

*"Estudio Geológico-Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área Tres de la Cuenca de Malacatos"*

*VERÓNICA AYDEHE FREIRE SERRANO*

---



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*"La Universidad Católica de Loja"*

ESCUELA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y MINAS

**"ESTUDIO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL E INVENTARIO  
DE DESLIZAMIENTOS DEL AREA TRES  
DE LA CUENCA DE MALACATOS"**

*TESIS DE GRADO PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
EN GEOLOGÍA Y MINAS*

*AUTORA:*

*Verónica Aydehe Freire Serrano*

*DIRECTOR:*

*Ing. José Arturo Guartán M.*

*LOJA – ECUADOR*

*2010*

Ing. José Arturo Guartán M. Docente Investigador de la Unidad Civil, Geología y Minas de la Universidad Técnica Particular de Loja.

DIRECTOR DE TESIS

**CERTIFICA:**

Que la presente Investigación **“ESTUDIO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL E INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS DEL AREA TRES DE LA CUENCA DE MALACATOS”** elaborada por la Señorita Verónica Aydehe Freire Serrano, previo a la obtención del título de Ingeniera en Geología y Minas, ha sido desarrollada bajo mi dirección; por lo que autorizo su presentación ante el respectivo Tribunal de Grado.

Loja, Enero del 2010

Ing. José Arturo Guartán M.

**DIRECTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Todos los conceptos, resultados y conclusiones vertidas en la  
presente tesis son de exclusiva responsabilidad del autor.

Verónica Aydehe Freire Serrano

## **CESIÓN DE DERECHOS**

Verónica Aydehe Freire Serrano, declaro conocer y aceptar la disposición el 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 de 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”

Verónica Aydehe Freire Serrano

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincero agradecimiento y gratitud a los Docentes de la Escuela de Geología y Minas, de esta mi querida y distinguida Universidad, por su desinteresada colaboración y valiosas enseñanzas, que han hecho posible la culminación de mi carrera profesional con éxito.

Mi agradecimiento al Ing. José Arturo Guartán por su acertada orientación, conducción y revisión del presente trabajo investigativo.

Verónica.

## **DEDICATORIA**

La presente tesis va dedicada a todas las personas que amo: Dios, por ser mi guía, por darme vida, salud y felicidad para cumplir con una de mis metas propuestas y anheladas, a mi padre Carlos Eduardo, a mi madre Mirian Elvira por ser mi ejemplo, por haber confiado y apoyado en todas las decisiones para llevar a cabo mis sueños en realidad, a mis hermanos queridos Carlos Daniel y Karlita del Cisne que son mi constante afán de superación, el impulso y alegría diaria de mi vida, y finalmente a mi gran hermano y amigo Walter Enrique por toda su paciencia, ayuda y apoyo, a todos ustedes les dedico este título de Ingeniera en Geología y Minas.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
ANTECEDENTES	12
OBJETIVOS	13
CAPITULO I	
1. Características físico – geográficas de la zona	14
1.1 Ubicación	14
1.2 Acceso	15
1.3 Relieve Orográfico e Hidrografía	15
1.4 Clima	16
1.5 Flora y Fauna	17
CAPITULO II	
2. Metodología y trabajo de campo	18
2.1. Levantamiento Geológico	18
2.2. Fotointerpretación de la zona de estudio	19
2.3. Investigación de campo y mapeo de deslizamientos	19
2.4. Trabajo final	20

### CAPITULO III

3. Geología	21
3.1. Geología Regional	21
3.1.1. Estructura	24
3.2. Geología Local	27
3.2.1. Rocas Metamórficas	27
3.2.2. Rocas Sedimentarias	30
3.2.3. Depósitos Coluviales	38
3.2.4. Depósitos Aluviales	39
3.2.5. Geología Estructural del sector	40
3.3. Morfología	44

### CAPITULO IV

4. Interpretación de resultados y análisis de deslizamientos	47
4.1 Cortes de secciones geológicas locales	48
4.2 Inventario de Deslizamientos	48



4.2.1 Factores que influyen en la inestabilidad	52	
4.3 Relación geología-pendientes	52	
5 CONCLUSIONES	53	
6 RECOMENDACIONES	56	
7 BIBLIOGRAFÍA	57	
8 ANEXOS	58	Anexo
1 Fotografías Aéreas Geología	59	
Anexo 2 Fotografías Aéreas Deslizamientos	61	
Anexo 3 Descripción de los principales afloramientos	63	
Mapa 1 Mapa de Pendientes	74	
Mapa 2 Mapa Geológico-Estructural e Inventario de Deslizamientos local escala 1:10 000 y cortes de secciones geológicas locales	75	

## **INTRODUCCIÓN**

El trabajo realizado en la presente tesis está basado en el “ESTUDIO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL E INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS DEL ÁREA TRES DE LA CUENCA DE MALACATOS”, tomando en cuenta características Geológicas, Estructurales, Tectónicas, Morfologías e Inventario de deslizamientos del sector para realizar un Mapa Geológico actualizado y a detalle de la parroquia de Malacatos, como también para conocer el origen, causas y efectos de los diferentes deslizamientos que han ocurrido hasta la actualidad.

Para la realización de la investigación se utilizó la base topográfica a escala 1:10000 del sector, el mismo que sirvió como plataforma para la realización de la cartografía geológica, elaboración de mapas temáticos de geología, pendientes y para la ubicación de deslizamientos. El levantamiento geológico se lo realizó con recorridos en la zona de estudio, describiendo cada uno de los afloramientos y deslizamientos, recolectando muestras del lugar para luego examinarlas en el laboratorio de la Unidad de Ingeniería Civil–Geología y Minas (UCG).

La interpretación de toda la información obtenida como son los contactos, pliegues y deslizamientos, tanto en su ámbito de ubicación y descripción, sirven como un aporte al sector de estudio. El polígono abarca un área de 2600 has., la zona de estudio analizada está constituida por un 40% rocas metamórficas como esquistos verdes, filitas y cuarcitas; ubicadas en el sector NE y de rocas sedimentarias como areniscas, lutitas, limolitas, carbón, aluviales y conglomerados en el resto de la zona estudiada. Existe la presencia de minerales como yeso, cuarzo, carbón, mica y azufre en la Formación Santo Domingo. Todos estos materiales litológicos y minerales al estar en presencia de los diversos tipos de agentes de erosión y meteorización han formado tipos de suelos que tienen un pH moderadamente ácido entre 6.5 a 7 y de una textura arcillosa.

En la zona se localiza un gran escarpe de falla, que se encuentra en la Formación San José; en la Unidad Chigüinda se observan flujos de tipo coluviales y a lo largo del Río Malacatos podemos observar aluviales.

Los deslizamientos se encontraron tanto en la Formación Santo Domingo como en la Formación San José, debiendo señalar que la mayoría de estos se encuentran en lutitas y zonas arcillosas, las cuales pertenecen a la Formación Santo Domingo.

Un pliegue Anticlinal localizado en la Formación Santo Domingo se encuentra en las coordenadas X= 694949; Y= 9536352, Z= 1720. Y un pliegue Sinclinal en la Formación San José se ubica dentro de las coordenadas X= 696356; Y= 9535828, Z= 1719.

Para el inventario de deslizamientos se empleó el formato de Inventario de Movimientos en masa propuesto por el Proyecto Multinacional Andino-Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA), el cual para éste trabajo fue modificado en base a la realidad local. Se encontró un total de 11 deslizamientos, se identificaron (10) diez movimientos de tipo Rotacional y uno (1) de tipo Traslacional. La elaboración del inventario de deslizamientos se realizó mediante técnicas de mapeo de campo y fotointerpretación.

La información geológica obtenida durante el levantamiento de campo fue analizada y procesada utilizando las técnicas SIG, lo que permitirá disponer de una base de datos georeferenciados.

El inventario de deslizamientos ayudó a determinar algunas causas, condiciones y detonantes que producen estos movimientos de masas, los mismos que en su mayoría se producen por agua mal canalizada, excavación en la pata del talud, lluvias, vibración artificial y algunos procesos de erosión y meteorización.

## **ANTECEDENTES**

El sector seleccionado para la realización de este proyecto de tesis se encuentra ubicado en el Nor-Este de la parroquia de Malacatos, Provincia de Loja, en la vía que conduce a Malacatos, Vilcabamba, Quinara, Zumba.

La Escuela de Geología y Minas de la Universidad Técnica Particular de Loja, ve la necesidad de realizar un levantamiento Geológico-Estructural detallado a escala 1:10000 el cual abarque la Hoya de Malacatos, determinando los rasgos estructurales y las formaciones geológicas existentes, con el fin de establecer en un futuro la verdadera génesis y evolución de esta cuenca sedimentaria.

Con este trabajo se pretende disponer información actualizada de las formaciones litológicas, geológicas, estructurales, tectónica de la zona, finalizando con un inventario de deslizamientos ocurridos hasta la actualidad.

A través de profesionales en formación de la Escuela de Geología y Minas, se está realizando estudios geológicos a detalle en cuencas sedimentarias, el presente trabajo se desarrolló en una de las áreas de la cuenca sedimentaria de Malacatos.

De esta forma se aporta información para los técnicos capacitados sobre los temas de realización de Mapas Geológicos, y se pueda tomar como guía nuestro análisis con su respectiva investigación geológica.

Este mapa será la base y referencia para los diferentes proyectos de investigación llevados a cabo en el CITTE de Unidad de Ingeniería Civil-Geología y Minas (UCG), el cual puede ser utilizado tanto para estudios de zonificación de riesgos geológicos, estudios geotécnicos, usos y tipos de suelos, ordenamiento territorial, entre otros.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

✧ Realizar un mapa Geológico-Estructural e inventario de deslizamientos con detalle a escala 1:10000 de la zona tres (3) de la cuenca sedimentaria de Malacatos.

### **Objetivos Específicos:**

- ✧ Levantamiento geológico detallado del sector.
- ✧ Reconocer los minerales que se encuentran en la zona de estudio.
- ✧ Elaborar un mapa Geológico-Estructural detallado de la zona de estudio.
- ✧ Elaborar un mapa de Deslizamientos detallados de la zona de estudio.
- ✧ Identificar y definir los contactos de las formaciones geológicas presentes en esta zona.
- ✧ Realizar el inventario de los deslizamientos presentes ocurridos hasta la actualidad.

## CAPÍTULO I

### 1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS DE LA ZONA

#### 1.1. Ubicación

La zona de estudio se encuentra localizada en la región Sur-Este del Ecuador, a 35 km de la Ciudad de Loja, comprendida desde el barrio Nangora al inicio de la Parroquia Malacatos, el polígono tiene una extensión de 2600 has. Su ubicación astronómica está en los 4°12' y 4°13' de Latitud Sur y los 79°14' y 79°16' de Longitud Oeste.

El área está limita al Norte con el Barrio San Francisco Alto y Loma Yunanga; al Sur con Loma Candas, Barrio La Granja y Escuela Theodoro Wolf; al Este con la Loma Candas, y los barrios Nangera, La Chorrera y la Quebrada Ituro; al Oeste con el Barrio San Francisco Alto y la Escuela Mora Reyes. La zona de estudio se encuentra enmarcado en las siguientes coordenadas UTM: (ver Tabla No. 1 y Gráfico No. 1).

#	X	Y
1	693 000.0 E	9 538 000.0 N
2	697 000.0 E	9 538 000.0 N
3	697 000.0 E	9 537 000.0 N
4	700 000.0 E	9 537 000.0 N
5	700 000.0 E	9 534 000.0 N
6	693 000.0 E	9 534 000.0 N

Tabla No. 1: Coordenadas UTM (Datum PSAD 56) del Área tres en la Cuenca Malacatos

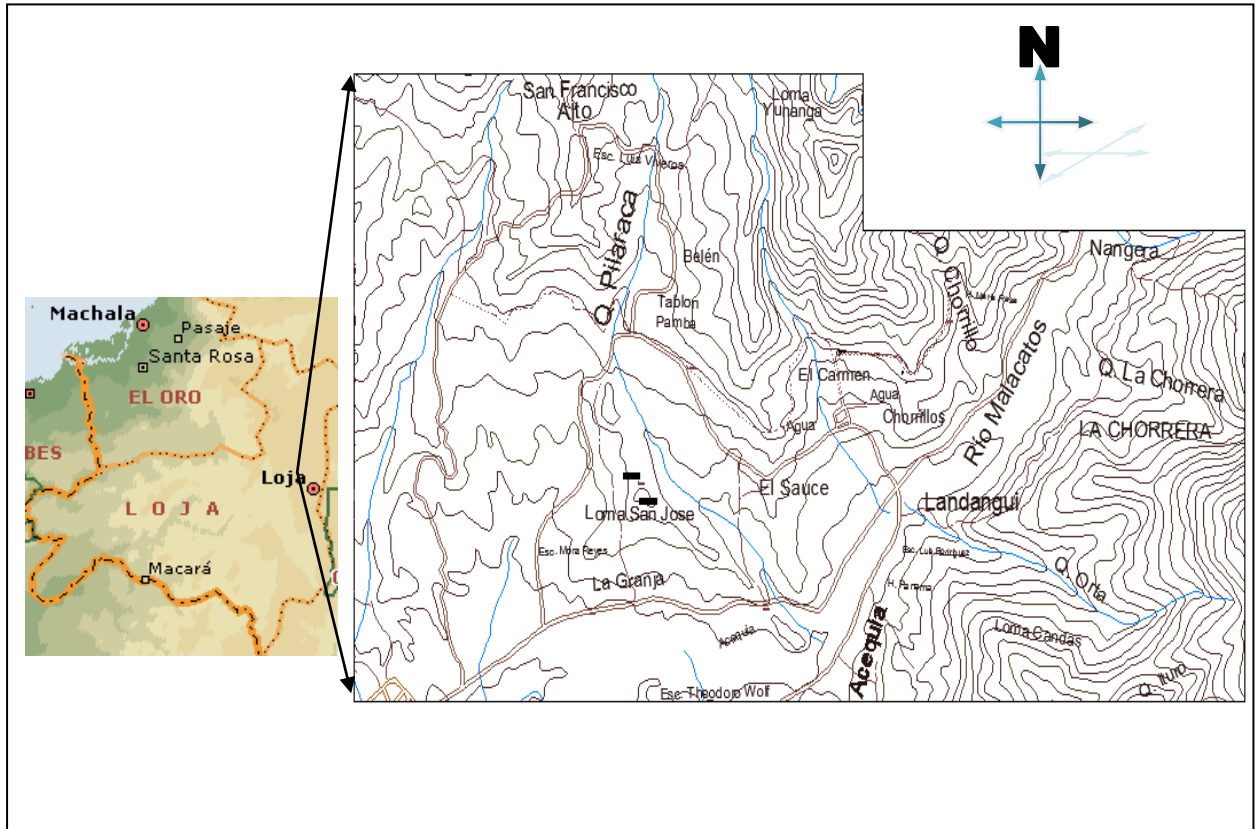


Gráfico No. 1: Ubicación de la zona de estudio respecto a la Provincia de Loja

## 1.2. Acceso

Para llegar al área de estudio se puede arribar desde la ciudad de Loja por la vía asfaltada Loja–Vilcabamba la cual presenta un solo carril (a cada lado), con un recorrido vehicular de aproximadamente 25 minutos hasta llegar al Barrio Nangora desde donde inicia el polígono (Gráfico No. 1), esta vía presenta accesibilidad permanente además de contar con una vía alterna llamada Caxarumi la cual se la puede transitar sea caminando o en bicicleta, la misma que se la ocupa principalmente de manera turística.

### 1.3. Relieve Orográfico e hidrografía

El relieve orográfico en su mayoría es muy accidentado, por encontrarse en la cadena montañosa de los Andes formándose cauces en forma de U, las alturas oscilan entre los 1600 y 2200 m s.n.m.

La principal red hidrográfica del sector y de las zonas aledañas lo constituye el Río Malacatos, que nace en Podocarpus y corre de Norte a Sur, éste atraviesa la zona de estudio y a su vez recibe los caudales de algunas quebradas como: la Quebrada Chorrera, Quebrada Chorrillo, Quebrada Orta, Quebrada Pilaraca entre otras, son parte de la hidrografía las Lagunas del Compadre. (Gráfico No. 2)

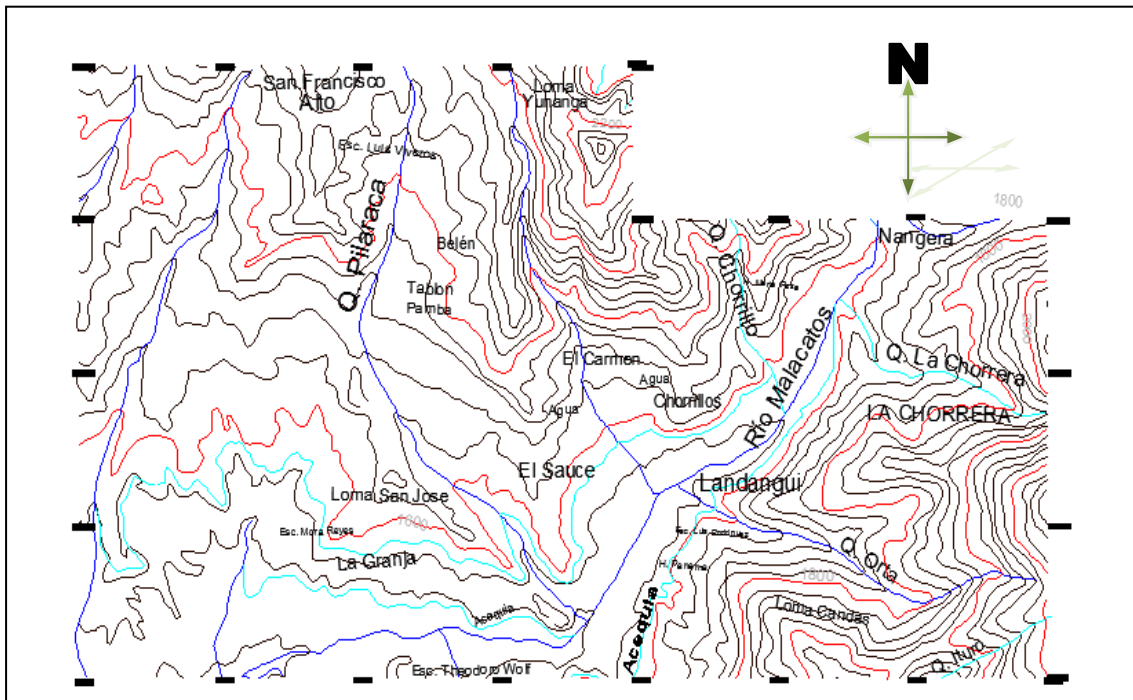


Gráfico No. 2: Hidrografía de la Zona de Estudio



#### **1.4. Clima**

La parroquia de Malacatos posee un clima subtropical promedio de 20.4°C, la temperatura mínima es de 5°C, con una precipitación anual promedio de 647mm, con una humedad del 82%, heliofanía 5.6% por hora, velocidad del viento 1.6m/s.<sup>1</sup>

El régimen pluviométrico está entre Invierno y Verano, con lluvias en los meses de Enero a Junio y la época de sol entre Julio y Diciembre.

#### **1.5. Flora y Fauna**

La zona de estudio corresponde al bosque seco subtropical, tiene una gran variedad de flora encontrándose especies madereras como: ciprés, pino, eucalipto, cedro, sauce, árboles frutales como: papaya, limón, mora, naranja, níspero, chirimoya, granadilla, pomarrosa, ciruelo, tomate de árbol, aguacate, también producen: maíz, tomate de riñón, pimiento, fréjol, pepino, ají, hortalizas, guineo, zanahoria blanca, llama la atención una gran variedad de plantas ornamentales que se encuentran en el lugar, y como olvidar su planta nativa como es el cultivo de caña de azúcar, de la cual se obtiene el delicioso guarapo y panela.

Entre las especies dominantes de matorrales tenemos: mimosa y acacia. El pastizal es algo predominante en el Norte de la zona en donde se pueden encontrar algunos animales que se alimentan de los mismos.

Entre especies vegetales de crecimiento espontáneo tenemos: yuca, llantén, sauco, cascarilla, sábila, achira, matico, tuna, borraja, mortiño, manzanilla, cola de caballo. En la mayoría del sector existen árboles espinosos.

---

<sup>1</sup> Tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Loja “La Argelia” Docente consultor Ing. Segundo Morocho.

La fauna del sector es también muy variada debido a que depende del alimento y refugio, entre los animales que se puede encontrar: mamíferos, aves, reptiles y peces, entre los más comunes tenemos: ganado vacuno, bovino, sapos, pájaros, loros, culebras, ardillas, saltamontes, gallinas, guatusas, arañas, grillos, luciérnagas, sancudos, moscos, cucarachas, hormigas, etc. Se puede observar el cultivo y producción de tilapia en piscinas particulares.

## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA Y TRABAJO DE CAMPO**

#### **2.1. Levantamiento Geológico**

En esta fase del trabajo de estudio se consideró la documentación de medidas estructurales, potencia de las rocas en los afloramientos descritos, la realización de columnas estratigráficas y la descripción detallada de los tipos de rocas existentes en el sector, concluyendo con la elaboración de un mapa geológico.

Junto con la documentación geológica se recolectó muestras de rocas (Ver Foto No. 1), las mismas que fueron analizadas en el laboratorio de la Unidad Civil, Geología y Minas (UCG), con el fin de clasificarlas dándoles sus respectivos nombres.



Foto No. 1: Muestreo para el análisis geológico

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

- ✧ Brújula

- ✧ GPS para las coordenadas en UTM (Datum PSAD 56)
- ✧ Martillo geológico
- ✧ Libreta de campo
- ✧ Lupa
- ✧ Carta geológica
- ✧ Escalímetro
- ✧ Lápiz magnético
- ✧ Graduador
- ✧ Pinturas

## **2.2. Fotointerpretación de la zona de estudio**

La fotointerpretación se la realizó en base a fotografías aéreas a escala 1:60000 con la ayuda de un estereoscopio, hojas de acetato y lápices de colores, para con ellos distinguir los contactos entre formaciones, su litología, geomorfología, estructuras tales como fallas y pliegues (Anexo 1); además de los deslizamientos ocurridos hasta el año 1984 (Anexo 2) en el cual fueron levantadas dichas fotos. Todos los datos que se obtuvieron sirvieron de referencia, lo cual nos ayudó en el recorrido de campo para comprobar y describir de manera detallada y correcta lo que se encontraba en el lugar.

## **2.3. Investigación de campo y mapeo de Deslizamientos**

Este trabajo consistió en la recopilación de datos de campo, ubicación geográfica de afloramientos, documentación geológica de los mismos y la toma de muestras en sitios estratégicos. El mapeo de deslizamientos se lo realizó a escala 1:10000 con la utilización del formato propuesto por el proyecto Multinacional Andino-Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA), el cual nos ayuda a determinar la actividad del movimiento, litología y estratigrafía, tipo de movimiento, material, velocidad del movimiento, deformación del terreno, cobertura y uso del suelo, causas, humedad del suelo, plasticidad y origen del suelo, además de la comprobación de los deslizamientos identificados mediante fotointerpretación. (Ver Foto No. 2).



Foto No. 2: Deslizamiento Activo, localizado en el Barrio San Francisco Alto junto a la Escuela Manuel Figueroa (X= 693766, Y= 9537324)

#### **2.4. Trabajo final**

En esta etapa se procedió con la ubicación de los puntos en el mapa topográfico, el cual utilizamos para realizar el recorrido, con lo que se pudo distinguir por donde se encuentran los contactos, las fallas, deslizamientos, pliegues, etc. Luego se procedió a realizar la elaboración del mapa geológico a escala 1:10000 mediante técnica de Auto CAD y Arc Gis, previo análisis de los datos obtenidos en el campo con la respectiva elaboración del inventario de deslizamientos y su ubicación dentro de la base geológica.

## **CAPÍTULO III**

### **3. GEOLOGÍA**

#### **3.1. Geología Regional**

La serie sedimentaria de la región en parte se encuentra recubierta por rocas Meta-Sedimentarias del Paleozoico (Unidad Chigüinda; Litherland et al., 1994), las mismas que se encuentran al Este del borde de la Cordillera Real, y las rocas volcánicas de la Formación Loma Blanca de edad Oligoceno Inferior. Se pueden distinguir tres unidades tecto-estratigráficas dominantes, ubicadas en el Sur, el Nor-Oeste y el centro (bloque La Granja). Este último se separa del resto de la cuenca Oeste por una falla normal (Hungerbühler en 1997).

Las formaciones geológicas que regionalmente se encuentran en el sector de estudio son las que se detallan a continuación:

**UNIDAD CHIGÜINDA.**- Comprende cuarcitas, filitas negras, esquistos gráficas y pizarras. Forma un cinturón de hasta 30 km de ancho en la parte Sur de la Cordillera. Está flanqueada hasta el Oeste por metagranitos y hacia el Este por migmatitas y esquistos. Se desconoce su espesor pero se supone que es de varios kilómetros. 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>

**FORMACIÓN SAN JOSÉ.**- Consta principalmente de areniscas calcáreas de espesor variable y calizas micríticas. Además, existen brechas bioclásticas, láminas y

---

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

capas de gravas con guijarros volcánicos menores, pizarras bioturbadas con forma de disco no fosilíferos, acumulación de caliza micrítica, se encuentran con frecuencia capas de areniscas gruesas. Es discordante y sobreyace a la formación Loma Blanca en el bloque La Granja, en la parte Nor-Oeste y central de la cuenca. La 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 Algarrotillo de Kennerley (1973). El espesor máximo de la formación es de 200 m.

Las areniscas calcáreas y calizas contienen abundantes fósiles ostrácodos, bivalvos, gasterópodos, escalopados, foraminíferos, núcleos de charophyte, dientes y huesos de pescado. 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 delgadas areniscas calcáreas y 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 mareas dominadas por deltas ambientales.<sup>3</sup>

FORMACIÓN SANTO DOMINGO.- Fue descrito por Hungerbühler (1997); y sustituye la parte superior de la Formación Algarrotillo y la Formación Cabalera de Kennerley (1973). La formación, que sobreviene en el Norte y dominando en el bloque de La Granja, es dividida en dos miembros. El espesor es variable hasta un máximo de 700 m.

El Miembro Carbón está compuesto de repetidas secuencias de pozos estratificados bituminosos, pizarras negras y limonitas menores, en parte areniscas canalizadas con intervalos de estratificación cruzada y laminaciones onduladas tipo ripple. Las pizarras bituminosas contienen hidrocarburos con un rendimiento del 60-80kgr/ton (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 2 m (Putzer, 1968).

El Miembro de Yeso verdoso, de grano medio, areniscas bien ordenadas con laminaciones onduladas tipo ripple y láminas de limonita. El yeso primario se produce en las areniscas como agujas prismáticas verticales y recristaliza los planos en embudos formando lentes de brecha.

El Yeso secundario es muy abundante 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. Las antiguas edades sobreponen a las edades obtenidas en la formación San José confirman una interferencia entre las dos formaciones como también se sugiere desde el mapeo de campo. Las facies y la mineralogía de formación Santo Domingo 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 Norte-Sur expuestas en forma paralela a la reconstrucción de la línea de costa (Hungerbühler, 1997). 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, 1997).<sup>3</sup>

**FORMACIÓN CERRO MANDANGO.-** Los principales afloramientos de la formación Cerro Mandango (Kennerley, 1973) ocurrieron dentro de un sinclinal entre Vilcabamba y Malacatos con orientación SSE-NNW, (Sur y centro dominios tectónico-estratigráfico, donde el espesor es de hasta 1000 m), y en el bloque La Granja. Esta sobreyace la formación Santo Domingo y antiguas rocas metamórficas con disconformidad angular y en parte recae concordante sobre la formación Quinara. La sucesión observada del Miembro de arenisca inferior y del Miembro de conglomerado superior (Hungerbühler, 1997) reflejan la tremenda tendencia al alza de la formación.



El miembro superior es más grueso en la parte meridional de la cuenca donde espectaculares discordancias progresivas están presentes. 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 limonitas.

El miembro arenisca calificado en el miembro conglomerado, se caracteriza por canales anchos, clastos (metamórficos) sosteniendo los conglomerados, areniscas gruesas y en poca cantidad limonitas. En lugares posee cristales y líticos (clastos metamórficos), tobas, areniscas tobáceas y brechas de pómez que están intercaladas con suficientes capas de zircón marcador para análisis ZFT. La sucesión de facies representa la transición de una carga de fondo denominada sistema arenoso fluvial y de un abanico aluvial, que va desde el Sur hacia el Norte. La recristalización del material fue exclusivamente situada en rocas metamórficas de la cordillera Real (Hungerbühler, 1997).<sup>3</sup>

### **3.1.1. Estructura**

En toda la cuenca de Malacatos, los estratos tienen un buzamiento hacia el Este desde 15° a 40°. Localmente, para toda la Formación Santo Domingo, los buzamientos son especialmente más verticales y algunos filones de carbón están inclinados en 60° o más. En el conglomerado entre Taxiche y Malacatos se presentan plegamientos más importantes con una dirección de los ejes Norte-Noroeste. Directamente al Norte del cerro Picota, en la parte Este de la cuenca, los sedimentos de la formación de conglomerados son localmente verticales o casi volcados; eso nos permite deducir que hay una falla inversa de ángulo elevado, la cual ha desplazado los estratos a esta posición. En contraste los conglomerados del Cerro Mandango son más o menos horizontales porque los buzamientos son bajos y el rumbo de la estratificación es más variado.

---

<sup>3</sup> Hungerbühler, D., 1997. Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador (3°00' - 4°20'): sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. PhD Thesis, Institute of Geology ETH Zürich, Switzerland, 182 pp.

Hay muchas fallas en la cuenca de Malacatos sobre todo por la conservación de estratos terciarios en una depresión fallada, con un terreno metamórfico Paleozoico. Toda la parte Este de la cuenca esta fallada y las evidencias indican que hay una falla normal. En la parte central de la depresión, el lado Oeste se encuentra también fallado, cortando las formaciones de la secuencia terciaria por abajo, de modo que el conglomerado Cerro Mandango queda junto a las rocas metamórficas. La repetición de la formación Santo Domingo en San Pedro y Vilcabamba se debe a una falla Norte-Sur a lo largo del centro de la cuenca. Muchas pequeñas fallas transversales (Este-Oeste) son observadas en el campo pero ellas no causan más que pequeños deslizamientos.

El basamento de la cuenca Malacatos–Vilcabamba está formado por rocas Metamórficas con edad Paleozoico (Kennerley 1973) y las rocas volcánicas-volcanoclásticas de edad Paleoceno-Eoceno-Oligoceno ( $40.6\pm 5.4$  –  $26.6\pm 4.0$  Ma., Hungerbühler, 2000), interpreta que las secuencias sedimentarias de las cuencas son de edad Mioceno (Pilatasig 2005).

Sin embargo, Hungerbühler realizó tres mediciones (1997) y mediante el ensayo de ZFT datan edades de  $15,1\pm 1,6$ ,  $14,9\pm 1,6$  y  $14,2\pm 3,4$  Ma., esto determina que la formación Quinara pertenece al Mioceno Medio Temprano.

Hungerbühler (2000) realizó algunos análisis de areniscas calcáreas y calizas de la formación San José; encontrando abundantes ostrácodos, bivalvos, gasterópodos, escalopados, foraminíferos, además de huesos y dientes de peces. Realizó el análisis de muestras por el método ZFT determinando edades de  $13,5\pm 1,2$  Ma., y  $13,1\pm 1,9$  Ma., correspondiendo al Mioceno Medio Tardío. La formación Santo Domingo mediante datación ZFT se ubican entre  $14,6\pm 1,8$  Ma., y  $12,0\pm 1,2$  Ma., también se encontraron varios fósiles de camarones gasterópodos, ostrácodos y dientes de peces. (Hungerbühler 2000). El análisis de muestras de la Formación Cerro Mandango determina edades entre  $11,4\pm 1,6$  y  $7,7\pm 0,8$  Ma., la transición entre el miembro Arenisca y el miembro Conglomerado se produjo hace 10 millones de años y la progresiva disconformidad es datada de 8 millones de años (Hungerbühler 2000)<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> 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.

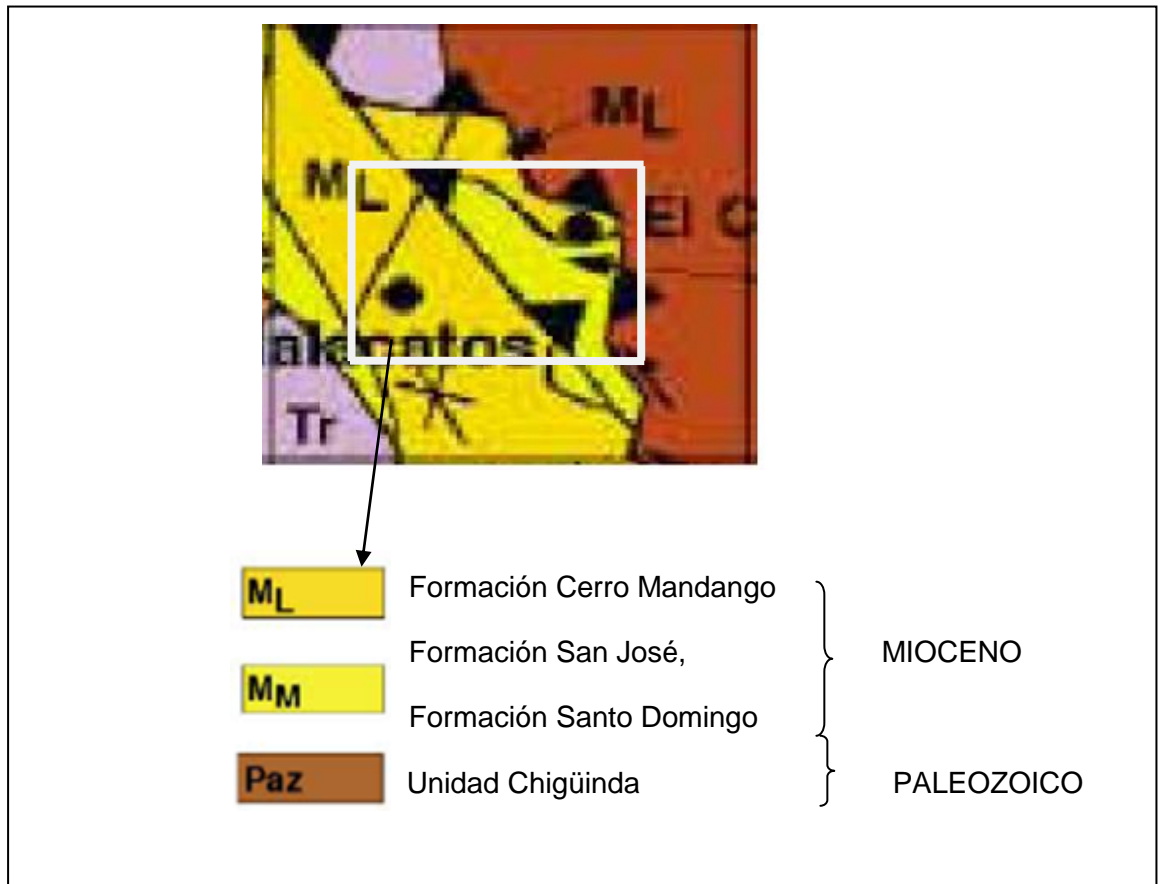


Gráfico No. 3: Mapa geológico del Sur del Ecuador desde 2°54' S a 4°25' S,  
modificado por Hungerbühler (1 997)

### **3.2. Geología Local**

Una vez recorrido el área de estudio y descrito todos los afloramientos considerados como importantes y de ayuda para la realización del presente trabajo, se puede describir lo siguiente:

#### **3.2.1. Rocas Metamórficas**

En la zona de estudio se pueden observar rocas metamórficas de edad Paleozoico, las mismas que constituyen el basamento de la cuenca, se pueden encontrar:

Pizarras, filitas, esquistos verdes y cuarcitas, las cuales pertenecen a la Unidad Chigüinda. Como se conoce el aumento de metamorfismo, ayuda al paso de metamorfismo de grado bajo (pizarra) a un metamorfismo de grado medio (esquistos).

(Foto No. 3)



Foto No. 3: Rocas metamórficas, filitas, esquistos verdes y pizarras

Las pizarras tienen un grano muy fino, presenta una excelente foliación y se rompe con facilidad en láminas plana. En la mayoría del terreno se encontró pizarras negras lo cual nos indica la alta presencia de patinas de materia orgánica.

Las filitas originadas por un metamorfismo de bajo grado, puede presentar pizarrosidad pero no tan significativa como la pizarra, las filitas presentan un color gris oscuro con brillo sedoso, se observan en el campo capas que van desde 1 a 10 centímetros, se encuentran intercaladas con vetillas de cuarzo y pizarras. Estas filitas tienen como minerales principales clorita y la presencia de oxidaciones de Fe., son untuosas al tacto, no son muy coherentes, tienen una textura muy fina, presentan una foliación definida en algunos lugares con un Azimut de N 215° y un Buzamiento de S 42° E, estas se encuentran fuertemente erosionadas y tectonizadas. (Foto No. 4)



Foto No. 4: Filitas con intercalaciones de pizarra

Se pueden observar fragmentos de cuarcitas los cuales van desde pocos centímetros a unos cuantos milímetros, en algunos afloramientos se pudo encontrar las cuarcitas en una matriz limo-arcillosa o arenosa las cuales presentaban tonalidades claras, en otros lugares se pudo observar vetillas y vetas de cuarzo las mismas que tenían medidas desde 4 milímetros a 10 centímetros. (Foto No. 5)





Foto No. 5: Cuarzo intercalado con filita y pizarra

Los esquistos verdes se fracturan con facilidad en pequeñas placas o laminas delgadas a través de su plano de foliación, éstas van desde 2 a 10 centímetros, formados por la recristalización tanto de la clorita como de la moscovita, presentan oxidaciones de Fe. Estos se encuentran fuertemente erosionados y tectonizados, la foliación de estas rocas metamórficas tiene una Dirección de Foliación de N 220° y un Buzamiento de N 64° W, uno de los lugares en los que podemos observar esquistos está ubicado en X=696272, Y=9534632. (Foto No. 6)



Foto No. 6: Esquistos Verdes

### **3.2.2 Rocas Sedimentarias**

El área de estudio está conformada por diferentes litologías sedimentarias de edad Mioceno, encontrándose discordantemente sobre el basamento metamórfico de la cuenca.

Se observan meta-areniscas, areniscas y lodolitas en la Formación San José.

Las lutitas, limolitas, arcillas, vetillas de yeso, areniscas y carbón pertenecen a La Formación Santo Domingo.

La Formación Cerro Mandango tiene conglomerados con clastos de cuarcitas, esquistos y filitas, los que se encuentran en una matriz limo-arcillosa.

A continuación se detalla lo antes mencionado por formaciones.

#### **a. Formación San José**

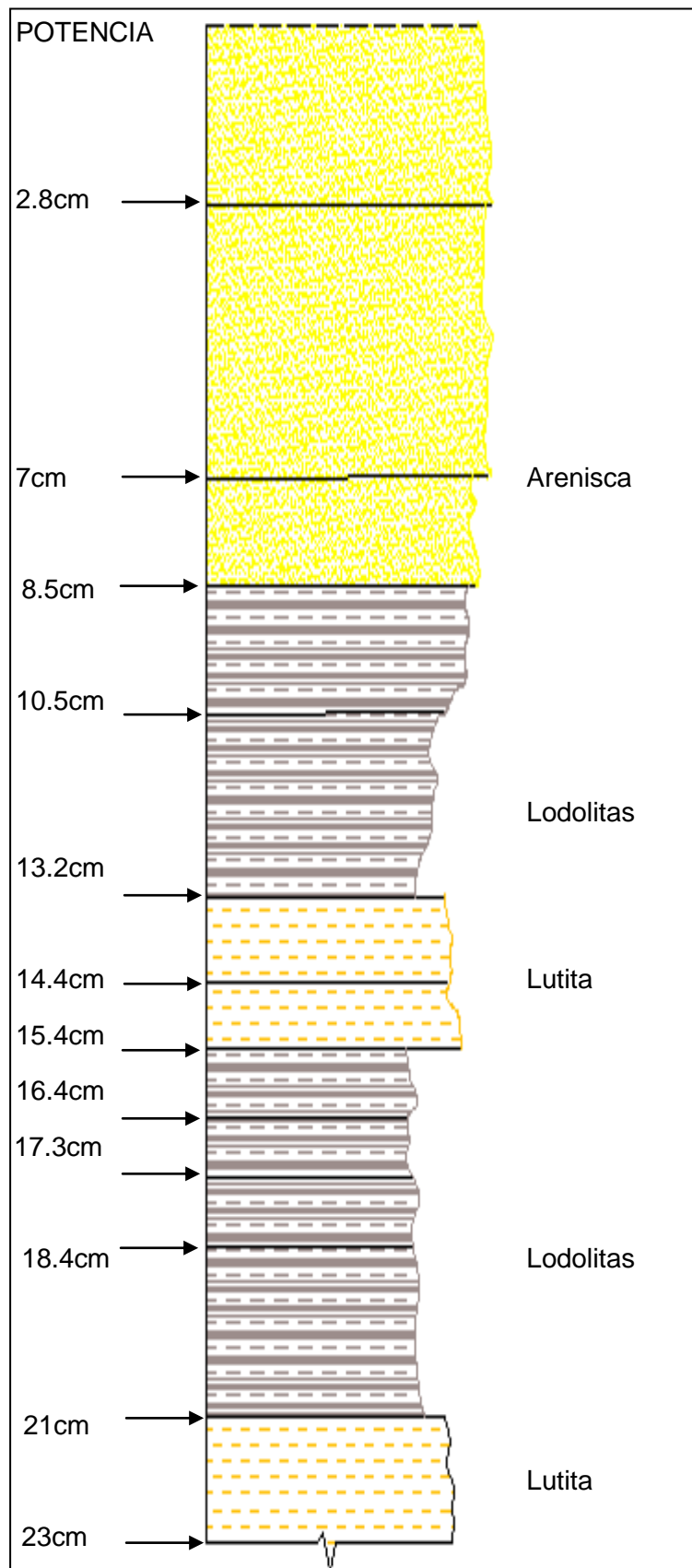
Las Areniscas están constituidas por una granulometría de grano fino, son muy compactas, su color varía de amarillo a gris, la potencia de las capas va desde 5 centímetros a 1.50 metros. Estas se encuentran expuestas a diferentes procesos de erosión y meteorización.

Las areniscas se encuentran intercaladas con capas de lodolitas, en ciertos lugares de la Formación San José en las areniscas y lodolitas se hallan vetillas de yeso. La estratificación de la Formación San José tiene una dirección N140° con un buzamiento de N42°E. (Foto No. 7) (Gráfico 4: Columna Estratigráfica San José) (Anexo 3: Descripción de Afloramientos)



Foto No. 7: Meta Areniscas





(Gráfico 4: Columna Estratigráfica Formación San José)

### **b. Formación Santo Domingo**

Las lutitas presentes en la zona de investigación tienen tonalidades que van desde blanco a café oscuro (producto de la oxidación), tienen una granulometría muy fina, bien compactadas, las mismas se encuentran intercaladas con arcillolitas, areniscas finas; en algunos sectores las lutitas tienen pequeñas vetas de mica, yeso (las vetas de yeso van de 2 a 20 centímetros); estas vetillas siguen su estratificación y también son perpendiculares a la estratificación. La presencia de material orgánico hace que en algunas lutitas tengan una coloración negra.

Las capas de lutitas tienen potencias que van desde unos 5 centímetros a 1.50 metros. Se encuentran meteorizadas y erosionadas en lugares con poca vegetación, aparentemente de plasticidad media. Tiene una Dirección de estratificación promedio de N 135° con un Buzamiento promedio de N 30° E. (Foto No. 8) (Gráfico 5: Columna Estratigráfica Santo Domingo).



Foto No. 8: Lutitas

Las lutitas tienen una buena fisibilidad en las cuales se pueden localizar presencia de fósiles (Foto No. 9) ya sean de tipo hojas o de peces, los cuales no se encuentran bien conservados debido a la erosión existente.



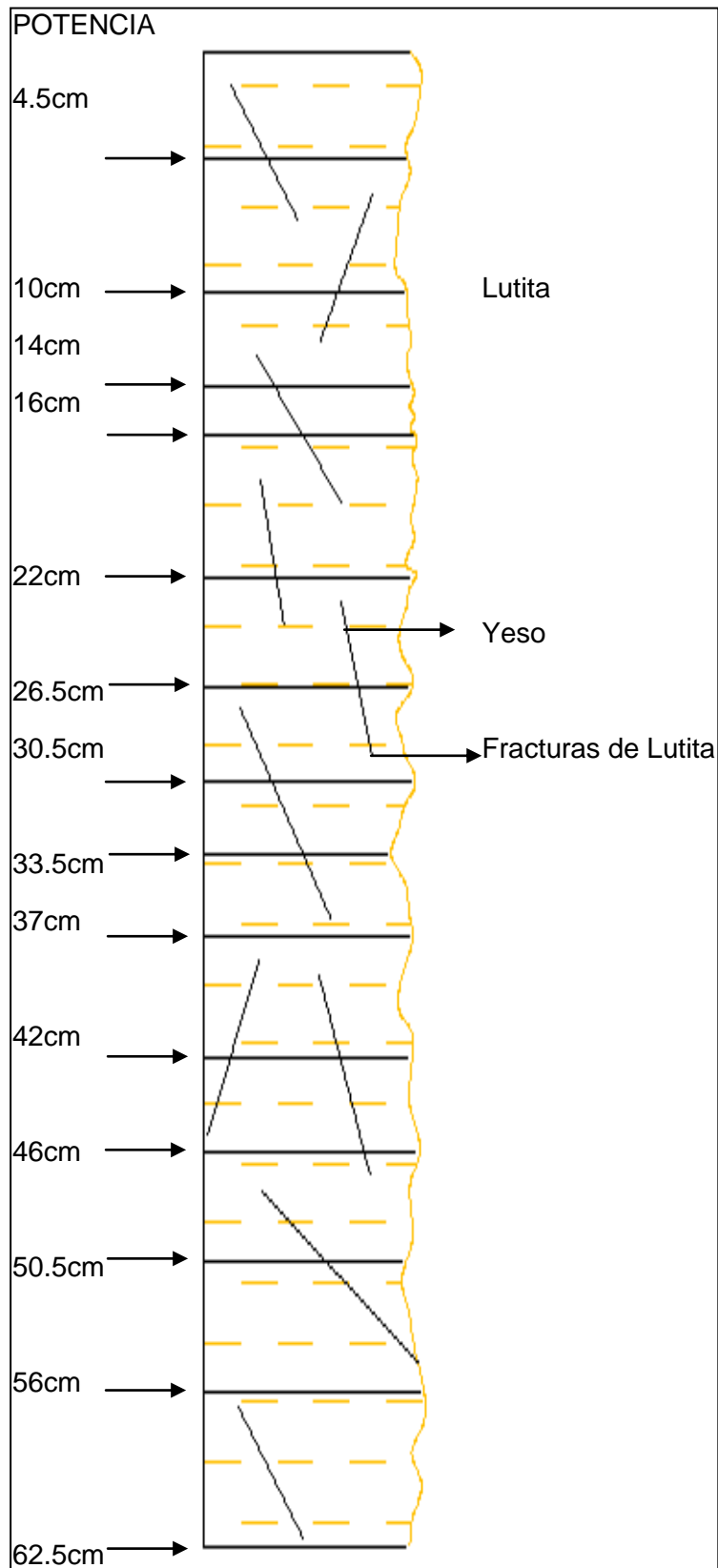
Foto No. 9: Fósiles tipo Gasterópodos (X= 695624, Y= 9536124)

Arcilla se identifica por coloraciones que van desde café amarillento a gris, las fracturas están rellenas de yeso, de plasticidad alta, pueden servir para la fabricación de cemento y cerámica, en el lugar de estudio se fabrica ladrillos y para esto utilizan la arcilla que se encuentra en el lugar. En algunos lugares las arcillas se encontraban con abundante cantidad de agua. Se localizaron capas de 40 centímetros a 1.50 metros. Son muy comunes debido a la meteorización que existe en el área de estudio.

(Foto No. 10)



Foto No. 10: Arcillas (arcillolitas) rellenas de yeso



(Gráfico 5) Columna estratigráfica de la Formación Santo Domingo.

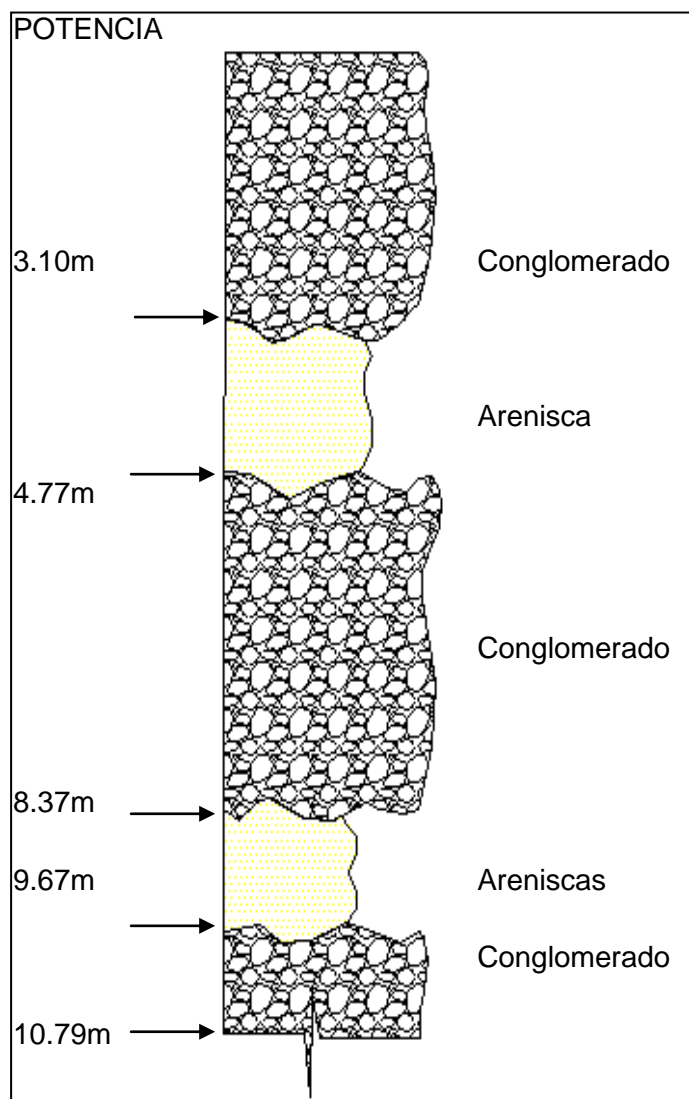
### **c. Formación Cerro Mandango**

Al Oeste (X = 693332, Y = 9535500) de la zona de estudio se observan conglomerados de clastos de cuarcitas, esquistos y filitas, los mismos que se encuentran dentro de una matriz limo-arcillosa, las capas tienen potencias que van desde algunos centímetros a metros, la formación se encuentra estratificada entre conglomerados y areniscas, esta litología pertenece a la Formación Cerro Mandango. En ciertos afloramientos los conglomerados tienen poca angulosidad y redondez lo que nos indica su poca transportación. (Foto No. 11) (Gráfico 6: Columna Estratigráfica Cerro Mandango)



Foto No. 11: Conglomerados y areniscas





(Gráfico 6) Columna estratigráfica de la Formación Cerro Mandango.

### **3.2.3 Depósitos Coluviales**

Los depósitos coluviales se forman donde existen laderas de colinas. En áreas muy húmedas durante épocas de precipitación abundante (invierno), cuando el agua satura, el suelo puede despegarse dejando una huella notoria en la pendiente, y formando una masa en forma de lengua que fluye pendiente abajo. La misma que puede desplazarse desde unos pocos metros hasta algunos kilómetros. Se encuentran presentes en el Nor-Este y Nor-Oeste del área de estudio.

Los materiales que se han encontrado dentro de los depósitos coluviales son: esquistos verdes, filitas, pizarras, cuarcita y gneis los cuales están emplazados en una matriz limo-arcillosa.

El tamaño de estos depósitos oscila entre 1 y 30 metros de longitud y entre 1 y 20 metros de ancho, se caracterizan por ser movimientos rápidos en presencia de agua y movimientos lentos en el tiempo seco, pueden permanecer activos durante algunos días, meses o años, todo esto depende del grado de inclinación de la pendiente y de la consistencia del material. No presentan capas definidas. Los materiales son muy angulosos y de baja redondez. (Foto No. 12)



Foto No. 12: Depósitos Coluviales matriz arcillosa con clastos de pizarras y esquistos verdes

### **3.2.4 Depósitos Aluviales**

Los depósitos aluviales están constituidos por sedimentos que se acumulan a partir de la actividad de los ríos y los procesos de deslizamiento asociados por gravedad. Son receptores de información geológica valiosa, los depósitos fluviales también son importantes en el aspecto económico, ya que son proveedores de material para la construcción.

Se encuentran principalmente en una matriz limo-arcillosa, arena, arcilla, grava o material suelto depositado por corrientes de agua, con potencias que van desde los 10 centímetros a 20 metros. Los depósitos aluviales presentan tamaños desde 1 centímetro a 50 centímetros, la redondez de los mismos dependen del transporte o desplazamiento que estos han tenido a lo largo del río, es decir de la capacidad de transporte de la corriente hasta que el traslado de sedimentos ya no es posible. Estos se encuentran a lo largo de todo el Río Malacatos y a lo largo de las diferentes Quebradas que tenemos presentes en el área de estudio. (Foto No. 13)



Foto No. 13: Depósitos Aluviales



### **3.2.5 Geología Estructural del sector**

Los estratos del área de estudio en la cuenca de Malacatos, están orientados hacia el Este con un buzamiento de 10 a 42°. Se ha podido observar los diferentes contactos que existen en el lugar, la presencia de una falla al igual que pliegues.

En la parte Este del polígono se encuentran Rocas Metamórficas como esquistos verdes, filitas, pizarras. Las familias de diaclasas se pueden observar claramente en afloramientos de filitas (X= 696562, Y= 9536346), están presentes tres tipos de familias de diaclasas con los siguientes datos estructurales:

- Primera familia con una Dirección de N107° con Buzamiento de N73°E,
- Segunda familia y principal con una Dirección de N20° con Buzamiento de S68°E,
- Tercera familia con una Dirección de N177° con Buzamiento de S42°W.

En la vía de acceso a la zona de estudio se puede observar la secuencia de rocas metamórficas como filitas, esquistos verdes, pizarras, cuarzo, meta-areniscas, las mismas que tienen una gran potencia (varios kilómetros).

La foliación en los metamórficos tienen una orientación preferencial NE-SW, con buzamientos hacia el E que van de 32° a 72°.

En el centro y Oeste de la cuenca se encuentran la Formación Santo Domingo la misma que contiene lutitas, lodolitas, limolitas, intercalaciones de yeso. La Formación San José con presencia de areniscas, la misma se encuentra en las partes altas de la cuenca. En la parte Oeste se puede observar la Formación Cerro Mandango la cual está compuesta de conglomerados con intercalaciones de areniscas.

La mayoría de deslizamientos que se han encontrado en la zona de estudio pertenecen a la Formación Santo Domingo la cual está compuesta por lutitas, lodolitas, que en épocas invernales estas litologías se convierten en arcillas muy expansivas, produciendo zonas de alto riesgo y por ende los movimientos en masas de suelos.

En la zona de estudio existe una falla Normal que se localiza en la Formación San José con dirección NW-SE. (Foto No. 14). En las coordenadas X= 695206, Y= 9535280 se tomaron datos estructurales de estrías que pueden ser producto de la falla que se encuentra presente en la zona; los datos de la estría son Dirección N150° Buzamiento de S46°W, Pitch de estría 55°W., se puede identificar un cambio de litología en el lugar, la falla se encuentra separando la Formación San José constituida por meta-areniscas y la Formación Santo Domingo constituida por lutitas y arcillas. Además se pudo detallar que las zonas altas están conformadas por la Formación San José mientras que en lugares bajos tenemos la Formación Santo Domingo.



Foto No. 14: Falla

En la Formación Santo Domingo existe un pliegue tipo anticlinal, que tiene los siguientes datos: flanco Oeste (X=694264; Y=9536504), con Dirección N 215° con Buzamiento N 29° W; en el flanco Este (X=694896; Y=9536430), con Dirección N 145° con Buzamiento de N 28° E. (Foto No. 15)



Foto No. 15. Pliegue Anticlinal

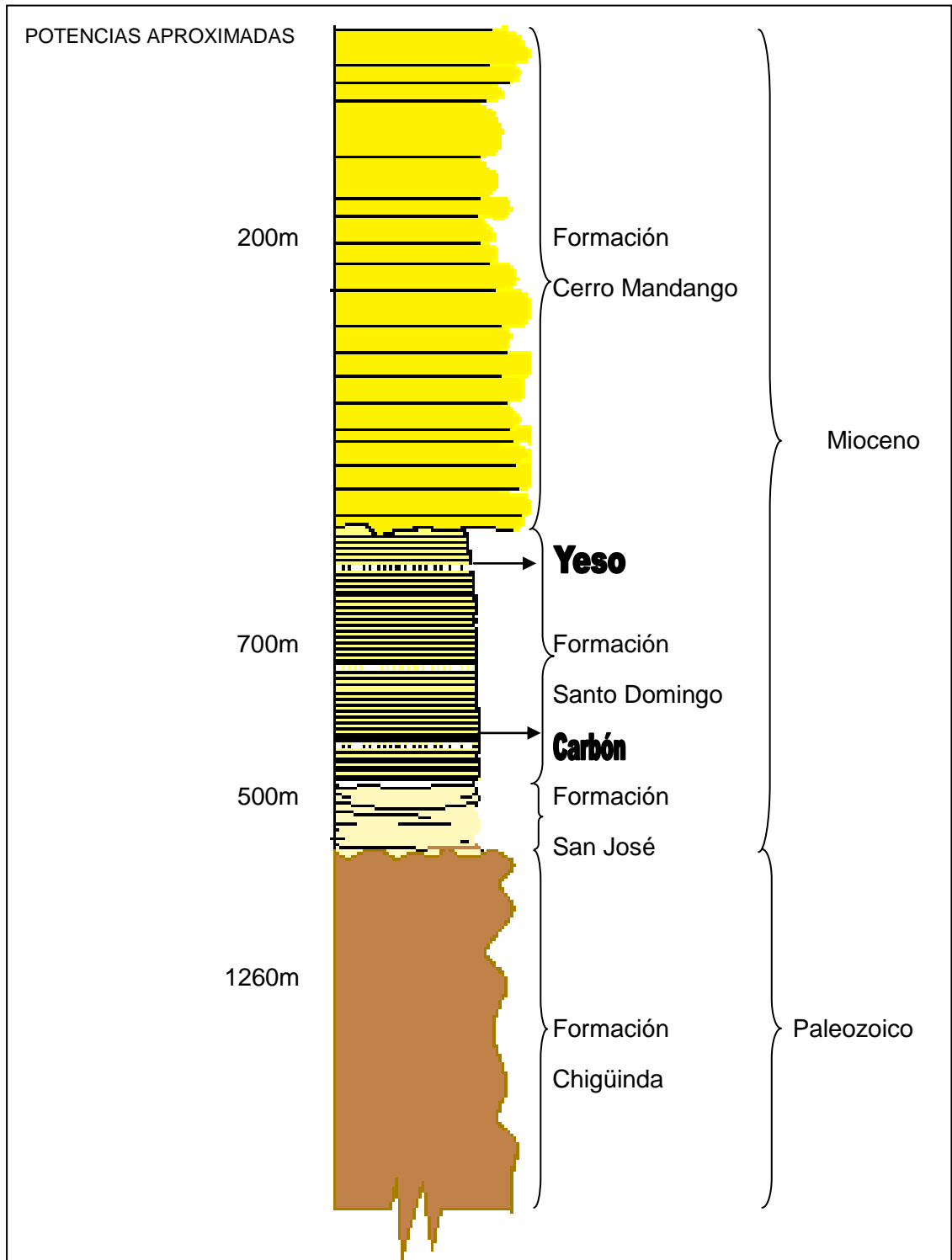
Un pliegue de tipo sinclinal se localiza en la Formación San José en las coordenadas X=696356; Y=9535828, con los siguientes datos estructurales, flanco Oeste con una Dirección N 136° con Buzamiento N 49° E; flanco Este con una Dirección N 160° y un Buzamiento S45°W. (Foto No. 16)



Foto No. 16. Pliegue Sinclinal

Estos pliegues se producen debido a la fuerza de compresión que reciben debido que se ubican en los bordes de cuenca y obedecen a un tipo de fuerza lateral.

La siguiente columna estratigráfica muestra las potencias reales de las diferentes formaciones que se pueden observar en el lugar de estudio.



(Gráfico 7) Columna estratigráfica de la cuenca Malacatos

### **3.3 Morfología**

La zona de estudio comprende un entorno geográfico importante, existe un relieve montañoso que se encuentra topográficamente en cotas que van desde los 1600 a los 2200 m s.n.m., en donde se han creado cimas y valles que tienen cobertura vegetal media, en otros lugares la vegetación es escasa debido a que los suelos no son aptos para el cultivo, además la erosión en determinados lugares no colabora para que exista vegetación.

El sistema montañoso fluvio - erosional, indica que la topografía de la zona de estudio presenta pendientes irregulares menores a 45°, resultando un terreno no muy accidentado (Foto No. 17) y que geológicamente está constituido por areniscas, arcillas, lutitas, filitas, pizarras, esquistos y conglomerados.



Foto No. 17: Área de Estudio

Luego de haber realizado el análisis de pendientes (ver Mapa 1: Mapa de Pendientes) y con ayuda de la tabla de clasificación de pendientes se ha determinado que:



- ✓ El 5% de la superficie del terreno se encuentran pendientes que oscilan entre 0% a 5% que corresponde un terreno llano.
- ✓ El 10% de la superficie del terreno se encuentran pendientes que oscilan entre 5% a 15% que corresponde a una pendiente ligeramente inclinada.
- ✓ El 10% de la superficie del terreno se encuentran pendientes que oscilan entre 15% a 25% que corresponde a una pendiente inclinada.
- ✓ El 10% de la superficie del terreno se encuentran pendientes que oscilan entre 25% a 35% que corresponde a una pendiente fuertemente inclinada.
- ✓ El 20% de la superficie del terreno se encuentran pendientes entre 35%-55% que corresponde a una pendiente abrupta.
- ✓ Las pendientes mayores a 55% corresponden a una pendiente muy abrupta

<b>Tipo de Pendiente</b>	<b>Pendiente en %</b>	<b>Grados</b>
• <b>Terreno llano</b>	0% - 5%	0-5°
• <b>Ligeramente inclinado</b>	5% - 15%	5°-15°
• <b>Inclinado</b>	15% - 25%	15°-25°
• <b>Fuertemente inclinado</b>	25% - 35%	25°-37°
• <b>Abrupto</b>	35%-55%	37°-55°
• <b>Muy abrupto</b>	> 55%	> 55°

Tabla 2. Clasificación de pendientes utilizada por el Ministerio de Agricultura para la caracterización de la capacidad agrológica de los suelos. Límite en la base a una propuesta del Servicio de Conservación de Suelos de EEUU.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> “Geología Práctica. Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas”, POZO M.; GONZALES J.; GINER J.L., Madrid, 2004. Pag. 132.

Al inicio del valle se puede observar un encajonamiento el cual tiene pendientes muy pronunciadas, forma un valle en forma de U, aquí se puede observar la cascada más importante para la red hidrográfica (Foto No. 18). La red de drenajes es de forma dendrítica.



Foto No. 18: Forma del valle

## **CAPITULO IV**

### **4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTOS**

Con los datos del levantamiento geológico de campo, se procedió a realizar el respectivo análisis e interpretación de las principales estructuras cartografiadas de la secuencia sedimentaria de la zona, esto con el fin de definir los eventos de depositación de las formaciones geológicas que existen en la zona, para luego correlacionarlas con el mapa geológico regional.

Según los afloramientos mapeados y el análisis de las respectivas muestras, se pudo determinar que en el área de estudio aflora el basamento metamórfico Unidad Chigüinda, las formaciones sedimentarias: San José, Santo Domingo, y Cerro Mandango; además de terrazas aluviales las cuales se encuentran a lo largo del río y depósitos coluviales ubicados al Este y Oeste del área, los mismos que son producto de la erosión de la cordillera. En base a la estructura podemos indicar que la zona presenta una importante actividad tectónica, debido a la falla que se ha encontrado en el sector, modificando la secuencia sedimentaria y el basamento metamórfico, los deslizamientos que se han observado en su mayoría se producen en la Formación Santo Domingo, siendo movimientos con clasificación Deslizamiento Rotacional el 93% y el 7% restante pertenece a un Deslizamiento Traslacional.

Luego se realizó el inventario de deslizamientos en la zona de estudio que posteriormente se correlacionó con las formaciones geológicas presentes en la zona, para definir sus factores incidentes de ocurrencia.

Con todos estos datos se realizó el mapa geológico – estructural e inventario de deslizamientos. (Mapa 2: Mapa Geológico – Estructural e Inventario de Deslizamientos)



#### **4.1 Cortes de secciones geológicas locales**

Para una mejor visión de la disposición de las rocas en profundidad se elaboró dos (2) cortes geológicos, distribuidos a lo largo del polígono de estudio, esto ayudó a definir de una mejor manera la evolución de las formaciones geológicas existentes en el lugar.

Estos cortes geológicos se los realizó en los lugares más representativos de la zona y de mayor interés para el detalle de este estudio.

Los cortes sirvieron para limitar las Formaciones existentes en la zona de estudio, considerando importante la altura de las curvas de nivel. La Unidad Chigüinda se encuentra en todo el basamento de la cuenca, la Formación Santo Domingo se encuentra en los lugares planos o menos accidentados, la Formación San José se encuentra en lugares altos.

La falla tiene una Dirección NW - SE y Buzamiento SW en las coordenadas X= 695134, Y= 9535426, las estrías tienen una Dirección N 150°, Pitch 55° W y Buzamiento S 46° W.

La falla Normal se encuentra separando la Formación San José constituida por meta-areniscas de la Formación Santo Domingo a la cual pertenecen lutitas y arcillas.

#### **4.2 Inventario de Deslizamientos**

Mediante el trabajo de fotointerpretación se pudo identificar algunos deslizamientos ocurridos hasta el año 1984 en el cual fueron tomadas dichas fotos. Estos deslizamientos cubren el 1.44% del área total.

Para la clasificación de los deslizamientos durante el trabajo de campo se utilizó el Formulario del inventario de movimientos en masa propuesto por el PMA-GCA, 2005 (Proyección Multinacional andino - geociencias para las comunidades andinas) el mismo que para el presente trabajo fue modificado en base a la realidad

local. El desarrollo de este trabajo se basó según la nomenclatura y clasificación propuesta por Luis I. González de Vallejo en el libro de Ingeniería Geológica, 2005 en la cual se definen parámetros tales como: tipos de ruptura, humedad del suelo, estado y estilo del movimiento, secuencia de repetición o distribución, etc.

Durante el trabajo de campo se mapeo un total de 11 movimientos en masa los cuales cubren un área de 1335.94 m, lo que constituye el 3.2% del área total. Entre estos se identificó 10 movimientos de tipo Deslizamiento Rotacional, y 1 Deslizamiento de Propagación Lateral. (Mapa 2: Mapa Geológico- Estructural e Inventario de Deslizamientos)

En la siguiente tabla se resumen las características generales de los movimientos en masa estudiados dentro del área:

<b>CÓDIGO</b>	<b>TIPO DE MOVIMIENTO</b>	<b>ESTADO</b>	<b>HUMEDAD DEL SUELO</b>	<b>CONDICIONANTE</b>	<b>DETONANTE</b>	<b>CAUSA DEL DESLIZAMIENTO</b>
<b>DM 001</b>	Traslacional	Latente	Seco	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Deforestación o ausencia de vegetación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material fallado por corte</li> </ul>
<b>DM 002</b>	Rotacional	Reactivo	Húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excavación de la pata de talud.</li> <li>▪ Vibración artificial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Mantenimiento deficiente sistema de drenaje</li> <li>✓ Escapes de agua de tubería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material plástico débil</li> <li>• Meteorización por expansión o contracción</li> </ul>
<b>DM 003</b>	Rotacional	Latente	Muy húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excavación de la pata de talud.</li> <li>▪ Vibración artificial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Escapes de agua en tuberías</li> <li>✓ Mantenimiento deficiente sistema de drenaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material plástico débil</li> <li>• Material colapsible</li> </ul>
<b>DM 004</b>	Rotacional	Reactivo	Húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excavación de la pata de talud.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Escapes de agua en tuberías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material plástico débil</li> </ul>
<b>DM 005</b>	Rotacional	Reactivo	Húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excavación de la pata de talud.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Escapes de agua en tuberías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material plástico débil</li> <li>• Meteorización por expansión o contracción</li> </ul>
<b>DM 006</b>	Rotacional	Reactivo	Húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excavación de la pata de talud.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Escapes de agua en tuberías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material plástico débil</li> </ul>
<b>DM 007</b>	Rotacional	Estabilizado	Ligeramente húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excavación de la pata de talud.</li> <li>▪ Carga en la corona del talud</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Escapes de agua en tuberías</li> <li>✓ Mantenimiento deficiente sistema de drenaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material plástico débil</li> <li>• Material sensible</li> </ul>
<b>DM 008</b>	Rotacional	Latente	Ligeramente húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lluvias</li> <li>▪ Excavación de la pata de talud</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Escapes de agua en tuberías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material plástico débil</li> <li>• Material fallado por corte</li> </ul>
<b>DM 009</b>	Rotacional	Reactivo	Ligeramente húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantenimiento deficiente sistema de drenaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Escapes de agua en tuberías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material plástico débil</li> <li>• Material sensible</li> </ul>

						<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material meteorizado</li> </ul>
<b>DM 010</b>	Rotacional	Estabilizado	Húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excavación de la pata de talud</li> <li>▪ Vibración artificial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Mantenimiento deficiente sistema de drenaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material plástico débil</li> <li>• Material sensible</li> <li>• Material meteorizado</li> <li>• Material fallado por corte</li> </ul>
<b>DM 011</b>	Rotacional	Estabilizado	Húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excavación de la pata de talud</li> <li>▪ Vibración artificial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lluvias</li> <li>✓ Mantenimiento deficiente sistema de drenaje</li> <li>✓ Escapes de agua en tuberías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material fallado por corte</li> <li>• Material sensible</li> <li>• Material plástico débil</li> <li>• Material meteorizado</li> </ul>

#### **4.2.1 Factores que influyen en la inestabilidad**

Entre los factores principales que influyen en la inestabilidad tenemos:

La excavación de la pata del talud, esto debido a la creación de carreteras de segundo orden,

Vibración artificial, la misma que se produce por los vehículos que circulan por estos lugares debido a las fincas que existen en el lugar,

La lluvia es un factor muy importante, anualmente la precipitación es de 647mm, al introducirse el agua al suelo ayuda a que el mismo se desplace con mayor facilidad y rapidez, en este lugar se puede observar un mantenimiento deficiente del sistema de drenaje al igual que escapes de agua de tuberías,

Deforestación o ausencia de vegetación hace que el suelo se erosione con facilidad,

Carga en la corona del talud como se sabe el suelo en el que se producen la mayor cantidad de deslizamientos es un suelo muy débil y ello hace que el peso le dé movimiento.

Sin embargo no debemos olvidar que el material que se encuentra en este lugar es un material plástico débil, es sensible, meteorizado, fallado por corte y meteorizado por expansión o contracción.

#### **4.3 Relación geología-pendientes**

La geología del lugar se pudo conocer gracias a los recorridos realizados, lo cual nos permite relacionar las pendientes de manera favorable, las tonalidades que se observó en las fotografías aéreas permitió fijar el tipo de formaciones que se encontraban en el lugar. Al realizar los cortes geológicos se pudo observar como basamento la Unidad Chigüinda, la Formación San José se observa en lugares altos, en áreas planas se encuentra la Formación Santo Domingo, rematando tenemos la Formación Cerro Mandango.

## **5. Conclusiones:**

✓ Las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio son: Chigüinda, San José, Santo Domingo y Cerro Mandango, constituidos litológicamente por:

- En la Formación Chigüinda se encuentran pizarras, filitas, esquistos verdes y cuarcitas.
- La Formación San José está constituida por meta-areniscas, areniscas y lodolitas.
- La Formación Santo Domingo está formada por limolitas, lutitas, arcillas, vetillas de yeso, areniscas y carbón.
- En la Formación Cerro Mandango se pueden observar conglomerados con clastos de cuarcitas, esquistos y filitas, los que se encuentran en una matriz limo-arcillosa.

✓ Existen depósitos coluviales los mismos que están conformados por clastos metamórficos como gneis, pizarras, esquistos verdes y filitas, emplazados en matriz de arcillas y limos con poca cantidad de arena, el tamaño de estos depósitos oscila entre 1 y 3 metros de longitud y entre 1 y 5 metros de ancho. Se los puede encontrar presentes en el Nor - Este y Nor – Oeste del área de estudio.

✓ Los depósitos aluviales están constituidos por sedimentos que se acumulan a partir de la actividad de los ríos y los procesos de deslizamiento por gravedad, se encuentran asociados principalmente en una matriz limo-arcillosa, y de estos se extraen materiales para la construcción.

✓ El estudio geológico realizado en la zona presenta una gran diferencia con el mapa geológico regional existente, debido a que los contactos no se encuentran en los lugares reales, no se describe los diferentes tipos de pliegues y la falla existente.

✓ En la parte Este del polígono se encuentran Rocas Metamórficas como esquistos verdes, filitas, pizarras. Las familias de diaclasas se pueden observar

claramente en afloramientos de filitas, están presentes tres tipos de familias de diaclasas con los siguientes datos estructurales:

- Primera familia con una Dirección de N107° con Buzamiento de N73°E,
- Segunda familia y principal con una Dirección de N20° con Buzamiento de S68°E,
- Tercera familia con una Dirección de N177° con Buzamiento de S42°W.

✓ En la Formación Santo Domingo en las coordenadas X=694949; Y=9536352, se localiza un pliegue tipo anticlinal, que tiene los siguientes datos estructurales, flanco Oeste con Dirección N 215° con Buzamiento N 29° W; en el flanco Este con Dirección N 140° con Buzamiento de N 30 E°.

✓ Dentro de la Formación San José en las coordenadas X=696356; Y=9535828 existe un Pliegue de tipo Sinclinal, que tiene los siguientes datos estructurales, flanco Oeste con una Dirección N 160° y un Buzamiento N45°E y en el flanco Este con Dirección N 136° y Buzamiento S 49° W.

✓ En la zona de estudio existe una falla Normal que se localiza en la Formación San José con dirección NW-SE. En las coordenadas X= 695206, Y= 9535280 se tomaron datos estructurales de estrías que pueden ser producto de la falla que se encuentra presente en la zona; los datos de la estría son Dirección N150° Buzamiento de S46°W, Pitch de estría 55°W.

✓ La Falla Normal existente en la zona de estudio produce un cambio de litología en el lugar ya que se encuentra separando la Formación San José constituida por meta-areniscas de la Formación Santo Domingo constituida por lutitas y arcillas.

✓ Además se pudo detallar que las zonas altas están conformadas por la Formación San José mientras que en lugares bajos tenemos la Formación Santo Domingo.

✓ Se encontraron 11 deslizamientos en toda la zona de estudio de los cuales 10 de estos eran de tipo Rotacional y 1 de tipo Traslacional.

✓ Luego de realizados los estudios se ha podido observar que el agente principal para desencadenar la mayoría de los diferentes deslizamientos que se encuentran en el lugar son producto de agua mal canalizada que proviene del canal de riego, ya que esta se filtra por el suelo y produce la desestabilización.

✓ Existen algunos deslizamientos de gran tamaño, el grado de afectación es alto debido a su actividad.

✓ Las Formaciones que se encontraron en la zona de estudio (Hungerbühler 1997) se relacionan con el Mapa Geológico Regional (Kernnerly 1982) de la siguiente manera:

<b>Hungerbühler D.</b>	<b>Kernnerly J.B.</b>
<b>Formación Santo Domingo</b>	Formación San Cayetano miembro inferior
<b>Formación San José</b>	Formación Trigal
<b>Formación Cerro Mandango</b>	Formación Quillollaco



## **6. Recomendaciones:**

- En la Formación Santo Domingo se debe canalizar el agua de una mejor manera puesto que la litología del lugar es muy susceptible a producir deslizamientos por este agente.
- Se debería tener o realizar un levantamiento topográfico más a detalle (Escala 1:5000), esto ayudaría a ejecutar mejor los perfiles topográficos y por ende los contactos entre formaciones, ya que el presente trabajo se realizó en base a un levantamiento topográfico a escala 1:50000.
- El Ordenamiento Territorial es de vital importancia en el lugar para ello se debería contar con un Mapa Geológico Estructural y de Deslizamientos actualizado.

## **7. Bibliografía:**

- González de Vallejo Luis, 2005, **Ingeniería Geológica.**
- Hungerbühler, D.,. **Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador (3°00`- 4°20`): sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. PhD Thesis**, Institute of Geology ETH Zürich, Switzerland, 182 pp.
- Hungerbühler Dominik, Steinmann Michael, Winkler Wilfried, Seward Diane, Egüez Arturo, Peterson Dawn E., Urs Helg, Cliff Hammer 1997 **Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador.**
- Kernely J.B., 1982, **“Geología de la Provincia de Loja en el Sur del Ecuador”**
- Litherland et al., 1994. **Breve Léxico estratigráfico del Ecuador.**
- Morocho Segundo Ing. **Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Loja “La Argelia”** Docente consultor (Entrevista personal)
- Pozo M.; Gonzales J.; Giner J.L., Madrid 2004. Pag 132, **Geología Práctica. “Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas”**
- Proyecto Multinacional Andino, 2005, **“Mapa Geológico Binacional Región Norte de Perú y Sur del Ecuador”**, escala 1:500000.

## **8. Anexos**

# **ANEXO 1**

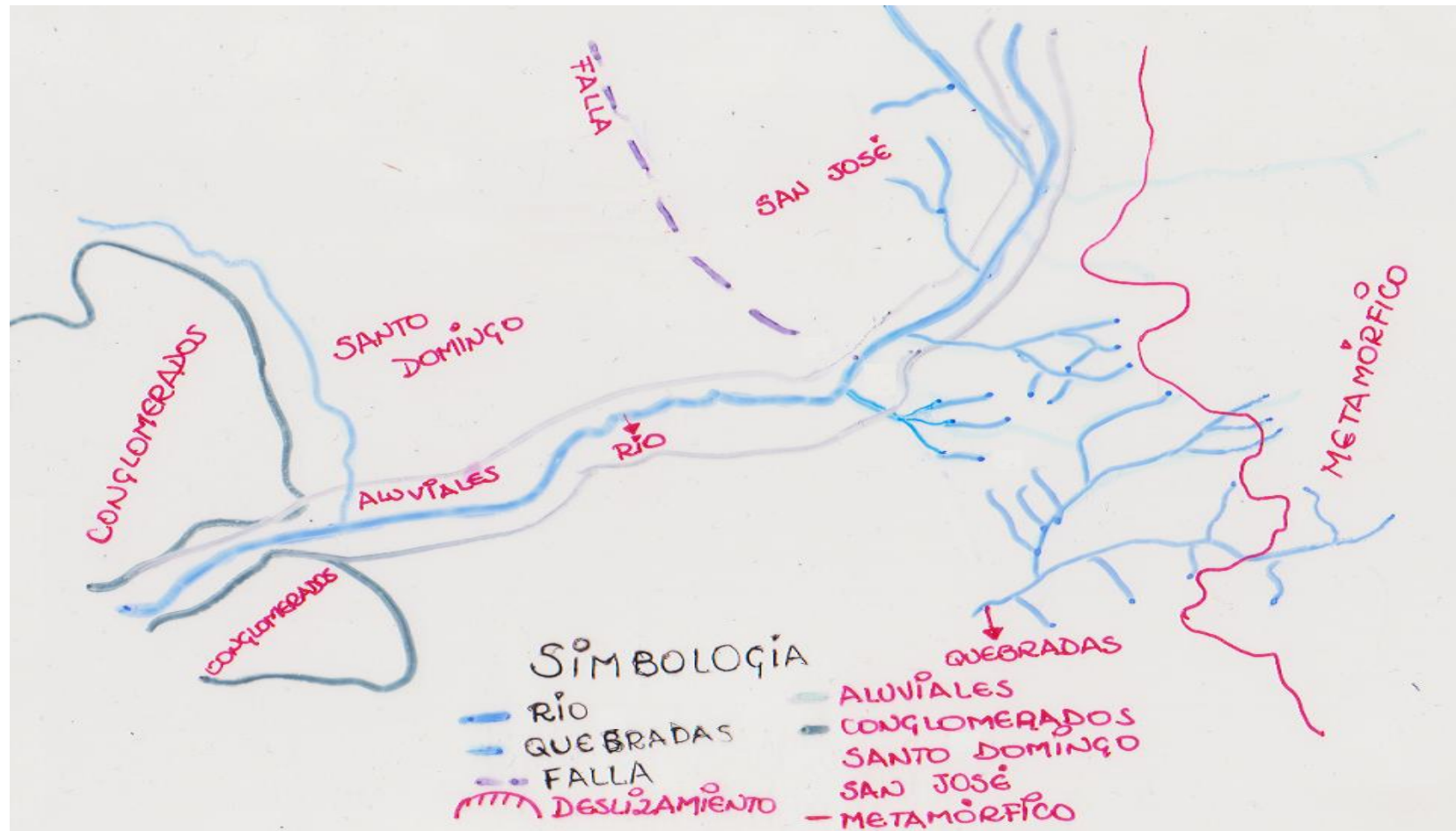
## **FOTOGRAFÍAS AÉREAS**

Línea de vuelo: 17

Fotos: 120-121

Fecha de toma: 1984

Sobre: 20



Anexo 1: Contactos, Litología, Estructura y Geomorfología

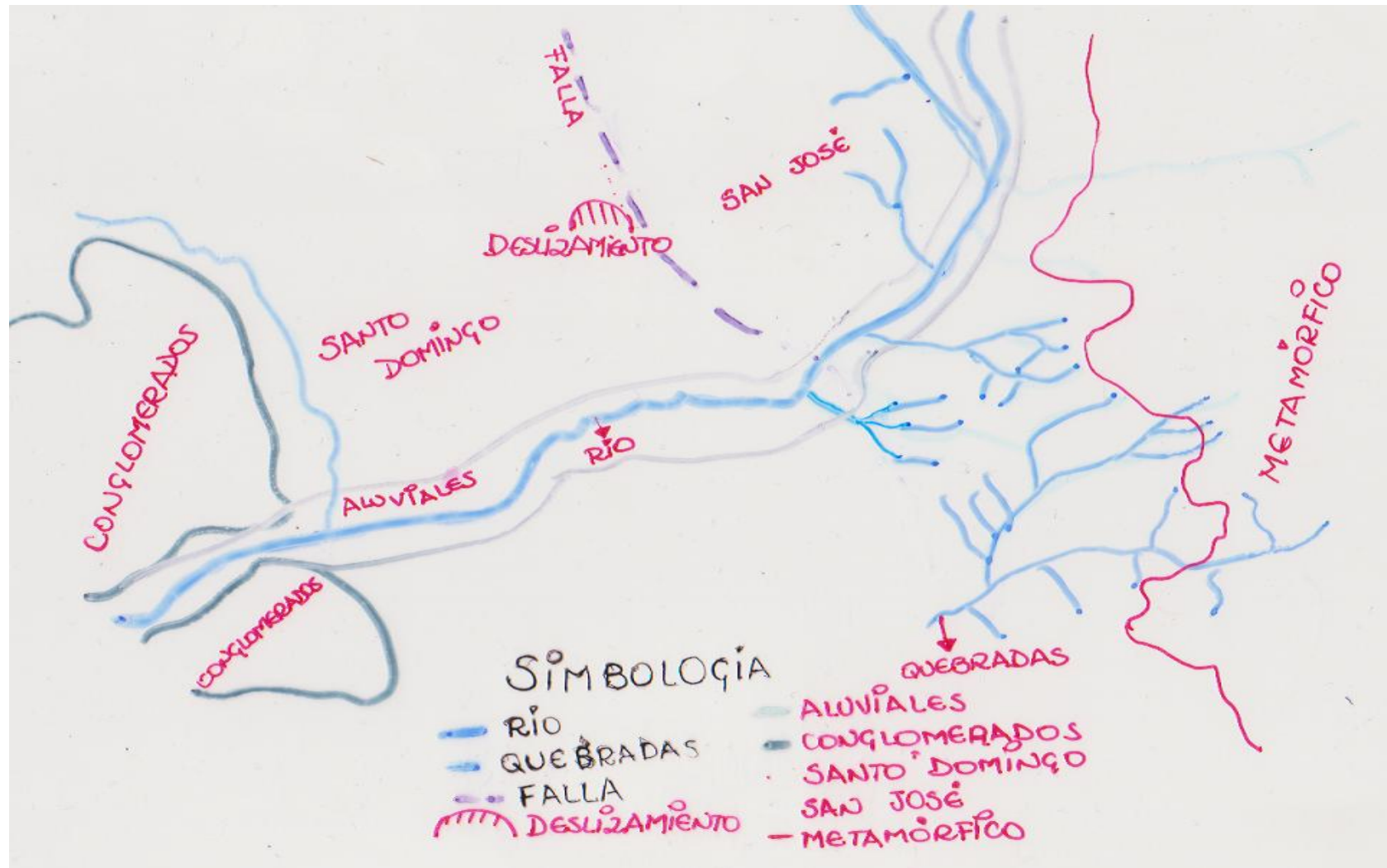
# **ANEXO 2**

Línea de vuelo: 17

Fotos: 120-121

Fecha de toma: 1984

Sobre: 20




Anexo 2: Contactos, Litología, Estructura, Geomorfología y Deslizamiento

# **ANEXO 3**

## **DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES AFLORAMIENTOS**



Afloramiento # 1


<p>Coordenadas UTM: X= 696 448 Y= 9 535 864 Cota= 1721 m s.n.m.  Datos Estructurales: 250° / 45° Preferencial:  POTENCIA: (longitud/altura) (m) 20 / 10</p>	<p><b>Litología</b></p> <p>Descripción:</p> <p>Este afloramiento se encuentra a la largo de la carretera.</p> <p>Lutitas de color gris con intercalaciones de meta-areniscas tonalidad café, areniscas, limolitas, arcillolitas, éstas se encuentran fuertemente tectonizados y meteorizados.</p> <p>Las capas tienen espesor entre 10 cm y 50 cm.</p>	 <p>The photograph shows a steep, exposed geological outcrop. The rock face displays distinct horizontal layering, with alternating light-colored (tan or light brown) and darker (greyish) layers. A person wearing a yellow shirt and blue pants is standing at the base of the outcrop on the left side, providing a sense of scale. The surrounding area is covered with green vegetation, including trees and shrubs, particularly on the right side of the outcrop. The sky is overcast.</p>
---	--	---

Afloramiento # 2


<p>Coordenadas UTM: X= 693 674 Y= 9 535 624 Cota= 1641 m s.n.m.  Datos Estructurales: 260° / 49° Preferencial:  POTENCIA: (longitud/altura) (m) 7 / 60</p>	<p style="text-align: center;"><b>Litología</b></p> <p>Descripción:</p> <p>Lutitas de color gris las cuales en sus fisuras están rellenas de vetillas de yeso en diferentes direcciones, erosionadas, tectonizadas y fracturadas.</p> <p>Areniscas de color amarillo a café, de granulometría fina las cuales poseen cantos rodados y tienen vetillas de cuarzo.</p>	
--	--	---



Afloramiento # 3

<p>Coordenadas UTM:</p> <p>X= 697 745 Y= 9 535 136 Cota= 1 639 m s.n.m.</p> <p>Datos Estructurales: 305° / 42°</p> <p>POTENCIA: (longitud/altura) (m) 23 / 30</p>	<p style="text-align: center;"><b>Litología</b></p> <p>Descripción:</p> <p>Se observa en el lugar filitas de tonalidad gris, pizarras y esquistos, los mismos que se encuentran fuertemente diaclasados. Las fisuras están rellenas de calcita. Existe una pequeña veta de cuarzo de unos 20 cm de potencia.</p> <p>Presentan facilidad al momento de separarlos con las uñas, se descomponen fácilmente.</p>	
---	---	--

Afloramiento # 4

<b>Litología</b>	
<p>Coordenadas UTM:</p> <p>X= 695 563 Y= 9 537 732 Cota= 1 692 m s.n.m.</p> <p>Datos Estructurales:</p> <p>POTENCIA: (longitud/altura) (m) 10 / 8</p>	<p>Descripción:</p> <p>En la vía se puede observar depósitos coluviales, cuyos clastos están constituidos por esquistos verdes, filitas, pizarras, gneis y cuarcitas, los mismos que se encuentran emplazados en una matriz limo-arcillosa.</p> <p>La vegetación que existe en el lugar es alta.</p>
	



Afloramiento # 5


<p>Coordenadas UTM:</p> <p>X= 697 078 Y= 9 535 762 Cota= 1604 m s.n.m.</p> <p>Datos Estructurales: 325° / 28°</p> <p>POTENCIA: (longitud/altura) (m) 50 / 8</p>	<p style="text-align: center;"><b>Litología</b></p> <p>Descripción:</p> <p>En la parte superior se pueden observar conglomerados con una matriz limo-arcillosa, los conglomerados no son muy transportados esto se puede determinar debido a la poca redondez de los clastos, en la parte inferior tenemos areniscas blancas y cafés.</p> <p>Esto se encuentra fuertemente erosionado. Vegetación escasa.</p>	 <p>The photograph shows a geological outcrop with a complex structure. The upper part features conglomerates with a silty-clay matrix, where the clasts are not highly rounded. The lower part consists of white and brown sandstones. The rock surface is heavily eroded, showing various textures and colors. A small white object, possibly a scale or marker, is visible at the bottom center of the image.</p>
---	---	--

Afloramiento # 6


<p>Coordenadas UTM:</p> <p>X= 693 332 Y= 9 535 500 Cota= 1 612 m s.n.m.</p> <p>Datos Estructurales:</p> <p>POTENCIA: (longitud/altura) (m) 100 / 30</p>	<p style="text-align: center;"><b>Litología</b></p> <p>Descripción:</p> <p>Se observan conglomerados, filitas, cuarcitas y esquistos, los cuales se encuentran emplazados en una matriz limo- arcillosa.</p> <p>Estos presentan un ordenamiento caótico.</p> <p>Su potencia puede alcanzar varios metros.</p> <p>Vegetación media.</p>	
---	--	--



Afloramiento # 7

		<b>Litología</b>
<p>Coordenadas UTM:</p> <p>X= 696 231 Y= 9 535 676 Cota= 1718 m s.n.m.</p> <p>Datos Estructurales: 50° / 29°</p> <p>POTENCIA: (longitud/altura) (m) 15 / 7</p>	<p>Descripción:</p> <p>Se encuentra en el lugar arcillas de color gris con intercalaciones cafés, las fracturas de las mismas están cubiertas por vetillas de yeso, las mismas se encuentran en diferentes direcciones, el yeso va desde unos pocos milímetros a centímetros.</p> <p>Las lutitas son de color café oscuro, capas centimétricas, con oxidaciones de Fe. Todo esto se encuentra erosionado y tectonizado.</p>	


Afloramiento # 8

<b>Litología</b>		
<p>Coordenadas UTM:</p> <p>X= 698 532 Y= 9 536 438 Cota= 1 632 m s.n.m.</p> <p>Datos Estructurales: 100° / 25°</p> <p>POTENCIA: (longitud/altura) (m) 20 / 8</p>	<p>Descripción:</p> <p>Se encuentra en la parte inferior filitas y esquistos metamórficos en la parte superior conglomerados con una matriz limo arcillosa, los clastos tienen distintos tamaños, los mismos presentan aristas lo cual nos indica que son poco transportados. Presentan un ordenamiento caótico.</p>	



Afloramiento # 9

<b>Litología</b>	
<p>Coordenadas UTM:</p> <p>X= 693 766 Y= 9 537 324 Cota= 1 804 m s.n.m.</p> <p>Datos Estructurales: 146° / 28°</p> <p>POTENCIA: (longitud/altura) (m) 15 / 10</p>	<p>Descripción:</p> <p>Observamos lutitas de tonalidad gris y amarillenta las cuales están intercaladas con vetas de yeso, son capas centimétricas.</p> <p>Se encuentran capas de lodolitas y areniscas finas. Todo está fuertemente erosionado.</p> <p>Vegetación media.</p>



Afloramiento # 10

<p>Coordenadas UTM:  X= 697 659 Y= 9 536 424 Cota= 1722 m s.n.m.  Datos Estructurales: 58° / 59°  POTENCIA: (longitud/altura) (m) 35 / 17</p>	<p><b>Litología</b></p> <p>Descripción:</p> <p>Se encuentra aflorando rocas metamórficas entre estas tenemos: meta-filitas, filitas, esquistos verdes y cuarcitas. Se puede observar oxidaciones de Fe.</p> <p>Posible quebrada seca debido a la erosión.</p>	
---	---	---

# **MAPA 1**

## **MAPA DE PENDIENTES**

*“Estudio Geológico-Estructural e Inventario de Deslizamientos del Área Tres de la  
Cuenca de Malacatos”*

*VERÓNICA AYDEHE FREIRE SERRANO*

---

# MAPA 2

## MAPA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL E INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS