



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*“La Universidad Católica de Loja”*

**ÁREA TÉCNICA**

TITULACIÓN DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

**“Validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos”**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

**AUTOR:** Medina Toledo, José Luis.

**DIRECTOR:** Tamay Granda, José Vidal, M.Sc.

LOJA - ECUADOR

2014

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Máster.

José Vidal Tamay Granda.

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS**

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: **“Validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos”**, realizado por Medina Toledo José Luis, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre de 2014

f). .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

"Yo Medina Toledo José Luis declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: **Validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos**, de la Titulación de Geología y Minas siendo el Ing. José Vidal Tamay Granda director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad"

f.....

Autor. Medina Toledo José Luis.

Cédula. 1900651017

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de fin de titulación va dedicada con mucho amor y cariño a las personas más importantes que la vida me ha regalado; a mis queridos padres José y Luz, a mis hermanos Alexander, Jacsson, a mis hermanas Ángela, Yuliana, Loreley y Ahinoa, a mis sobrinos Isaac y Xavier, y de manera muy especial a mi abuelita Mercedes (†) quienes me han motivado a alcanzar esta meta y a pesar de vuestras limitaciones económicas siempre han estado junto a mí, brindándome día a día su apoyo incondicional y desinteresado en la culminación de mi formación profesional.*

*El Autor.*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Técnica Particular de Loja y a los docentes investigadores de la Titulación de Geología y Minas, quienes compartieron generosa y cordialmente sus conocimientos y enseñanzas en todos estos años de formación académica, de corazón muchas gracias.

Al Ing. M.Sc. José Vidal Tamay Granda, director de tesis, docente y amigo, gracias por su tiempo, su apropiada dirección y sugerencias durante la realización, y culminación de la presente investigación.

A mi compañero y amigo Diego Carrillo, gracias por el apoyo brindado en la culminación de esta investigación, y por enseñarme que la amistad verdadera es desinteresada.

A mis amados padres, por todo su amor, trabajo y sacrificio; especialmente, a mi madrecita quien ha luchado incansablemente y ha estado junto a mí de forma incondicional, apoyándome, brindándome su fortaleza, confianza y sobre todo su amor.

Gracias, Dios mío, por toda la sabiduría, voluntad y fortaleza que me has regalado en los momentos más difíciles de la vida. Hoy, gracias a ti culmina una importante etapa de vida de la mejor manera, y con los ánimos de cumplir las nuevas metas que me depara el futuro.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
RESUMEN EJECUTIVO .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	5
1.1. Antecedentes.....	6
1.2. Justificación.....	7
1.3. Objetivos.....	8
CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA ZONA.....	9
2.1 Ubicación.....	10
2.2 Acceso.....	10
2.3 Relieve orográfico e hidrografía.....	12
2.4 Clima.....	13
2.5 Flora y fauna.....	13
2.6 Aspecto socio - económico y cultural.....	13
CAPÍTULO III: GEOLOGÍA REGIONAL.....	15
3.1 Marco geológico.....	16
3.1.1 Unidad Chigüinda.....	16
3.1.2 Formación Loma Blanca.....	18
3.1.3 Formación San José.....	18
3.1.4 Formación Santo Domingo.....	19
3.1.5 Formación Cerro Mandango.....	20
3.2 Estructura.....	22
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA Y TRABAJO DE CAMPO.....	23
4.1 Recopilación de información y análisis de datos.....	24
4.2 Fotointerpretación y digitalización SIG de la zona de estudio.....	24
4.3 Investigación de campo y mapeo.....	25

4.4	Trabajo de gabinete final e interpretación de resultados.....	26
CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		27
5.1	Geología local.....	28
5.1.1	Estratigrafía.....	28
5.1.2	Rocas metamórficas.....	29
5.1.2.1	Unidad Chigüinda (Paleozoico).....	29
5.1.3	Rocas volcánicas.....	33
5.1.3.1	Formación Loma Blanca (Oligoceno).....	33
5.1.3.2	Pórfido Andesítico.....	34
5.1.4	Rocas Sedimentarias.....	36
5.1.4.1	Formación San José (Mioceno medio).....	36
5.1.4.2	Formación Santo Domingo (Mioceno medio).....	38
5.1.4.3	Cerro Mandango (Mioceno superior).....	42
5.1.4.4	Depósitos Coluviales.....	44
5.1.4.5	Depósitos aluviales.....	47
5.2	Geología estructural.....	48
5.2.1	Estructuras tectónicas locales - Margen oriental.....	48
5.2.1.1	Estructuras monoclinales.....	48
5.2.1.2	Estructuras plegadas.....	50
5.2.2	Estructuras tectónicas locales - Margen occidental.....	52
5.2.2.1	Estructuras monoclinales.....	52
5.2.2.2	Estructuras subhorizontales.....	53
5.2.2.3	Estructuras cataclinales.....	53
5.2.2.4	Estructuras plegadas.....	54
5.2.2.5	Fallas normales.....	55
5.2.2.6	Fallas inversas.....	56
5.3	Cortes de secciones geológicas locales.....	58
5.4	Geomorfología.....	61
5.4.1	Geoformas de origen deposicional.....	61
5.4.1.1	Valle fluvial (Va).....	61
5.4.1.2	Terraza media, baja y cauce actual.....	62
5.4.2	Geoformas de origen denudativo.....	63
5.4.2.1	Coluvión antiguo (Can).....	63
5.4.3	Geoformas de origen estructural.....	64
5.4.3.1	Cuestas estructurales.....	64
5.4.4	Geoformas de origen tectónico erosivo.....	65

5.4.4.1	Relieve colinado alto, muy alto y montañoso. ....	65
5.5	Actualización y validación geológica estructural de los mapas temáticos existentes...	66
5.5.1	Polígono N° 1. ....	66
5.5.2	Polígono N° 2. ....	68
5.5.3	Polígono N° 3. ....	69
5.5.4	Polígono N° 4. ....	71
5.5.5	Polígono N° 5. ....	72
CONCLUSIONES .....		75
RECOMENDACIONES .....		78
BIBLIOGRAFÍA.....		79
ANEXOS.....		81
Anexo N° 1. Descripción de los principales afloramientos.....		81
Anexo N° 2. "Mapa geológico del sur de Ecuador entre 2°54'S a 4°25'S." Simplificado y modificado de Hungerbühler (1997).....		86
Anexo N° 3. Hoja Geológica 57 GONZANAMÁ (CT-NVII-B-3781 - escala 1:100.000). ....		87
Anexo N° 4. "Mapa de Fallas y Pliegues cuaternarios de Ecuador y Regiones Oceánicas Adyacentes, escala 1:1.250.000" elaborado en un proyecto de cooperación entre el U.S. Geological Survey, Denver, Colorado y la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador en el año 2003. ....		88
Anexo N° 5. Mapa de validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos. ....		89
Anexo N° 6. Cortes de secciones geológicas locales. ....		90

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Ubicación y vías de acceso a la cuenca sedimentaria de Malacatos respecto a la provincia de Loja. Principales rasgos orográficos e hidrográficos presentes en la cuenca. ....	11
Gráfico N° 2. Geología regional de la cuenca sedimentaria de Malacatos tomada del "Mapa geológico del sur de Ecuador entre 2° 54' S a 4° 25' S. Simplificado y modificado de Hungerbühler (1997). ....	17
Gráfico N° 3. Columna estratigráfica de la cuenca sedimentaria de Malacatos basada en la versión de Dominik Hungerbühler (2002). ....	28
Gráfico N° 4. Cortes de secciones geológicas locales. ....	60
Gráfico N° 5. Geología local basada en las interpretaciones geológicas del investigador Dominik Hungerbühler (2002). ....	67
Gráfico N° 6. Mapa geológico estructural del polígono N° 1 de la cuenca sedimentaria de Malacatos (Escala 1:10.000) (Ver anexo N° 5). ....	67
Gráfico N° 7. Polígono N° 2: a) Mapa de geológico estructural elaborado en el año 2010. b) Mapa de validación y actualización del mapa geológico estructural (Ver anexo N° 5).....	68
Gráfico N° 8. Polígono N° 3: a) Mapa de geológico estructural elaborado en el año 2010. b) Mapa de validación y actualización del mapa geológico estructural (Ver anexo N° 5).....	70
Gráfico N° 9. Polígono N° 4: a) Mapa de geológico estructural elaborado en el año 2010. b) Mapa de validación y actualización del mapa geológico estructural (Ver anexo 5). ....	72
Gráfico N° 10. Polígono N° 5: a) Mapa de geológico estructural elaborado en el año 2010. b) Mapa de validación y actualización del mapa geológico estructural (Ver anexo N° 5). ....	73

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Foto N° 1. Principales ríos de la cuenca sedimentaria.</i> .....	12
<i>Foto N° 2. Recolección de nuevos datos estructurales: a) Estratificación de lutita perteneciente a la formación Santo Domingo. b) Estratos de arenisca calcárea de la formación San José.</i> .....	25
<i>Foto N° 3. Descripción de afloramiento de conglomerados perteneciente a la formación Cerro Mandango.</i> .....	25
<i>Foto N° 4. Recopilación, análisis y gestión de la información geológica en el software informático ArcGis.</i> .....	26
<i>Foto N° 5. a) Relieve montañoso de la Unidad Chigüinda en contacto litológico con formaciones de edad terciaria. b) Contacto discordante entre esquistos (Unidad Chigüinda) y tobas volcánicas (formación Loma Blanca). Se determina como contacto fallado (dirección 326°N) de acuerdo a la estructura microplegada que conservan los esquistos.</i> .....	29
<i>Foto N° 6. Afloramiento artificial de roca filita perteneciente a la Unidad Chigüinda.</i> .....	30
<i>Foto N° 7. Afloramientos rocosos de esquistos sericíticos muy diaclasados.</i> .....	30
<i>Foto N° 8. a) Veta de cuarzo lechoso entre esquistos sericíticos altamente meteorizados. b) Afloramiento de cuarcitas diaclasadas en varias direcciones.</i> .....	31
<i>Foto N° 9. Afloramientos de gneis biotítico en estructuras con diaclasamiento.</i> .....	32
<i>Foto N° 10. a) Suelos lateríticos producto de alteración de gneis y granitos anatóxico. b) Afloramiento fuertemente fracturado de roca mixta que presenta características entre gneis y granito anatóxico.</i> .....	33
<i>Foto N° 11. Afloramiento de tobas volcánicas: a) Ignimbrita y b) Tobas y aglomerados.</i> .....	34
<i>Foto N° 12. Afloramiento de composición volcánica: a) Toba riolítica con impregnaciones de pirolusita, b y c) Pórfido andesítico con fenocristales de plagioclasa.</i> .....	35
<i>Foto N° 13. Afloramiento de dacita con tonalidad rojiza debido a su alto contenido de hierro.</i> .....	35
<i>Foto N° 14. a) Estratificación de areniscas calcáreas muy compactas. b) Brechas bioclásticas meteorizadas.</i> .....	36
<i>Foto N° 15. Depósitos de microconglomerado y conglomerado con guijarros volcánicos y metamórficos en matriz arenosa y cemento calcáreo: a) Microconglomerado. b) Conglomerado</i> .....	37
<i>Foto N° 16. Los depósitos de arenisca calcárea presentan alto grado de meteorización.</i> ....	37
<i>Foto N° 17. a) Estratos de lutita color negro fuertemente fracturados. b) Manto de carbón bituminoso ubicado entre una secuencia deposicional de lutita.</i> .....	38
<i>Foto N° 18. a) Secuencia deposicional de arenisca con intercalada de láminas de yeso cristalino. b) Estratificación de lutitas color crema con fracturas rellenas de oxidaciones.</i> ....	39
<i>Foto N° 19. Estratos sedimentarios de la formación Santo Domingo: a) Pez fósil – (Az. buz/buz=61°/30°). b) Bivalvos fósiles – (Az. buz/buz=74°/63°). c) Fósil foraminífero – (Az. buz/buz=45°/38°).</i> .....	39
<i>Foto N° 20. Mina San José, trabajos de explotación finalizados: a) Estratos de arenisca de grano medio intercalada de laminaciones de limolita y presenta recristalización de</i>	

<i>yeso. b) Estratos de arenisca calcárea muy compacta, contiene agujas prismáticas verticales de yeso cristalino, se intercala de láminas de arenisca limosa y limolita. ....</i>	<i>40</i>
<i>Foto N° 21. a) Estratificación de arenisca de carácter arcósico – (Az. buz/buz=25°/36°). b) Estratificación gradada de arenisca gruesa (arcosa) hacia microconglomerado de guijarros metamórficos con matriz arenosa calcárea – (Az. buz/buz=54°/35°). ....</i>	<i>41</i>
<i>Foto N° 22. a) Estratos de arenisca de grano fino con huellas de hojas fósiles – (Az. buz/buz = 65°/30°). b) Estratos de arenisca de grano fino a grueso – (Az. buz/buz = 81°/24°). ....</i>	<i>42</i>
<i>Foto N° 23. a) Depósitos de areniscas de grano medio intercalado de microconglomerado con guijarros metamórficos. b) Afloramiento de areniscas y gravas erosionadas por efecto y acción del agua formando cárcavas. ....</i>	<i>43</i>
<i>Foto N° 24. a) Estratificación subhorizontal de arenisca y conglomerado – (Az. buz/buz=74°/2°). b) Estratos inclinados de litología perteneciente al miembro superior – formación Cerro Mandango. (Az. buz/buz=65°/30°) ....</i>	<i>44</i>
<i>Foto N° 25. Depósito coluvial ubicado en la base del cerro Pan de Azúcar y Loma Blanca: a) Canto rodado de esquisto sericítico. b) Fragmentos de piroclastos volcánicos. ...</i>	<i>45</i>
<i>Foto N° 26. Depósito coluvial ubicado en la elevación "Loma Tuco". Constituido de clastos y fragmentos metamórficos. ....</i>	<i>45</i>
<i>Foto N° 27. a) Colinas de pendiente suave formadas de material coluvial. b) Depósito coluvial presenta una erosión hídrica en forma de cárcavas debido a su bajo grado de consolidación. ....</i>	<i>46</i>
<i>Foto N° 28. a) Coluvios de origen metamórfico resultado de la alteración in situ de las rocas que constituyen la Unidad Chigüinda. b) Cantos rodados de tamaño métrico de roca gneis biotítico aflorando a superficie. ....</i>	<i>46</i>
<i>Foto N° 29. Contacto litológico entre depósitos coluviales y aluviales representados por terrazas aluviales. ....</i>	<i>47</i>
<i>Foto N° 30. Fallas normales inferidas en el centro y bordes de la cuenca sedimentaria de Malacatos. ....</i>	<i>48</i>
<i>Foto N° 31. Estructuras monoclinales: a) Formación Santo Domingo. b) Formación San José. ....</i>	<i>49</i>
<i>Foto N° 32. Estructuras foliadas presentes en la Unidad Chigüinda: a) Roca esquisto sericítico. b) Roca filita. ....</i>	<i>49</i>
<i>Foto N° 33. Contacto discordante entre depósitos coluviales (DC) y Unidad Chigüinda (UC). ....</i>	<i>50</i>
<i>Foto N° 34. Estructuras plegadas formación Santo Domingo. a) Micropliegue fallado inversamente. b) Micropliegue volcado indicio de continuidad de falla. ....</i>	<i>50</i>
<i>Foto N° 35. Pliegue sinclinal de estratos de arenisca de la formación Santo Domingo. ....</i>	<i>51</i>
<i>Foto N° 36. Estructuras plegadas. a) Micropliegue anticlinal fallado inversamente. b) Micropliegue monoclinal. ....</i>	<i>52</i>
<i>Foto N° 37. Estructuras monoclinales. a) Formación Santo Domingo. b) Formación Cerro Mandango. ....</i>	<i>53</i>
<i>Foto N° 38. Estructuras subhorizontales presentes en la formación Cerro Mandango. ....</i>	<i>53</i>
<i>Foto N° 39. Estructura cataclinal presente en la formación Cerro Mandango. a) Estratos subhorizontales y b) Estratos inclinados. ....</i>	<i>54</i>
<i>Foto N° 40. Microplegamientos. a) Unidad Chigüinda. b) Formación Santo Domingo. ....</i>	<i>54</i>

<i>Foto N° 41. Estratos cabalgados de la formación Santo Domingo, localmente presentan fallas inversas.</i> .....	55
<i>Foto N° 42. Fallas normales. a) Estratos arenisca calcárea de la formación San José. b) Estratos arenisca de la formación Santo Domingo.</i> .....	56
<i>Foto N° 43. Falla inversa en estratos de arenisca de la formación Santo Domingo. La distancia horizontal sobrepone a los estratos como indicio de fuerzas de compresión diferente a la acción de fuerzas de extensión como ocurre en fallas normales.</i> .....	56
<i>Foto N° 44. Fallas inversas. a) Formación Santo Domingo. b) Formación Cerro Mandango.</i>	57
<i>Foto N° 45. Vista panorámica del valle fluvial (Va)</i> .....	61
<i>Foto N° 46. Terraza media (Tm).</i> .....	62
<i>Foto N° 47. Terrazas medias (Tm).</i> .....	62
<i>Foto N° 48. Coluvión antiguo (Can).</i> .....	63
<i>Foto N° 49. Cuestas estructurales. Superficie (C1), frente (C2), y vertiente (C3) de cuesta.</i>	64
<i>Foto N° 50. Relieves R5, R6 y R7.</i> .....	65
<i>Foto N° 51. Relieve montañoso (R7)</i> .....	66

#### **ÍNDICE DE TABLAS**

<i>Tabla N° 1. Puntos de ubicación de la cuenca sedimentaria de Malacatos.</i> .....	10
<i>Tabla N° 2. Materiales y equipos empleados en el levantamiento geológico.</i> .....	26

## RESUMEN EJECUTIVO

En la presente investigación se realizó la verificación y comprobación de la información existente sobre la geología y estructura de la cuenca sedimentaria de Malacatos publicada en investigaciones anteriores. A través de los trabajos de levantamiento geológico, en el campo se recolecto nuevos datos y mediciones estructurales, así como el reconocimiento de litologías para posteriormente realizar la correlación y delimitación de los contactos litológicos entre las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio.

Con la interpretación y análisis de resultados se tomaron las apropiadas observaciones y correcciones en la elaboración del "Mapa de validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos".

**PALABRAS CLAVES:** cuenca sedimentaria, levantamiento geológico, litologías, contactos litológicos, validación geológica estructural.

## ABSTRACT

In the present investigation was carried out verification and checking of existing information on the geology and structure of the sedimentary basin of Malacatos posted in previous research. Through the work of geological survey, in the field will collect new data and structural measurements, as well as the recognition of lithology to subsequently perform the correlation and demarcation of lithological contacts between the geological formations present in the study area.

With the interpretation and analysis of results the appropriate observations and corrections were taken in the development of the "map of geological structural validation of the sedimentary basin of Malacatos".

**KEYWORDS:** sedimentary basin, geological survey, lithology, lithological contacts, geological structural validation.

## INTRODUCCIÓN

La cuenca sedimentaria de Malacatos ha sido descrita por varios investigadores, cuyas aportaciones describen a las formaciones de edad terciaria como el resultado de un proceso de subsidencia prolongada de sedimentación. La presente investigación inicia a partir de los últimos aportes realizados por Domink Hungerbühler (2002), en su publicación "Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador" (*Estratigrafía del neógeno y geodinámica Andina del sur del Ecuador*) los resultados obtenidos conllevan a una subdivisión de estratos depositados sobre un basamento metamórfico (de abajo hacia arriba) en las siguientes formaciones: Unidad Chigüinda, Loma Blanca, San José, Santo Domingo y Cerro Mandango.

De acuerdo a esta información, en el año 2010 la Universidad Técnica Particular de Loja a través de sus profesionales en formación realizó levantamientos geológicos a mayor detalle como proyecto de investigación denominado "ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL E INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS DEL ÁREA DOS, TRES, CUATRO Y CINCO DE LA CUENCA DE MALACATOS". Mediante este trabajo se completa el levantamiento geológico estructural en el área N° 1 ubicada hacia el norte de la cuenca, e incorpora nueva información geológica estructural del área 2, 3, 4, y 5; para generar información actualizada sobre la geología, estructura y tectónica de la cuenca.

El capítulo uno "Generalidades", da a conocer una visión general del tema de estudio y presenta los objetivos a cumplirse durante el desarrollo de la investigación.

El capítulo dos "Características físicas y geográficas de la zona" expone los rasgos y peculiaridades geográficas, respecto a su ubicación, acceso, relieve orográfico e hidrográfico, clima, flora y fauna; además, la información sobre el aspecto socio económico y cultural.

El capítulo tres "Geología regional" describe el contexto geológico y estructural a escala regional dentro del cual se enmarca la cuenca sedimentaria de Malacatos.

El capítulo cuatro "Metodología y trabajo de campo" se refiere a las fases realizadas en el desarrollo investigativos, iniciando con la recopilación de información y análisis de datos, seguidamente se realiza el proceso de fotointerpretación y digitalización SIG de la información. La investigación de campo y mapeo sería la siguiente fase, y culminaría con los trabajos de gabinete e interpretación de resultados.

El capítulo cinco "Análisis y discusión de resultados" detalla la información generada durante el desarrollo del presente estudio. Primeramente, describe la geología local de la cuenca sedimentaria, agrupándola en rocas metamórficas, volcánicas y sedimentarias en su respectiva formación geológica.

La geología estructural permitió congregarse estructuras tectónicas tanto al margen oriental como occidental de la cuenca sedimentaria. De acuerdo a la disposición y forma de los estratos se determinaron estructuras monoclinales, subhorizontales, cataclinales, plegamientos, fallas normales e inversas.

Los resultados obtenidos tienen mucha importancia en la elaboración del mapa geológico estructural actualizado de la zona de estudio que servirá como base de datos para los nuevos planes de ordenamiento territorial, como el desarrollo de proyectos urbanísticos, infraestructura vial, usos de suelos, entre otros.

En base a la información obtenida en el levantamiento geológico se establecieron los contactos litológicos entre la Unidad Chigüinda y las formaciones Loma Blanca, San José, Santo Domingo, Cerro Mandango, y depósitos cuaternarios; incorporando nuevos datos estructurales que presentan un azimut de buzamiento preferencial hacia el noreste.

En la elaboración del "Mapa de validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos" se empleó una escala de trabajo 1:10.000, y una escala de impresión 1:20.000.

La búsqueda de afloramientos se facilitó en sitios de apertura de vías, mientras en las zonas cubiertas de vegetación existieron inconvenientes en la descripción de litologías. La extensa zona de estudio significó un largo recorrido; para ello fue imprescindible el uso de transporte motorizado para cumplir a cabalidad con los objetivos planteados por la investigación.

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

## 1.1. Antecedentes.

La cuenca sedimentaria de Malacatos en los Andes meridionales del Ecuador, ha sido mencionada en publicaciones realizadas por Wolf (1892); Putzer & Schneider-Scherbina (1958); Spindler *et al.* (1959); Villemur (1967); Naciones Unidas (U.N.D.P., 1969); L. B. Kennerley (1973); Kennerley, Almeida, Bristow y Parodiz (1982); aportaciones realizadas por el proyecto minero FODEP (1992); M. Litherland (1994) y Dominik Hungerbühler (1997-2002) en las cuales de forma general se describe la geología de la zona de estudio.

El investigador Wolf fue quien realizó los primeros estudios y propuso una edad terciaria para los sedimentos de la cuenca de Malacatos; basándose en la observación de semejanzas litológicas con los depósitos de la cuenca de Loja, concluyó que las dos cuencas se formaron al mismo tiempo.

A partir de los últimos aportes realizados por Hungerbühlher (2002) y su equipo de trabajo, apoyados en las interpretaciones geológicas de L. B. Kennerley (1973); se elaboró un mapa geológico del sur del Ecuador. Las muestras de rocas y fósiles determinaron la edad relativa de la cuenca y el orden cronológico del cómo se depositaron las rocas en la zona. Los resultados obtenidos conllevan a una subdivisión de estratos depositados sobre un basamento metamórfico (de abajo hacia arriba) en las siguientes formaciones: *Unidad Chigüinda, Loma Blanca, San José, Santo Domingo y Cerro Mandango*.

En el año 2005, el Proyecto Multinacional Andino "Geo Ciencias para las Comunidades Andinas Ecuador-Perú-Canadá" realiza un aporte importante; proporcionando el Mapa Geológico Binacional Ecuador- Perú a escala 1:500.000, de los trabajos ejecutados en el Sur del Ecuador y Norte de Perú.

La Universidad Técnica Particular de Loja, a través de profesionales en formación de la Escuela de Geología y Minas, en el año 2010 realizó levantamientos geológicos a mayor detalle, siendo estos los siguientes: "ESTUDIO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL E INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS DEL ÁREA DOS, TRES, CUATRO Y CINCO DE LA CUENCA DE MALACATOS".

Por lo expuesto anteriormente, con este trabajo se pretende hacer una validación de la información existente con estudios de detalle para generar información actualizada sobre las formaciones geológicas (contactos litológicos), estructura y tectónica de la cuenca sedimentaria de Malacatos; y completar el levantamiento geológico estructural hacia el norte de la cuenca, mismo que formaba parte del polígono No.1 y que ha quedado inconcluso en esta zona.

## **1.2. Justificación.**

Con la elaboración de este trabajo se obtendrá la actualización del modelo geológico estructural de la cuenca sedimentaria Malacatos, esto mediante una revisión de la información geológica estructural existente y elaborada en estudios anteriores, y obtener a su vez toda la información necesaria como: interpretaciones geológicas, estructurales y estratigráficas, lo cual permitió una posterior validación geológica-estructural y comprensión sobre la dinámica permanente de la cuenca.

Con el estudio realizado se proporciona información sobre los rasgos estructurales y las formaciones geológicas existentes para determinar la verdadera génesis, y el modelo geológico-estructural de esta cuenca sedimentaria.

La información geológica, tectónica, estratigráfica recopilada durante el levantamiento de campo es analizada y procesada utilizando un software de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica), el mismo que permite disponer de una actualizada base temática georeferenciada, para así poder establecer futuros planes de ordenamiento territorial, la producción de los diferentes mapas de riesgos geológicos, el desarrollo de proyectos urbanísticos, proyectos ingenieriles mayores, infraestructura vial, planificación de usos de la tierra y otros estudios.

Seguidamente la información obtenida durante la indagación tendrá libre acceso para las personas que deseen profundizar el tema y utilizarla en futuras planificaciones investigativas en bienestar de la sociedad.

### 1.3. Objetivos.

#### **Objetivos generales:**

- ✓ Validar y verificar los estudios geológicos estructurales realizados con anterioridad en la cuenca sedimentaria de Malacatos.
- ✓ Elaborar un mapa geológico-estructural a escala 1:10.000 de la zona de estudio.

#### **Objetivos específicos:**

- ✓ Actualizar los mapas temáticos existentes incorporando nueva información geológica-estructural de la cuenca sedimentaria Malacatos.
- ✓ Realizar un levantamiento geológico detallado del sector.
- ✓ Correlacionar a través de un reconocimiento geológico de campo las estructuras tectónicas presentes en la zona de estudio.
- ✓ Determinar indicadores fósiles que representen las formaciones geológicas.
- ✓ Identificar y definir los contactos litológicos presentes en la cuenca sedimentaria.

## **CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA ZONA**

## 2.1 Ubicación.

La cuenca sedimentaria de Malacatos se localiza en la región sur del Ecuador, a 35 km de la ciudad de Loja. Tiene una extensión aproximada de 8266 Has., y se encuentra limitado al norte por las elevaciones: Loma Sotahuaycu, Loma El capulí y Cerro El Pajón; al sur por las elevaciones: Cerro Minas, Filo de Congoya, Loma Sabanilla, Loma Tuco y Loma Panecillo; hacia el este por las elevaciones: Cerro Canoas, Loma Chambalapo, Cerro Yunanga y Cerro Toronche; al oeste por las elevaciones: Cerro Purco, Loma Guababillo, y Loma Blanca (Ver gráfico N° 1).

La zona de estudio se enmarca en las siguientes coordenadas UTM (Tabla N° 1).

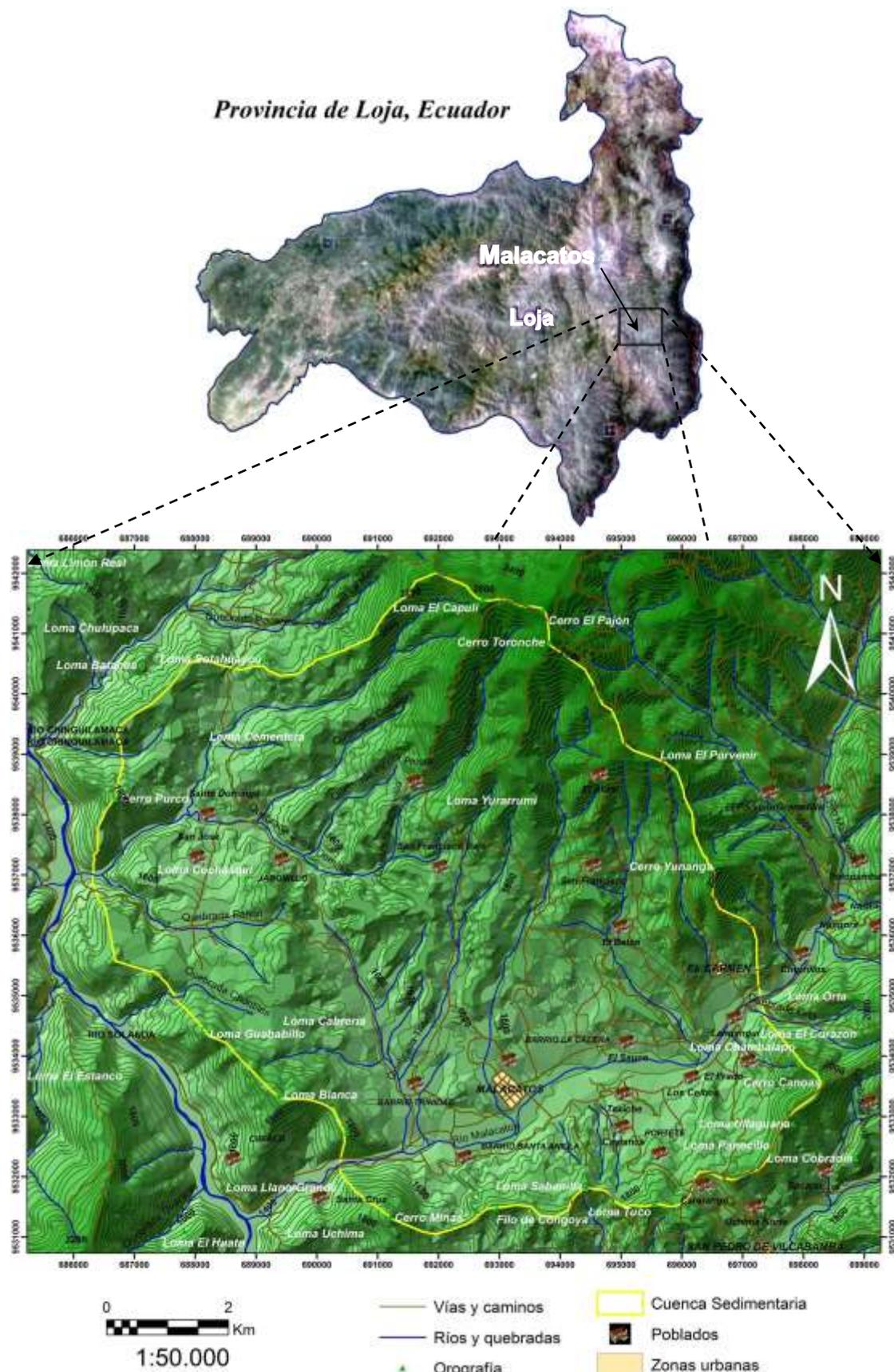
**Tabla N° 1. Puntos de ubicación de la cuenca sedimentaria de Malacatos.**

Puntos	Coordenadas UTM (Datum: WGS 84 Zona 17S)	
	X	Y
1	686000	9542000
2	699000	9542000
3	699000	9531000
4	686000	9531000

Fuente y elaboración: El autor.

## 2.2 Acceso.

Para llegar a la parroquia de Malacatos se puede ingresar desde la ciudad de Loja por la vía de primer orden Loja – Malacatos – Vilcabamba, y por accesos de tercer orden para conectar con los barrios Trinidad, La Calera, Santa Anilla, Portete y Jabonillo, con los sectores y poblados Cararango, Taxiche, Cavianca, El Carmen, Los Ceibos, El Prado, Landanguí, El Sauce, El Belén, San Francisco, El Alizal, Picota, La Merced, Santo Domingo y San José (Ver gráfico N° 1).



**Gráfico N° 1.** Ubicación y vías de acceso a la cuenca sedimentaria de Malacatos respecto a la provincia de Loja. Principales rasgos orográficos e hidrográficos presentes en la cuenca. Fuente y elaboración: El autor.

### 2.3 Relieve orográfico e hidrografía.

La cuenca sedimentaria de Malacatos se encuentra dentro de los nudos orogénicos Cajanuma y Sabanilla, que constituyen el límite de la parte sureste de la Hoya del Catamayo y también líneas divisorias de agua de las cuencas hidrográficas que vierten al Pacífico o al Atlántico. El sector sureste de la Hoya del Catamayo, limita al sur con el nudo de Sabanilla; al norte con el nudo de Cajanuma y comprende las depresiones o valles donde se asientan las poblaciones de Yangana, Quinara, Vilcabamba y Malacatos.

El relieve orográfico de la cuenca presenta zonas muy accidentadas, con pendientes muy abruptas por encontrarse en la cadena montañosa de los Andes; hacia el centro, los depósitos sedimentarios forman terrenos bajos como mesetas de piedemonte, colinas y microcolinas medianamente onduladas a moderadamente disectadas.

Dentro de la orografía de la cuenca sedimentaria sobresalen de norte a sur las siguientes elevaciones: Loma El Capulí (2600m), Cerro El Pajón (2680m), Cerro Toronche (2720m), Loma Sotahuaycu (1720m), Loma Cementera (1760m), Loma Yurarrumi (1840m), Cerro Purco (1800m), Cerro Yunanga (2320m), Loma Cochasquí (1600m), Loma Cabrería (1680m), Loma Guababillo (1840m), Cerro Canoas (2080m), Loma Blanca (1920m), Cerro Pan de Azúcar (1800m), Loma Panecillo (1920m), Loma Sabanilla (1760m), Loma Tuco (1880m), Filo de Congoya (1760m) y Cerro Minas (1960m) (Ver gráfico N° 1).



**Foto N° 1.** Principales ríos de la cuenca sedimentaria.

Fuente y elaboración: El autor.

La hidrografía la constituyen los ramales australes de la cordillera de los Andes, cuya red hidrográfica principal la constituye el río Malacatos, que nace en el Podocarpus y corre en dirección noreste – suroeste, recibiendo los caudales de la quebrada Trinidad, Ceibopamba y San Francisco; entre otras quebradas pequeñas que únicamente lo alimentan en épocas de precipitación considerable (Ver foto N° 1).

El río Malacatos junto a las quebradas Santo Domingo, Paltón, Chontiles desemboca al oeste de la cuenca en el río Solanda; formando así un modelo de drenaje dendrítico (Ver gráfico N° 1).

## **2.4 Clima.**

La cuenca sedimentaria posee un clima subtropical promedio de 20.4° C; la temperatura mínima es de 5° C, con una precipitación promedio anual de 647 mm, y humedad del 82%. El régimen pluviométrico está entre invierno y verano, con lluvias en los meses de enero a junio y la época de verano entre julio y diciembre. <sup>1</sup>

## **2.5 Flora y fauna.**

La cuenca sedimentaria Malacatos tiene una flora muy variable (bosque seco subtropical) encontrándose especies madereras como: ciprés, pino, eucalipto, cedro, sauce; árboles frutales como: papaya, limón, mora, guineo, naranja, níspero, chirimoya, granadilla, pomarrosa, ciruelo, tomate de árbol, aguacate, también producen: maíz, tomate de riñón, pimiento, fréjol, pepino, yuca, ají, hortalizas, etc., además, plantaciones de caña de azúcar de la cual se procesa para elaborar panela, y destilar el aguardiente de la mejor calidad. En la mayoría del sector existen árboles espinosos. Entre las especies dominantes de matorrales tenemos: mimosa y acacia. El pastizal es algo predominante por las partes altas de la cuenca en donde se pueden encontrar algunos animales que se alimentan de los mismos.

La fauna del sector es también muy variada encontrándose: mamíferos, aves, reptiles y peces, entre los más comunes tenemos: ganado vacuno, bovino, porcino, reptiles, gran variedad de aves, animales domésticos (gallinas, perros, gatos), además de roedores como las guatusas, cuyes, etc. Se puede observar el cultivo y producción de tilapia en peceras particulares.

## **2.6 Aspecto socio - económico y cultural.**

La elaboración de diversos productos agrícolas, artesanales e industriales constituye el eje principal de desarrollo integral para la parroquia Malacatos. Presenta distintos atractivos turísticos mucho agrado para personas extranjeras y nacionales dándole un importante aporte económico.

---

*1 Tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Loja "La Argelia" Docente consultor Ing. Segundo Morucho.*

Dentro de la producción agrícola las actividades se destinan a los sembríos de caña de azúcar y la fabricación de productos derivados, tales como: panela, azúcar, guarapo, vinos y aguardiente conocido como la “La punta de Malacatos”. Además existen cultivos de maíz, frejol, hortalizas, etc.

En ciertos lugares, la escasez de afluentes o inactividad de los mismos por épocas de verano conlleva a los agricultores a generar intensas técnicas agrícolas; esto significa la elaboración de canales de riego en zonas de cultivos esporádicos: huertos frutales, cafeteros entre otros.

La actividad ganadera se dedica principalmente a la crianza y cuidado ganado vacuno, en menor cantidad cerdos y aves de corral. La comercialización de productos derivados: carne, huevos, leche y derivados se realiza a nivel local, inclusive ofertados a nivel cantonal dependiendo la demanda de consumo.

Al disponer zonas de suelos arcillosos los habitantes de la parroquia dedican sus actividades a la fabricación de ladrillos y tejas que son imprescindibles para el crecimiento urbano del sector.

### **CAPÍTULO III: GEOLOGÍA REGIONAL**

### 3.1 Marco geológico.

La cuenca sedimentaria de Malacatos-Vilcabamba, ha sido estudiada por investigadores como Wolf (1892); Putzer & Schneider-Scherbina, (1958); Spindler *et al.*, y otros (1959); Villemur (1967); Naciones Unidas (U.N.D.P., 1969); Kennerley (1973) y Hungerbühler (2002) quienes interpretan a la cuenca como una depresión alargada de 7 km de ancho y 25 km de largo, se extiende en dirección noroeste – sureste desde Catamayo al norte y Yangana al sur.

La serie sedimentaria de edad Mioceno-Plioceno en la región se encuentra envuelta por rocas meta-sedimentarias del Paleozoico (Unidad Chigüinda; Litherland *et al.*, 1994) ubicadas al este del borde de la cordillera Real, y las rocas volcánicas de la formación Loma Blanca de edad Oligoceno inferior. La secuencia deposicional revela tres unidades tecto-estratigráficas dominantes, ubicadas a occidente y oriente de la cuenca sedimentaria Malacatos, separadas por una falla normal.

Los estudios realizados por Hungerbühler (2002), subdividió los estratos (de abajo hacia arriba) en las siguientes formaciones: Unidad Chigüinda como roca de basamento, Loma Blanca compuesta de rocas volcánicas, San José, Santo Domingo y Cerro Mandango constituido de rocas sedimentarias (*Ver gráfico N° 2*).

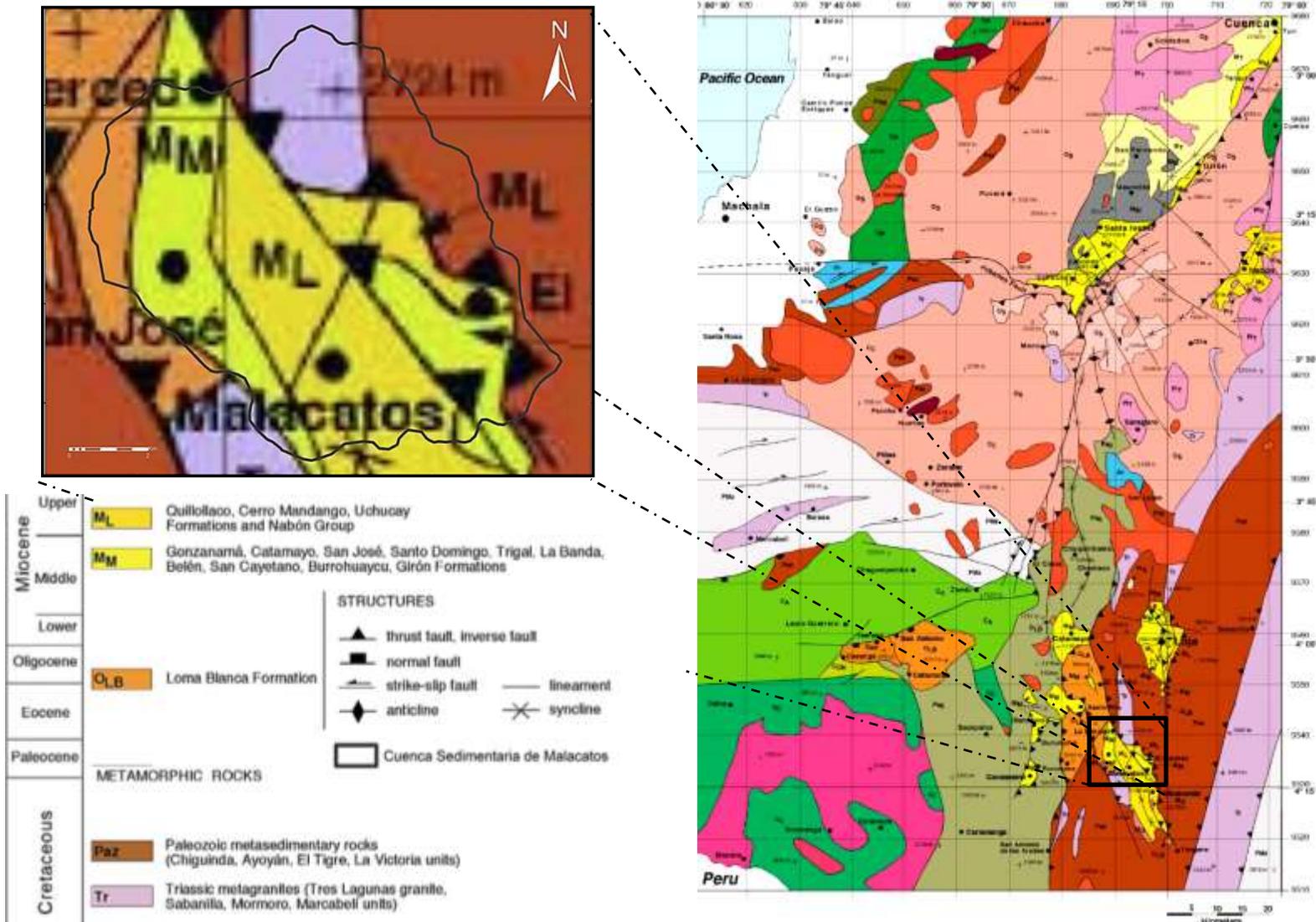
#### 3.1.1 Unidad Chigüinda.

Corresponde a la roca base de la cuenca sedimentaria de Malacatos y bordea la parte sur de la cordillera en un cinturón de hasta 30 km de ancho. El basamento de la cuenca está constituido al oeste por rocas de metamorfismo bajo como filitas, esquistos sericíticos y cuarcíticos, cuarcitas; y hacia el este el grado de metamorfismo aumenta por rocas como metagranitos, gneises, gneises graníticos y migmatitas.

Se asume que se deriva de una cuenca intracratónica y se la considera similar a rocas carboníferas y devónicas de la depresión Perú-Bolivia (Litherland *et al.*, 1994) [Cordillera Real]<sup>2</sup>. Las rocas metamórficas de la Serie Zamora de edad Paleozoica (Kennerley, 1973) son consideradas como rocas meta-sedimentarias de la Unidad Chigüinda por Hungerbühler (2002). La potencia de esta unidad no es conocida pero se presume que es de centenares de kilómetros de profundidad.

---

<sup>2</sup> Tomado del Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador. Litherland *et al.*, 1994.



**Gráfico N° 2.** Geología regional de la cuenca sedimentaria de Malacatos tomada del "Mapa geológico del sur de Ecuador entre 2° 54' S a 4° 25' S. Simplificado y modificado de Hungerbühler (1997). Fuente y elaboración: El autor.

### 3.1.2 Formación Loma Blanca.

Tiene una potencia de 2000 m (Kennerley, 1973-1980), se presenta en dos áreas principales entre Catamayo y Malacatos, el N y E de Catacocha. Está constituida por una secuencia de rocas volcánicas, tobas aglomeráticas, tobas y flujos de lava andesítica que yacen de forma discordante sobre la Unidad Chigüinda. Comprende rocas volcánicas de acidez intermedia tales como tobas, tobas aglomeráticas, ignimbritas, pómez, brechas volcánicas, flujos; además la presencia de diques y sills, revelan la proximidad de algunos centros eruptivos que frecuentemente los intruyen (Hungerbühler, 2002), esta formación es considerada como la más antiguas de la cuenca de Malacatos después de la Unidad Chigüinda.

Los aglomerados pueden contener bloques parcialmente quebrados de más o menos un metro de diámetro. En el sur dominan las tobas y los aglomerados contienen muchos cristales de cuarzo y fragmentos de filitas que miden desde 1 a 4 cm de diámetro. Estos últimos se presume que han sido extraídos de la pared del conducto que atravesó las filitas de la Serie Zamora, por donde fueron expulsados los piroclastos (Hungerbühler, 2002).

La formación se asienta discordantemente sobre el basamento metamórfico Paleozoico (Unidad Chigüinda) y es sobreyacida por las rocas sedimentarias de la cuenca de Malacatos y de la formación Gonzanamá en el norte. Está cubierta en aparente concordancia por la formación San José. Hungerbühler (2002) describe a estas rocas volcánicas de edad Paleoceno-Eoceno-Oligoceno ( $40.6 \pm 5.4 - 26.6 \pm 4.0$  Ma.).

Esta formación fue confundida con la joven formación Saraguro, ya que presentan similares litologías, pero se distinguen debido a que fueron depositadas en diferentes épocas y son de distintas regiones geográficas (Hungerbühler, 2002).<sup>3</sup>

### 3.1.3 Formación San José.

Aflora en una franja de aproximadamente 1 km de ancho, entre Algarrotillo y cerro Loma Blanca, y en un pequeño bloque fallado a 2 km al oeste del pueblo El Tambo. Consta principalmente de areniscas calcáreas de espesor variable y calizas micríticas.

Además, existen brechas bioclásticas, láminas y capas de gravas con guijarros volcánicos menores, pizarras bioturbadas con forma de disco no fosilíferos, acumulación de caliza micrítica, y se encuentran con frecuencia capas de areniscas gruesas.

---

<sup>3</sup> Tomado de *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador*. Dominik Hungerbühler, Michael Steinmann, Wilfried Winkler, Diane Seward, Arturo Egüez, Dawn E. Peterson, Urs Helg, Cliff Hammer. Pág. 81

Es discordante y sobreyace a la formación Loma Blanca en el bloque La Granja, en la parte noroeste y central de la cuenca. Esta serie sedimentaria más baja de la cuenca fue asignada por Hungerbühler (1997, se localiza en el pueblo de San José); y en parte sustituye la formación Algarrobillo de Kennerley (1973). El espesor máximo de la formación es de 200 m.

Las lutitas tienen vetas de yeso con algunos cristales de selenita y están impregnados con sulfuros. Sobre la formación se encuentra un filón de carbón más o menos sub-bituminoso (Kennerley, J. B., 1973). Se observa una estratificación tabular cruzada de ángulo horizontal y de bajo ángulo, con abundantes superficies y montículos de estratificación cruzada (Hungerbühler, 2002).

Las areniscas calcáreas y calizas contienen abundantes fósiles ostrácodos, bivalvos, gasterópodos, escalopados, foraminíferos, núcleos de charophyte, dientes y huesos de pescado. Su edad es miocénica media a tardía ( $13.5 \pm 1.2$  Ma. y  $13.1 \pm 1.9$  Ma.). Los foraminíferos marinos de agua dulce y salada, la fauna ostrácodo implica un ambiente deposicional marino costero con diferentes aportaciones de agua dulce. La asociación de facies de arenisca se compara con ondas de arena formadas en las corrientes de marea en los canales de estuarios y en parte de la desembocadura de canales de un delta. Las areniscas calcáreas y delgadas calizas representan la llanura de inundación y depósitos de laguna. En conclusión, la fauna y la información de las facies sugiere que la formación San José se depositó en un ambiente dominado por mareas sometidas por deltas ambientales (Hungerbühler, 2002).

#### **3.1.4 Formación Santo Domingo.**

Descrita por Hungerbühler (2002), sustituye la parte superior de la formación Algarrobillo y la formación Cabalera mencionadas por Kennerley (1973). La potencia de esta formación es variable, alcanzando el máximo de 700 m (Hungerbühler, 2002). Esta formación se muestra al norte en el bloque la Granja, es dividida en dos miembros: miembro carbón y miembro yeso.

El **miembro carbón** compuesto de repetidas secuencias de capas estratificadas bituminosas, lutitas negras y limonitas menores, en parte areniscas canalizadas con intervalos de estratificación cruzada y laminaciones onduladas tipo ripple (Hungerbühler, 2002). Las lutitas bituminosas contienen hidrocarburos con un rendimiento del 60-80 kg/tn<sup>3</sup> (Litherland et al., 1994). Los depósitos calcáreos y diques clásticos son omnipresentes y varias capas de carbón continúan lateralmente, las mismas que alcanzan una potencia de 2m (Putzer, 1968). Las areniscas son de color gris a amarillo, generalmente arcósico, y llegan a ser conglomerados hacia el techo de la formación. Esta formación sigue

armoniosamente sobre la formación San José y aflora en dos cinturones, uno directamente al este de la formación San José, entre Algarrobbillo y Malacatos, y el otro por San Pedro y Vilcabamba.

El **miembro yeso** contiene areniscas verdosas, de grano medio, bien clasificadas con laminaciones onduladas tipo ripple y láminas de limonita. El yeso primario se produce en las areniscas como agujas prismáticas verticales y recristalizando los planos estratigráficos (Hungerbühler, 2002). El yeso secundario también es abundante con hasta 20 cm de espesor. El yeso también se concentra en grandes estructuras tipo pliegues, se encuentra cerca de la mina La Merced y en la quebrada de Santo Domingo. Se pueden observar moderadamente y mal conservados gasterópodos (similar a la especie *Dyris* en la cuenca de Loja), camarones (similares a los *Penaeus maddenii* en la formación Loyola en Cuenca), se han encontrado ostrácodos y dientes de peces, no se puede determinar su edad con mayor detalle. Se ubica a esta formación en el Mioceno medio tardío (Entre  $14,6 \pm 1,8$  Ma., y  $12,0 \pm 1,2$  Ma.) (Hungerbühler, 2002).

Los análisis de muestras confirman una interferencia entre las dos formaciones (San José y Santo Domingo); como también se sugiere desde el mapeo de campo. Las facies y la mineralogía implica ajuste de depósitos deltaicos costeros con predominio de las mareas y entornos pantanosos, similar a los de la formación San José. Esto también es corroborado por la aparición de yeso primario y vetas de carbón con tendencia N-S expuestas en forma paralela a la reconstrucción de la línea de costa (Hungerbühler, 2002). El alto contenido de azufre de los carbones (Putzer, 1968) sugiere la formación en un medio costero, tales como marismas salinas (Styan y Bustin, 1984). Además, la alternación con intervalos del yeso y el carbón (contienen fósiles, hojas que indican un clima tropical bajo; ej. Berry, 1945), sugiere que la deposición se produjo en diversas condiciones de seco y húmedo a lo largo del borde de la llanura costera (Hungerbühler, 2002)<sup>4</sup>.

### **3.1.5 Formación Cerro Mandango.**

Los principales afloramientos de esta formación (Kennerley, 1973) se localizan dentro de un sinclinal entre Vilcabamba y Malacatos, los mismos que poseen una orientación SSE-NNW, donde el espesor alcanza los 1000 m aproximadamente.

---

<sup>4</sup> Tomado de *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador*. Dominik Hungerbühler, Michael Steinmann, Wilfried Winkler, Diane Seward, Arturo Egüez, Dawn E. Peterson, Urs Helg, Cliff Hammer. Pág 89-90

Esta formación aflora extensamente en el sur de la cuenca de Malacatos, ocupando casi en su totalidad el ancho de la cuenca de Vilcabamba. En el sur yace directamente sobre la formación Loma Blanca. Imponente aflora en el pico Cerro Mandango, donde su estratificación es más o menos horizontal y forma peñascos sobresalientes alrededor de sus flancos.

Está sobreyace a la formación Santo Domingo y rocas metamórficas antiguas con disconformidad angular y en parte recae concordante sobre la formación Quinara. La sucesión observada del miembro arenisca (inferior) y del miembro conglomerado (superior) (Hungerbühler, 2002) reflejan la tremenda tendencia granocreciente de la formación.

El **miembro arenisca** consiste de estratificación ondulada y cruzada, areniscas de grano medio y grueso, capas y láminas de gravas con cantos metamórficos, areniscas de grano grueso, gravas con guijarros metamórficos, en menor cantidad limolitas.

El **miembro conglomerado** es más grueso en la parte meridional de la cuenca donde espectaculares discordancias progresivas están presentes. La parte de arenisca calificado en el miembro conglomerado se caracteriza por canales anchos, clastos (metamórficos) sosteniendo los conglomerados, areniscas gruesas y en poca cantidad limolitas. En ciertos lugares cristales blancos y líticos (clastos metamórficos) tobas, areniscas tobáceas y brechas de pómez; estas son intercaladas con suficientes capas de zircón marcador para análisis ZFT (Zircón Fission Track) (Hungerbühler, 2002).

El análisis de muestras de la formación determina edades entre  $11,4 \pm 1,6$  y  $7,7 \pm 0,8$  Ma., perteneciente al Mioceno tardío. La transición entre el miembro arenisca y el miembro conglomerado se produjo hace 10 Ma., y la progresiva disconformidad es datada de 8 Ma., (Hungerbühler, 2002). La sucesión de facies representa la transición de una carga de fondo dominado por un sistema fluvial arenoso y de un sistema abanico aluvial, que avanzo y se propagó de sur a Norte. La fuente del material fue revisado exclusivamente situados en rocas metamórficas de la Cordillera Real (Hungerbühler, 2002)<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Tomado de *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador*. Dominik Hungerbühler, Michael Steinmann, Wilfried Winkler, Diane Seward, Arturo Egüez, Dawn E. Peterson, Urs Helg, Cliff Hammer. Pág.90

### **3.2 Estructura.**

La cuenca sedimentaria de Malacatos se presenta como una depresión alargada en sentido noroeste – sureste, y de acuerdo al "Mapa de fallas y pliegues cuaternarios de Ecuador y regiones oceánicas adyacentes, escala 1:1.250.000" se determinó la existencia de fallas regionales importantes que limitan la cuenca (*Ver anexo N° 4*).

Al este se sitúa la falla "Loja", de tipo inversa y se infiere atravesando las rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda; al oeste la falla inferida "Solanda" separa en contacto discordante a la Unidad Chigüinda de las rocas volcánicas de la formación Loma Blanca. Las formaciones sedimentarias terciarias fueron transpuestas por una falla normal inferida, separando a la cuenca en dos márgenes sedimentarios con presencia de fallas menores paralelas a las fallas principales.

Debido al movimiento tectónico la falla normal inferida se inclina hacia el suroeste y las formaciones San José, Santo Domingo y Cerro Mandango, presentan una secuencia estratigráfica con buzamiento preferencialmente hacia el este, con algunas excepciones en las zonas de estructuras de cabalgamiento dentro la depresión de Malacatos.

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA Y TRABAJO DE CAMPO**

Para el desarrollo del presente trabajo se empleó sistemáticamente la metodología que a continuación se describe:

#### **4.1 Recopilación de información y análisis de datos.**

El trabajo inicia con la recopilación de información disponible (libros, documentos, mapas, papers, tesis, fotos aéreas, etc.); para esto coordinadamente con la Titulación de Geología y Minas se analizó la documentación y datos existentes, con la finalidad de crear una base de datos sobre el carácter geológico-tectónico de la cuenca sedimentaria de Malacatos.

A partir de las cartas topográficas a escala 1:50.000: LOJA SUR (CT-NVII-B2-3781-I), VILCABAMBA (CT-NVII-B4-3781-II), NAMBACOLA (CT-NVII-B1-3781-IV), GONZANAMA (CT-NVII-B3-3781-III) del Instituto Geográfico Militar (actualización digital - Enero 2013) se obtuvo la base topográfica de la cuenca sedimentaria de Malacatos”.

Además, se elaboró un mapa geológico preliminar empleando: el "Mapa geológico del sur de Ecuador entre 2°54'S a 4°25'S (*Ver anexo N° 2*), la Hoja Geológica 57 GONZANAMÁ (CT-NVII-B-3781 - escala 1:100.000) (*Ver anexo N° 3*), y los mapas geológicos de la cuenca sedimentaria de Malacatos-Vilcabamba (Polígono dos, tres, cuarto, y cinco) realizados en tesis anteriores de pregrado por la Universidad Técnica Particular de Loja en el año 2010; y con la información de los mapas geológicos realizados por: J. B. Kennerley (1973) del Instituto de Ciencias Geológicas de Londres y el Ing. L. Almeida del Servicio Nacional de Geología y Minería de Quito, durante los años de 1970.

Inmediatamente, elaborada la base geológica se procedió a verificar la información para posteriormente designar la corrección y validación de la misma.

#### **4.2 Fotointerpretación y digitalización SIG de la zona de estudio.**

Mediante la interpretación de fotografías aéreas a escala 1:60.000 y ortofotos del proyecto SIG Tierras a escala 1:5.000 existentes de la zona de estudio, se determinó estructuras geológicas como fallas, pliegues, rasgos litológicos y depósitos sedimentarios; tomando como referencia la geomorfología y cambios de tonalidad en las fotografías. La utilización de ortofotos digitales es indispensable para elaborar un DEM (Modelo digital de Terreno), además se empleó una imagen SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)<sup>6</sup> en el software informático ArcGis para obtener mejor enfoque sobre el relieve topográfico de la cuenca.

---

6 [http://es.wikipedia.org/wiki/Misi%C3%B3n\\_topogr%C3%A1fica\\_Radar\\_Shuttle](http://es.wikipedia.org/wiki/Misi%C3%B3n_topogr%C3%A1fica_Radar_Shuttle)

Con el programa ArcGis se recopila, analiza y administra la información geológica para determinar las zonas de ocurrencias entre los mapas temáticos digitales disponibles del área de estudio, y mediante el levantamiento de campo realizar la correspondiente verificación y corrección de la misma.

#### 4.3 Investigación de campo y mapeo.

En esta fase se procedió a realizar el levantamiento geológico a detalle del área de estudio con la finalidad de comprobar la información procesada, y tomar nuevos datos estructurales con su respectiva descripción geológica de afloramientos existentes que permitieron definir zonas de contactos litológicos.



Vía al Poblado La Merced



Barrio San José

**Foto N° 2.** Recolección de nuevos datos estructurales: a) Estratificación de lutita perteneciente a la formación Santo Domingo. b) Estratos de arenisca calcárea de la formación San José.  
Fuente y elaboración: El autor.

La recolección de muestras de rocas y fósiles presentes en las formaciones sedimentarias se georeferenció adecuadamente mediante GPS, la descripción de afloramientos se detalló en la libreta de campo de acuerdo al tipo de litología, textura, estructura, tonalidad, presencia de humedad, dureza y solubilidad de las rocas.



Barrio Trinidad

**Foto N° 3.** Descripción de afloramiento de conglomerados perteneciente a la formación Cerro Mandango.  
Fuente y elaboración: El autor.

El equipo que se utilizó para realizar el levantamiento geológico está constituido por:

**Tabla N° 2. Materiales y equipos empleados en el levantamiento geológico.**

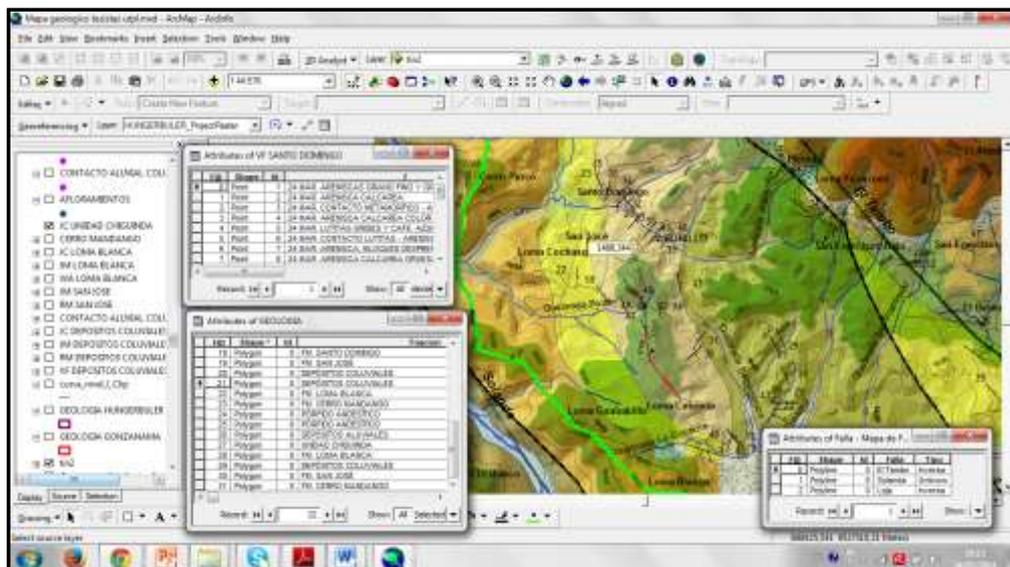
• Brújula	• Carta geológica
• GPS (Datum WGS84)	• Libreta de campo
• Martillo geológico	• Lápiz magnético
• Lupa	• Escalímetro
• Graduador	• Pinturas
• Cámara fotográfica	

Fuente y Elaboración: El Autor.

#### 4.4 Trabajo de gabinete final e interpretación de resultados.

En esta fase se ejecuta la interpretación de datos recopilados en campo, seguidamente se realiza la respectiva valoración de los datos existentes y levantados en campo; con la finalidad de elaborar el mapa geológico-estructural utilizando las herramientas SIG y AutoCAD.

Finalmente se redacta la memoria de la tesis con la información recopilada, donde se presentan los resultados obtenidos en el área de estudio con la incorporación del mapa geológico con escala de trabajo 1:10.000 y escala de impresión 1:20.000.



**Foto N° 4. Recopilación, análisis y gestión de la información geológica en el software informático ArcGis.**

Fuente y elaboración: El autor.

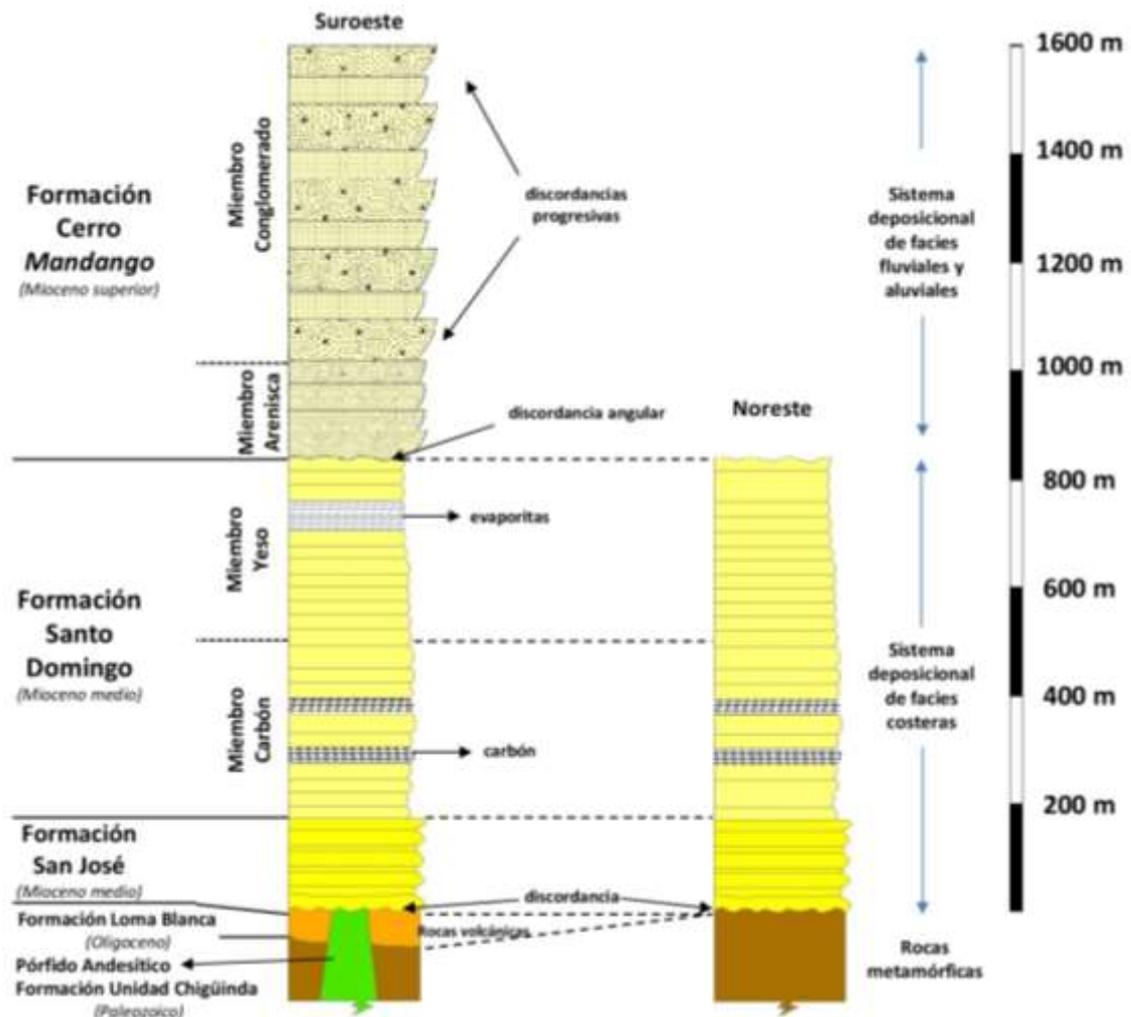
## **CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## 5.1 Geología local.

En el desarrollo de la investigación se realizó un levantamiento geológico de campo sobre toda la cuenca, de esta forma, la descripción detallada de afloramientos y toma de datos estructurales en determinadas zonas forman piezas claves en la correlación e interpretación de contactos litológicos entre formaciones de edad terciaria, depósitos cuaternarios y rocas basamentales paleozoicas.

### 5.1.1 Estratigrafía

Según el análisis de estudio la cuenca sedimentaria de Malacatos se estructura en dos márgenes separados por una falla inferida que atraviesa las formaciones terciarias. Basándose en la interpretación y descripción de los cortes geológicos se elaboró la columna estratigráfica modificada y ajustada a la versión del investigador Dominik Hungerbühler (2002).



**Gráfico N° 3.** Columna estratigráfica de la cuenca sedimentaria de Malacatos basada en la versión de Dominik Hungerbühler (2002).

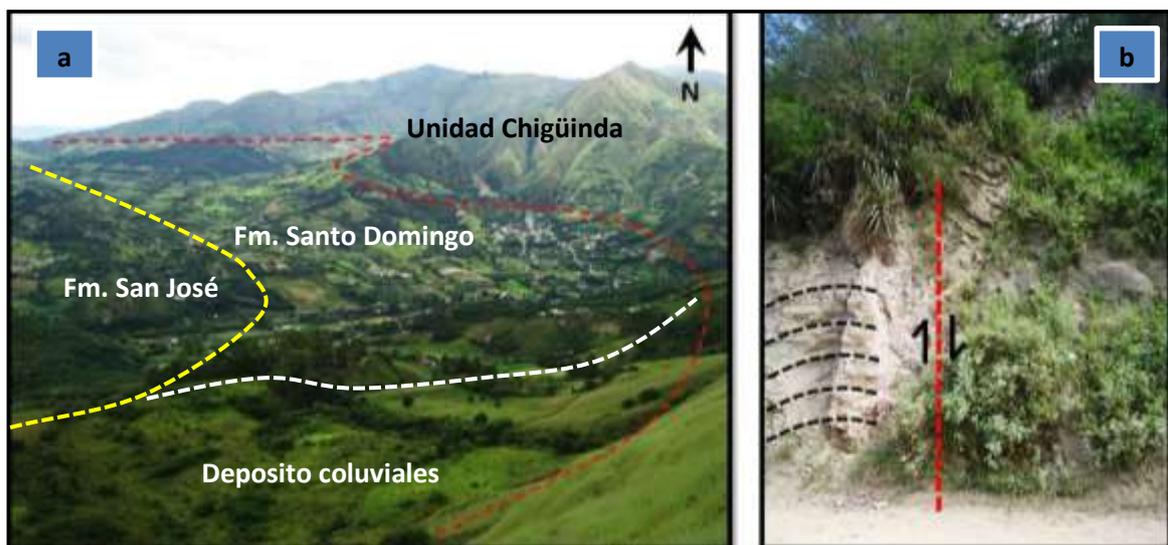
Fuente y elaboración: El autor.

Las formaciones geológicas que localmente se encuentran en la cuenca sedimentaria se detallan a continuación:

### 5.1.2 Rocas metamórficas.

#### 5.1.2.1 Unidad Chigüinda (Paleozoico).

Contiene rocas metamórficas de edad Paleozoica y constituyen el basamento de la cuenca sedimentaria, presenta un metamorfismo progresivo constituido de pizarras, filitas, esquistos, cuarcitas y gneises. Conserva una extensión noroeste-sureste hacia el margen oriental de la cuenca, conformando relieves montañosos que subyacen de forma discordante a las rocas sedimentarias de edad reciente (Ver foto N° 5a), y al occidente aflora subyaciendo discordantemente a la formación Loma Blanca en contacto fallado inferido (Ver foto N° 5b).



Loma Panecillo

Poblado Santa Cruz

**Foto N° 5.** a) Relieve montañoso de la Unidad Chigüinda en contacto litológico con formaciones de edad terciaria. b) Contacto discordante entre esquistos (Unidad Chigüinda) y tobas volcánicas (formación Loma Blanca). Se determina como contacto fallado (dirección 326°N) de acuerdo a la estructura microplegada que conservan los esquistos.

Fuente y elaboración: El autor.

En la cima de la Loma Ullaguana afloran filitas de color grisáceo y brillo sedoso en superficie clara, expuestas al intemperismo tiene tonalidad rojiza. Su textura es lepidoblástica y según datos estructurales conserva una foliación planar (pizarrosidad) de dirección 175°N e inclinación de N41°E (Ver foto N° 6).



Loma Ullaguana – Tanques de agua potable.

**Foto N° 6.** Afloramiento artificial de roca filita perteneciente a la Unidad Chigüinda.  
Fuente y elaboración: El autor.

En los poblados Santa Cruz al oeste y El Carmen al este de la cuenca se determinó afloramientos de esquistos sericítico, muy diaclasados por intemperismo mecánico. Sus planos de foliación mantienen dirección que oscila entre 30° y 40°N buzando aproximadamente S55°E.



Poblado Santa Cruz

Poblado El Carmen

**Foto N° 7.** Afloramientos rocosos de esquistos sericíticos muy diaclasados.  
Fuente y elaboración: El autor.

Los esquistos sericíticos se forma a partir de sedimentos arcillosos y arenosos; cuarzo, biotita, moscovita, sericita y clorita son sus minerales esenciales. A superficie fresca son de color gris y con brillo sedoso, expuestas al intemperismo se cubre de oxidaciones color rojizo y sedimentos arcillosos (Ver foto N° 7).

En el margen noreste de la cuenca aflora una veta de cuarzo lechoso, aparece fuertemente fracturada entre esquistos sericíticos muy frágiles debido a su alto grado de meteorización al ubicarse en una zona con clima muy variado. La veta tiene una potencia aproximada de 1,5 metros orientada 66°N y buzando S88°E (Ver foto N° 8a).

En un sendero ubicado en la loma Panecillo, afloran cuarcitas de tonalidad gris a blanquecino y tienen un diaclasamiento fuerte en varias direcciones causado por intemperismo (Ver foto N° 8b).



Poblado El Alizal

Loma Panecillo

**Foto N° 8.** a) Veta de cuarzo lechoso entre esquistos sericíticos altamente meteorizados. b) Afloramiento de cuarcitas diaclasadas en varias direcciones.

Fuente y elaboración: El autor.

Hacia el margen oriental de la cuenca se observan afloramientos masivos de roca gneis biotítico, se cubren ligeramente de vegetación. En muestra de mano a superficie clara se reconocen bandas de cuarzo y feldespato alternado de mineral biotita, expuestas al intemperismo muestra tonalidad gris oscuro, en ocasiones presenta oxidaciones de color anaranjado rojizo. Se observa diaclasas con distintas direcciones y buzamientos (Ver foto N° 9).



Quebrada Cobalera

Quebrada Naranjo Dulce

**Foto N° 9.** Afloramientos de gneis biotítico en estructuras con diaclasamiento.  
Fuente y elaboración: El autor.

De acuerdo a condiciones de ultrametamorfismo, un proceso de fusión parcial (anatexia) afecto al gneis dando lugar a la formación de rocas de carácter mixto; es decir, el aumento de la temperatura produce una masa fundida de gneis, asciende y luego a consolidarse en zonas superficiales formando depósitos de granito anatético al noreste en las partes altas de la cordillera. <sup>7</sup>

Estos depósitos al encontrarse en zona elevada los factores climáticos provocan una fuerte alteración y dan origen a suelos lateríticos que se colocan superficialmente sobre rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda.

Los suelos lateríticos mantienen una concentración de óxidos de hierro, aluminio derivados de gneis y granito anatético, su tonalidad rojiza indican oxidación y laterización debida a un exceso de agua <sup>8</sup> (Ver foto N° 10).

<sup>7</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Anatexia>

<sup>8</sup> [www.docentes.unal.edu.co/jmmonteroo/docs/12%20METSUELOS.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/jmmonteroo/docs/12%20METSUELOS.pdf)



Poblado El Alizal

Barrio San Francisco Alto

**Foto N° 10.** a) Suelos lateríticos producto de alteración de gneis y granitos anatóxico. b) Afloramiento fuertemente fracturado de roca mixta que presenta características entre gneis y granito anatóxico.

Fuente y elaboración: El autor.

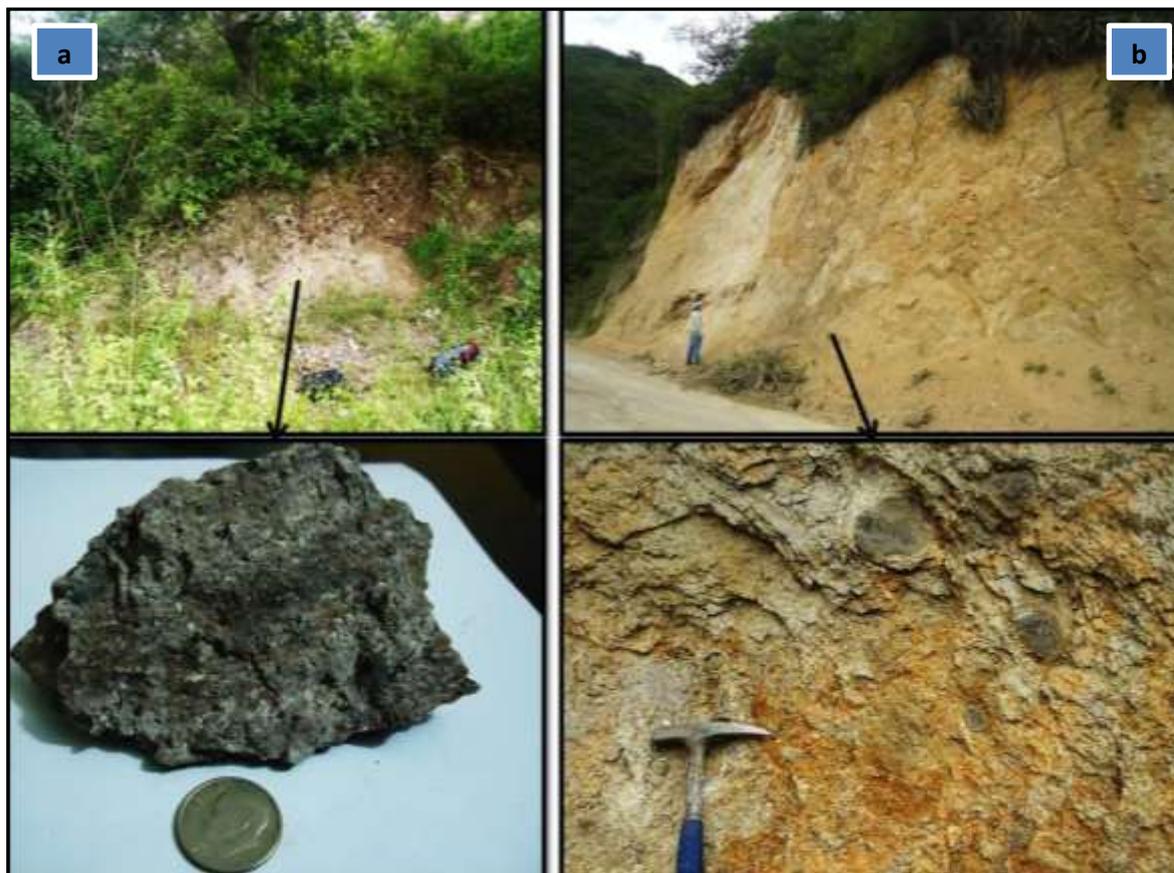
### 5.1.3 Rocas volcánicas.

#### 5.1.3.1 Formación Loma Blanca (Oligoceno).

Se deposita al oeste de la cuenca conformando relieves colinados altos de cima redondeada. Se observan afloramientos de tobas volcánicas de composición riolítica - andesítica, aglomerados e ignimbritas.

Al noroeste en el poblado San José aflora un depósito de tobas consideradas como ignimbritas de composición riolítica, consiste en una roca de color gris a rosado, de estructura fluidal y textura porfírica, bien soldada en forma de lentes aplastados y horizontales, donde se observa la fluidez de la toba en el momento de ser emplazada y la presencia de poros determina la alteración de pómez. Superficialmente se acumula  $\text{Ca}_2\text{CO}_3$  de color blanquecino (Ver foto N° 11a).

Las tobas mantienen una composición riolítica, son de color rosa claro en superficie fresca, en superficie alterada toma tonos gris oscuro y anaranjado rojizo producto de oxidaciones. Como resultado de la consolidación de material piroclástico se forman aglomerados de bombas volcánicas, trozos redondos expeditos en estado líquido y volviéndose esféricas en la solidificación (Ver foto N° 11b).



Poblado San José – Quebrada Paltón

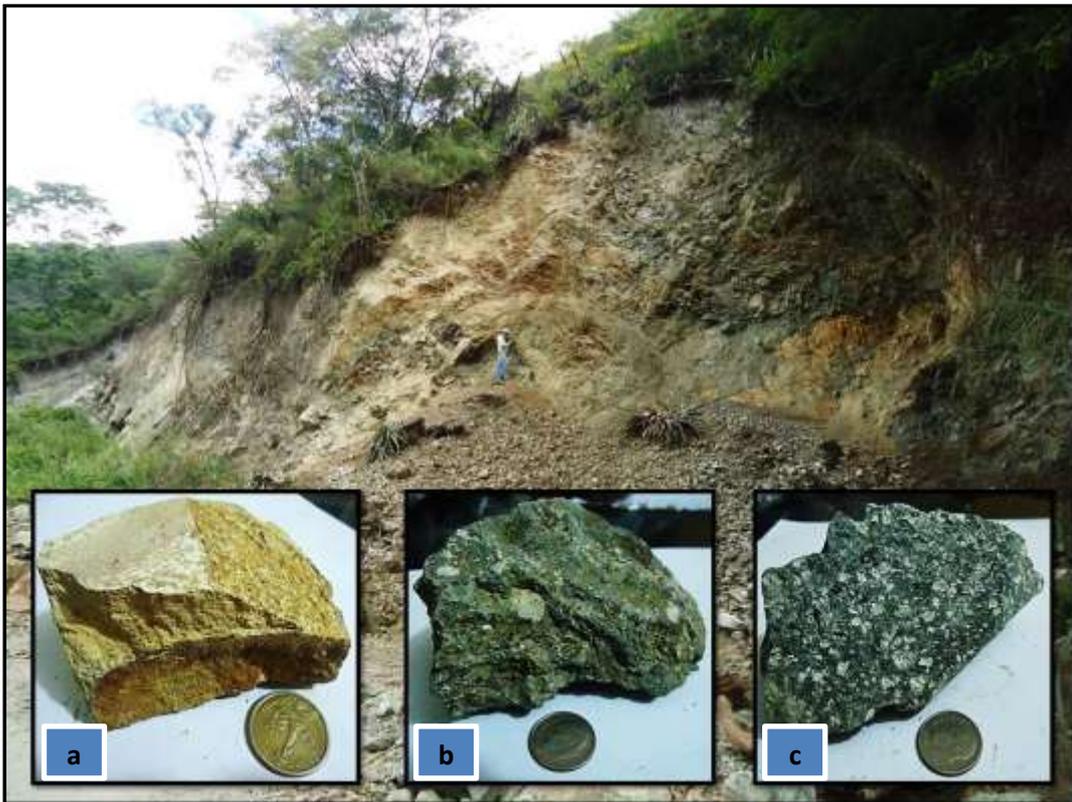
**Foto N° 11.** Afloramiento de tobas volcánicas: a) Ignimbrita y b) Tobas y aglomerados.

Fuente y elaboración: El autor.

### 5.1.3.2 Pórfido Andesítico.

En la localidad de Santa Cruz entre los cerros Pan de Azúcar y Minas se determinó la existencia de un pórfido andesítico, producto de efusiones de lavas consolidadas y se caracterizan por su composición riolítica andesítica.

Es visible zonas amarillas de riolítica bien consolidada con impregnaciones de pirolusita (Ver foto N° 12a). La zona porfídica presenta tonos verdes, textura porfídica y matriz afanítica con muchos fenocristales de plagioclasa (Ver foto N° 12b y 12c).



**Poblado Santa Cruz – Río Malacatos**

**Foto N° 12.** Afloramiento de composición volcánica: a) Toba riolítica con impregnaciones de pirolusita, b y c) Pórfido andesítico con fenocristales de plagioclasa.

Fuente y elaboración: El autor.

Dentro del Pórfido Andesítico también se aprecia una estructura maciza de dacita, muy dura y compacta, presenta color verde a gris verdoso en superficie fresca y expuestas al intemperismo presenta tonalidad rojiza (oxidaciones) debido a su alto contenido de hierro.



**Poblado Santa Cruz**

**Foto N° 13.** Afloramiento de dacita con tonalidad rojiza debido a su alto contenido de hierro.

Fuente y elaboración: El autor.

En análisis macroscópico posee una textura afanítica y porfídica exhibiendo fenocristales de plagioclasa y raramente piroxeno. Son producto de un volcanismo asociado riodacítico a andesítico de carácter calco-alcálido (Ver foto N° 13).

#### 5.1.4 Rocas Sedimentarias.

La cuenca sedimentaria se conforma de una secuencia estratigráfica con litologías de edad miocénica, las mismas que descansan discordantemente sobre el basamento metamórfico de edad Paleozoica.

La serie sedimentaria desde la más antigua hasta más joven, está conformada por las formaciones San José, Santo Domingo y Cerro Mandango; mediante la investigación de campo todas estas formaciones afloran continuamente en ambos lados de la cuenca, a excepción de la Cerro Mandango que únicamente se presenta en el centro de la misma.

A continuación se detallan las diferentes formaciones presentes en el área:

##### 5.1.4.1 Formación San José (Mioceno medio).

Aflora en dos franjas ubicadas al occidente y oriente de la cuenca, comprende rocas clásticas como areniscas calcáreas, depósitos de microconglomerado calcáreo, brechas bioclásticas que acumulan carbonatos en forma superficial.

Son muy notables los estratos de arenisca calcárea muy compactas, de tonalidad gris verdoso en superficie clara, y sobre estas se depositan una capa de brechas bioclásticas con alto contenido de carbonatos mostrando un color verdoso al intemperismo (Ver foto N° 14).

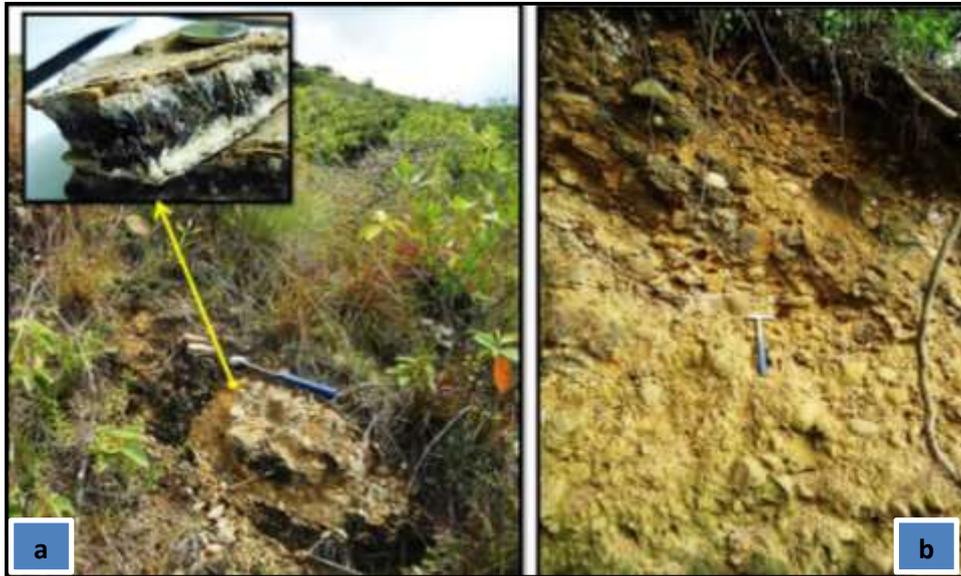


Barrio San José – Vía Principal

**Foto N° 14.** a) Estratificación de areniscas calcáreas muy compactas. b) Brechas bioclásticas meteorizadas.

Fuente y elaboración: El autor.

La formación exhibe capas de microconglomerado y conglomerado con guijarros volcánicos y metamórficos, los clastos son redondeados de mediana esfericidad distribuidos en una matriz arenosa con cemento calcáreo. Se observan recristalizaciones de carbonatos y acumulaciones superficiales en ciertos afloramientos (Ver foto N° 15).



#### Sector Naranja Dulce

**Foto N° 15.** Depósitos de microconglomerado y conglomerado con guijarros volcánicos y metamórficos en matriz arenosa y cemento calcáreo: a) Microconglomerado. b) Conglomerado  
Fuente y elaboración: El autor.

Depósitos de arenisca calcárea altamente meteorizados presentan un carácter arcósico (grano grueso), son de tonalidad parda en planos frescos y al intemperismo tienen color rosa claro. Debido a su erosión superficialmente se ubican sedimentos sueltos sobre las zonas aflorantes (Ver foto N° 16).



#### Poblado Cararango

#### Sector Ceibopamba –Loma Cabrería

**Foto N° 16.** Los depósitos de arenisca calcárea presentan alto grado de meteorización.  
Fuente y elaboración: El autor.

En el borde occidental se observa como la formación San José esta sobrepuesta a las rocas volcánicas de la formación Loma Blanca.

#### 5.1.4.2 Formación Santo Domingo (Mioceno medio).

Se encuentra en dos franjas con extensión noroeste-sureste, reposa en concordancia sobre rocas de la formación San José, al borde oriental de la depresión descansa discordantemente sobre rocas metamórficas pertenecientes a la Unidad Chigüinda.

##### Miembro Carbón.

En el poblado Jabonillo se presentan una secuencia deposicional de estratos de lutita de color negra debido a su alto contenido orgánico. Ligeramente se intercalan de finas capas de limolita con tonalidad gris, y laminaciones de yeso cristalino paralelas a los planos estratigráficos (Ver foto N° 17a).

En ciertas zonas los estratos se muestran fuertemente fracturados, sobre ellos se observa acumulación de azufre mineral y oxidaciones. Se determinó la existencia de un manto de carbón bituminoso con potencia aproximada de 1 metro, mantiene una orientación  $43^{\circ}\text{N}$  y buzamiento de  $\text{S}38^{\circ}\text{E}$  (Ver foto N° 17b).

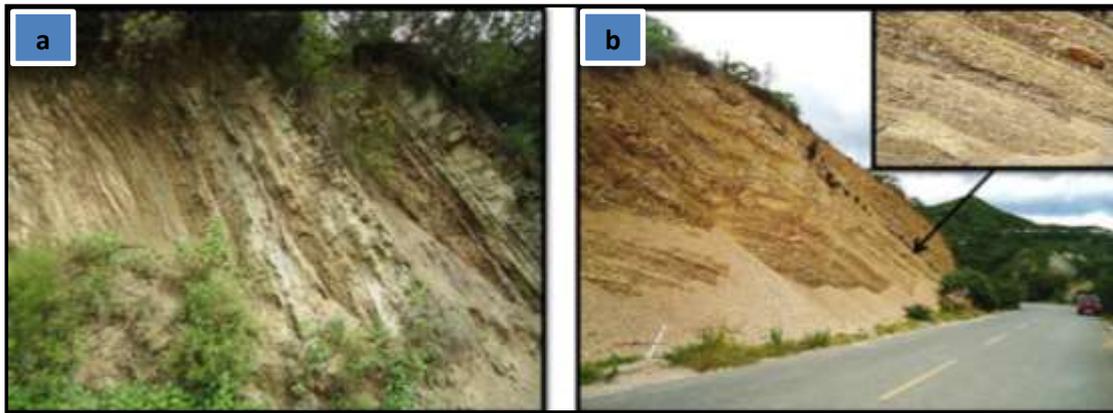


Poblado Jabonillo

**Foto N° 17.** a) Estratos de lutita color negro fuertemente fracturados. b) Manto de carbón bituminoso ubicada entre una secuencia deposicional de lutita.

Fuente y elaboración: El autor.

En el norte de la cuenca, en el poblado Naranja Dulce aflora una secuencia estratigráfica de arenisca (arcosa) de grano grueso con finas capas de limolita color gris. En todo el afloramiento se observan laminaciones de yeso acordes a los planos estratigráficos y debido a proceso de erosión se acumula azufre mineral en forma superficial. Los estratos se orientan  $354^{\circ}\text{N}$  con una inclinación de  $\text{N}58^{\circ}\text{E}$  (Ver foto N° 18a).



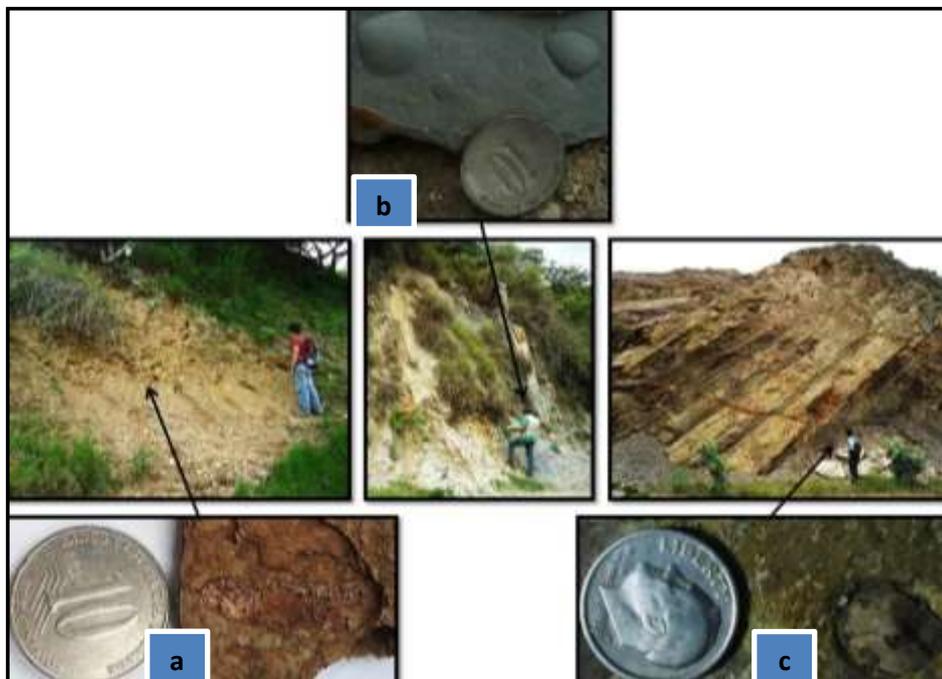
Poblado Naranjo Dulce

Poblado Santo Domingo

**Foto N° 18.** a) Secuencia deposicional de arenisca con intercalada de láminas de yeso cristalino. b) Estratificación de lutitas color crema con fracturas rellenas de oxidaciones.

Fuente y elaboración: El autor.

Estratos de lutita se orientan  $12^{\circ}\text{N}$  e inclinan  $\text{S}34^{\circ}\text{E}$  en el poblado Santo Domingo, se caracterizan por su color crema en planos frescos, al intemperismo tonalidad anaranjada rojiza debido a oxidaciones in situ. En medio de la secuencia deposicional se aprecian bloques de caliza calcárea e intercalados de laminaciones de yeso cristalino paralelas y relleno de las fracturas en los planos de estratificación. Debido a la erosión se ubican acumulaciones de azufre mineral y fragmentos de roca al pie de talud (Ver foto N° 18b).



Barrio Belén

Quebrada Cobalera

Sector La Merced

**Foto N° 19.** Estratos sedimentarios de la formación Santo Domingo: a) Pez fósil – (Az. buz/buz= $61^{\circ}/30^{\circ}$ ). b) Bivalvos fósiles – (Az. buz/buz= $74^{\circ}/63^{\circ}$ ). c) Fósil foraminífero – (Az. buz/buz= $45^{\circ}/38^{\circ}$ ).

Fuente y elaboración: El autor.

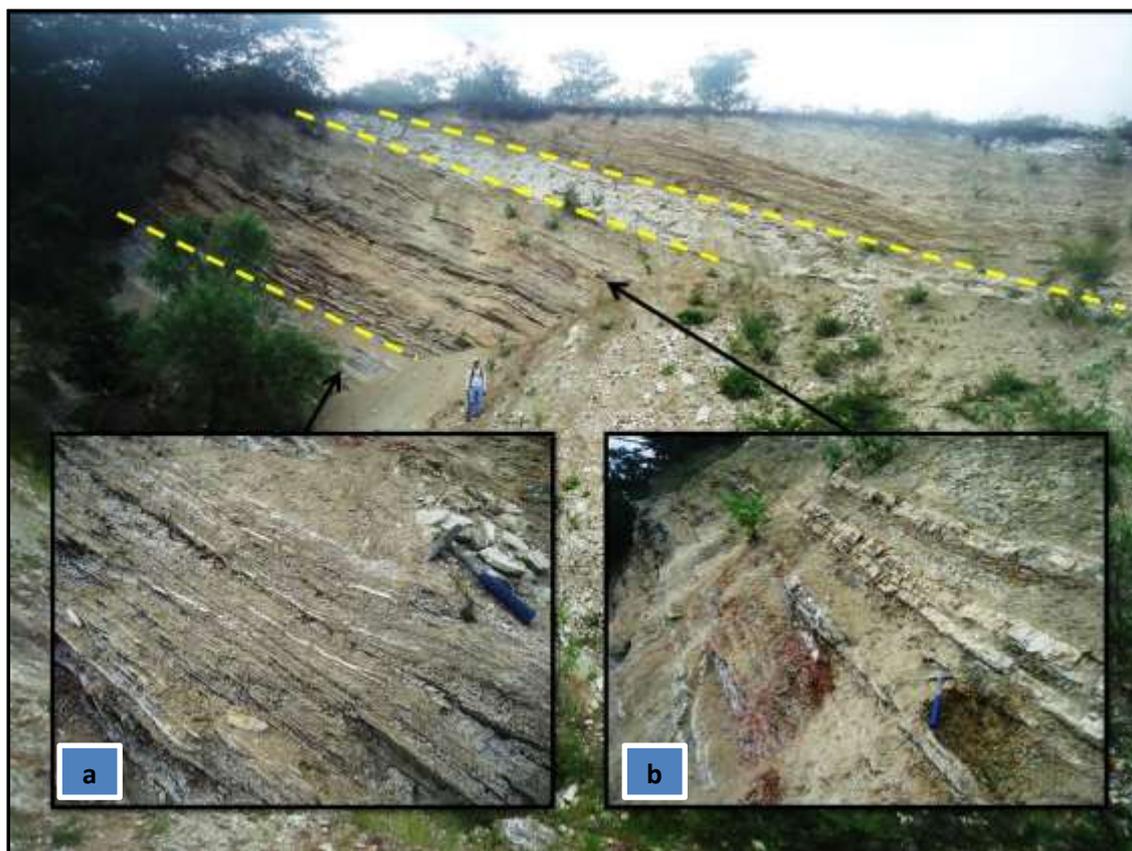
Es importante recalcar que los estratos de lutita presentan una buena fisibilidad, favoreciendo así el hallazgo de fauna fósil en ciertos lugares. En el barrio Belén se ubican estratos de lutita color café y albergan fósiles (peces) que se conservaron durante los procesos de sedimentación (Ver foto N° 19a).

Al norte cercano a la quebrada Cobalera, en un estrato de arenisca fina y limolita se descubrió fósiles foraminíferos tipo bivalvos (Ver foto N° 19b). También en el sector La Merced se ubicó entre estratos de lutita negra fósiles de fauna marina (Ver foto N° 19c).

Estos indicios indican el predominio ambientes marinos y entornos pantanosos en las facies de sedimentación.

### **Miembro Yeso.**

Consiste en depósitos con grandes concentraciones de yeso en estructuras plegadas y estratificación laminar; constituyendo un yacimiento importante donde se llevan a cabo trabajos de explotación en las minas San José y La Merced.



**Mina San José – Veta de yeso**

**Foto N° 20.** Mina San José, trabajos de explotación finalizados: a) Estratos de arenisca de grano medio intercalada de laminaciones de limolita y presenta recristalización de yeso. b) Estratos de arenisca calcárea muy compacta, contiene agujas prismáticas verticales de yeso cristalino, se intercala de láminas de arenisca limosa y limolita.

**Fuente y elaboración:** El autor.

La secuencia deposicional se conforma de estratos de arenisca de grano medio intercalada de laminaciones de limolita y presenta recristalización de yeso color blanco entre los planos estratigráficos (Ver foto N° 20a).

Algunos estratos de arenisca calcárea muy compacta, contiene agujas prismáticas verticales de yeso cristalino, se intercala de láminas de arenisca limosa y limolita. Sobre estos disponen mantos de caliza compacta con recristalización de calcita en los planos de estratificación (Ver foto N° 20b). La estratificación mantienen una orientación  $326^{\circ}\text{N}$  y se inclinan  $\text{N}49^{\circ}\text{E}$ . En la mina San José la veta de yeso se emplaza de una dirección noroeste - sureste.



Poblado El Carmen

**Foto N° 21.** a) Estratificación de arenisca de carácter arcósico – ( $\text{Az. buz/buz}=25^{\circ}/36^{\circ}$ ). b) Estratificación gradada de arenisca gruesa (arcosa) hacia microconglomerado de guijarros metamórficos con matriz arenosa calcárea – ( $\text{Az. buz/buz}=54^{\circ}/35^{\circ}$ ).

Fuente y elaboración: El autor.

Hacia el techo de la formación se ubican depósitos de areniscas de carácter arcósico y grano grueso, tienen bajo contenido calcáreo y son de tonalidad gris a amarillo en superficie clara, expuestas al intemperismo son color ámbar (Ver foto N° 21a) debido a proceso de oxidación. Se observa una estratificación gradada hacia microconglomerado con guijarros metamórficos con distribución caótica en matriz arenosa calcárea (Ver foto N° 21b).

#### 5.1.4.3 Cerro Mandango (Mioceno superior).

En el centro de la cuenca sedimentaria se observan afloramientos de areniscas y conglomerados en estructuras granocreciente que han sido altamente erosionadas y moldeadas por agentes hídricos. La formación se depositó en discordancia angular sobre la formación Santo Domingo en el Mioceno superior, al Sur yace directamente sobre la formación Loma Blanca.

#### Miembro Arenisca (inferior).

En los barrios Trinidad y Santa Anilla se aprecian paquetes estratificados de arenisca pertenecientes al miembro inferior, se caracterizan por ser de grano fino a grueso y una tonalidad gris en superficie clara. La presencia de huellas (hojas fósiles) en las areniscas indica ser formadas en un sistema fluvial arenoso y un sistema abanico aluvial (Ver foto N° 22).



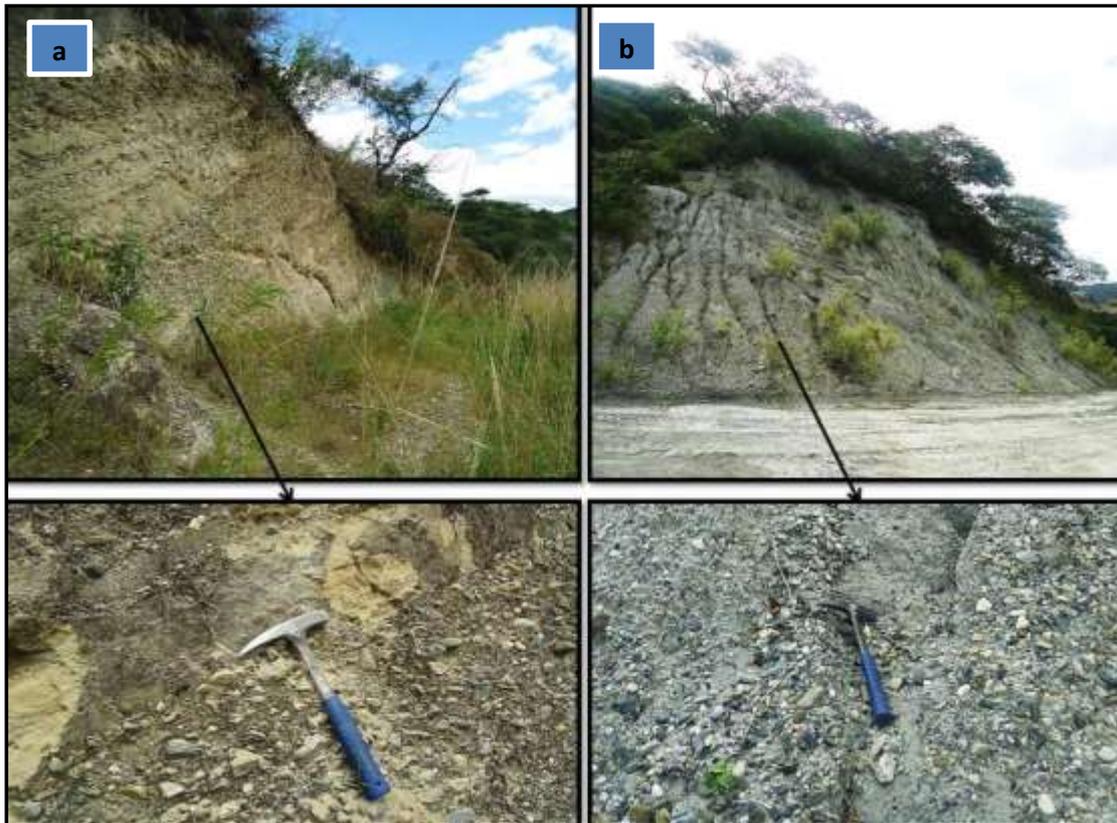
Barrio Trinidad

Barrio Santa Anilla

**Foto N° 22.** a) Estratos de arenisca de grano fino con huellas de hojas fósiles – (Az. buz/buz =  $65^{\circ}/30^{\circ}$ ). b) Estratos de arenisca de grano fino a grueso – (Az. buz/buz =  $81^{\circ}/24^{\circ}$ ).

Fuente y elaboración: El autor.

Además, el miembro inferior presenta depósitos de arenisca tipo cuarzoarenita y litarenita con estructura granocreciente intercalada de secuencias de microconglomerado con guijarros metamórficos (cuarcita, esquisto, cuarzo lechoso) pobremente seleccionados en matriz arenosa. La acción del agua provoca la erosión en cárcavas sobre los afloramientos (Ver foto N° 23).



**Sector Ceibopamba**

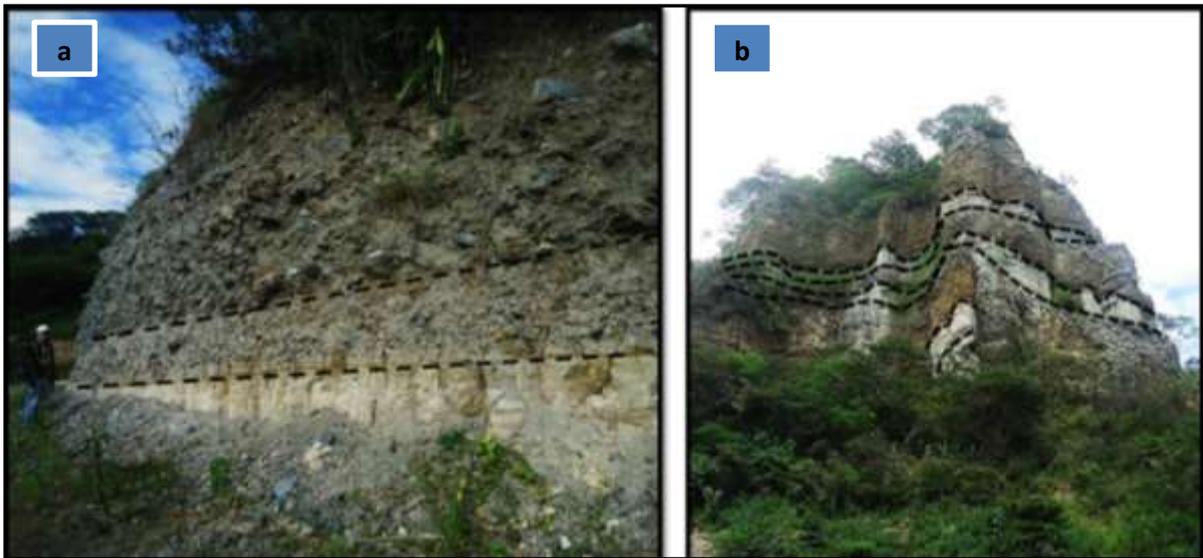
**Foto N° 23.** a) Depósitos de areniscas de grano medio intercalado de microconglomerado con guijarros metamórficos. b) Afloramiento de areniscas y gravas erosionadas por efecto y acción del agua formando cárcavas.

**Fuente y elaboración:** El autor.

**Miembro Conglomerado (superior).**

Inmediatamente, hacia el norte continua la secuencia estratigráfica granocreciente hacia el miembro superior, constituidos de estratos de arenisca y conglomerado. Los paquetes de arenisca varían de tamaño de acuerdo a la frecuencia de su depositación, de la misma forma que presentan granos de tamaño variable (Ver foto N° 24).

Los estratos de conglomerado tienen clastos metamórficos (cuarcita, esquisto, cuarzo lechoso) redondos y de baja esfericidad con distribución moderadamente seleccionada matriz arcillo arenosa.



Poblado Portete

Parque Ecológico

**Foto N° 24.** a) Estratificación subhorizontal de arenisca y conglomerado – (Az. buz/buz=74°/2°). b) Estratos inclinados de litología perteneciente al miembro superior – formación Cerro Mandango. (Az. buz/buz=65°/30°)

Fuente y elaboración: El autor.

#### 5.1.4.4 Depósitos Coluviales.

En las altas montañas y relieves de origen metamórfico y materiales volcánicos, se localizan formaciones recientes (edad Holoceno) producto de la meteorización y erosión "in situ" de las rocas que posteriormente fueron transportadas por gravedad y aguas no canalizadas, removiendo el material suelto hacia la base de las laderas desde unos pocos metros hasta algunos kilómetros.

En la base del cerro Pan de Azúcar y Loma Blanca se observan fragmentos angulosos y subangulosos de piroclastos volcánicos y en menor presencia cantos rodados de origen metamórfico, distribuidos caóticamente y poco consolidados en matriz arcillo arenosa (Ver foto N° 25).

Estos depósitos forman un relieve colinado bajo que posiblemente cubren de forma superficial las formaciones San José y Santo Domingo.



Sector Ceibopamba

Sector Ceibopamba

**Foto N° 25.** Depósito coluvial ubicado en la base del cerro Pan de Azúcar y Loma Blanca: a) Canto rodado de esquistos sercítico. b) Fragmentos de piroclastos volcánicos.

Fuente y elaboración: El autor.

Desde la cima de la loma Tuco hasta el poblado Taxiche se observa una acumulación superficial moderadamente seleccionada de fragmentos redondeados (esquistos y cuarcitas) en matriz limo arenosa, cubriendo de esta forma parte de las formaciones Cerro Mandango y Santo Domingo, suponiendo de esta manera un contacto inferido entre ambas formaciones (Ver foto N° 26).



Loma Tuco

**Foto N° 26.** Depósito coluvial ubicado en la elevación "Loma Tuco". Constituido de clastos y fragmentos metamórficos.

Fuente y elaboración: El autor.

Colinas de pendiente suave conformadas por material coluvial se ubican al pie del Cerro Canoas, litológicamente consisten de fragmentos angulosos de roca filita con distribución caótica en matriz arcillo limosa, que se han ido acomodando desordenadamente en discordancia sobre rocas metamórficas del basamento y rocas sedimentarias de las formaciones San José y Santo Domingo individualmente (Ver foto N° 27).



Base del Cerro Canoas

Poblado El Carmen

**Foto N° 27.** a) Colinas de pendiente suave formadas de material coluvial. b) Depósito coluvial presenta una erosión hídrica en forma de cárcavas debido a su bajo grado de consolidación.

Fuente y elaboración: El autor.

A lo largo del relieve montañoso ubicado al noreste de la cuenca, se observan pequeños valles en "V" que albergan en sus laderas coluvios de origen metamórfico resultado de la alteración in situ de las rocas que constituyen la Unidad Chigüinda.



Sector Picota

Barrio San Francisco Alto

**Foto N° 28.** a) Coluvios de origen metamórfico resultado de la alteración in situ de las rocas que constituyen la Unidad Chigüinda. b) Cantos rodados de tamaño métrico de roca gneis biotítico aflorando a superficie.

Fuente y elaboración: El autor.

Estos depósitos presentan una estructura no consolidada de bloques y fragmentos angulosos de gneis biotítico distribuidos caóticamente en matriz arcillo-arenosa (Ver foto N° 28a). Además, es importante mencionar a la altura del barrio San Francisco la existencia de cantos rodados de tamaño métrico de roca gneis biotítico aflorando a superficie (Ver foto N° 28b).

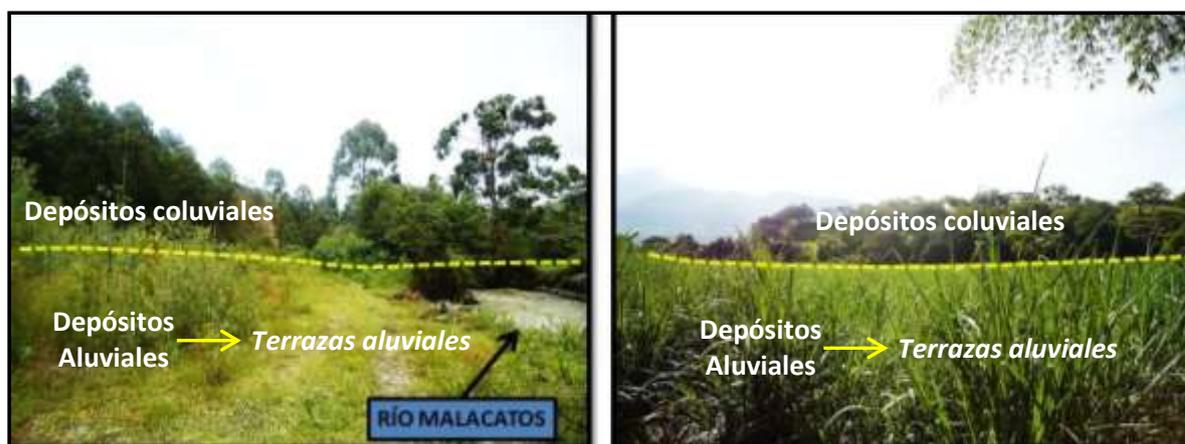
#### 5.1.4.5 Depósitos aluviales.

Sobre la cuenca sedimentaria corren afluentes naturales que han originado llanuras, abanicos y terrazas aluviales durante el Holoceno y se presentan principalmente a lo largo del río Malacatos y quebradas que conforman el sistema fluvial dendrítico dentro de la misma.

Estos depósitos ofrecen una morfología parcialmente plana al ser formada por acumulación superficial de material clástico de naturaleza heterogénea, mal clasificado y poco consolidado, transportado largas distancias por las variables corrientes fluviales.

Están constituidos de arcilla, limos, arenas, gravas gruesas, cantos y bloques de composición metamórfica y en poca cantidad de origen sedimentario, su redondez y esfericidad indican que recorrieron grandes distancia (Ver foto N° 29).

En la intersección de los ríos Malacatos y Solanda se ubican depósitos aluviales considerados como fuente de recursos de material pétreo para la construcción.



Poblado Landangui – Río Malacatos

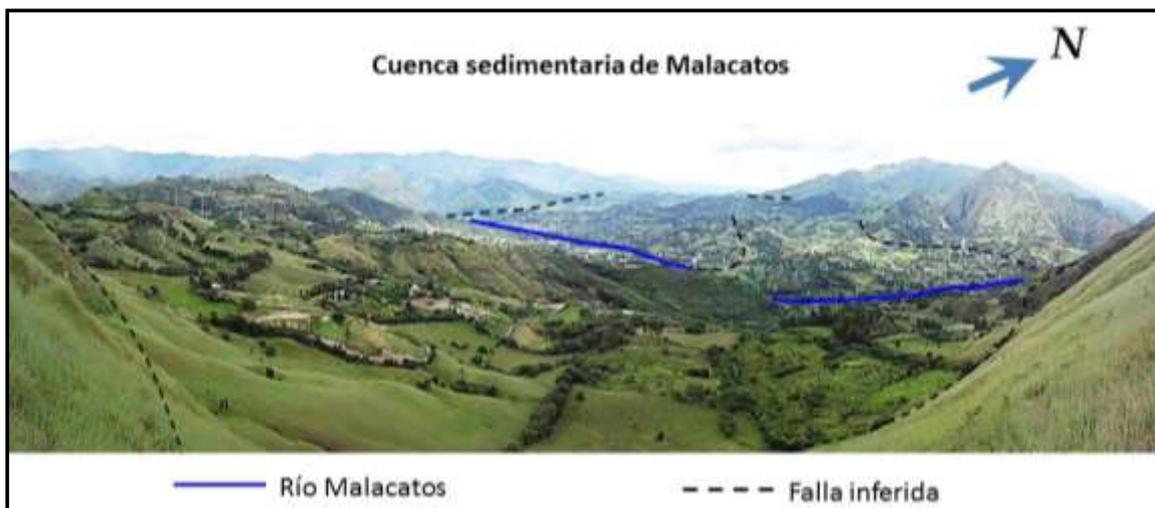
Poblado Taxiche – Río Malacatos

**Foto N° 29.** Contacto litológico entre depósitos coluviales y aluviales representados por terrazas aluviales.

Fuente y elaboración: El autor.

## 5.2 Geología estructural.

La cuenca sedimentaria de Malacatos ha sido controlada por fallas orientadas de NW-SE y NE-SW, de manera especial la presencia de una falla inferida con rumbo noroeste - sureste ha influido en la división de la cuenca en dos márgenes, uno Oriental y otro Occidental que mantienen indistintamente la secuencia deposicional de las formaciones terciarias (Ver foto N° 30).



Loma Panecillo

**Foto N° 30.** Fallas normales inferidas en el centro y bordes de la cuenca sedimentaria de Malacatos.

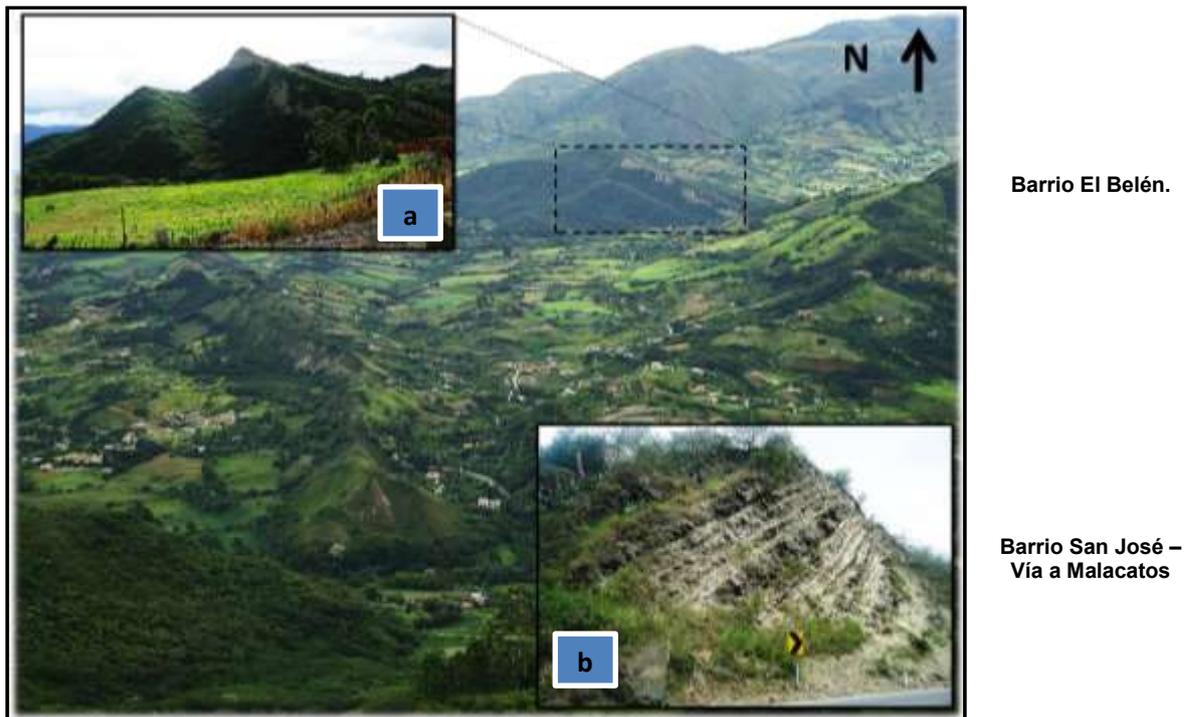
Fuente y elaboración: El autor.

### 5.2.1 Estructuras tectónicas locales - Margen oriental.

Mantiene una serie sedimentaria de edad miocénica sobrepuesta discordantemente sobre el basamento de rocas metamórficas (Unidad Chigüinda), la secuencia deposicional se compone de estratos de rocas de las formaciones San José y Santo Domingo que debido a esfuerzos tectónicos han originado las estructuras geológicas visibles ante una fase de erosión.

#### 5.2.1.1 Estructuras monoclinales.

Se ubican en las formaciones San José y Santo Domingo constituyendo cuevas estructurales, cuyos frentes se encuentran expuestos a diferentes procesos de erosión y meteorización. De acuerdo a los datos estructurales tomados en campo, los estratos tienen una orientación que oscila entre los 300° - 320°N con un buzamiento promedio de N35°E (Ver foto N° 31).



**Foto N° 31.** Estructuras monoclinales: a) Formación Santo Domingo. b) Formación San José.  
Fuente y elaboración: El autor.

En los bordes orientales de la cuenca se encuentra la Unidad Chigüinda exponiendo al norte afloramientos de esquistos sericíticos que presentan una foliación con orientación preferencial de  $40^{\circ}N$  con inclinación de  $S55^{\circ}E$  (Ver foto N° 32a). Al sureste, sobre las máximas cotas de la cuenca se observan afloramientos de filitas que mantienen una foliación planar orientada  $353^{\circ}N$  e inclinadas  $N41^{\circ}E$  (Ver foto N° 32b).



Poblado El Carmen

Loma Ullaguana

**Foto N° 32.** Estructuras foliadas presentes en la Unidad Chigüinda: a) Roca esquisto sericítico. b) Roca filita.

Fuente y elaboración: El autor.

Cerca al sector Landangui, se observa claramente depósitos cuaternarios en inconformidad estratigráfica sobre rocas metamórficas pertenecientes a la Unidad Chigüinda (Ver foto N° 33).



Sector Landangui.

**Foto N° 33.** Contacto discordante entre depósitos coluviales (DC) y Unidad Chigüinda (UC).

Fuente y elaboración: El autor.

### 5.2.1.2 Estructuras plegadas.

En el barrio "El Belén" aflora la formación Santo Domingo, en la cual se identifica una estructura sedimentaria microplegada y fracturada por un evento tectónico local de falla inversa con dirección  $150^{\circ}\text{N}$  e inclinación de  $\text{S}30^{\circ}\text{W}$ . El flanco oeste del micropliegue tumbado concentra estratos de lutitas orientados  $193^{\circ}\text{N}$  con buzamiento de  $\text{N}27^{\circ}\text{W}$ , mientras la estratificación en el flanco este se dirige  $301^{\circ}\text{N}$  con buzamiento de  $\text{N}34^{\circ}\text{E}$  (Ver foto N° 34a).



Barrio El Belén



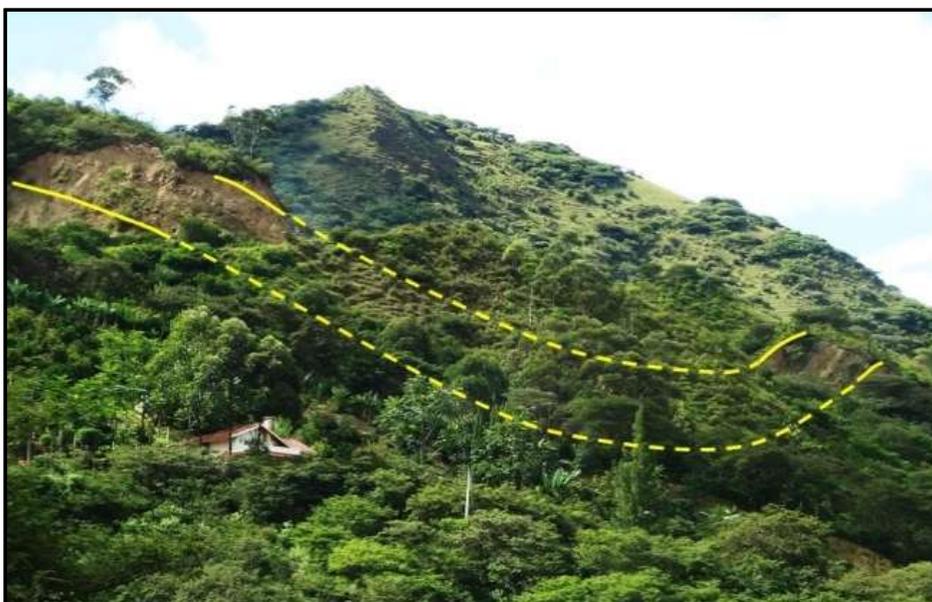
Barrio San Francisco Bajo

**Foto N° 34.** Estructuras plegadas formación Santo Domingo. a) Micropliegue fallado inversamente. b) Micropliegue volcado indicio de continuidad de falla.

Fuente y elaboración: El autor.

Hacia el barrio San Francisco Bajo un micropliegue volcado se instala en la misma dirección de la falla, lo que hace suponer la continuidad de la misma. Los estratos de arenisca del flanco inferior se orientan  $212^{\circ}\text{N}$  y buzan  $\text{N}49^{\circ}\text{W}$ , mientras el flanco superior presenta estratos dirigidos  $20^{\circ}\text{N}$  e inclinación  $\text{S}50^{\circ}\text{E}$ . Se observa una estratificación cruzada en los estratos de arenisca (Ver foto N° 34b).

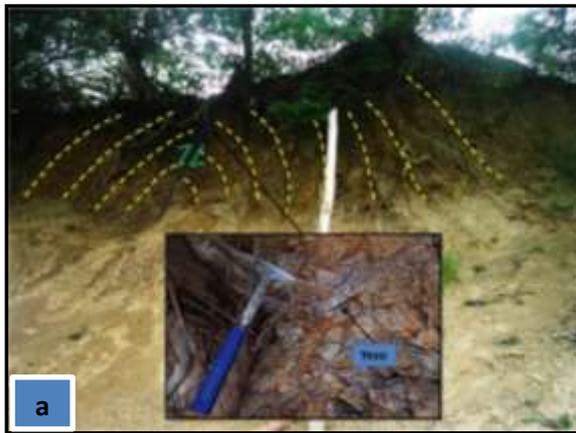
En las partes altas del poblado "El Carmen" debido a esfuerzos de compresión sobre la formación Santo Domingo activados por el levantamiento de la Unidad Chigüinda, dan origen a una estructura plegada tipo sinclinal. Los datos estructurales determinaron que el flanco oeste presenta estratos con orientación de  $316^{\circ}\text{N}$  y buzamiento de  $\text{N}49^{\circ}\text{E}$ ; posteriormente, en el flanco este los estratos tienen una dirección de  $160^{\circ}\text{N}$  con buzamiento de  $\text{S}45^{\circ}\text{W}$  (Ver foto N° 35).



Poblado El Carmen

**Foto N° 35.** Pliegue sinclinal de estratos de arenisca de la formación Santo Domingo.  
Fuente y elaboración: El autor.

Hacia el sur del margen oriental, a la altura del sector "Cararango" en la formación Santo Domingo se observa un micropliegue anticlinal cuyos estratos en el flanco oeste mantienen una dirección de  $103^{\circ}\text{N}$  con buzamiento de  $\text{S}42^{\circ}\text{W}$ ; y en el flanco este los estratos se orientan  $322^{\circ}\text{N}$  e inclinados  $\text{N}51^{\circ}\text{E}$ . El eje del pliegue se encuentra fracturado constituyéndose una falla inversa con dirección  $145^{\circ}\text{N}$  e inclinación de  $\text{S}63^{\circ}\text{W}$  (Ver foto N° 36a).



**Sector Cararango**

**Poblado El Sauce**

**Foto N° 36.** Estructuras plegadas. a) Micropliegue anticlinal fallado inversamente. b) Micropliegue monoclinal.

**Fuente y elaboración:** El autor.

En la avenida principal próxima a la gasolinera de la parroquia Malacatos, la formación Santo Domingo denota un micropliegue monoclinal, consecuente de procesos meteorización y erosión, de tal forma que solo se observa un flanco con estratificación dirigido  $325^{\circ}\text{N}$  e inclinados  $\text{N}46^{\circ}\text{E}$ . La litología corresponde a arenisca con intercalaciones finas de limolita, y de manera especial presenta fósiles de fauna foraminífera (Ver foto N° 36b).

### **5.2.2 Estructuras tectónicas locales - Margen occidental.**

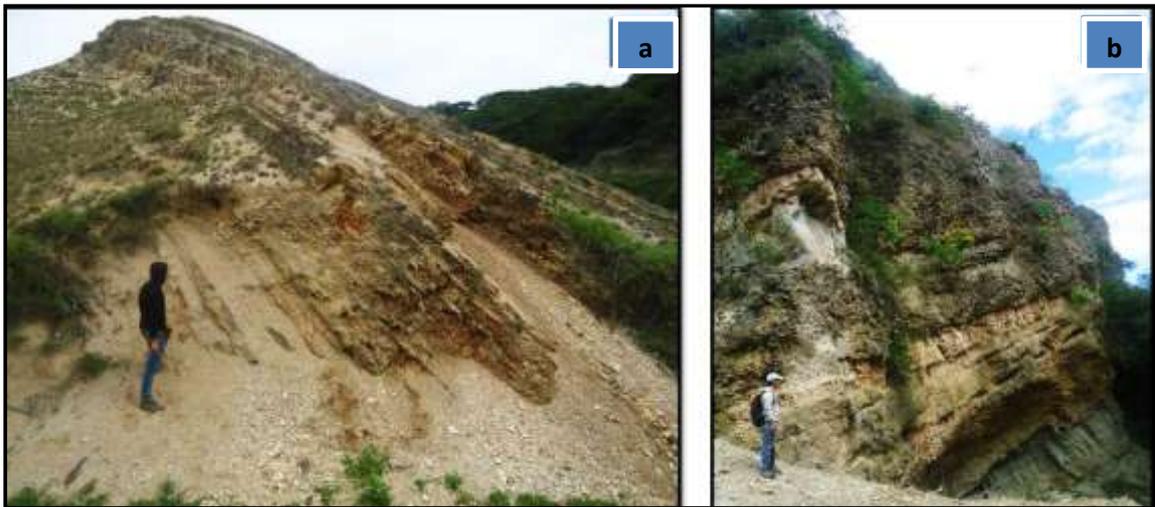
Esta zona de la cuenca está constituida de una secuencia deposicional de sedimentos volcánicos y marinos del terciario superpuestos sobre un basamento de rocas metamórficas (Paleozoico). Debido al levantamiento tectónico (Mioceno-Plioceno) hacia el oeste afloran rocas volcánicas en las partes altas de la cordillera y sobreyacen discordantemente las rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda.

La serie sedimentaria marina afectada por movimiento telúricos y procesos de erosión presenta estructuras plegadas, inclinadas, fracturas tipo fallas y una estratificación orientada preferencialmente hacia el Este.

#### **5.2.2.1 Estructuras monoclinales.**

En el lado Norte la formación Santo Domingo dentro del sector "Naranja Dulce" conforma cuestas estructurales con estratificación laminar, cuyos estratos de lutita tienen una dirección  $346^{\circ}\text{N}$  e inclinados  $\text{N}36^{\circ}\text{E}$  (Ver foto N° 37a).

Se observan una estratificación gradada en la formación Cerro Mandango, cuyos estratos inclinados conservan una orientación  $335^{\circ}\text{N}$  y buzamiento  $\text{N}29^{\circ}\text{E}$  (Ver foto N° 37b).



Sector Naranja Dulce

Parque ecológico

**Foto N° 37.** Estructuras monoclinales. a) Formación Santo Domingo. b) Formación Cerro Mandango.

Fuente y elaboración: El autor.

#### 5.2.2.2 Estructuras subhorizontales.

En el poblado Portete se observan estratos de arenisca y conglomerado pertenecientes a la formación Cerro Mandango, dispuestos de forma subhorizontal orientados  $344^{\circ}\text{N}$  e inclinados entre  $2$  a  $5^{\circ}$  hacia el noreste (Ver foto N° 38).



Poblado Portete

**Foto N° 38.** Estructuras subhorizontales presentes en la formación Cerro Mandango.

Fuente y elaboración: El autor.

#### 5.2.2.3 Estructuras cataclinales.

La formación Cerro Mandango presenta localmente una discordancia angular, aquí se observan como los estratos de conglomerado en posición subhorizontal se sobreponen sobre la inclinada estratificación conglomerática obsecuentes a una nueva facie de depositación. Se observa una erosión hídrica en forma de cárcavas profundas (Ver foto N° 39).

De acuerdo, a esta disposición estructural en el sector El Pedregal se sobreimpone un valle cataclinal.



Bosque Ecológico

**Foto N° 39.** Estructura cataclinal presente en la formación Cerro Mandango. a) Estratos subhorizontales y b) Estratos inclinados.

Fuente y elaboración: El autor.

#### 5.2.2.4 Estructuras plegadas.

En la carretera que se dirige hacia el poblado Santa Cruz, afloran esquistos de la Unidad Chigüinda que debido a un movimiento de compresión horizontal llegaron a plegarse; originando un microplegamiento de carácter simétrico. Su eje mantiene una dirección  $310^{\circ}\text{N}$ , el flanco oeste se dirige  $40^{\circ}\text{SW}$  con inclinación de  $25^{\circ}$  y el flanco este se dirige  $40^{\circ}\text{NE}$  con inclinación de  $25^{\circ}$ . Al intemperismo se cubren superficialmente de polvo producto del tránsito vehicular (Ver foto N° 40a).



Poblado Santa Cruz



Mina San José

**Foto N° 40.** Microplegamientos. a) Unidad Chigüinda. b) Formación Santo Domingo.

Fuente y elaboración: El autor.

En el sector de Ceibopamba se localiza la mina San José con trabajos de explotación de yeso mineral, la veta de yeso se ubica dentro de la secuencia estratigráfica de la formación Santo Domingo. En este lugar se observan estratos microplegados simétricamente intervenidos por una falla inversa con dirección  $263^{\circ}\text{N}$  y plano de cizallamiento de  $\text{N}65^{\circ}\text{W}$  de inclinación. El salto en la secuencia de los estratos es un indicador directo de la presencia de esta falla local (Ver foto N° 40b).



Sector Naranja Dulce



Barrio Picota

**Foto N° 41.** Estratos cabalgados de la formación Santo Domingo, localmente presentan fallas inversas.

**Fuente y elaboración:** El autor.

Se observan al lado noreste del margen occidental, cercano al cerro Picota, estratos de arenisca volcados y posteriormente fallados en dirección NW-SE, los mismos que pertenecen a la formación Santo Domingo; estos microplegamiento han permitido deducir la existencia de una falla de borde de cuenca de gran extensión que separa y caracteriza las secuencias estratigráficas terciarias del basamento metamórfico paleozoico (Ver foto N° 41).

#### 5.2.2.5 Fallas normales.

En el sector Ceibopamba, cerca de la quebrada La Cabrería se aprecian estratos de arenisca calcárea de la formación San José fracturados localmente por una falla normal orientada  $100^{\circ}\text{N}$  con inclinación  $\text{S}53^{\circ}\text{W}$ , el plano de cizalla se encuentran recristalización de calcita (Ver foto N° 42a).

Al noreste del barrio Picota estratos fracturados de arenisca denotan una disposición irregular debido a un evento tectónico local de falla normal de dirección  $125^{\circ}\text{N}$ , el plano de cizalla tiene inclinación de  $\text{S}88^{\circ}\text{W}$ . Las muestras de arenisca presentan laminaciones tipo ripples (Ver foto N° 42b).



a



b

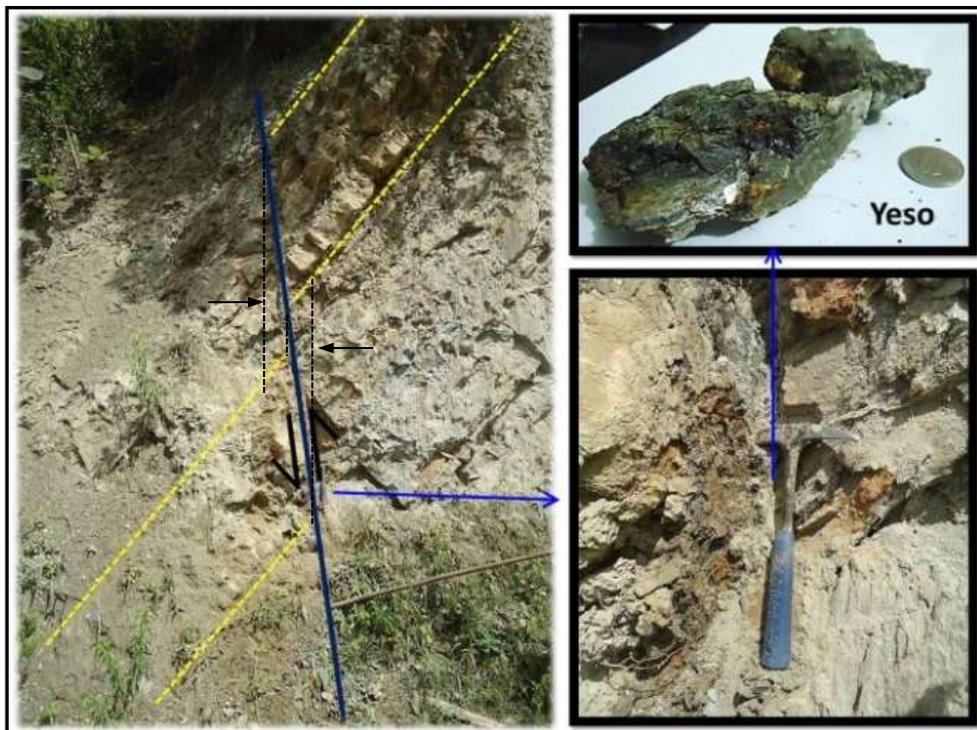
Ceibopamba

Picota

**Foto N° 42.** Fallas normales. a) Estratos arenisca calcárea de la formación San José. b) Estratos arenisca de la formación Santo Domingo.

Fuente y elaboración: El autor.

#### 5.2.2.6 Fallas inversas.



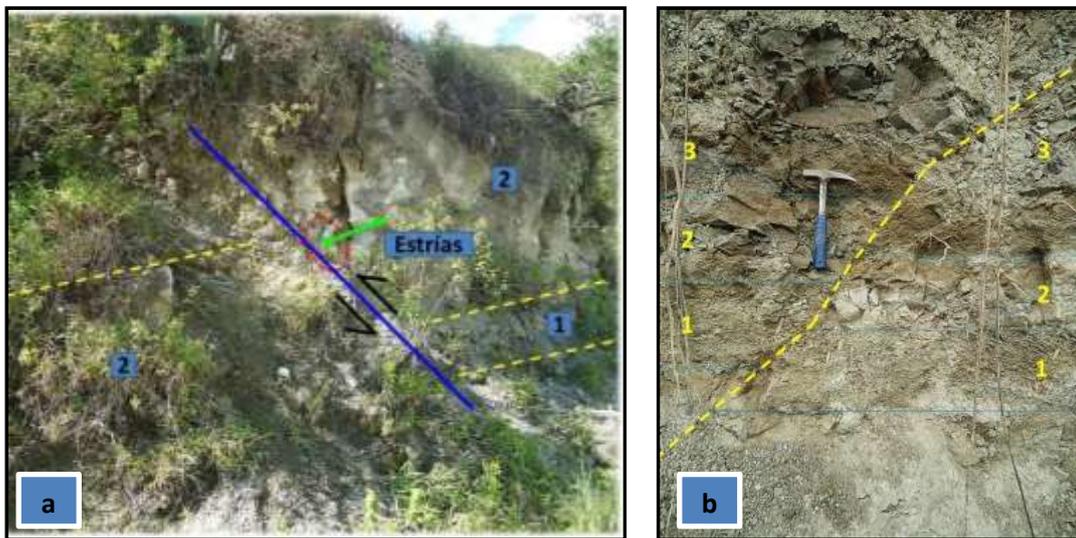
Quebrada Cobalera

**Foto N° 43.** Falla inversa en estratos de arenisca de la formación Santo Domingo. La distancia horizontal sobrepone a los estratos como indicio de fuerzas de compresión diferente a la acción de fuerzas de extensión como ocurre en fallas normales.

Fuente y elaboración: El autor.

En la parte Norte cerca a la quebrada Cobalera, estratos inclinados de arenisca de la formación Santo Domingo han sido afectados por falla inversa local de dirección  $160^{\circ}\text{N}$  con inclinación  $S74^{\circ}\text{W}$ . La fractura de falla se rellena de cristales de yeso y sedimentos arcillosos. Los estratos presentan azimut de buzamiento de  $70^{\circ}\text{N}$  e inclinación  $N63^{\circ}\text{E}$  (Ver foto N° 43).

La presencia de estrías de color marrón debido a la oxidación denotan un espejo de falla sobre areniscas de la formación Santo Domingo ubicadas en la parte alta del poblado Picota y al juzgar por la disposición de los estratos se trata de una falla inversa con dirección  $315^{\circ}\text{N}$ , el plano de cizalla muestra azimut buzamiento  $48^{\circ}\text{N}$  con inclinación de  $N82^{\circ}\text{E}$  (Ver foto N° 44a).



Barrio Picota

Barrio San Francisco

**Foto N° 44.** Fallas inversas. a) Formación Santo Domingo. b) Formación Cerro Mandango.

Fuente y elaboración: El autor.

En el barrio San Francisco Bajo, afloran estratos de arenisca de grano grueso que mantienen una estratificación con azimut buzamiento  $182^{\circ}/31^{\circ}$ . Se reconoce fácilmente por el desplazamiento tectónico de los estratos una falla inversa de dirección  $35^{\circ}\text{N}$  con buzamiento  $S42^{\circ}\text{E}$ . Este depósito forma parte del miembro conglomerado de la formación Cerro Mandango (Ver foto N° 44b).

### 5.3 Cortes de secciones geológicas locales.

Una vez establecido y elaborado el "Mapa de validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos", se realizó tres cortes geológicos en secciones orientadas de SW a NE; con la finalidad de definir y describir la hipótesis sobre la evolución deposicional y disposición estructural de las formaciones geológicas presentes en la cuenca sedimentaria (*Ver gráfico N° 4*).

De forma general en los tres cortes geológicos, las formaciones terciarias se depositan sobre rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda (Paleozoico), y constituyen el basamento de la cuenca cuya potencia no es conocida pero se presume centenas de kilómetros de profundidad.

La actividad tectónica regional generó esfuerzos tensionales que alargaron las rocas metamórficas mediante el deslizamiento a lo largo de fallas (denominadas fallas de borde de cuenca) y deformación dúctil en profundidad formando una zona deprimida en la corteza terrestre donde se produce la acumulación y sedimentación de las formaciones Loma Blanca (rocas volcánicas), San José y Santo Domingo (rocas sedimentarias).

La formación Loma Blanca yace de forma discordante sobre la Unidad Chigüinda, y contiene rocas volcánicas de acidez intermedia. En el corte A – A', la presencia del pórfido andesítico revela la proximidad de un centro eruptivo que intruye al basamento conjuntamente con la formación.

La formación San José sobreyace al oeste a las rocas volcánicas (formación Loma Blanca) y al este a las rocas metamórficas (Unidad Chigüinda) formando una discontinuidad estratigráfica tipo inconformidad. De acuerdo a las publicaciones de Dominik Hungerbühler (2002) tiene un espesor máximo de 200 m. Contiene material clástico calcáreo con facies que sugieren un ambiente de depositación costanero.

La formación Santo Domingo reposa concordantemente sobre la formación San José y tiene una potencia variable de aproximadamente 700 m., (Hungerbühler, 2002). Presenta facies sedimentarias de ambientes deltaicos costeros similares a la formación San José.

La secuencia sedimentaria se divide en el miembro yeso y miembro carbón corroborados por la presencia de vetas de yeso y carbón de orientación N-S paralelas a los planos de estratificación de la formación.

Mediante la constante actividad tectónica los esfuerzos tensionales alargan el material sedimentario fracturando nuevamente el basamento junto a las formaciones terciarias,

deformándose a profundidad y provocando el levantamiento de la Unidad Chigüinda en los márgenes de la cuenca.

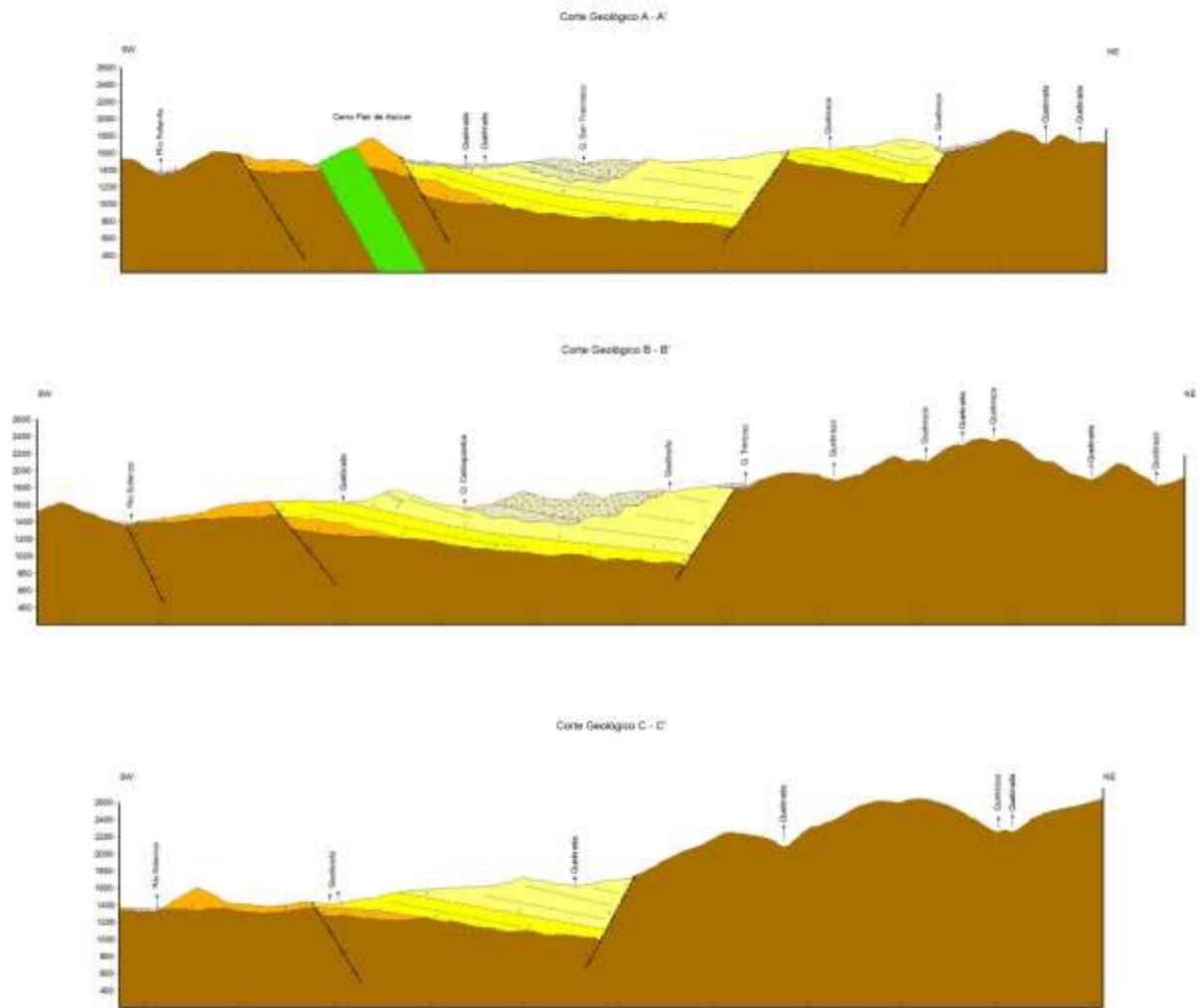
En la corte A – A', hacia el noreste de la cuenca los estratos de la formación Santo Domingo forman un pliegue sinclinal; posiblemente, producto de una deformación dúctil provocada por la actividad de las fallas normales inferidas de borde de cuenca.

La formación Cerro Mandango presenta una estratificación con inclinación subhorizontal, constituida por el miembro arenisca (estratificación ondulada y cruzada) y miembro conglomerado (discordancias progresivas) que reflejan una estructura sedimentaria granocreciente, la cual fue depositada en discordancia angular sobre la formación Santo Domingo.

Las facies sedimentarias de esta formación representa un ambiente deposicional dominado por un sistema fluvial arenoso y un sistema abanico aluvial, que avanza y se propaga de Sur a Norte.

Los depósitos recientes cuaternarios se hacen presentes formando coluviales que se originan en relieves de origen metamórfico y volcánico producto de la meteorización y erosión de las rocas que son transportadas por gravedad y aguas canalizadas que remueven los materiales sueltos y se depositan cubriendo de forma superficial algunas de las formaciones de la cuenca.

Los afluentes naturales como el río Malacatos y Solanda junto a varias quebradas originaron llanuras, abanicos y terrazas aluviales constituidas de acumulaciones superficiales de material clástico de naturaleza homogénea, mal clasificado, transportado por las corrientes fluviales.



### Leyenda y simbología

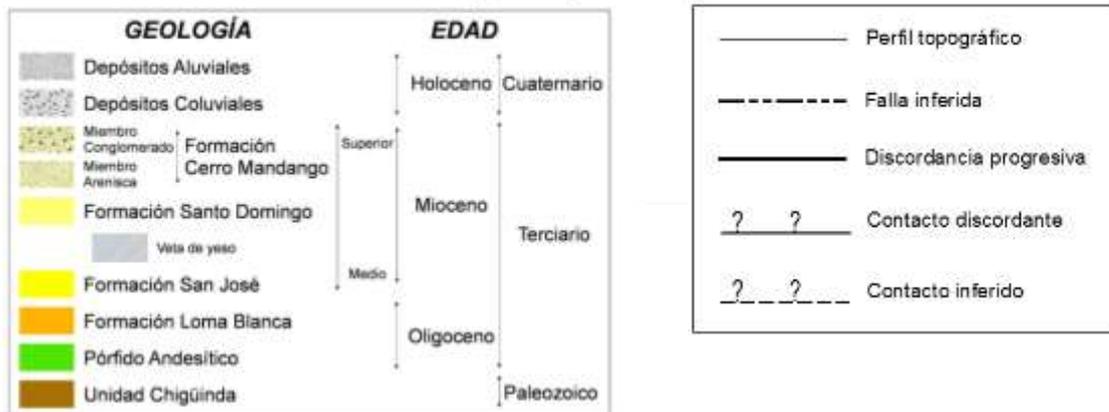


Gráfico N° 4. Cortes de secciones geológicas locales.

Fuente y elaboración: El autor.

## 5.4 Geomorfología.

La cuenca sedimentaria de Malacatos aparece como una depresión intermontana entre relieves montañosos que reflejan deformaciones tectónicas, con el desarrollo de diversos drenajes detríticos que desarrollan una erosión fluvial y capturados forman el río Malacatos.

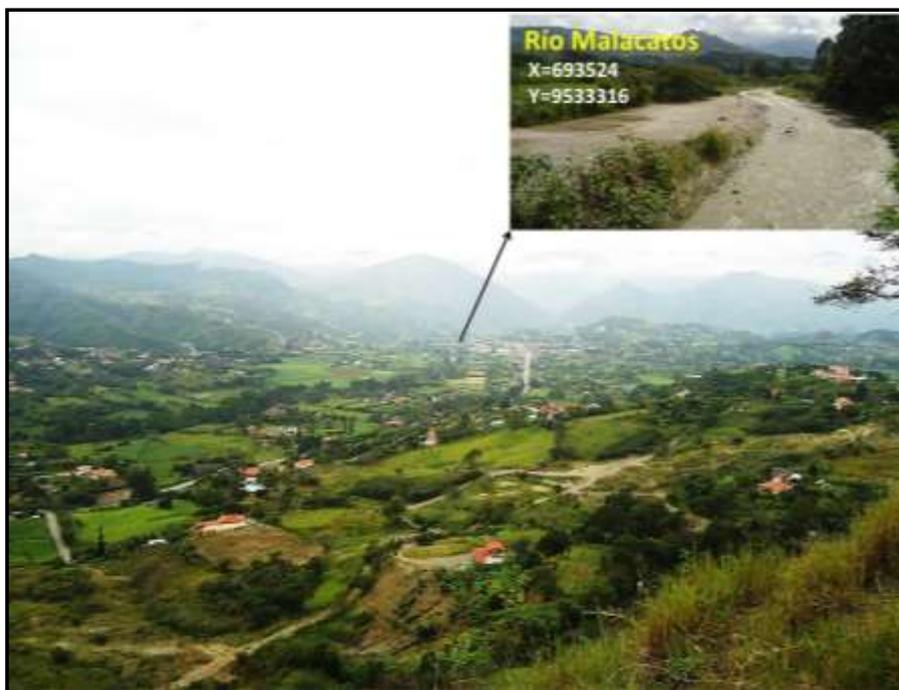
El relieve abrupto presente al lado noreste imprime hacia el centro de la cuenca una intensa actividad geomorfológica y debido a la erosión hídrica de materiales consolidados como no consolidados se forma un paisaje diverso conformado por geoformas de origen deposicional y denudativo. Las estructuras monoclinales y lineamientos tectónicos con dirección noroeste-sureste moldean una morfología de origen estructural y tectónico erosivo.

Entre los procesos y geoformas de acumulación más importantes en la zona de estudio se destacan:

### 5.4.1 Geoformas de origen deposicional.

#### 5.4.1.1 Valle fluvial (Va).

Se trata de una forma de relieve alargada con pendiente relativamente plana (<5%) y de sección transversal estrecha en algunos casos. Esta geoforma se intercala entre áreas de relieve más alto teniendo como eje a un río que fluye en movimiento sinuoso.



Parroquia Malacatos.

**Foto N° 45.** Vista panorámica del valle fluvial (Va).

Fuente y elaboración: El autor.

Ocupa cerca del 10% del área total de la cuenca sedimentaria, integrando terrazas y llanuras aluviales antiguas de leves inclinaciones atravesadas por el río Malacatos y quebradas aledañas (Ver foto N° 45).

#### 5.4.1.2 Terraza media, baja y cauce actual.



Parroquia Malacatos.

Foto N° 46. Terraza media (Tm).

Fuente y elaboración: El autor.

Comprende los niveles de depositación desde el lecho del río hacia el horizonte más antiguo. Se limitan mediante escarpes una de otra, sus pendiente son planas (0-5%) y se extienden a lo largo del río Malacatos propiciando terrenos llanos que son usados para la agricultura. Se distinguen según el disectamiento acentuado y diferente vegetación en cada nivel (Ver foto N° 46).



Ceibopamba

Ceibopamba

Foto N° 47. Terrazas medias (Tm).

Fuente y elaboración: El autor.

Entre los barrios Trinidad y Santa Anilla se ubican terrazas medias formadas por sedimentos de arenas y gravas trasportadas por los cauces fluviales de la zona que han originado terrenos planos y albergan cultivos, especialmente caña de azúcar (Ver foto N° 47).

#### 5.4.2 Geformas de origen denudativo.

##### 5.4.2.1 Coluvión antiguo (Can).

Formado por sedimentos y fragmentos angulosos de origen metamórfico distribuidos caóticamente, que ha sido trasportados desde las partes altas de las laderas por acción de la gravedad y depositados en las partes intermedias o al pie de las mismas.

La presencia de vegetación desarrollada indica cierto nivel de madurez o antigüedad. Mantiene pendientes moderadas con vertientes de forma irregular (Ver foto N° 48).

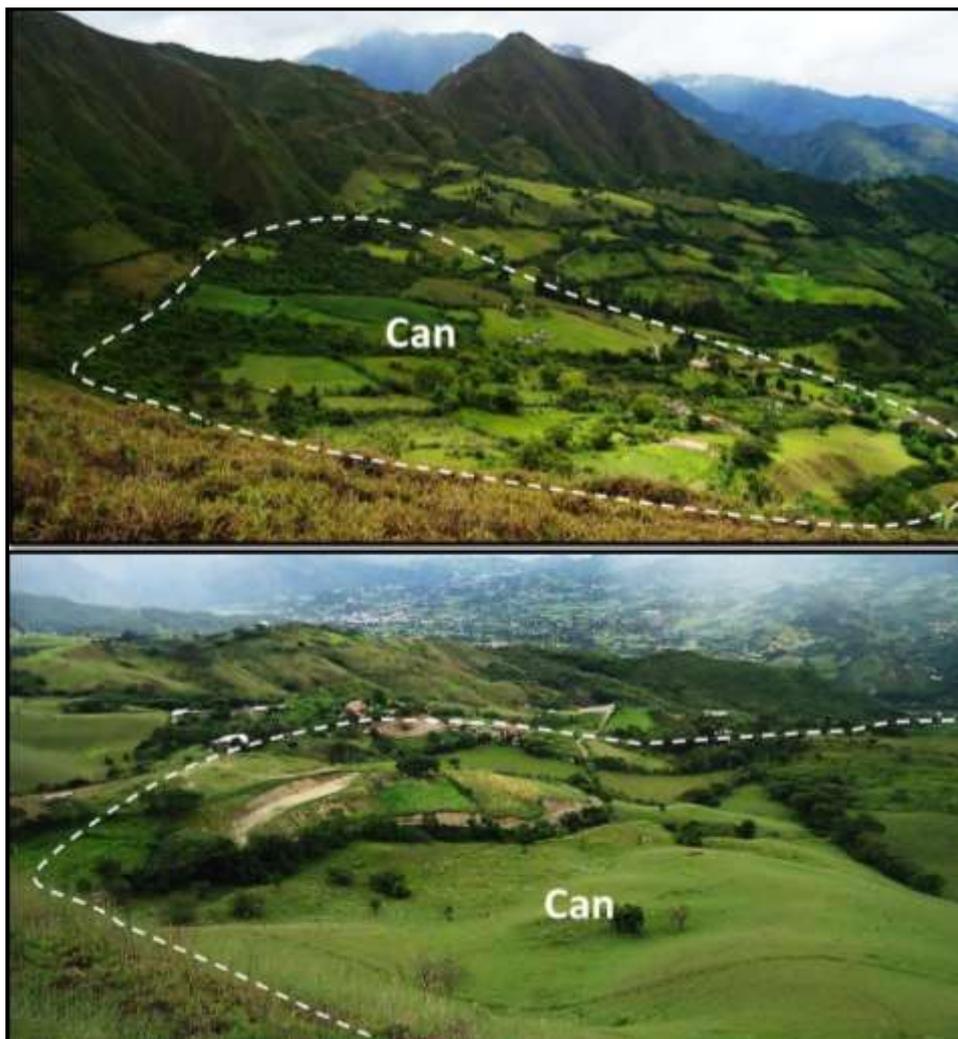


Foto N° 48. Coluvión antiguo (Can).

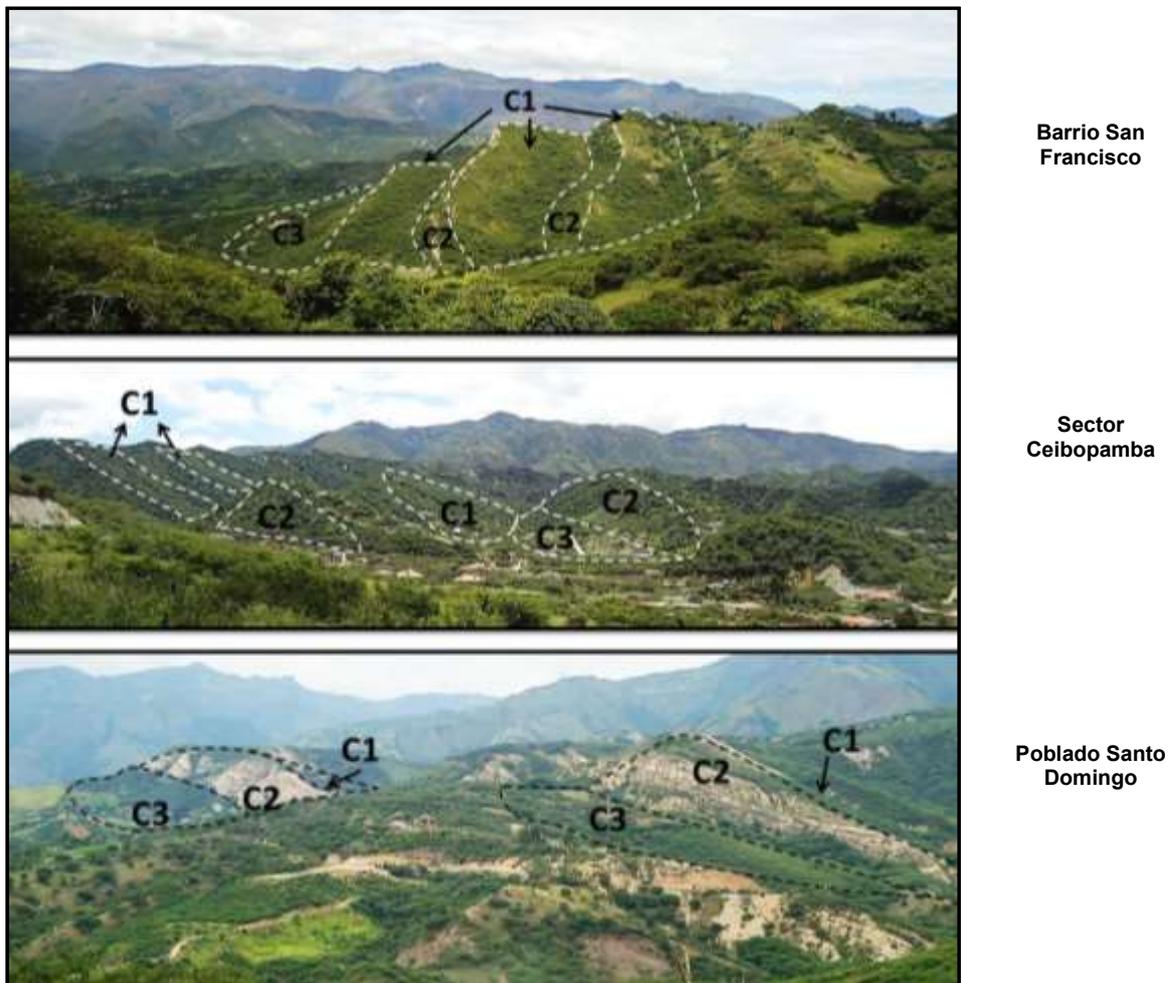
Fuente y elaboración: El autor.

### 5.4.3 Geoformas de origen estructural.

#### 5.4.3.1 Cuestas estructurales.

Se aprecia en la cuenca sedimentaria cuestas estructurales, las cuales se presentan como estratos inclinados de rocas sedimentarias pertenecientes a las formaciones Santo Domingo y Cerro Mandango, las mismas que tiene una vertiente rectilínea.

La intersección entre la superficie y el frente de cuesta originan crestas agudas. Las geoformas se ubican en un lineamiento noroeste - sureste atravesando céntricamente la cuenca, ocupando alrededor del 40% del área total (Ver foto N° 49).



**Foto N° 49.** Cuestas estructurales. Superficie (C1), frente (C2), y vertiente (C3) de cuesta.

Fuente y elaboración: El autor.

Las cuestas estructurales se componen de tres elementos que constituyen superficies de geoforma distintivamente:

- a. **Superficie de cuesta (C1).** Ladera estructural de una cuesta, la cual está formada por series monoclinales de escaso buzamiento, formada como consecuencia de la degradación parcial de los estratos sedimentarios suavemente plegados.<sup>9</sup>
- b. **Frente de cuesta (C2).** Corresponde a la vertiente más escarpada y de menor longitud que presenta una cuesta, y que usualmente tiene pendientes mayores al 70%, y un desnivel relativo > a 50 metros.<sup>9</sup>
- c. **Vertiente de cuesta (C2).** Constituyen las laderas inferiores de una cuesta estructural. Sus pendientes oscilan entre el 12 y 25 % con desniveles relativos de hasta 25 metros.<sup>9</sup>

#### 5.4.4 Geformas de origen tectónico erosivo.

##### 5.4.4.1 Relieve colinado alto, muy alto y montañoso.

Son característicos de rocas metamórficas (Unidad Chigüinda) y rocas volcánicas (formación Loma Blanca) de cima aguda y redondeada respectivamente. Presenta pendientes que oscilan entre fuertes y muy fuertes con vertientes de forma rectilínea.

Los relieves colinados altos (R5) conservan desniveles relativos que llegan a los 200 m, las colinas muy altas (R6) alcanzan los 300 m mientras que los relieves montañosos (R7) sobrepasan los 300 m. Además, en la zona noreste de la cuenca se aprecian pendientes >70%. Estas morfologías rodean la cuenca y ocupan aproximadamente el 30% del área total (Ver foto N° 50 y N° 51).



Zona oriental de la cuenca

**Foto N° 50.** Relieves R5, R6 y R7.

**Fuente y elaboración:** El autor.

<sup>9</sup> Tomado de Memoria Técnica. Proyecto: "GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL. ESCALA 1: 25000". Cantón Tosagua.



Barrio Santa Anita – Río Malacatos

Poblado San José - Quebrada Paltón

**Foto N° 51.** *Relieve montañoso (R7).*

Fuente y elaboración: El autor.

### **5.5 Actualización y validación geológica estructural de los mapas temáticos existentes.**

El presente trabajo se consolida con la verificación y validación de la información geológica existente generada en el año 2010, separada por polígonos de trabajo N° 2, 3, 4 y 5; y por supuesto, complementar el levantamiento geológico estructural del polígono No. 1 inconcluso en la cuenca sedimentaria de Malacatos.

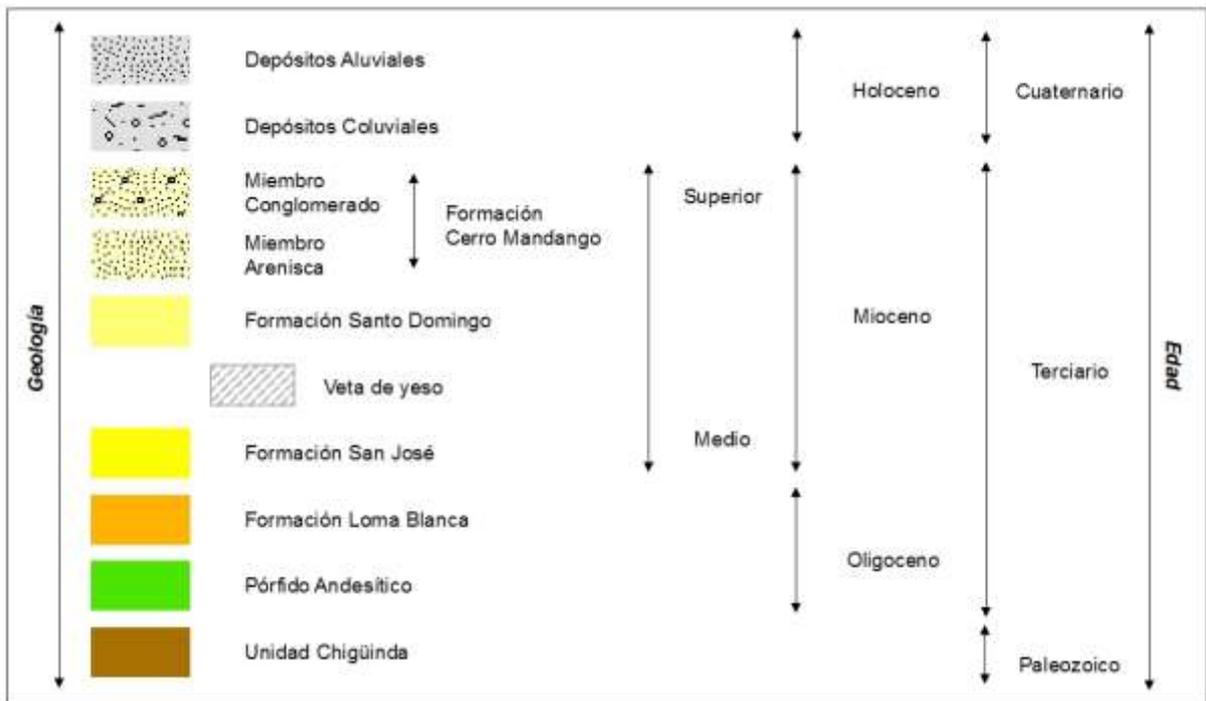
De acuerdo, a los datos y mediciones estructurales, observaciones y análisis de litologías en distintos afloramientos se pudo confeccionar el mapa geológico estructural de la cuenca.

Entonces, esta sección presenta los distintos polígonos de trabajo que conforman la zona de estudio detallando las modificaciones, aportes e incorporación de nueva información geológica estructural obtenida por el autor sobre la cuenca sedimentaria de Malacatos:

#### **5.5.1 Polígono N° 1.**

Esta zona se ubica al norte de la cuenca, la ubicación de afloramientos presentes a lo largo de vías y caminos permitieron agrupar las distintas litologías en la Unidad Chigüinda y las formaciones Loma Blanca, San José, Santo Domingo (*Cap. 5., sección 5.1*). Los depósitos recientes, como coluviales se imponen a los pies de los relieves constituidos de rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda, mientras que en el río Solanda ubicado al oeste se observan depósitos aluviales.

Cabe reiterar que las interpretaciones geológicas realizadas en el lugar se correlacionan aproximándose a la geología regional del investigador Dominik Hungerbühler (2002).



**Gráfico N° 5.** Geología local basada en las interpretaciones geológicas del investigador Dominik Hungerbühler (2002).

Fuente y elaboración: El autor.



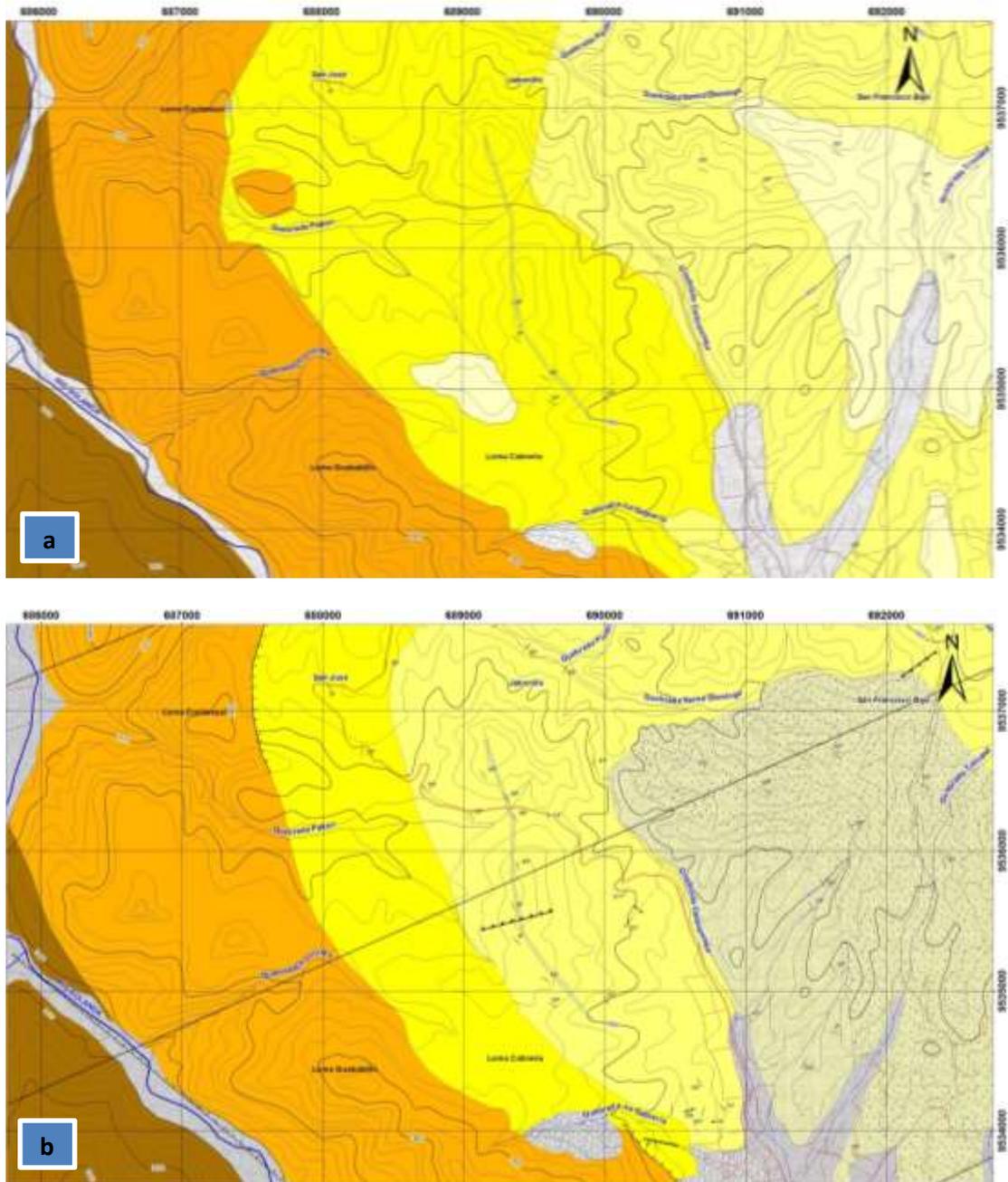
**Gráfico N° 6.** Mapa geológico estructural del polígono N° 1 de la cuenca sedimentaria de Malacatos (Escala 1:10.000) (Ver anexo N° 5).

Fuente y elaboración: El autor.

Además, en esta zona se pudo constatar la presencia de fauna fósil en estratos de lutita con buena fisibilidad y en estratificación de arenisca fina y limolita (Cap. 5., Foto N° 19b y 19.).

La documentación de estructuras sedimentarias monoclinales orientadas en dirección noroeste-sureste, inclinadas hacia el noreste, conjuntamente la presencia de micropliegues tumbados, y fallas locales (Cap. 5., sección 5.2) permitió inferir la existencia de fallas de borde de cuenca debido esfuerzos de extensión del tectonismo regional.

### 5.5.2 Polígono N° 2.



**Gráfico N° 7.** Polígono N° 2: a) Mapa de geológico estructural elaborado en el año 2010. b) Mapa de validación y actualización del mapa geológico estructural (Ver anexo N° 5).

Fuente y elaboración: El autor.

La apertura y mantenimiento de nuevas vías por parte del gobierno parroquial de Malacatos fue muy importante en la recolección de información de campo y descripción de afloramientos, permitiendo realizar las siguientes correcciones, modificaciones y validación geológica estructural de esta zona.

**Validaciones:**

1. Efectivamente, una veta de yeso se ubica en la mina San José conservando una dirección preferencial N-S. Los estratos se encuentran microplegados simétricamente y fracturados de forma local por una falla inversa (*Ver foto N° 40b*).
2. Sobre el río Solanda se infiere una falla que coloca en contacto discordante a la Unidad Chigüinda con la formación Loma Blanca.

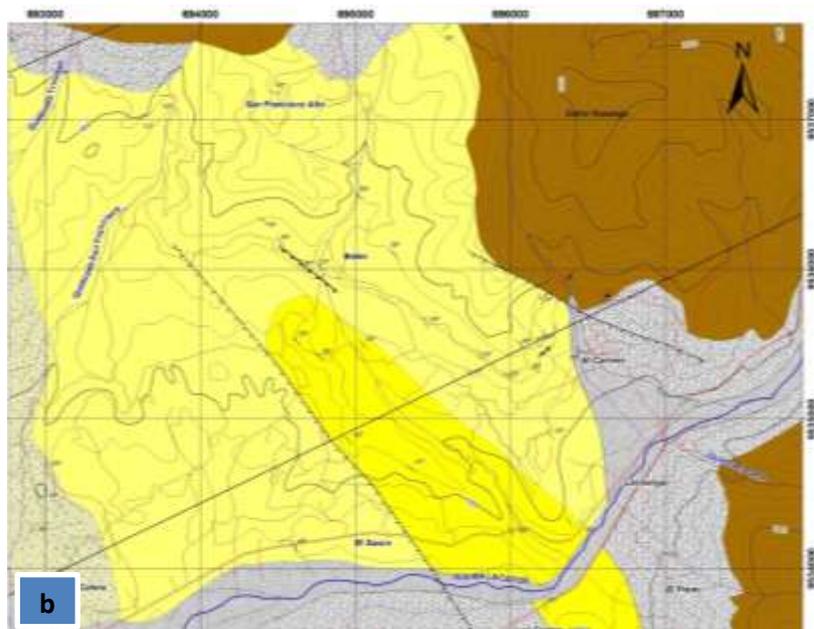
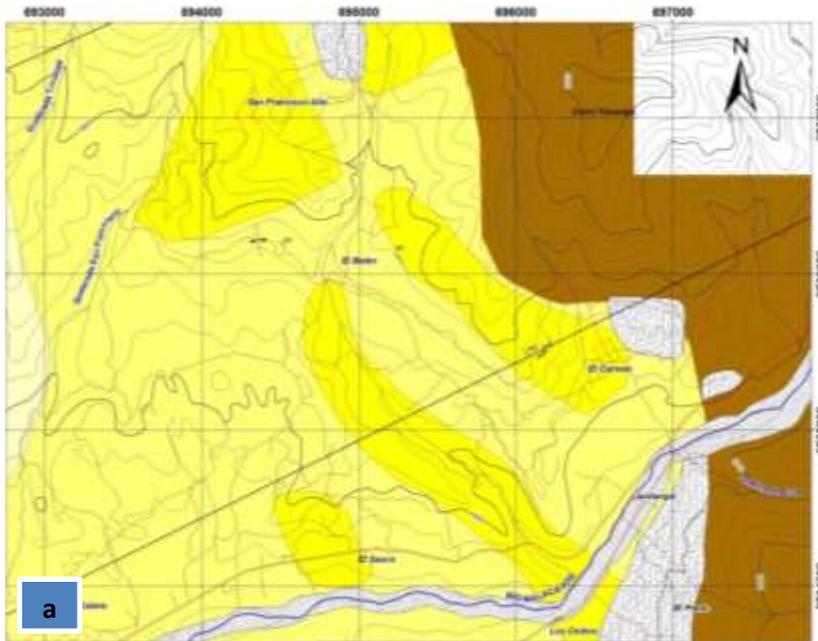
**Correcciones y modificaciones:**

1. La existencia de la veta de yeso se encuentra directamente relacionada a la formación Santo Domingo, de manera especial, se la atribuye al miembro yeso de la misma (*Cap. 5., sección 5.1*). Lo que ameritó corregir y modificar el contacto litológico entre la formación San José y Santo Domingo, a través de una nueva recolección y descripción de afloramientos.
2. Basados en las publicaciones realizadas por Dominik Hungerbühler (2002) y la verificación de campo; en la cuenca sedimentaria de Malacatos se ubica la formación Cerro Mandango sobreyaciendo discordantemente sobre la formación Santo Domingo. Reconociendo en campo litologías correspondientes al miembro Arenisca (inferior) y miembro Conglomerado (superior), y por ende, se realizó una modificación en la limitación de contactos entre estas formaciones (*Cap. 5., sección 5.1*).

**5.5.3 Polígono N° 3.**

El porcentaje de contenido calcáreo en muestras de areniscas permite diferenciar las rocas que conforman las formaciones San José y Santo Domingo, en este sentido, la primera encierra litología con un alto contenido de  $\text{Ca}_2\text{CO}_3$  (arenisca, microconglomerado), y la segunda presenta rocas con bajo contenido calcáreo (arcosa, microconglomerado) cubriendo algunos afloramientos en forma superficial debido a procesos de erosión.

De esta manera, la agrupación y análisis de muestras de rocas en los distintos afloramientos conduce a modificar y delimitar los contactos litológicos entre las formaciones San José, Santo Domingo, Cerro Mandango, depósitos coluviales y aluviales.



**Gráfico N° 8.** Polígono N° 3: a) Mapa de geológico estructural elaborado en el año 2010. b) Mapa de validación y actualización del mapa geológico estructural (Ver anexo N° 5).

Fuente y elaboración: El autor.

**Validaciones:**

1. La toma de nuevos datos estructurales determinaron la existencia de un pliegue sinclinal, cuyo eje mantiene una dirección noroeste-sureste (Ver foto N° 35). Esto tipo de estructura podría haber originado al situarse próxima a una falla inferida de borde de cuenca.

2. La presencia de un bloque levantado de arenisca calcárea muy compacta de la formación San José, cuyos estratos se inclinan hacia el noreste permite inferir la existencia de una falla y, al juzgar por la disposición y orden de depositación de las litologías (edad cronológica) se trataría de una falla normal (*Ver anexo N° 5*).

#### **Correcciones y modificaciones:**

1. Con anterioridad, cerca al barrio El Belén se había identificado una estructura considerada como un pliegue anticlinal; pero, con los nuevos datos estructurales se ha determinado a esta estructura como un microplegamiento que se encuentra fallado de forma inversa (*Ver foto N° 34a*).
2. Los contactos litológicos entre formaciones fueron concluidos y modificados acorde al estudio y análisis de las rocas aflorantes.
3. Es importante, mencionar el hallazgo de peces fósiles en estratos de lutita (*Ver foto N° 19a*) y fósiles de fauna foraminífera en estratos de areniscas fina e intercalaciones oxidaciones pertenecientes a la formación Santo Domingo (*Ver foto N° 36b*).

#### **5.5.4 Polígono N° 4.**

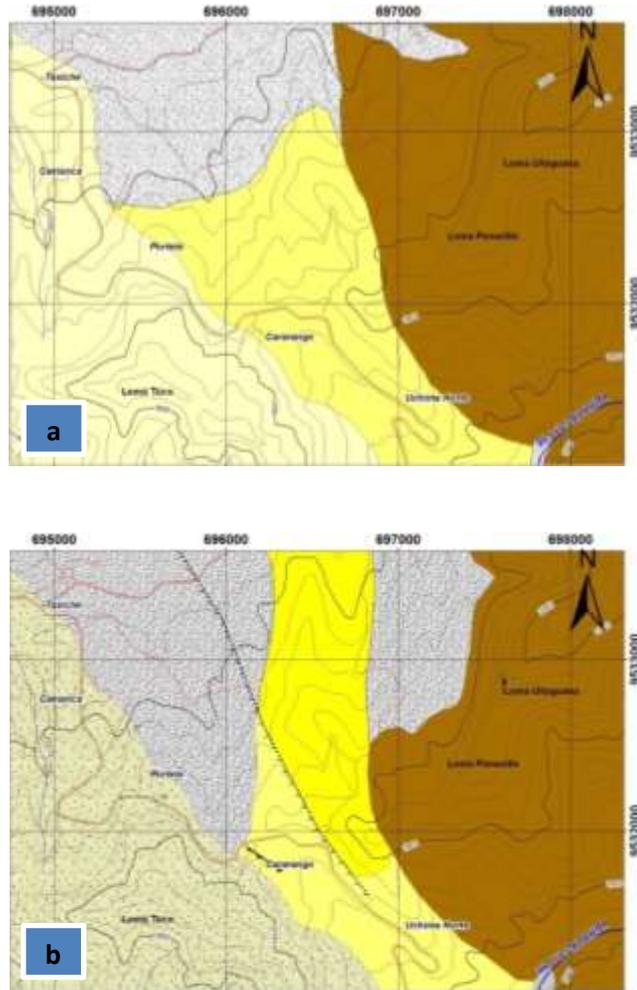
Esta zona presenta una situación similar al polígono anterior, respecto al reconocimiento de litologías de cada formación. De nuevo, el contenido calcáreo tanto en areniscas como microconglomerado permitieron separar las formaciones San José y Santo Domingo en esta área de trabajo.

#### **Validaciones:**

1. Al sureste un extenso depósito coluvial de fragmentos angulosos metamórficos se ubica en inconformidad sobre rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda y mediante el trabajo de campo se pudo concretar de la mejor manera su delimitación.
2. Adicionalmente, el hallazgo de nuevos afloramientos permitió delimitar un coluvial de clastos redondeados metamórficos, producto de la erosión y transporte de las rocas que componen a la formación Cerro Mandango que se emplaza desde suroeste hasta entrar en contacto con los depósitos aluviales formados a lo largo del río Malacatos.

#### **Correcciones y modificaciones:**

1. En el sector Cararango un micropliegue anticlinal, ligeramente volcado y fracturado localmente por una falla inversa se ubica en rocas de la formación Santo Domingo, esta estructura podría enmarcarse como el resultado de un tectonismo regional; es decir, la continuidad de la falla inferida en el polígono N° 3 (*Ver foto N° 36a*).



**Gráfico N° 9.** Polígono N° 4: a) Mapa de geológico estructural elaborado en el año 2010. b) Mapa de validación y actualización del mapa geológico estructural (Ver anexo 5).

Fuente y elaboración: El autor.

### 5.5.5 Polígono N° 5.

El reconocimiento y la agrupación de litologías, tomando en cuenta los parámetros de textura, tamaño de grano, color, solubilidad entre otros, conjuntamente con la información geológica regional de la cuenca se determinó los contactos litológicos entre formaciones con su respectiva delimitación.

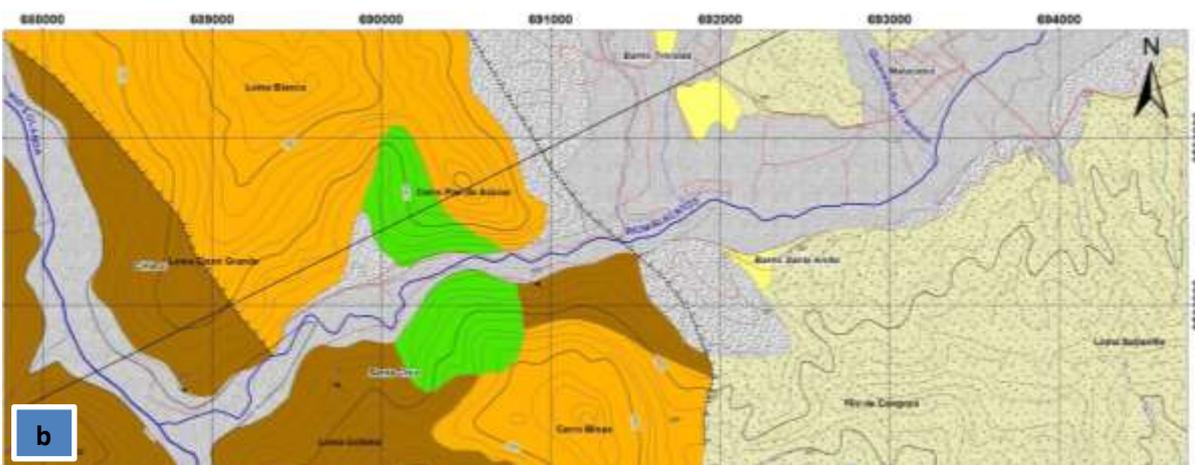
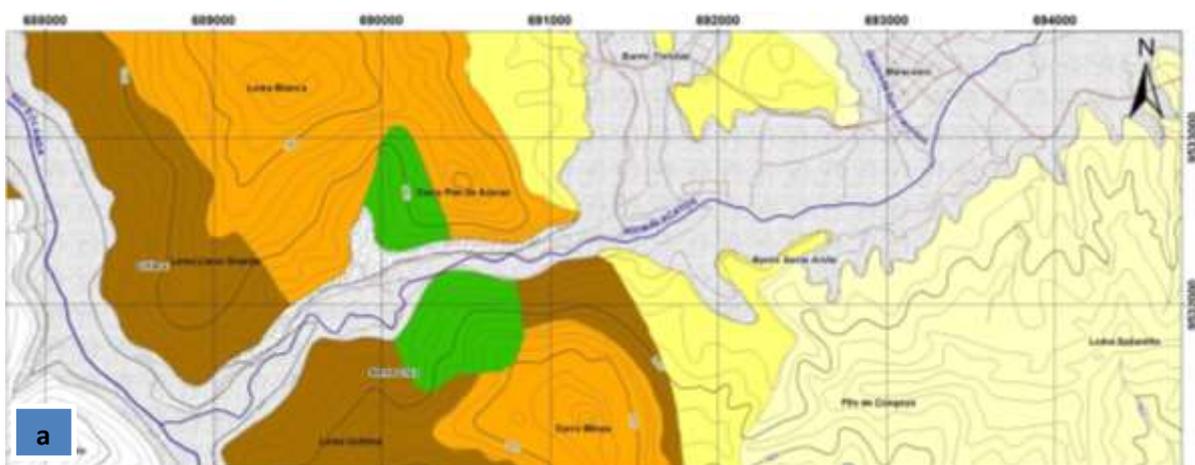
#### Validaciones:

1. Se comprobó la existencia del Pórfido Andesítico en el sector Santa Cruz resultado de efusiones de lavas consolidadas que ascendieron a la superficie instruyendo las rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda (Cap. 5. Sección 5.1). Con nuevos puntos de afloramientos se realizó una mejor delimitación del mismo.

2. En esta zona se observa un contacto fallado entre rocas volcánicas de la formación Loma Blanca y rocas metamórficas microplegadas de la Unidad Chigüinda (Ver foto N° 5b Y N° 40a).

**Correcciones y modificaciones:**

1. Puntos aflorantes de depósitos coluviales cubren en parte rocas basamentales, y rocas de las formaciones Loma Blanca, San José, Santo Domingo y Cerro Mandango. De esta forma, se delimitan nuevamente los contactos litológicos entre las mismas.
2. De acuerdo a la disposición de las formaciones se infieren fallas de borde de cuenca.
3. Es importante enfatizar el reconocimiento en campo del miembro arenisca de la formación Cerro Mandango.



**Gráfico N° 10.** Polígono N° 5: a) Mapa de geológico estructural elaborado en el año 2010. b) Mapa de validación y actualización del mapa geológico estructural (Ver anexo N° 5).

Fuente y elaboración: El autor.

Tomando en cuenta las observaciones en cada polígono, se elaboró el mapa geológico estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos; recorriendo en su mayoría los afloramientos que ayudaron a delimitar y concretar los contactos litológicos entre las formaciones existentes en cada polígono de estudio. Para el levantamiento de campo geológico estructural se trabajó a escala 1:10000, teniendo en cuenta que la escala de impresión se la efectuaría a 1:20000 (*Ver anexo N° 5*).

## CONCLUSIONES

- ✓ La cuenca sedimentaria se extiende en dirección noroeste – sureste y descansa sobre un basamento metamórfico (Unidad Chigüinda) de edad Paleozoica, sobre las rocas metamórficas reposan en orden cronológico rocas volcánicas y sedimentarias de edad terciaria y depósitos recientes de edad cuaternaria.
- ✓ La secuencia deposicional sedimentaria se conforma de tres unidades lito - estratigráficas dominantes; desde la más antigua a la más joven tenemos las formaciones San José, Santo Domingo y Cerro Mandango ubicadas a occidente y oriente de la cuenca sedimentaria Malacatos, separadas por la acción de una falla normal inferida con rumbo noroeste – sureste.
- ✓ La Unidad Chigüinda presenta un metamorfismo progresivo constituido de pizarras, filitas, esquistos, cuarcitas y gneises. Conserva una extensión noroeste – sureste hacia el margen oriental de la cuenca, conformando relieves montañosos que subyacen de forma discordante a las rocas sedimentarias de edad reciente, y al occidente aflora subyaciendo discordantemente a la formación Loma Blanca en contacto fallado inferido.
- ✓ Al oeste de la cuenca la formación Loma Blanca de edad Oligoceno se deposita en discordancia sobre el basamento metamórfico, presenta afloramientos de tobas volcánicas de composición riolítica - andesítica, aglomerados e ignimbritas. Conforman montañas y relieves colinados altos de cima redondeada.
- ✓ Entre los cerros Pan de Azúcar y Minas se determinó la existencia de un pórfido andesítico, producto de efusiones de lavas consolidadas y se caracterizan por su composición riolítica andesítica. La presencia del pórfido andesítico revela la proximidad de un centro eruptivo que intruye al basamento conjuntamente con la formación.
- ✓ La formación San José se deposita en el Mioceno medio, aflora en dos franjas ubicadas al occidente y oriente de la cuenca. Presenta afloramientos de rocas clásticas como areniscas calcáreas, depósitos de microconglomerado y conglomerado calcáreo, brechas bioclásticas que acumulan carbonatos en forma superficial. En el borde occidental se observa como la formación se sobrepone a las rocas volcánicas de la formación Loma Blanca.
- ✓ La formación Santo Domingo se extiende en dos franjas de orientación noroeste-sureste y reposa en aparente concordancia sobre rocas de la formación San José. Al borde oriental de la depresión descansa discordantemente sobre rocas metamórficas de la Unidad Chigüinda. Esta formación se conforma de dos miembros lito-estratigráficos: miembro carbón y miembro yeso.

- ✓ La buena fisibilidad de los estratos favoreció al hallazgo de fósiles como: peces, bivalvos, foraminíferos y hojas. Estos indicios indican el predominio de un ambiente marino y entornos pantanosos en las facies de sedimentación.
- ✓ La formación Cerro Mandango se deposita en el centro de la cuenca en discordancia angular sobre la formación Santo Domingo en el Mioceno superior, y al Sur yace discordantemente sobre la formación Loma Blanca.
- ✓ Se distinguen dos miembros en la formación Cerro Mandango: miembro arenisca y miembro conglomerado; la formación presenta estructuras granocrecientes que han sido altamente erosionadas y moldeadas por agentes hídricos.
- ✓ En las altas montañas y relieves de origen metamórfico y materiales volcánicos, se localizan formaciones recientes (edad Holoceno) producto de la meteorización y erosión "in situ" de las rocas que posteriormente fueron transportadas por gravedad y aguas no canalizadas, removiendo el material suelto hacia la base de las laderas desde unos pocos metros hasta algunos kilómetros.
- ✓ Sobre la cuenca sedimentaria corren afluentes naturales que han originado llanuras, abanicos y terrazas aluviales durante el Holoceno y se presentan principalmente a lo largo del río Malacatos y quebradas que conforman el sistema fluvial dendrítico dentro de la misma.
- ✓ Debido a esfuerzos tectónicos la cuenca conserva estructuras sedimentarias locales visibles ante una fase de erosión y respecto a su buzamiento son de tipo monoclinas, subhorizontal, y cataclinal con estratificación inclinada preferencialmente al NE.
- ✓ Producto de esfuerzos de compresión controlados por fallas de borde se instalan microplegamientos muy cercanos a los bordes de cuenca, y en ciertos casos han sido fracturados localmente de forma normal o inversa dependiendo de la deformación dúctil de las rocas expuestas.
- ✓ La geomorfología de la cuenca forma relieves abruptos presente con un paisaje diverso conformado por geoformas de origen deposicional como: valle fluvial, terrazas aluviales; y denudativo como: coluviones antiguos.
- ✓ Las estructuras monoclinas y lineamientos tectónicos con dirección noroeste-sureste moldean una morfología de origen estructural como: superficies de cuesta, frentes de cuesta y vertientes de cuesta; y tectónico erosivo como: relieves colinado alto, muy alto y montañoso.

- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos y en base a la información disponible de los trabajos anteriores realizados en la cuenca, se puede determinar que existe un cambio en cuanto a la posición espacial de las formaciones geológicas y su estructura tectónica controlada por fallas normales regionales y fallas inversas locales.
- ✓ Las fallas de borde con dirección noroeste sureste controlan los depósitos sedimentarios de la cuenca formando estructuras plegadas de borde y grandes superficies monoclinales posiblemente algunas están relacionadas con las fallas dispuestas en el centro de la cuenca.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Mediante la aplicación de estudios geofísicos en lugares estratégicos de la cuenca se podrá obtener una mejor interpretación a profundidad sobre la disposición, estructura y evolución de la deposición sedimentaria de la cuenca.
- ✓ Para lograr una mejor fotointerpretación se debe gestionar recursos para poder adquirir fotografías aéreas actuales y de mayor escala de la zona de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Apolo, W. (2010). Estudio Geológico Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área 2 de la Cuenca de Malacatos. (Tesis de Ingeniería). Loja: UTPL.
2. Camargo, J. (2004). Manual de Geología Estructural. Colombia: Editorial Universidad Surcolombiana.
3. Campoverde, J. (2010). Estudio Geológico Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área 5 de la Cuenca de Malacatos. (Tesis de Ingeniería). Loja: UTPL
4. Cornelis, K. Cornelius H. (1997-2003). Manual de Mineralogía. España: Editorial REVERTÉ, S.A
5. F.G.H. Blyth, M.H. de Freitas. (1999). Geología para ingenieros. México: Editorial CECSA.
6. Freire, V. (2010). Estudio Geológico Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área 3 de la Cuenca de Malacatos. (Tesis de Ingeniería). Loja: UTPL
7. González, L. Ferrer, M. Ortuño, L. Ote, C. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación S.A.
8. Hobbs, B. Means, W. Williams, P. (1981). Geología Estructural. España: Ediciones OMEGA, S.A.
9. Huang, W. (2010). Petrología. México, DF: Editorial LIMUSA, S.A.
10. Hungerbühler, D. Steinmann, M. Winkler, W., Seward, D. Egüez, A. Peterson, D. Helg, U. Hammer, C. (1997-2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern of Ecuador. Earth-Science Reviews 57 (75-124).
11. Kennerley, J.B. (1973). Geología de la provincia de Loja en el Sur del Ecuador. D.G.GM., Quito.
12. L. U. de Sitter. (1976). Geología Estructural. España: Ediciones OMEGA, S.A.
13. Litherland et al (1994). Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador.
  - <http://es.scribd.com/doc/165767108/Lexico-Estratigrafico-Ecuador>
14. Litherland, M. Egüez, A. Zamora, A. (1993). Mapa geológico del Ecuador, escala 1:1000000. Corporación de desarrollo e investigación geológica – minero – metalúrgica. CODIGEM and British Geological Survey, Quito.
15. López, M. (1988). Manual de Fotogeología. Madrid: Editorial CIEMAT.
16. Márquez, R. (2010). Estudio Geológico Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área 4 de la Cuenca de Malacatos”. (Tesis de Ingeniería). Loja: UTPL
17. Palacios, O. Pilatasig L. Sánchez, J. Gordón, D. Shaw R. (2005). “Transición de los Andes Centrales a los Andes del Norte: nueva comprensión en el reconocimiento de campo y nuevos datos geoquímicos – geocronológicos”. DINAGE, INGEMMENT, GSC.
18. Palacios, O. Pilatasig, L. Sánchez, J. Gordón, D. (2005). Geología de Ecuador y Perú

- entre 3°S y 6°S. Proyecto Multinacional Andino: Geociencia para las comunidades Andinas Ecuador - Perú - Canadá. DINAGE, INGEMMENT.
19. Palacios, O. Pilatasig, L. Sánchez, J. Gordón, D. (2005). Mapa Geológico Binacional de la Región Norte de Perú y Sur del Ecuador, escala 1:500000. Proyecto Multinacional Andino: Geociencia para las comunidades Andinas Ecuador - Perú - Canadá. DINAGE, INGEMMENT.
  20. Pedraza J. (1996). Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Madrid: Editorial Rueda.
  21. Pozo, M. González, J. Giner, J. (2004). Geología Práctica. Madrid: Pearson Educación S.A.
  22. Proceso de anatexia.
    - <http://es.wikipedia.org/wiki/Anatexia>
  23. Proyecto: "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Escala 1: 25000". Cantón Tosagua.
    - [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL\\_DEL\\_PDOT\\_CANTONAL/MANABI/ROCAFUERTE/IEE/MEMORIAS\\_TECNICAS/mt\\_rocafuerte\\_geomorfologia.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/MANABI/ROCAFUERTE/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_rocafuerte_geomorfologia.pdf)
  24. Ramón, R. Martínez, L. Apraiz, A. (2001). Introducción a la Cartografía Geológica. España: Editorial de la Universidad del País Vasco.
  25. Samaniego, W. (2010). Estudio Geológico Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área 7 de la Cuenca Malacatos-Vilcabamba. (Tesis de Ingeniería). Loja: UTPL
  26. SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).
    - [http://es.wikipedia.org/wiki/Misi%C3%B3n\\_topogr%C3%A1fica\\_Radar\\_Shuttle](http://es.wikipedia.org/wiki/Misi%C3%B3n_topogr%C3%A1fica_Radar_Shuttle)
  27. Suelos lateríticos.
    - [www.docentes.unal.edu.co/jmmonteroo/docs/12%20METSUELOS.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/jmmonteroo/docs/12%20METSUELOS.pdf)
  28. Suing, J. (2010). Estudio Geológico Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área 6 de la Cuenca Malacatos-Vilcabamba. (Tesis de Ingeniería). Loja: UTPL
  29. Tarbuck, E. Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra. Madrid: Pearson Educación S.A.
  30. Tyrrell, G. (1984). Principio de petrología. México: Editorial CECSA.

## ANEXOS

Anexo N° 1. Descripción de los principales afloramientos.

<b>"Validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos"</b>	
JOSÉ LUIS MEDINA TOLEDO <b>U.T.P.L</b>	
<b>Fecha:</b> 12 de Marzo de 2014	
<b>Número de ficha:</b> 01	<b>Tipo de afloramiento:</b> Artificial
<b>Coordenadas UTM – DATUM WGS84</b>	<b>Sector/Referencia:</b> Cobalera- Vía
<b>X:</b>	<b>Z:</b>
<b>Y:</b>	
<b>Estado de meteorización:</b> Alto	<b>Formación geológica:</b> Santo Domingo
	<b>Litología:</b> Arenisca y limolita
	<b>Datos estructurales:</b> 74°/63° (az buz/buz)
<b>Descripción:</b>	
<p>Se observan estratos de arenisca de carácter arcósico y grano grueso, presenta laminaciones de yeso cristalino entre los planos estratigráficos. Además, la secuencia de estratos intercalados de arenisca y limolita, presentan láminas de yeso. En muestras de limolita se nota la presencia de fósiles foraminíferos (bivalvos).</p>	
<b>Fotografía:</b>	
	
<b>Observaciones:</b>	
Vegetación y sedimentos superficiales cubren al afloramiento.	

**"Validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos"**

JOSÉ LUIS MEDINA TOLEDO

**U.T.P.L**

**Fecha:** 25 de Marzo de 2014

**Número de ficha:** 02

**Tipo de afloramiento:** Artificial

**Coordenadas UTM – DATUM WGS84**

**Sector/Referencia:** El Carmen

**X:**

**Z:**

**Formación geológica:** Unidad Chigüinda

**Y:**

**Litología:** Esquisto sericítico

**Estado de meteorización:** Alto

**Datos estructurales:** Foliación 40°N

**Descripción:**

Cantera de explotación de esquisto sericítico con exfoliación basal. Los planos de foliación presentan una orientación preferencial de 40°N y con inclinación de S55°E. Los esquistos a superficie fresca son de color gris y con brillo sedoso, al intemperismo se cubre de oxidaciones color rojizo y sedimentos arcillosos.

**Fotografía:**



**Observaciones:**

Superficialmente se depositan coluvios de fragmentos angulosos sobre la estructura metamórfica.

**"Validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos"**

JOSÉ LUIS MEDINA TOLEDO

**U.T.P.L**

**Fecha:** 4 de Abril de 2014

**Número de ficha:** 03

**Tipo de afloramiento:** Artificial

**Coordenadas UTM – DATUM WGS84**

**Sector/Referencia:** San José – Quebrada Paltón

**X:**

**Z:**

**Formación geológica:** Loma Blanca

**Y:**

**Litología:** Toba y aglomerado volcánico

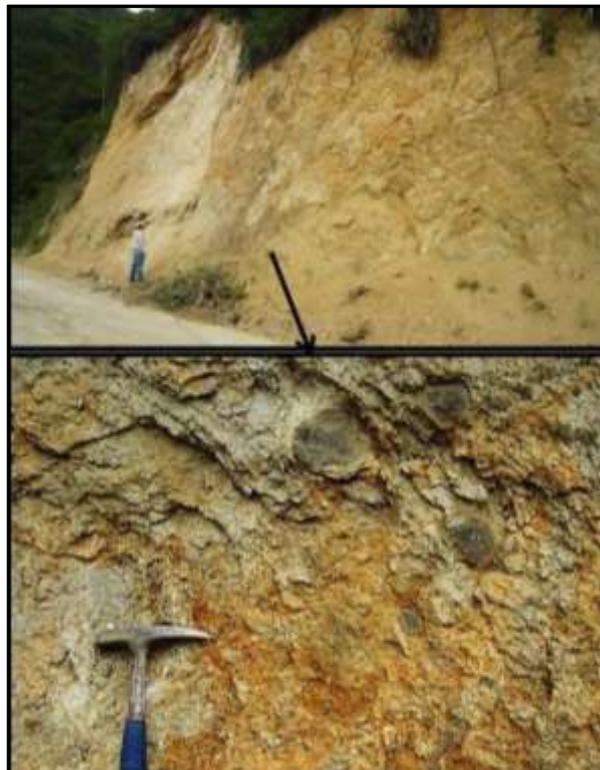
**Estado de meteorización:** Alto

**Datos estructurales:**

**Descripción:**

Estructura masiva, muy fracturada y alterada, medianamente frágil, constituidas de tobas y aglomerados de composición riolítica. Las tobas mantienen una composición riolítica, son de color rosa claro en superficie fresca, en superficie alterada toma tonos gris oscuro y anaranjado rojizo producto de oxidaciones. Como resultado de la consolidación de material piroclástico se forman aglomerados de bombas volcánicas, trozos redondos expedidos en estado líquido y volviéndose esféricas en la solidificación.

**Fotografía:**



**Observaciones:**

El afloramiento presenta una erosión en forma de escamas.

**"Validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos"**

JOSÉ LUIS MEDINA TOLEDO

**U.T.P.L**

**Fecha:** 8 de Abril de 2014

**Número de ficha:** 04

**Tipo de afloramiento:** Artificial

**Coordenadas UTM – DATUM WGS84**

**Sector/Referencia:** Ceibopamba

**X:**

**Z:**

**Formación geológica:** San José

**Y:**

**Litología:** Arenisca calcárea

**Estado de meteorización:** Medio

**Datos estructurales:** 260°/3°(az buz/buz)

**Descripción:**

Cerca de la quebrada La Cabrería se aprecian estratos de arenisca calcárea, color anaranjado debido a las oxidaciones. Están fracturados localmente por una falla normal orientada 100°N con inclinación S53°W, el plano de cizalla se encuentran recristalización de calcita.

**Fotografía:**



**Observaciones:**

Se identifica laminaciones de yeso paralelas a los planos de estratificación.

**"Validación geológica estructural de la cuenca sedimentaria de Malacatos"**

JOSÉ LUIS MEDINA TOLEDO

**U.T.P.L**

**Fecha:** 21 de Abril de 2014

**Número de ficha:** 05

**Tipo de afloramiento:** Natural

**Coordenadas UTM – DATUM WGS84**

**Sector/Referencia:** Parque Ecológico

**X:**

**Z:**

**Formación geológica:** Cerro Mandango

**Y:**

**Litología:** Arenisca y conglomerado

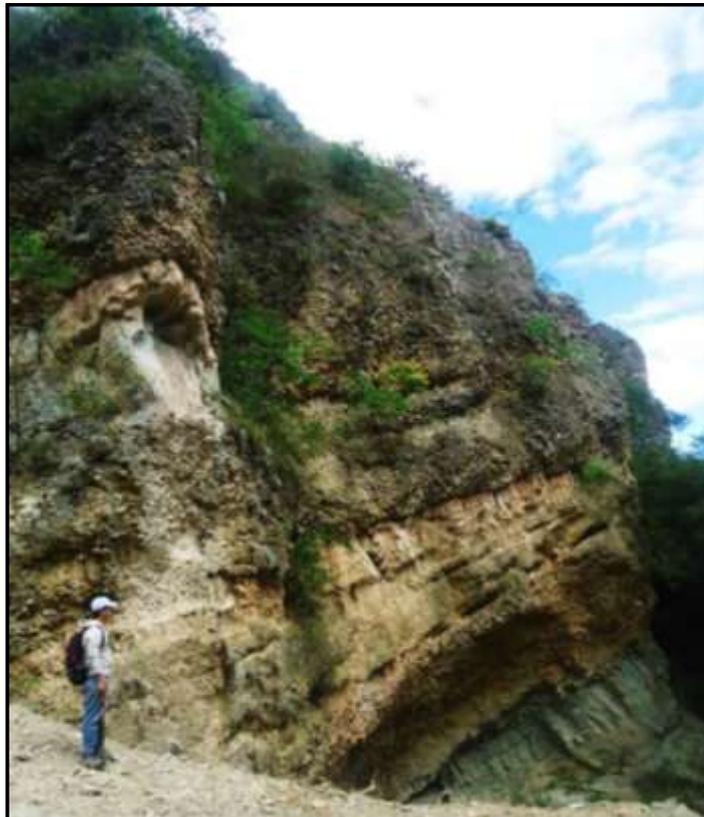
**Estado de meteorización:** Medio

**Datos estructurales:** 65°/29° (az buz/buz)

**Descripción:**

Sucesión de estratos de arenisca y conglomerado que conservan una orientación 335°N y buzamiento N29°E. Los paquetes de arenisca varían de tamaño de acuerdo a la frecuencia de su depositación, de la misma forma que presentan granos de tamaño variable. El conglomerado presenta una distribución moderadamente seleccionada de clastos redondeados metamórficos (cuarcita, esquisto, cuarzo lechoso) en matriz arcillo arenosa.

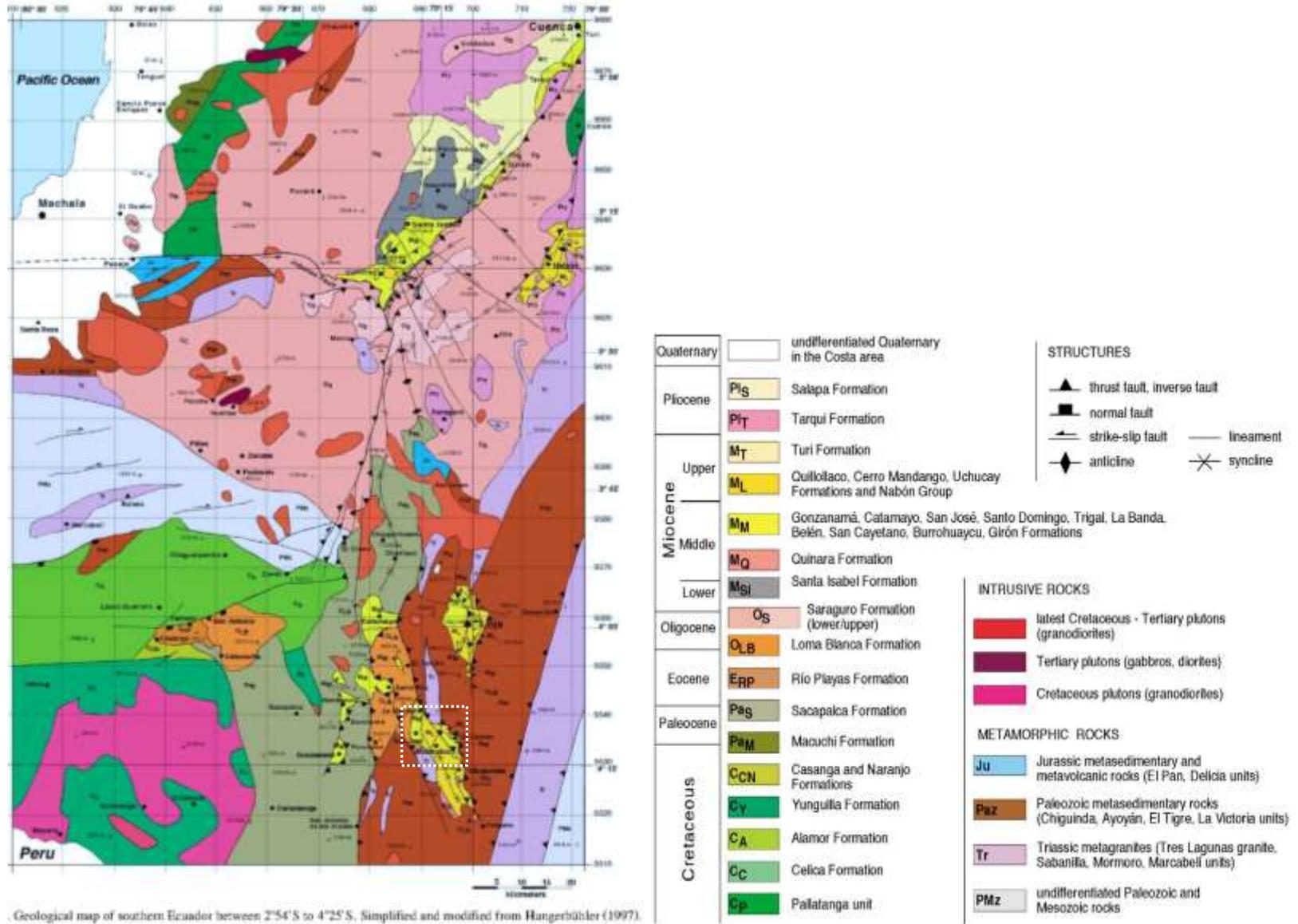
**Fotografía:**



**Observaciones:**

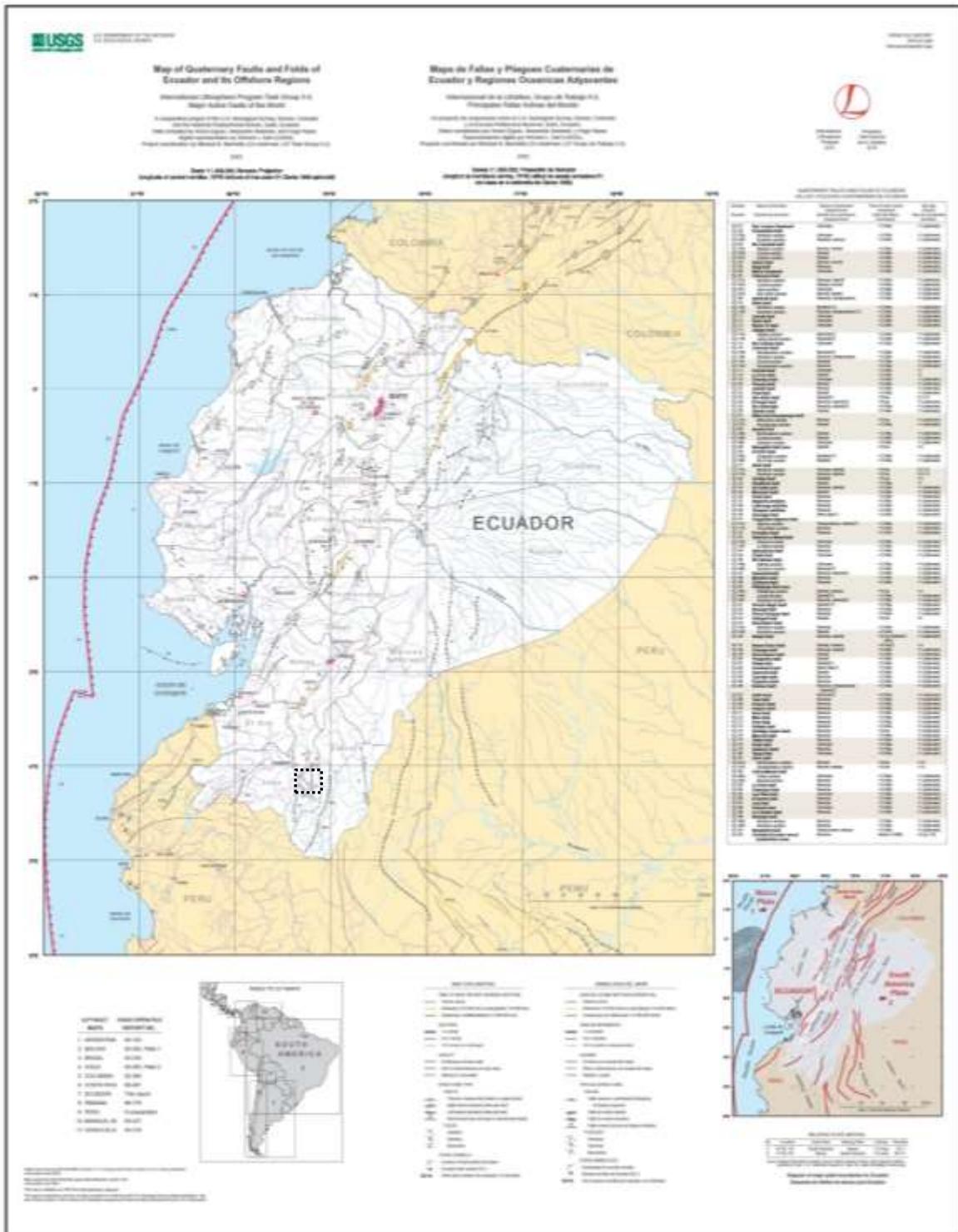
Se puede observar claramente las discordancias progresivas del miembro conglomerado.

Anexo N° 2. "Mapa geológico del sur de Ecuador entre 2°54'S a 4°25'S." Simplificado y modificado de Hungerbühler (1997).





Anexo N° 4. "Mapa de Fallas y Pliegues cuaternarios de Ecuador y Regiones Oceánicas Adyacentes, escala 1:1.250.000" elaborado en un proyecto de cooperación entre el U.S. Geological Survey, Denver, Colorado y la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador en el año 2003.





Anexo N° 6. Cortes de secciones geológicas locales.

