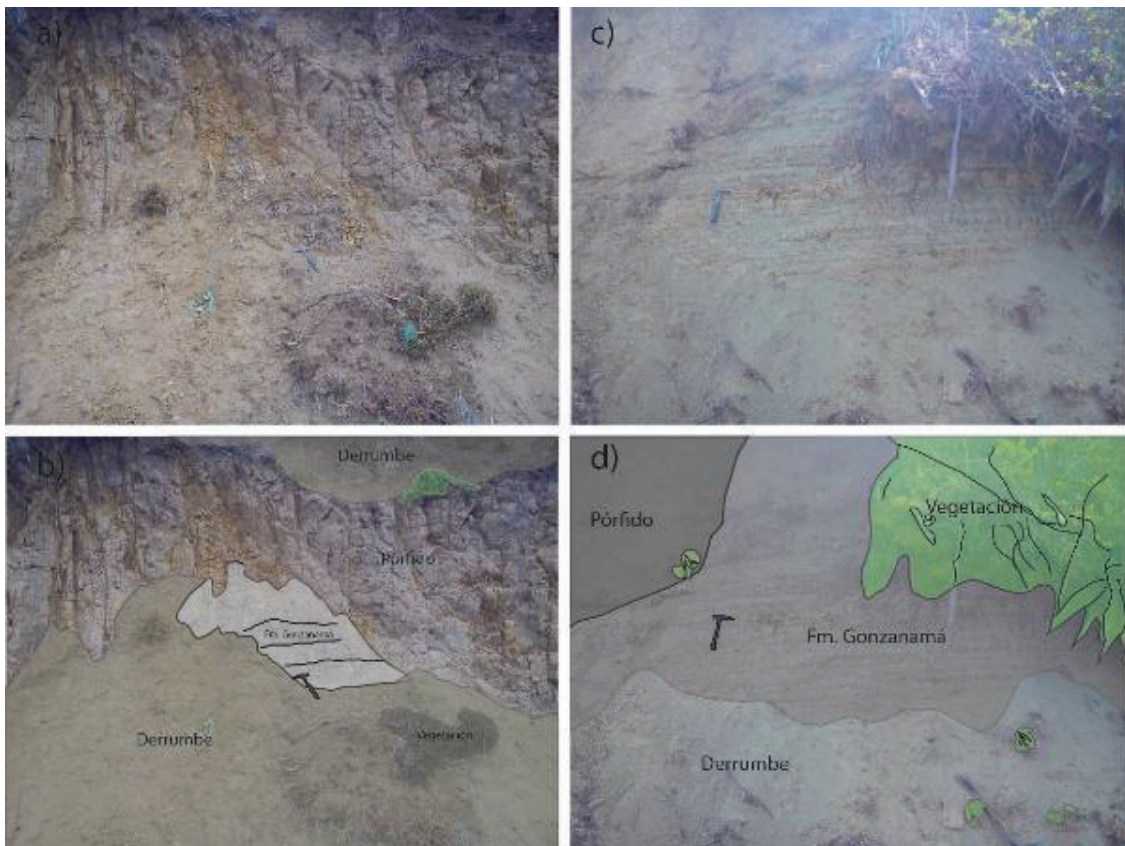
En Pueblo Nuevo, los sedimentos han sufrido metamorfismo de contacto debido al pórfido (explicado anteriormente), emplazado en las cercanías. Se observó meta-lutitas y meta-limos correspondientes a la parte superior de la de la Formación Gonzanamá (Fotografía 3.62).



Fotografía 3.62: Formación Gonzanamá afectada por metamorfismo de contacto, se observa los planos de foliación en las capas de meta-lutitas (UTM: 0669390 / 9540363).

Al igual que el punto anterior, en el sector Las Lagunas, hay evidencias de pórfidos que cortan y afectaron a la Fm. Gonzanamá. Las capas de la Formación se encuentran con metamorfismo de contacto al igual que en Pueblo Nuevo. La roca que afecta a la Fm. Gonzanamá, es una roca porfírica que con fenocristales de plagioclasa con matriz de vidrio volcánico alterado a arcilla, que muestran ser cuerpos intrusivos y no lavas que cubren a la Formación. El contacto entre los dos es inter-digitado, se observa alternación entre sedimentos y andesitas, similar al contacto entre el Intrusivo Palo Blanco y las andesitas del Miembro Sacapalca Basal (Unidad Changaimina).

Demuestran una actividad magmática posterior a la depositación de la Formación, en donde los sedimentos, fueron afectados por metamorfismo de contacto en varias donde se emplazaron los pórfidos (Fotografía 3.63).



Fotografía 3.63: Formación Gonzanamá afectada por metamorfismo de contacto debido a pórfidos emplazados, producto de volcanismo posterior a la Formación; a) y b) Fm. Gonzanamá entre un pórfido de composición andesítica en el punto UTM: 0681111 / 9536346; c) y d) Estratos de limos y areniscas de la Fm. Gonzanamá 15 m al E del punto en a).

Espesor: El espesor total de la Formación Gonzanamá se estima entre 1000 metros (Kennerley, 1973).

Edad de la Fm. Gonzanamá: La edad de la Formación aún genera dudas debido que varios autores han determinado diferentes edades, variando desde el Maestrichtiano por Kennerley (1973), del Terciario Inferior (Bristow & Hoffstetter, 1977 en Jaillard et al., 1996) hasta el Mioceno medio (Hungerbühler, 1997; Hungerbühler et al., 2002). La deformación y el metamorfismo de contacto, provocado por pórfidos, en los sedimentos de la Fm. Gonzanamá indicarían una edad más antigua a la propuesta por Hungerbühler (1997), ya que el último volcanismo en la zona es del Mioceno medio (Hungerbühler et al., 2002) denominado como Fm. Quinara; y posiblemente la Formación Gonzanamá sea del Mioceno inferior a inicios del Mioceno medio.

3.7. VOLCANISMO MIOCÉNICO

Se determinó, en varios puntos, que existe un volcanismo más joven que las formaciones antes mencionadas, debido al poco basculamiento y litificación de las capas. Se encuentran en discordancia sobre las Formaciones Loma Blanca y Gonzanamá. Eventos volcánicos y magmáticos están evidenciados. Brechas volcánicas y tobas se encuentran en la parte oriental y central del área. Se los asociaron a episodios volcánicos posteriores a la depositación de la Formación Gonzanamá, y cubren a los volcano-sedimentos atribuidos como equivalente lateral de la Formación Loma Blanca, y a la Fm. Gonzanamá.

Eventos magmáticos se evidencian por pórfidos que intruyen a sedimentos de la Formación Gonzanamá, como es el caso de los sedimentos de Pueblo Nuevo. Estos pórfidos, descritos anteriormente, están compuestos por andesitas y riocitas, de color blanco amarillento a gris amarillento, con plagioclasa y matriz de vidrio volcánico.

En los puntos en que se encontró estos volcánicos las capas se encuentran levemente basculadas hacia el E lo que complicó determinar una medida exacta de

la disposición de las capas por lo que en algunos casos se las consideró subhorizontales (Fotografía 3.64).

Ocurrencia y afloramientos: Los depósitos volcánicos se encontraron en la vía Sacapalca – Catacocha (UTM: 0662625 / 9541462; 0662797 / 9542015); sector de “La Y” Changaimina – Cariamanga (0664796 / 9529271) y al N de Nambacola, sector de Uruchambo (UTM: 0672960 / 9548871; 0664317 / 9529293). Los volcánicos se encontraron en la parte suroeste y centro del área de estudio. Los afloramientos no son extensos, sin embargo, la mayoría se encuentran poco erosionados. La Formación parece extenderse hacia el norte, la cual se puede observar en la carretera Catacocha – Catamayo, y no solo se limita a la cuenca de Malacatos-Vilcabamba como expone Hungerbühler et al. (2002), (Tabla 2.1).

Los pórfidos encontrados fueron en los sectores de Pueblo Nuevo, Sunamanga, Las Lagunas y Potrerillos.

Litología: En la vía Sacapalca – Catacocha y el sector “La Y” Changaimina – Cariamanga, los depósitos piroclásticos constan de una secuencia de brechas y flujos piroclásticos.

Se observó a la base, brechas volcánicas con clastos decimétricos de composición andesítica y dacítica, clastos de textura porfírica con mal sorteo, alterado a epidota en zonas, brecha clasto soportada; matriz compuesta de arena volcánica con anfíbol, plagioclasa y cuarzo, con ceniza volcánica.

Sobre las brechas, se encuentra una secuencia de areniscas volcánicas, de color café claro a gris rojizo. La arenisca se compone de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, anfíbol y líticos de origen volcánico; el espesor de la capa es de 2 metros. Posee clastos diseminados en un 3%, se encuentran subredondeados, de tamaño de 20 a 5 centímetros. Los clastos son andesitas, de textura porfírica, con plagioclasa, anfíbol alterado y matriz de vidrio volcánico.

Sobre las areniscas, se observó tobas de color café amarillo, estratificadas, y parece estar retrabajada. Compuesta de ceniza tamaño de arena, con plagioclasa, anfíbol, feldespato potásico. Posee clastos diseminados, subangulares a

subredondeados, de tamaño 2 a 10 centímetros, con mal sorteo, clastos de composición dacítica. El espesor de la capa es aproximadamente 2,5 m.

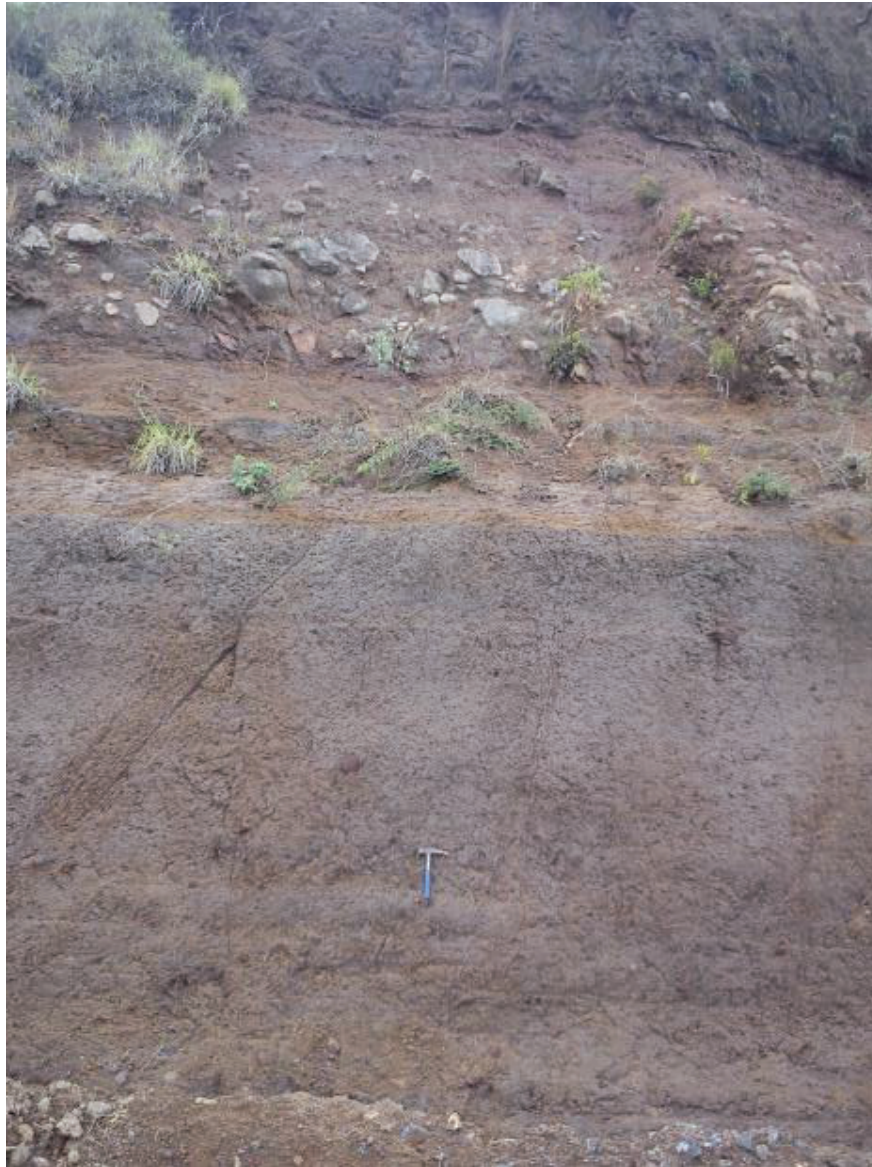
En concordancia, se encontró una capa de arcosa, con tamaño de grano de arena gruesa. Con feldespatos potásicos mayormente, cuarzo, plagioclasa, anfíbol; y líticos de origen volcánico en menor cantidad. Cemento ferruginoso. Le sigue, en concordancia, una capa estratificada roja compuesta de arenisca con líticos volcánicos, feldespatos potásicos, plagioclasa, cuarzo, anfíbol.

Sobre esta última, se encuentra una brecha volcánica, estratificada y matriz soportada. Los clastos son de origen volcánico, con textura porfírica, contienen cristales de plagioclasa rodeados por una matriz de vidrio volcánico. La matriz de la brecha se compone de plagioclasa, cuarzo, líticos volcánicos.

Sobre la brecha retrabajada, se encuentran intercalaciones de capas de red beds con capas de limo volcánico. Estas últimas tienen cemento ferruginoso a arcilloso. Los red beds, de color rojizo, tienen capas de tamaño 2 y 1 cm. Entre estos, se encuentra una arenisca volcánica, de color café, con tamaño de grano de arena media, de varios centímetros de espesor. Las capas de limos presentaron minerales de origen volcánico como anfíboles, plagioclasa, ceniza limosa retrabajada. Areniscas volcánicas color verde con plagioclasas, feldespatos potásicos, y una matriz comprendida de ceniza verdosa de grano medio a grueso con cemento ferruginoso le sigue a la secuencia anterior. Sobre las areniscas se encuentran brechas volcánicas con clastos de composición andesítica y textura porfírica de color rojo, verde, gris, tamaño de 10, 20 y 30 centímetros, en matriz volcánica con un espesor de 4 metros. Estas capas fueron encontradas sobre el Mb. Volcano-sedimentos, pero se los separó de estos debido a su grado de consolidación y porque se encuentran al final de la secuencia separadas por brechas volcánicas; sin embargo, es necesario hacer estudios futuros para una mejor discriminación, pues es probable que sean parte del Mb. Volcano-sedimentos.

En contacto lateral, se encontró brechas poco consolidadas. Con clastos angulares, de tamaño decimétrico, en matriz compuesta de arena de grano fino, que se encuentra aparentemente subhorizontal. La composición de los clastos son

andesíticos a dacíticos. La matriz, de color amarillento es de tamaño de grano de arena media, en un 70% del total de la capa (Fotografía 3.65). Se los consideró como paleo-lahares, ya que contienen laminaciones entre las brechas; evidencia de agua como factor influyente al momento de la depositación.



Fotografía 3.64: Secuencia de volcano-sedimentos atribuidos al Mioceno Medio, capas subhorizontales, friables (UTM: 0662625 / 9541462).

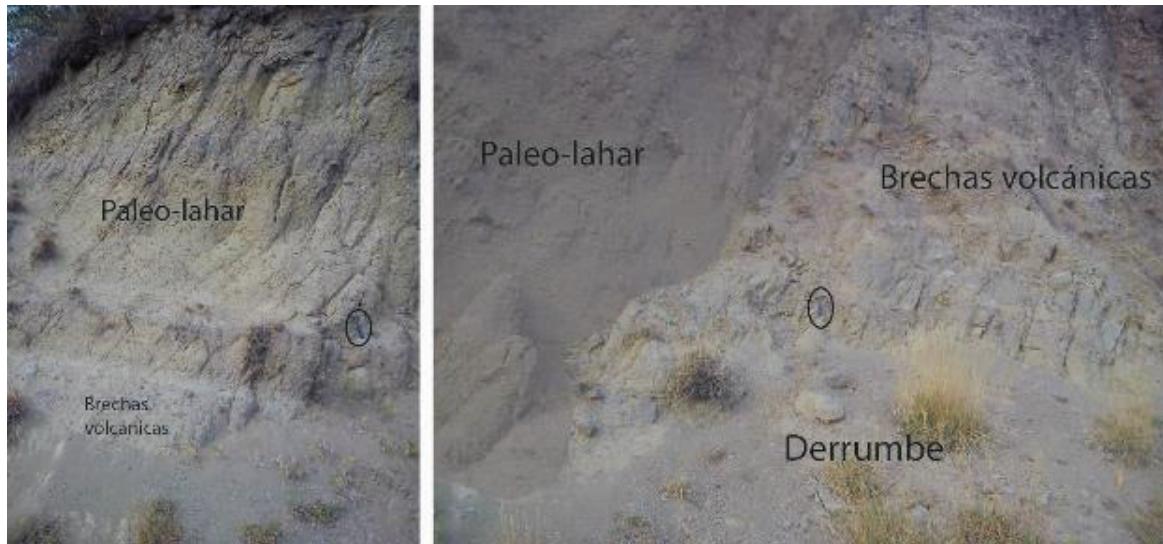


Fotografía 3.65: Paleo-lahar correspondiente al volcanismo Miocénico (UTM: 0662797 / 9542015).

Se encontraron también, brechas volcánicas, con matriz soportada, color café amarilla, con clastos (20%) de andesitas y dacitas, con buen sorteo, subangulares. La matriz de la brecha está compuesta de ceniza (80%).

Sobre estos, se encuentra una capa de brechas volcánicas, matriz soportada. Con clastos de composición de andesita (10%). La matriz de la brecha (90%), está compuesta de ceniza y arena amarilla, con laminaciones entre la matriz. Se la consideró como paleo-lahar. Este corta lateralmente a brechas volcánicas con clastos andesíticos de hasta 50 cm mal sorteo (Fotografía 3.66).

Hacia el tope, en discordancia, se encuentran brechas volcánicas, en matriz soportada, clastos con mal sorteo, y bloques con tamaño de hasta 1 metro. Clastos angulares, de textura porfírica, se componen de minerales como anfíbol, plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y muscovita; denominados como riolitas. La matriz de la brecha está compuesta de arena de origen volcánico (Fotografía 3.67).



Fotografía 3.66: Volcánicos Miocénicos, compuestos de brechas volcánicas y lahares ligeramente estratificados en el punto UTM: 0664317 / 9529293.

Sobre las brechas anteriores, se diferenciaron brechas volcánicas, matriz soportada a la base con clastos que sobresalen de la matriz, los clastos son angulares con tamaños de hasta 60 centímetros, mal sorteo. Los clastos son de color rojo, gris, de textura porfírica, composición de andesitas, dacitas y riolitas. La matriz de la brecha se compone de ceniza, con líticos volcánicos. La matriz compuesta de ceniza de color amarilla a café clara, tamaño de grano de arena.



Fotografía 3.67: Brechas volcánicas poco consolidadas con clastos métricos de color anaranjado en matriz arenosa poco consolidada, del Mioceno.



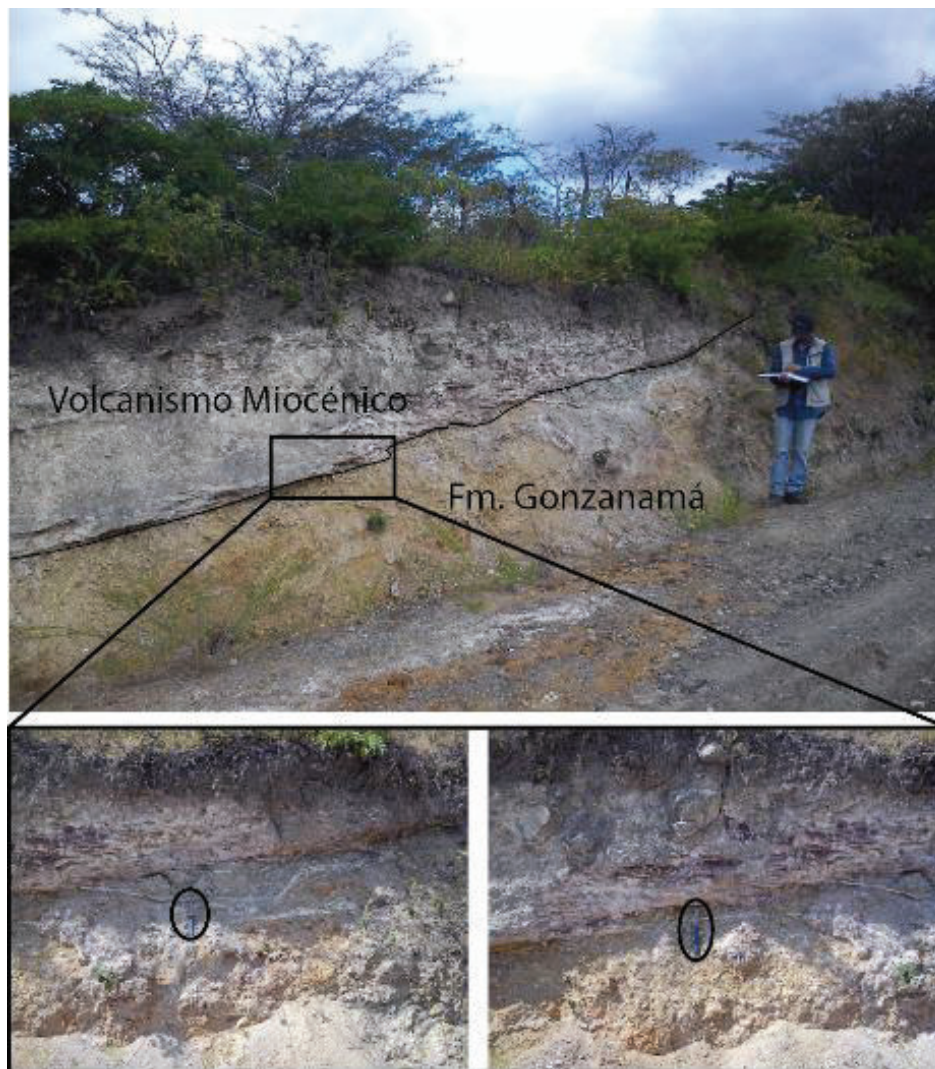
Fotografía 3.68: Brechas volcánicas a la base y sobre estas paleo-lahares Miocénicos (UTM: 0664796 / 9529271).

Lateralmente, la secuencia cambia a una brecha clasto soportada, con sorteo bueno de los clastos, tamaño de clastos de 1 a 40 centímetros, predominan los clastos de 20 centímetros, estos son subangulares. La brecha no se encuentra muy consolidada. Los clastos de color verde claro, rojo, verde oscuro, y naranja, tienen textura porfirítica y composición dacítica. La matriz de la brecha se compone arena volcánica.



Fotografía 3.69: Brechas volcánicas clasto soportada y poco consolidadas, subhorizontales, que cortan a un paleo-lahar en las coordenadas UTM: 0664317 / 9529293.

Volcánicos, en el sector Uruchambo, fueron encontrados en discordancia sobre la Fm. Gonzanamá. Se los interpretaron como parte de los Volcánicos Miocénicos. Estos se componen tobas de ceniza volcánica, de color blanco rosáceo a rojizo. Presenta clastos milimétricos de pómez, con clastos volcánicos en menor cantidad. Estos clastos son angulares, de tamaño métricos a centimétricos diseminados a lo largo de la capa. La textura de los clastos es porfírica, y contenido mineralógico de anfíbol, feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa, y matriz compuesta de vidrio volcánico, con una composición dacítica a riolítica. El espesor es variable pero no mayor a 2 metros. La extensión de esta capa no es muy grande y solo se la observó en la parte NE del área estudiada (Fotografía 3.70).



Fotografía 3.70: Posible volcanismo del Mioceno al NE del área de estudio (UTM: 0672960 / 9548871), se encuentra sobre sedimentos erosionados de la Fm. Gonzanamá; se la consideró una toba compuesta de ceniza, y brecha en partes debido a la ocurrencia de varios clastos riolíticos.

Correlación estratigráfica: Estos volcánicos se encuentra sobre los Miembros Sacapalca Basal y Volcano-sedimentario, en la parte occidental del área de estudio en discordancia litológica y discordancia erosional respectivamente. Los volcánicos encontrados en los alrededores de Uruchambo se encuentran en discordancia erosional sobre la Fm. Gonzanamá. Los volcánicos Miocénicos encontradas en el tope, terminan con las secuencias encontradas en el área de estudio.

Edad: La edad de los volcánicos fue determinada por correlaciones estratigráficas al Mioceno medio, ya que afectan a los sedimentos de la Fm. Gonzanamá.

3.8. DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Los depósitos más jóvenes son coluviales y terrazas de ríos que se encuentran a lo largo del área estudiada. Los coluviales encontrados se componen de clastos con mal sorteo de andesitas verdosas con pátina blanca en un matriz de arena café amarillenta poco consolidada. Terrazas fluviales compuestas de conglomerados poco consolidados y se encontraron en el río Quebrada Grande sector de Nambacola y terrazas aluviales en el río Catamayo que no se encuentran muy extendidos a los costados (Fotografía 3.72).

La ocurrencia de los coluviales es extendida a lo largo de la zona de estudio y se los identifica por ser poco consolidados y por escarpes observados en fotografías aéreas e imágenes satelitales. Se los encuentra en zonas de gran pendiente y en zonas de rocas poco consolidadas como los volcano-sedimentos. Pequeños coluviales pueden ser encontrados a lo largo de la carretera Changaimina – Sacapalca en donde parte de las rocas del Miembro Sacapalca Basal y las brechas volcánicas oligocénicas se encuentran altamente meteorizadas facilitando la ocurrencia de deslizamientos (Fotografía 3.71).



Fotografía 3.71: Coluvial con clastos angulares de andesitas verdosas pertenecientes al Miembro Sacapalca Basal en el UTM: 0665443 / 9536885.



Fotografía 3.72: Terrazas cuaternarias por depósitos fluviales en discordancia sobre el Mb. Sacapalca Basal (UTM: 0673188 / 9541141).

Tabla 3.4: Tabla de descripción de muestras en sección delgada

Muestra	Coordenadas UTM: X/Y	Textura	Estructura	Fenocrústales										Matriz										Nombre	Miembro				
				Px	Anf	Plag	Qz	Feld K	Nef	Lit	Crd	Px	Anf	Plag	Qz	Feld K	Vid. volc.	Arc	Cen.	Op	Óx	Cl	Ser			Ep	Cal	Arc	Qz
2014-GZ-1.1	0682158 / 9534444	Piroclástica tuffica	Orientación de los componentes.	X	X	X	X											X	X	X			X	X				Toba cristalina de composición dacítica alterada	Purunuma
2014-GZ-1.2	0682158 / 9534444	Piroclástica: tuffica	Orientación de los componentes	X	X	X	X	X		X									X	X	X			X				Toba cristalina de composición riódacítica	Purunuma
2014-GZ-02	0680351 / 9537068	Piroclástica: cinerítica	Cierta dirección preferencial	X	X	X	X												X	X	X			X				Toba cristalina de composición intermedia	Volcano- clástico
2014-GZ-03	0672928 / 9541463	Fanerítica: Subofítica	Desordenada	X	X	X	X	X												X	X							Cuarzo-mono-diorita Blanco	Intr. Palo Blanco
2014-GZ-6.1	0662954 / 9534940	Porfírica: porfídica	Desordenada	X	X	X	X												X	X	X			X				Andesita con calcita secundaria	Sacapalca Basal
2014-GZ-09	0676613 / 9542213	Piroclástica: Cinerítica	Cristales fracturados y orientados	X	X	X	X												X	X	X			X				Toba cristalina	Volcano- clástico
2014-GZ-10.1	0668213 / 9536442	Porfídica: Pilotaxítica	Desordenada	X	X	X	X												X	X	X			X				Andesita	Sacapalca Basal
2014-GZ-11.2	0668055 / 9536487	Piroclástica	Con cristales levemente orientados	X	X	X	X													X	X			X				Toba cristalina riolítica	Brechas superiores
2014-GZ-11.4	0668055 / 9536487	Porfídica: Pilotaxítica	Desordenada, en matriz se observa leve dirección de flujo magmático	X	X	X	X													X	X			X				Andesita propilitizada	Dique
2014-GZ-12.2	0662610 / 9536841	Porfídica: acumulada	Leve dirección de los fenocrústales	X	X	X	X														X			X				Andesita alterada	Sacapalca Basal
2014-GZ-13	0662468 / 9537248	Porfídica	Desordenada	X	X	X	X														X			X				Andesita cloritizada	Sacapalca Basal
2014-GZ-15.1	0664023 / 9537596	Porfídica: pilotaxítica	Desordenada	X	X	X	X														X			X				Andesita	Sacapalca Basal
2014-GZ-16	0664746 / 9537146	Piroclástica	Desordenada	X	X	X	X														X			X				Toba riolítica meteorizada	Sacapalca Basal
2014-GZ-17	0665445 / 9536891	Fanerítica: Pantidomorfa	Desordenada	X	X	X	X													X	X			X				Monzonita	Dique
2014-GZ-18.2	0666047 / 9537268	Piroclástica: Tuffica	Desordenados, porosa	X	X	X	X														X			X				Toba retrabajada de composición riolítica	Volcano- clástico
2014-GZ-19	0666053 / 9537422	Piroclástica: Tuffica	Leve orientación de los cristales y matriz	X	X	X	X														X			X				Toba litica de composición andesítica posible propilitización	Volcano- clástico
2014-GZ-20.1	0666039 / 9537781	Piroclástica	Desordenada	X	X	X	X														X			X				Toba cristalina-vítrea riódacítica cloritizada	Volcano- clástico
2014-GZ-20.2	0666039 / 9537781	Piroclástica: Tuffica	Desordenada	X	X	X	X														X			X				Toba vitrea silicificada de composición intermedia	Volcano- clástico
2014-GZ-21	0664962 / 9541781	Piroclástica: Cinerítica	Orientación de los fenocrústales y matriz	X	X	X	X														X			X				Toba cristalina andesítica	Volcano- clástico
2014-GZ-22	0665531 / 9542600	Porfídica	Desordenada	X	X	X	X														X			X				Andesita horribléndica hipoabasal	Volcano- clástico
2014-GZ-23	0665614 / 9542809	Piroclástica tuffica	Porosa	X	X	X	X														X			X				Toba de riódacita	Volcano- sedimentos
2015-GZ-01	0666222 / 9537621	Piroclástica: Eutaxítica	Matriz bandeada	X	X	X	X														X			X				Toba riódacítica	Tobas

Muestra	Coordenadas UTM: X/Y	Textura	Estructura	Fenocrústales										Matriz										Nombre	Miembro					
				Px	Anf	Plag	Qz	Feld K	Nef	Lit	Crd	Px	Anf	Plag	Qz	Feld K	Vid. volc.	Arc	Cen.	Op	Óx	Cl	Ser			Ep	Cal	Arc	Qz	Zr
2015-GZ-02	0669264 / 9540543	Fanerítica granuda hipidiomorfa	Masiva	X	X	X	X																		X		Granito	Porfido Mioceno		
2015-GZ-03	0669434 / 9538841	Porfídica: Adcumulada	Desordenada	X	X				X													X					Andesita basáltica	Sacapalca Basal		
2015-GZ-4.2	0674496 / 9533006	Piroclástica arenosa-lutítica	Orientación de estratificación			X																X					Toba de composición ácida	Gonzanamá		
2015-SC-1.2	0661030 / 9546832	Porfídica: pilotaxítica	Desordenada	X	X	X	X															X					Andesita alterada	Volcano-sedimentos		
2015-SC-02	0667111 / 9538966	Piroclástica: Cinerítica	Orientación de cristales	X																		X				X	Toba piroxénica	Volcano-clástico		
2015-SC-03	0663587 / 9547281	Piroclástica: Eutaxítica	Cristales orientados, matriz bandeada	X		X			X															X			Toba lítica tamaño de grano lapilli (bandeada)	Tobas		
2015-SC-06	0665519 / 9542559	Piroclástica cinerítica	Levemente direccionada	X	X	X			X																		Toba lítica con clastos ígneos	Sacapalca Basal		
2015-SC-09	066070 / 9539600	Piroclástica: Cinerítica	Desordenada	X	X	X			X																		Toba lítica con tamaño de litos grandes tipo lapilli	Volcano-sedimentos		
2015-SC-10	0669013 / 9536280	Porfídica seriada	Desordenada	X	X	X																	X				Andesita hornbléndica hipobasal	Dique		
2014-SC-11	0667174 / 9538389	Brechoide piroclástica	Desordenada	X	X	X			X																		Lapilli tobáceo de composición intermedia-ácida	Volcano-clástico		
2015-SC-12	0667174 / 9538389	Piroclástica: cinerítica	Desordenada	X	X	X																					Toba piroxénica de composición andesítica	Volcano-clástico		
2015-SC-13	0666236 / 9537633	Piroclástica eutaxítica	Leve orientación de los cristales	X		X																					Toba cristalina	Tobas		
2015-SC-14	0664962 / 9539687	Piroclástica eutaxítica	Cristales orientados	X	X	X																					Toba cristalina de composición andesítica	Volcano-sedimentos		
2015-SC-15.2	0666820 / 9544316	Afanítica pilotáxica	Microcristales orientados	X	X	X																			X		Andesita basáltica	Sacapalca Basal		
2015-SC-16	0666169 / 9539233	Piroclástica brechoide	Leve orientación de cristales	X	X	X			X																		Lapilli tobáceo riolítico epidotizado	Tobas		
2015-SC-17	0666169 / 9539233	Piroclástica cinerítica	Cristales y matriz orientados	X	X	X			X																		Toba lítica-cristalina de composición intermedia-ácida	Tobas		
2015-SC-19	0657522 / 9537613	Piroclástica cinerítica	Desordenada	X	X	X			X																		Toba cristalina-lítica riolítica	Brechas Superiores		
2015-SC-20.2	0665402 / 9542043	Piroclástica	Matriz indica dirección de flujo			X			X																		Toba lítica-cristalina de composición ácida	Tobas		
2015-SC-26	0666779 / 9543342	Fanerítica panidiomorfa	Desordenada	X	X	X																					Monzo-granito alterado	Intr. Palo Blanco		
2015-SC-29	0665566 / 9542326	Piroclástica eutaxítica	Matriz y cristales orientados	X	X	X																					Toba cristalina ignimbítica de composición ácida	Tobas		
2015-SC-31	0660260 / 9547100	Piroclástica brechoide	Matriz y cristales orientados	X	X	X			X																		Toba lítica-cristalina de composición ácida	Tobas		

Muestra	Coordenadas UTM: X/Y	Textura	Estructura	Fenocristales										Matriz										Nombre	Miembro					
				Px	Anf	Plag	Qz	Feld K	Nef	Lit	Crd	Px	Anf	Plag	Qz	Feld K	Vid. volc.	Arc	Cen.	Op	Óx	Cl	Ser			Ep	Cal	Arc	Qz	Zr
2015-SC-32	0660709 / 9546130	Piroclástica brechoide	Cristales y matriz orientados			X		X			X																X		Lapilli tobáceo lítico de composición intermedia-ácida	Tobas
2015-SC-34	0666520 / 9541568	Piroclástica cinerítica	Desordenada	X	X	X																							Toba cristalina hornbléndica andesítica	Volcano-clástico
2015-SC-35	0664972 / 9541552	Piroclástica eutaxítica	Matriz y cristales orientados	X	X	X		X		X																			Toba lítica de composición ácida	Tobas
2015-SC-36	0664618 / 9543096	Piroclástica tuftica	Desordenada	X	X	X		X		X																			Lapilli tobáceo lítico de composición andesítica - dacítica	Tobas
2015-NB-4	0672747 / 9547850	Piroclástica	Desordenada	X	X	X		X		X																			Toba cristalina composición dacítica	Brechas Superiores
2015-NB-12.2	0672031 / 9541912	Fanerítica granuda hipidiomorfa	Desordenada	X	X	X																							Granito alterado	Intr. Palo Blanco
2015-NB-13	0670926 / 9542744	Fanerítica subofítica	Desordenada	X	X	X		X		X																			Granito alterado	Intr. Palo Blanco
2015-NB-17	0673218 / 9549098	Piroclástica	Desordenada	X	X	X		X		X																			Toba lítica dacítica-rólitica	Tobas
2015-CH-02	0670627 / 9530571	Porfírica: porfídica	Cristales y matriz orientados	X	X	X																							Andesita	Sacapaica Basal
2015-CH-04	0663457 / 9533804	Porfírica	Desordenada	X	X	X																							Andesita proplitizada	Sacapaica Basal
2015-CH-09	0664449 / 9535184	Porfírica	Desordenada	X	X	X																							Andesita epidotizada	Sacapaica Basal
P. Yz-01	0664031 / 9538333	Porfírica porfídica	Desordenada	X	X	X																							Andesita hipoabisal	Brechas Superiores

Muestra	Coordenadas UTM: X/Y	Textura	Estructura	Cemento	Fenocristales										Matriz										Nombre	Miembro					
					Px	Anf	Plag	Qz	Feld K	Cal	Lit	Px	Anf	Plag	Qz	Feld K	Cal	Arc	Cen.	Op	Óx	Cl	Ser	Ep			Cal	Arc	Qz	Zr	
2015-SC-07	0665630 / 9542809	Arenosa - arcillosa	Arena media	Arcilloso	X	X	X			X																				Gravaca con componentes volcánicos	Volcano-sedimentos
2015-SC-21	0670936 / 9535682	Piroclástica Rudítica brechoide	Desordenada	Ferruginoso-silíceo		X	X																							Matriz de Brecha volcánica retrabajada	Brechas Superiores
2015-SC-22	0669638 / 9539440	Arenosa brechoide	Desordenada, porosa	Arcilloso	X	X	X		X																					Arcosa alterada	Gonzanamá
2015-NB-11	0672940 / 9541835	Arenosa-lútica	Desordenada	Arcilloso		X	X	X		X																				Arenisca tobácea retrabajada	Gonzanamá

CAPÍTULO 4

4. GEOMORFOLOGÍA ESTRUCTURAL

4.1. INTRODUCCIÓN

La geomorfología de la zona estudiada se realizó en base a 6 fotos aéreas pancromáticas a escala 1:60.000 (PROYECTO CARTA NACIONAL) para utilizarlas con el estereoscopio de espejos e imágenes satelitales de Google Earth© (Imágenes CNES / Astrium, 2015) y de la página web www.sigtierras.gob.ec, del Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), con escala variable. Con estas, se pudo interpretar estructuras y diferentes litologías que posteriormente se comprobó en campo.

La zona se encuentra modelada por la escorrentía superficial formando altos en la parte centro-sur y bajos en la zona norte. La dirección de flujo de las quebradas es hacia el NW que desembocan en el Río Catamayo.

La cuenca local del río Catamayo se la delimitó con un programa de GIS. El área que cubre la cuenca es de 1528,0791 km², alrededor de las cartas topográficas de Catacocha, Nambacola, Gonzanamá y Cariamanga. Esto permitió determinar la densidad del drenaje en el área de interés. Para el área estudiada, la superficie es de 463,184996 km²; la densidad de drenaje determinada en el área es de 2,33 km/km², lo que indica que la cuenca es moderadamente drenada (Figura 4.1).

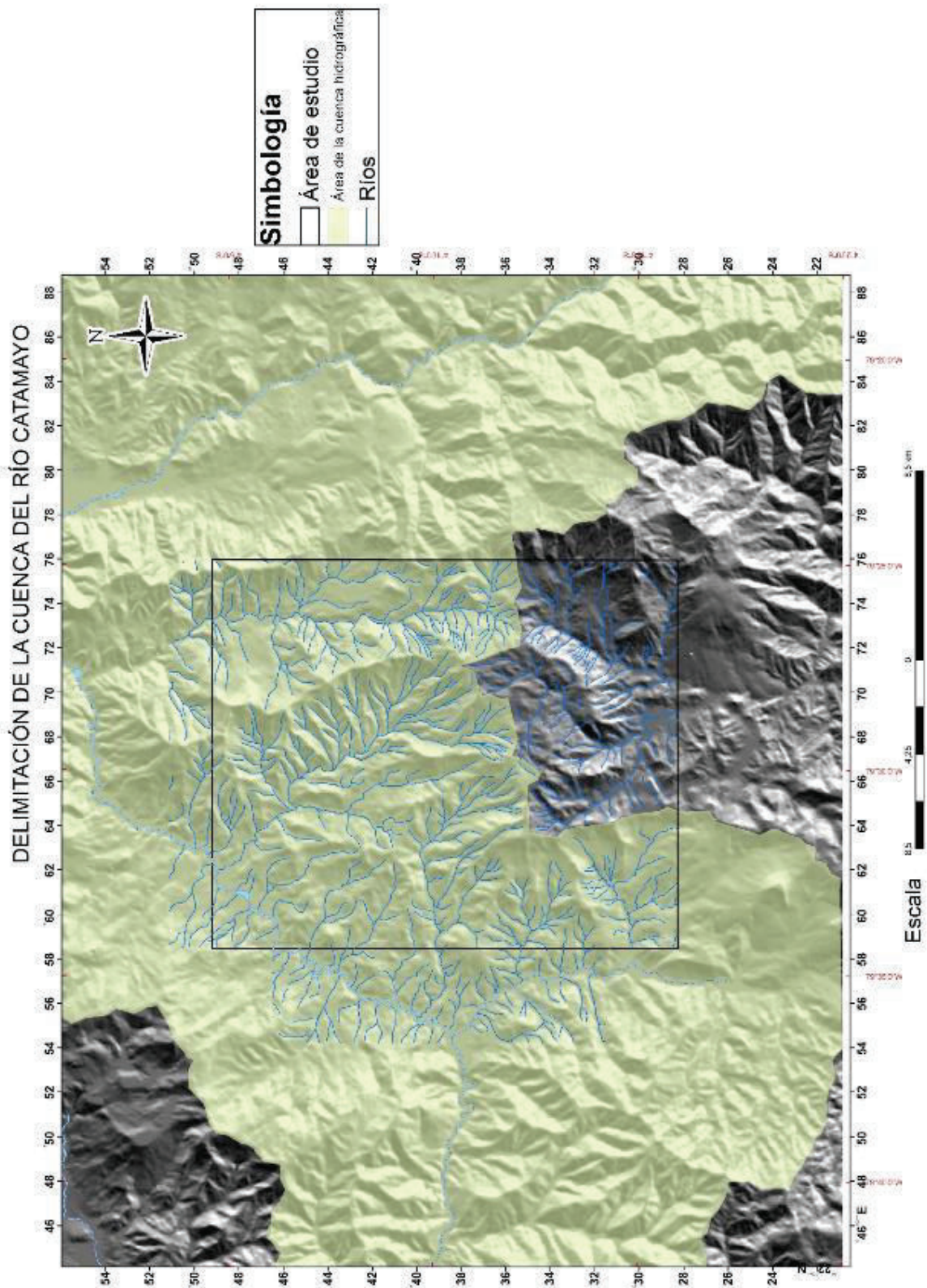


Figura 4.1: Delimitación de la cuenca del Río Catamayo entre las cartas de Catacocha, Nambacola, Gonzanamá y Cariamanga

4.2. DOMINIOS MORFOESTRUCTURALES

La morfología del área es, en parte, controlada por el tipo de rocas que afloran en superficie. Las principales litologías de la zona de estudio son de origen sedimentario e ígneo. Las rocas volcánicas proveen un relieve más alto que las rocas sedimentarias. En base a la litología, el área de estudio se caracteriza por presentar tres dominios morfoestructurales: uno netamente volcánico, uno volcano-sedimentario y un dominio sedimentario, que se manifiestan por los cambios de relieve.

En zonas de depresiones se ubican rocas sedimentarias de la Fm. Gonzanamá. Forman planicies de relieve bajo y pendientes suaves, como es el caso del área de la parroquia de Nambacola al norte del cantón Gonzanamá. Relieves moderadamente bajos ocurren en presencia de volcano-sedimentos que se encuentran en la parte central y oeste de la zona, y que son erosionados por el drenaje local que desemboca en el río Catamayo. El relieve formado es más irregular que los creados en los sedimentos. En cambio, las rocas ígneas presentan relieves relativamente fuertes hacia la parte sureste y este de la zona, como es el caso del sector de Changaimina, donde las laderas presentan desniveles abruptos (Figura 4.2).

La morfología del área es controlada principalmente por la tectónica. Esta genera cuevas estructurales en la parte oriental y central con buzamientos de las laderas estratificadas hacia el este.

La parte oriental de la zona representa un dominio sedimentario de relieves y pendientes bajas. La parte centro de la zona presenta también picos que son producto de la formación volcánicos como pórfidos que han ayudado a mantener un relieve moderadamente alto en el área. Sin embargo, es clara la predominancia de volcano-sedimentos que se los identifica mejor en la parte oeste de la zona estudiada.

Para la geomorfología se dividió el área de estudio en tres zonas de E a W. La Zona Oriental, la Zona Central y la Zona Occidental.

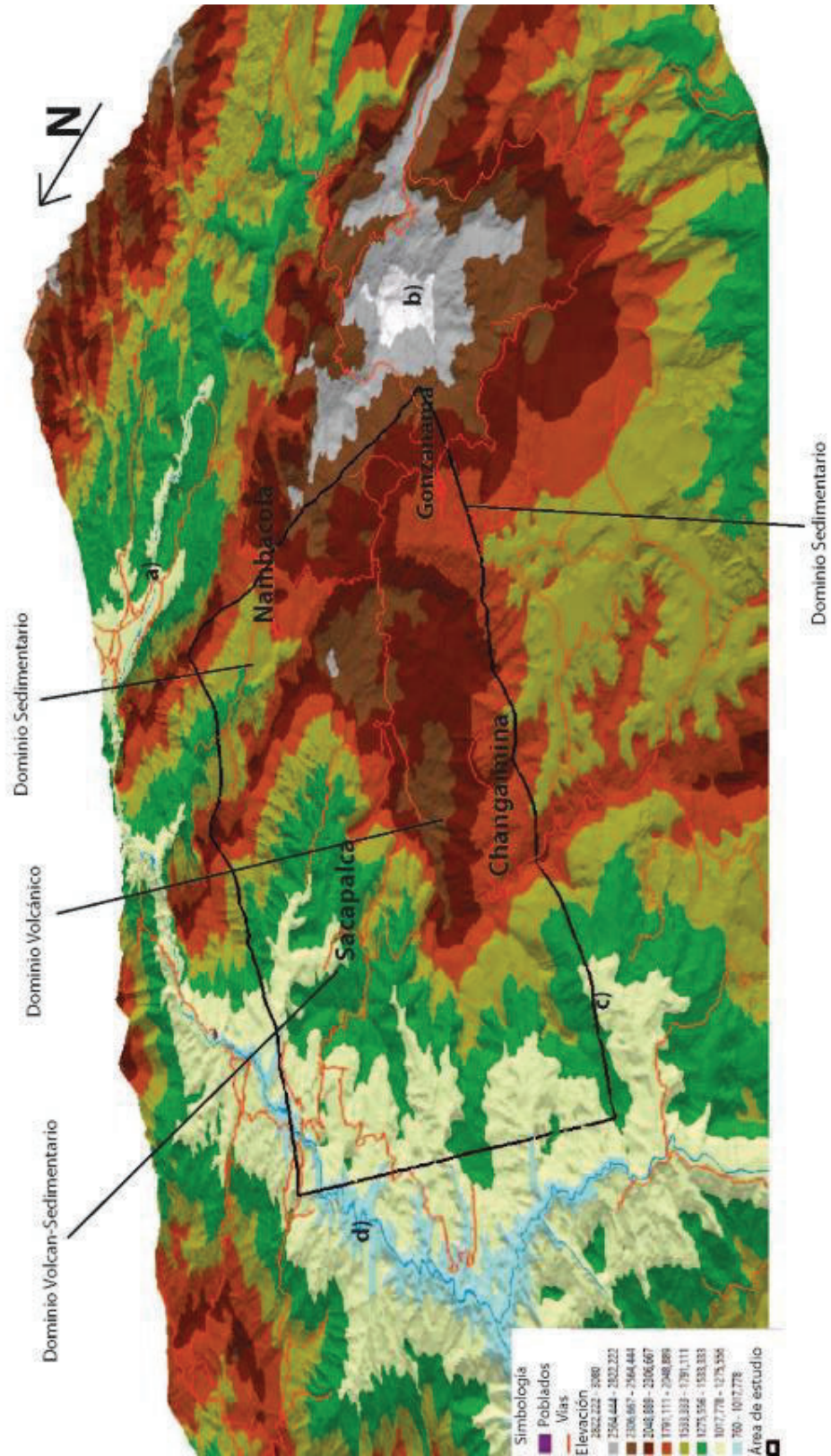


Figura 4.2: Dominio sedimentario en el sector de Gonzanamá (a) y Nambacola (b), relieves bajos; c) Dominio volcánico con relieves altos; d) Dominio volcano-sedimentario.

4.2.1. GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA ORIENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se la describe desde el sector del Cerro Peña Negra al oeste, hasta el límite este del área estudiada. La geomorfología de la parte oriental está controlada por los sedimentos de la Fm. Gonzanamá. Estos provocan planicies en los alrededores de los poblados de Gonzanamá y Nambacola, que pueden ser considerados valles no verdaderos, debido a que la tectónica es la principal causa de su formación (Huggett, 2007).

Aquí, el drenaje tiene una dirección hacia el este que desemboca en el río ubicado al W de Nambacola, con dirección S-N, que desemboca al N, en el Río Catamayo. El tipo de drenaje de la zona oriental del área de estudio varía de dendrítico a paralelo. El drenaje dendrítico, observado en la Quebrada Hechiceros, es característico de estratos horizontales y en rocas ígneas homogéneas (Huggett, 2007; Gutiérrez, 2008). El drenaje paralelo, observado en el Cerro Grande, se desarrolla donde los estratos son uniformemente resistentes y la pendiente regional está marcada, o donde existe un fuerte control estructural ejercida por una serie de fallas muy próximas entre sí, monoclinales, o isoclinales (Huggett, 2007).

La actividad magmática de edad del Oligoceno, evidenciado con el emplazamiento del Intrusivo Palo Blanco, ha provocado también, características en la topografía de la zona estudiada. En el este del área, el intrusivo provoca un alto relieve en el sector del Cerro Peña Negra. En el sector Cerro del Oso, la topografía tiene altos relieves que son provocados por lavas andesíticas muy consolidadas del Miembro Sacapalca Basal, que se encuentra en contacto con el granito Palo Blanco. En las mismas zonas, se observó un eskarpe hacia el lado oeste, que separa la secuencia de la parte oriental con la secuencia de la parte central del área de estudio. Este eskarpe forma cuevas empinadas al oeste del Cerro Peña Negra, coronadas por capas más resistentes, y una pendiente de inmersión, que corre a lo largo de la inclinación de los estratos.

Elevaciones como el Cerro Ingaurcu (2161 m.s.n.m.) y el Cerro Yaramina (2597 m.s.n.m.) contrastan con el relieve bajo provocado por los sedimentos. Estos cerros son conformados por rocas ígneas que son más resistentes a la erosión y provocan que la topografía sea elevada.

Las pendientes de la zona oriental se encuentran entre 30 y 40 grados en la parte oeste de la zona oriental. Cambiando hacia el E a pendientes entre 0 y 10 grados, en el sector de Nambacola y Gonzanamá (Anexo 11).

4.2.2. GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA CENTRAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Esta zona se la determinó desde el escarpe en el sector del Cerro Peña Negra, al este, hasta el escarpe encontrado al W del poblado de Changaimina.

La parte central está compuesta por las andesitas del Miembro Sacapalca Basal, el Miembro Tobas, el Miembro Volcano-sedimentos y el Miembro Brechas Superiores. El relieve por tanto, tiene contraste entre bajo y alto. En el sector de La Vega, el relieve es moderadamente bajo por la ocurrencia de volcano-sedimentos. En cambio, en el sector de Changaimina el relieve es alto, producto del dominio volcánico. La elevación más importante se encuentra en el sector de La Panuma (2400 m.s.n.m.)

La geomorfología en la parte central de la zona de estudio se encuentra dominada por el drenaje con dirección predominante N-S y de tipo dendrítico. En el lado este de Potrerillos es observable un escarpe que separa esta zona con la zona oriental del área de estudio. Es observable facetas triangulares a lo largo de la Zona Central, con dirección al W, que dan evidencia de fallas normales. Hacia el W de Changaimina, se observó un gran escarpe que separa esta zona de la zona occidental.

Al sur, se caracteriza por estar conformado por una meseta que en general, mantiene un relieve bajo. Hacia el centro-norte, se encuentran una serie de monoclinales. Esta serie, con dirección N-S, es observada en el sector de Sacapalca. Las laderas de buzamiento se encuentran hacia el E, y los escarpes erosivos hacia el W. Estas forman valles asimétricos en la Zona Central.

Las pendientes varían de mayor a >45 grados en los escarpes de los sectores de Changaimina y Potrerillos, al igual que en el sector de La Cruz de Yazapa. Hacia el norte de la Zona Central, se observó planicies con pendientes entre 0 y 10 grados (Anexo 11).

4.2.3. GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA OCCIDENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Esta zona se la limitó desde el escarpe que se encuentra al W del poblado de Changaimina hasta la zona límite occidental del área de estudio.

Se caracteriza por un relieve moderadamente alto pero con pocas elevaciones importantes. Se compone en su mayoría del Miembro Volcano-sedimentos. El drenaje de la zona tiene una dirección hacia el NW y W, que desemboca en el Río Catamayo. El tipo de drenaje es mayoritariamente, dendrítico. La delimitación de valles en la zona es compleja, pues se encuentra con un paisaje muy irregular.

La vegetación cambia de color en el sector de Limón Vega (UTM: 0658075 / 9540316) en donde parece tener contacto fallado los volcano-sedimentos del Miembro Volcano-sedimentos al E, con las andesitas del Miembro Sacapalca Basal al W.

En el sector de Changaimina, se observó facetas triangulares al lado este del escarpe observado, que indicarían una falla normal en la zona.

Las pendientes son poco pronunciadas, con 20 y 10 grados en la inclinación. Se tiene zonas también con pendientes mayores a >45 grados (Anexo 11).

4.3. ESTRUCTURAS

4.3.1. ESTRUCTURAS REGIONALES

Fallas regionales fueron identificadas, una al este y otra al oeste de la zona de estudio, ambas fuera del área estudiada. La falla Ningomine y la falla Algarrobera (Kennerley, 1973; INIGEMM, 2012; Egüez et al., 2003).

La falla Ningomine (Kennerley, 1973), renombrada por geólogos del INIGEMM (2012) como falla Bella María, ubicada al oeste del área de estudio, tiene una dirección N-S, buzando al W. En imágenes satelitales la falla se la observa como un lineamiento al noroeste de Cariamanga y sur de Catacocha (Figura 4.5). Esta falla separa las andesitas del Miembro Sacapalca Basal al E, del batolito de Tangula de edad Cretácica al W.

La falla inversa nombrada como Algarrobera (Kennerley, 1973) y renombrada como La Toma por Egüez et al., (2003), ubicada al este de la zona de estudio, a lo largo del Valle de Catamayo. Se encuentra en dirección N-S y buzando hacia el W. Esta separa las andesitas del Miembro Sacapalca Basal al W, de los sedimentos de la Cuenca Catamayo al E.

4.3.2. ESTRUCTURAS LOCALES

Análisis geomorfológicos permitieron determinar zonas de diferente contexto estructural, algunas de estas son afectadas solo por fallamiento y se encuentran al centro-norte, noreste y oeste. Plegamientos menores también fueron encontrados. Otras zonas en cambio, no muestran una evidente perturbación tectónica, como es el caso del lado suroeste del área de estudio.

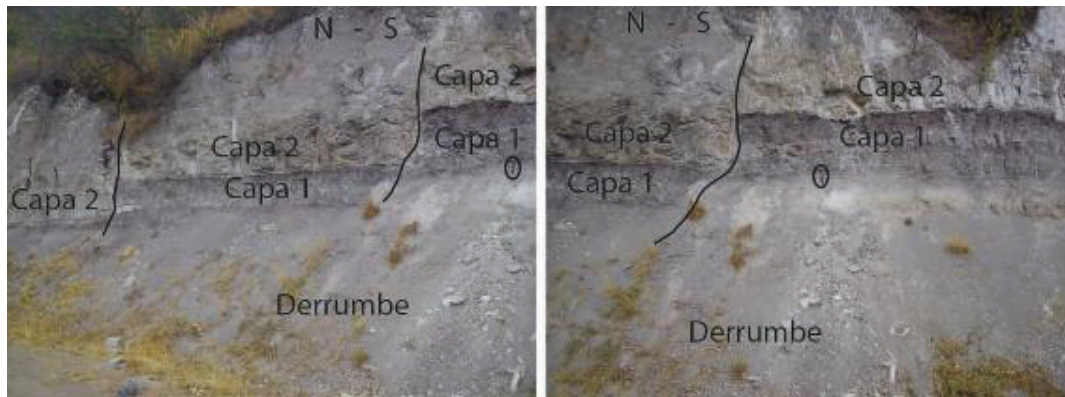
Estructuras menores, como un pliegue anticlinal, se identificó en el sector de Potrerillos. Este pliegue, de tipo asimétrico, involucra los sedimentos estratificados de la Formación Gonzanamá, cuyo eje de pliegue se orienta en dirección N-S; esto indicaría un evento tectónico compresivo local en el área posiblemente simultáneo al depósito de la Fm. Gonzanamá, entre finales de Mioceno inferior a comienzos de Mioceno medio (Fotografía 4.1).

Fallas normales locales de corto desplazamiento, no fueron cartografiadas a la escala de trabajo (1:50.000); representan episodios extensivos locales que han sido encontradas en algunos afloramientos entre el Miembro Volcano-sedimentos atribuidos como equivalente lateral de la Formación Loma Blanca, en el lado W del área estudiada; evidencia de una tectónica extensiva local en la zona (Fotografía 4.2). Al suroeste de la zona de estudio, se registró pequeñas fallas normales, con dirección E-W (UTM: 0659404 / 9531866) (Fotografía 4.2).

Las principales estructuras encontradas son fallas que afectan a los volcánicos paleocenos, las secuencias volcano-sedimentarias oligocenas y los sedimentos de la Fm. Gonzanamá que provocan una segmentación en la zona estudiada. Según el grado de perturbación tectónica y su disposición estructural, se denominó: 1) a la zona oeste como Bloque Oriental, 2) a la zona central se la dividió en los Bloques Central y Sur, 3) a la zona oeste los Bloques Occidental y Suroeste. (Figura 4.8).



Fotografía 4.1: Anticlinal en sedimentos de la Fm. Gonzanamá, sector de Potrerillos (UTM: 0669638 / 9539440).



Fotografía 4.2: Fallas normales, en dirección E-W buzando al N, que provocan desplazamiento vertical en los volcano-sedimentos del Miembro Volcano-sedimentos (UTM: 0659404 / 9531866). La capa 1 está compuesta de red beds volcánicos, mientras que la capa 2 está compuesta de areniscas y limos.

4.3.2.1. Fallas de segmentación dentro de la zona de estudio

Dentro del área estudiada, se observaron rasgos morfológicos asociados a fallas que afectan a las secuencias antes descritas (Capítulo 3). Varios de estos trazos encontrados e interpretados como fallas no son continuos, debido a que estas se encuentran cubiertas por coluviales o son fallas inactivas. En general, la zona tiene una tectónica similar en los tres bloques basculados hacia el E, los cuales, se encuentran separados por fallas en dirección NNW-SSE.

En el lado este del área estudiada, en el bloque que comprende la parroquia de Nambacola, existe una falla de tipo normal no activa, de dirección N-S, que cambia a una dirección NW-SE (hacia el norte de la falla), con un buzamiento al W, y con una longitud de 6 km aproximadamente. Afectó al Bloque Oriental, a volcano-sedimentos y a la Fm. Gonzanamá en el lado W de la falla y a las andesitas basálticas del Miembro Sacapalca Basal en el lado E de la falla. Evidencia de esta falla es la existencia de facetas triangulares en el W de la Loma Picuanga (UTM: 0674874 / 9551960), que se encuentran alineadas a lo largo del río del sector de Rodanejo.

Otra falla, en el sector del intrusivo Palo Blanco, provoca el efecto de capas basculadas, las cuales se evidencian en los niveles correspondientes a la Formación Loma Blanca y los sedimentos de la Formación Gonzanamá todos inclinados hacia el este. La existencia de un escarpe y facetas triangulares, en el sector del intrusivo Palo Blanco, indican la presencia una falla normal, posiblemente lístrica de despegue, denominada en este trabajo como falla Potrerillos, pues atraviesa el poblado del mismo nombre, con una dirección NNW-SSE, buzando al W. Esta provocó el basculamiento de las capas que se encuentran al oeste de la falla (Figura 4.3).

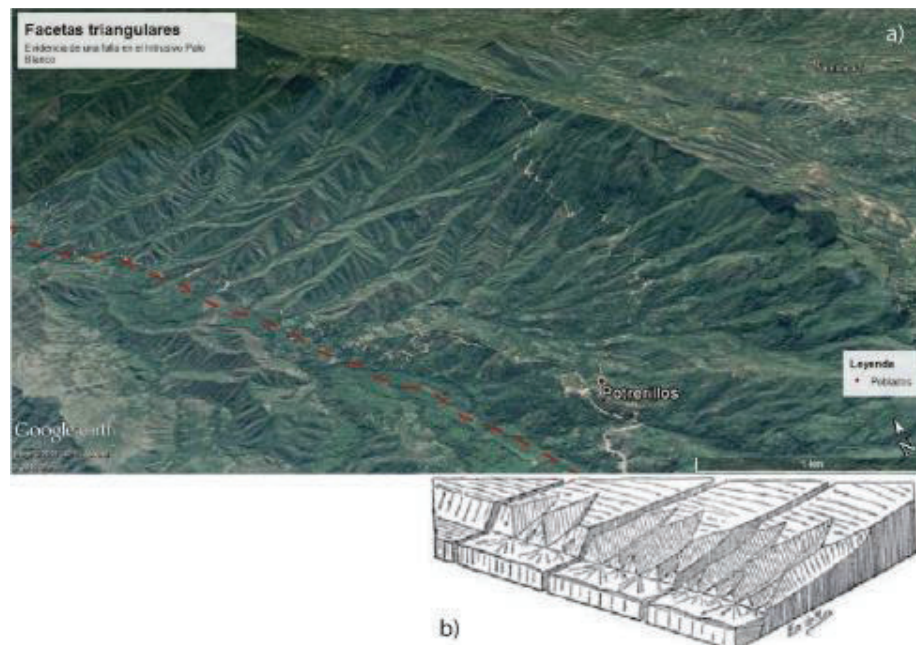


Figura 4.3: a) Escarpe con facetas triangulares en el sector de Potrerillos, evidencia de una falla normal afectando al intrusivo Palo Blanco y a las capas orientales (Google, Images CNES / Astrium, 2015). b) Ejemplo de formación de facetas indicadoras de una falla (Tomado de Martonne, 1909, en Gutiérrez, 2008)

Al lado oeste del pueblo de Sacapalca, se observó una falla similar a la descrita en la zona de Potrerillos; esta sin embargo es menos evidente que la anterior y su seguimiento es truncado al norte por la alta vegetación y la pobre exposición de la misma. Se puede apreciar facetas triangulares mirando hacia el oeste, poco desarrolladas, que indicarían una falla de tipo normal en dirección N-S y con un cambio NW-SE hacia el norte, provocando el basculamiento de pequeños bloques en el oeste, los cuales se observaron con una inclinación al este (Figura 4.4).

En el sector occidental de Pusanuma, al W de Changaimina, se observó un bloque compuesto del Miembro Volcano-sedimentos, basculado por una posible falla normal lístrica que tiene dirección NNW-SSE y buzando hacia el SW. La tectónica de esta parte del área de estudio es más compleja al igual que la identificación de estructuras debido a coluviales que cubren la zona; sin embargo se la infirió por la existencia de facetas triangulares que se encuentran hacia el W de los altos de Changaimina y por el cambio de color en la vegetación observadas en fotografías satelitales (Figura 4.5). Esta falla fue nombrada como falla Pusamuna.

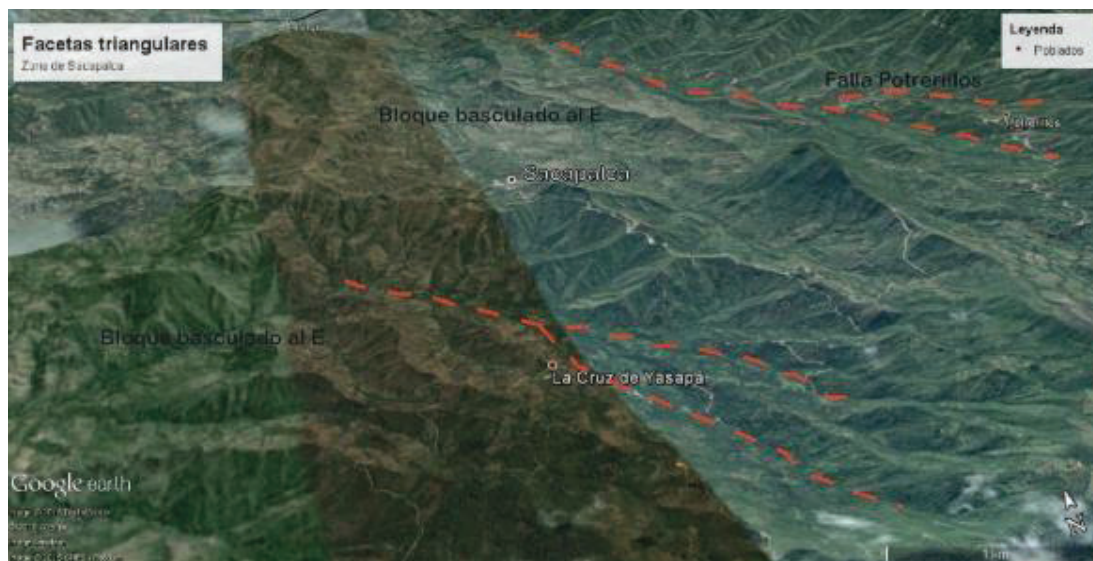


Figura 4.4: Facetas triangulares en el sector de la parroquia de Sacapalca, evidencia de una posible falla similar a la de Potrerillos (vista al NE de la figura), pero menos desarrollada, que provoca que los volcano-sedimentos de la Fm. Loma Blanca que se encuentran al oriente, basculen hacia el E (Google, Images CNES / Astrium, 2015).



Figura 4.5: Falla inferida en el sector de Pusanuma (línea entrecortada roja), al W de Changaimina se observa facetas triangulares poco desarrolladas, al igual que un gran escarpe en el sector de Changaimina que confirma la falla en el sector; se determinó una falla en dirección E-W (UTM: 0661684 / 9535333) que provoca bloques caídos con fallas normales más pequeñas; al W se observa la falla Ningomine de determinada por Kennerley, 1973 (línea entrecortada negra) imágenes satelitales tomadas de www.sigtierras.gob.ec, MAGAP, 2015.

Una falla en el sector del cantón Gonzanamá fue determinada con dirección NNE-SSW, inversa buzando al W, con una longitud de aproximadamente 8 km, la cual levanta el bloque occidental de la falla y provoca el descenso relativo del bloque oriental; en este lugar los sedimentos pertenecientes a la Fm. Gonzanamá se encuentran inclinados hacia el E, con buzamientos de hasta 70 grados (Figura 4.6).

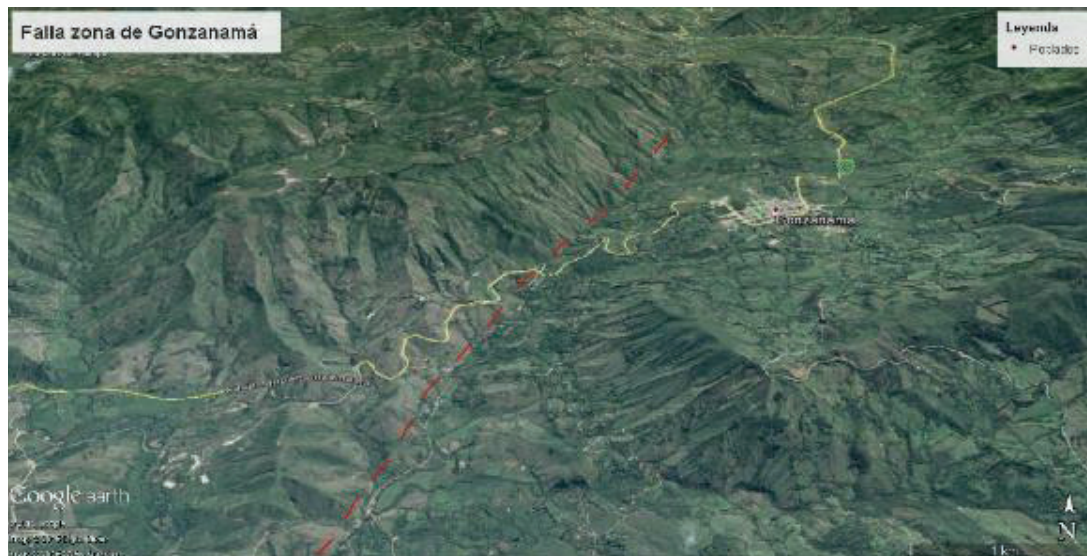


Figura 4.6: Falla en el sector del cantón Gonzanamá que levanta el Bloque Sur al lado oeste de la falla la cual se consideró inactiva (Google, Images CNES / Astrium, 2015).

Una falla inversa se encontró en la parte oriental, en el sector del Bloque Oriental, sector de Nambacola, con dirección E-W que levanta a los sedimentos de la Fm. Gonzanamá sobre las brechas volcánicas del Miembro Brechas Superiores, con una longitud de 3 km, buzando al S (Figura 4.7).

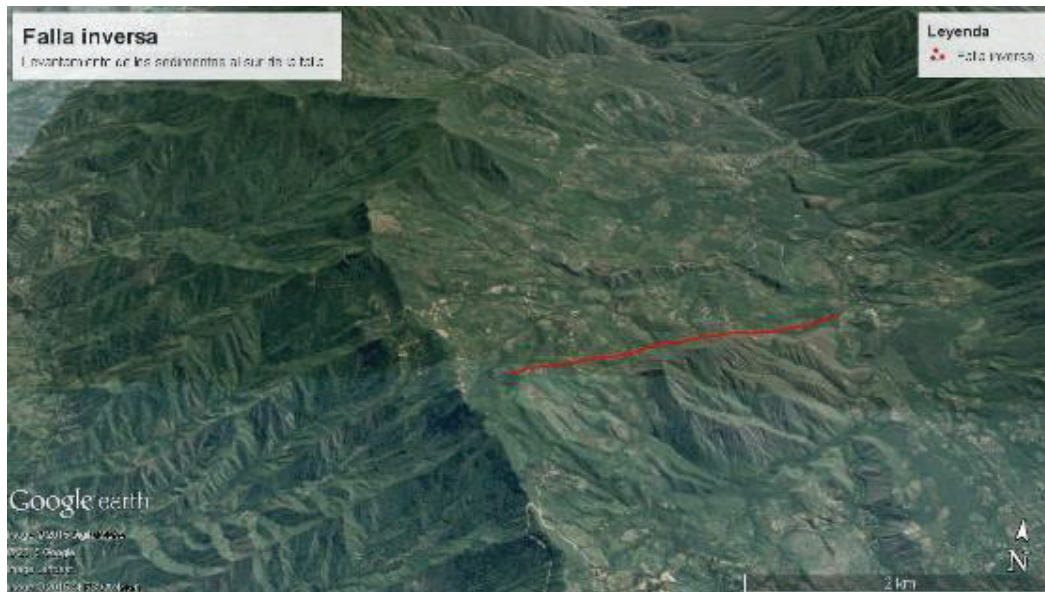


Figura 4.7: Falla inversa en el sector NW de Nambacola que levanta los sedimentos de la Fm. Gonzanamá ubicados al sur de la falla (Google, Images CNES / Astrium, 2015).

4.4. BLOQUES TECTÓNICOS

El área de estudio centro-norte de área de estudio está conformada por tres bloques morfoestructurales principales y basculados hacia el E, el Bloque Occidental, Central y Oriental. Dos bloques más, el Sur y el Suroeste ubicados al lado W del poblado de Gonzanamá, se encuentran levantados; de los cuales se proyectan hacia el norte los Bloques Occidental y Central (Figura 4.8).

El Bloque Occidental se lo limitó por la falla inferida al lado W de la parroquia Changaimina, sector de Pusanuma, que provoca una leve inclinación de las capas encontradas en el sector y al W el posible límite sería la falla Ningomine.

Al oriente del bloque antes mencionado, se encuentra el Bloque Central que se encuentra segmentado en bloques más pequeños en el sector del poblado La Cruz de Yazapa; el bloque se extiende hasta la falla denominada como Potrerillos sector del intrusivo Palo Blanco. La complejidad de la zona dificultó la diferenciación de

los límites del bloque basculado, los cuales son al E la falla Potrerillos y al W la falla inferida en el sector de Pusanuma (Figura 4.8).

El tercer bloque que se encontraría basculado hacia el E, es el Bloque Oriental, ubicado en el sector de la parroquia de Nambacola. Se lo delimitó al NE por una falla que pasa al N de Nambacola, antes descrita, siendo la parte posterior del bloque; al W se lo limitó por la falla Potrerillos, teniendo el frente de bloque en este sector. El sector de Gonzanamá también se lo atribuyó a este bloque (Figura 4.8).

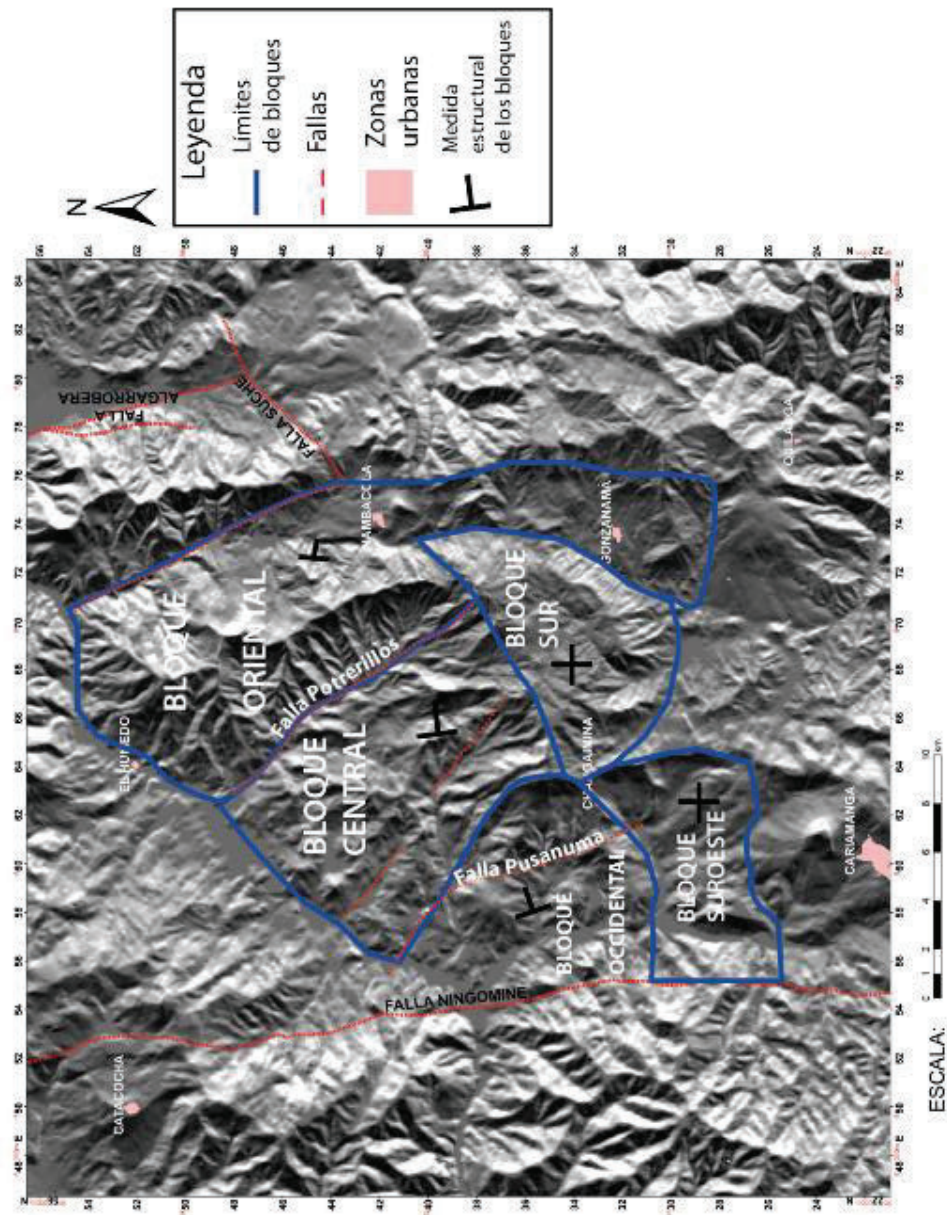


Figura 4.8: Bloques tectónicos determinados en el área de estudio. El Bloque Sur se encuentra levantado, y del cual se desprenden N los Bloques Occidental y Central.

El Bloque Sur se lo observa claramente en fotografías aéreas como un bloque levantado, que al norte se separaran los bloques basculados Occidental y Central. Los posibles límites de la zona son al E la falla cerca al cantón Gonzanamá, al N del bloque estos no son claramente visibles y se lo limitó en los lugares en donde comienzan las fallas que provocan la basculación de los bloque Occidental y Central; al oeste este se lo diferenció del Bloque Suroeste en el Sector de Changaimina (Figura 4.8).

El Bloque Suroeste se encuentra ubicado al SW del poblado de Changaimina y se lo separa del bloque Sur, por la existencia de una falla en el sector de Changaimina, donde se observa un escarpe que provoca altos topográficos en el Bloque Sur. El bloque no presenta capas basculadas, que por el contrario se las observa subhorizontales (Figura 4.8).

4.4.1. ESTRUCTURACIÓN DE LOS BLOQUES

Los tres bloques basculados que se encuentran al N del Bloque Sur, son interpretados como un sistema de bloques dominó, debido a fallas de despegue basal, de tipo “detachment”. Evidencia de ello, es la repetición en los tres bloques de los volcánicos oligocenos (Miembro Volcano-sedimentos y Miembro Brechas Superiores) y de la Fm. Gonzanamá, que se tomaron como litologías guías. Estos se encuentran coronados por rocas estratificadas lo que facilitó su estudio (Fotografía 4.3 y Fotografía 4.4; Anexo 12 y Anexo 13).

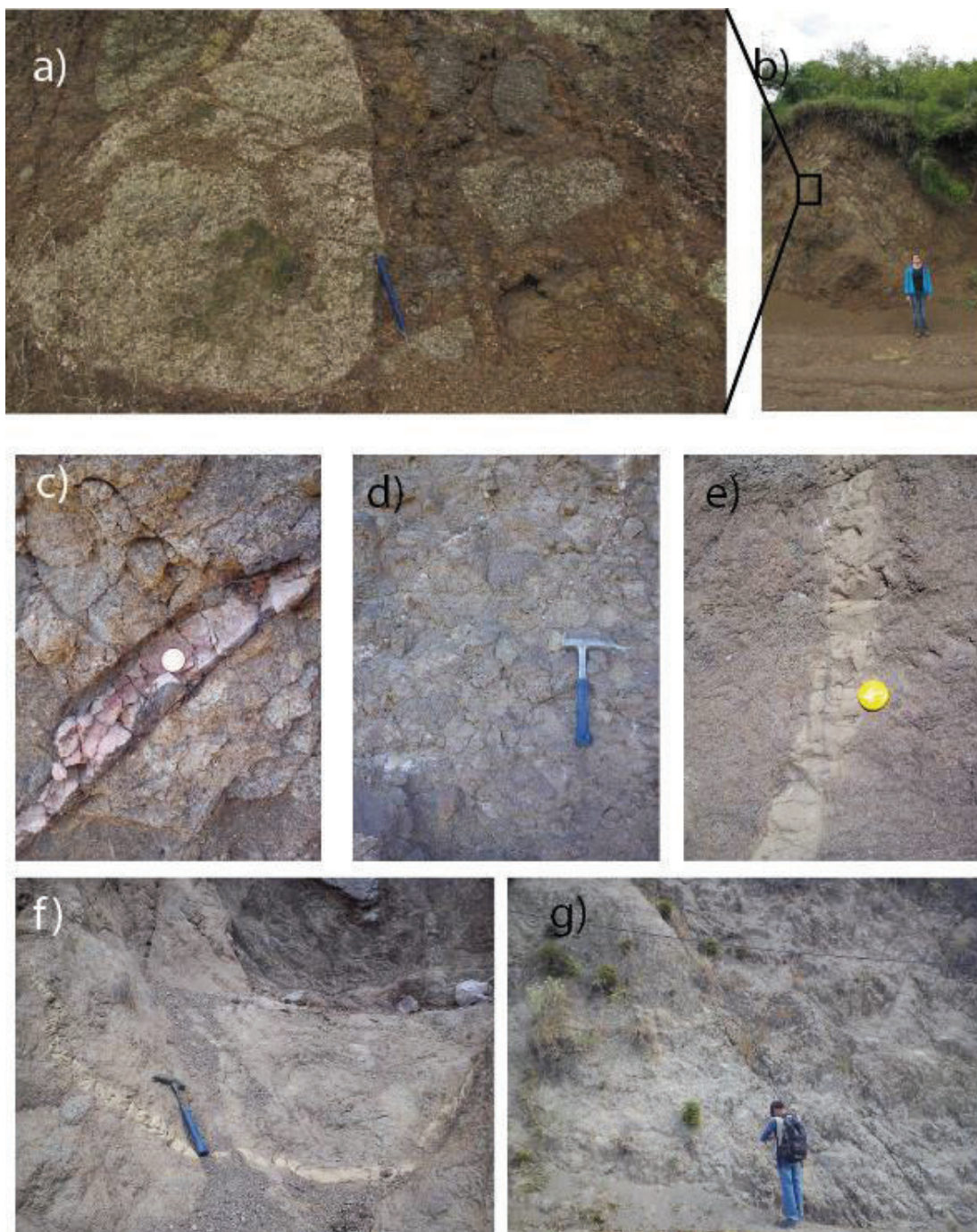
4.4.1.1. Bloque Oriental

El Bloque Oriental, al igual que los otros bloques, comienza a la base con las andesitas de la Unidad Changaimina y finaliza hacia el tope con tobas rosáceas, poco potentes y corta en extensión lateral que podrían estar correlacionadas con el Miembro Tobas. Sobre estas últimas, se observaron las brechas volcánicas del Miembro Brechas Superiores, las cuales presentan características similares a aquellas del Bloque Central, como por ejemplo vetas rellenas de sedimentos como limos amarillentos y arcillas de color café. El plutón Palo Blanco intruye parte de la secuencia y separa la litología del Bloque Oriental del Bloque Central. Una toba alterada de color blanco descrita en el Miembro Volcano-clástico fue encontrada en la parte E del bloque y se la correlacionó con las tobas blancas encontradas en el Bloque Central. Sobre estos volcánicos, se encuentra los sedimentos de la Fm.

Gonzanamá que se encuentran basculados hacia el E; se los correlacionó con los sedimentos encontrados en el Bloque Central (Ver Figura 4.9). Los sedimentos se encuentran sobrepuestos por volcánicos más jóvenes compuestos de brechas y flujo piroclásticos atribuidos al Mioceno medio. La secuencia litoestratigráfica del Bloque Oriental se correlacionó con la secuencia del Bloque Central. Los datos estructurales, tomados en azimut de buzamiento, en el bloque fueron ploteados en proyección estereográfica con el objetivo de encontrar el plano promedio de inclinación de todo el bloque. El resultado indicó un plano con un azimut de buzamiento de $100^{\circ}/35^{\circ}$ (Figura 4.10 y Figura 4.15).



Fotografía 4.3: Comparación de la Formación Gonzanamá Miembro Superior en el Bloque Central y Oriental: a) Estratos del Miembro Gonzanamá Superior en el Punto UTM: 669632 / 9540106 en el Bloque Central; b) Estratos deformados de la Formación Gonzanamá con metamorfismo de contacto debido al contacto con un pórfido en el punto UTM: 672833 / 9542376, Boque Oriental; c) y d) Estratos de la Formación Gonzanamá Miembro Superior, UTM: 672718 / 9548337, Bloque Oriental, similares a los encontrados en el Bloque Central (Foto a).



Fotografía 4.4: Miembro Brechas Superiores (continuidad lateral de la Fm. Loma Blanca) a lo largo del área estudiada: a) y b) afloramiento del Miembro Brechas Superiores en el Bloque Central UTM: 0663824 / 9538778; c) Brechas volcánicas en el Bloque Central en 0663872 / 9540224, se observa vetillas alteradas a arcillas d) Brechas volcánicas encontradas en el UTM: 0657522 / 9537613 en el Bloque Occidental; e) y f) Brechas volcánicas interpretadas como el Miembro Brechas Superiores en el Bloque Oriental (UTM: 0672929 / 9546095), similares las de la fotografías a, b y c; g) Afloramiento de brechas volcánicas en UTM: 0663902 / 9538628, Bloque Central.

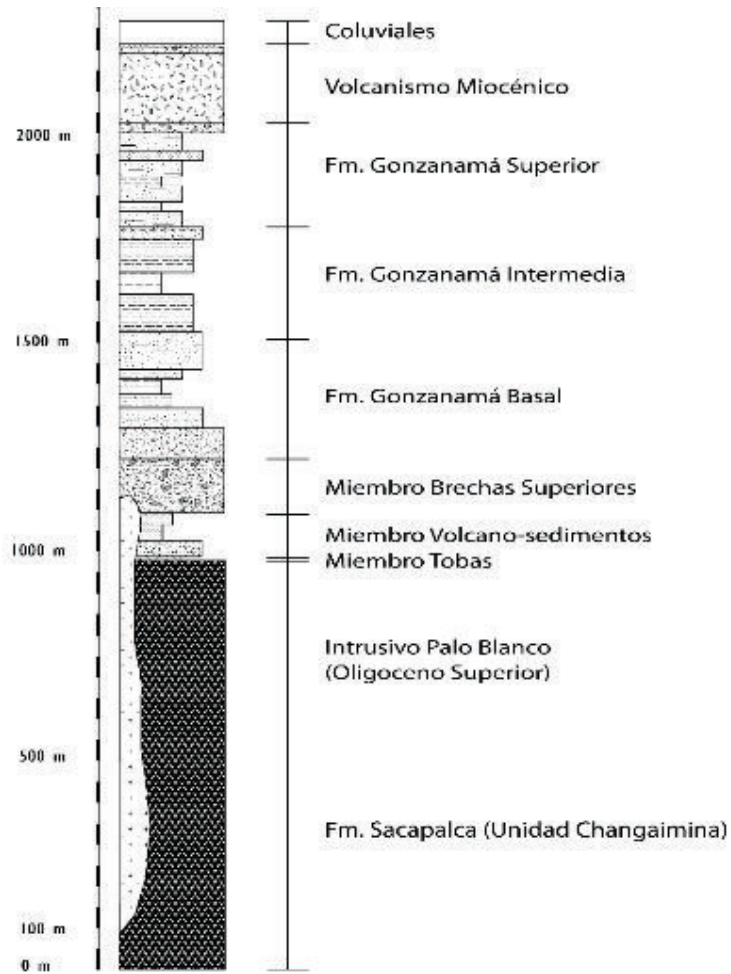


Figura 4.9: Columna litológica sintética del Bloque Oriental.

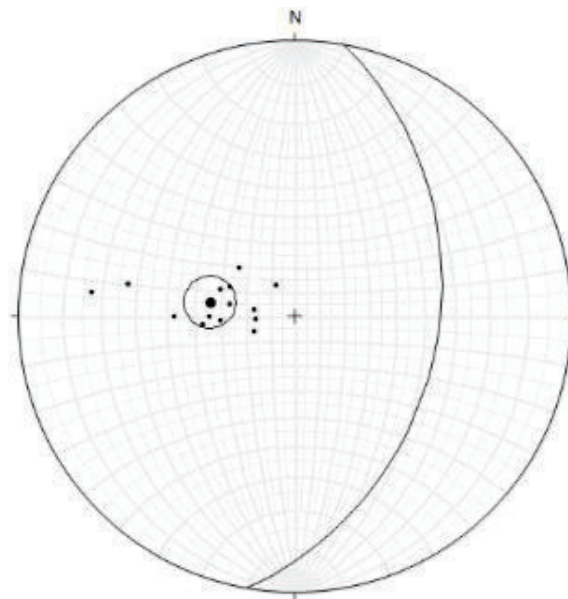


Figura 4.10: Proyección estereográfica de los polos de las medidas estructurales del Bloque Oriental, y el plano de basculamiento promedio del bloque con 100°/35° en azimuth de buzamiento.

4.4.1.2. Bloque Central

El Bloque Central empieza también a la base con las andesitas del Miembro Sacapalca Basal y sobre estas, se encuentran las tobas del Miembro Tobas; hacia el tope se determinó la existencia de volcano-sedimentos atribuidos al Miembro Volcano-sedimentos a los cuales se los correlacionó con los encontrados en el Bloque Occidental y sobre estos se encuentran brechas volcánicas (Miembro Brechas Superiores) como las del bloque Oriental que contienen vetas con limos y arcillas amarillas a violetas. Una secuencia volcano-clástica fue identificada en este bloque tectónico que es parte de la secuencia Miembro Volcano-clástico, que se lo observó al E de la zona de estudio como por ejemplo, las tobas blancas alteradas. Sobre las anteriores, se encontraron estratos de areniscas, limos y lutitas de la Fm. Gonzanamá que se encontraron basculados hacia el NE y E, en el sector de Potrerillos (Ver Figura 4.12). Los volcánicos Miocénicos fueron encontrados sobre los sedimentos en el mismo sector y también hacia el NW de Sacapalca, sobre los volcánicos de la Fm. Loma Blanca de forma subhorizontal.

Esto indicaría que el bloque fue basculado hasta la depositación de la Fm. Gonzanamá por efecto de la falla existente en el sector de Potrerillos, y que posteriormente la falla se desactivó en el tiempo de la depositación de los volcánicos Miocénicos.

El basculamiento del bloque fue medido por medio del índice geomorfológico Factor de Asimetría (FA), (Gutiérrez, 2008), que sirve para calcular la asimetría del drenaje del lado derecho de una cuenca, y se define con la fórmula:

$$FA_d = 100 \left(\frac{A_d}{A_t} \right);$$

Siendo A_d el área de la cuenca a la derecha del tronco principal, mirando aguas abajo (en este caso el río de la Quebrada Potrerillo) y A_t el área total de la cuenca de drenaje. Para el lado izquierdo se tendrá:

$$FA_i = 100 - FA_d;$$

Cuanto más se aproxime a 50% menor es la influencia tectónica, mientras que más se aleje de 50%, mayor tendrá lugar una influencia deformacional por lo que se tendrá mayor influencia de basculamiento (Gutiérrez, 2008; Rincón & Vegas, 1999).

Así, el Factor de asimetría (FA) calculado para el área que comprende entre Potrerillos y Sacapalca, hasta el norte en el sector de La Vega, dio como resultado 32% para el margen izquierdo y un 68% para el margen derecho lo que indicaría una actividad de basculamiento para la zona indicada.

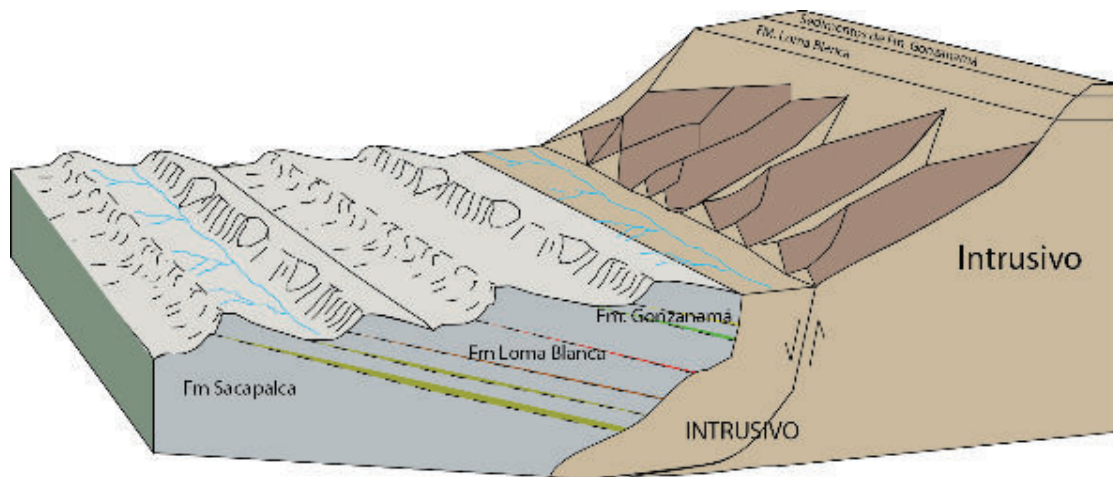


Figura 4.11: Esquema del Bloque Central basculado en el sector de la falla Potrerillos, las capas se encuentran erosionadas hacia el W, por lo que al observar se tiene la columna estratigráfica desde lo más antiguo a lo más joven de W a E. En la parte superior del intrusivo en reportó volcánicos atribuidos a la Fm. Loma Blanca y sedimentos detríticos de la Fm. Gonzanamá.

Este bloque presenta hacia el W, en el sector de Sacapalca una falla normal que separa un bloque secundario compuesto por las andesitas de la Fm. Sacapalca y la secuencia de la Fm. Loma Blanca. El bloque se extiende desde el poblado La Cruz de Yazapa al S, al N se limita por la secuencia levantada del bloque principal; al E está limitada por la falla encontrada al oeste de Sacapalca y al W está limitada por la falla inferida en Pusanuma (Fotografía 4.5 y Fotografía 4.6). Este bloque conforma junto con el principal (Bloque Central) como un sistema de bloques dominó, con fallas de despegue. La dirección del azimut de buzamiento de este último fue en promedio de $90^{\circ}/40^{\circ}$.

Los datos estructurales ploteados en proyección estereográfica dieron como resultado un plano promedio de $87^{\circ}/30^{\circ}$ (Figura 4.13 y Figura 4.15).



Fotografía 4.5: Foto panorámica desde el punto UTM: 0664449 / 9535184 hacia N48°. Vista del Bloque Central. Se observa la falla al W de Sacapalca que separa un bloque más pequeño que se encuentra en dominó junto con el Bloque Central. Al fondo de la fotografía se observa la falla Potrerillos que separa el Bloque Central del Occidental, que se parte superior se observa sedimentos de la Fm. Gonzanamá, los mismos que se encontraron en la parte occidental del Cerro Surapo, lo que indicaría una repetición de la Formación en el bloque siguiente pero que se encuentra basculado en forma de un sistema en dominó.



Fotografía 4.6: Fotografía panorámica hacia N200°, sector La Cruz de Yazapa, al W de Sacapalca, se observa bloques con capas de volcano-sedimentos atribuidos a la Formación Loma Blanca, en línea roja entrecortada la falla que divide el Bloque Central, en bloques más pequeños en un sistema en dominó, las capas se encuentran con azimut de buzamiento de 90°/15° y 100°/20°.

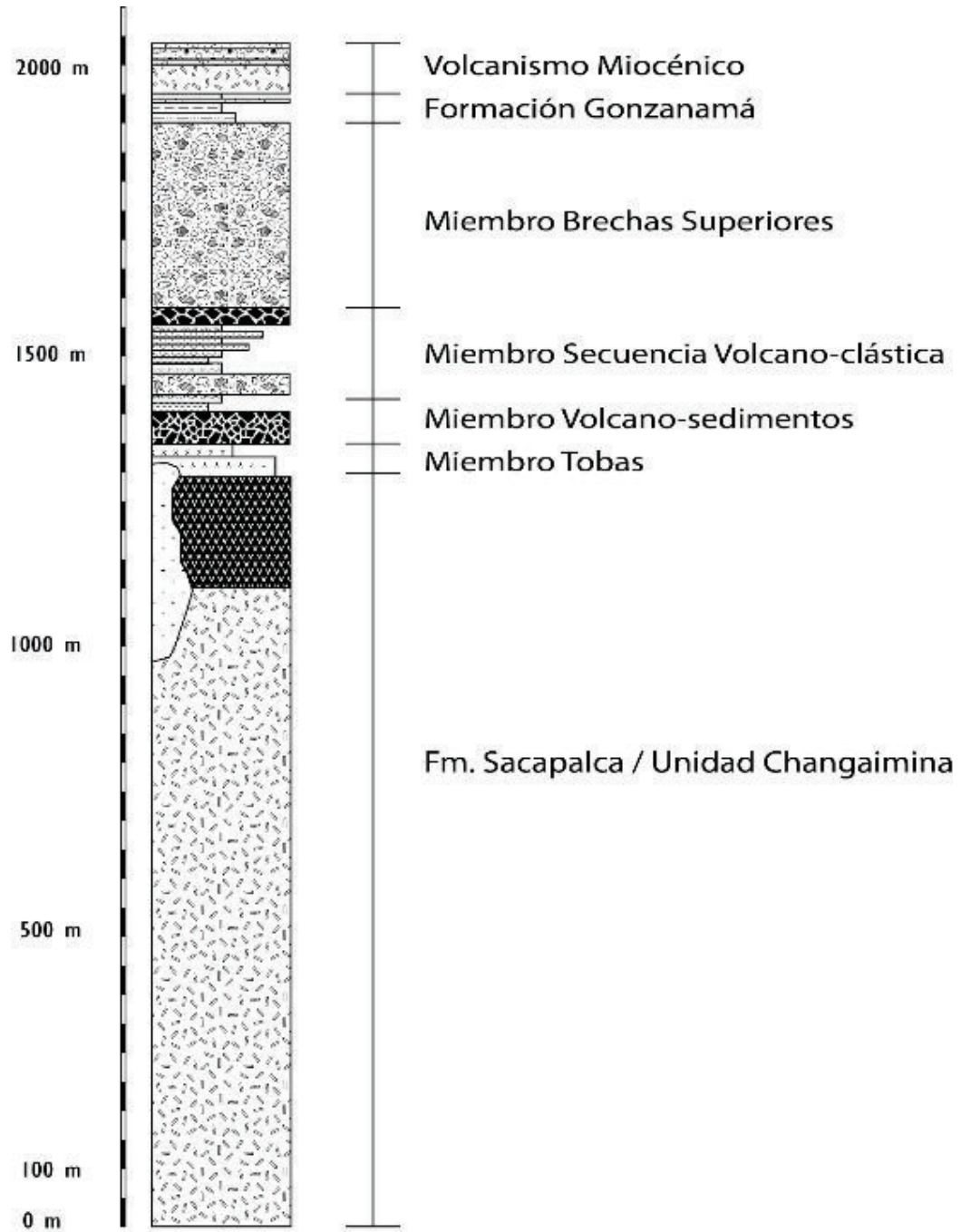


Figura 4.12: Columna litológica sintética del Bloque Central.

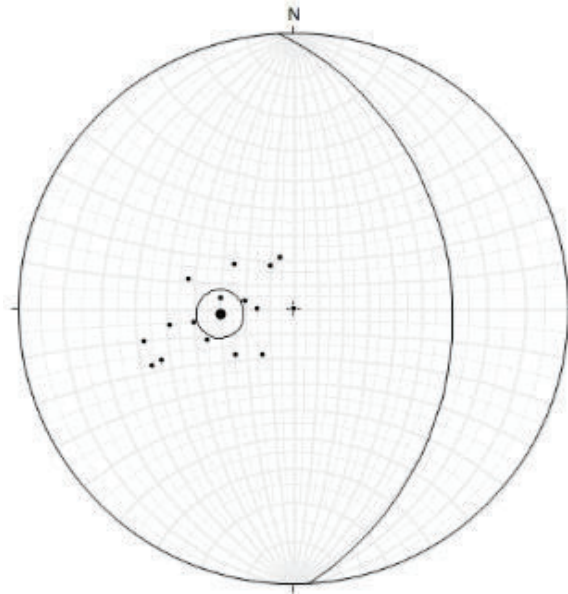


Figura 4.13: Proyección estereográfica de los polos de las medidas estructurales del Bloque Central, y el plano de basculamiento promedio del bloque con $87^{\circ}/30^{\circ}$ en azimuth de buzamiento.

4.4.1.3. Bloque Occidental

El bloque Occidental se lo definió como parte del sistema de fallas detachment, pero menos desarrollado. En éste se encuentran también las andesitas de la Fm. Sacapalca (Unidad Changaimina) y a estas se sobreponen en discordancia los volcansedimentos de la Fm. Loma Blanca. Se observó que estos últimos se encuentran basculados hacia el E con inclinaciones menores a la de los bloques anteriores (Ver Figura 4.16). La secuencia litoestratigráfica no se encuentra completa por lo que es posible que la Fm. Gonzanamá no se depositó en el lado E del área estudiada, o fue erosionada. Los volcansedimentos encontrados se los correlacionaron con los hallados en el Bloque Central, como por ejemplo, los volcansedimentos cerca de Pusanuma son similares a los encontrados cerca del poblado de Sacapalca. Cabe mencionar, que no toda la zona comprendida como el Bloque Occidental posee capas inclinadas y que las medidas tomadas corresponden en su mayoría al lado E del bloque. Los volcansedimentos ubicados en varios puntos de esta zona se encuentran subhorizontales, a una altura de 1300 ± 10 m.s.n.m. con poca variación en vertical por lo que se tiene capas no afectadas por un evento tectónico. Parte de este bloque se encuentra cubierto por coluviales que provienen de las elevaciones del Bloque Sur en el sector de Changaimina y cubren a la secuencia de Loma Blanca. Sin embargo, los datos tomados en campo en algunos puntos en donde se observó capas inclinadas se

graficaron en proyección estereográfica, como resultado, un plano promedio de $81^{\circ}/13^{\circ}$ (Figura 4.14), lo que indica un buzamiento de las capas con baja inclinación hacia el E. (Figura 4.15)

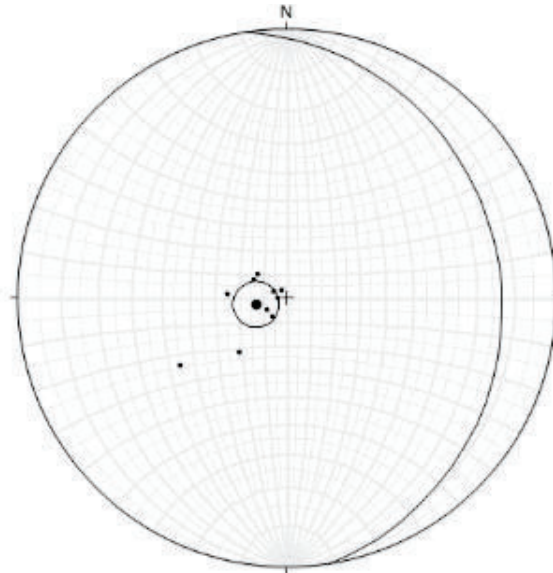


Figura 4.14: Proyección estereográfica de los polos de las medidas estructurales del Bloque Occidental, y el plano de basculamiento promedio del bloque con $81^{\circ}/13^{\circ}$ en azimuth de buzamiento.

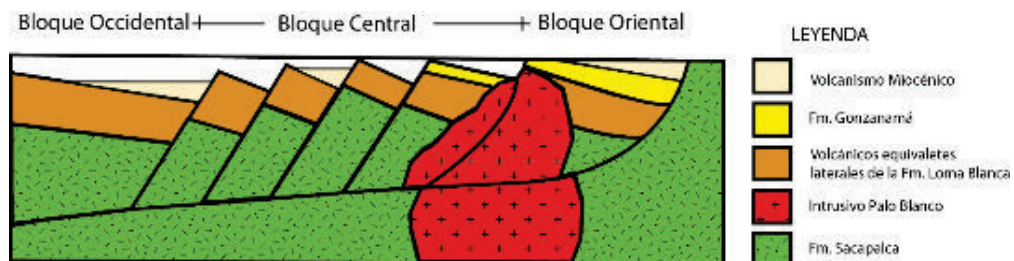


Figura 4.15: Corte esquemático W-E en el centro de los bloques basculados. Falla lítrica (Bloque Oriental) y en dominó (Bloque Central), con una combinación de una falla plana (Bloque Occidental). La Formación Quinara no se encuentra basculada por lo que fue depositada posterior a la tectónica extensiva o fue sin-extensional.

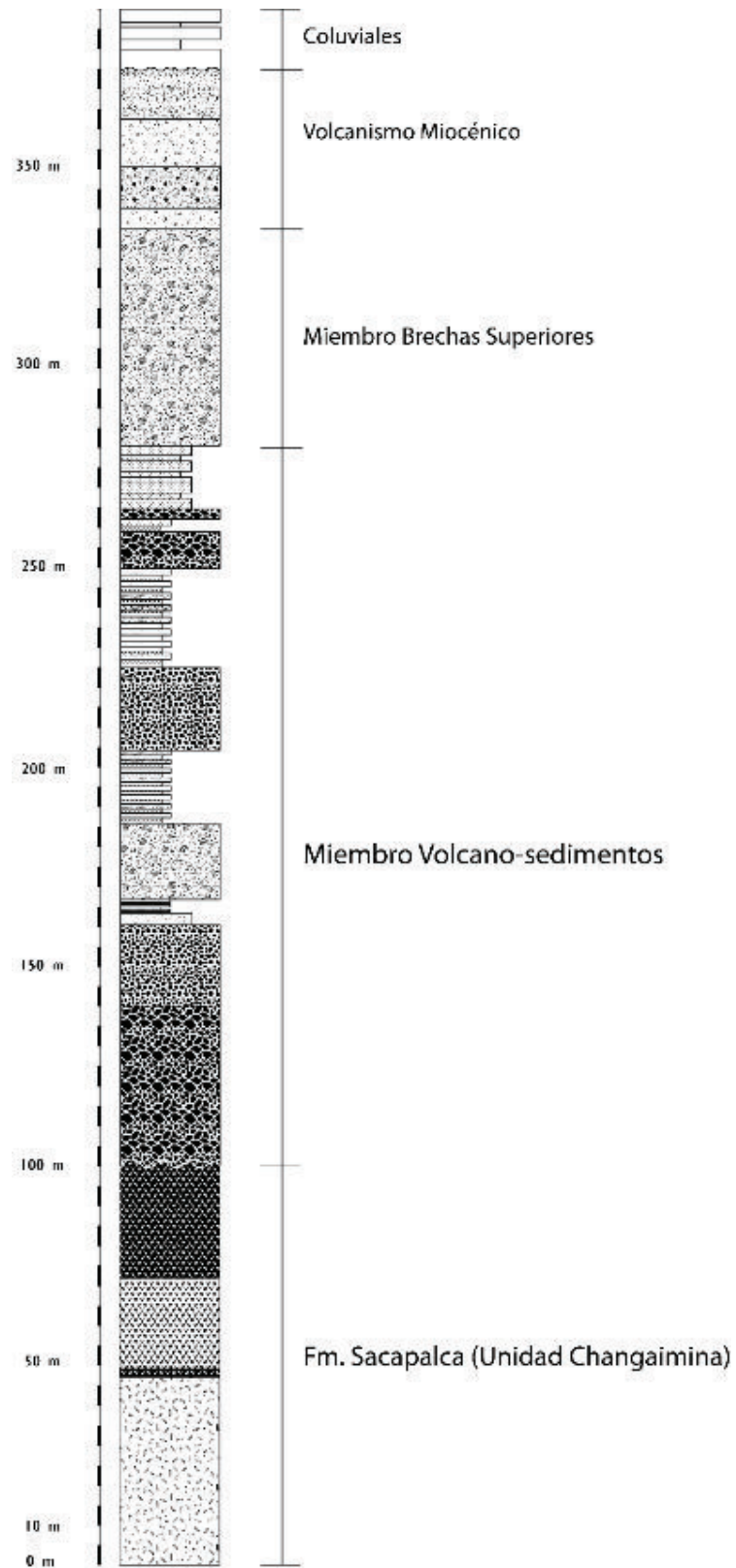


Figura 4.16: Columna litológica sintética del Bloque Occidental y Bloque Suroeste.

4.4.1.4. Bloque Sur y Suroeste

El Bloque Sur se encuentra conformado por la Unidad Changaimina a la base, y sobre esta, se observó las brechas volcánicas altamente alteradas, que se los consideró del Miembro Brechas Superiores (Ver Figura 4.17). El levantamiento que se observa con respecto al Bloque Oriental, en el sector del poblado de Gonzanamá, es evidencia de un evento compresivo en el área. Luego, un evento extensional posterior provocó que los tres bloques antes mencionados tengan un desprendimiento del Bloque Sur y tengan una estructura de bloques en dominó.

El Bloque Suroeste posee una secuencia litológica similar al Bloque Occidental (Ver Figura 4.16), pero sin perturbación tectónica. Las capas se encuentran subhorizontales y la ocurrencia de volcánicos Miocénicos es observable al tope de la secuencia, como por ejemplo paleo-lahares. En este sector se observó una tectónica extensiva con direcciones de pequeñas fallas normales con dirección E-W, que provocan una deformación local de los volcano-sedimentos denominados equivalentes laterales de la Formación Loma Blanca.

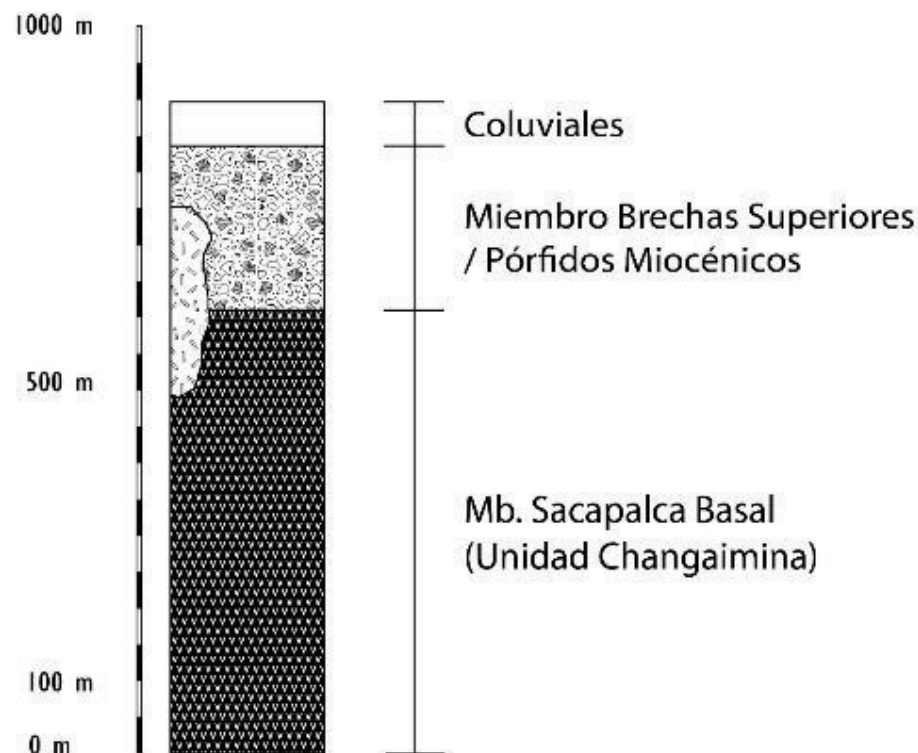


Figura 4.17: Columna litológica sintética del Bloque Sur. Entre el Mb. Brechas Superiores se observó pórfidos miocénicos.

4.4.2. BASCULAMIENTO DE LOS BLOQUES

Los Bloques Oriental, Central y Occidental presentan, como se observa en los diagramas estereográficos, una cierta dirección preferencial hacia el E.

Esto confirmaría las observaciones en campo, que los bloques actuaron en un sistema de fallas tipo dominó donde el despegue se produce a partir de una falla lístrica principal que provocó un basculamiento hacia el E con una rotación de los bloques en igual dirección. En el Miembro Sacapalca Basal, el cual consiste en su mayoría de lavas masivas, no existen referencias estratigráficas preservadas para determinar su disposición espacial inicial. Para los volcano-sedimentos de la Fm. Loma Blanca se observa una inclinación similar a la de los sedimentos de la Fm. Gonzanamá, por lo que se interpretaría como fallas post-depositacionales que afectaron a las formaciones antes mencionadas. Debido a una posible inversión tectónica del sistema detachment, no influyeron durante la depositación de los Volcánicos Miocénicos, los cuales se observan en el área como capas de origen piroclástico, levemente inclinadas hacia el E o subhorizontales.

La relación entre los planos promediados de los tres Bloques principales el Occidental, Central, y Oriental (Figura 4.18), se observa un diferente ángulo de inclinación pero una misma dirección preferencial, lo que indicaría que las fallas normales actuaron en la misma dirección, posiblemente con diferentes tasas de velocidad en sus movimientos.

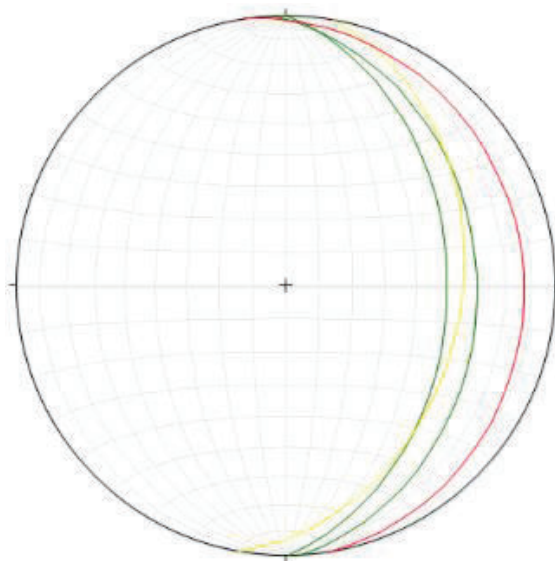


Figura 4.18: Relación entre los planos promediados de los tres Bloques principales el Occidental (rojo), Central (verde), y Oriental (amarillo).

CAPÍTULO 5

5. MODELO DE EVOLUCIÓN Y DISCUSIÓN

En este capítulo se discutirá los datos obtenidos y descritos en los capítulos tres y cuatro, así como los resultados estructurales en los bloques descritos anteriormente.

5.1. SÍNTESIS LITOLÓGICA DEL ÁREA ESTUDIADA

La estratigrafía en toda el área de estudio comienza con el Miembro Sacapalca Basal, que es considerada un arco volcánico, que actuó a lo largo del sur de Ecuador y al norte de Perú en el tiempo del Cretácico superior al Paleoceno inferior. Los afloramientos observados en la zona estudiada indicarían un volcanismo de composición entre básica a intermedia con predominancia de esta última. El ambiente observado indicó facies volcánicas extrusivas e hipoabisales que cubrieron la zona a partir de un ventó cercano que se extendió a lo largo del área en dirección N-S. Se observó que también una serie de eventos piroclásticos de composición andesítico a riolítico que tuvo lugar en la zona centro del área estudiada con una fuente cercana.

Luego de un período de erosión y gap tectónico regional importante, se produce al final del Eoceno superior un período de actividad volcánica y tectónica. Se deposita la parte basal el equivalente lateral de la Fm. Loma Blanca correspondiente al Miembro Volcano-sedimentario, que consta de brechas volcánicas retrabajadas seguidas por volcano-sedimentos compuestos de rocas pelíticas estratificadas que indican un ambiente lacustre o posible ambiente marino profundo que cubrió el área de estudio y que se interrumpió con la actividad volcánica contemporánea. La potencia de estos estratos indicaría un tiempo considerable en la sedimentación de las pelitas. En el Oligoceno, se tiene una continuación de los volcánicos con los Miembros Volcano-clasto, donde se produjo la depositación de brechas volcánicas que posiblemente fueron originadas por erupciones explosivas en ventos cercanos al área. La depositación posterior de rocas piroclásticas indicaría una alta actividad volcánica que cubrió el área de la cuenca Catamayo-Gonzanamá y Malacatos-Vilcabamba. La actividad volcánica fue contemporánea de una actividad tectónica

compresiva. La formación de brechas volcánicas (Miembro Brechas Superiores), al final de la secuencia, indicarían otro evento volcánico explosivo que cubrió una gran extensión, estas se encuentran con una matriz bien consolidada que indicaría brechas soldadas a una alta temperatura.

Luego de un período de quiescencia tectónica, en el Mioceno se originó un episodio extensivo en el Sur del Ecuador, la zona comprendida como cuencas costeras que posteriormente evolucionaron a cuencas intramontañosas. La Fm. Gonzanamá se depositó en el E del área estudiada y comprende conglomerados que indican apertura de la cuenca, estratos y laminaciones de areniscas, limos y lutitas con unidades calcáreas; las lutitas negras indicarían una alta cantidad de materia orgánica. Se interpretan como un ambiente de formación lacustre-palustre, con deformación sin-sedimentaria debido a actividad sísmica contemporánea (Corrochano, 2014). La edad de la Formación sedimentaria Gonzanamá en este proyecto es propuesta a finales del Mioceno inferior debido a su grado de litificación, y debido también a que la Formación presenta un ambiente lacustre (Corrochano, 2014), posiblemente previo al ambiente costero propuesto en el Mioceno Medio por Hungerbühler, 1997. Evidencias de metamorfismo de contacto dentro de la Formación provocado por pórfidos posteriores a la depositación actuaron en un volcanismo más joven que se le atribuye al Mioceno Medio (Hungerbühler, 1997). Sin embargo, junto con la Fm. Gonzanamá existió un período de actividad volcánica que vino acompañada de flujos piroclásticos que se encuentran dentro de la secuencia de la Formación sedimentaria, estos se los pueden encontrar entre los sedimentos o sobre estos de forma concordante.

El Volcanismo Miocénico encontrado en el área, podría ser una continuación de la denominada Formación Quinara que es descrita como brechas volcánicas poco consolidadas con rocas dacíticas en una matriz arenosa amarillenta, que fueron producto de un evento volcánico explosivo a lo largo del área de Malacatos-Vilcabamba. Paleo-lahares, que de acuerdo a su grado de litificación y correlación estratigráfica, pueden ser considerados equivalentes del Miembro El Tambo de la Fm Quinara (PhD. P. Reyes, comunicación personal, 15 de septiembre del 2015); estos se encuentran depositados sobre las brechas volcánicas equivalentes de la Fm. Loma Blanca. En el Bloque Oriental se encuentran flujos piroclásticos ácidos

sobre la Fm. Gonzanamá que se encuentra en discordancia erosiva. La Formación volcánica se encuentra poco consolidada, y debido a que el último evento volcánico registrado en la región es de comienzos del Mioceno Medio (Hungerbühler et al., 2002) se determinó que corresponde esta edad (Tabla 2.1).

5.1.1. BLOQUE OCCIDENTAL Y SUROESTE

El Bloque Occidental y el Bloque Suroeste, que por conveniencia tectónica se los dividió en dos bloques, están compuestos de una litología similar. Inician a la base con el Miembro Sacapalca Basal (Unidad Changaimina) que se encuentra sobreyaciendo posiblemente a la Unidad Bramaderos (INIGEMM, 2012). Las andesitas del Miembro Sacapalca Basal se encuentran como flujos de lava que se encuentran formando las partes basales de las elevaciones encontradas en la zona. En algunos afloramientos se las observó lajadas y deformadas, producto de erupciones efusivas. Se observó también andesitas correspondientes a pórfidos emplazados en el Bloque Occidental, consecuencia de eventos magmáticos ocurridos a lo largo del área de estudio.

Sobre las andesitas se encontraron, limitados por una superficie erosiva, volcánicos del Miembro Volcano-sedimentario compuestos a la base de brechas volcánicas y conglomerados que indican un ambiente sedimentario epiclástico volcanogénico y evidencian la apertura de una cuenca fluvial en el área.

Sobre las anteriores, ocurrió la depositación del Miembro Volcano-sedimentos compuesto de sedimentos pelíticos que indican un ambiente de cuenca lacustre. Estos volcano-sedimentos se encuentran a lo largo del Bloque Occidental y no se los observó de forma clara en el área del Bloque Suroeste; están compuestos de red beds y limolitas amarillentas intercaladas con minerales y líticos volcánicos. Hacia el tope de los volcano sedimentos, aparecen brechas volcánicas retrabajadas que posiblemente indicarían una clausura de la cuenca lacustre.

En el bloque Suroeste, sobre los volcano-sedimentos se encontró el Miembro Brechas Superiores con materiales muy consolidados y matriz soldada a alta temperatura. La litología del bloque continúa a la parte superior con volcánicos poco consolidados que se encuentran sobre las brechas antes descritas. Compuestas de rocas volcano-clásticas de composición dacítica en su mayoría, brechas

volcánicas con una matriz poco consolidada, y cuyo origen fue un evento volcánico en el Mioceno Medio que depositó brechas en el área de Gonzanamá y que se extiende hacia el norte, en el sector de Catacocha. Flujos piroclásticos y de caída también son observados en forma de capas subhorizontales sobre todo en el Bloque Suroeste, el paso con brechas volcánicas (equivalentes de la Fm. Loma Blanca) es lateral, rellenando paleo-valles (Figura 4.16).

5.1.2. BLOQUE CENTRAL

El Bloque Central continúa con la secuencia litológica del Bloque Occidental. Se observan andesitas verdosas del Mb. Sacapalca Basal, interpretadas como flujos lávicos que se ubican en las partes basales similar al Bloque Occidental. Sobre las andesitas se identificó el Miembro Tobas, que se encuentran en gran extensión en este bloque. Se reconoció eventos piroclásticos que conforman tobas de tamaño lapilli y cristalinas, que se encuentran tobas cloritizadas - epidotizadas que indican un evento piroclástico, con facies epiclástica debido a retrabajamiento en las tobas. Sobre estas, se encuentran tobas que pasan lateralmente de ser vítreas-líticas a vítreas-cristalinas, de color rosáceo a rojizo. De acuerdo a las características descritas, se interpretan como depósitos de tipo ignimbrítico, que poseen una matriz bandeada, y estructuras de flujo laminar.

Sobre las últimas, se ubica el Miembro Volcano-sedimentos, lo que indicaría que la cuenca lacustre interpretada en el Bloque Occidental se extendió hasta el Bloque Central. Sin embargo, con una potencia de los sedimentos más pequeña.

Este bloque tiene la particularidad de contener el Miembro Volcano-clástico, formada por eventos de flujos y caídas piroclásticas en el área. Se observó una secuencia de brechas y tobas en ocasiones retrabajadas por un agente fluvial; indican una intensa actividad volcánica que se dio lugar en el Oligoceno principalmente.

Hacia la parte oriental del bloque, la columna estratigráfica continúa con la secuencia sedimentaria de la Fm. Gonzanamá. Los afloramientos observados indican un límite entre un ambiente lacustre y un ambiente fluvial de baja energía, compuesta por limos y areniscas, en menor cantidad lutitas estratificadas. Oolitos

fueron encontrados entre los limos lo que indicaría ser la parte superior de la Formación como lo evidenció Hungerbühler et al. (2002).

Los volcánicos del Mioceno atribuidos aquí como equivalentes de la Formación Quinara se encuentran extendidos a lo largo del bloque en forma a brechas y flujos piroclásticos similares a los encontrados en el Bloque Occidental y Suroeste, con similar interpretación, en la cual se rellenaron posibles paleo-valles (Figura 4.12). Esta última Formación se debería encontrar sobre los sedimentos de Gonzanamá; Aquí, la posición de los volcánicos más jóvenes sobre el Miembro Volcano-sedimentos se interpretó como un levantamiento del bloque en su parte occidental que fue erosionado debido al basculamiento al E, por efecto de la falla Potrerillos, observándose las capas más antiguas en el sector W del bloque, y teniendo al E las capas más jóvenes, como es el caso de la Fm. Gonzanamá, y que posteriormente se depositó en el lado occidental los volcánicos más jóvenes (Figura 4.11).

5.1.3. BLOQUE ORIENTAL

La secuencia estratigráfica en este bloque es similar a la encontrada en los otros dos bloques anteriores. La serie de Sacapalca comienza con las facies extrusivas de lavas andesíticas-basálticas. Sobre estas, se reconoció una pequeña capa rosácea de tobas líticas que posiblemente es el equivalente distal del Miembro Toba con resultados no concluyentes para incluirlos en el miembro.

Al tope, se encuentran las brechas volcánicas del Miembro Brechas Superiores proximales al vanto de extrusión. En el lado este del bloque, se encontró parte del Mb. Volcano-clástico compuesto aquí por tobas cristalinas blancas que se extienden desde los sectores de Sacapalca y el Cerro Surapo hasta el sector de Sasaco, indicativo de facies piroclásticas con componentes juveniles dentro de las tobas.

En el Oligoceno, tuvo lugar un importante evento magmático con la ocurrencia de un intrusivo de composición de granodiorita a granito, que se emplazó en el sector entre Nambacola y Potrerillos el cual indicaría eventos magmáticos significativos. La estratigrafía continúa con la depositación de conglomerados atribuidos a la Fm. Gonzanamá que se encuentran sobre el intrusivo y sobre los volcánicos de Loma

Blanca, y corresponderían a una apertura de cuenca con influencia fluvial de alta energía que estuvo presente en el lado E del área. Sobre estos conglomerados se encontraron sedimentos compuestos de limos, lutitas y areniscas estratificadas que serían evidencia de un ambiente fluvial de baja energía con transición a un ambiente lacustre.

Los volcánicos del Mioceno medio, compuestos de brechas de riolitas y dacitas, y tobas riolíticas con clastos de pómez, cubren a la Formación Gonzanamá. Están poco consolidadas. Pórfidos encontrados en el área también son atribuidos a la misma edad que se encuentran deformando a los sedimentos de Gonzanamá.

5.1.4. BLOQUE SUR

Este bloque posee dos litologías identificables la Unidad Changaimina a la base y el Miembro Brechas Superiores al tope perteneciente a los equivalentes laterales de la Fm. Loma Blanca. El contacto entre los dos miembros parecería ser transicional pero en otros lugares la superficie de contacto es discordante. La estratigrafía del bloque puede estar determinado por la tectónica que afectó al área, que provocó un levantamiento del bloque en el Oligoceno donde se depositaron las secuencias inferiores de los volcánicos equivalentes de la Fm. Loma Blanca y debido al levantamiento del bloque la depositación de estas secuencias fue impedida en el mismo, teniendo en las zonas circundantes la existencia de los volcano-sedimentos. Se tiene así, que para el Oligoceno Inferior la formación del Miembro Brechas Superiores mientras continuaba una tectónica compresiva (Figura 4.17).

De lo descrito anteriormente, el Miembro Sacapalca Basal se extiende a lo largo del área estudiada como andesitas basálticas pertenecientes a un arco volcánico, con flujos lávicos, producto de erupciones tipo hawaiano; pórfidos de andesitas que indican una actividad magmática importante sobre todo en el sector de Changaimina en donde se observa un pórfido de importante extensión. El Mb. Tobas encontrado en el sector de Sacairo, indica un ambiente piroclástico evidenciado por tobas verdosas e ignimbritas riolíticas con matriz orientada; en las tobas verdosas se observa facies epiclásticas que fueron originadas por ambientes fluviales o lacustres.

La secuencia volcánica considerada equivalente lateral de la Formación Loma Blanca, se interpretó como un arco volcánico continental. La composición, en comparación con el arco volcánico Sacapalca, es más bien intermedio-ácido. En general, presenta a la base un ambiente volcánico explosivo con brechas volcánicas retrabajadas se encuentran en medio de volcano-sedimentos de ambiente fluvial con transición a lacustre (Mb. Volcano-sedimentario). En su parte media (Mb. Volcano-clástico), varía nuevamente hacia el tope a depósitos clásticos, como brechas retrabajadas que indicarían la clausura de una pequeña cuenca contemporánea. En su parte superior, se encuentra la secuencia volcano-clástica (Mb. Brechas Superiores), de ambiente volcánico-piroclástico, con erupciones explosivas que dieron origen a tobas y brechas volcánicas, con zonas retrabajadas por agentes fluviales.

La Formación Gonzanamá, se compone a la base de conglomerados que muestran un ambiente fluvial de alta energía, el parte media y superior un ambiente fluvial-lacustre, alimentados por sistemas deltaicos pequeños (Corrochano, 2014). La secuencia superior fue rellenada por volcánicos contemporáneos que se aparecen entre los sedimentos y al tope de éstos.

Los volcánicos equivalentes a la Formación Quinara, se los interpretaron como un evento volcánico con actividad magmática evidenciada en pórfidos y diques que cortan a los volcánicos laterales de la Fm. Loma Blanca; se atribuyeron también flujos piroclásticos y lahares que indican una actividad volcánica en el área.

5.2. SÍNTESIS TECTÓNICA DEL ÁREA ESTUDIADA

Morfoestructuras identificadas, permitieron definir la tectónica del área estudiada. Se determinaron varias fallas importantes que actúan como un sistema de fallas en dominó con dirección NNW-SSE, y provocan el basculamiento hacia el E.

Se piensa que a inicios Oligoceno Inferior hubo un evento compresivo que levantó el Bloque Sur junto con los tres Bloques Occidental, Central y Oriental mediante la falla encontrada en el sector del poblado de Gonzanamá. La falla Algarrobera (La Toma) y la falla Ningomine (Bella María) posiblemente empezaron su actividad tectónica en esta época.

Un evento extensivo durante el Mioceno Inferior-Medio, empieza con la formación de las cuencas sedimentarias australes en su fase costera (Hungerbühler, 1997) y lacustre como es el caso de la Cuenca de Gonzanamá, la extensión provocó el colapso del bloque levantado en su parte septentrional, que dio lugar a formación de fallas normales en dirección N-S a NNW-SSE, la falla en el sector de Pusanuma-Changaimina, en el sector de Sacapalca, Potrerillos y al NE de Nambacola (Figura 5.5).

La cinemática de estas fallas fue la principal responsable del basculamiento de los bloques Occidental, Central, Oriental.

Luego del período extensivo, tuvo lugar una inversión tectónica con reactivación de fallas inversas como las fallas Ningomine y Algarrobera y se tiene el cierre de las cuencas intramontañosas en el Ecuador austral.

Las direcciones de buzamientos provocados por efecto del sistema de fallas en dominó de los Bloques Occidental, Central y Oriental fue en general hacia el E (Figura 4.18).

5.3. MODELO DE EVOLUCIÓN

El arco volcánico Sacapalca se formó a finales del Cretácico y comienzos del Paleoceno, sobre un basamento conformado al E por rocas metamórficas paleozoicas de la Unidad Chiguinda y la Unidad triásica Tres Lagunas; al W por rocas volcano-clásticas cretácicas de la unidad Bramaderos (Cenomaniense), descrita esta última por el INIGEMM (2012). La intensa actividad volcánica y magmática, quedó evidenciado en las andesitas porfiríticas y flujos piroclásticos (Mb. Sacapalca Basal). La actividad volcánica cesó durante el Eoceno inferior, teniendo ambientes acuáticos que retrabajaron los depósitos de flujos piroclásticos (Mb. Tobas) (Figura 5.1). El posible punto de erupción de las tobas fue al norte del área de estudio, debido a que el tamaño de grano de los lapillis y tobas es decreciente hacia el sur. En el sector de Changaimina, las lavas encontradas tienen una alta potencia, por lo que se podría interpretar como otro punto de emisión.

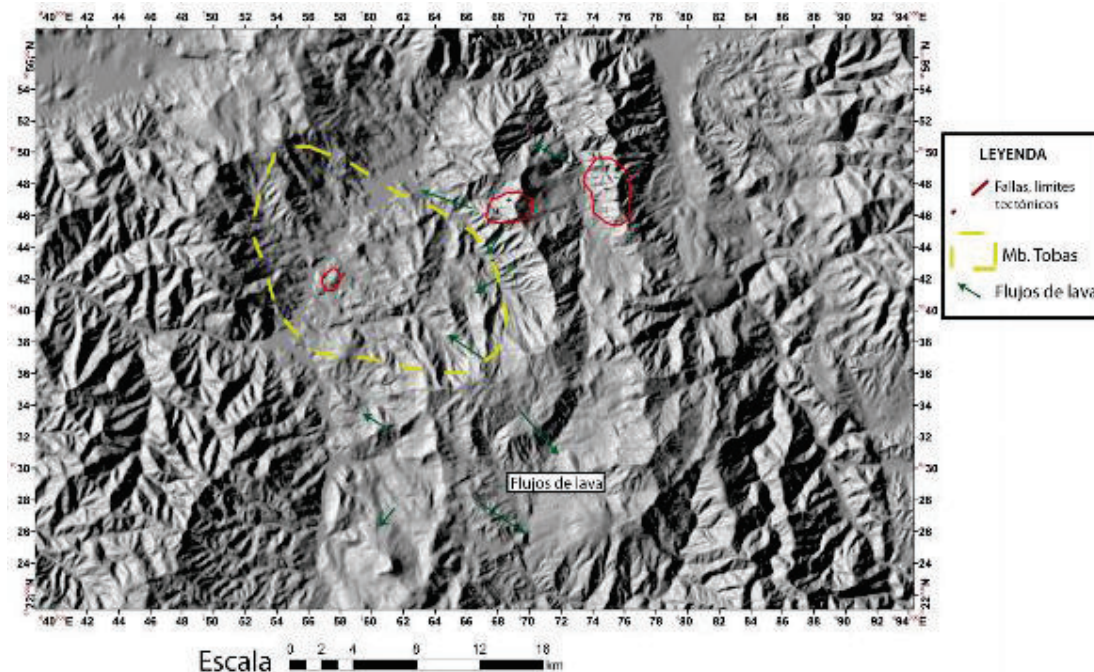


Figura 5.1: Pórfidos, depósitos de tobas (Mb. Tobas) y posibles direcciones de los flujos de lava que se formaron en el Cretácico Superior al Paleoceno Inferior atribuidos. Las lavas corresponden al Mb. Sacapalca Basal estas son interpretadas como parte del arco volcánico Sacapalca.

Luego de un período de inactividad volcánica y erosión de los Miembros anteriormente depositados; en el Eoceno superior y Oligoceno inferior, empieza un nuevo evento volcánico que dio lugar a la creación de los volcánicos equivalentes laterales de Loma Blanca. En este tiempo, se formaron los depósitos volcano-sedimentarios (Mb. Volcano-sedimentario) en la zona este, e influencias fluviales al Oeste, que dieron como resultado un ambiente fluvial a lacustre. Para el comienzo de la depositación de los volcánicos (Mb. Volcano-clástico), en el Oligoceno inferior, el Bloque Sur es levantado por medio de la falla inversa en el sector de Gonzanamá. Este evento pudo haber clausurado la cuenca lacustre formada al W de la zona de estudio, al igual que el origen de las fallas Algarrobera y Ningomine. Posterior al evento tectónico, las brechas del Miembro Brechas Superiores comenzaron a depositarse, principalmente en el lado este y sureste del área de estudio, por lo que el punto de emisión estuvo cerca de la zona oriental. Para finales del Oligoceno se tiene la intrusión del Plutón Palo Blanco que se ubicó al W de Nambacola sobre las andesitas del Mb. Sacapalca Basal. Este pudo ser contemporáneo con las brechas del Miembro Brechas Superiores (Figura 5.2).

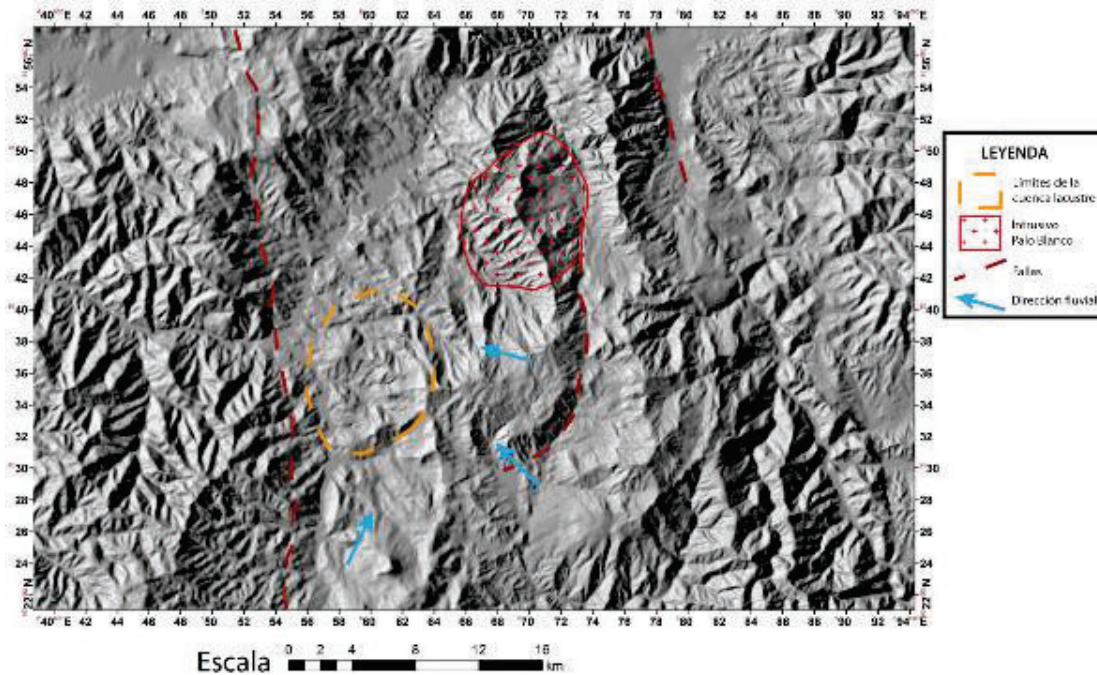


Figura 5.2: Paleogeografía de la zona entre finales de Eoceno a finales del Oligoceno en donde se tuvo una cuenca lacustre marginal con aportes sedimentarios pelíticos con direcciones de las flechas azules en el aporte sedimentario. La dirección fluvial pudo ser E-W debido que conglomerados son encontrados hacia el E con un decrecimiento de tamaño de grano hacia el W. En el Oligoceno inferior ocurre un evento compresivo que da lugar a la aparición de fallas inversas que provocan el levantamiento del Bloque Sur y con el cierre de la cuenca lacustre al W de la zona estudiada. Para el Oligoceno superior, el Intrusivo Palo Blanco, empezó a emplazarse sobre las andesitas del Mb. Sacapalca Basal y las brechas volcánicas del Miembro Brechas Superiores en el lado este del área de estudio.

La apertura de la zona debido a esfuerzos extensivos en la región dio origen a cuencas sedimentarias en la región austral del Ecuador. Hacia el Mioceno inferior (~17 Ma) el inicio de la extensión, originó una cuenca fluvial de alta energía con conglomerados como producto detrítico, que indica la apertura de una cuenca sedimentaria. Fallas normales empiezan a crearse en el área como producto de la extensión. La dirección de los sedimentos detríticos que formaron los conglomerados es probablemente desde el este hacia el oeste, debido que el tamaño de clasto decrece hacia el occidente, así como se tiene un mayor espesor de los conglomerados en el este (Figura 5.3).

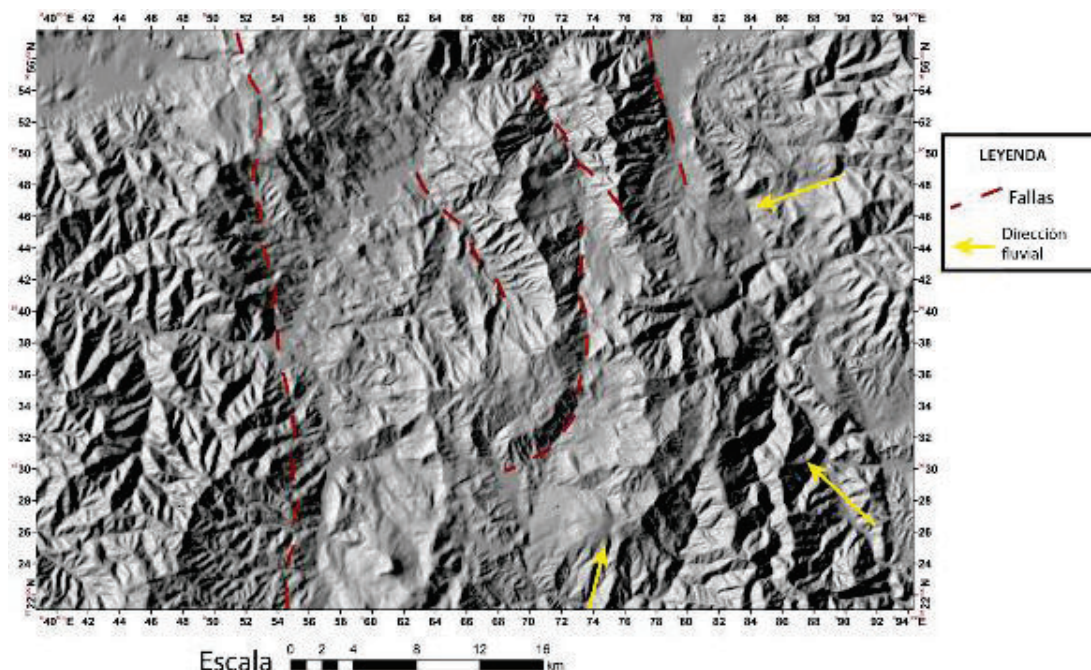


Figura 5.3: Paleogeografía de la zona en el Mioceno Inferior (~17Ma), ingreso de ambientes fluviales que dieron paso a la depositación de conglomerados atribuidos a la Formación Gonzanamá Basal. Mientras el área fue afectada por un evento extensivo se fueron formando fallas normales que posteriormente evolucionaron en un sistema dominó. La dirección fluvial pudo ser en dirección SE-NW, SW-NE y E-W ya que los conglomerados observados se encuentran en el lado este del área de estudio.

En el Mioceno medio (~16 Ma), la cuenca evolucionó a un ambiente lacustre con aportes deltaicos con depósitos estratificados en su mayoría de lutitas y areniscas, ubicadas en la parte oriental del área estudiada. Empieza en el Mioceno medio la depositación de productos piroclásticos y volcánicos así como la intrusión de pórfidos en la región, que afectaron y deformaron los sedimentos de Gonzanamá; eventos provocados por el Volcanismo Miocénico (posible Fm. Quinara) (Figura 5.4).

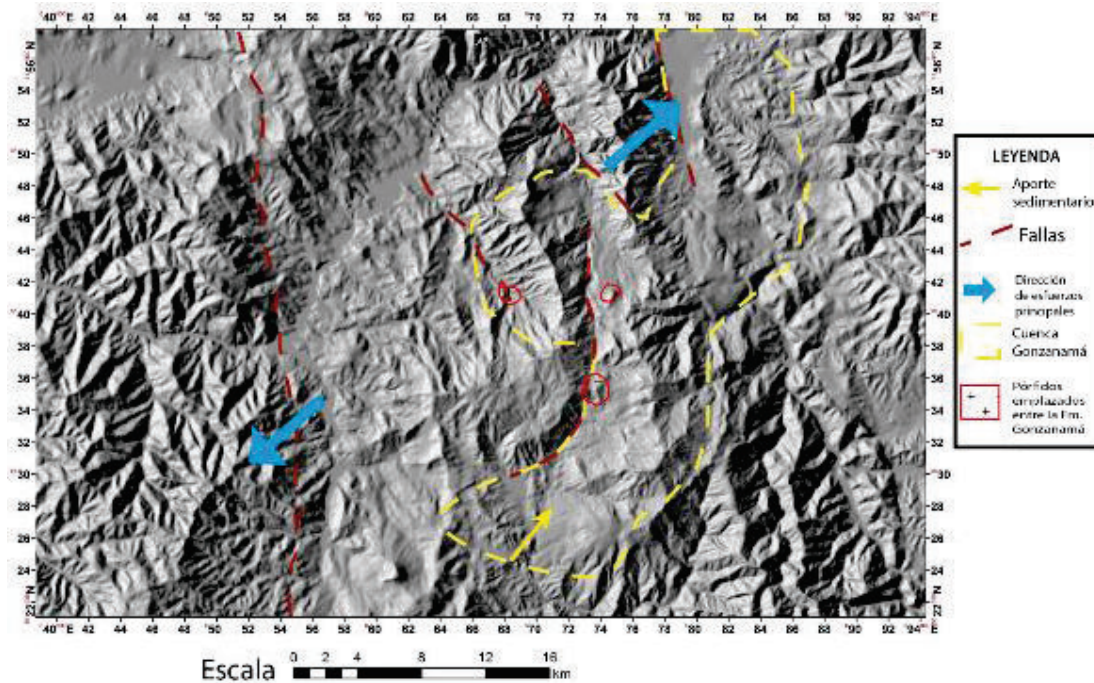


Figura 5.4: Paleogeografía a ~16Ma de la zona estudiada. A esta época se tiene un ambiente de cuenca lacustre evidenciado por la Formación Gonzanamá. Los aportes sedimentarios pudieron venir del SW (flecha amarilla), en el mismo tiempo continuó la apertura extensiva en la zona (flechas azules). Probablemente a esta época, la falla Potrerillos empieza a seccionar el área. Pórfidos atribuidos a un volcanismo contemporáneo afectó a los sedimentos de la Formación Gonzanamá, y las brechas volcánicas de la Formación Loma Blanca intruyendo diques en estas últimas.

En el final de la depositación de la cuenca de Gonzanamá (~15 Ma), tiene lugar eventos extensivos importantes en las cuencas sedimentarias. El Bloque Sur, levantado en el Oligoceno inferior colapsa, dividiendo al área en los Bloques Occidental, Central y Oriental formados por un sistema de fallas en dominó de tipo detachment, con mayor tasa de basculamiento en los Bloques Central y Oriental. Este sistema tectónico actuó aproximadamente hasta finales del Mioceno medio (~13-11 Ma) (Figura 5.5).

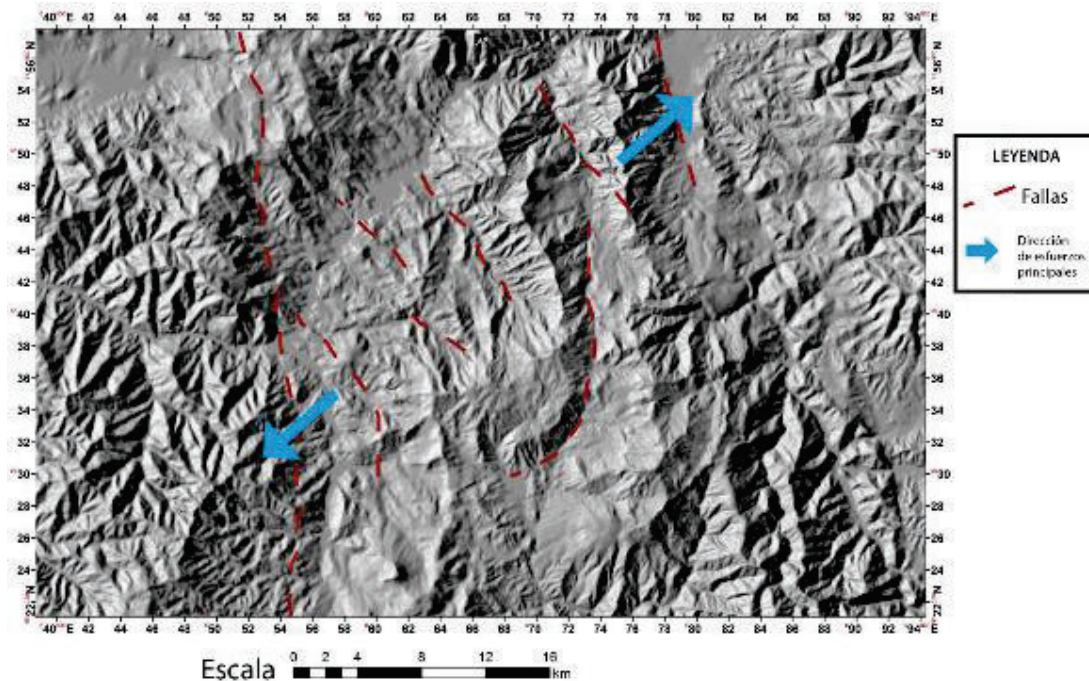


Figura 5.5: En el Mioceno Medio (~15-13 Ma), se tuvo la formación de un sistema de fallas en dominó que seccionó el área de estudio en los Bloques Tectónicos Oriental, Central y Occidental. Las fallas normales provocaron el basculamiento de los bloques hacia el ENE.

Para el Mioceno superior (~9 Ma) un evento compresivo regional afectó a las cuencas sedimentarias australes que provocó una inversión tectónica, y la reactivación de fallas regionales, como las fallas Algarrobera y Ningomine. Evento que provocó la clausura de la cuenca lacustre de Gonzanamá y también de las demás cuencas intramontañosas, generando fallas inversas con direcciones E-W y que provocaron el levantamiento de sedimentos en el Bloque Oriental al E del área estudiada (Figura 5.6).

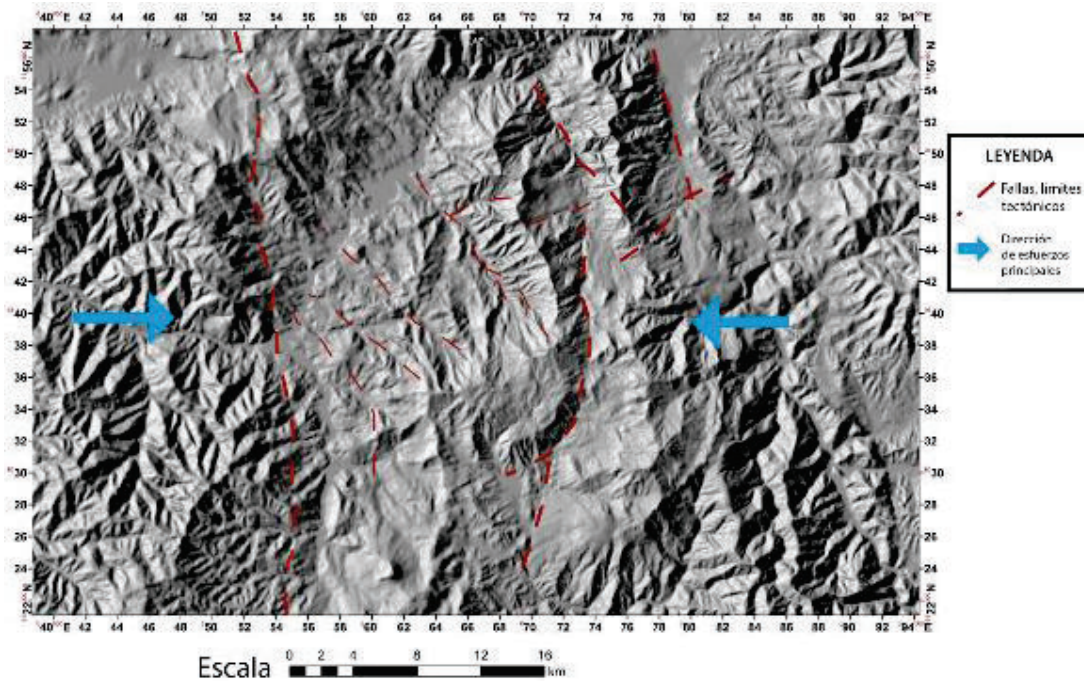


Figura 5.6: Desde el Mioceno superior (~9 Ma), tiene a lugar un evento compresivo que provoca una inversión tectónica que dio paso a reactivación de fallas inversas y creación de una falla inversa en el Bloque Oriental que levanta los sedimentos de la Formación Gonzanamá.

5.4. DISCUSIÓN

El estudio del área de Sacapalca permitió una mejor comprensión de las estructuras compresivas y extensivas en lo que hoy conforma los lugares de Changaimina, Sacapalca y Gonzanamá. La investigación geológica de la zona austral ecuatoriana ha sido siempre un tema de interés científico por las incertidumbres en los procesos y estructuras encontradas.

El área estudiada pertenece a la cuenca de Gonzanamá, las primeras investigaciones realizadas en el sector fueron por Kennerley (1973), quien nombra a los volcánicos del área y sus alrededores como Fm. Sacapalca. La Fm. Loma Blanca fue estudiada por el mismo Kennerley (1973), que la identificó al W de Malacatos, con una edad del Oligoceno. Por otra parte, Villemur (1967, en Bristow & Hoffstetter, 1977) fue el primero en estudiar a la Fm. Gonzanamá que determinó una edad terciaria, Kennerley (1975, en Bristow & Hoffstetter, 1977) la consideró una edad del Paleoceno.

Estudios geológicos más recientes en el área fueron hechos por Hungerbühler (1997), Hungerbühler et al. (2002) y Corrochano (2014), enfocados a la

sedimentología de la región; determinan para la Fm. Gonzanamá un ambiente de origen lacustre-palustre, propuesta que se toma en este proyecto. Reyes et al. (2008) e INIGEMM (2012), realizaron un estudio litológico más general, siendo Reyes et al., los primeros en registrar peperitas entre la Fm. Gonzanamá al igual que deformación en los sedimentos debido a un evento magmático posterior a la depositación; lo que en observaciones de campo se pudo confirmar en varios afloramientos.

El trabajo realizado por el INIGEMM (2012), fue un mapeo geológico a escala 1:100.000 en el lado W del área estudiada. Los volcano-sedimentos depositados en el Bloque Occidental, denominados como Unidad El Fondo de edad del Plioceno (INIGEMM, 2012), sin embargo fueron atribuidos en este proyecto a la secuencia volcano-sedimentaria equivalente a Loma Blanca, pues en el sector de Sacapalca se encuentran debajo de brechas volcánicas oligocenas consideradas por ellos del Paleoceno, por lo que la edad del Plioceno determinada es considerada como errónea.

Los eventos tectónicos tuvieron lugar en tres episodios diferentes: un evento compresivo que afectó a los Miembros Sacapalca Basal y Tobas en el Oligoceno y la formación de los Miembros Volcano-clástico y Brechas Superiores. Luego de la creación de la cuenca de Gonzanamá, hubo un evento extensivo a inicios del Mioceno superior. Por último, un evento compresivo posterior a actividad volcánica y magmática a finales del Mioceno medio. Las estructuras principales en el área están compuestas por el sistema de fallas tipo detachment que se originó en el evento extensivo del Mioceno medio. Tales fallas evidenciadas por los escarpes, facetas triangulares, y lineamientos que fueron observadas en campo, separan en tres bloques principales el área estudiada.

La edad propuesta para la Fm. Gonzanamá está en discusión en este trabajo, pues la edad determinada por Hungerbühler et al. (2002) podría ser para la parte superior de la Formación. Los eventos tectónicos extensivos evidenciados post-depositación de la Fm. Gonzanamá, serían de edad Mioceno medio concordando con la etapa Pacífico Costera propuesta por Hungerbühler (1997) y Hungerbühler et al. (2002); por tanto la Fm. Gonzanamá sería del Mioceno inferior.

Con respecto a los volcánicos equivalentes de la Fm. Loma Blanca encontrados en la zona de estudio, específicamente con el Mb. Brechas Superiores, estos presentan similiar petrografía con las brechas volcánicas encontradas en la Cuenca de Catamayo y que son atribuidas a la Fm. Loma Blanca. Esto indicaría que el Volcanismo denominado Loma Blanca del Oligoceno estaría extendido en lo que hoy se conoce como las Cuencas de Catamayo, Gonzanamá, Malacatos-Vilcabamba. El evento compresivo propuesto en el Oligoceno superior podría estar relacionado con una mayor tasa de subducción de la placa de Nazca debajo de la Sudamericana (Pardo-Casas & Molnar, 1987).

Los bloques basculados por el sistema de fallas en dominó presentan azimut de buzamientos entre 100° y 81° con inclinaciones entre 35° y 13° con una inclinación menor en el Bloque Occidental (Figura 4.18), por lo que se infiere que el sistema de fallas NNW-SSE actuó con una mayor velocidad en el este. Las fallas indicarían un evento extensivo post-depositación de las Formaciones Sacapalca, Loma Blanca y Gonzanamá.

La Fm. Quinara no es registrada en el área por ningún autor anterior a excepción de Reyes et al, (2008) quienes la mapean en el sector oriental. La Formación, en general se encuentra subhorizontal levemente basculada al E, lo que demuestra que no ha sido afectada tectónicamente. Sin embargo, es posible que esta fuera depositada sin-extensionalmente con respecto a las fallas lístricas y de tipo dominó evidenciados en el Mioceno Medio y que luego de un evento compresivo posterior, o sin-depositacional, las capas basculen en sentido contrario regresando a su punto nulo con capas subhorizontales lo que suele suceder en ambientes con inversión tectónica positiva (Cristallini, 1998) (Figura 5.7). Sin embargo, se necesita realizar un mayor estudio de estos volcánicos para ver la relación entre la extensión y la genética de la Formación.

Este trabajo trata de dar un modelo coherente con la estratigrafía y estructuras evidenciadas en campo, sin embargo, para tener un modelo regional es necesario contar con datos en las cuencas cercanas como es la Cuenca de Catamayo. El modelo extensivo-compresivo propuesto por Hungerbühler (1997), es concordante con lo evidenciado en la zona estudiada.

Modelo de inversión
tectónica para
fallas listricas

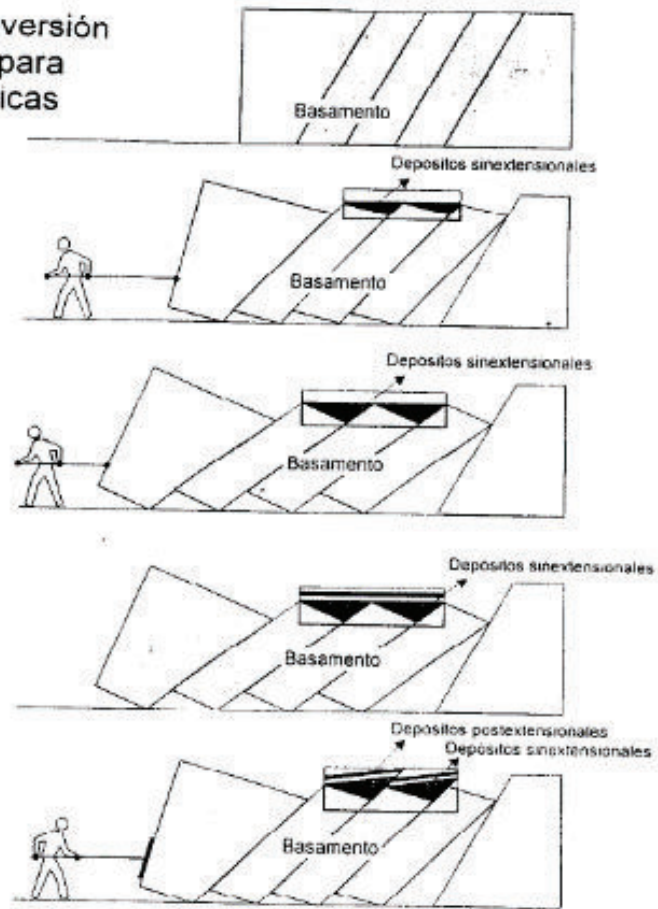


Figura 5.7: Modelo de inversión tectónica para fallas tipo dominó, posible efecto sobre los depósitos sin-extensionales de los volcánicos Miocénicos (Modificado de Cristallini, 1998).

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El basamento en el E del área es de origen metamórfico compuesto por la Unidad paleozoica Chiguinda y triásica Tres Lagunas, pertenecientes al Terreno Loja de la Cordillera Real; y la Unidad volcano-clástica cretácica Bramaderos al W.
- El área está conformada desde la base, por el Miembro Sacapalca Basal, que aflora a lo largo de la zona, en las partes inferiores principalmente y se consideró como lavas y cuerpos porfídicos. Sobre las andesitas, se encuentran flujos piroclásticos atribuidos al Miembro Tobas. Sobre las anteriores, se encontraron volcánicos considerados equivalentes laterales de la Formación Loma Blanca, que se los dividió en tres Miembros: El Mb. Volcano-sedimentario, que afloran en principalmente al oeste del área estudiada, con brechas volcánicas, volcano-sedimentos; el Mb. Volcano-clástico que aflora en la parte central del área, con una secuencia de flujo piroclásticos; el Mb. Brechas Superiores que posee brechas volcánicas muy consolidadas y en ciertas partes, alteradas. Estos volcánicos se consideraron de finales del Eoceno a finales del Oligoceno. Hacia el tope, sigue la Fm. Gonzanamá, considerada del Mioceno inferior, que aflora en el Bloque Oriental y en la parte E del Bloque Central, como conglomerados, areniscas, limos y lutitas estratificadas, con volcánicos intercalados en la parte superior de la Formación. Un volcanismo Miocénico, que puede ser equivalente de la Formación Quinara (volcánica) (evidenciada en la cuenca de Malacatos-Vilcabamba por Hungerbühler, 1997), aflora escasamente extendido en el sector occidental principalmente, como brechas poco consolidadas, paleo-lahares, y flujos piroclásticos.
- El ambiente volcánico es predominante, el Miembro Sacapalca Basal representa un arco volcánico paleoceno sub-aéreo continental; como los equivalentes magmáticos de las lavas y flujos piroclásticos.
- El Mb. Tobas fue separado de la Unidad San Vicente (Paleoceno, INIGEMM, 2012) ya que no se registró la litología de la Unidad en su totalidad. Sin

embargo, la edad determinada fue considerada para la correlación estratigráfica con los Miembros limitantes.

- Los depósitos eocénico-oligocénicos del Miembro Volcano-sedimentario presentaron retrabajamiento, provocado por agentes fluviales de baja energía o por agentes lacustres. Capas estratificadas serían el indicativo de la presencia de estos ambientes, que principalmente fue considerado lacustre.
- La Formación Gonzanamá representa un ambiente sedimentario lacustre, posee volcánicos como flujos piroclásticos y una secuencia de brechas al tope. La edad de la Formación podría diferir a la determinada por Hungerbühler (1997); en este proyecto se la asoció a finales del Mioceno inferior, debido a que sedimentos de la Formación tiene interacciones con cuerpos intrusivos posteriores a la depositación de la Fm., evidenciados en la deformación y metamorfismo de contacto en varios afloramientos de los sedimentos. Estos eventos volcánicos y magmáticos fueron considerados como equivalentes de la Formación Quinara de edad Mioceno medio.
- El volcanismo más joven, probablemente sería una continuación de la Fm. Quinara de la Cuenca Malacatos-Vilcabamba, al este de la zona estudiada; y representa un evento volcánico y magmático en el Mioceno medio, evidenciado en pórfidos que afectaron a los sedimentos de la Fm. Gonzanamá.
- Las estructuras observadas permitieron determinar tres eventos tectónicos, un evento tectónico en el Oligoceno inferior registrado en el levantamiento del Bloque Sur. Un evento extensivo en el Mioceno medio, post-depositación de la Fm. Gonzanamá, como resultado, la apertura de cuencas sedimentarias regionales, y la fragmentación de la zona de estudio en tres bloques basculados por un sistema de fallas dominó: el Bloque Oriental, Central y Occidental. Un evento compresivo posterior con reactivación de fallas inversas e inversión tectónica.
- Las fallas involucradas en el sistema detachment fueron identificadas por medio de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones en campo. En el Este, en el Bloque Oriental, se encuentra una falla al NE del poblado de Nambacola que provocó el basculamiento del bloque. Hacia el W, en el

sector de Potrerillos se encontró la falla nombrada al igual que el poblado; esta fue identificada por las facetas triangulares y el escarpe creados en el intrusivo Palo Blanco, y provoca el basculamiento del Bloque Central. Dentro del mismo bloque se encuentran fallas en el lado W del poblado de Sacapalca que provocan que el bloque se divida en varios sub-bloques, formando un sistema tipo dominó. Hacia el W en el sector de Changaimina se identificó una falla que provoca que el bloque Occidental bascule, un claro escarpe fue identificado en Changaimina.

- Los bloques presentan una dirección preferencial en el basculamiento, para el Bloque Oriental el azimut de buzamiento fue de $100^{\circ}/35^{\circ}$; para el Bloque Central $87^{\circ}/30^{\circ}$ y $90^{\circ}/40^{\circ}$ para el bloque más pequeño dentro del Central; y $81^{\circ}/13^{\circ}$ para el Bloque Occidental.
- El Bloque Suroeste es una transición entre el Bloque Sur y el Occidental, y puede ser considerado como parte de este último por su litología pero separado por la tectónica el cual no posee una deformación importante con capas subhorizontales.
- Se recomienda realizar estudios futuros para una mejor discriminación de los volcánicos, considerados en este trabajo del Mioceno medio (Volcanismo Miocénico).
- Se recomienda realizar dataciones para confirmar la edad de los volcánicos correspondientes a los Mb. Volcano-clástico, Mb. Brechas Superiores y Fm. Quinara, ya que esto podría confirmar la estratigrafía relativa propuesta en este trabajo.
- En cuanto a las estructuras, se recomienda trabajar en la zona sur del área de estudio, pues en imágenes satelitales se observó un gran lineamiento con escarpes y facetas triangulares, de 40 km de longitud aproximadamente que prolongaría la falla Potrerillos hacia el sur, pues se observa que tiene la misma orientación. Lo que confirmaría un sistema detachment en la zona centro de la provincia de Loja.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ABARCA, M., 2010. Monografía del Cantón Gonzanamá de la Provincia de Loja. Universidad Técnica Particular de Loja.
- AGUIRRE L., 1992. Metamorphic pattern of the Cretaceous Celica Formation, SW Ecuador, and its geodynamic implications. *Tectonophysics* 205, pp. 223-237.
- ASPDEN J., LITHERLAND M., 1992. The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205, pp. 187-204.
- ASPDEN J., FORTEY N., LITHERLAND M., VITERI F. and HARRISON S. M., 1992. Regional S-type granites in the Ecuadorian Andes: Possible remnants of the breakup of western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 6, N° 3, pp. 123-132.
- ASPDEN J., BONILLA W., & DUQUE P., 1995. The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits. *Overseas Geology and Mineral Resources*. Number 67.
- BABY P., RIVADENEIRA M., BARRAGÁN R., 2004. La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo. *Travaux de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 144.
- BALDOCK J. W., 1982. Geología del Ecuador. Boletín de la Explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador Escala 1:1.000.000. Dirección General de Geología y Minas, Quito. Institute of Geological Sciences, Londres. Traducción al español por División de Investigación Geológico-Minera (D.G.G.M.).
- BARRAGÁN R., BAUDINO R. & MAROCCO R., 1996. Geodynamic evolution of the Neogene intermontane Chota basin, Northern Andes of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 9, pp. 309-319.
- BERRONES G., JAILLARD E., ORDOÑEZ M., BENGTON P., BENITEZ S., JIMENEZ N. & ZAMBRANO I., 1993. Stratigraphy of the "Celica-Lancones Basin" (Southwestern Ecuador-Northwestern Peru). *Tectonics implications*. Second ISAG, Oxford UK, pp. 283-286.
- BOURDON E., EISSEN J. P., GUTSCHER M. A., MONZIER M., HALL M. & COTTEN J., 2003. Magmatic response to early aseismic ridge subduction:

- the Ecuadorian margin case (South America). *Earth and Planetary Science Letters*, 205, pp. 123-138.
- BRISTOW C. F. & HOFFSTETTER R., 1977. Ecuador. *Lexique International de Stratigraphie*, Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, Va2, pp 410.
 - CORROCHANO D., Septiembre, 2014. *Geología Sedimentaria y Sedimentología dentro del Proyecto del Mapeo Geológico a Nivel Nacional a escala 1:50000*. Informe Técnico PROMETEO-INIGEMM, pp. 37.
 - CRISTALLINI E., 1998. *Introducción a las Fajas Plegadas y Corridas*. Capítulo V. Inversión Tectónica.
 - DASHWOOD M. & ABBOTTS J., 1990. Aspects of the petroleum geology of the Oriente Basin, Ecuador. In: BROOKS, J. Ed., *Classic Petroleum Provinces*, Geological Society Special Publication, nº 50, pp. 89 – 117.
 - DENIAUD Y., 2000. *Enregistrements Sédimentaire Et structural de L'Evolution Géodynamique des Andes Equatoriennes au cours du Néogène: Etude des Bassins D'Avant-arc et Bilans de Masse*. Thèse. Docteur de L'Université Joseph Fourier. Université Joseph Fourier – Grenoble I Sciences & Géographie. IRD-Institut de Recherche pour le Développement.
 - DINAGE & INGEMMET, 2005. *Geología de Ecuador y Perú entre 3°S y 6°S*. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas Ecuador-Perú-Canadá.
 - DUQUE P., 2000. *Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador*. 1ra Edición. Quito, Impresora Flores.
 - EGO F., SÉBRIER M., YEPES H., 1995. Is the Cauca-Patia and Romeral fault system left or right lateral?. *Geophysical Research Letters* 22, Nº 1, pp. 33-36.
 - FEININGER T., 1978. *Geologic map of western El Oro Province, 1:50.000*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
 - FIERRO J., 1991. *Evolución geodinámica Neógena de la Cuenca intramontañosa de Malacatos-Vilcabamba*. Tesis de grado previa a la obtención de Ingeniero Geólogo. EPN.

- EGÜEZ A., ALVARADO A., YEPES H., 2003. Map of Quaternary Faults and Folds of Ecuador and its Offshore Regions. International Lithosphere Task Group II-2 Major Active Faults of the World. Scale 1:250000. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- G.A.D. del cantón Gonzanamá, 2011. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Loja.
- GUTIÉRREZ M., 2008. Geomorfología. Primera edición. Madrid, Pearson Educación.
- GUTSCHER M.-A., MALAVIEILLE J., LALLEMAND S., COLLOT J.-Y., 1999. Tectonic segmentation of the Northern Andean margin: impact of the Carnegie collision. *Earth and Planetary Science Letters* 168, pp. 255-270.
- HUGGETT R. J., 2007. *Fundamentals of Geomorphology*. Second Edition. Oxford: Routledge.
- HUGHES R., PILATASIG L., 2002. Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics* 345, pp. 29-48.
- HUNGERBÜHLER D., STEINMANN M., WINKLER W., SEWARD D., EGÜEZ A., HELLER F., FORD M., 1995. An integrated study of fill and deformation in the Andean intermontane basin of Nabón (Late Miocene), southern Ecuador. *Sedimentary Geology* 96, pp. 257-279.
- HUNGERBÜHLER D., 1997. Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications. Doctoral Thesis of Natural Sciences. Swiss Federal Institute of Technology Zürich.
- HUNGERBÜHLER D., STEINMANN M., WINKLER W., SEWARD D., EGÜEZ A., PETERSON D., HELG U. & HAMMER C., 2002. Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth Science Reviews* 57, pp. 75-124.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO (INIGEMM), 2012. Mapa Geológico del Ecuador, Hoja 39 Cariamanga, Escala 1:100000. Proyecto "Modelo Piloto para la Determinación del Potencial Geológico-Mineralógico de las Zonas Zaruma y Cariamanga a escala 1:100000".

- JAILLARD E., ORDOÑEZ M., BERRONES G., BENGTON P., BONHOMME M., JIMENEZ N. & ZAMBRANO I., 1996. Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of Southwestern Ecuador during Late Cretaceous and Early Tertiary times. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 9, pp. 131-140.
- JAILLARD E., BENÍTEZ S., MASCLE G. H., 1997. Les déformations paléogènes de la zone d'avant-arc sud-équatorienne en relation avec l'évolution géodynamique. *Bulletin Soc. géol. France*, 168, pp. 403-412.
- JAILLARD E., LAUBACHER G., BENGTON P., DHONDT A. V., BULOT L. G., 1999. Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences* 12, pp. 51-68.
- JAILLARD E., HÉRAIL G., MONFRET T., WÖRNER G., 2001. Andean geodynamics: main issues and contributions from the 4th ISAG, Göttingen. *Tectonophysics* 6494, pp. 1198-1213.
- KERR A. C., ASPDEN J. A., TARNEY J., PILATASIG L. F., 2002. The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: geochemical and tectonic constraints. *Journal of Geol. Soc.* Vol. 159, pp. 577-594.
- KENNERLEY J. B., 1973. *Geology of the Loja Province, Southern Ecuador*. London Institute of Geological Sciences, *Overseas Geology and Mineral Resources* 23, p. 34.
- KENNERLEY J. B. & ALMEIDA L., 1975a. Mapa geológico del Ecuador, hoja de Gonzanamá (57), escala 1:100.000. Instituto Geográfico Militar (IGM), Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos (MRNE), Dirección General de Geología y Minas (DGGM), Institute of Geological Sciences London (IGS).
- KENNERLEY J. B., 1980. Outline of the geology of Ecuador. London Institute of Geological Sciences, *Overseas Geology and Mineral Resources* 55, p 17.
- LITHERLAND M., ASPDEN J., JEMIELITA J., 1994. The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey, Overseas Memoir* 11.
- LAVENU, A., NOBLET C., BONHOMME M. G., EGÜEZ A., DUGAS F. and 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. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 5, No ¾, pp. 309-320.
- LAVENU A., BAUDINO R., ÉGO F., 1996. Stratigraphie des dépôts Tertiaires et Quaternaires de la Dépression Interandine d'Equateur (Entre 0° et 2°15'S). *Bull. Inst. Fr. études andines*, No. 25, pp. 1-15.
 - LAVENU A., 1994. La neotectónica: ejemplos en el Ecuador. En: Marocco R., 1994. El contexto geológico del espacio físico ecuatoriano: neotectónica, geodinámica, volcanismo, cuencas sedimentarias, riesgo sísmico. Quito, Ecuador: Editorial Nacional; Colegio de Geógrafos del Ecuador, pp. 5-30.
 - MAMBERTI M., LAPIERRE H., BOSCH D., JAILLARD E., ETHIEN R., HERNANDEZ J., POLVÉ M., 2003. Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean-Colombian Plateau in Ecuador. *Lithos* 66, pp. 173-199.
 - MAROCCO R. & WINTER T., 1988. BOSQUEJO DE LA EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DEL ECUADOR. En: Los Paisajes Naturales del Ecuador Vol. 1 – Las condiciones generales del medio natural, 1997. Quito, Instituto Geográfico Militar, IRD.
 - NOCQUET J. M., MOTHESS P., ALVARADO A., 2009. Geodesia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador. *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador*, pp. 83-95.
 - PARDO-CASAS F., MOLNAR P., 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American plates since Late Cretaceous time. *Tectonics*, Vol. 6, N° 3, pp. 233-248.
 - PENNINGTON W., 1981. Subduction of the Eastern Panama Basin and Seismotectonics of Northwestern South America. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 81, No. B11, pp. 10753-10770.
 - PRODEMINCA, 2000. EVALUACIÓN DE DISTRITOS MINEROS DEL ECUADOR; POTENCIAL MINERO METÁLICO Y GUÍAS DE EXPLORACIÓN (VOL. 1). Quito, 1ra edición.
 - REYES P., MICHAUD F., CARBONEL P. & FORNARI M. 2008. New field studies in the Gonzanamá, Catamayo and Malacatos-Vilcabamba basins, Ecuador: Preliminary results. 7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts, pp. 442-445.

- RINCÓN P. J. & VEGAS R., 1999. Aplicación de índices geomorfológicos de actividad tectónica reciente en el antepaís Bético. *Geogaceta* 27, pp. 139-142.
- SILVA P., 2007. Análisis morfológico y estructural del cañón submarino del Río Esmeraldas a partir de datos de geofísica marina. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Geólogo. Quito, Escuela Politécnica Nacional.
- SPIKINGS R. A., WINKLER W., SEWARD D., HANDLER R., 2001. Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 186, pp. 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 (290–75 Ma). *Gondwana Research*.
- STEINMANN M., HUNGERBÜHLER D., SEWARD D., WINKLER W., 1999. Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission-track approach. *Tectonophysics*, 305, pp. 255-276.
- TRENKAMP R., KELLOGG J., FREYMUELLER J., MORA H., 2002. Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15, pp. 157-171.
- VALLEJO, C., WINKLER W., SPIKINGS R., LUZIEUX L., 2009. Evolución geodinámica de la cordillera occidental (Cretácico tardío-Paleógeno). En: *Revista Politécnica*, Quito: EPN, (no. 30, (1)2009): pp. 112-130
- VALLEJO, C., 2007. EVOLUTION OF THE WESTERN CORDILLERA IN THE ANDES OF ECUADOR (LATE CRETACEOUS-PALEOGENE). Doctoral Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zürich.
- VERA R., 2013. Geology of Ecuador, an introduction to the unique geology of Ecuador. Quito: Gráficas Iberia.
- WHITE H., SKOPEC R., RAMÍREZ F., RODAS J., BONILLA G., 1995 - Reservoir Characterization of the Hollín and Napo Formations, Western

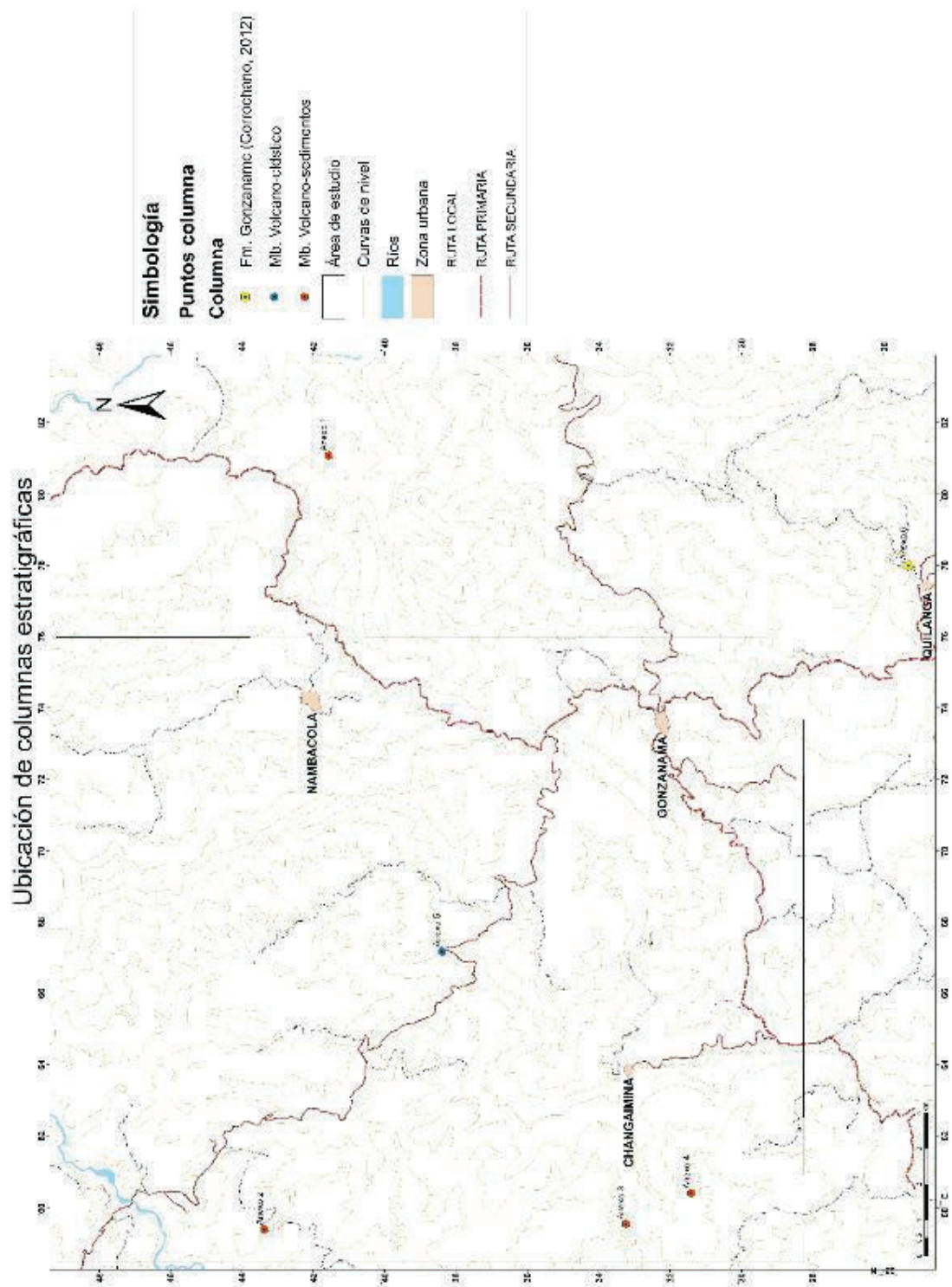
Oriente Basin, Ecuador. In: A. J. Tankard, R. Suárez S., and H. J. Welsink, eds., Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62, pp. 573-596.

Páginas web:

- Google, 2015. Imágenes Landsat. Image © 2015 CNES/Astrium. Google Earth.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), 2015. Imágenes satelitales. Web: www.sigtierras.gob.ec
- CRISTALLINI E., 1998. Introducción a las Fajas Plegadas y Corridas. Capítulo V. Inversión Tectónica. Tomado de la página Web: aviris.gl.fcen.uba.ar/Bibliografia/capitulo_V.PDF

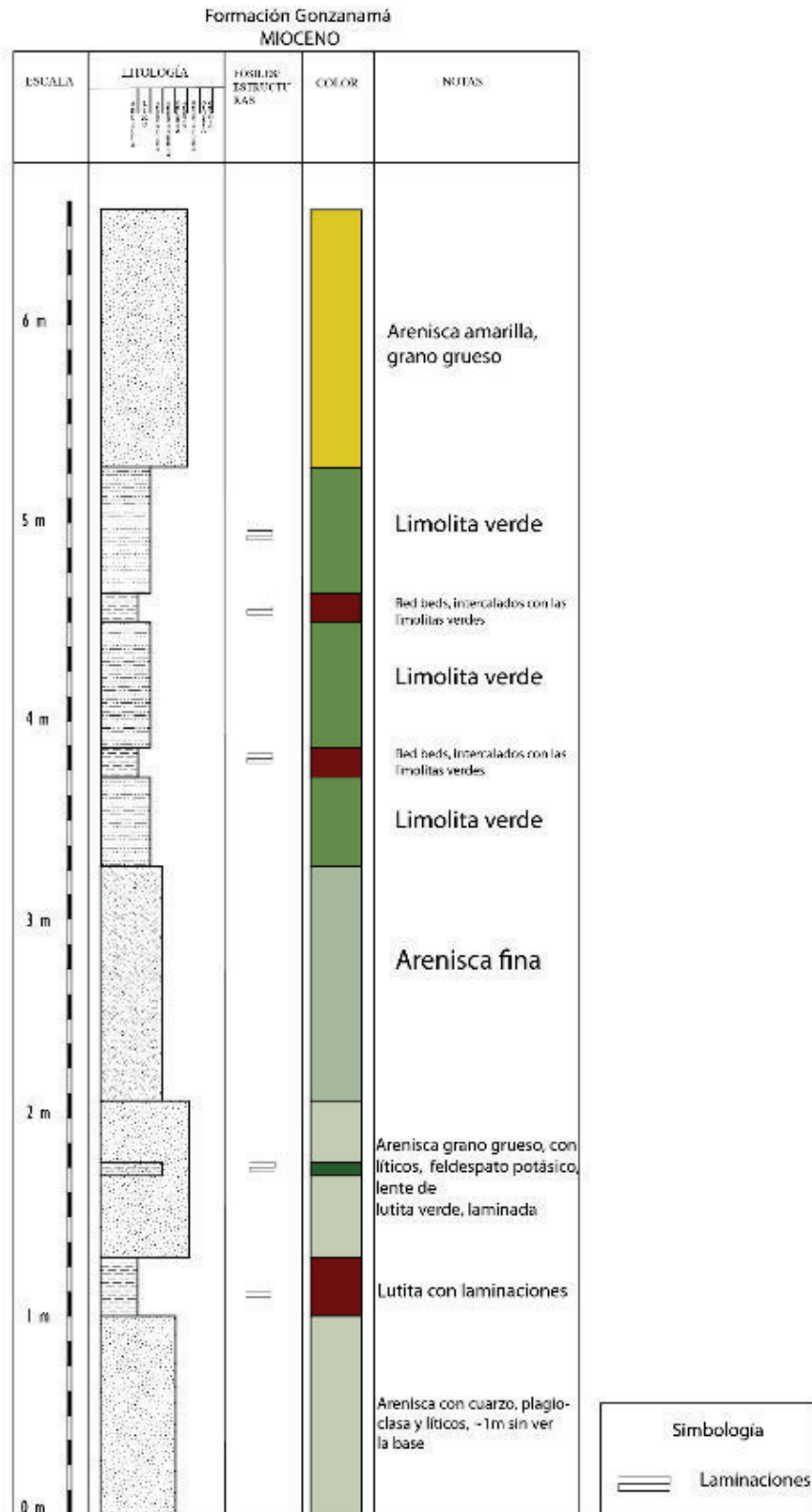
ANEXOS

Anexo 1



Anexo 1 Mapa de ubicación de las columnas estratigráficas del Anexo 2 al Anexo 7

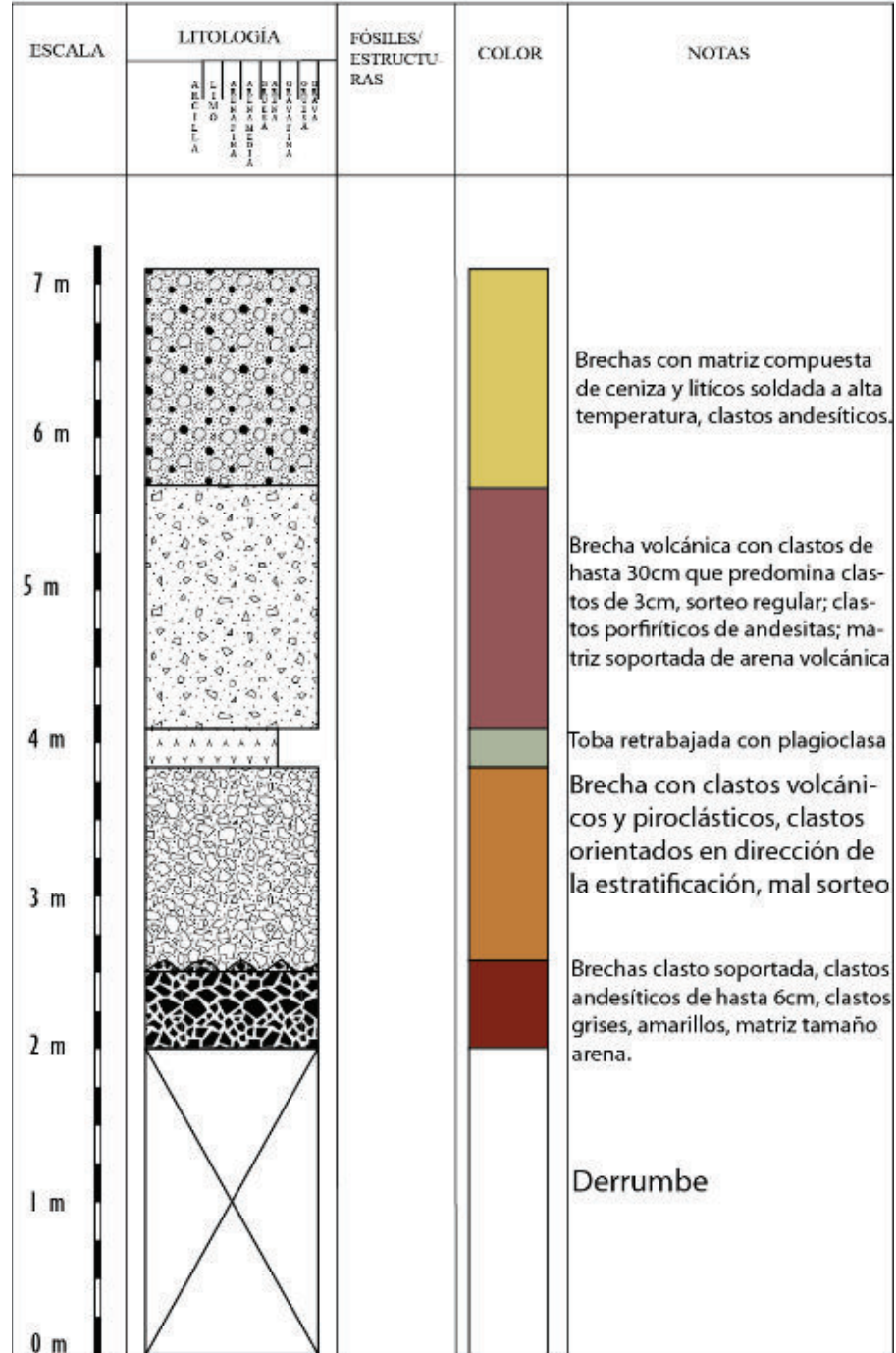
Anexo 2



Anexo 2 Columna estratigráfica de parte de la secuencia de Volcano-sedimentos del Mb. Volcano-sedimentos en el punto UTM: 0681076 / 9541567.

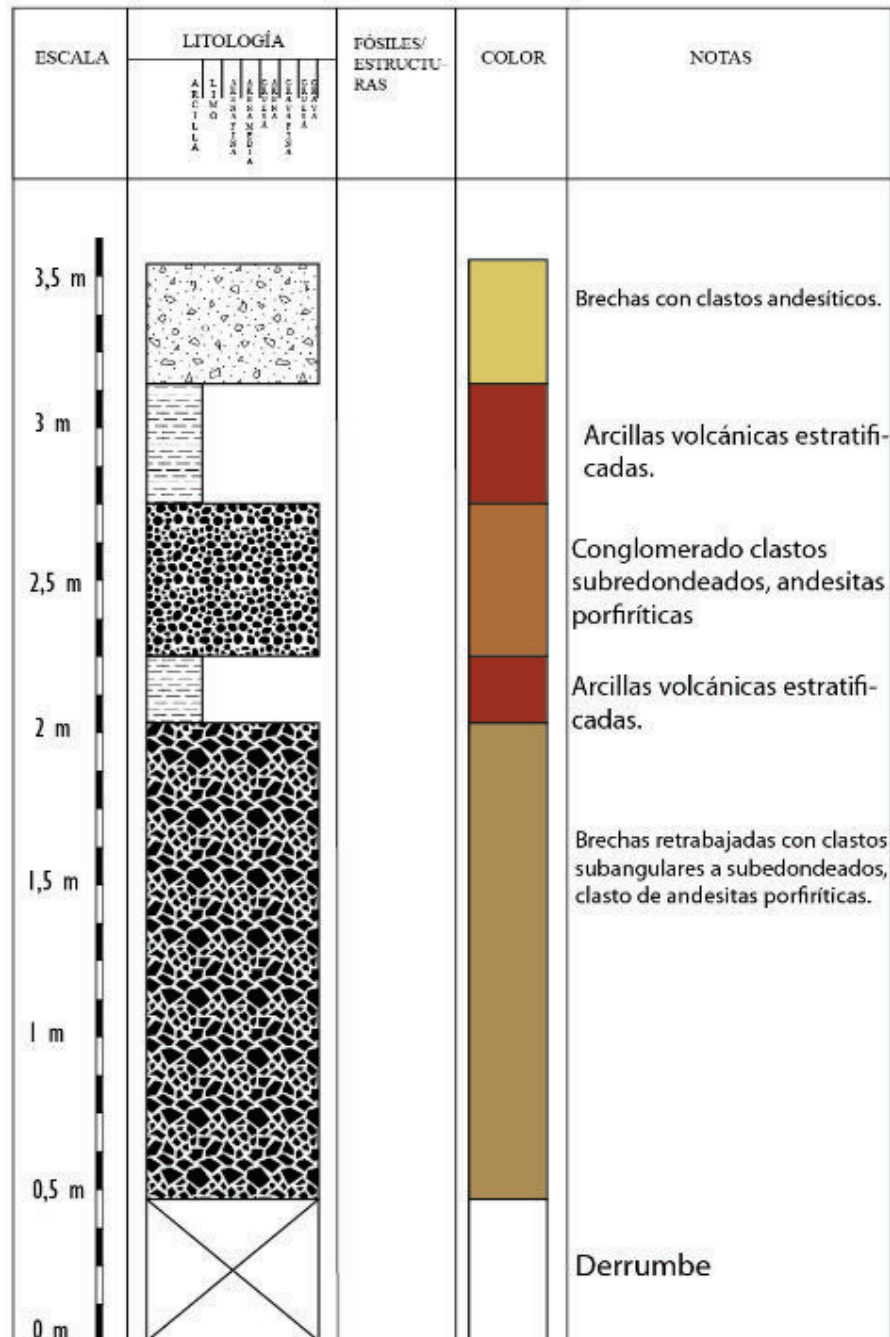
Anexo 3

Formación Loma Blanca Miembro Volcano-sedimentos
EOCENO TARDÍO



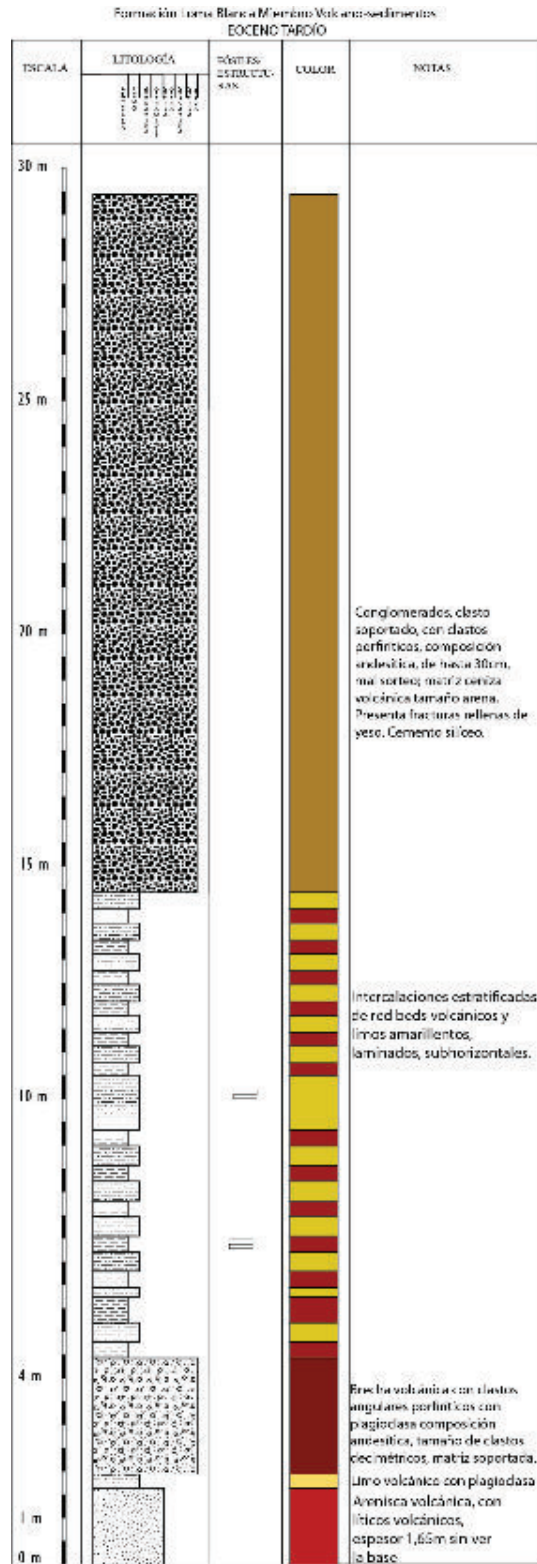
Anexo 3 Columna estratigráfica de parte de la secuencia del Mb. Volcano-sedimentos en el punto UTM: 0659376 / 9543368.

Anexo 4

Formación Loma Blanca Miembro Volcano-sedimentos
EOCENO TARDÍO

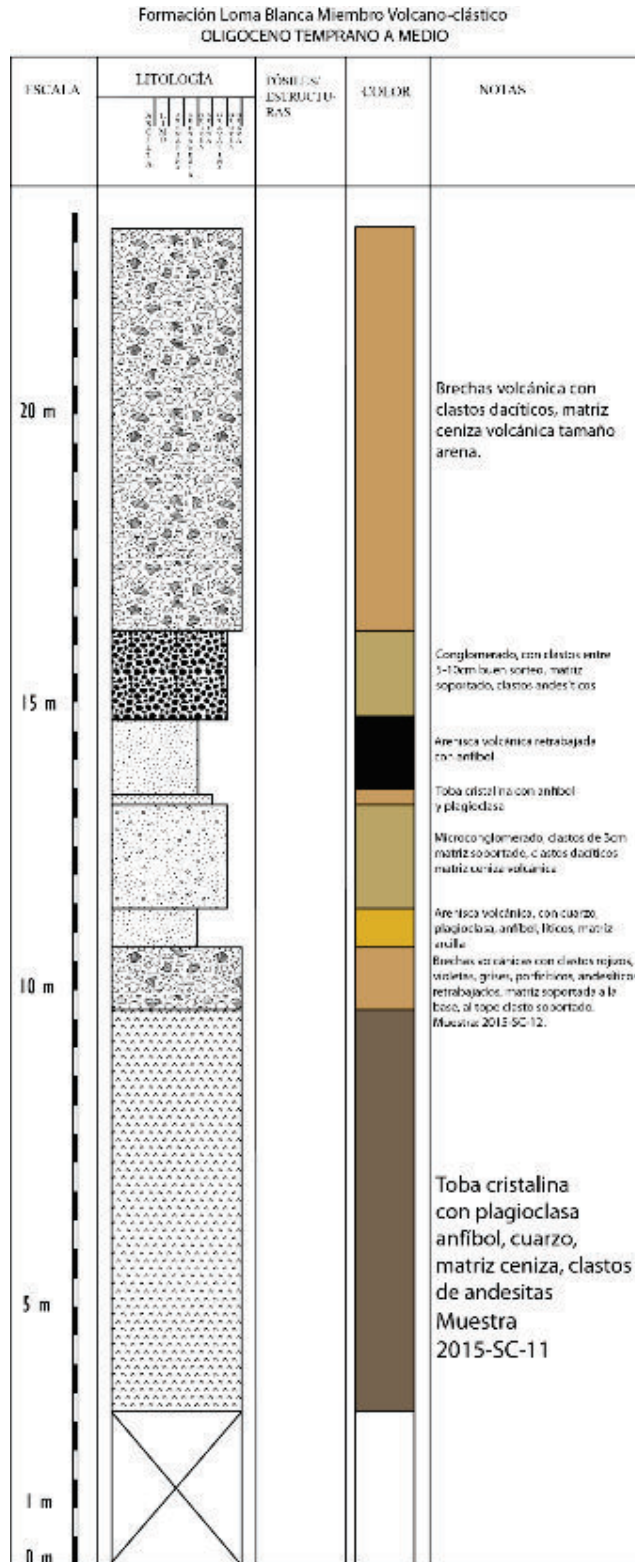
Anexo 4 Columna estratigráfica de parte de la secuencia del Mb. Volcano-sedimentos en el punto UTM: 0659537 / 9533234.

Anexo 5



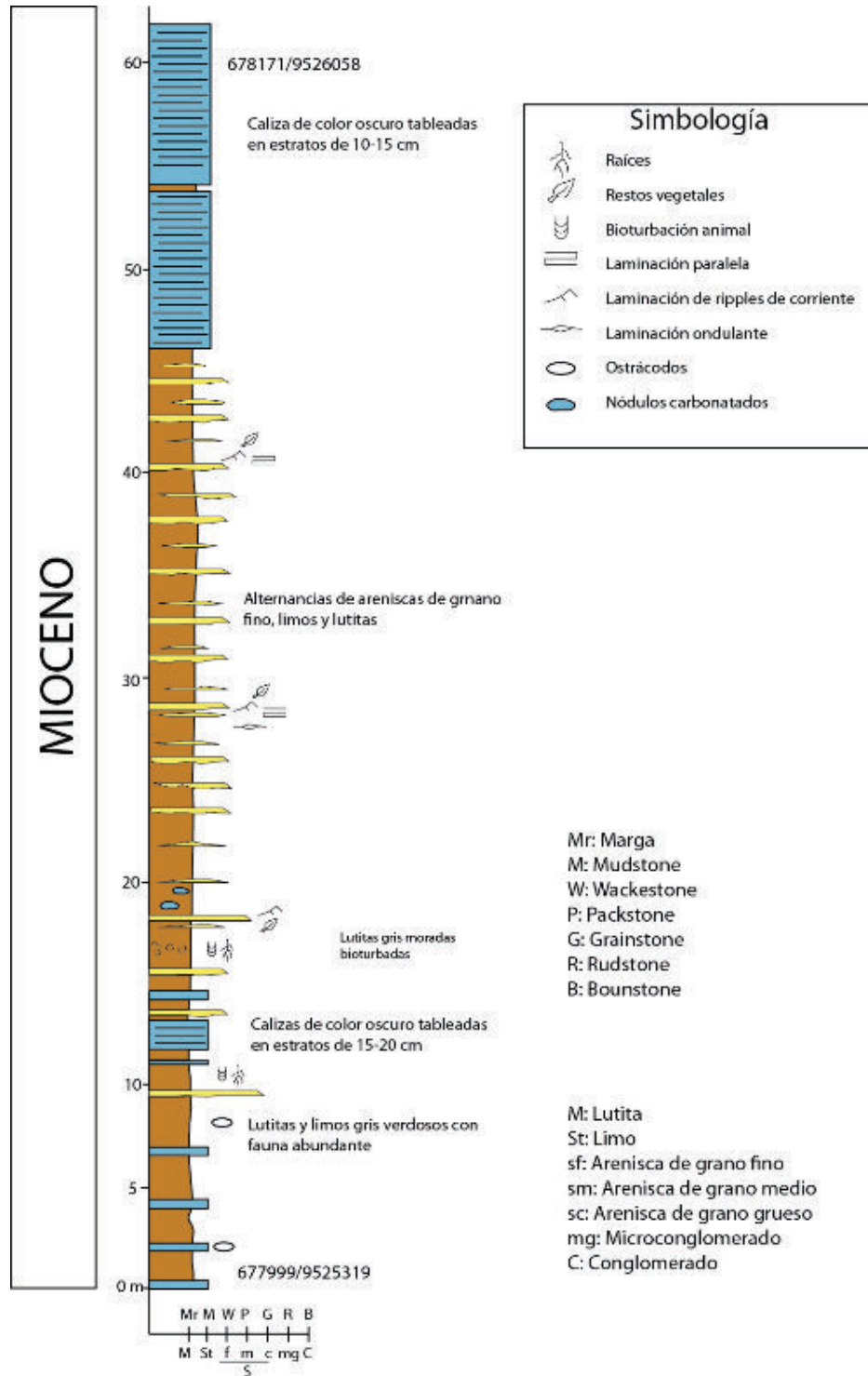
Anexo 5 Columna estratigráfica de parte de la secuencia del Mb. Volcano-sedimentos en el punto UTM: 0660404 / 9531397 (Ver Fotografía 3.28).

Anexo 6



Anexo 6 Columna estratigráfica del Mb. Volcano-clástico, en el punto UTM: 0667174 / 9538389 (Ver Fotografía 3.37).

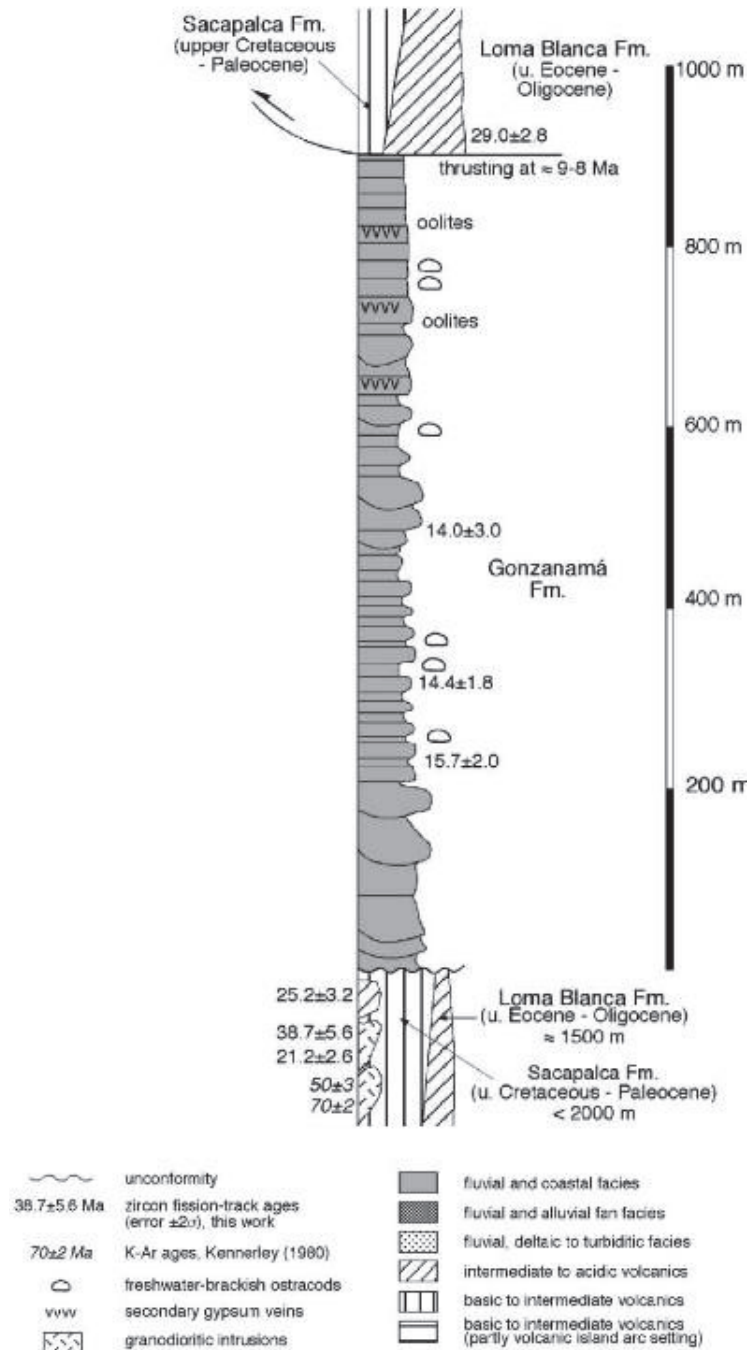
Anexo 7



Anexo 7 Columna estratigráfica sintética de la Fm. Gonzanamá en el UTM: 0677999 / 9525319 mostrando el Miembro Calcáreo descrito por Corrochano (2014), modificado de Corrochano, 2014.

Anexo 8

Área de Catamayo-Gonzanamá



Anexo 8 Columna estratigráfica de la Formación Gonzanamá realizada por Hungerbühler (1997); en la que se interpreta un cabalgamiento de la Fm. Sacapalca y Loma Blanca sobre la de Gonzanamá. (Tomada de Hungerbühler et al., 2002).

Anexo 9

Anexo 9 Tabla de muestras recolectadas (Coordenadas UTM WGS-84).

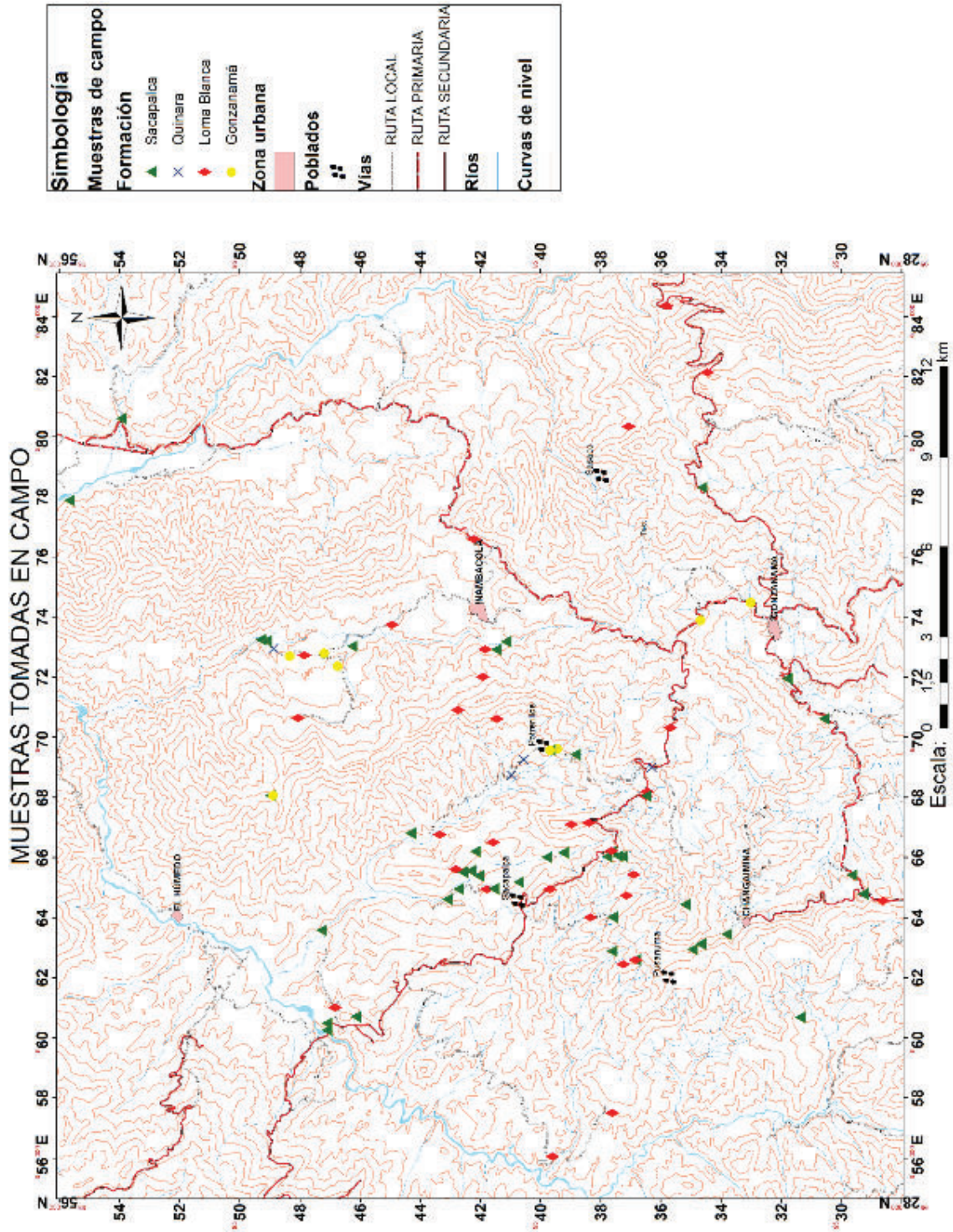
Nº	X	Y	MUESTRA	ROCA	FORMACIÓN
1	682158	9534444	2014-GZ-01.1	Tobas soldadas con cristales de plagioclasa	Loma Blanca
2	682158	9534444	2014-GZ-01.2	Toba dacítica	Loma Blanca
3	680351	9537068	2014-GZ-02	Tobas blancas alterada	Loma Blanca
4	672928	9541463	2014-GZ-03	Dacitas verdosas	Sacapalca
5	674496	9533000	2014-GZ-04.1	Toba gris con plagioclasa y biotita	Gonzanamá
6	674496	9533000	2014-GZ-04.2	Toba gris con plagioclasa y biotita	Gonzanamá
7	673903	9534672	2014-GZ-05	Dacita porfírica rojiza a gris	Gonzanamá
8	662954	9534940	2014-GZ-06.1	Andesita verde	Sacapalca
9	662954	9534940	2014-GZ-06.2	Andesita verde	Sacapalca
10	662954	9534940	2014-GZ-06.3	Andesita verde	Sacapalca
11	663130	9534663	2014-GZ-07	Andesita	Sacapalca
12	663130	9534663	2014-GZ-08	Andesita	Sacapalca
13	676613	9542213	2014-GZ-09	Toba blanca con cristales de hornblenda	Loma Blanca
14	668213	9536442	2014-GZ-10.1	Roca alterada tobas	Loma Blanca
15	668213	9536442	2014-GZ-10.2	Roca alterada tobas	Loma Blanca
16	668055	9536487	2014-GZ-11.1	Toba gris andesítica alterada	Loma Blanca
17	668055	9536487	2014-GZ-11.2	Toba gris andesítica alterada	Loma Blanca
18	668055	9536487	2014-GZ-11.3	Andesita verde porfírica	Sacapalca
19	668055	9536487	2014-GZ-11.4	Andesita verde porfírica	Sacapalca
20	662610	9536841	2014-GZ-12.1	Andesita	Sacapalca
21	662610	9536841	2014-GZ-12.2	Andesita con cxs de plagioclasa	Loma Blanca
22	662610	9536841	2014-GZ-12.3	Andesita con cxs de plagioclasa	Loma Blanca
23	662468	9537248	2014-GZ-13	Andesitas	Loma Blanca
24	662889	9537614	2014-GZ-14	Roca subvolcánica	Sacapalca
25	664023	9537596	2014-GZ-15.1	Andesita gris alterada	Sacapalca
26	664023	9537596	2014-GZ-15.2	Andesita gris alterada	Sacapalca
27	664746	9537146	2014-GZ-16	Roca alterada andesítica	Loma Blanca
28	665445	9536891	2014-GZ-17	Diorita	Loma Blanca
29	666047	9537268	2014-GZ-18.1	Toba Rio-dacita	Sacapalca
30	666047	9537268	2014-GZ-18.2	Toba Rio-dacita	Sacapalca
31	666053	9537422	2014-GZ-19	Andesita	Sacapalca
32	666039	9537781	2014-GZ-20.1	Tobas verde	Sacapalca
33	666039	9537781	2014-GZ-20.2	Tobas rosada	Sacapalca
34	664962	9541781	2014-GZ-21	Tobas blancas soldadas	Loma Blanca
35	665531	9542600	2014-GZ-22	Dacita	Sacapalca
36	665614	9542809	2014-GZ-23	Wacka	Loma Blanca
37	668751	9540956	2014-GZ-24	Granito con cristales de plagioclasa alterados	Quinara
38	668751	9540956	2014-GZ-25	Granito con cristales de plagioclasa alterados	Quinara
39	666222	9537621	2015-GZ-01	Roca volcánica metasomatizada	Sacapalca
40	669264	9540543	2015-GZ-02	Roca intrusiva granito alterado (pórfido)	Quinara

41	669434	9538841	2015-GZ-03	Andesita	Sacapalca
42	674496	9533006	2015-GZ-04.1	Arenisca tobácea de grano grueso	Gonzanamá
43	674496	9533006	2015-GZ-04.2	Arenisca tobácea de grano grueso	Gonzanamá
44	680351	9537068	2015-GZ-05	Toba cristalina crema	Loma Blanca
45	677887	9555673	2015-CM-01	Andesita basáltica	Sacapalca
46	680613	9553937	2015-CM-02	Toba verde cristalina	Sacapalca
47	678313	9534622	2015-PU-01	Andesita albitizada	Sacapalca
48	684379	9535815	2015-PU-02	Conglomerado con clastos metamórficos	Loma Blanca
49	661030	9546832	2015-SC-01.1	Toba brechosa	Loma Blanca
50	661030	9546832	2015-SC-01.2	Toba brechosa	Loma Blanca
51	667111	9538966	2015-SC-02	Toba blanca	Loma Blanca
52	663587	9547281	2015-SC-03	Toba soldada rosácea	Sacapalca
53	664961	9542721	2015-SC-04	Toba verde	Sacapalca
54	665519	9542559	2015-SC-06	Andesita	Sacapalca
55	665630	9542809	2015-SC-07	Arenisca volcánica	Loma Blanca
56	665630	9542809	2015-SC-8	Arenisca volcánica	Loma Blanca
57	656070	9539600	2015-SC-9	Brecha volcánica	Loma Blanca
58	669013	9536280	2015-SC-10	Diorita gabróica	Quinara
59	667174	9538389	2015-SC-11	Toba soldada	Loma Blanca
60	667174	9538389	2015-SC-12	Brecha volcánic	Loma Blanca
61	666236	9537633	2015-SC-13	Toba blanca	Loma Blanca
62	664962	9539687	2015-SC-14	Toba blanca	Loma Blanca
63	666820	9544316	2015-SC-15.1	Andesita basáltica	Sacapalca
64	666820	9544316	2015-SC-15.2	Andesita basáltica	Sacapalca
65	666169	9539233	2015-SC-16	Toba verde	Sacapalca
66	666169	9539233	2015-SC-17	Toba rosada	Sacapalca
67	666021	9539786	2015-SC-18	Toba rosada a violeta	Sacapalca
68	657522	9537613	2015-SC-19	Brecha volcánica	Loma Blanca
69	665402	9542043	2015-SC-20.1	Toba rosada silicificada	Sacapalca
70	665402	9542043	2015-SC-20.2	Toba rosada silicificada	Sacapalca
71	670336	9535682	2015-SC-21	Brecha volcánica muy consolidada	Loma Blanca
72	669638	9539440	2015-SC-22	Arenisca de grano grueso	Gonzanamá
73	669579	9539673	2015-SC-23	Andesita alterada	Sacapalca
74	669579	9539673	2015-SC-24	Limo grisáceo	Gonzanamá
75	669579	9539673	2015-SC-25	Arenisca	Gonzanamá
76	666779	9543342	2015-SC-26	Granito	Loma Blanca
77	672381	9546736	2015-SC-27	Arenisca Volcánica retrabajada	Gonzanamá
78	668076	9548987	2015-SC-28	Andesita porfirítica	Sacapalca
79	665566	9542326	2015-SC-29	Lapilli tobáceo rosado composición riolítica	Sacapalca
80	665191	9540720	2015-SC-30	Lapilli tobáceo verde	Sacapalca
81	660260	9547100	2015-SC-31	Lapilli tobáceo rosado composición riolítica	Sacapalca
82	660709	9546130	2015-SC-32	Lapilli tobáceo andesítico	Sacapalca
83	666210	9542158	2015-SC-33	Andesita	Sacapalca
84	666520	9541568	2015-SC-34	Toba cristalina gris	Loma Blanca

85	664972	9541552	2015-SC-35	Toba cristalina rosada riolítica	Sacapalca
86	664618	9543096	2015-SC-36	Lapilli tobáceo verde lítico	Sacapalca
87	660492	9547100	2015-SC-37.1	Andesita basáltica	Sacapalca
88	660492	9547100	2015-SC-37.2	Andesita basáltica	Sacapalca
89	673761	9544937	2015-NB-01	Brecha volcánica	Loma Blanca
90	673043	9546257	2015-NB-02	Andesita subvolcánica rojiza y verde	Sacapalca
91	672747	9547850	2015-NB-04	Aglomerado	Loma Blanca
92	672718	9548337	2015-NB-05	Arenisca con limos y lutita	Gonzanamá
93	673259	9549295	2015-NB-06	Andesita	Sacapalca
94	673188	9541141	2015-NB-10.1	Andesita	Sacapalca
95	673188	9541141	2015-NB-10.2	Andesita	Sacapalca
96	672940	9541835	2015-NB-11	Granito	Loma Blanca
97	672031	9541912	2015-NB-12.1	Grano diorita	Loma Blanca
98	672031	9541912	2015-NB-12.2	Grano diorita	Loma Blanca
99	672031	9541912	2015-NB-12.3	Grano diorita	Loma Blanca
100	670926	9542744	2015-NB-13	Granito intrusivo	Loma Blanca
101	670626	9541444	2015-NB-14	Granito con xenolitos de Sacapalca	Loma Blanca
102	672811	9547193	2015-NB-15	Arenisca feldespática	Gonzanamá
103	672960	9548871	2015-NB-16	Ceniza blanca con pómez	Quinara
104	673218	9549098	2015-NB-17	Toba rosada	Sacapalca
105	668085	9548885	2015-NB-18	Microconglomerado brechoso	Gonzanamá
106	670653	9548062	2015-NB-19	Granito grano fino (aplita)	Loma Blanca
107	671959	9531797	2015-CH-01	Andesita	Sacapalca
108	670627	9530571	2015-CH-02	Andesita	Sacapalca
109	665425	9529640	2015-CH-03	Andesita	Sacapalca
110	663457	9533804	2015-CH-04	Andesita	Sacapalca
111	664576	9528608	2015-CH-05	Arenisca grano gruesa feldespática	Loma Blanca
112	660694	9531371	2015-CH-07	Andesita de con cristales finos	Sacapalca
113	664796	9529271	2015-CH-08	Andesita porfírica	Sacapalca
114	664449	9535184	2015-CH-09	Andesita levemente alterada clorita epidota	Sacapalca
115	664031	9538333	P.Yz-01	Aglomerado	Loma Blanca

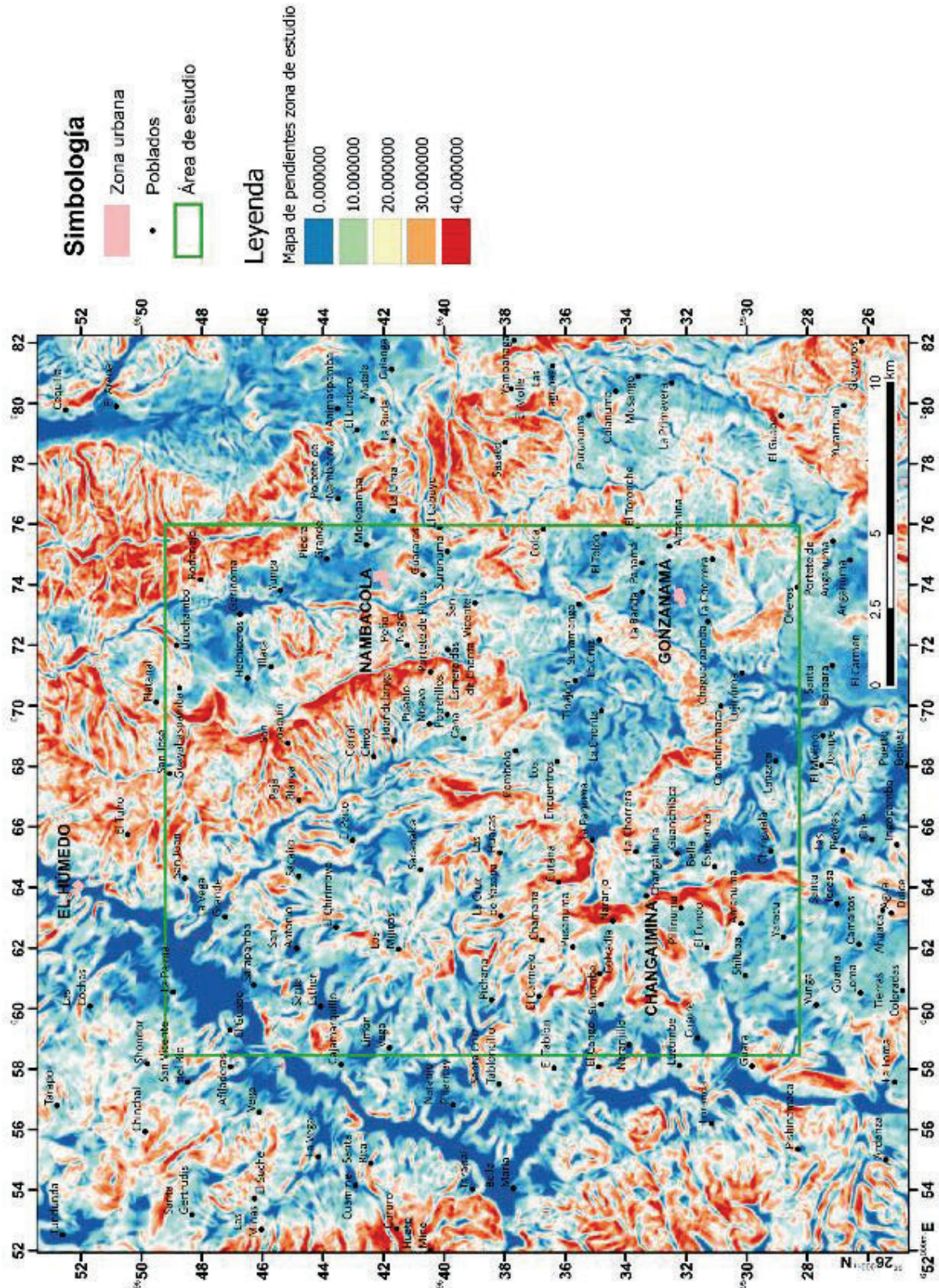
Anexo 10

Anexo 10: Ploteo de muestras tomadas en campo (Imagen 1)



Anexo 11

Anexo 11 Mapa de pendientes (en grados) de la zona de estudio



Anexo 12

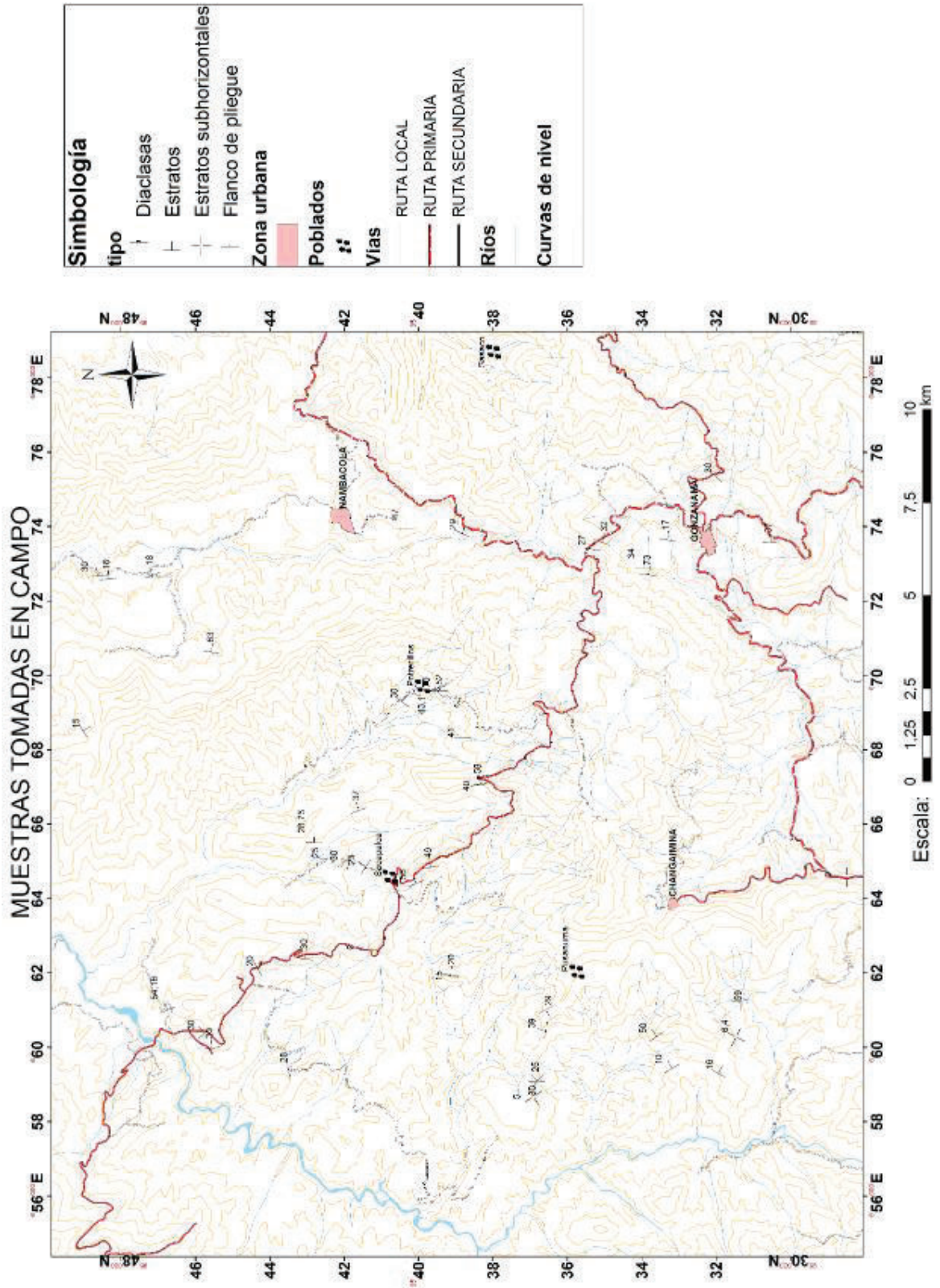
Anexo 12 Medidas estructurales tomadas.

X	Y	Z	AZIMUT	BUZAMIENTO	TIPO	FORMACIÓN
673700	9535015	2245	110	32	Estratos	Fm Gonzanamá
673513	9535274	2255	100	27	Estratos	Fm Gonzanamá
669390	9540363	1636	127	30	Estratos	Fm Gonzanamá
667209	9538353	1885	78	58	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
667174	9538389	1881	82,4	40	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
665630	9542809	1318	88,25	28,75	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
669632	9540106	1675	105,7	43,1	Estratos	Fm Gonzanamá
669632	9540106	1675	100	0	Falla	Fm Gonzanamá
669632	9540106	1675	110	0	Falla	Fm Gonzanamá
662501	9543029	1460	98	30	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
662625	9541462	1511	0	0	Estratos	Quinara
661123	9546791	1050	68,83	54,16	Estratos	Brechas volcánicas
669638	9539440	1811	90	70	Pliegue	Fm Gonzanamá
669638	9539440	1811	80	70	Pliegue	Fm Gonzanamá
669638	9539440	1811	250	52	Pliegue	Fm Gonzanamá
669638	9539440	1811	251	51	Pliegue	Fm Gonzanamá
664962	9539687	1667	82,3	49	Estratos	Red beds, Loma Blanca
664576	9528608	1858	0	0	Estratos	Quinara
660903	9536514	1623	243	29	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
660475	9536692	1547	10	39	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
659177	9536875	1356	41,5	30	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
660465	9545826	1087	51,6	30	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
664515	9540103	1613	68	58	Estratos	Red beds
664915	9541514	1421	34,3	23	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
665024	9541957	1333	21	30	Estratos	Tobas
664961	9542721	1246	281	25	Estratos	Tobas
664961	9542721	1246	319	15	Estratos	Tobas
672811	9547193	1524	70	18	Estratos	Fm Gonzanamá
672718	9548337	1476	86	16	Estratos	Fm Gonzanamá
672798	9548643	1449	87,3	30	Estratos	Fm Gonzanamá
674079	9540290	1969	90	47	Estratos	Fm Gonzanamá
673933	9538768	2033	115	29	Estratos	Fm Gonzanamá

658608	9537020	1372	327	5	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
678630	9562044	1260	40	60	Diaclasas	Riolitas Loma Blanca
682911	9556808	1373	151	46	Estratos	Catamayo
682077	9556498	1363	271	40	Estratos	Catamayo
670755	9545547	1771	101	63	Estratos	Fm Gonzanamá
670755	9545547	1771	101	63	Estratos	Fm Gonzanamá
668575	9548905	2036	148	15	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
673022	9533951	1942	90	34	Estratos	Fm Gonzanamá
668205	9538800	1803	270	41	Estratos	Tobas
661119	9531344	1218	263	59	Estratos	Red beds
660404	9531397	1269	117	6,4	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
662190	9544230	1317	151	20	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
662190	9544230	1317	165	22	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
675451	9531928	2296	131	30	Estratos	Fm Gonzanamá
680134	9535403	2317	16	53	Estratos	Fm Gonzanamá
680134	9535403	2317	3	55	Estratos	Fm Gonzanamá
680134	9535403	2317	355	58	Estratos	Fm Gonzanamá
680134	9535403	2317	17	53	Estratos	Fm Gonzanamá
680134	9535403	2317	7	59	Estratos	Fm Gonzanamá
681076	9541567	1792	174	45	Estratos	Fm Gonzanamá
660099	9545572	997	83	30	Estratos	Montaña
673708	9530536	2169	85	37	Estratos	Fm Gonzanamá
672833	9533790	1936	97	73	Estratos	Fm Gonzanamá
673775	9533294	1987	99	17	Estratos	Fm Gonzanamá
659404	9531866	1324	120	16	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
659404	9531866	1324	130	16	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
660385	9533663	1410	55	50	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
659202	9536800	1351	94	25	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
659376	9543368	1158	167	28	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
659537	9533234	1262	60	10	Estratos	Volcano sedimentos Loma Blanca
662062	9539113	1470	90	15	Estratos	Loma Blanca
662062	9539113	1470	100	20	Estratos	Loma Blanca
666487	9541640	1473	70	37	Estratos	Loma Blanca

Anexo 13

Anexo 13: Ploteo de medidas estructurales

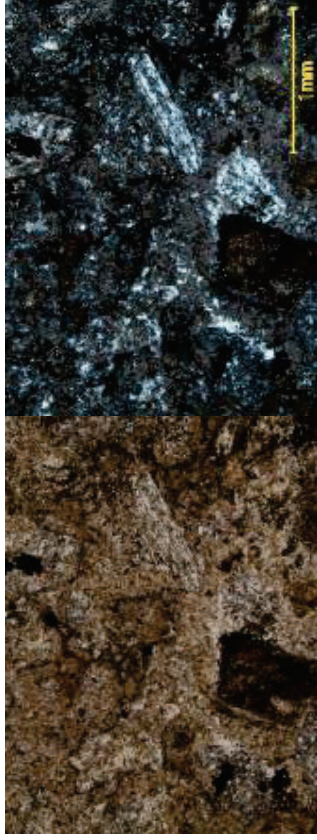


Anexo 14

Anexo 14 Descripción microscópica de 59 láminas delgadas de las muestras tomadas en campo.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-1.1	
Localidad:		0682158 / 9534444	
Textura:		Piroclástica: tuftítica	
Microestructuras:		Leve orientación de los componentes.	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	5	Incoloro, relieve bajo, anhedrales, uniaxial positivo	
Ortopiroxeno	15	Incoloro a amarillo pálido, relieve alto, extinción paralela, birrefringencia de 1° orden, subhedral esquelético	
Plagioclasa	20	Incoloro, subhedral, relieve bajo, macia polisintética, zonada en algunas muestras	
Clinopiroxeno	2	Incoloro, relieve muy alto, birrefringencia de 3° orden, extinción oblicua, anhedral, clivaje ortogonal	
Anfibol	5	Verde amarillento, relieve medio, subhedral a anhedral	Cristales alterados
Matriz	40		
Matriz:		Calcita 20%; Arcilla 35%; Ortopiroxeno 30%; Plagioclasa 15%	
Secundarios:		Calcita 5%; Opacos 2%; Óxidos 2%; Zircón 1%; Clorita 3%	
Nombre:		Toba cristalina de composición dacítica alterada	

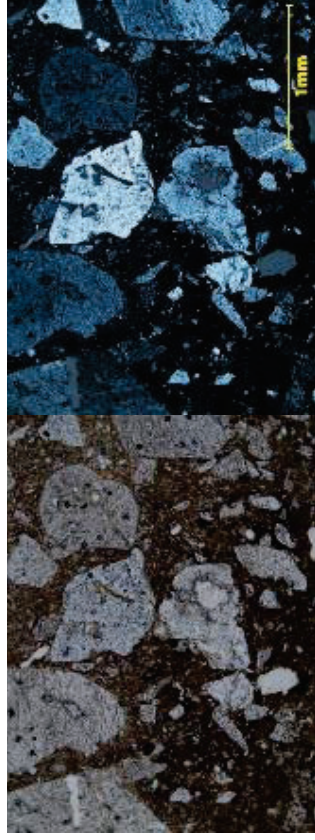
Fotografías



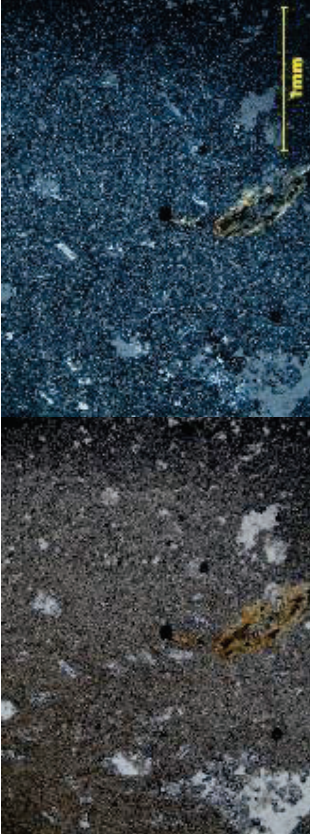
Nota: Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa plagioclasa, arcilla, opacos.

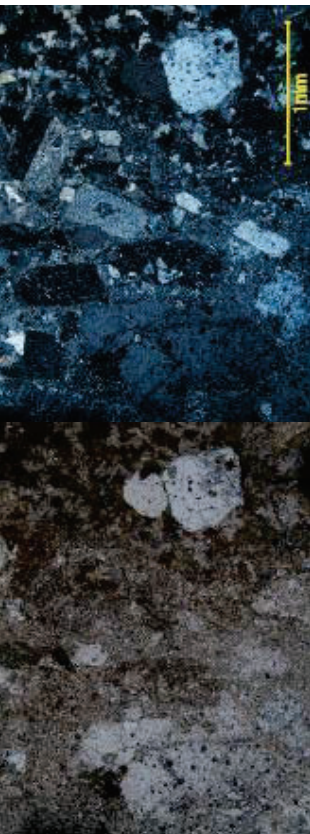
Nombre de la muestra:		2014-GZ-1.2	
Localidad:		0682158 / 9534444	
Textura:		Piroclástica: tuftítica (Reacciona al ácido ciertas zonas)	
Microestructuras:		Leve orientación de los componentes	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	10	Incoloro, relieve bajo, subhedral, uniaxial positivo	
Ortopiroxeno	5	Incoloro a amarillo pálido, relieve alto, extinción paralela, birrefringencia de 1° orden, subhedral esquelético	
Plagioclasa	20	Incoloro, subhedral, relieve bajo, macia polisintética, birrefringencia de 1° orden	
Feldespato potásico	15	Incoloro, subhedral, relieve bajo, birrefringencia de 1° orden	
Líticos	3	Ígneos extrusivos con hornblenda anhedral, vidrio	
Anfibol	7	Verde amarillento, relieve medio, subhedral a anhedral	Cristales alterados
Matriz	30		
Matriz:		Plagioclasa 30%; Ceniza 55%; Ortopiroxeno 15%	
Secundarios:		Opacos 2%	
Nombre:		Toba cristalina de composición riódacítica	

Fotografías



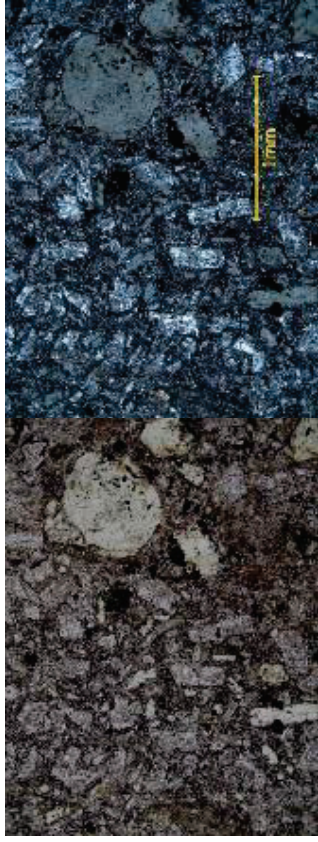
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cuarzo, plagioclasa, feldespato en una matriz de ceniza y microcristales de plagioclasa.

Nombre de la muestra: 2014-GZ-02		Fotografías	
Localidad: 0680351 / 9537068		 <p>Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa hornblenda, epidota, opacos en una matriz de ceniza y microcristales de plagioclasa.</p>	
Textura: Piroclástica: cinerítica			
Microestructuras: Cierta dirección preferencial (bandeamiento) de la matriz y los fenocristales			
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Hornblenda	15	Incoloro, birrefringencia baja, extinción aproximadamente a 12° ondulatoria, exfoliación buena, algunos cristales presentan pleocroísmo muy bajo	Relieve alto no característico de anfíbol, algunos cristales tienen cierta forma radial. Presenta alteración.
Clinopiroxeno	5	Incoloro y amarillento, extinción oblicua, relieve alto, euhedral alargados y cortos, fracturado. Algunos presentan macia simple	Oxidado
Plagioclasa	15	Incoloro, subhedral, maclada	
Matriz cristalina	55	Presenta minerales anhedral	
Matriz:		Plagioclasa 20%; Hornblenda 10%; Piroxeno 25%; Sericita 5%; Arcilla 40%	
Secundarios:		Óxidos 2%; Min. Opacos 2%; Zircón 1%; Epidota 5%	
Nombre:		Toba cristalina de composición intermedia	

Nombre de la muestra: 2014-GZ-03		Fotografías	
Localidad: 0672928 / 9541463		 <p>Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cuarzo, plagioclasa, feldespatos, con alteraciones a arcilla.</p>	
Textura: Fanerítica: Subofítica			
Microestructuras: Desordenada			
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	25	Subhedral a anhedral, relieve bajo, birrefringencia baja,	En secciones de la lámina se observa con birrefringencia alta.
Microclina	25	Maclado, subhedral a anhedral, crema opaco translúcido, bajo relieve	Alterado
Plagioclasa	18	Maclado polisintético, euhedral, incoloro, bajo relieve	Alterado a sericita
Clinopiroxeno	2	Euhedral, relieve medio, macia simple, birrefringencia media, incoloro a gris	
Secundarios:		Sericita 15%; Min. opacos 1%; Clorita 14%	
Nombre:		Cuarzo-monzo-diorita	

Nombre de la muestra:		2014-GZ-6.1	
Localidad:		0662954 / 9534940	
Textura:		Porfírica: porfídica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	30%	Incolora, birrefringencia baja, macías Carlsbad,	Algunas con sericita
Clinopiroxeno	1	Incoloro, relieve muy alto, subhedral,	
Cuarzo	3	Incoloro, relieve bajo, amehedral, uniaxial positivo, birrefringencia de 1° orden, extinción paralela y ondulatoria	Con inclusiones
Anfibol alterado a clorita	5	Verde amarillento pálido, relieve medio, birrefringencia 1° anómalo, extinción	Solo ha quedado la forma euhedral del anfibol alargado en el eje c
Ortopiroxeno	20	Incoloro, relieve muy alto, birrefringencia 1° orden, extinción paralela	Recristalizado a clinopiroxeno en partes
Matriz:		Plagioclasa 30%; Óxidos 20%; Clorita 15%; Clinopiroxeno 5%; Ortopiroxeno 30%	
Secundarios:		Opacos 4%; Óxidos 2%; Clorita 20%; Calcita 15%	
Nombre:		Andesita con calcita secundaria	

Fotografías



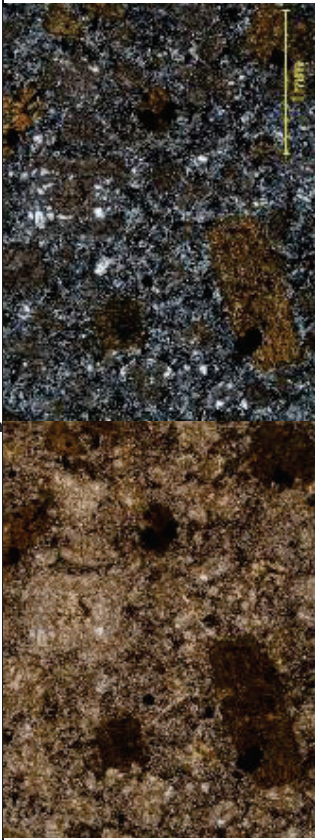
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa plagioclasas, feldespatos, piroxenos en una matriz de microcristales.

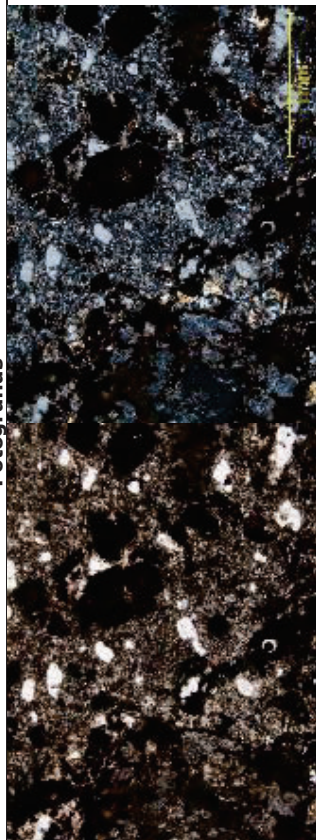
Nombre de la muestra:		2014-GZ-09	
Localidad:		0676613 / 9542213	
Textura:		Proclástica: Cinerfíca	
Microestructuras:		Cristales fracturados. Fenocristales y matriz orientados levemente	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Hornblenda	25	Incolora, alto relieve, euhedral, fracturada, extinción paralela, biaxial negativo	Fracturada, no posee un color característico de la hornblenda, espacitos con forma cristal
Plagioclasa	5	Subhedrales a euhedrales, fracturada, maclado Carlsbad	
Clinopiroxeno	5	Incoloro, extinción oblicua, alto relieve, algunas presenta macía simple.	
Matriz	55		
Matriz:		Hornblenda 30%; Plagioclasa 10%; Sericita 30%; Clinopiroxeno 20; Ortopiroxeno 10%	
Secundarios:		Óxidos 2%; Min. Opacos 5%; Epidota 3%	
Nombre:		Toba cristalina	

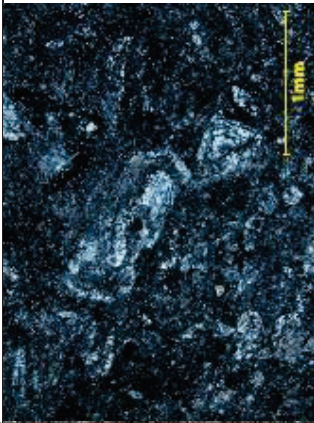
Fotografías




Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cristales de plagioclasa en una matriz de ceniza y microcristales de plagioclasa y piroxeno.

Nombre de la muestra: 2014-GZ-10.1		Fotografías			
Localidad:	0668213 / 9536442				
Textura:	Porfídica: Pilotaxítica				
Microestructuras:	Desordenada				
Descripción de la muestra		 <p>Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izq.: tomada con luz normal polarizada; imagen der.: con nicoles cruzados. Cristales subhedrales de hornblenda, piroxenos, en una matriz de vidrio volcánico con microcristales de plagioclasa alterada a arcilla.</p>			
Mineral	Vol %			Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	30			Incolora, euhedral a subhedral, macla polisintética, zonada	
Ortopiroxeno	10			Incoloro, subhedral, extinción paralela, birrefringencia de 1º orden	Inter-creciendo con clinopiroxeno
Hornblenda	15			Verde, relieve alto, subhedral	
Matriz:	25				
Matriz:	Plagioclasa 70%; Arcilla 10%; Vidrio volcánico 20%				
Secundarios:	Opacos 10%; Epidota 10%				
Nombre:	Andesita				

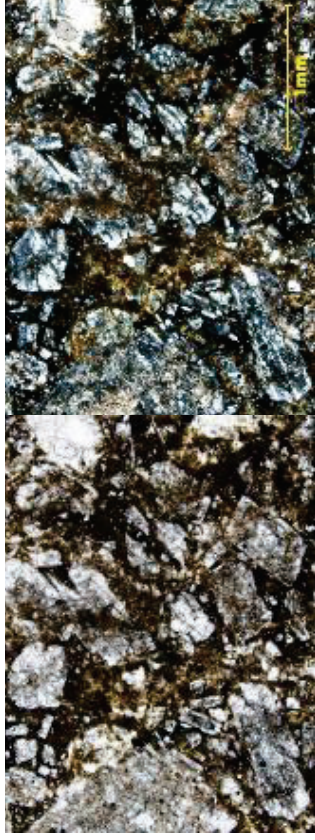
Nombre de la muestra: 2014-GZ-11.2		Fotografías			
Localidad:	0668055 / 9536487				
Textura:	Piroclástica				
Microestructuras:	Con cristales levemente orientados				
Descripción de la muestra		 <p>Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cristales orientados de opacos y una matriz de ceniza y microcristales.</p>			
Mineral	Vol %			Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	5			Incoloro a gris, relieve bajo, zonada	
Cuarzo	20			Incoloro, anhedral, relieve bajo, extinción paralela	
Matriz:	60				
Matriz:	Cuarzo 40%; Arcilla 30%; Ceniza 30%				
Secundarios:	Opacos (Magnetita) 5%; Óxidos 10%				
Nombre:	Toba cristalina riolítica				

Nombre de la muestra: 2014-GZ-11.4		Fotografías			
Localidad: 0668055 / 9536487					
Textura: Porfídica: Pilotaxítica					
Microestructuras: Desordenada, en matriz se observa leve dirección de flujo magmático		<p>Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cristales de plagioclasas zonadas, opacos una matriz de microcristales de plagioclasa.</p>			
Descripción de la muestra				Propiedades	Otras observaciones
Mineral	Vol %			Incolora, subhedral, birrefringencia de 1° orden, macia polisintética, zonada	Se encuentra alterada
Plagioclasa (Posible Labradorita)	30				
Cuarzo	4			Incoloro, relieve bajo, anhedral, birrefringencia de 1° orden	Por recristalización hidrotermal
Hornblenda	7	Incolora a verde oscuro, birrefringencia de 1° y 2° orden, anhedrales alargados	Se encuentran alterados		
Matriz:	35	Microcristalina			
Matriz:		Plagioclasa 75%; Cuarzo 5%; Piroxeno 20%			
Secundarios:		Opacos 5%; Sericita 13%; Clorita 6%			
Nombre:		Andesita propilitizada			

Nombre de la muestra: 2014-GZ-12.2		Fotografías			
Localidad: 0662610 / 9536841					
Textura: Porfídica: acumulada					
Microestructuras: Leve dirección de los fenocristales de plagioclasa		<p>Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa plagioclasas alteradas, hornblenda, en una matriz compuesta de ceniza.</p>			
Descripción de la muestra				Propiedades	Otras observaciones
Mineral	Vol %			Incolora, macia polisintética, relieve bajo, birrefringencia de 1° orden, subhedrales	
Plagioclasa	42				
Hornblenda	5			Verde amarillento, anhedrales, clivaje en 60° y 120°, extinción paralela, birrefringencia de 2° orden	
Ortopiroxeno	10	Incoloro, birrefringencia de 1° orden, clivaje ortogonal, anhedral, extinción paralela.			
Clinopiroxeno	15	Incoloro, birrefringencia de 3° orden, extinción oblicua, anhedral.			
Matriz:		Arcilla 70%; Plagioclasa 30%			
Secundarios:		Opacos 3%			
Nombre:		Andesita alterada			

Nombre de la muestra:		2014-GZ-13		
Localidad:		0662468 / 9537248		
Textura:		Porfírica: Porfídica		
Microestructuras:		Desordenada		
Descripción de la muestra				
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones	
Plagioclasa (Andesina)	30	Incoloro, subhedrales, macla polisintética,		
Clinopiroxeno	20	Incoloro, subhedral, extinción oblicua, relieve alto		
Ortopiroxeno	5	Incoloro a amarillento, anhedrales a subhedrales, birrefringencia baja, relieve muy alto, clivaje ortogonal. Cristales con macla simple y polisintética	Fracturados, algunos cristales cloritizados	
Anfíbol	5	Incoloros con verde pálido a rojo muy pálido, sin pleocroismo, clivaje a lo largo del eje c, cristal anhedral acicular, extinción ondulatoria	Alterado posiblemente a clorita	
Matriz	29	Vidrio y microcristales		
Matriz:		Clorita 15%; Arcilla 30%; Calcita 20%; Plagioclasa 30%; Vidrio volcánico 5%		
Secundarios:		Opacos <1%; Óxidos <1%; Epidota 5%; Sericita 5%		
Nombre:		Andesita levemente cloritizada		

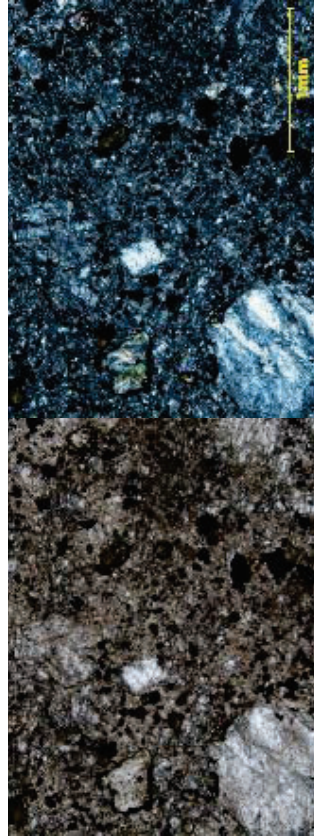
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicolés cruzados. Se observa epidota, plagioclasa, piroxenos, en una matriz de arcilla, calcita y plagioclasa.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-15.1		
Localidad:		0664023 / 9537596		
Textura:		Porfídica: pilotaxítica		
Microestructuras:		Desordenada		
Descripción de la muestra				
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones	
Plagioclasa	30	Incolora, relieve bajo, birrefringencia baja, macla polisintética, zonada en algunas.	Algunas presentan inclusiones de óxidos de Fe	
Hornblenda	5	Verde amarillento, con pleocroismo muy bajo, subhedral, birrefringencia alta, relieve alto,	Oxidación en los bordes, alteradas y con inclusiones	
Clinopiroxeno	5	Relieve alto, extinción oblicua, birrefringencia alta y media, subhedral	Oxidación en los bordes	
Ortopiroxeno	10	Relieve alto, extinción oblicua, birrefringencia baja, pleocroismo bajo	Algunos presentan birrefringencia anómala; extinción radial por alteración a clorita.	
Cuarzo	2	Incoloro, relieve bajo, extinción ondulatoria	Oxidación en los bordes.	
Matriz	40		Inclusiones, extinción ondulatoria debido a esfuerzos en la roca	
Matriz:		Plagioclasa 40%; Cuarzo 5%; Clinopiroxeno 20%; Ortopiroxeno 30%; Clorita 5%		
Secundarios:		Opacos 7%; Zircón 1%		
Nombre:		Andesita		

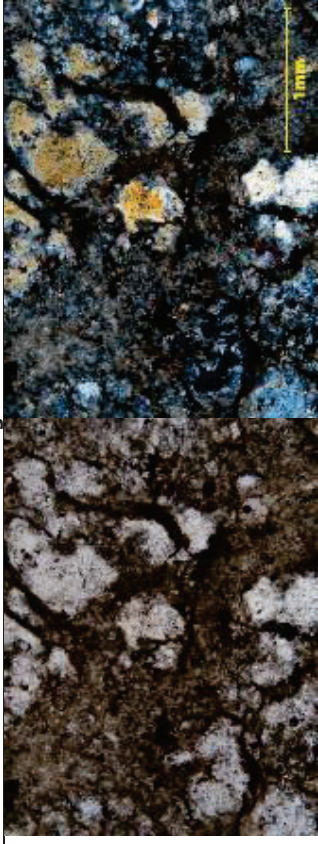
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicolés cruzados. Se observa un cristal de cuarzo anhedral, opacos, hornblenda oxidada con una corona de reacción, matriz de piroxenos y microcristales de plagioclasa.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-16	
Localidad:		0664746 / 9537146	
Textura:		Piroclástica	
Microestructuras:		Desordenada	
		Descripción de la muestra	
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	25	Incoloro, relieve bajo, extinción ondulatoria	
Anfíbol	2	Verde amarillento, con pleocroísmo muy bajo, subhedral, birrefringencia alta, relieve alto,	
Plagioclasa	15	Incolora, relieve bajo, birrefringencia baja, macla polisintética, zonada en algunas.	
Matriz	22		
Matriz:		Vidrio volcánico alterada a arcilla 100%	
Secundarios:		Opacos 1%; Sericita 10%; Óxidos 5%; Epidota 20%	
Nombre:		Toba cristalina altamente meteorizada de composición riolítica	

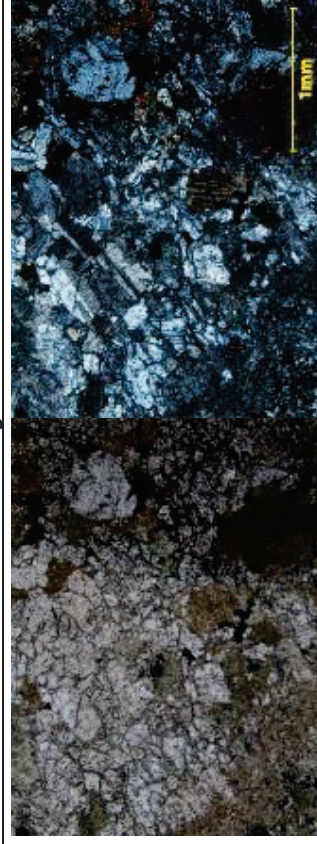
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa plagioclasa epidotizadas, una matriz compuesta en su mayoría de arcilla.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-17	
Localidad:		0665445 / 9536891	
Textura:		Fanerítica: Panidiomorfa	
Microestructuras:		Desordenada	
		Descripción de la muestra	
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Hornblenda	20	Anhedral, pleocórica, verde claro a verde oscuro, subhedral a anhedral	alterada
Plagioclasa	36	Euhedral a subhedral, macla Carlsbad, relieve bajo	
Microclina	15	Incoloro, relieve bajo, maclado	
Nefelina	1	Incoloro, uniaxial negativa	
Cuarzo	3	Incoloro, uniaxial positivo, extinción ondulatoria	
Secundarios:		Opacos (Pirita, Magnetita) 10%; Sericita 5%; Epidota 10%	
Nombre:		Monzonita	

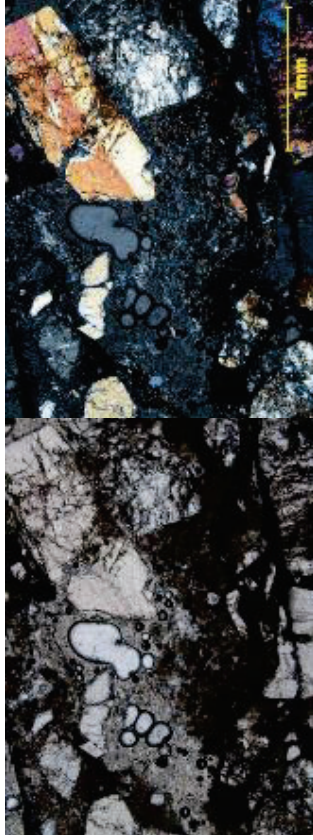
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa fenocristales de plagioclasas, anfíboles con alta birrefringencia, feldespato potásico con macla simple.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-18.2	
Localidad:		0666047 / 9537268	
Textura:		Piroclástica: Tufítica	
Microestructuras:		Desordenados, porosa	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	40	Incoloro, bajo relieve, birrefringencia de 1° orden, cristales subredondeados esqueléticos, extinción paralela	Con inclusiones fluidales, fracturados, algunos presentan birrefringencia alta anómala por el grosor de la lámina.
Plagioclasa	15	Incoloro, relieve bajo, birrefringencia 2° orden (lámina gruesa), zonada en algunos cristales, euhedral a subhedral	
Microclina	5	Incoloro, macla simple, relieve bajo subhedral	
Sanidina	10	Incoloro, macla enrejillada, relieve bajo	
Matriz	25		
Matriz:	Arcilla 30%		
Secundarios:	Opacos 1%; Sericita 4%		
Nombre:	Toba retrabajada de composición riolítica		

Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa fenocristal de feldespato potásico con alta birrefringencia (lámina gruesa) con macla simple, cuarzo anhedral, matriz compuesta en su mayoría de arcilla por alteración de la plagioclasa.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-19	
Localidad:		0666053 / 9537422	
Textura:		Piroclástica: Tuffítica	
Microestructuras:		Leve orientación de los cristales y matriz	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Clinopiroxeno	3	Incoloro, relieve muy alto, birrefringencia de 2° y 3° orden, extinción oblicua, subhedral a anhedral.	
Ortopiroxeno	3	Incoloro, relieve muy alto, birrefringencia de 1° orden, extinción paralela, clivaje ortogonal, subhedral	
Hornblenda	10	Incoloro, relieve medio a alto, extinción paralela, birrefringencia de 2° orden, macla polisintética	Algunos cristales se encuentran cloritizados
Plagioclasa (Andesina)	20	Incoloro, subhedral, birrefringencia de 1°, relieve bajo, macla polisintética, subhedral	Se encuentra alterada
Líticos	27	Rocas extrusivas andesíticas con plagioclasa y hornblenda, clastos angulosos	
Matriz	25		
Matriz:		Plagioclasa (Andesina?) 35%; Ceniza/Arcilla 57%; Clinopiroxeno 3%; Sericita 5%	
Secundarios:		Opacos 7%; Óxidos 2%; Clorita 3%	
Nombre:		Toba lítica de composición andesítica posible proplitización	

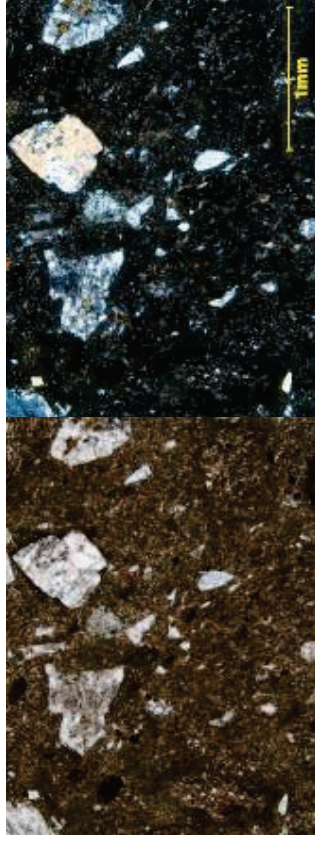
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa un cristal de clinopiroxeno con altos colores de interferencia, plagioclasa, opacos, un lítico, matriz compuesta de ceniza y microcristales.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-20.1	
Localidad:		0666039 / 9537781	
Textura:		Piroclástica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	5	Incoloro a verde muy pálido, relieve bajo, clivaje ortogonal, extinción paralela, pleocroismo desde muy bajo a alto rojo a rosado, birrefringencia de 1° orden	Posible Hipersteno debido al pleocroismo y relieve en algunas muestras.
Cuarzo	7	Incoloro, relieve bajo	
Feldespato potásico	5		
Líticos ígneos y sedimentarios	10	Líticos ígneos faneríticos y sedimentarios laminados	
Matriz	47		
Matriz:		Ceniza 60%; Vidrio 40%	
Secundarios:		Opacos 2%; Óxidos <1%; Epidota 3%; Clorita 20%	
Nombre:		Toba cristalina-vitrea riodacítica cloritizada	

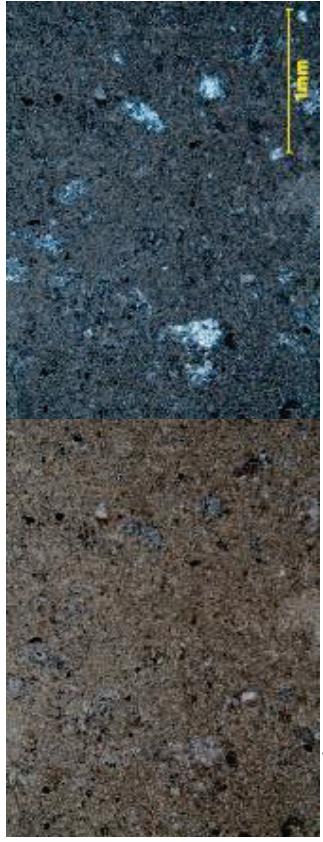
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cristales de feldespato potásico, en matriz compuesta de ceniza y vidrio volcánico.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-20.2	
Localidad:		0666039 / 9537781	
Textura:		Piroclástica: Tufítica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	6	Incolora, macla simple, relieve bajo	Cristales líticos
Cuarzo recristalizado en líticos	2	Incoloros a café amarillento pálido, anhedrales, birrefringencia de 1° orden	Con inclusiones, fracturados
Líticos faneríticos y porfiríticos	3	Líticos de composición ácida con textura fanerítica con microclina	
Matriz	84		
Matriz:		Vidrio volcánico 50%; Arcilla 50%	
Secundarios:		Opacos 2%; Óxidos <1%; Clorita 2%	
Nombre:		Toba vítrea silicificada de composición intermedia	

Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa matriz de ceniza y vidrio volcánico, con fenocristales de plagioclasa.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-21	
Localidad:		0664962 / 9541781	
Textura:		Piroclástica: Cinerítica	
Microestructuras:		Orientación de los fenocristales y matriz	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Hornblenda	5	Verde oscuro, subhedral esquelético, pleocroísmo medio, birrefringencia de 2° orden, relieve medio a alto	
Clinopiroxeno	10	Incoloro, relieve alto, birrefringencia de 2° orden, macla, simple con zonación en algunos cristales, extinción oblicua	
Plagioclasa	3	Incolora, subhedral, macla polisintética, birrefringencia de 1° orden	
Matriz	77	Micro-cristalina	
Matriz:		Clinopiroxeno 35%; Plagioclasa 15%; Arcilla 25%; Óxidos 15%	
Secundarios:		Opacos 5%	
Nombre:		Toba cristalina andesítica	

Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa arcilla, plagioclasa, una matriz compuesta de microcristales.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-22	
Localidad:		0665531 / 9542600	
Textura:		Porfídica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina)	23	Incolora, euhedrales a subhedrales, macla polisintética,	Algunos presentan coronas de reacción de piroxeno
Hornblenda	23	Verde pálido, relieve alto, extinción paralela, birrefringencia de 3° orden, pleocroísmo alto	
Cuarzo	3	Incoloro, anhedral	
Ortopiroxeno	5	Incoloro, relieve muy alto, extinción paralela	
Clinopiroxeno	8	Incoloro, relieve muy alto, extinción oblicua, macla simple, birrefringencia alta de 2° y 3° orden, subhedrales	
Matriz	30	Micro-cristalina	
Matriz:		Plagioclasa 60%; Piroxeno 20%; Vidrio volcánico 20%	
Secundarios:		Opacos 5%; Óxidos 3%	
Nombre:		Andesita hornbléndica hipoabisal	

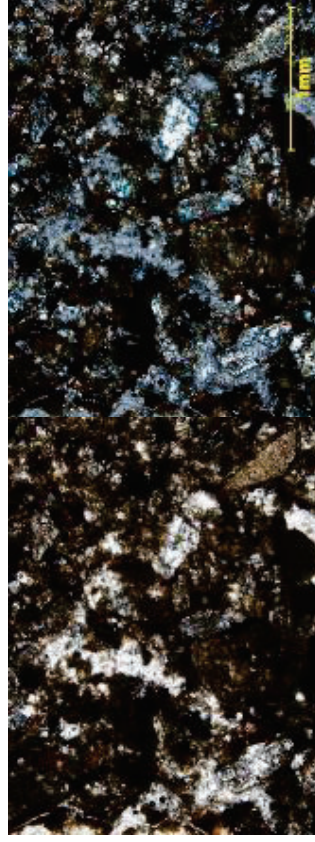
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa fenocristales de plagioclasa (lámina gruesa), hornblenda subhedral (cristales pequeños), matriz compuesta de una pasta de microcristales alterados.

Nombre de la muestra:		2014-GZ-23	
Localidad:		0665614 / 9542809	
Textura:		Piroclástica tuftica	
Microestructuras:		Porosa	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Clinopiroxeno	15	Incoloro, relieve alto, birrefringencia de 2° orden, extinción oblicua	
Hornblenda	5	Verde, subhedral a anhedral, relieve bajo, pleocroísmo bajo, birrefringencia de 2° orden	
Plagioclasa (Oligoclasa)	10	Incoloro, euhedral a subhedral, macla polisintética, zonada, birrefringencia de 2° orden (lámina gruesa), relieve bajo	
Cuarzo	3	Incoloro, relieve bajo, anhedral, birrefringencia de 1° orden	
Matriz	49		
Matriz:		Arcilla 50%; Vidrio volcánico 35%; Piroxeno 15%	
Secundarios:		Opacos 8%; Zircón 10%	
Nombre:		Toba de riodacita (Matriz del Miembro Brechas Superiores)	

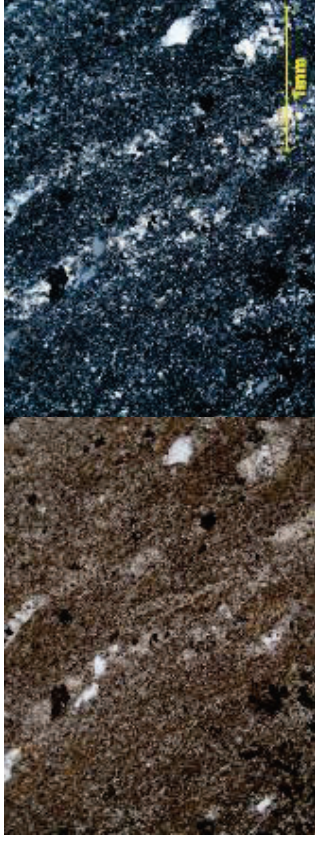
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa clinopiroxenos con alta birrefringencia, plagioclasa maclada y alterda, matriz compuesta de arcilla y vidrio volcánico.

Nombre de la muestra:		2015-GZ-01	
Localidad:		0666222 / 9537621	
Textura:		Piroclástica: Eutaxítica	
Microestructuras:		Orientación de los cristales y matriz (Bandeada)	
		Descripción de la muestra	
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Feldespato potásico	20	Incoloro, bajo relieve, birrefringencia de 1° orden,	
Anfíbol	5	Incoloro a verde muy pálido, cristales anhedrales esqueléticos, relieve medio a alto, extinción paralela, birrefringencia de 1° a 2° orden	Se encuentra alterado
Plagioclasa	10	Incoloro, relieve bajo	
Cuarzo	4	Incoloro, relieve bajo, extinción ondulatoria,	
Líticos	5	Líticos igneos alterados	
Matriz	48	Matriz con microcristales y arcilla	
Matriz:		Arcilla 50%; Feldespato 45%; Plagioclasa 5%	
Secundarios:		Opacos 8%	
Nombre:		Toba de composición riolítica con propilitización, retrabajada	

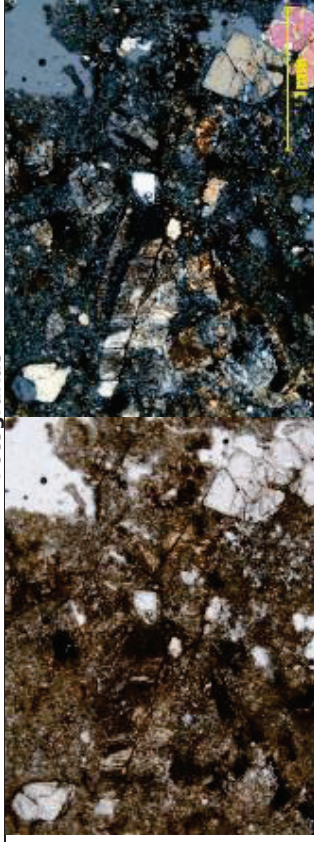
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa una matriz con microcristales de feldespato y plagioclasa orientados.

Nombre de la muestra:		2015-GZ-02	
Localidad:		0669264 / 9540543	
Textura:		Fanerítica granuda hipidiomorfa con alto grado de meteorización	
Microestructuras:		Masiva	
		Descripción de la muestra	
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	31	Incoloro, anhedral	
Plagioclasa	15	Gris a incoloro, subhedral a anhedral	Con alta alteración a arcilla
Feldespato potásico	10	Incoloro a gris, macla Carlsbad	
Secundarios:		Opacos 1%; Óxidos 3%; Arcilla 40%	
Nombre:		Granito con alto grado de meteorización alterado a arcilla	

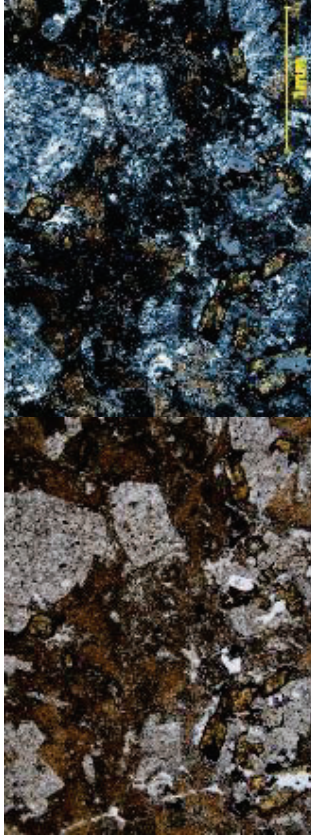
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cristales de cuarzo y feldespato potásico (lámina gruesa); con arcilla que se puede confundir como matriz debido al alto grado de meteorización y alteración de la muestra.

Nombre de la muestra:		2015-GZ-03	
Localidad:		0669434 / 9538841	
Textura:		Porfídica: Adcumulada	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Labradorita)	40	Incoloro, relieve bajo, birrefringencia de 1° orden, macla polisintética, extinción en macla 33°, relieve bajo	
Cordierita	1	Incoloro gris, birrefringencia de 1° orden, subhedral hexagonal, macla característica	
Clinopiroxeno	5	Incoloro, relieve muy alto, anhedrales esqueléticos, extinción oblicua, clivaje ortogonal	
Anfibol (Hornblenda)	8	Verde amarillento, subhedral, relieve alto, birrefringencia de 2° orden, bordes de oxidación	Cristales alterados a clorita y epidota, con bordes de oxidación
Matriz	30		
Matriz:		Plagioclasa 60%; Arcilla 40%	
Secundarios:		Opacos 3%; Óxidos 10%; Epidota 1%; Clorita 2%	
Nombre:		Andesita basáltica por el tipo de plagioclasa	

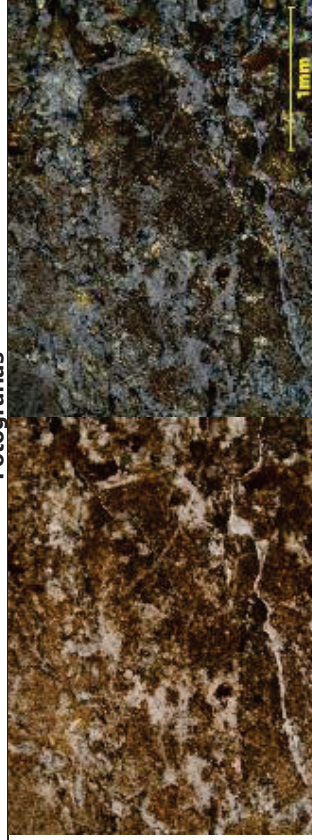
Fotografías



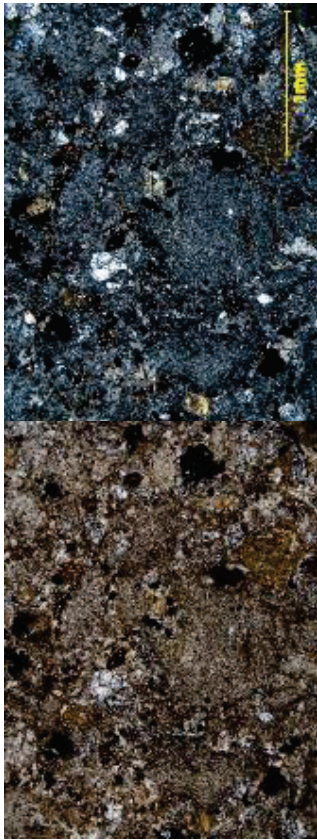
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa plagioclasas zonadas, hornblendas subhedral alteradas con coronas de reacción epidota reemplazando a algunos cristales de anfíbol, una matriz compuesta microcristales de plagioclasa y arcilla como producto de alteración.

Nombre de la muestra:		2015-GZ-4.2	
Localidad:		0674496 / 9533006	
Textura:		Piroclástica arenosa-lutítica	
Microestructuras:		Orientación de estratificación	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	25	Incoloro, relieve bajo, birrefringencia de 1° orden, macla polisintética, extinción en macla, relieve bajo	
Matriz	60		
Matriz:		Arcilla 100%	
Secundarios:		Clorita 15%	
Nombre:		Toba vítrea re TRABAJADA de composición ácida	

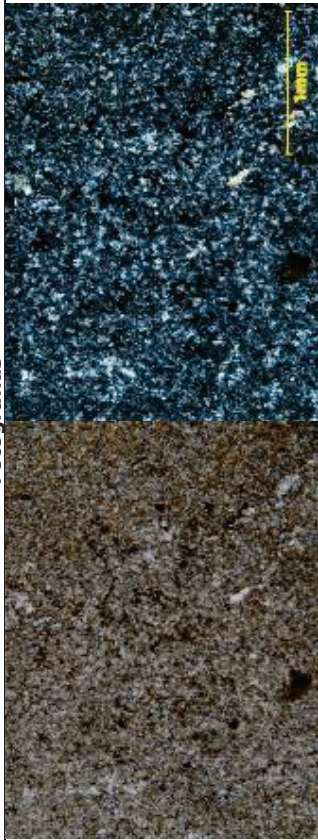
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa una toba muy alterada a arcilla y clorita, sin cristales distinguibles.

Nombre de la muestra: 2015-SC-1.2		Fotografías	
Localidad: 0661030 / 9546832			
Textura: Porfídica: pilotaxítica			
Microestructuras: Desordenada, zonada; tiene leve orientación de los fenocristales y la matriz			
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Ortopiroxeno	5	Incoloro, relieve alto, birrefringencia 1° orden, extinción paralela	Inclusiones fluidales
Clinopiroxeno	15	Incoloro, relieve muy alto, subhedral, birrefringencia de 1° orden y de 3° orden en otros, macia simple	
Hornblenda	5	Verde pálido, bajo pleocroísmo, birrefringencia de 2 y 3 orden debido a alteración	Alterada a clorita y epidota
Cuarzo	5	Incoloro, relieve medio a alto (anómalo), birrefringencia de 1° orden, uniaxial positivo, subhedral, fracturado	algunos cristales similar a un ortopiroxeno por la fractura ortogonal y un relieve alto anómalo
Plagioclasa (Andesina)	20	Incoloro, relieve bajo, subhedral, macia polisintética, zonada en algunos cristales	
Matriz:	35		
Secundarios:		Plagioclasa 30%; Óxidos 20%; Ortopiroxeno 15%; Arcilla 20%; Vidrio 15%	
Nombre:		Opacos 4%; Óxidos 3%; Clorita 5%; Epidota 3%	
		Andesita alterada, lava brechosa con cristales clásticos en matriz	

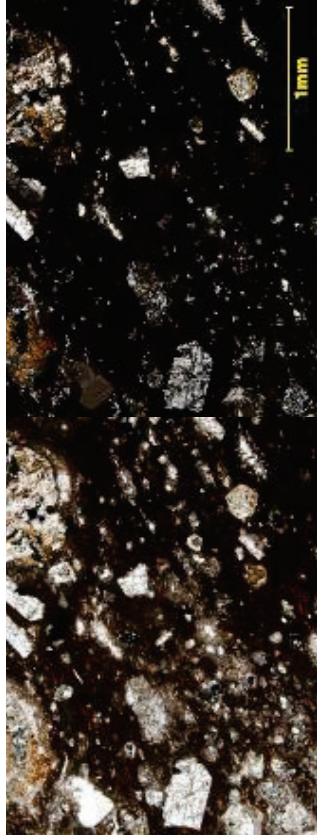
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa plagioclasa alterada a clorita-epidota, opacos, matriz con microcristales y arcilla.

Nombre de la muestra: 2015-SC-02		Fotografías	
Localidad: 0667111 / 9538966			
Textura: Piroclástica: Cinerítica			
Microestructuras: Orientación de los cristales			
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Ortopiroxeno	10	Incoloro, birrefringencia media baja, extinción recta, alto relieve,	
Clinopiroxeno	10	Incoloro, alto relieve, subhedrales	
Matriz:	71		
Secundarios:		Plagioclasa 20%; Ortopiroxeno 40%; Clinopiroxeno 40%	
		Óxidos 5%; Min. Opacos (Magnetita) 3%; Zircón 1%	
Nombre:		Toba cristalina piroxénica	

Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa una toba con microcristales de plagioclasa en la matriz.

Nombre de la muestra:		2015-SC-03	
Localidad:		0663587 / 9547281	
Textura:		Piroclástica: Eutaxítica	
Microestructuras:		Cristales orientados, matriz bandeada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina)	20	Incolora, euhedrales, birrefringencia de 1° orden, macia polisintética	
Clinopiroxeno	10	Incolora, subhedrales relieve alto, birrefringencia de 2° orden, extinción oblicua	
Ortopiroxeno	5	Incoloro, relieve alto, subhedrales, macia simple, extinción paralela	
Lílicos volcánicos	2	Textura porfirítica, andesitas alteradas a clorita	
Matriz	54		
Matriz:	Ceniza 60%; Plagioclasa 40%		
Secundarios:	Óxidos 5%; Min. opacos 1%; Calcita 3%		
Nombre:	Toba lítica tamaño de grano lapilli (bandeada)		

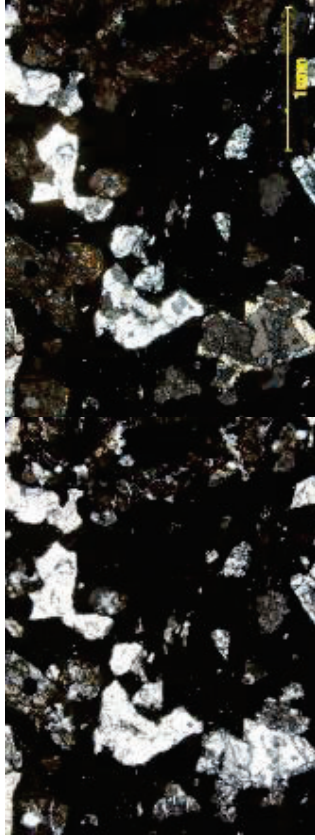
Fotografías



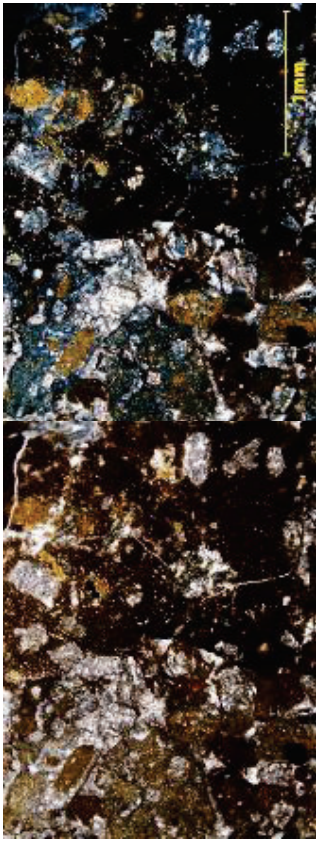
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cristales orientados de plagioclasas y líticos en una matriz de ceniza y óxidos.

Nombre de la muestra:		2015-SC-06	
Localidad:		0665519 / 9542559	
Textura:		Piroclástica cinerítica	
Microestructuras:		Levemente direccionada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	15	Incolora, subhedral, macia polisintética, birrefringencia de 1° orden	
Ortopiroxeno	7	Incoloro, extinción recta, birrefringencia de 1 y 2° orden, relieve alto, clivaje ortogonal.	
Hornblenda	5	Verde amarillento, relieve alto, clivaje de 60°, birrefringencia de 3° orden, subhedral.	
Lílicos ígneos	30	Incoloros, textura fanerítica panidiomorfa, con cristales de Feldespato potásico, posible granito	
Matriz	43		
Matriz:	Plagioclasa 30%; Vidrio 70%		
Nombre:	Toba lítica con clastos ígneos		

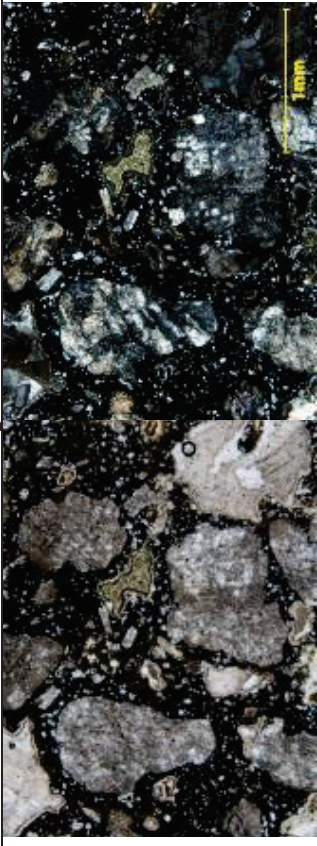
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa líticos ígneos faneríticos con feldespato y plagioclasas, matriz compuesta de vidrio volcánico.

Nombre de la muestra: 2015-SC-07		Fotografías	
Localidad:	0665630 / 9542809		
Textura:	Arenosa - arcillosa		
Microestructuras:	Arena media		
Cemento	Arcilloso		
	Descripción de la muestra		
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Homblenda	10	Verde pálido, translúcido, relieve alto euhedrales, birrefringencia de 2° orden	
Calcita	15	Maclada, incolora, microcristalina	
Plagioclasa	30	Incolora, euhedral a subhedral, macia polisintética, birrefringencia de 1° orden	
Ortopiroxeno	10	Incoloro a verdes amarillentos (producto de epidotización), cristales redondeados	
Matriz:	Calcita 15%; Arcilla 10%		
Secundarios:	Oxidos 5%; Epidota 5%		
Nombre:	Grawaca con componentes volcánicos, poco transportada		

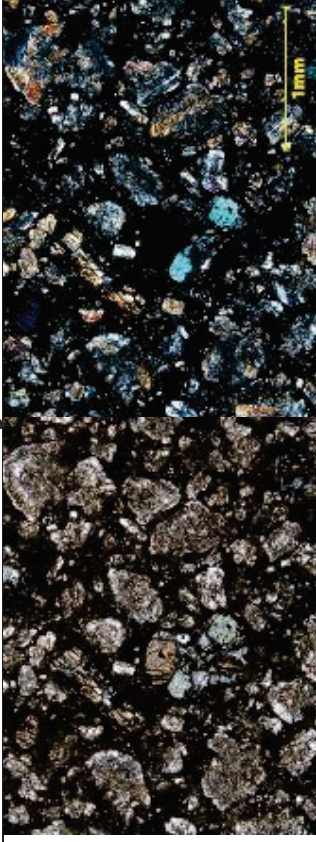
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cristales epidotizados de homblenda, plagioclasa, epidota, matriz con óxidos y arcilla como producto de alteración.

Nombre de la muestra: 2015-SC-09		Fotografías	
Localidad:	0656070 / 9539600		
Textura:	Piroclástica: Cimerítica		
Microestructuras:	Desordenada, líticos con foliación leve		
	Descripción de la muestra		
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	20	Incolora, relieve bajo, euhedral a subhedral	
Piroxeno	5	Incoloro, subhedral, relieve alto, macia simple	
Líticos ígneos	25	Textura fanerítica panidiomorfa, incoloros, con plagioclasas, feldespato potásico, anfíbol. Cristales euhedrales a subhedrales, líticos subredondeados a subangulares. Posibles clastos de granito	Clastos con posible metamorfismo de contacto
Matriz	40		
Matriz:	Plagioclasa 20%; Arcilla 40%; Ceniza 40%		
Secundarios	Clorita 10%		
Nombre:	Toba lítica con tamaño de líticos grandes tipo lapilli		

Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Líticos ígneos, clorita como mineral secundario, matriz con microcristales de plagioclasa y ceniza.

Nombre de la muestra:		2015-SC-10	
Localidad:		0669013 / 9536280	
Textura:		Porfírica seriada	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina)	45	Incolora, relieve bajo, euhedral a subhedral, macla polisintética, birrefringencia de 1° orden, zonada	
Ortopiroxeno (Hipersteno)	3	Incoloro, subhedral, relieve alto, pleocroísmo, extinción recta	
Hornblenda	36	Verde amarillenta pálida, relieve alto, clivaje basal de 120°, birrefringencia de 2° y 3° orden, pleocroísmo.	
Matriz	15		
Matriz:		Plagioclasa 55%; Arcilla 25%; Vidrio volcánico 20%	
Secundarios:		Opacos 1%	
Nombre:		Andesita hornbléndica hipoabisal	

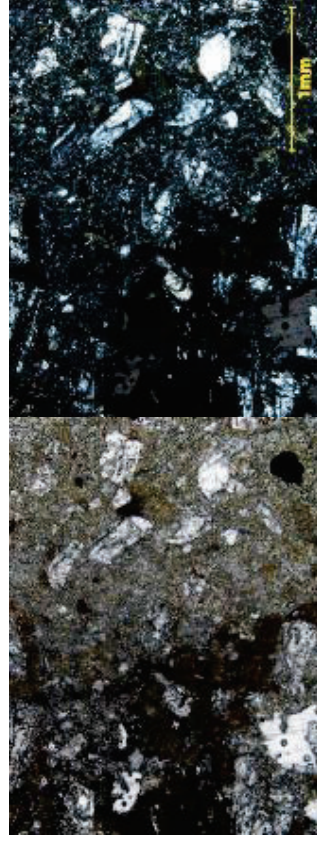
Fotografías



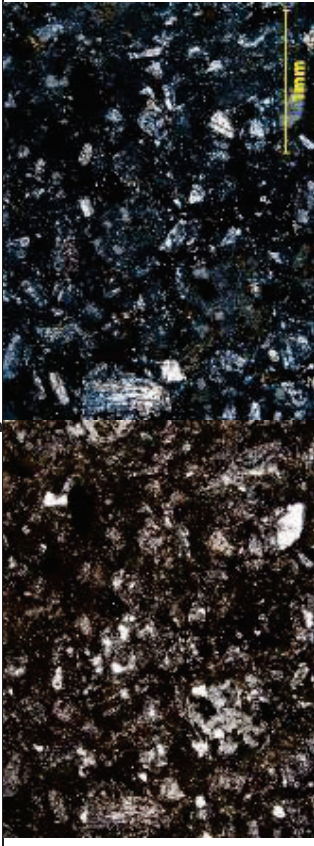
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa una andesita con cristales de clinopiroxenos con alta birrefrincencia, plagioclasa alterada a arcilla, con macla polisintética y zonaciones, matriz compuesta de vidrio volcánico alterada a arcilla.

Nombre de la muestra:		2014-SC-11	
Localidad:		0667174 / 9538389	
Textura:		Brechoide piroclástica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina-Oligoclasa)	30	Incolora, cristales euhedrales y subhedrales, macla polisintética, zonada	
Hornblenda	15	Verde pálido, clivaje basal, birrefringencia de 2° orden, relieve alto, pleocroísmo, cristales subhedrales y anhedral	
Líticos volcánicos	8	Líticos de composición andesítica con plagioclasa y hornblenda	
Matriz	43		
Matriz:		Ceniza-arcilla 50%; Plagioclasa 35%; Vidrio volcánico 15%	
Secundarios:		Opacos 2%; Clorita 2%	
Nombre:		Lapilli tobáceo de composición intermedia-ácida	

Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales de plagioclasa maclada, clorita como producto de alteración, opacos. Matriz de ceniza y vidrio volcánico.

Nombre de la muestra: 2015-SC-12		Fotografías	
Localidad:	0667174 / 9538389		
Textura:	Piroclástica: cinerítica		
Microestructuras:	Desordenada		
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina)	45	Incoloro, relieve bajo, macia polisintética	
Hornblenda	6	Verde pálido, relieve alto, clivaje basal de 120°, birrefringencia de 2° orden	
Clinopiroxeno	13	Incoloro, extinción oblicua, relieve alto, birrefringencia de 2° orden	
Matriz	34		
Matriz:	Arcilla 30%; Piroxeno 60%		
Secundarios:	Opacos 1%; Óxidos <1%		
Nombre:	Toba piroxénica de composición andesítica		

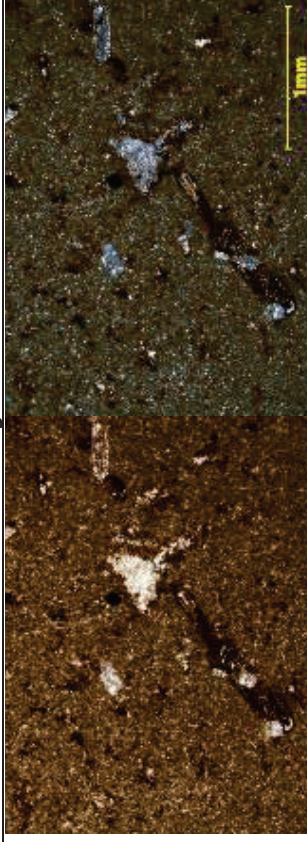
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales de plagioclasa subhedral y anhedral alterados a arcilla, opacos, matriz con arcilla

Nombre de la muestra: 2015-SC-13		Fotografías	
Localidad:	0666236 / 9537633		
Textura:	Piroclástica eutaxítica		
Microestructuras:	Leve orientación de los cristales		
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	14	Incoloro, relieve bajo, macia polisintética	
Clinopiroxeno	5	Incoloro relieve alto	
Matriz	80		
Matriz:	Piroxeno 70%; Arcilla 30%		
Secundarios:	Opacos 1%		
Nombre:	Toba cristalina		

Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales de piroxeno y plagioclasa en una matriz arcillosa.

Nombre de la muestra:		2015-SC-14	
Localidad:		0664962 / 9539687	
Textura:		Piroclástica eutaxítica	
Microestructuras:		Cristales levemente direccionados	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Hornblenda	2	Relieve alto, verde amarillento, birrefringencia de 2° orden, extinción recta	
Plagioclasa	10	Incoloro, subhedral, macla polisintética, algunos cristales zonados	
Clinopiroxeno	4	Incoloro, subhedral, relieve alto, macla simple	
Matriz	76		
Matriz:		Plagioclasa 50%; Piroxeno 20%; Arcilla 30%	
Secundarios:		Óxidos 7%; Opacos 1%	
Nombre:		Toba cristalina de composición andesítica	

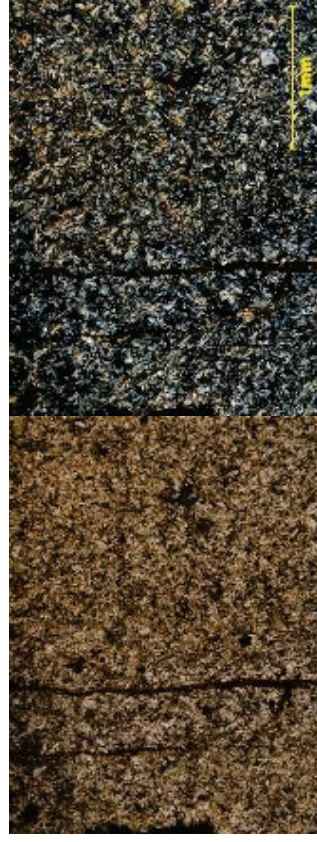
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristal alargado de hornblenda, plagioclasas alteradas, opacos y óxidos en una matriz de ceniza.

Nombre de la muestra:		2015-SC-15.2	
Localidad:		0666820 / 9544316	
Textura:		Afanítica pilotáxica	
Microestructuras:		Microcristales orientados	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	3	Incolora, relieve bajo, subhedral, macla polisintética, zonada	
Hornblenda	2	Verde pálido, relieve alto, subhedral, clivaje de 60 grados	
Clinopiroxeno	1	Incoloro, relieve alto, extinción oblicua	
Ortopiroxeno	2	Incoloro, relieve alto, macla simple, birrefringencia de 2° orden, extinción recta	
Matriz	89		
Matriz:		Plagioclasa 60%; Piroxeno 30%; Vidrio volcánico 10%	
Secundarios:		Opacos 1%; Arcilla 2%	
Nombre:		Andesita basáltica lávica	

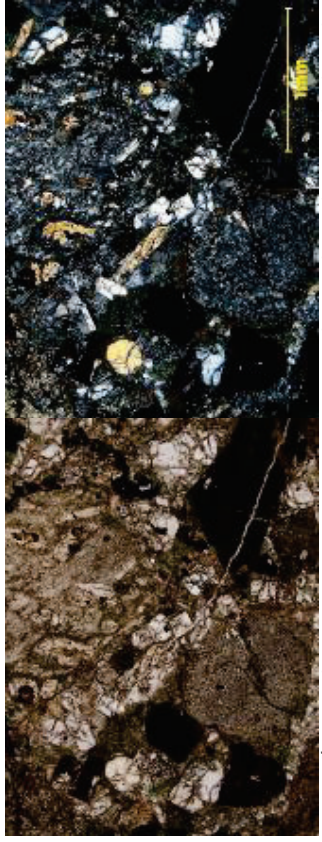
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Microcristales de plagioclasa con alta birrefringencia (lámina gruesa). Se observa fracturas rellenas de óxidos.

Nombre de la muestra:		2015-SC-16	
Localidad:		0666169 / 9539233	
Textura:		Piroclástica brechoide	
Microestructuras:		Leve orientación de cristales	
		Descripción de la muestra	
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Feldespato de potasio (Ortoclasa)	15	Incoloro, birrefringencia de 1° orden,	
Plagioclasa (Albita-Oligoclasa)	35	Incolora, euhedral a anhedral, maca polisintética Carlsbad, relieve bajo, birrefringencia de 1° orden	
Hornblenda	2	Verde pálido, anhedral, relieve alto, clivaje basal	
Líticos	17	Clastos angulosos, origen volcánico, composición andesítica, proplilitizados	
Matriz	13		
Cuarzo	<1	Incoloro, anhedral, relieve bajo.	
Matriz:		Epidota 20%; Ceniza 40%; Arcilla 40%	
Secundarios:		Opacos 2%; Epidota 5%	
Nombre:		Lapilli tobáceo composición riodacítica epidotizado	

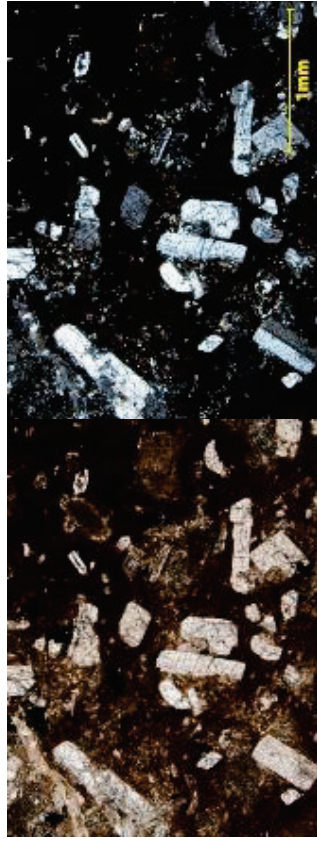
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. En la parte derecha inferior se observa un litico posiblemente volcánico, cristales de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo (centro izquierda). Matriz con epidota y ceniza.

Nombre de la muestra:		2015-SC-17	
Localidad:		0666169 / 9539233	
Textura:		Piroclástica cinerítica	
Microestructuras:		Cristales orientados en parte, matriz indica dirección de flujo	
		Descripción de la muestra	
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina)	25	Incolora, euhedral a subhedral, zonada	
Feldespato potásico	5	Incolora, maca simple, birrefringencia de 1° orden	
Hornblenda	1	Verde pálido, pleocroísmo, anhedral, birrefringencia de 2° orden, relieve alto	
Líticos	20	Grises, origen volcánico composición andesítica	
Matriz	41	Rojiza	
Matriz:		Ceniza 80%; Vidrio volcánico 20%	
Secundarios:		Opacos 5%; Círcón 1%; Cuarzo secundario 3%	
Nombre:		Toba lítica-cristalina de composición intermedia-ácida, silicificada en las fracturas	

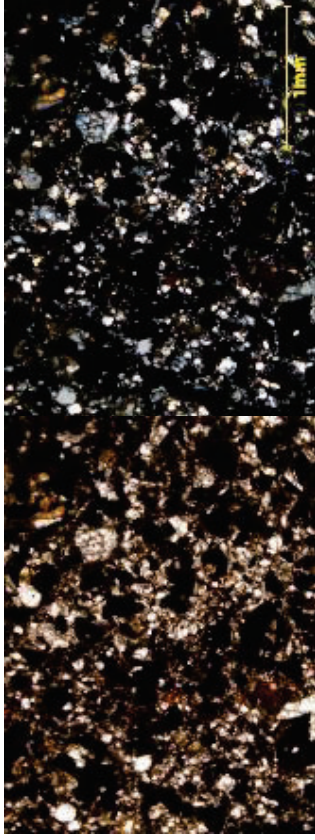
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa feldespato potásico, plagioclasa con maca polisintética, matriz con óxidos, ceniza y vidrio volcánico.

Nombre de la muestra:		2015-SC-19	
Localidad:		0657522 / 9537613	
Textura:		Piroclástica cinerítica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Oligoclasa)	30	Incolora, maclado, subhedral a anhedral.	
Cuarzo	<1	Incoloro, anhedral a subhedral, relieve bajo	
Sanidina	4		
Ortopiroxeno	5	Incoloro, relieve alto, birrefringencia de 1° orden, extinción recta	
Anfíbol	3	Verde amarillento, relieve moderadamente alto, anhedral	
Líticos	18	Líticos de origen volcánico de composición andesítica alterados con plagioclasa	
Matriz	35		
Matriz:		Plagioclasa 35%; Vidrio volcánico 65%	
Secundarios:		Opacos 2%; Zircón 2%	
Nombre:		Toba cristalina-lítica riodacítica	

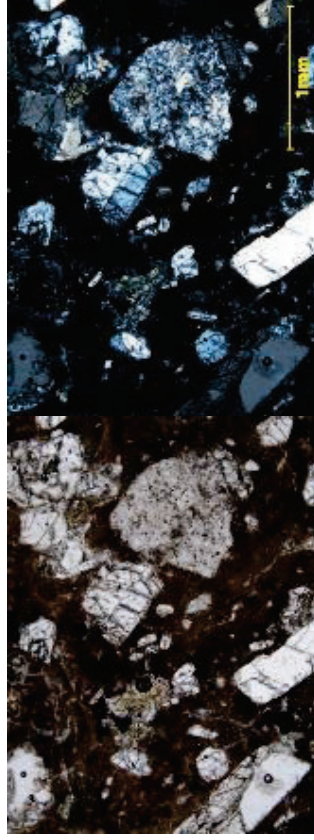
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales de feldespatos potásico anhedral, anfíboles verdosos, cristales de cuarzo redondeados, matriz compuesta de vidrio volcánico.

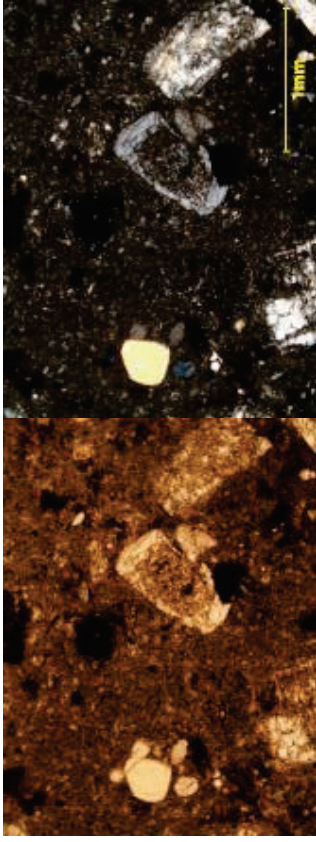
Nombre de la muestra:		2015-SC-20.2	
Localidad:		0665402 / 9542043	
Textura:		Piroclástica	
Microestructuras:		Matriz indica dirección de flujo con cristales orientados	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina)	30	Incolora, euhedral a subhedral, macla polisintética, zonada	
Líticos	15	Grises y negros, alterados a arcilla, origen volcánico de composición, angulares.	
Feldespatos de potasio (Sanidina)	10	Incoloro, macla Carlsbad, subhedral	
Matriz	40		
Matriz:		Clinopiroxeno 3%; Ceniza 35%; Vidrio volcánico 10%; Óxidos 40%; Plagioclasa 15%	
Secundarios:		Clorita 5%	
Nombre:		Toba lítica-cristalina de composición ácida	

Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa sanidina con macla simple, líticos de origen volcánico. Matriz de ceniza volcánica. Cristales orientados al igual que la matriz.

Nombre de la muestra: 2015-SC-21		Fotografías	
Localidad:	0670336 / 9535682		
Textura:	Piroclástica Rudítica brechoide		
Microestructuras:	Desordenada		
Cemento:	Ferruginoso-silíceo		
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	5	Incoloro, anhedral redondeado, relieve bajo	
Plagioclasa (Andesina, Oligoclasa)	30	Incolora, macia polisintética, zonada, euhedral a subhedral	
Líticos (en contacto con la matriz de la brecha)	10	Clastos grandes, riodacita	
Matriz:	45	Geniza 70%; Óxidos 30%	
Secundarios:	Opacos 10%		
Nombre:	Matriz de Brecha volcánica retrabajada de composición riodacítica (Matriz del Miembro Brechas Superiores)		

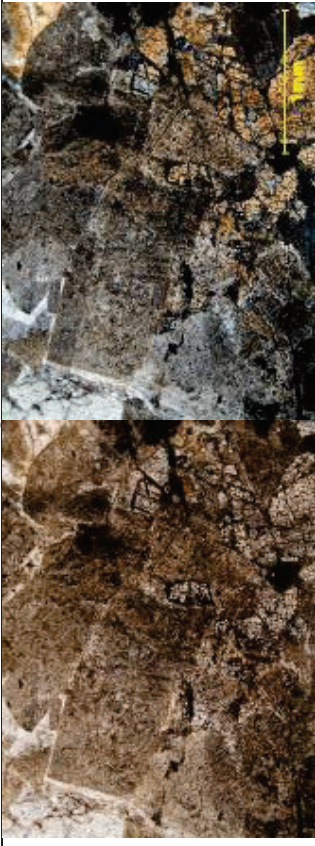


Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicols cruzados. Se observa plagioclasa alterada y zonada, cristal redondeado de cuarzo, opacos, matriz con microcristales y ceniza volcánica.

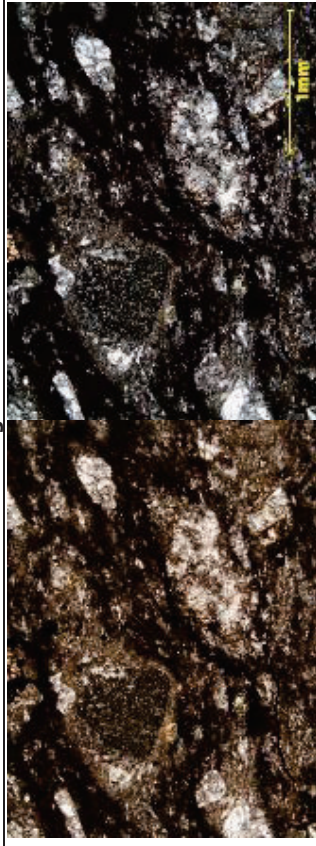
Nombre de la muestra: 2015-SC-22		Fotografías	
Localidad:	0669638 / 9539440		
Textura:	Arenosa brechoide		
Microestructuras:	Desordenada, porosa		
Cemento:	Arcilloso		
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	15	Incoloro	
Plagioclasa	30	Gris, subhedral a anhedral	Se encuentra alterada a arcilla
Feldespatos potásico	40	Incoloro, relieve bajo	
Anfibol	1	Incoloro, relieve alto, birrefringencia de 3° orden	
Matriz:	5		
Secundarios:	Arcilla 30%		
Nombre:	Clorita 2%; Arcilla 7%		
	Arcosa		



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicols cruzados. Se observa cristales subhedral de feldespatos potásico, cuarzo redondeado, matriz compuesta de arcilla, clorita como producto de alteración.

Nombre de la muestra: 2015-SC-26		Fotografías	
Localidad:	0666779 / 9543342		
Textura:	Fanerítica panidiomorfa		
Microestructuras:	Desordenada		
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	30	Incoloro, anhedral, relieve bajo	
Plagioclasa	35	Gris a incoloro, euhedral, relieve bajo, zonada	Cristales alterados a arcilla
Homblanda	5	Verde pálido, subhedral, relieve alto, birrefringencia de 3° orden	
Ortoclasa	20	Incoloro, subhedral, birrefringencia de 1° orden, macla simple	
Secundarios:	Arcilla 7%; Opacos 3%		
Nombre:	Monzo-granito alterado		

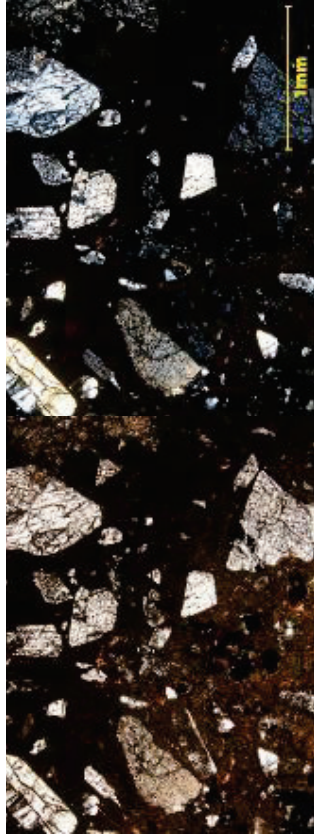
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cristales euhedrales de plagioclasa alterada, ortoclasa similar a la plagioclasa pero con mayor color de birrefringencia (derecha inferior), arcilla como producto de alteración.

Nombre de la muestra: 2015-SC-29		Fotografías	
Localidad:	0665566 / 9542326		
Textura:	Piroclástica eutaxítica		
Microestructuras:	Matriz y cristales orientados indicando la dirección de flujo		
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Feldespato potásico	20	Incoloro, birrefringencia de 1° orden, macla simple	
Plagioclasa	10		
Clinopiroxeno	15	Incoloro, relieve alto, extinción oblicua	
Anfibol	5	Incoloro, clivaje basal, relieve alto, extinción paralela, coronas de reacción de clinopiroxeno	
Matriz	45		
Matriz:	Vidrio 30%; Ceniza 50%; Óxidos 20%		
Secundarios:	Opacos 3%; Epidota 2%		
Nombre:	Toba cristalina ignimbrítica de composición ácida		

Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa matriz y cristales orientados plagioclasa alterada. Matriz oxidada.

Nombre de la muestra:		2015-SC-31	
Localidad:		0660260 / 9547100	
Textura:		Piroclástica brechoide	
Microestructuras:		Matriz y cristales orientados	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Oligoclasa)	27	Incolora, euhedral a subhedral relieve bajo, macla polisintética, zonada	Alterados a arcilla
Feldespato potásico	10	Incoloro, subhedral, maclada	
Líticos	20	Líticos piroclásticos de toba cristalina de composición andesítica, con plagioclasa y ortopiroxeno. Líticos de origen ígneo de composición andesítica alterados	
Clinopiroxeno	1	Relieve alto, incoloro, birrefringencia de 3° orden, anhedral	
Matriz	35		
Matriz:		Ceniza 60%; Vidrio 40%	
Secundarios:		Opacos 5%; Epidota 2%	
Nombre:		Toba lítica-cristalina de composición ácida	

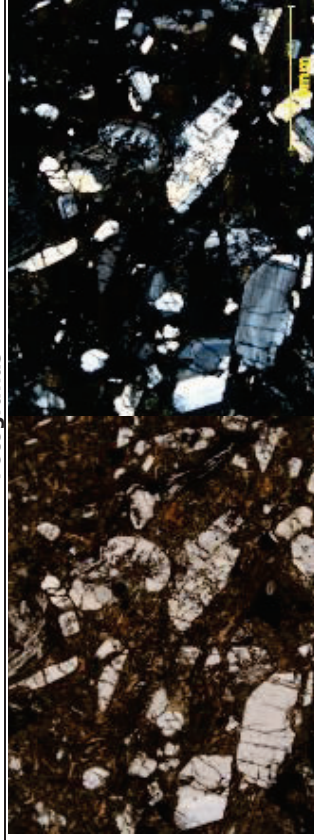
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales de feldespato potásico, plagioclasa subhedral, opacos, matriz con epidota, óxidos y ceniza volcánica.

Nombre de la muestra:		2015-SC-32	
Localidad:		0660709 / 9546130	
Textura:		Piroclástica brechoide	
Microestructuras:		Cristales y matriz orientados	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina)	25	Incolora, euhedral a subhedral, macla polisintética, zonada	
Feldespato potásico	5		
Líticos	20	Tamaño de clastos centimétrico, volcánicos andesíticos cristales alterados a arcilla y clorita, con plagioclasa	
Matriz	40		
Matriz:		Arcilla 10%; Ceniza 35%; Vidrio 55%	
Secundarios:		Zircón 1%; Epidota 7%; Opacos 2%	
Nombre:		Lapilli tobáceo lítico de composición intermedia-ácida	

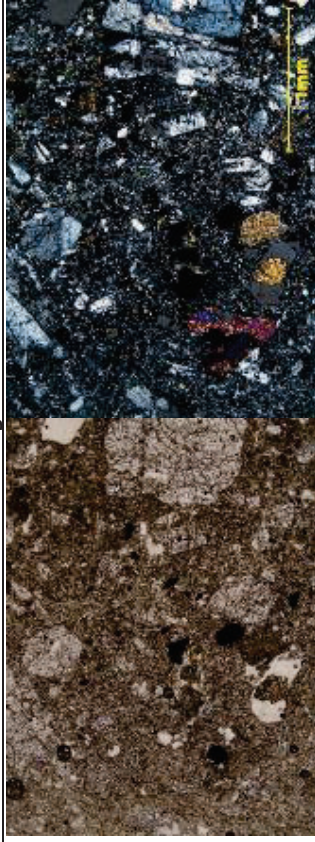
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales de plagioclasas macladas, cristal de feldespato potásico, matriz con epidota, arcilla y ceniza.

Nombre de la muestra:		2015-SC-34	
Localidad:		0666520 / 9541568	
Textura:		Piroclástica cinerítica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina)	25	Incolora, macla polisintética	
Hornblenda	20	Verde amarillento, relieve alto, euهدral a anhedral redondeada,	
Clinopiroxeno	3	Incoloro, relieve alto, birrefringencia de 3° orden	
Matriz	40		
Matriz:		Ceniza 20%; Vidrio volcánico 25%; Plagioclasa 45%; Hornblenda 10%	
Secundarios:		Opacos 9%; Epidota 3%	
Nombre:		Toba cristalina hornbléndica andesítica	

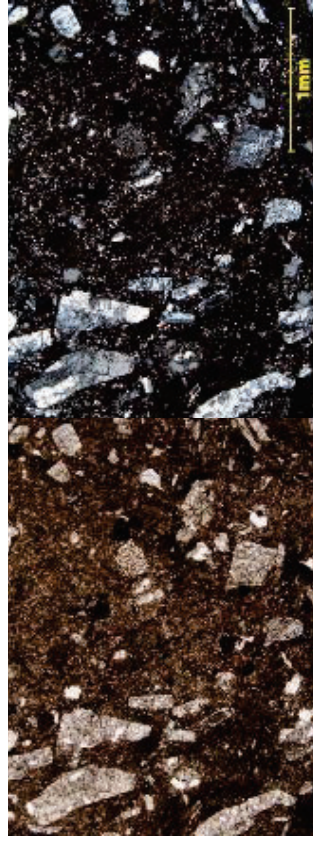
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales alargados de hornblenda con alta birrefringencia, opacos, plagioclasa zonada, y macla polisintética, matriz compuesta de vidrio volcánico y microcristales.

Nombre de la muestra:		2015-SC-35	
Localidad:		0664972 / 9541552	
Textura:		Piroclástica eutaxítica	
Microestructuras:		Matriz y cristales orientados	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Feldespato potásico (Sanidina)	20	Incoloro, birrefringencia de 1° orden	
Hornblenda	7	Verde pálido, relieve alto	
Líticos	15	Líticos de tobas riolíticas ignimbríticas	
Plagioclasa (Albita)	15		Alterada a arcilla
Matriz	28	Rojiza	
Matriz:		Vidrio 40%; Ceniza 20%; Óxidos 20%	
Secundarios:		Opacos 5%; Arcilla 10%	
Nombre:		Toba lítica de composición ácida	

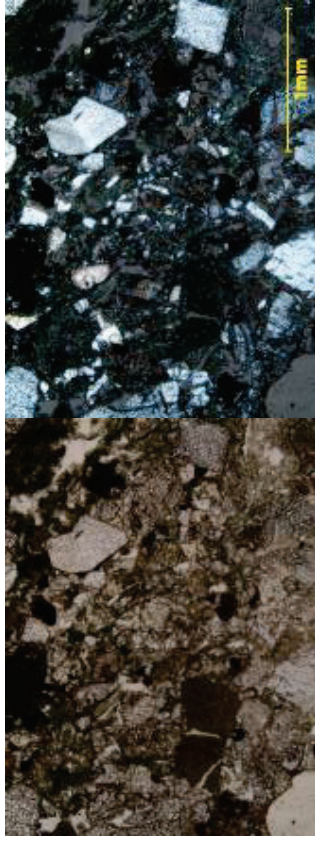
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa en el parte superior izquierda cristales de sanidina, opacos, plagioclasa maclada, matriz de ceniza y vidrio volcánico.

Nombre de la muestra:		2015-SC-36	
Localidad:		0664618 / 9543096	
Textura:		Piroclástica tuffítica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina, Oligoclasa)	15	Incolora, subhedral, birrefringencia de 1° orden	
Feldespato potásico	5	Incoloro, subhedral	
Líticos	25	Clastos angulares de composición dacítica, andesítica	
Hornblenda	10	Verde pálido, relieve alto, birrefringencia de 1° grado	
Cuarzo	5	Incoloro, anhedral	
Matriz	15		
Matriz:		Ceniza 50%; Vidrio volcánico 50%	
Secundarios:		Arcilla 7%; Opacos 3%; Clorita 15%; Calcita 1%	
Nombre:		Lapilli tobáceo lítico de composición andesítica – dacítica	

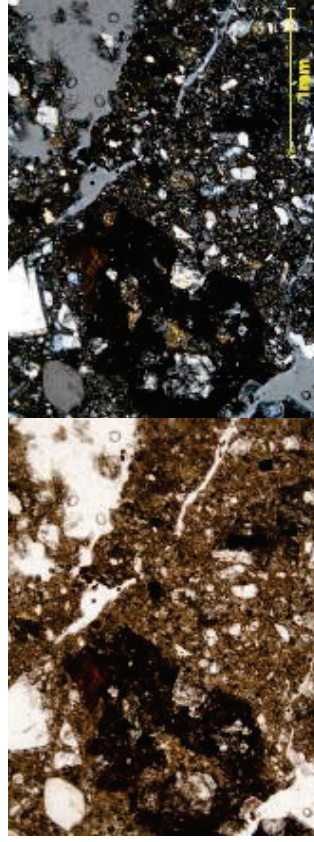
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa cristales de feldespato potásico, líticos volcánicos, hornblenda alterada (parte inferior derecha). Matriz con clorita y ceniza.

Nombre de la muestra:		2015-NB-4	
Localidad:		0672747 / 9547850	
Textura:		Piroclástica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Oligoclasa)	20	Incoloro, subhedral, macla polisintética, zonada	
Cuarzo	7	Incoloro, anhedral, relieve bajo	
Hornblenda	10	Amarillo verdoso	
Feldespato potásico	5	Incoloro, subhedral	
Líticos	5	Líticos subredondeados, composición andesítica, afaníticos, porfiríticos	
Matriz	43		
Matriz:		Ceniza 50%; Vidrio volcánico 50%	
Secundarios:		Opacos 1%; Epidota 9%	
Nombre:		Toba cristalina (Matriz Brechas Superiores) composición dacítica	

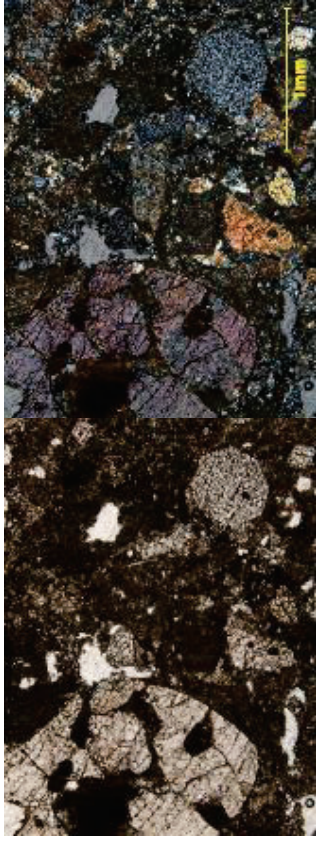
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Fenocristal de hornblenda alterada, feldespato potásico, y microcristales de plagioclasa en una matriz compuesta de ceniza y vidrio volcánico.

Nombre de la muestra:		2015-NB-11	
Localidad:		0672940 / 9541835	
Textura:		Arenosa-lutítica	
Microestructuras:		Desordenada	
Cemento:		Arcilloso	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	25	Incoloro, anhedral, cristales redondeados	
Plagioclasa	20	Gris, euhedral a anhedral, macla polisintética, alterado	Alterado a arcilla
Feldespato potásico	10		
Matriz	34		
Matriz:	Arcilla 90%; Feldespato potásico 10%		
Secundarios:	Opacos 1%; Arcilla 10%		
Nombre:	Arenisca tobácea retrabajada		

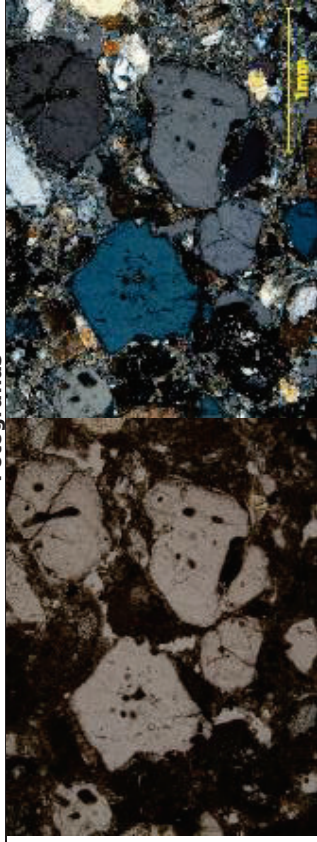
Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Se observa una toba muy alterada a arcilla y clorita, sin cristales distinguibles.

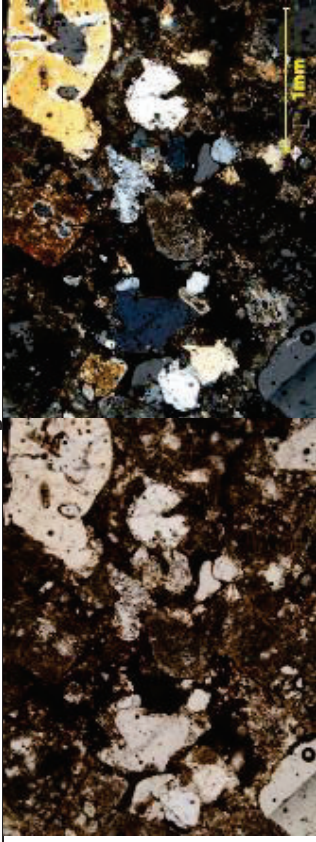
Nombre de la muestra:		2015-NB-12.2	
Localidad:		0672031 / 9541912	
Textura:		Fanerítica granuda hipidiomorfa	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	35	Incoloro,	
Plagioclasa (Albita)	25	Gris, alterada, macla polisintética	
Feldespato potásico	15	Incoloro, macla simple, relieve bajo, birrefringencia de 1º orden	
Secundarios:	Calcita 3%; Arcilla 20%; Opacos 2%		
Nombre:	Granito meteorizado alterado a arcilla		

Fotografías



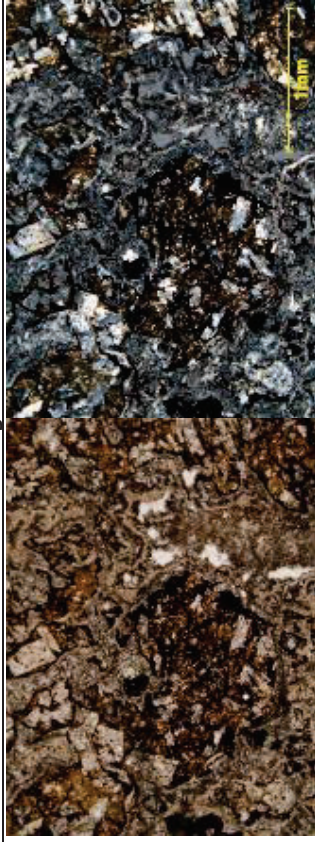
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales anhedral de cuarzo con alta birrefringencia (lámina gruesa), feldespato potásico, plagioclasa, arcilla que se confunde como matriz debido al alto grado de alteración.

Nombre de la muestra: 2015-NB-13		Fotografías	
Localidad: 0670926 / 9542744			
Textura: Fanerítica subofítica			
Microestructuras: Desordenada			
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	35	Incoloro, anhedral	
Plagioclasa (Albita)	25	Gris, macla polisintética	Alterada a arcilla
Feldespato potásico	14	Gris, relieve bajo, macla en rejilla	
Antifol	1	Incoloro, birrefringencia de 2° orden	Alterado a epidota
Secundarios:	Arcilla 24%; Opacos 1%		
Nombre:	Granito con alto grado de meteorización alterado a arcilla		



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con colores cruzados. Cristales anhedral de cuarzo con alta birrefringencia (lámina gruesa), feldespato potásico, plagioclasa, arcilla que se confunde como matriz debido al alto grado de alteración.

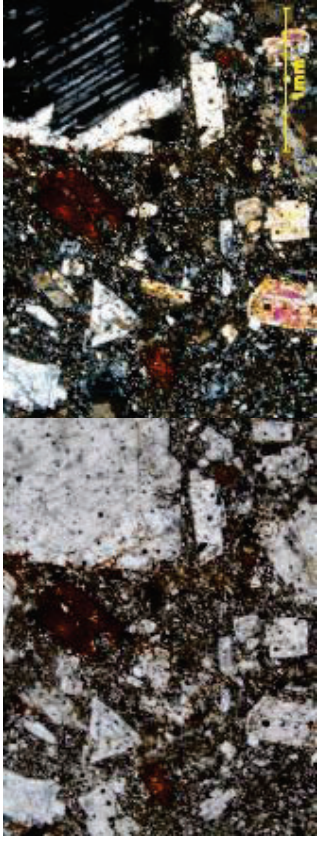
Nombre de la muestra: 2015-NB-17		Fotografías	
Localidad: 0673218 / 9549098			
Textura: Piroclástica			
Microestructuras: Desordenada			
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Clinopiroxeno	5	Incoloro, relieve alto, extinción oblicua	
Sanidina	10	Incoloro, relieve bajo, euhedral, macla Carlsbad, birrefringencia de 1° orden	
Líticos	20	Origen volcánico, angulares, de composición andesítica	
Plagioclasa	25	Incoloro, subhedral, maclado.	
Matriz	20		
Matriz:	Ceniza 100%		
Secundarios:	Calcita 5%; Cuarzo 7%; Clorita 8%		
Nombre:	Toba lítica de composición dacítica-riolítica		



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con colores cruzados. Se observa una toba con clorita, opacos, plagioclasa con cristales euhedrales y subhedrales.

Nombre de la muestra:		2015-CH-02	
Localidad:		0670627 / 9530571	
Textura:		Porfírica; porfídica	
Microestructuras:		Cristales y matriz con dirección preferencial	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Hornblenda	10	Verde pálido a pardo rojizo, subhedral, extinción oblicua, relieve alto, birrefringencia de 2° y 3° orden, clivaje de 60 grados.	
Ortopiroxeno	5	Incoloro, relieve alto, macia simple, birrefringencia de 1° orden, extinción recta	
Plagioclasa (Andesina)	25	Incolora, colores de birrefringencia de 1°, relieve bajo, euhedral a subhedral, macia polisintética	
Clinopiroxeno	15	Incoloro, fenocristales grandes, macia simple, birrefringencia de 2° orden, extinción oblicua, relieve alto	
Matriz	45	Plagioclasa y piroxeno	
Matriz:		Plagioclasa 60%; Piroxeno 40%	
Nombre:		Andesita	

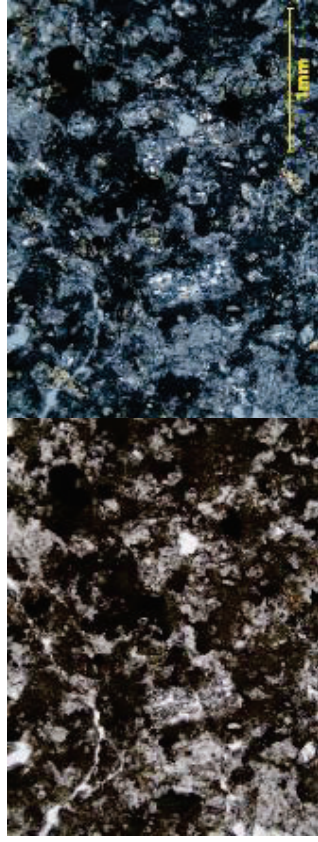
Fotografías



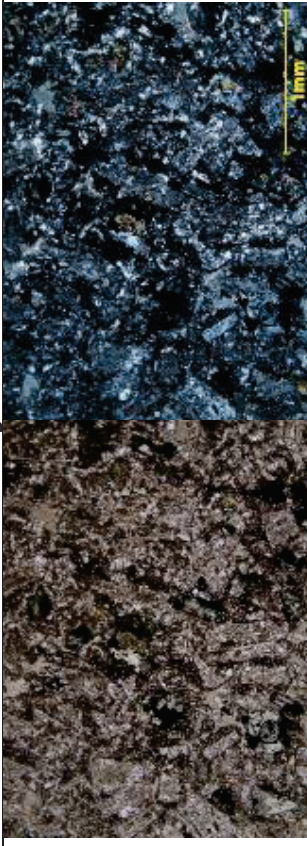
Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales de piroxeno, plagioclasa alterada con macia polisintética (esquina derecha superior), hornblenda oxidada, matriz con microcristales de plagioclasa.

Nombre de la muestra:		2015-CH-04	
Localidad:		0663457 / 9533804	
Textura:		Porfírica	
Microestructuras:		Desordenada	
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Anfibol	10	Verde pálido a pardo rojizo, subhedral, extinción oblicua, relieve alto, birrefringencia de 2° orden, clivaje paralelo	
Clinopiroxeno	20	Incoloro, fenocristales grandes, macia simple, birrefringencia de 2° orden, extinción oblicua, relieve alto	Alterado a clorita
Plagioclasa	15	Incolora, colores de birrefringencia de 1°, relieve bajo, euhedral a subhedral, macia polisintética	
Matriz	45	Arcilla 50%; Vidrio 50%	
Matriz:		Epidota 10%	
Secundarios:		Andesita propilitizada meteorizada	


Fotografías



Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales alterados de plagioclasa en una matriz alertada a arcilla.

Nombre de la muestra: 2015-CH-09		Fotografías	
Localidad: 0664449 / 9535184			
Textura: Porfírica			
Microestructuras: Desordenada			
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa	30	Incolora, birrefringencia de 1° orden, subhedral, zonada	
Piroxeno	5	Incoloro, relieve alto, euhedral, cara basal, birrefringencia de 1° orden	Alterado a epidota
Anfíbol	10	Incoloro,	Alterado
Matriz	23		
Matriz:	Plagioclasa 50%; Vidrio 50%		
Secundarios:	Epidota 15%; Arcilla 10%; Sericita 5%; Opacos 2%		
Nombre:	Andesita epidotizada		

Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales euhedrales de plagioclasa con macla, opacos, epidota y arcilla, matriz de vidrio volcánico y microcristales de plagioclasa.

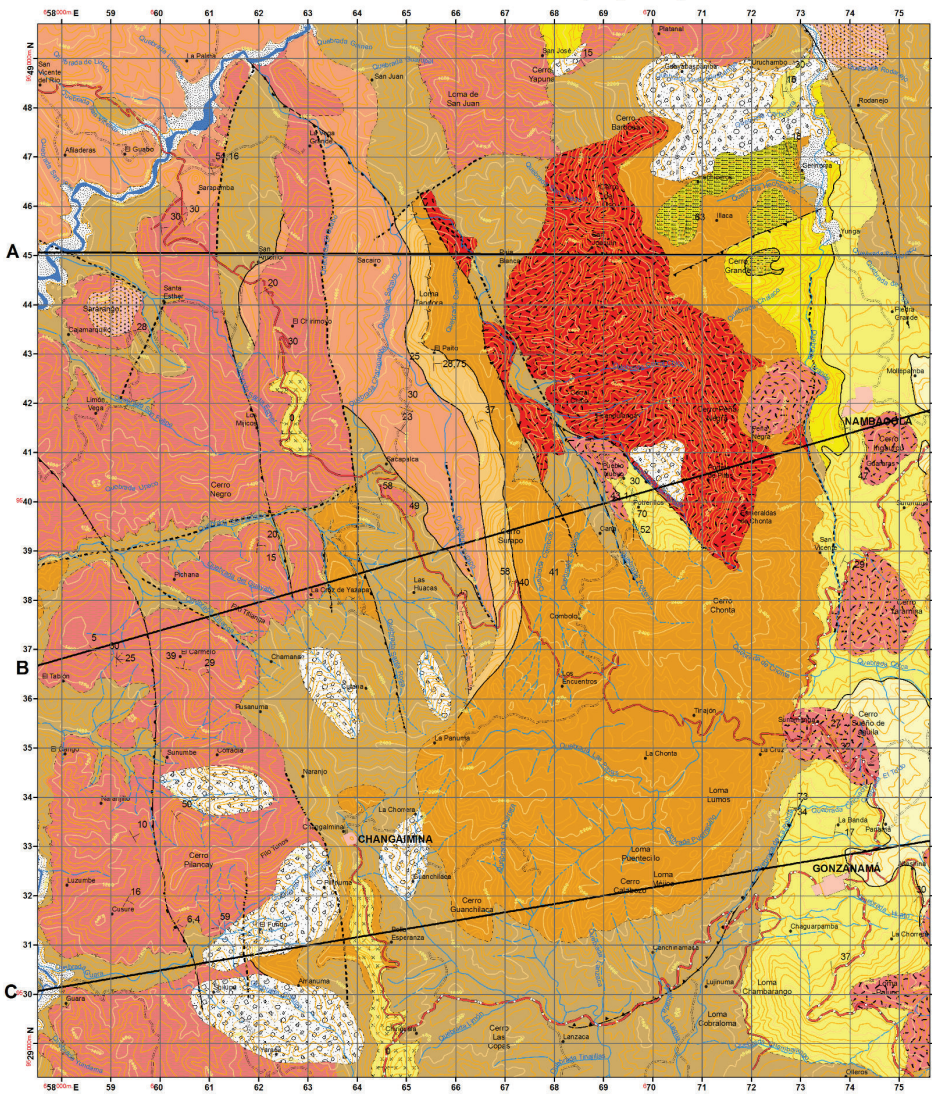
Nombre de la muestra: P.Yz-01		Fotografías	
Localidad: 0664031 / 9538333			
Textura: Porfírica porfídica			
Microestructuras: Desordenada			
Descripción de la muestra			
Mineral	Vol %	Propiedades	Otras observaciones
Plagioclasa (Andesina, Oligoclasa)	75	Incolora, relieve bajo, macla polisintética, zonada	
Hornblenda	10	Verde oscuro, birrefringencia de 2° orden, relieve alto	
Matriz	9		
Matriz:	Vidrio 70%; Plagioclasa 30%		
Secundarios:	Opacos 1%; Calcita 5%		
Nombre:	Andesita hipoabisal (parte del Miembro Brechas Superiores)		

Fotografías tomadas con aumento 2,5x; imagen izquierda tomada con luz normal polarizada; imagen derecha tomada con nicoles cruzados. Cristales alargados de hornblenda, plagioclasas con macla polisintética, opacos, matriz con microcristales de plagioclasas.

Anexo 15

Anexo 15 Mapa Geológico de la zona de estudio, escala 1:50.000 (Sobre Adjunto).

Anexo: Mapa geológico del área de estudio



Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500 000 0000
 False Northing: 10 000 000 0000
 Central Meridian: -81 00000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.00000
 Units: Meter

ESCALA 0 1 2 3 4 km

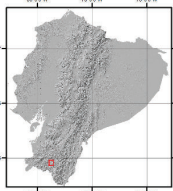
DATOS TOPOGRÁFICOS: INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR
 CARTAS TOPOGRÁFICAS DE CATACOCHEA, NAMBACOLA, GONZANAMÁ, CHANGAMIRINA. ESCALA: 1:50.000

LEYENDA

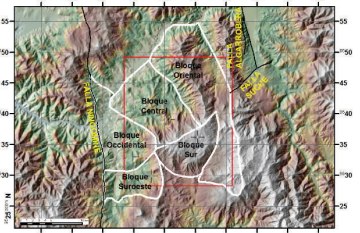
Edad	Miembros	Formación (Fm.)	Equivalente de la Fm. Quinara
CUATERNARIO	Terrazas aluviales Coluvial		
	Volcanismo Miooceno: Brechas volcánicas clasto soportada, brechas volcánicas matriz soportada, tobas blancas		
MIOCENO	MGzv	Gonzanamá Superior Volcánico: Brechas volcánicas	Fm. Gonzanamá
	MGzs	Gonzanamá Superior: Arcosas, lutitas, limos	
	MGzb	Gonzanamá Medio: Areniscas, limos, calizas	
	MGbz	Gonzanamá Basal: Conglomerados	
OLIGOCENO	OLBs	Miembro Brechas Superiores: Brechas volcánicas	Equivalente Intermedios de la Fm. Loma Blanca
	OLVc	Miembro Volcano-clástico: Brechas volcánicas, tobas	
	OLVs	Miembro Volcano-sedimentos: Conglomerados, brechas volcánicas, red-beds, areniscas, limos	
EOCENO	PMt	Miembro Tobas: Tobas, lapillis retrabajadas	Fm. Sacapalca
PALEOCENO	PScb	Miembro Sacapalca Basal: Andesitas	
CRETÁCICO	?	Unidad Bramaderos?: Aglomerados, tobas, intercalados con sedimentos turbiditos fosilíferos	
Cuepos intrusivos			
MIOCENO		Pórfido Mioceno	
OLIGOCENO		Intrusivo Palo Blanco: Granito, grano-diorita	
EOCENO		Pórfido Eoceno	

SIMBOLOGÍA GEOLOGICA		SIGNOS CONVENCIONALES	
Fallas	Medidas estructurales	Contactos	Signos convencionales
Normal	Diciencias	Discordancia intuido	Discordancia (En yrrym)
Inversa	Estiramiento	Discordancia observado	Curvas de nivel
Desplazamiento	Plano de plegue	Normal intuido	Población
		Normal observado	Riua
			Zona urbana
			Area de estudio

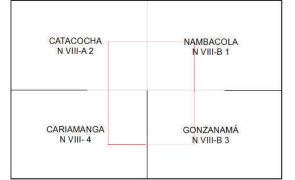
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:



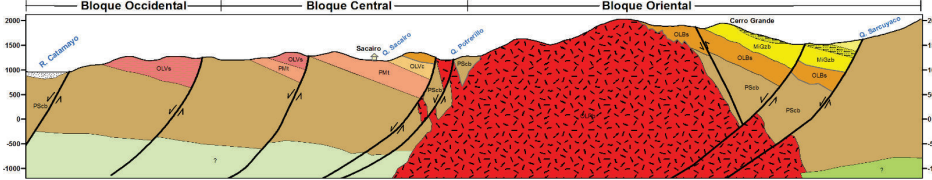
BLOQUES TECTÓNICOS



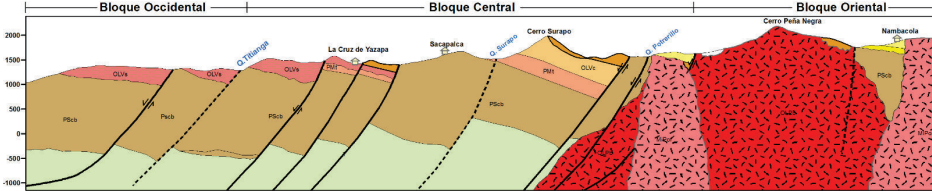
ÍNDICE DE CARTAS TOPOGRÁFICAS ESCALA 1:50.000



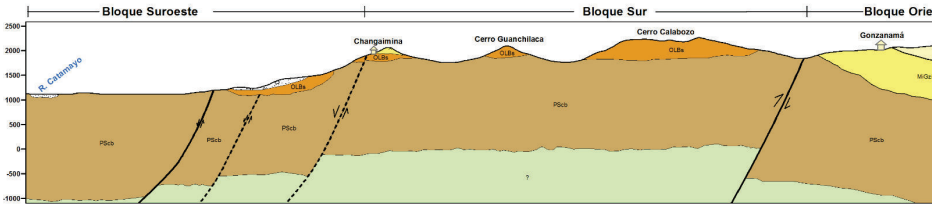
Perfil Geológico A-A'



Perfil Geológico B-B'



Perfil Geológico C-C'



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESTUDIO DE LA ESTRATIGRAFÍA Y DE LA EVOLUCIÓN MORFOESTRUCTURAL DE LA SECUENCIA VOLCANO-SEDIMENTARIA DE SACAPALCA AL NORTE DE CARIAMANGA - PROVINCIA DE LOJA

MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE SACAPALCA-NAMBACOLA-GONZANAMÁ

Elaboró: Diego Javier Vinuesa Heras Fecha: Febrero 2016 N°

Revisó: Ph.D. Pedro Reyes B. Escala: 1:50.000 **1**