

## 1. INTRODUCCIÓN.

Desde el punto de vista geológico al Planeta Tierra se lo considera como un planeta activo, ya que los procesos geodinámicos que se presentan en el mismo son constantes e imprevistos. Los procesos y eventos geológicos pueden provocar la inestabilidad de zonas altamente susceptibles a movimientos en masa. En el Ecuador y sobre todo en la Región Sur, se encuentran las mayores condiciones de susceptibilidad del terreno como son fuertes pendientes, materiales rocosos y suelos inestables, así como factores desencadenantes naturales y antrópicos que propician la inestabilidad. Además, en esta región se describen estructuras y divisiones litotécnicas que presentan grados de metamorfismo bajos a medios y se encuentran separadas por grandes fallas sub-verticales, y es por esto que puede existir una afectación social, económica o ambiental desde el punto de vista geoambiental.

Con nivel local y referencial de estudio geológico, se ha tomado la Estación Científica San Francisco, en la cual se describirá una investigación técnica, geológica y estructural, la cual permitirá obtener las bases esenciales de partida para la aplicación de estudios relacionados con la tierra y por lo tanto con la evolución del ser humano, ya que estos dos se encuentran íntimamente unidos en la Naturaleza; trayendo consigo la conservación del recurso tierra.

La realización de los trabajos alcanzados se fundamenta en la observación y la toma de datos directamente en el campo, conjugándose en la descripción de afloramientos tanto de geología, caracterización del macizo rocoso y el registro de las medidas estructurales de las rocas, fallas y diaclasas. Igualmente se aplicó la misma metodología para la caracterización de movimientos en masa producidos recientemente o durante el período que duro el presente estudio. La geomorfología y el uso del suelo, también es parte de la observación directa en el campo,

pero un porcentaje en la obtención de esta información fue por medio de la observación e interpretación de fotografías aéreas del sector.

A partir de una base topográfica de la Estación Científica San Francisco (ECSF) y los datos recolectados en el campo sobre las fichas técnicas se elaboró el mapa geológico – estructural, geomorfológico, geotécnico, de ubicación de movimientos en masa y de uso de suelo a escala 1:2 000.

El resultado del análisis geológico – estructural, ayudado por las redes estereográficas, obtuve el procesamiento, la representación y zonificación ordenada de los datos de las estructuras geológicas existentes en el área. Las diaclasas una de las principales estructuras geológicas presentes, el tipo de roca y su orientación, se utilizaron para hacer un análisis de cinemática de diferentes taludes existentes, el mismo que nos permite conocer las posibilidades de que se produzcan movimientos de masa (principalmente caídas y flujos de rocas) en estas superficies o terrenos.

Como complemento al estudio del terreno se realizó también un análisis de los movimientos en masa, pendientes, geomorfología, geología y geotecnia; por medio de un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) con el fin de obtener la susceptibilidad del terreno en el que se plasmo como resultado en un mapa a escala 1:2 000.

Para el cumplimiento de estos lineamientos investigativos, se ha descrito un conjunto de objetivos reales y alcanzables, los cuales se presentan a continuación:

## **OBJETIVOS:**

### **Objetivo General:**

- Describir y Zonificar las estructuras geológicas en el área de influencia directa de la estación científica San Francisco, ubicada en el Km. 30 vía Loja-Zamora.

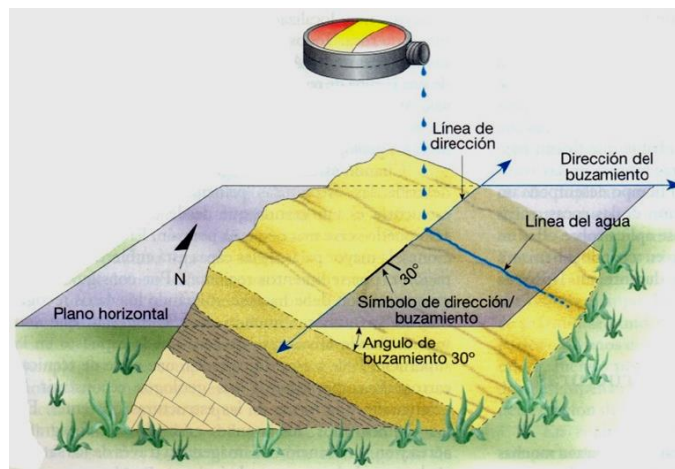
### **Objetivos Específicos:**

- Identificar los diferentes tipos de rocas en el área de influencia directa de la estación científica San Francisco.
- Representar de estructuras geológicas en diagramas Standard.
- Identificar los movimientos en masa existentes en el área de influencia directa de la estación científica San Francisco.
- Obtener el mapa de susceptibilidad a los deslizamientos en el área de influencia directa de la estación científica San Francisco.

## 2. REVISION DE LITERATURA.

### 2.1. Estructuras Geológicas: Orientación de las Rocas.

Tarbuks y Lutgens (2005), definen al Rumbo como el ángulo entre el norte magnético y una línea obtenida mediante la intersección de un estrato rocoso inclinado, o falla, con un plano horizontal. La representación grafica del rumbo-buzamiento se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Determinación de Rumbo y Buzamiento en estructuras.

**Fuente:** Ingeniería geológica (Gonzales L.2002)

**Buzamiento.** Es el ángulo de inclinación de un plano geológico, como por ejemplo una falla, medido desde un plano horizontal. El buzamiento incluye tanto el valor del ángulo de inclinación como la dirección hacia la cual la roca está inclinada. En la Figura 1, el ángulo de buzamiento del estrato rocoso es de 30°. Esta información se la utiliza para medir las direcciones, foliaciones, orientaciones de las familias de diaclasas.”<sup>1</sup>

#### 2.1.1. Esquistosidad.

“Una roca presenta esquistosidad cuando tiene una estructura en láminas u hojas paralelas, de origen tectónico, que puede corresponder a:

---

<sup>1</sup> Tarbuck y Lutgens. Ciencias de la Tierra, Introducción a la Geología Física, 2005.

- a) **Esquistosidad de fractura o pliegue-fractura**: Se produce por una multitud de micro fallas o micro pliegues-falla muy próximos (espaciados del orden de algunos milímetros), que se superponen a una deformación continua apreciable y que separan láminas sin producir orientación de los minerales. Es subparalela al plano axial de los pliegues.
- b) **Esquistosidad de flujo**: Es un fenómeno debido a un aplastamiento que origina un reajuste de la textura de la roca, con orientación paralela de todos los minerales, planos, re cristalizaciones y disoluciones orientadas. El resultado es la aparición de una anisotropía general, pero sin que existan discontinuidades. Es sub paralela a la estratificación.
- c) **Foliación**: Se produce a continuación de la esquistosidad de flujo, cuando aumentan las condiciones de presión y temperatura, alcanzándose el metamorfismo; así se generan minerales metamórficos orientados, cada vez de talla mayor y la roca se convierte en una serie de hojas con diferenciación mineralógica entre cada dos planos. Es subparalela a la estratificación.
- d) **Pizarrosidad**. Es la propiedad de las rocas de aspecto laminar, tales como las pizarras, que pueden dividirse en hojas delgadas.

### **2.1.2. Diaclasas.**

La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM 1981), define una diaclasa de la siguiente manera: "un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible" (en realidad una diaclasa puede tener desplazamiento en sentido perpendicular a su plano). Un grupo de diaclasas paralelas se denomina set o familia y la intersección de familias de diaclasas forman sistemas.

Las diaclasas pueden aparecer durante la formación de la roca o posteriormente por causas tectónicas.

### **2.1.3. Fallas.**

Son fracturas de la corteza terrestre a lo largo de las cuales ha habido un desplazamiento paralelo a la superficie de la fractura. Lo que se observa es que una pared de la fractura se ha movido en relación con la otra. La superficie de fractura en la que se rechazó el desplazamiento se llama plano de falla. Como resultado de la fricción entre bloques, el plano de falla es suavizado y constituye una superficie llamada espejo de falla.”<sup>2</sup>

## **2.2. Representación Estereográfica.**

Hay dos tipos básicos: las representaciones bidimensionales y las tridimensionales. Las representaciones **bidimensionales** según Glennie, (1970) son las más utilizadas y consisten en distintos tipos de histogramas generalmente contruidos sobre una rosa cardinal: son los histogramas circulares.

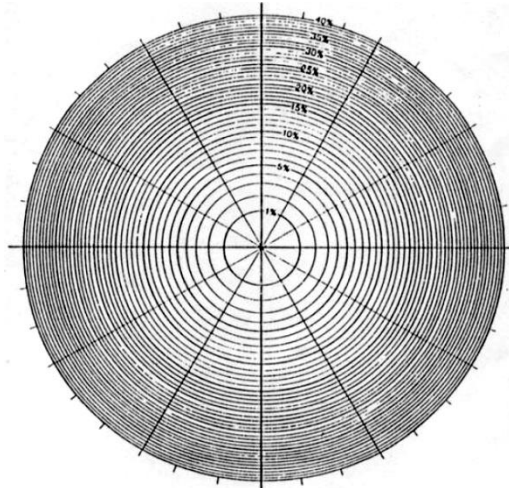
El método **tridimensional** consiste en la proyección estereográfica (red de Wulff) de elementos lineales o planares. Este se utiliza preferentemente para ilustrar la distribución espacial de estratos entrecruzados.

### **2.2.1. Diagrama de la rosa.**

El diagrama de la rosa está contruido sobre una malla compuesta de círculos concéntricos sobreimpuestos sobre un set de líneas radiales.

---

<sup>2</sup> GAVILANES, J. Hernán y ANDRADE, H. Byron. “Introducción a la Ingeniería de Túneles”, 32-34pp.



**Figura 2.** Diagrama de la Rosa.

**Fuente:** Libro Stereographic Projection Techniques

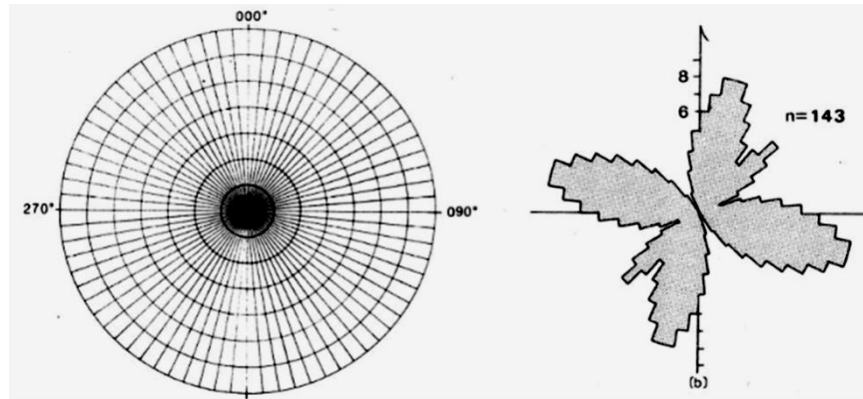
El radio de cada círculo es una unidad mayor que el radio del círculo precedente. Las unidades de distancia medidas a lo largo del radio presentan una cantidad de mediciones de diaclasas.

La cantidad de mediciones representadas por una sola unidad a lo largo del radio es elegida de modo que el número total de diaclasa en el set de diaclasa más prominente pueda ser representado sobre una malla de 20cm de diámetro. Comúnmente cada unidad representa una o dos mediciones.

La orientación de un radio representa un rumbo y están normalmente espaciados a intervalos de 5 grados. Cada intervalo de 5 grados es llamado una clase.

El número de diaclasas cuyos rumbos están en una sola clase es planteado como un sector achurado de largo  $n$  a la escala del diagrama. La mayor ventaja de un diagrama de la rosa es que los datos mostrados son fáciles de visualizar. El mayor problema es la dificultad para distinguir visualmente dos sets de diaclasa cuyos rumbos están separados menos de 15 grados en diagramas de rosa diferentes. También porque el área de un sector aumenta con el incremento de la distancia al centro, las

diferentes entre los números de diaclasas en dos sets diferentes están visualmente exagerados.”<sup>3</sup>



**Figura 3.** Diagramas de Rosa a) Diagrama que es usado para representar diagramas de la Rosa b) Diagramas de rosa completado con 143 mediciones.

**Fuente:** Libro de Apuntes de Geología Estructural

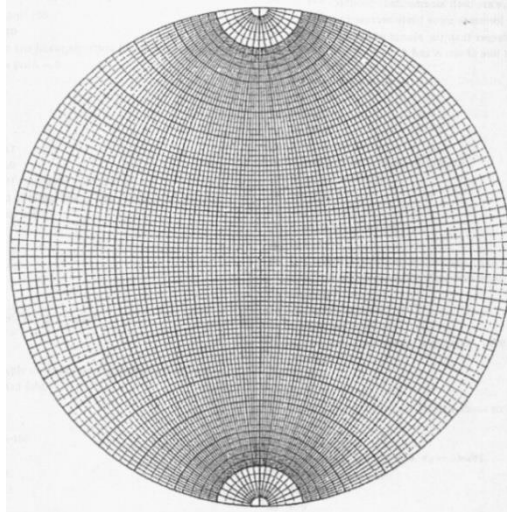
### 2.2.2. Red estereográfica o de Wulff.

“La proyección de ángulos iguales, también como proyección estereográfica o de Wulff, se obtiene por la proyección C de un punto A que se encuentra en la superficie de la esfera se define como el punto donde el plano horizontal que pasa por el centro de la esfera queda perforado por una línea que va de A al zenit de la esfera. Zenit es el punto donde la esfera queda perforada por su eje vertical.

---

<sup>3</sup> WOLFGANG, Griem. “Apuntes de Geología Estructural”, Geovirtual.cl.





**Figura 4.** Red Estereográfica de Wulff.

**Fuente:** Stereographic Projection Techniques

En este tipo de proyección, el área de un determinado tamaño en la superficie del hemisferio de referencia, se representa en una proyección estereográfica por un área cuyo tamaño aumenta a medida que aumenta la distancia del centro del círculo de proyección.<sup>4</sup>

### **2.3. Movimientos en Masa.**

Varnes (1958-1978) define a los movimientos en masa como aquellos que desplazan grandes volúmenes de material rocosos y/o suelo a lo largo de las pendientes. Estos fenómenos necesitan de un agente externo que lo ponga en marcha como por ejemplo la precipitación. En los términos contextuales además, se definen varias clasificaciones de estos movimientos en función de mecanismos de rotura, zonas de falla, tipos de material, entre otras. Es por este efecto que en la presente investigación se sintetiza el desarrollo teórico en clasificar a los movimientos de masa en:

---

<sup>4</sup> LISLE, Richard y LEYSHON, Peter. Stereographic Projection Techniques, 2004.

1) **Los Deslizamientos.** Consisten en un descenso masivo y relativamente rápido, a veces de carácter catastrófico, de materiales, a lo largo de una pendiente. Es el movimiento, hacia abajo de una ladera, de una masa de suelo o roca el cual ocurre principalmente sobre una superficie de ruptura o falla (debilidad del terreno) y se puede presentar de dos formas:

- **Deslizamiento Rotacional:** Los desplazamientos ocurren o tienen lugar a lo largo de una superficie de ruptura de forma curva o cóncava.
- **Deslizamiento Traslacional:** Consiste en el desplazamiento de una masa a lo largo de una superficie de ruptura de forma plana u ondulada.

El deslizamiento se efectúa a lo largo de una superficie de deslizamiento, o plano de cizalla, que facilita la acción de la gravedad. Esta superficie se crea por la absorción de agua a una profundidad determinada, lo que implica un cambio de densidad de la capa subyacente que es lo que provoca la existencia de un plano de deslizamiento. Afecta tanto a tierras poco compactas como a rocas.

Los deslizamientos de tierra afectan a material meteorizado y poco compacto, que carece de debilidades estructurales. La superficie de deslizamiento aparece sobre un basamento arcilloso saturado de agua. Esta superficie de deslizamiento se crea a lo largo de períodos dilatados de tiempo, el suficiente como para que una determinada capa arcillosa absorba el agua necesaria para permitir el deslizamiento del material superior. Son capas arcillosas las que, generalmente, funcionan como superficies de deslizamiento, por su capacidad para retener el agua.

Los deslizamientos también pueden afectar a rocas compactas, si en ellas se encuentra una discontinuidad que funcione como superficie de

deslizamiento, también se llaman deslizamientos en lámina o en capas. En la roca debe encontrarse una fisura que al alterarse y humedecerse, el plano en el que se encuentra, permite el deslizamiento de la parte superior de la roca, a lo largo de la pendiente, por gravedad.

2) **Caída.** Una caída se inicia con el desprendimiento de suelo o roca en una ladera muy inclinada. El material desciende principalmente a través del aire por caída, rebotando o rodando. Ocurre en forma rápida y violenta sin dar tiempo a eludirlas.

3) **Flujo en Roca.** Comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. La distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Este tipo de movimiento ocurre con mucha frecuencia en zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación, especialmente en la cordillera de los Andes.

Se observa la relación de estos flujos con perfiles de meteorización poco profundos en los cuales las fallas están generalmente, relacionadas con cambios de esfuerzos y lixiviación, ocasionados por la filtración momentánea del agua en las primeras horas después de una lluvia fuerte. Las pendientes de estos taludes son comúnmente muy empinadas (más de 45°).

4) **Flujos de lodo.** Se forman en el momento en que la tierra y la vegetación son debilitadas considerablemente por el agua, alcanzando gran fuerza cuando la intensidad de las lluvias y su duración es larga.

## 2.4. Caracterización de Movimientos en Masa.

Adicionalmente al tipo de movimiento es importante definir las características que posee en cuanto a secuencia, estado de actividad, estilo, velocidad, humedad, y material.

**1) Tipo de material.** Los términos siguientes han sido adoptados como descripción de los materiales que componen un determinado movimiento del talud.

**a. Roca.** Se denomina “roca” al material rocoso, duro, resistente y firme que estaba intacta en su lugar antes de la iniciación del movimiento.

**b. Residuos.** Se denomina con el nombre de Residuos o “Detritos” al suelo que contiene una significativa proporción de material grueso. Se considera que si más del 20% del material en peso es mayor de 2 milímetros de diámetro equivalente, debe llamarse como Residuos. Por lo general, deben existir partículas mucho mayores de 2 milímetros para que pueda considerarse de este modo.

**c. Tierra.** Se denomina tierra, al material de un deslizamiento que contiene más del 80% de las partículas menores de 2 milímetros. Se incluyen los materiales desde arenas a arcillas muy plásticas.

**2) Humedad.** Se proponen cuatro términos para definir las condiciones de humedad así:

**a. Seco:** No contiene humedad “visible”.

**b. Húmedo:** Contiene algo de agua pero no posee agua (corriente) libre y puede comportarse como un sólido plástico pero no como un líquido.

**c. Mojado:** Contiene suficiente agua para comportarse en parte como un líquido y posee cantidades visibles de agua que pueden salir del material.

**d. Muy mojado:** Contiene agua suficiente para fluir como líquido, aún en pendientes bajas.

**3) Velocidad del Movimiento.** Se indica la escala de velocidades de movimientos propuestas por el Transportation Research Board de los Estados Unidos, la cual se puede considerar como escala única de rata de movimiento. En algunos casos, ocurren velocidades diferentes de los diversos modos de movimiento y se requiere definir cada uno de ellos.

La velocidad del movimiento tiene gran influencia sobre el poder destructivo de un deslizamiento. Generalmente, los deslizamientos extremadamente rápidos corresponden a catástrofes de gran violencia y los movimientos extremadamente lentos son imperceptibles sin instrumentos y representan, en general un riesgo muy bajo de pérdida de vidas humanas.

**4) Estilo.** Varnes (1978) estableció una nomenclatura de actividad de deslizamiento cuando aparecen conjuntamente diferentes tipos de movimiento:

**a. Complejo.** Un deslizamiento complejo es aquel que tiene al menos dos tipos de movimiento, por ejemplo, inclinación y deslizamiento.

**b. Compuesto.** El término compuesto corresponde al caso en el cual ocurren simultáneamente varios tipos de movimiento en diferentes áreas de la masa desplazada.

**c. Múltiple.** Se denomina como múltiple un deslizamiento que muestra movimientos repetidos del mismo tipo, generalmente, ampliando la superficie de falla.

Un movimiento sucesivo corresponde a movimientos repetidos pero que no comparten la misma superficie de falla.

**d. Sencillo.** Corresponde a un solo tipo de movimiento.

**5) Estado de actividad.** Puede ser descrito como: Activo, Reactivado, Suspendido, Inactivo, Estabilizado, Relicto.”<sup>5</sup>

## **2.5. Caracterización del Macizo Rocos.**

Bieniawski (1989), describe a la caracterización del macizo rocoso como una tarea de observación, medición y ensayos en base de los cuales se obtendrá parámetros cuantitativos útiles para describir una masa rocosa. En este contexto, para el análisis de estructuras en La Estación Científica San Francisco se describirán tres fases integrales: **Litologías**, ya que la ECSF se caracteriza por acentuarse sobre roca metamórfica en afloramientos evidentes, de gran magnitud y relativamente consistentes. **Las estructuras** serán descritas, medidas y analizadas en los macizos rocosos, diferenciando discontinuidades tales como diaclasas, planos de estratificación, pliegues, zonas de cizalla y fallas. Estos bloques tienen diferentes grados de alteración, variando desde inalterados hasta disgregados. La **interpretación**, que describirá la relación de inestabilidad en bloques de roca y/o suelos.

En esta caracterización existen criterios de la ingeniería geológica que permiten determinar las particularidades del macizo. Estas son:

- 1) Mineralogía y litología.** Se refiere a la clasificación geológica general. A pesar de que el tipo de roca es usado principalmente para identificar y correlacionar, a menudo brinda una primera y general indicación del tipo de comportamiento.

---

<sup>5</sup> SUAREZ, D. Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales .Colombia. Ingeniería de Suelos Ltda. – Publicaciones UIS. 1998

**2) Grado de meteorización.** Las propiedades mecánicas de las rocas pueden ser alteradas y variar de acuerdo con el grado de meteorización. La meteorización es un proceso de desintegración mecánica o descomposición química que tiene lugar en los minerales y rocas. A su vez, el proceso de meteorización de las rocas es gobernado por la profundidad y exposición de los afloramientos, así, el grado de meteorización decrecerá al incrementarse la profundidad.

**Cuadro 1.** Descripción de Meteorización de la Roca Intacta.

<b>Término:</b>	<b>Descripción:</b>
<b>Sana</b>	No existe evidencia de cualquier alteración química o mecánica.
<b>Ligeramente meteorizada</b>	Ligera decoloración en la superficie. De ser posible debe mencionarse el mineral al que está asociada dicha decoloración
<b>Moderadamente meteorizada</b>	Decoloración evidente. Superficie moteada y alterada, llegando incluso a presentarse por debajo de la superficie de la roca.
<b>Altamente meteorizada</b>	Decoloración total. La alteración de la roca se extiende por casi todo el bloque o pieza considerada
<b>Desintegrada</b>	La roca se ha meteorizado a la condición de un suelo, con vestigios de la textura original. La roca es friable pero los granos minerales no se han descompuesto.

Fuente. (Duque-Escobar, 1988).

**3) Resistencia.** Cada roca se caracteriza por su textura, resistencia y estructura. Empero, lo que mayor influencia tiene en una roca es la naturaleza de los minerales y la resistencia de sus constituyentes. Una roca no puede ser resistente si sus componentes minerales son débiles; por otro lado, si los minerales son resistentes, la roca puede todavía ser débil debido a una fábrica desfavorable (Salcedo, 1988).

La resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta es probablemente la propiedad mecánica más empleada con fines

geotécnicos y que a más de ser obtenida en ensayos de laboratorio. La identificación o estimación de este parámetro puede darse en cuadros generalizados como el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Estimación de la Resistencia a la compresión simple.

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Identificación de Campo</b>	<b>Resistencia Comp.simpl (Mpa)</b>
RO	Roca extremadamente débil	Mellada por la uña del pulgar.	0,25 - 1
R1	Roca muy débil	Se disgrega por golpes fuertes de la punta de la piqueta; puede ser desconchada por de la piqueta; puede ser desconchada por una navaja.	1 - 5
R2	Roca débil	Puede ser desconchada por una navaja, con dificultad	5-25
R3	Roca medianamente resistente	No puede ser rayada o desconchada por navaja; la muestra puede ser fracturada por un golpe fuerte de la punta de la piqueta.	25 - 50
R4	Roca fuerte	La muestra requiere más de un golpe de la piqueta para fracturarla.	50 - 100
R5	Roca muy fuerte	La muestra requiere varios golpes de la piqueta para fracturarla	100 - 250
R	Roca extremadamente resistente	La muestra puede ser solamente astillada por la piqueta.	> 250

Fuente. (Jaime Suarez 1998).

**4) Descripción de las Discontinuidades.** Las discontinuidades de un macizo rocoso pueden ser descritas mediante la observación de un afloramiento, a través de la observación de núcleos provenientes de perforaciones y por métodos de fotogrametría terrestre.

**5) Orientación.** Se toma el rumbo y buzamiento de las discontinuidades.



**6) Espaciado.** El espaciado es la distancia perpendicular entre discontinuidades de un mismo set o familia, el espaciado de discontinuidades adyacentes controla el tamaño de bloques individuales de roca intacta, la permeabilidad del macizo rocoso y la circulación de agua.

**Cuadro 3.** Terminología para el espaciado de discontinuidades.

<b>Descripción:</b>	<b>Espaciado (mm):</b>
Extremadamente cerrado	< 20
Muy cerrado	20 - 60
Cerrado	60 - 200
Moderado	200 - 600
Espaciado	600 - 2.000
Muy espaciado	2.000 - 6.000
Extremadamente espaciado	> 6.000

Fuente. (ISRM, 1981).

**7) Persistencia.** Este término describe la extensión o tamaño de las discontinuidades. Puede ser cuantificada observando las longitudes de las trazas en la superficie expuesta. Se considera como uno de los parámetros más importantes del macizo rocoso, pero uno de los más difíciles de cuantificar.

**Cuadro 4.** Descripción de persistencia.

<b>Persistencia:</b>	<b>Longitud (m):</b>
Muy baja persistencia	< 1
Baja persistencia	1-3
Persistencia media	3 -10
Alta persistencia	10 - 20
Muy alta persistencia	> 20

Fuente. (ISRM, 1981).

**8) Rugosidad.** La rugosidad de una discontinuidad es el factor determinante de la resistencia al cizallamiento. Su importancia disminuye al aumentar la abertura, el espesor de relleno o cualquier desplazamiento sufrido con anterioridad.

La rugosidad de una discontinuidad viene caracterizada por su ondulación (macro rugosidad) y su aspereza (micro rugosidad). Si los labios o paredes de una discontinuidad están en contacto, provocan una expansión cuando tiene lugar un desplazamiento cortante.

**Cuadro 5** Tipo de rugosidades.

<b>Tipo:</b>	<b>Descripción:</b>
I	Rugosa irregular, escalonada
II	Lisa, escalonada
III	Pulida, escalonada
IV	Rugosa irregular, ondulada
V	Lisa, ondulada
VI	Pulida, ondulada
VII	Rugosa irregular, planar
VIII	Lisa, planar
IX	Pulida, planar

Fuente. (ISRM, 1981)

**9) Abertura.** Es la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad abierta. Los métodos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) limitan el término abertura a discontinuidades abiertas donde el espacio es aire o agua. Cuando se trata de una discontinuidad abierta y rellena con arcilla, por ejemplo, se utiliza el término ancho. La abertura de las discontinuidades debe ser determinada y descrita utilizando los siguientes términos:

**Cuadro 6.** Descripción de abertura.

<b>Abertura:</b>	<b>Descripción:</b>
< 0,1 mm	Muy cerrada
0,10 - 0,25 mm	Cerrada
0,25 - 0,50 mm	Parcialmente abierta
0,50 - 2,50 mm	Abierta
2,50 -10 mm	Moderadamente ancha
10mm	Ancha
1 - 10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
> 1 m	Cavernosa

Fuente. (Salcedo, 1988).

**10) Relleno.** Este término describe el material que se encuentra separando las paredes adyacentes de una discontinuidad, por ejemplo: calcita, cuarzo, clorita, yeso, arcilla, limo, brecha de falla, etc. Generalmente, pero no siempre, el relleno es más débil que la pared de la discontinuidad y puede tener una consistencia granular, sólida o fluida.

**11) Número de familias (sets) de discontinuidades.** Tanto el comportamiento mecánico cuanto la apariencia del macizo rocoso son dominados por el número de familias de discontinuidades que se interceptan entre sí. El comportamiento mecánico se afecta porque el número de familias determina la extensión en la cual el macizo rocoso puede deformarse, sin que ocurra rotura de la roca intacta.

Cabe anotar que la estabilidad de túneles y taludes está influenciada por la orientación de las discontinuidades, siendo éste un factor tan importante como el número de familias. El número de familias se determina realizando una proyección estereográfica. Cuando las diaclasas no se identifican fácilmente en el campo se reduce el problema utilizando ensayos estadísticos para identificar las tendencias de la distribución de polos.

**Cuadro 7.** Descripción de Grado de Diaclasado.

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>
I	Masivo, discontinuidad ocasional aleatoria
II	1 Familia
III	1 Familia más una aleatoria
IV	2 Familias
V	2 Familias más una aleatoria
VI	3 Familias
VII	3 Familias más una aleatoria
VIII	4 o más familias
IX	Roca triturada

Fuente. (ISRM, 1981)

**12) Tamaño de bloque y grado de fracturación del macizo rocoso.** El tamaño del bloque también es un factor indicador del comportamiento del macizo rocoso. Las dimensiones de los bloques están determinadas por el espaciado, la orientación de los sistemas y la persistencia de las discontinuidades; de estos tres parámetros la orientación y el espaciado son fácil y completamente medibles y determinan la forma de los bloques resultantes que pueden tener diferentes formas.

La descripción del macizo rocoso puede realizarse de acuerdo con la descripción del tamaño del bloque a fin de dar una mejor impresión:

**Cuadro 8.** Descripción de blocosidad.

<b>Término de los bloques:</b>	<b>Descripción de las discontinuidades:</b>
Poliédricos	Se forman por diaclasas irregulares. Formación de bloques de variada forma y tamaño
Tabulares	Conjunto dominante de diaclasas paralelas, como por ejemplo planos de estratificación, con otras no persistentes el espesor de los bloques es mucho menor que su longitud y anchura
Prismáticos	Dos familias predominantes de diaclasas, aproximadamente ortogonales y paralelas con un tercer conjunto de diaclasas irregulares, el espesor del bloque es menor que su longitud y anchura
Cúbicos	Tres familias dominantes de diaclasas, aproximadamente ortogonales, con diaclasas ocasionales irregulares, formando bloques equidimensionales.
Romboédricos	Tres o más familias de diaclasas oblicuas dominantes, resultando en bloques equidimensionales.
Columnares	Varias, usualmente más de tres, familias de diaclasas continuas y paralelas que forman bloques de mayor longitud que el resto de las dimensiones

Fuente. (Jaime Suarez, 1998)

El tamaño del bloque es estimado mediante dos índices que son:

- **índice de tamaño de bloque (Ib):** Se estima seleccionando a simple vista varios bloques típicos y midiendo sus dimensiones promedio. Su objetivo es representar las dimensiones promedio de un bloque de roca típico. En el caso especial de sistemas de discontinuidades ortogonales este índice queda definido por:

$$L_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$$

Donde: S1, S2 y S3, son los espaciados de cada discontinuidad.

- **Cómputo volumétrico de diaclasas (Jv):** Se define como la suma del número de diaclasas por metro para cada sistema presente y es medido a lo largo de una línea de muestreo perpendicular al rumbo del sistema.

$$J_v = \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \dots + \frac{N_n}{L_n} \text{ (Diaclasas/m}^3\text{)}$$

Donde: **N**, es el número de diaclasas en la línea de muestreo y **L** es la longitud de la línea de muestreo expresada en metros. Los términos descriptivos siguientes dan una impresión del correspondiente tamaño de bloque:

**Cuadro 9.** Grado de fracturación y descripción del tamaño de bloques.

Grado de fracturación del macizo rocoso	Descripción del tamaño de bloque	Jv (diaclasas/m <sup>3</sup> )
Masivo	Bloques considerablemente grandes.	< 0,3
Muy ligeramente fracturado	Bloques muy grandes	0,3-1
Ligeramente fracturado	Bloques grandes	1-3
Moderadamente fracturado	Bloques medianos	3-10
Fuertemente fracturado	Bloques pequeños	10-30
Considerablemente fracturado	Bloques muy pequeños	30-100
Triturado	Bloques considerablemente	> 100

Fuente. (Palmstrom, 1995)

El valor de  $J_v$  ha sido utilizado por algunos autores para estimar el índice de calidad de la roca (RQD). Esta relación es la siguiente:<sup>6</sup>

$$\text{“RQD”} = 115 - 3,3J_v$$

## 2.6. Análisis por Cinemática.

Por cinemática se entiende el estudio del movimiento de cuerpos sin tomar en cuenta las fuerzas que causan que dicho cuerpo se mueva. Esta técnica es de gran utilidad para la evaluación de fallas potenciales en macizos rocosos, combinada con las previsiones hemisféricas.

Una de las pruebas cinemáticas más conocidas es la prueba de Markland utilizando la red equiareal. Se trata de establecer la posibilidad de fallas del borde según la línea de intersección de dos discontinuidades planares. En este sentido para que sea posible la falla, la inclinación de esa línea debe ser menor que la pendiente del talud, medida en la dirección de la línea de intersección ( $\Psi_f > \Psi_i$ ).

La evaluación nos lleva a señalar que existen posibilidades de fallas pero no necesariamente que va a ocurrir; esto se debe a que hay otros factores que intervienen en los planos de deslizamiento, entre los cuales el más importante es la resistencia al corte. En ese sentido, Markland sugiere como una primera aproximación a asumir un ángulo de fricción (normalmente entre  $20^\circ$  y  $30^\circ$  dependiendo del tipo de material) para evaluar si la inclinación de la recta de intersección excede el ángulo de fricción ( $\Phi$ ). En la proyección hemisférica esto puede ser realizado construyendo un círculo con centro igual al centro de la proyección, inclinado a un ángulo respecto a la horizontal, con  $90 \text{ grados} - \Phi$  respecto

---

GAVILANES, J. Hernán y ANDRADE, H. Byron. “Introducción a la Ingeniería de Túneles” Caracterización, clasificación y Análisis Geomecánica de Macizos Rocosos, 35-51pp.  
RQD-Índice de Calidad de la Roca, Gavilanes J, Introducción a la Ingeniería en taludes

a la vertical. Este círculo contendrá todas las líneas con inclinaciones más abruptas que el ángulo de fricción  $\Phi$ .

Cuando un punto que define la línea de intersección de dos discontinuidades cae dentro del área sombreada (entre el círculo mayor correspondiente al plano del talud y el círculo de fricción) se dice que el talud es potencialmente inestable. Donde se cumple que:  $\Psi_f > \Psi_i > \Phi$  <sup>7</sup>.

## **2.7. Zonificación.**

Por zonificación, en un sentido amplio, indicará la subdivisión de un área geográfica, país, región, en sectores homogéneos con respecto a ciertos criterios como por ejemplo: la intensidad de la amenaza, el grado de riesgo, requisitos en materia de protección contra una amenaza dada, capacidad productiva, tipo de construcciones permitidas, entre otros.<sup>8</sup>

### **2.7.1. Susceptibilidad.**

Suarez (1998), define que la Susceptibilidad como la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad. Para la elaboración del mapa de susceptibilidad se tiene en cuenta tres elementos:

- **Topografía y Mapa de pendientes**, para la elaboración del mapa de susceptibilidad es importante dibujar previamente un mapa de pendientes adicionalmente a los mapas geológico y uso de suelo.

---

<sup>7</sup> SALCEDO R. Daniel. El Uso de las Proyecciones Hemisféricas como Técnica de Predicción y Análisis de Problemas Relativos a Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos. 1973.  
Material II - UN-International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), 1992.

- **Inventario de deslizamientos ocurridos en el pasado**, se digitalizan sobre los mapas topográficos las áreas de deslizamientos activos o inactivos que se han detectado en el área estudiada.
- **Características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno**, se recomienda utilizar un plano geológico-geotécnico en el cual se indiquen los suelos o materiales más susceptibles a sufrir procesos de deslizamiento. El objetivo es definir cuales áreas tienen un comportamiento crítico.

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad se toma en cuenta el grado de susceptibilidad según los criterios expuestos por Kanungo en 1993, estos criterios son:<sup>9</sup>

**Cuadro 10.** Criterio para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.

<b>Grado de susceptibilidad:</b>	<b>Criterio:</b>
Muy Alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran.
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Media	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
Muy Baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

Fuente. (Kanungo, 1993).

<sup>9</sup> SUAREZ, D. Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Ingeniería de Suelos Ltda Colombia. 358-360pp



### **3. MATERIALES Y METODOS.**

La metodología para la presente investigación relaciona los materiales con los métodos aplicados para dar un resultado a los objetivos planteados. Los resultados obtenidos certifican la calidad de información adquirida debido a que se utilizó equipos de alta precisión y tecnología moderna.

#### **3.1. Materiales:**

##### **3.1.1. De Campo.**

Representado en equipos de precisión para el levantamiento de información georeferenciada y direccionalidad de las estructuras:

- GPS (Garmin MAP 76CS).
- Brújula geológica (Brunton).
- Martillo geológico / Lupa de Geólogo: 6. 12. 36X.
- Mapa Topográfico del área de estudio a escala 1:2 000.
- Flexómetro. Clinómetro.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo.
- Fichas: Para la descripción de afloramientos / Para movimientos en masa.
- Determinación de dureza: Rayador.
- Fundas plásticas para muestreo.
- Muestreo por método de ventanas: fluxómetro, tablero, tachuelas, Lápices de color.
- Escalímetro.

### **3.1.2. De Gabinete:**

- Computador.
- Fotografías Aéreas.
- Sistemas de base de datos y graficadores: SIG (Arcview 9.2)
- Graficación digital: Software Estereonet y Autocad.
- Graficación tradicional: graduador, compas, hojas de papel milimetrado A4, hojas de Papel Ingeniero A4.
- Red estereográfica de Wulf.
- Mapa Geológico del Ecuador realizado por la Dirección Nacional de Geología (DINAGE).

### **3.2. Métodos.**

#### **Objetivo 1.**

**“IDENTIFICAR LOS DIFERENTES TIPOS DE ROCAS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE LA ESTACIÓN CIENTÍFICA SAN FRANCISCO.”**

Para identificar los diferentes tipos de roca se procedió, sobre la base topográfica, a realizar el levantamiento geológico del área por medio de la descripción de prefijos y sufijos de rocas, afloramientos y cualquier particularidad geológica-mineralógica que permita la obtención del tipo de roca existente en el sector. La secuencia del desarrollo se describe en:

- Revisión de información preexistente del sector.
- Preparación de una base topográfica digitalizada (Proporciona por la ECSF) a escala 1:2 000 la cual se la utilizó para ubicar y describir los afloramientos naturales y antrópicos.
- Trabajar sobre un formato de campo la descripción de cada uno de los afloramientos visitados en el terreno (ver Anexo N 1). Este

formato tiene información conjunta para la caracterización del macizo rocoso.

- Toma de datos de cada afloramiento donde se reconoció y se describió el tipo de roca, algunas propiedades Macroscópicas y la toma de elementos de orientación de las estructuras como la orientación de la roca, diaclasas y fallas, potencias, dimensiones, tipo de afloramiento, estado de alteración.
- Organización de los datos de campo y su posicionamiento en el mapa topográfico.
- Ubicados los afloramientos en el mapa, se realizó una correlación de las rocas, tomando en cuenta donde predominan con mayor potencia, logrando una interpolación de los contactos litológicos que afloran en el área y que pertenecen a una misma unidad geológica.
- Elaboración del mapa geológico a escala 1:2 000 con su respectiva interpretación y representación de los tipos de roca.

## **Objetivo 2.**

### **“REPRESENTACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS EN DIAGRAMAS STANDARD.”**

Para lograr este objetivo en primera instancia fue necesario obtener Un formato de campo del Libro “Introducción a la Ingeniería de Túneles” (Vease Anexo N 1) en el cual estaba incluido la descripción de afloramientos y luego de este se procedió a:

- La toma de datos de las estructuras geológicas que se lo hizo conjuntamente con la descripción de afloramientos.
- Organización de los datos en oficina separándolos por orientación de la roca, diaclasas y fallas.
- Una reclasificación de las principales orientaciones por el tipo de estructura.

- Representación de las orientaciones por el tipo de estructuras mediante el programa de computación Estereonet en el cual se grafico los rumbos y buzamientos por el diagrama de la rosa y la red estereográfica de Wulff.
- Interpretación de los gráficos donde se representan las principales orientaciones estructurales.
- Con las representaciones estereográficas de las familias de diaclasas de cada afloramiento que presenta el talud pronunciado, se realizó un análisis cinemático para determinar que tan susceptibles son a movimientos en masa debido a la disposición de las estructuras geológicas.

### **Objetivo 3.**

**“IDENTIFICAR LOS MOVIMIENTOS EN MASA EXISTENTES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE LA ESTACIÓN CIENTÍFICA SAN FRANCISCO.”**

La identificación de movimientos en masa se realizo mediante recorridos de campo por el área de estudio, y mediante la observación directa y con la ayuda de la interpretación de fotografías aéreas (Gabinete) para corroborar lo que se había observado en el campo. (Véase Anexo N 5, Ortofoto del Área de estudio).

- Cada uno de los movimientos en masa fueron registrados en los formatos de campo (Véase Anexo N 2, Ficha técnica para caracterización de movimientos en Masa) obtenidas en la Universidad Nacional de Loja para la caracterización de los movimientos de masa.
- Para la ubicación de los movimientos en masa se utilizo un GPS marca GarminMap 76CS el cual muestra la ubicación espacial en las coordenadas x, y, z.

- Luego se Organizó los datos en la oficina y clasificó los movimientos en masa.
- Los movimientos en masa se los ubico geográficamente en el mapa base en los cuales se los ha integrado en un mapa de Ubicación Movimientos de Masa (Véase Mapa N 4, Mapa de Ubicación de Movimientos de Masa). Este mapa fue generado a partir de la base topográfica adquirida, en el cual se delimito un polígono de un área de aproximadamente 100 hectáreas alrededor de las implantaciones de la ECSF. Las coordenadas que han sido consideradas para la delimitación del área de estudio son:

**Cuadro 11.** Coordenadas de los vértices del área de Estudio

Vértice Superior Izquierdo	Vértice Superior Derecho	Vértice Inferior Izquierdo	Vértice Inferior Derecho
X: 712 810	X: 713 810	X: 712 815	X: 713 815
Y: 9 561 230	Y: 9 561 230	Y: 9 560 210	Y: 9 560 210

Véase Mapa n 1. Mapa base del área de estudio.

#### Objetivo 4.

**“OBTENER EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE LA ESTACIÓN CIENTÍFICA SAN FRANCISCO.”**

El método utilizado para obtener el mapa de susceptibilidad a los deslizamientos en el área de influencia directa de la Estación Científica San Francisco incluye dos etapas; en una primera etapa se realizó todo lo que comprende *Trabajos de Campo* y como complemento a estas actividades se procedió a realizar los *Trabajos de Gabinete*:

- Trabajos de Campo.** Los trabajos de campo para cumplir con este objetivo comprende un conjunto de actividades a realizarse en el

Campo de acción directo de ejecución del proyecto; entre las principales actividades tenemos:

- Levantamiento Geológico. (Descripción de afloramientos)
- Levantamiento geotécnico. (Descripción de afloramientos)
- Levantamiento Geomorfológico.
- Localización y Ubicación movimientos en masa.
- Levantamiento de Cobertura Vegetal.
- Recolección de muestras de rocas.

**b. Trabajos de Gabinete.** Estuvieron presentes en la unión de diferentes factores los cuales se pueden analizar de una forma separada en función de las características que inciden en forma directa en las condiciones actuales del terreno, así como se describe a continuación:

**De las Pendientes.** Luego de obtenido el Mapa base, se procedió a generar el mapa de pendientes (Véase Mapa N 2, Mapa de Pendientes), el cual es una imagen adquirida a partir de la topografía que presenta curvas de nivel cada 2 m, la cual sirvió para elaborar un modelo de elevación digital en el cual se pueden distinguir cinco clases de intervalos que sub-clasifican el terreno en igual número de partes lo cual permite valorar o asignar pesos diferentes a las distintas áreas generadas a partir de esta clasificación.

El método utilizado para esta clasificación fue el de 3D análisis "Slope" utilizado en el sistema de información geográfica Arcview versión 9.2. para luego elegir la opción "Reclassify" y proceder a clasificar en cinco clases dicho tema creado; una vez generado este nuevo tema que sub-clasifica el terreno en zonas de Muy Baja, Baja, Mediana, Alta y Muy Alta pendiente; para finalmente convertir dicho tema a archivo "shape" para poder editarlo y manejarlo desde los SIG. La clasificación utilizada fue la

de "Suarez" en su libro Deslizamientos y Estabilidad de taludes en Zonas Tropicales.

**Cuadro 12.** Clasificación para elaborar mapa de Pendientes.

<b>I. Clasificación</b>	<b>J. Pendiente (Angulo de Inclinación)</b>
Muy Baja	L. 0 a 5% (0a 8,5 grados)
Baja	N. 15 a 30% (8,5 a 16,7)
Mediana	P. 30 a 50% (16,7 a 26,6)
Alta	R. 50 a 100% (26,6 a 45 grados)
Muy Alta	T. Mas del 100% (más de 45 grados)

Fuente. "Suarez"

**De la Geomorfología.** Para elaborar el mapa geomorfológico (Véase Mapa N 3. se hizo necesaria la interpretación de imágenes aéreas. En las fotografías aéreas se delimitó las aéreas en las que existe un modelo recurrente de unidades geomorfológicas, se utilizó fotografías aéreas 1:5000 y a escala 1:30 000 producidas por el IGM.

Las características de las imágenes fotográficas utilizadas para la interpretación geomorfológica son las siguientes:

- Procedencia : I. G. M.
- Emulsión : Pancromática y color
- Escala : 1:5 000-1:30 000
- Año : 1998
- Calidad : Muy Buena

Las unidades morfológicas definidas en el mapa Geomorfológico tienen en cuenta una estructura jerárquica, dada su importancia como factor de definición de las características externas modelada por la geomorfología y el clima son factores que influyen en la formación de los suelos y en las características de la vegetación.

Los criterios utilizados para realizar los trabajos de interpretación de la geomorfología, fueron los siguientes:

- Ubicación a escala zonal y local.
- Grado de disección.
- Forma y pendiente de las laderas.
- Lineamiento y angularidad que presentan los drenajes.
- Cambio brusco, lineal y anormal entre dos relieves diferentes.
- Cambio brusco, lineal y anormal entre dos materiales diferentes.

En total se mapearon 5 unidades en toda el área de estudio, que posteriormente fueron agrupadas como se muestra en el Mapa N 3.

**De la Geología, Geotecnia y Estructuras.** Para el levantamiento geológico–estructural y la parte geotécnica, se elaboró un formato para la toma de datos en los afloramientos en el cual se tienen los siguientes aspectos:

- Los datos informativos en el cuál consta el nombre del proyecto, el sector, fecha, nombre de quien tomo los datos, las coordenadas UTM y el número de afloramiento.
- La Geología donde se describe en forma vertical la secuencia lito-estratigráfica, realizándola a escala con las diferentes potencias reales, así como también anotando las medidas estructurales de las rocas y sus respectivas características físicas.
- La caracterización del macizo rocoso con su respectiva clasificación geomecánica se la tomo en base al método propuesto por Bieniawski, 1989 o RMR, en el que se toma en cuenta la resistencia a la compresión uniaxial de la roca, el índice RQD que fue medido en el campo con la formula ( $RQD = 115 - 3,3J_v$ ), las familias de diaclasas con sus medidas estructurales, el espaciamiento, la condición de las discontinuidades, el relleno y el grado de meteorización.



- Luego se procedió a Organizar los datos de campo y su posicionamiento en el mapa base para elaborar el mapa Geológico (Véase Mapa N 5, Mapa Geológico)
- Análisis de los datos en el mapa y la libreta de campo tomando en cuenta la clasificación de Bieniawski para realizar la respectiva interpolación en la elaboración del Mapa Geotécnico (Véase el Mapa N 6, Mapa Geotécnico) a escala 1:2 000 con su representación de las clases de rocas.

**Zonificación de Estructuras.** La zonificación de estructuras se realizó mediante el uso de proyecciones hemisféricas por el método de ángulos iguales, también conocida como proyección estereográfica o de Wulff donde se representaron las orientaciones de la roca, fallas y diaclasas por separado y en conjunto todas estas estructuras geológicas (Véase la Figura 12-20).

Se logró a partir de la zonificación de estructuras, las características de las rocas y las representaciones estereográficas para hacer un análisis de los taludes por el método de cinemática.

**Susceptibilidad.** El análisis de la susceptibilidad se efectuó mediante el empleo de operadores y de técnicas de análisis de datos espaciales como los de superficie, superposición, cruces, distancias, análisis estadístico, reclasificaciones, búsquedas booleanas y álgebra de mapas.

El análisis de datos fue realizado modelando el mundo real en cuanto a las relaciones espaciales que existían entre las variables de susceptibilidad intrínseca y entre estas últimas.

Durante el desarrollo del trabajo no se perdió de vista que las herramientas de análisis como el SIG son eso, solo “herramientas” a través de las cuales se puede realizar operaciones entre capas, cuyo

verdadero análisis e interpretación fueron realizadas por criterio propio, para tomar finalmente las decisiones. Para la elaboración del mapa de susceptibilidad se utilizó el software Arcgis 9.2 en el cual se siguió los siguientes procesos:

Se convirtió los archivos tipo grid (Pendientes, geología, geomorfología, geotecnia, cobertura Vegetal,) a raster y luego asignarles una variable a cada tipo de mapa según la **importancia** para la susceptibilidad de movimientos en masa, y luego con la herramienta spatial análisis, evaluar y definir el mapa de susceptibilidad (Véase Mapa N 7, Mapa de Susceptibilidad) con la escala de valores tipo Lickert (valores 1,2,3,4,5) siendo el valor 1 muy bajo susceptibilidad, el valor 2 bajo susceptibilidad, el valor 3 susceptibilidad media o moderado, el valor 4 alta Susceptibilidad y el valor 5 muy alta susceptibilidad. Cabe señalar que la aplicación de los pesos para cada uno de los mapas que intervienen en la susceptibilidad son **Variables** para cada tipo de terreno.

### **Asignación de pesos relativos tipo Lickert.**

**Peso relativo 1.** Se refiere a las condiciones biofísicas menos favorables para que se produzcan las remociones en masa.

**Peso relativo 2.** A diferencia del caso anterior, las características de las variables consideradas en este estudio van cambiando y con ello, aumentando la susceptibilidad a movimientos en masa.

**Peso relativo 3.** En este caso, las condiciones que presentan las variables tienden hacia niveles críticos, traduciéndose en condiciones más severas y susceptibles a movimientos en masa.

**Peso relativo 4 y 5.** En este caso, las condiciones biofísicas que se presentan son muy severas haciendo que los espacios geográficos que presentan estas características, sean muy susceptibles a remociones en masa.

**Cuadro 13.** Pesos relativo tipo Lickert.

<b>Peso Relativo</b>	<b>Susceptibilidad</b>	<b>Rango</b>
1	Muy Baja	0-8
2	Baja	9-12
3	Moderada	13-18
4	Alta	19-32
5	Muy Alta	33-54

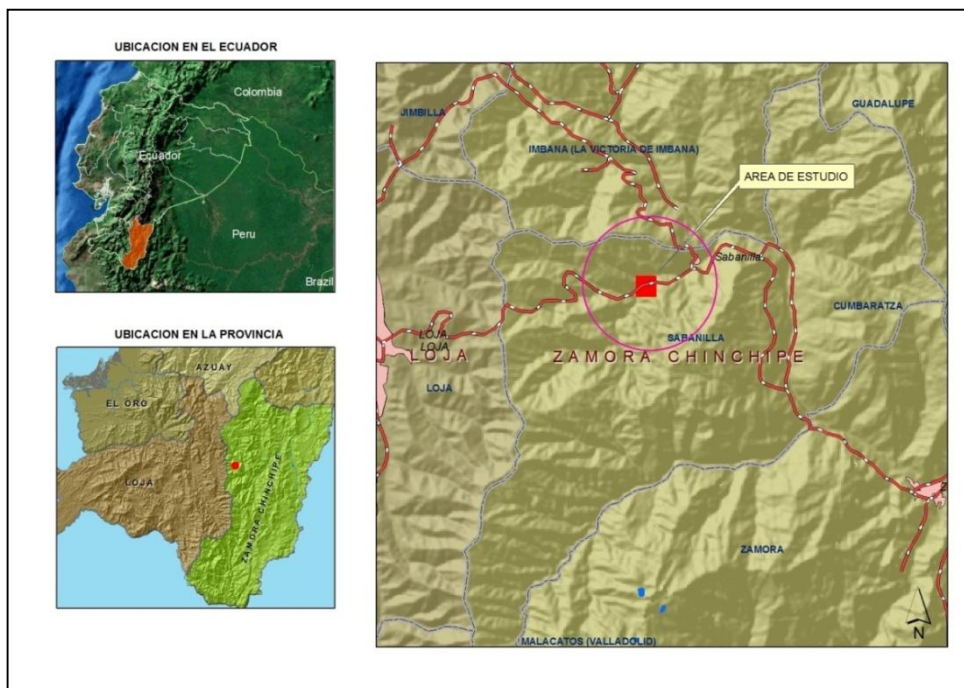
**Fuente.** (G. Guaman UNIGIS)

#### 4. RESULTADOS.

##### 4.1. Descripción general del área de estudio

###### 4.1.1. Ubicación.

La presente investigación se ubica al Sur-Este del Ecuador, en la Provincia de Zamora Chinchipe, perteneciente a la parroquia de Sabanilla en la Estación Científica San Francisco dentro de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus, en el kilómetro 30 de la vía Loja-Zamora, en el sector de San Ramón, con una superficie aproximadamente de 100 ha, entre los 1 800 y los 3 120 m s.n.m. Esta referenciación en su localización se evidencia en la Figura 5



**Figura 5.** Localización geográfica del área de estudio.

Las coordenadas geográficas en las que se encuentra el área son:

- 712 810 a 9 561 230                      713 810 a 9 561 230
- 712 810 a 9 560 210                      713 810 a 9 560 210
- Altitud promedio 1 955 m s.n.m.

## 4.2. Relieve.

### 4.2.1. Topografía.

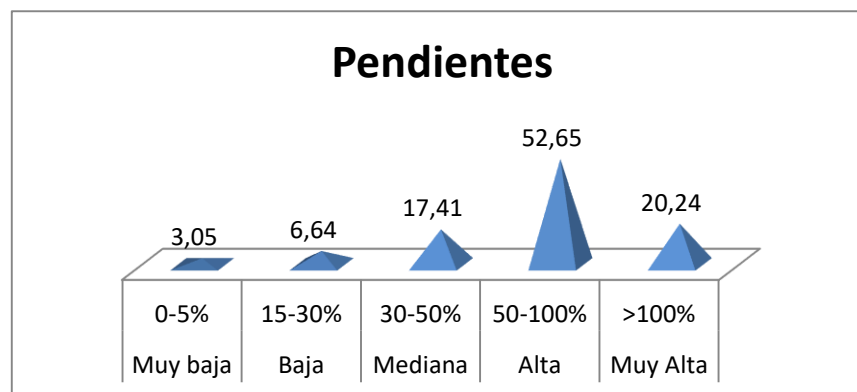
La topografía del área de estudio específicamente de la Estación Científica San Francisco fue adquirida gracias a la coordinación con la DFG y la Fundación Científica San Francisco, a una escala de 1: 2 000, la cual sirvió para la realización de un mapa base, del cual es un punto de partida para la ubicación y realización de los mapas: pendientes, geomorfológico, geológico, geotécnico, cobertura vegetal y posteriormente el de susceptibilidad, por lo que no fue necesario realizar el levantamiento topográfico (Véase Mapa N 1, Mapa Base del Área de Estudio).

### 4.2.2. Pendientes.

El área de influencia directa de la estación científica San Francisco se caracteriza por predominar pendientes Muy Altas las cuales ocupan el 52.65%, las pendientes Muy Altas tienen un 20.24%, las de Mediana Pendiente ocupan el 17.41%, las de baja pendiente un 6.64%, y las de muy baja pendiente que se concentran en la construcción de plataformas (Vía) y el cauce del río y le corresponde un 3.05% del total del área que equivale a 102,098 ha que corresponde al 100%. (Véase Mapa N 2, Mapa de Pendientes).

**Cuadro 14.** Clasificación de la zona de estudio sobre la base de pendientes.

CLASIFICACIÓN	CLASES PENDIENTES %	Área (ha)	% Área
Muy baja	0-5%	3,1	3,05
Baja	15-30%	6,78	6,64
Mediana	30-50%	17,78	17,41
Alta	50-100%	53,78	52,65
Muy Alta	>100%	20,67	20,24
<b>Total</b>		<b>102,1</b>	<b>100</b>



**Figura 6.** Representación grafica del nivel de pendientes en el sector de estudio.

### 4.3. Geología Regional.

La zona se encuentra localizada en la vertiente oriental de la Cordillera Real del Ecuador. Para la región se describen cinco divisiones litotécnicas que presentan grados de metamorfismo bajos a medios y se encuentran separadas por grandes fallas sub-verticales.

En la zona se encuentra la división Loja conformada por las subdivisiones paleozoicas semipelíticas metamorizadas de Chiguinda y la secuencia de rocas de alto grado de metamorfismo conocida como Unidad Sabanilla.

#### **Unidad Chiguinda, (PzLc).**

Comprende cuarcitas, filitas negras, esquistos gráficas, pizarras y escasas metagraywackes. Forma un cinturón de hasta 30 Km de ancho en la parte sur de la Cordillera. Está flanqueada hacia el W por metagranitos de Tres Lagunas y hacia el E por migmatitas de Sabanilla y esquistos de Upano. Se acuña hacia el N. Aflora en las carreteras Cuenca- Limón, Catamayo - Loja - Zamora, Loja - Zumba y Sigsig - Chiguinda. También aflora en la parte N de la cordillera sobre el complejo de napas Cuyuja. Se desconoce su espesor pero se supone que es de kilómetros. Minerales metamórficos observados incluyen stilpnomelano, cloritoide y granate. 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]. (Véase Mapa N 9. Mapa Geológico Regional del Área de estudio.)

#### **Unidad Sabanilla, (TrSb).**

Suite de gneises pelíticos y cuarzo feldespáticos de grado medio a alto que forman un cinturón de 10 Km de ancho desde la frontera con el Perú hasta 150 Km hacia el N. La localidad tipo está cerca de Sabanilla en la ruta Loja-Zamora. Los contactos con las adyacentes unidades Chiguinda e Isimanchi son tectónicos. Edades K-Ar en micas dan 70 - 80 Ma y en hornblenda alrededor de 130Ma. Una combinación de isócronas Rb-Sr en roca total señala una edad de  $224 \pm 37$  Ma (Litherland et al., 1994). Las edades K-Ar señalan eventos metamórficos y las Rb-Sr indican la edad de la roca. Paragénesis minerales comunes son: sillimanita-biotita-cuarzo-albita, cianita-biotita-ortoclasa-cuarzo, es decir asociaciones de alto grado metamórfico. Geoquímicamente, la unidad Sabanilla es muy similar a la de Tres Lagunas. Se ha sugerido que las dos comparten un mismo origen.

#### **4.4. Geología Local.**

Por toda la extensión de terreno de la Estación Científica San Francisco existen rocas metamórficas (Véase Mapa N 10 Mapa Geológico Regional) que corresponden a la “Unidad Chiguinda” de edad del paleozoico, con una potencia desconocida pero que supera los cientos de metros, estas rocas se las encuentra muy diaclasadas o fracturadas, de las cuales sobre salen las filitas, cuarcitas, pizarras y esporádicamente capas de esquistos; las mismas que se intercalan entre sí. Sobre estas rocas se puede observar suelo residual formado por el intemperismo que se da en el lugar, pero estos suelos no han sido mapeados por tener espesores demasiados pequeños en el área de estudio.

Sobre este basamento metamórfico se encuentran los depósitos coluviales provenientes del mismo metamórfico por diferentes movimientos de masa.

Para la elaboración del respectivo mapa geológico (Véase Mapa N 5, Mapa Geológico) se ha limitado zonas donde cada tipo de roca metamórfica predomina. A continuación su respectiva descripción:

#### **4.4.1. Litología.**

**Metamórfico. Filitas.** Se encuentran predominando en toda el área de estudio pero siempre están intercaladas con capas de potencias milimétricas a centimétricas de cuarcitas, pizarras y esporádicamente con esquistos. Su estructura es maciza (fuertemente consolidado) muy tenaz y se rompe con fractura plana debido al paralelismo de los minerales (foliación). Es de color gris oscuro y con brillo satinado, su granulometría es de grano fino a medio (arenisca) debido a que sus contactos concordantes son progresivo gradual e intercalado con cuarcitas. Los granos están dentro de una matriz fina.

En su mineralogía presentan un gran porcentaje de sílice en 80 a 85%, biotita 1 a 5%, muscovita 1 a 5%, cuarzo, sericita se encuentra en 2% hasta un 80% en rocas con mayor grado de meteorización, óxidos de hierro como ilmenita 0.5 a 1% y magnetita 1%, y óxidos de manganeso como pirolusita 2%. Ocasionalmente se observa en estas rocas pequeñas vetillas de cuarzo que en algunas contienen sulfuros como pirita.

Estas rocas en la secuencia estratigráfica se superponen sobre las cuarcitas; y, como se presenta intercalada en la secuencia estratigráfica, también varía su potencia, entre 140, y 22 metros; y, una potencia desconocida (>10m).





**Figura 7.** Foto de Afloramiento de Filita, Río San Francisco. Formación Chiguinda  
Coordenadas X: 713 308 Y: 9 560 509.

**Cuarcitas:** Afloran en menor cantidad en el área pero se presentan franjas lo suficientemente grandes en afloramientos importantes a lo largo del río San Francisco y en la Vía Loja Zamora para ser mapeadas y se intercalan con las filitas de potencias pequeñas. Su estructura es masiva, y representa un mosaico de granos de ajuste perfecto que se rompe por los mismos como por el material cementante. El color de las cuarcitas va de gris blanquecinas con tonalidades amarillentas, en algunas se observa sus granos orientados similares a la esquistosidad de las filitas y contienen fenocristales, sus granos no están dentro de una matriz fina.

Contienen gran cantidad de cuarzo en un 90 y un 95%, sericita, biotita en un 1% y óxidos de hierro como ilmenita 3% y hematita en 1%. A simple vista se puede observar las vetillas de cuarzo con espesores que van desde 0,5 centímetros hasta 30 centímetros con sulfuros (pirita).

Las cuarcitas poseen potencias que varían entre los 30m hasta los 20m y 8m, se mantienen con las filitas en contacto concordante intercalado y en algunos casos en contacto abrupto.



**Figura 8.** Foto de Afloramiento de Cuarcita, Río San Francisco. Formación Chiguinda  
Coordenadas X: 713307 Y: 9 560508.

**Pizarras.** Estas rocas se presentan en potencias de 10m hasta los 17m y generalmente están en contacto concordante intercalado con filitas o cerca de zonas de falla, son de color café amarillentas con tonalidades negras debido a la presencia de oxido de hierro. Su estructura es masisa (fuertemente consolidada) muy tenaz y se rompe con fractura plana debido al paralelismo de los minerales (foliación). Estas rocas son de grano fino, estos granos están dentro de una matriz fina y son invisibles sin la presencia de fenocristales, comúnmente se observa una mayor meteorización en estas rocas, así mismo contienen minerales de sílice de un 5 a un 40%, sericita 50 un 74%, en pequeñísimas cantidades ilmenita 1%, hematita 0.3 a 0.6% magnetita 0.2 y 0.4% y grafito 2%.



**Figura 9:** Pizarras, Vía Loja- Zamora. Formación Chiguinda. Coordenadas X: 712 855 Y:9 560364

**Esquistos.** Son rocas compactas que no son muy abundantes en la zona de influencia y al parecer son el resultado de un cambio gradacional de granulometría que van desde la pizarra, pasando por filitas, esquisto hasta las cuarcitas. Así también son posee potencia baja de aproximadamente menores a 8m dificultando ser mapeadas a la escala propuesta de trabajo, todo el miembro presenta una foliación plana, son de color gris azuladas, de grano grueso, y contienen principalmente minerales de muscovita, biotita, cuarzo, sericita, magnetita y grafito.



**Figura 10.** Foto de Afloramiento de Esquistos, Río San Francisco. Formación Chiguinda.  
Coordenadas X: 713394 Y: 9 560 752,

**Suelos Residuales.** Es el resultado de los procesos de meteorización *in situ* a las que han estado expuestas las rocas de la zona. Contienen clastos angulares de 0.2 a 4 cm en una matriz arcillo – limosa, de color rojo – anaranjado debido a la alta concentración de hierro.

La potencia de los suelos residuales alcanzan de 0.5 a 1 metro casi por toda el área, con un grado de meteorización de moderada a alta; y, en lugares puntuales, la potencia va desde los 9 metros, pudiendo sobrepasar los 20 metros, que por el grado de descomposición de los feldspatos y por dejarse moldear fácilmente con las manos, hay la meteorización completa.

**Coluviales.** Son depósitos superficiales producto de los movimientos en masa que se dan en la zona, la matriz es limo arcillosa 40% con mal sorteo, de color amarillo rojizo, con grandes bloques angulares y sub-redondeados en un 60% de cuarcita, filitas y pizarras, que llegan hasta diámetros de aproximadamente 2m.

Sus potencias son muy variadas debido a la irregularidad de la forma del terreno pero se estima un rango de unos pocos metros a 25 metros de profundidad.



**Figura 11.** Foto de Coluvial, Río San Francisco. Formación Chiguinda.  
**Coordenadas X: 713 150 Y: 9 560 330**

#### **4.4.2. Estructuras.**

##### **4.4.2.1. Orientación de las Rocas.**

Por tratarse de rocas metamórficas en el área, la toma de datos de campo se midió el rumbo de los estratos de roca con su respectiva foliación, obteniendo los siguientes datos en los 26 afloramientos observados:

**Cuadro 15.** Rumbo y foliación de los estratos rocosos observados.

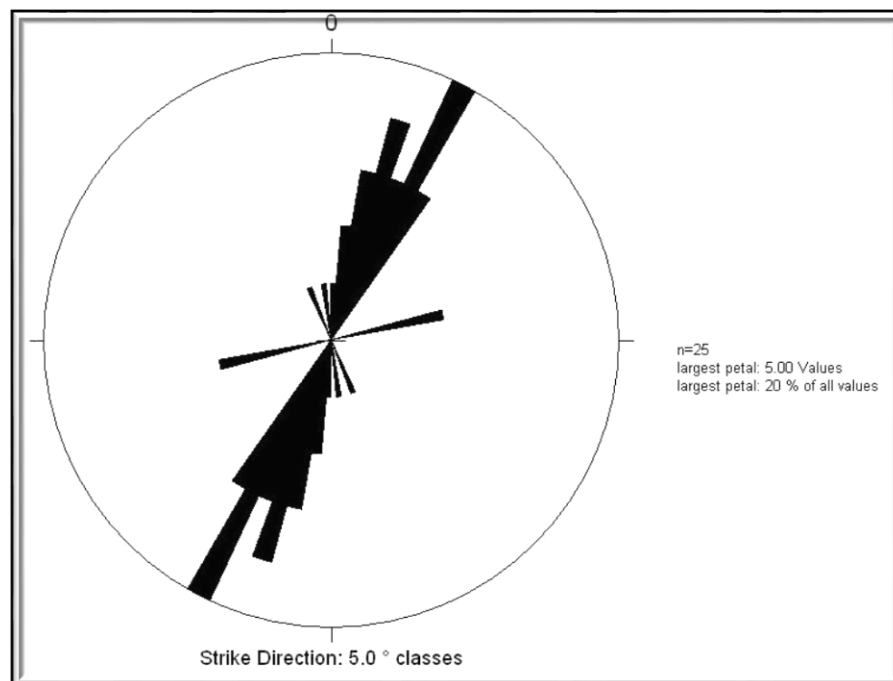
Nº Aflor.	Rumbo (grados)			Foliación (grados)	
1	S	23	E	32	SW
2	S	6	W	13	NW
3	N	10	W	72	NE
4	S	30	W	61	NW
5	S	75	W	33	NW
6	S	7	W	23	NW
7	S	25	W	32	NW
8	S	25	W	30	NW
9	N	32	E	33	SE
10	N	10	E	75	SE
11	S	15	W	80	NW
12	S	1	W	75	NW
13	S	10	W	82	NW
14	S	13	W	80	NW
15	S	15	W	83	NW
16					
17	S	25	W	77	NW
18	S	28	W	vertical	NW
19	S	32	W	61	NW
20	N	23	E	52	SE
21	S	25	W	75	NW
22	S	22	W	75	NW
23	N	20	E	58	SE
24	S	15	W	75	NW
25	S	15	W	75	NW
26	S	76	E	35	SW

<b>Amarillo</b>	Rumbos con Preferencia S-SW
<b>Blanco</b>	Rumbos con preferencia N-NE

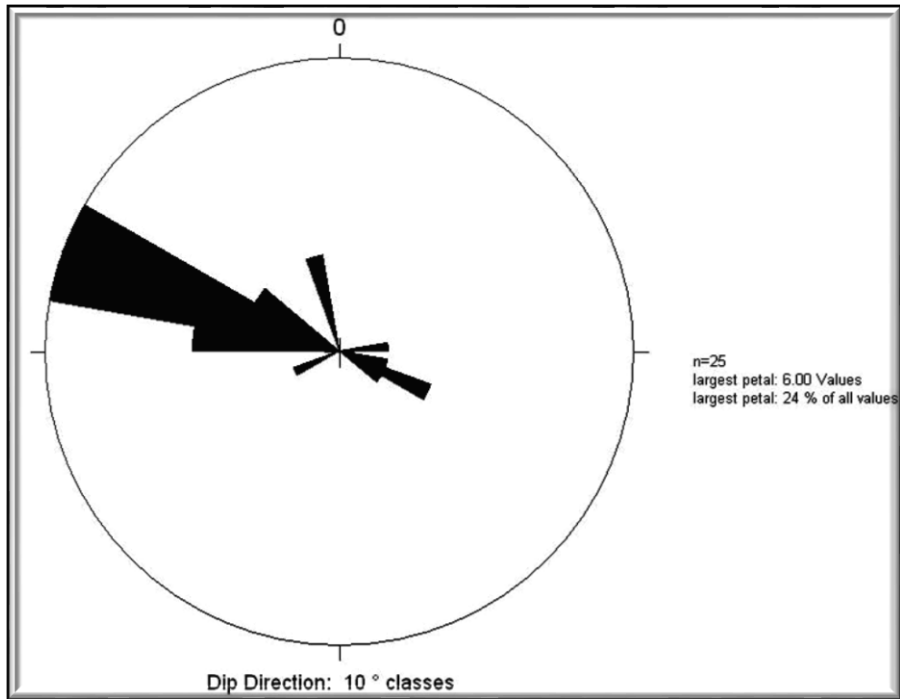
Como se puede observar los casilleros marcados nos indica la orientación predominante en el área, la cual tiene un rumbo S – SW a N – NE y foliando al NW con ángulos de 13° a 85°, esta variación de inclinación se debe al proceso de metamorfismo y la tectónica ocurrida en el sector.

Se puede zonificar que esta orientación en el área de estudio predomina a partir del río San Francisco como límite, hacia el Norte del polígono. En cambio hacia el Sur la foliación es hacia el SE, lo que se representa el lado contrario de la zona Norte a partir del río, manteniéndose el mismo rumbo donde se expresa en forma inversa: N – NE a S – SW.

En las Figuras 12-14 se observan las orientaciones preferenciales dentro del área:

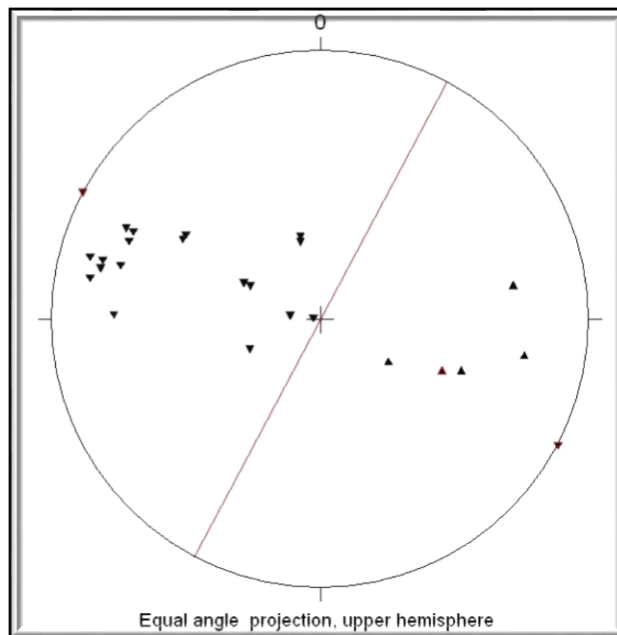


**Figura 12.** Diagrama de la rosa representando la dirección o rumbo del macizo rocoso



**Figura 13.** Diagrama de la rosa representando la foliación del macizo rocoso.

Al zonificar las orientaciones de las rocas en el estereograma, se observa que la línea roja representa la falla por el cual fluye el río San Francisco divide las principales foliaciones de las rocas metamórficas en el área (Véase Figura 14)



**Figura 14.** Representación estereográfica de las foliaciones.

**4.4.2.2. Diaclasas.** Datos de diaclasas obtenidos en los afloramientos observados en el campo.

**Cuadro 16.** Diaclasas de los estratos rocosos observados

Nº Aflora	Rumbo			Inclinación	
1	S	86	W	87	NW
	N	6	E	57	SE
	S	23	E	28	SW
2	S	50	W	42	NW
	S	10	E	83	SW
	S	78	E	77	SW
	S	6	W	13	NW
3	S	5	W	57	NW
	S	56	E	81	SW
	N	10	W	71	NE
	S	78	W	84	NW
4	S	5	W	57	NW
	S	56	E	81	SW
	N	10	W	71	NE
5	S	67	E	81	SW
	N	10	E	90	SE
	S	30	W	30	NW
	S	72	W	15	NW
6	N	23	E	66	SE
	N	72	W	60	NE
	S	12	W	32	NW
7	N	25	E	62	SE
	N	78	W	55	NE
	S	12	W	32	NW
8	S	89	W	89	NW
	S	25	E	30	SW
9	S	43	E	71	SW
	S	4	W	75	NW
	N	85	W	90	vertical
	N	32	E	33	SE
11	S	64	E	76	SW
	S	16	W	78	NW
	N	30	E	21	SE
12	S	4	W	0	horizontal
	N	90	W	76	N
13	S	29	E	17	SW

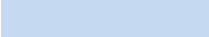
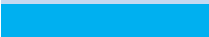

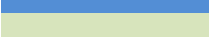








Nº Aflora	Rumbo			Inclinación	
	N	85	W	65	NE
	N	10	E	84	SE
	S	10	W	82	NW
14	S	85	W	90	Vertical
	S	4	W	0	horizontal
	S	30	E	80	SW
15	S	29	W	76	NW
	N	85	W	65	NE
	S	10	W	82	NW
16	Sin datos				
17	S	42	E	83	SW
	S	20	E	23	SW
	S	25	W	77	NW
18	N	80	E	59	SE
	S	55	E	86	SW
	N	45	E	70	NW
	N	16	E	90	vertical
19	S	35	E	84	SW
	N	87	E	82	SE
	S	33	W	75	NW
	N	5	E	26	SE
20	S	35	E	84	SW
	N	87	E	82	SE
	S	33	W	75	NW
	N	5	E	26	SE
21	S	35	E	84	SW
	N	87	E	82	SE
	N	5	E	26	SE
	S	25	W	75	NW
22	S	35	E	84	SW
	N	87	E	82	SE
	N	5	E	26	SE
	S	15	W	75	NW
23	N	8	W	58	NE
	S	35	E	84	SW
	N	82	E	79	SE



Nº Aflora	Rumbo			Inclinación	
24	S	29	W	76	NW
	N	85	W	65	NE
	S	10	W	82	NW

Nº Aflora	Rumbo			Inclinación	
25	S	85	W	90	vertical
	S	4	W	0	horizontal
	S	30	E	80	SW

A continuación se describe la frecuencia de repetición de los set de diaclasas tomado a partir de los puntos de observación, las cuales permitirán definir cuantos set (familias) de diaclasas existen en el sector, así también se puede observar las direcciones preferenciales del rumbo e inclinación de las diaclasas. (Véase Figura 15-17),

Diaclasa por orientación	Nº de repetición	Orientación del rumbo	Orientación inclinación	SET
	9	N-NE	SE	3
	5	NE	SE	9
	7	E-NE	SE	6
	2	S-SE	SW	11
	11	SE	SW	2
	5	E-SE	SW	8
	13	S-SW	NW	1
	8	SW	NW	5
	6	W-SW	NW	7
	3	N-NW	NE	10
	0	NW	NE	
	8	W-NW	NE	4

Observando los datos se puede decir que en toda el área existen 11 set (familias) de diaclasas de las que más destacan son:

- Set 1 con orientación S – SW inclinadas al NW generalmente estas diaclasas tienen la dirección paralela a la orientación de las rocas,
- Set 2 orientadas al SE inclinadas al SW,
- Set 3 orientado al N – NE inclinadas al SE,
- Set 4 orientadas al W - NW inclinadas al NE y
- Set 5 orientadas al SW inclinadas al NW.

Los set 11 y 10 se presentan esporádicamente.

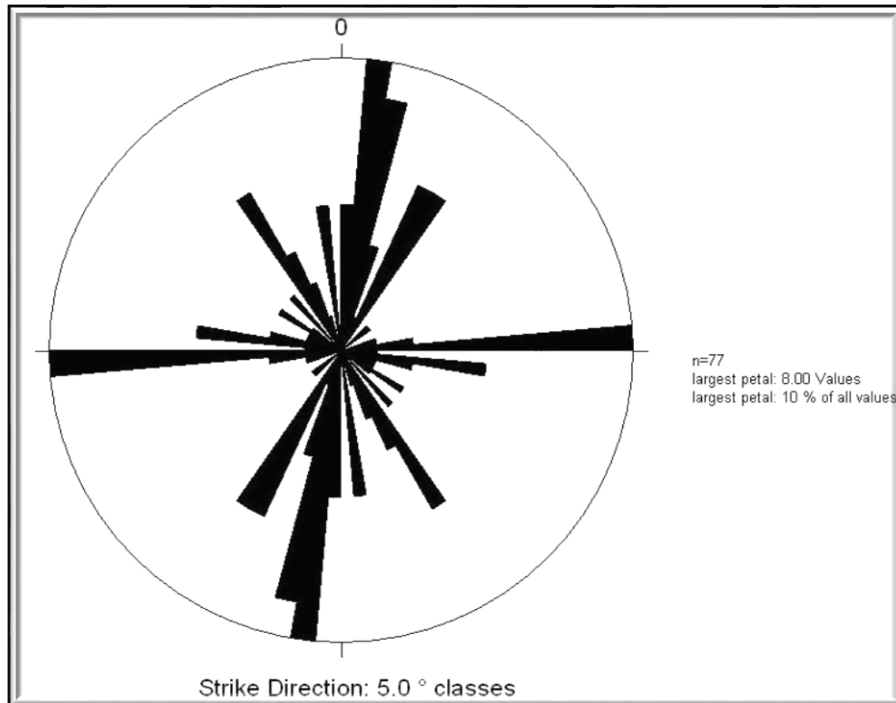


Figura 15. Diagrama de la rosa representado la dirección o rumbo de las diaclasas

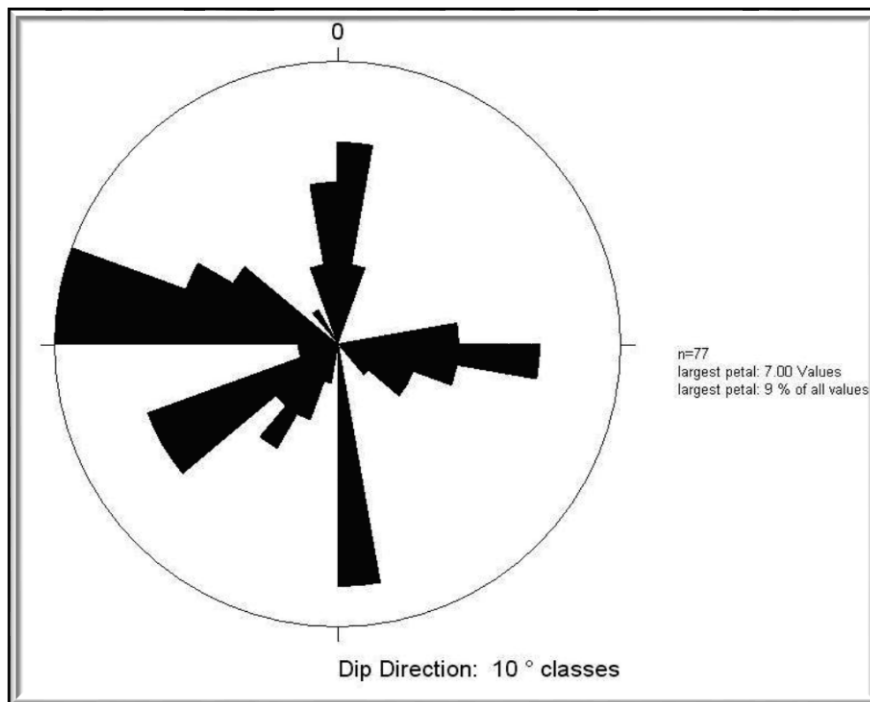


Figura 16. Diagrama de la rosa representando la inclinación de las diaclasas

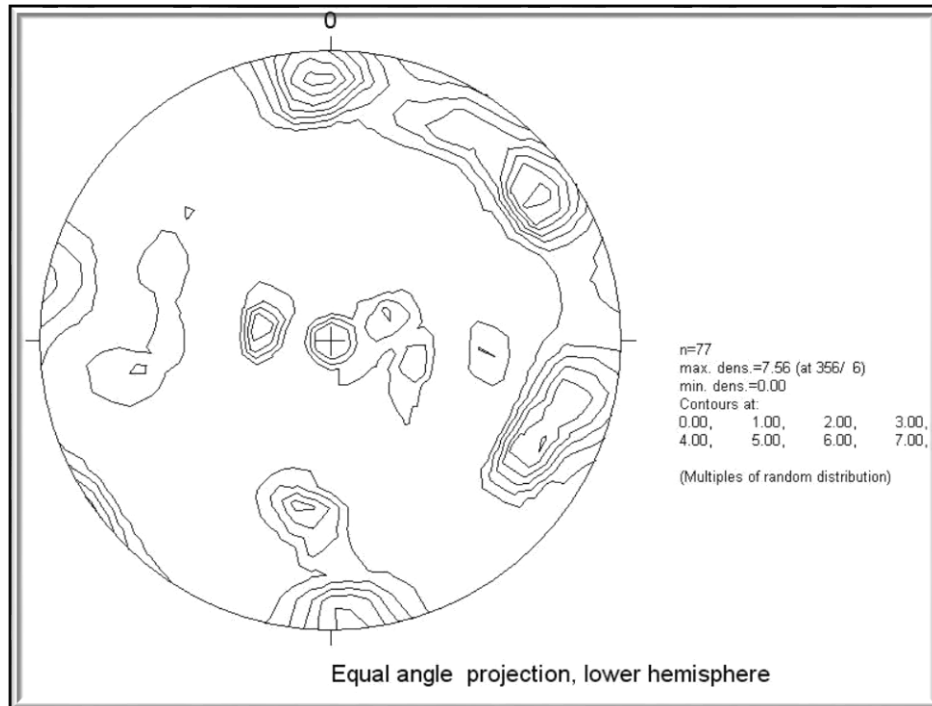


Figura 17. Representación de Diaclasas en la Red Estereográfica Polar

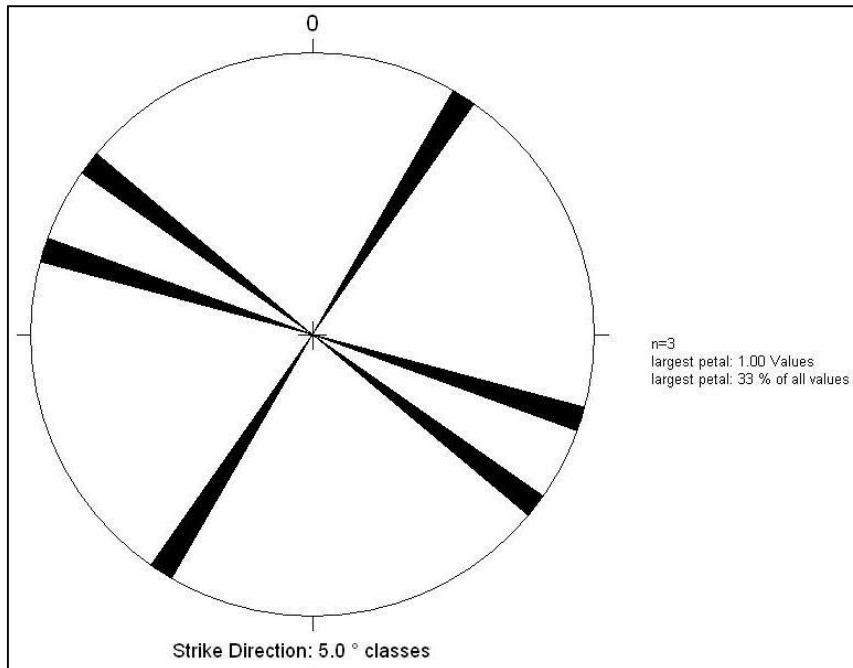
Las diaclasas se presentan en general en grupos de 3 set y también 3 set más una aleatoria, representando un *grado de diaclasado* de **VI** y **VII** de acuerdo a la clasificación de macizos rocosos por el número de familias de diaclasas (ISRM, 1981) dentro del área. Así mismo su *Blocosidad* se da en poliédricos formadas de bloques de variada forma y tamaño por diaclasas irregulares, pero también existen bloques romboédricos que se da por la presencia de tres o más diaclasas oblicuas dominantes. Se observan bloques grandes a bloques pequeños sobre todo, definiendo de esta manera el grado de fracturación del macizo rocoso como FUERTEMENTE FRACTURADO.

#### 4.4.2.3. Fallas.

Se determinó 3 fallas en el área de estudio, las cuales se describen a continuación con sus respectivas direcciones de rumbo e inclinación (Véase cuadro 15 y gráficamente se las expresa en las figuras 18 y 19:

**Cuadro 17.** Orientación de las fallas.

Nº	Rumbo	Inclinación
1	S 72 E	90 Vert.
2	S 55 E	90 Vert.
3	N 34 E	90 Vert.



**Figura 18.** Diagrama de la rosa representando el rumbo de las fallas.

Las fallas NW – SE son fallas locales que se asumen como verticales por no tener una observación directa del plano de falla y poder definirla como normal o inversa, pero si se puede decir que el bloque central baja y los bloques de los extremos han subido. A estas dos fallas fueron cortadas por una falla más grande que va SW a NE, la misma que se la asume igual que las otras como falla vertical.

En las zonas de falla se nota una fuerte inclinación y casi verticales de los estratos debido al desplazamiento de los bloques a través de la superficie de falla, causando plegamiento locales en las rocas metamórficas. Por la falla SW– NE recorre el río San Francisco inclinando los estratos al NW el bloque

norte del río e inclinando al SE el bloque ubicado al sur del río. (Véase Mapa N 5, Mapa Geológico).

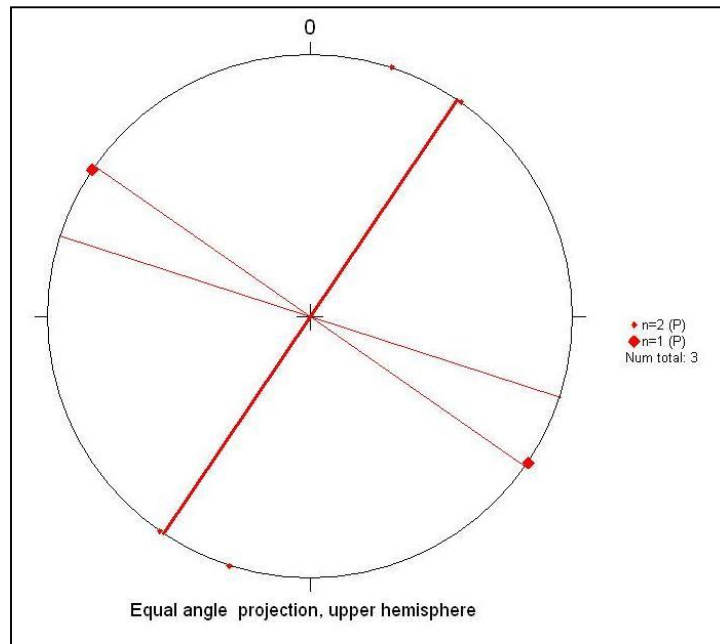


Figura 19. Representación de fallas en la Red Estereográfica.

#### 4.4.2.4. Zonificación de Estructuras.

Las características de los planos de esquistosidad y de las diaclasas son muy similares, por lo que en su análisis pueden ser tratados como una sola población.

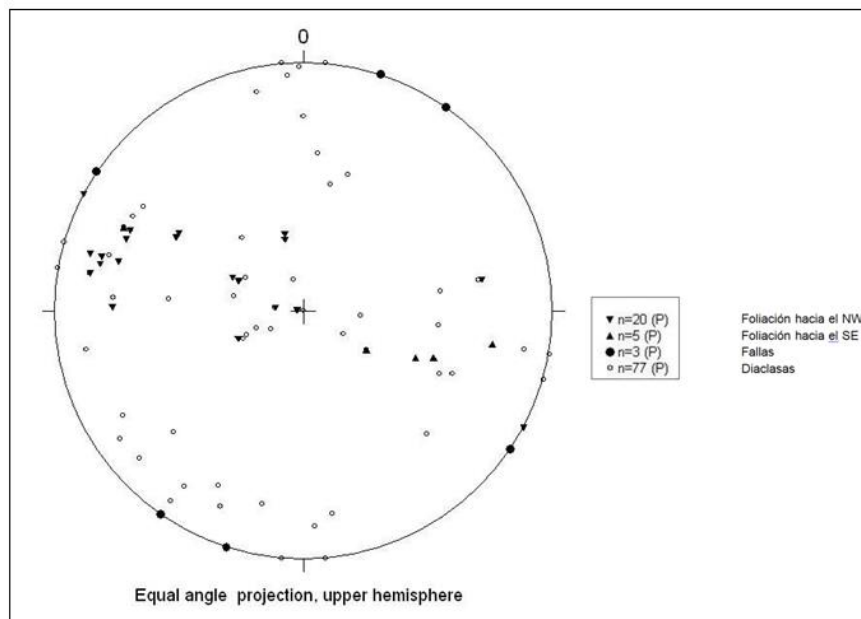


Figura 20. Representación estereográfica de los diferentes tipos de aspectos geológicos

## **4.5. Geomorfología.**

El área de estudio en el contexto regional pertenece a la Cordillera real u Oriental de los Andes que conforma una provincia Fisiográfica, y la subprovincia fisiográfica denominada como el Contrafuerte Oriental de la Cordillera Real, caracterizada por ser un relieve tipo montañoso.

La Geomorfología del área está definida por la tectónica causada por la cercanía de la zona de subducción, el metamorfismo resultante, la situación geográfica y el clima. Factores que se reflejan en las formas del relieve, procesos y vegetación. De esta manera el gran paisaje se define en los siguientes:

### **4.5.1. Formas Estructurales Fluvio – Erosionales**

#### **Paisaje - Relieve montañoso.**

La morfodinámica del sector se da por erosión hídrica laminar vertical, en surcos y en hondonadas en un amplio rango +/- 40%, Localmente se observan zonas de solifluxión y caídas de roca por gravedad. Fenómenos que podemos relacionar que son causados por el diaclasamiento existente en las rocas, los períodos de mayor lluvia y la falta de vegetación.

De este tipo de paisaje se determina el sub-paisaje:

**a) Laderas:** Caracterizadas por cimas convexas y laderas rectas con pendientes de 50 a 100 % manifestadas por los contactos entre cuarcitas y filitas principalmente contactos regidos por las zonas de fallas y erosión, produciendo grandes escarpes y muros de gran pendiente.

**b) Laderas Inferiores:** Son formas muy escarpadas y disectadas con pendientes dominantes de 30 al 50 %. Observándose en el terreno valles y causes muy encajonados en forma de V asimétricos. Estas

formas están asociadas a las rocas metamórficas de la Unidad Chiguinda, las que se encuentran plegadas y cortadas por las fallas existentes en el área, y que dan lugar a una red hídrica tipo paralela con avenamiento inferior rectangular.

#### **4.5.2. Superficies planas – Plataformas**

Conforman superficies producidas por actividades antrópicas con pendientes de 0 a 6 %. En el área la mayor parte de este sub paisaje es por la vía Loja–Zamora.

#### **4.5.3. Formas Denudacionales**

En este gran paisaje se ha podido definir el siguiente paisaje morfológico:

**a) Abanicos Coluvio-Aluviales:** Su morfometría es de relieve escarpado ondulado de forma cóncava con pendientes dominantes de 0 al 30%. Estas formas son dadas por depósitos superficiales, generalmente son coluviales de material clástico con grandes bloques subredondeados de las rocas metamórficas en una matriz arcillo limosa poco consolidado.

Los procesos morfodinámicos son erosión laminar, flujos, presencia de agrietamientos o creeps (escarpes), causando movimientos en masa ocurridos en el pasado y recientemente, evidenciándose en la actual forma del relieve.

### **4.6. Clima y Vegetación.**

#### **4.6.1. Clima.**

Los meses de clima térmico templado corresponden de Octubre a Marzo, correspondiendo a los meses restantes el clima térmico frío.

- Media para Zamora: **21,1 °C**
- Media para San Fco.: **17,0°C**

Según datos registrados en la estación meteorológica localizada en la Central Hidroeléctrica Carlos Mora Carrión a 1 900 m s.n.m. Las lluvias son en todo el año casi uniformemente distribuidas, los meses más lluviosos son de Marzo a Agosto y los meses más secos de Octubre a Diciembre las precipitaciones aumentan de sur-oeste a nor-oeste alcanzando una precipitación anual de 2170 mm. (Véase Anexo N 4, Datos de Precipitaciones de la Estación Meteorológica San Francisco)

Se ha realizado un modelo de lluvias (Véase Mapa N 8, Mapa de Isoyetas), que se ha trazado en base a un promedio de precipitaciones anuales de las siguientes estaciones meteorológicas:

**Cuadro 18.** Estaciones Meteorológicas.

ESTACIONES	X	Y	AÑO	PRESCIPITACIONES
La Argelia	699 355	9 553 420	1964-1998	761,00
San Francisco	714 027	9 561 263	1964-2001	2170,00
Zamora	727 049	9 548 033	1964-1998	1914,90
Yanzatza	749 797	9 575 461	1971-1998	2081,00

Fuente. Anuarios Meteorológicos Del (INAMHI)

#### 4.6.2. Cobertura Vegetal.

La superficie de la Reserva Biológica de la ECSF se encuentra en un 98% ocupada con cubierta vegetal que se ha conservado debido al difícil acceso al lugar, además es un área protegida con la categoría de bosque protector declarado como tal en el año 1970. El otro 2% corresponde a tierras sin cobertura vegetal provocado por deslizamientos de carácter antropogénico (construcción de Vías) y natural debido las pendientes fuertes, estas han evitado la tala de árboles y consecuentemente la pérdida de biodiversidad.

Luego de la restitución fotogramétrica semidetallada en el área de influencia de la Estación Científica San Francisco, se obtiene un mapa a escala 1:2 000



(Véase Mapa N 7, Mapa de Cobertura Vegetal) que demuestra en su mayor parte se encuentra cubierta por bosque, y se diferenciaron los siguientes tipos:

#### 4.6.2.1. Bosque primario o Natural.

Se encuentra localizado en la parte Sureste del área con una superficie de 29,33 ha. Su difícil accesibilidad ha permitido que aun se conserven en el área diversas especies de valor comercial, entre las más representativas están: Romerillo (*Podocarpus* sp.), Cedro (*Cedrela odorata*), Cashco (*Weinmannia* sp), Canelón (*Nectandra laurel*, *Nectandra acutifolia* y *Ocotea* sp.). Las pendientes son muy pronunciadas existiendo algunos lugares que sobrepasa el 55%.



Figura 21. Foto de Bosque Natural, Matorral y Pastizal

#### 4.6.2.2. Complejo Pastizal Matorral

Se localiza alrededor de las instalaciones principales de la Estación con un área de 4.6 ha, su elevada intervención humana se debe a la construcción e ingreso a las instalaciones, por lo cual se destruyó la vegetación.

Las especies más representativas son: *Diplostephium* sp, *Loricaria* sp, *Puya* sp, *Bejaria* sp, *Epidendrum* sp, y *Miconia* especie que caracteriza el páramo



**Figura 22.** Foto de Matorral, Complejo Pastizal Matorral, Zonas Erosionadas.

#### **4.6.2.3. Complejo Pastizal- Plantaciones.**

Esta categoría se localiza al Noroeste del área de influencia ocupando un área de 15.06 ha. Esta área la conforman plantaciones de Pino.

#### **4.6.2.4. Pastizales.**

Se localizan alrededor de las instalaciones de la Estación, al Noreste, y centro Suroeste, ocupando un área de 18.58 ha. Las especies más representativas son: *Setaria sphacelata*, Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Gramolote morado (*Axonopus scoparius*), *Tripsacum dactyloides*, *Schyzachirium condosatum*, pasto miel (*Melinis minutiflora*), *Andropogon bicornis*.



**Figura 23.** Foto de Plantación, Matorral, Pastizal.

#### **4.6.2.5. Matorral.**

Este tipo de vegetación se localiza junto a la vía Loja - Zamora y en casi toda el área, en pequeñas extensiones. Debido principalmente a las fuertes pendientes del lugar, estas áreas se encuentran en etapa de regeneración ya que anteriormente en estos sitios existieron derrumbes, su área es de 26.96 ha. La vegetación no sobrepasa los 2 m.

#### **4.6.2.6. Zonas Erosionadas.**

La mayoría de estas zonas se encuentran en donde han ocurrido fenómenos naturales como los deslizamientos, en la parte inicial y final, en la parte central de la reserva biológica, y especialmente junto a la carretera Loja - Zamora, ocupa una área de 3.58 ha, Son áreas con vegetación muy escasa, que son el inicio de la formación de pastizales y matorrales.

De lo que se observa en las fotografías aéreas son los diferentes tonos y textura lo que indica una diferencia de cubierta vegetal, así como las densidades que se encuentran, particularidad que en el campo se comprobó y se denominó a cada tipo de bosque.

#### 4.7. Caracterización de Movimientos en Masa Actuales.

Actualmente se identificó cinco movimientos en masa, los mismos que presentan las siguientes características:

##### MOVIMIENTO Nº 1

Ubicado en las coordenadas geográficas UTM:

**X**=712 924            **Y**=9 560 406            **Z**=1 932 m s.n.m.

Se localiza al NW del área de estudio con dirección 180° (S), ocupa un área de 3000 m<sup>2</sup>, se trata de un Flujo y Caída de roca, con una longitud de 100 m aproximadamente desde el escarpe hasta la base y con un ancho de 30 m, el uso del terreno no está vegetado pero contiene pasto en un 10%. El movimiento se encuentra activo y con un estilo múltiple.



**Figura 24.** Foto de Flujo y Caída de Roca Nor-este del Área de Estudio

El área del escarpe es pequeña es decir menor a 200 m<sup>2</sup>, pero se encuentra evidentemente claro y con una forma Elongada y con escasa vegetación. El material que presenta el movimiento se compone de Roca fragmentada en un 40%, tierra en un 50%, y materia orgánica en un 10%. La Humedad de la masa desplazada es muy húmeda y mal drenada, esta masa desplazada se

encuentra desintegrada en fragmentos, el estado, la forma de esta masa es que la longitud es menor que el ancho.

La superficie de falla son las discontinuidades de las rocas, la causa probable es el exceso de agua ya que está asociado al periodo de lluvias, también por el corte de la vía, por la disposición de las discontinuidades y la deforestación. El daño esta dado a la vía principal debido a la caída de las rocas aunque se presente un muro de contención como estabilización.

## **MOVIMIENTO Nº 2**

Ubicado en las coordenadas geográficas UTM:

**X= 712958**

**Y= 9560652**

**Z= 1 930 m s.n.m.**



**Figura 25.** Foto Deslizamiento Nor-oeste del Área de Estudio

Se localiza en la parte Nor-oeste del área de Estudio con dirección N 49° E, posee un Área de 35 154 m<sup>2</sup>, la forma de la ladera es cóncava, se trata de un deslizamiento rotacional superficial de tierra con una longitud de 231 m y con un ancho de la zona de aporte de 195 m. La actividad en la que se encuentra es activo con estilo sencillo. El terreno del deslizamiento contiene una mínima cantidad de pastos, el material que presenta el movimiento se compone de bloques de roca fragmentada en un 20%, tierra en un 40%, y material de relleno 40%.

Presenta un escarpe evidentemente claro con un área grande mayor a 500 m<sup>2</sup> y no presenta vegetación. La forma del escarpe es semicircular. Las características de la masa desplazada es que la longitud es mayor que el ancho, el estado de la masa es desintegrada en fragmentos, presenta zonas de alta humedad y pocas cantidades de pastos.

La superficie de falla es el contacto y discontinuidades con la roca, la causa probable es el corte de la vía, el exceso de agua en el talud, la erosión concentrada, y la gravedad. El factor gatillo se puede deber a las lluvias. El daño se observa que es a la vía principal debido a la caída de material en la vía Loja-Zamora, aunque este evidencia medidas de estabilización como es un muro de contención.

### MOVIMIENTO Nº 3

Ubicado en las coordenadas geográficas UTM:

X= 713 320

Y= 9 560 548

Z= 1 856 m s.n.m.



Figura 26. Foto Caída de Rocas, Sur-oeste del Área de Estudio

Se localiza en la parte Sur-Oeste del área de estudio con dirección N 88<sup>0</sup> O, ocupa un área 195,8 m<sup>2</sup>, se trata de un movimiento de caída de rocas, posee

una altura de 15m, con una longitud de 17,8 m y con un ancho promedio de 11m. La inclinación de la ladera es de  $44^{\circ}$  con una forma recta; el uso del terreno en este sector pertenece a la de bosque primario en el cual contiene arboles mezclados. El material que contiene este movimiento contiene un 90% de caídos de roca fragmentada y un 10% de tierra. En este sector se evidencia la presencia de humedad.

Presenta un escarpe evidentemente claro con un área pequeña es decir menor a  $200\text{ m}^2$  y no presenta vegetación. Las características de la forma de la masa desplazada es que la longitud es mayor que el ancho, y el estado de la masa es desintegrada en fragmentos, existe presencia de zonas de alta humedad y no existe la presencia de vegetación. La superficie de la falla son las discontinuidades de la roca, la causa probable es el exceso de agua en el talud y la disposición de las discontinuidades, el daño esta dado en las zonas Arbóreas y no presenta estabilización alguna.

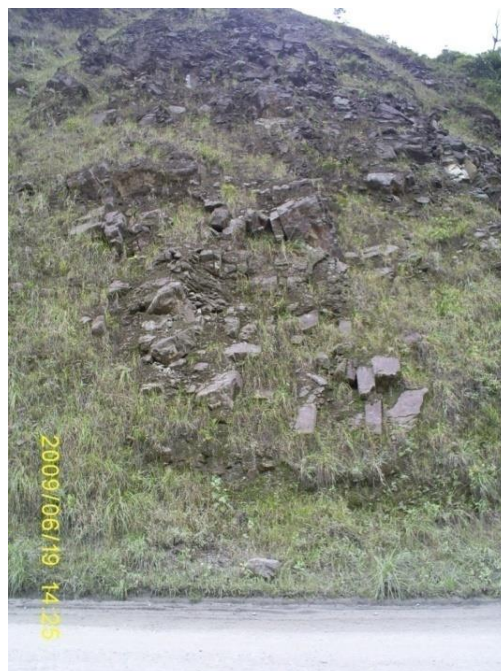
#### **MOVIMIENTO N° 4**

Ubicado en las coordenadas geográficas UTM:

**X= 713 651**

**Y= 9 560 989**

**Z= 1 880**



**Figura 27.** Foto de Caída de Rocas, Vía Loja-Zamora

Se localiza en la parte Nor-Este del área de estudio por la vía Loja-Zamora con dirección N 65° E, ocupa un área 300 m<sup>2</sup> de se trata de un movimiento de caída de rocas, posee una altura de 14m aproximadamente, con una longitud de 20 m y con un ancho promedio de 15 m. La inclinación de la ladera es de 44° con una forma concava; el uso del terreno en este sector pertenece a la zona de pastizales.

El material que contiene este movimiento contiene un 70% de caídos de roca fragmentada, un 20% de tierra y un 10% de suelo. En este sector se evidencia la presencia de humedad.

Presenta un escarpe evidentemente claro con un área pequeña es decir menor a 200 m<sup>2</sup> y presenta un 2% de pastos.

Las características de la forma de la masa desplazada es que la longitud es mayor que el ancho, y el estado de la masa es desintegrada en fragmentos, existe presencia de zonas húmedas y existe la presencia de pastos.

La superficie de la falla son las discontinuidades de la roca, la causa probable es el corte de la vía, exceso de agua en el talud y la disposición de las discontinuidades, el daño es evidente en la vía Loja-Zamora debido a la caída de rocas en esta; no presenta medidas de estabilización o control.

## **MOVIMIENTO Nº 5**

Ubicado en las coordenadas geográficas UTM:

**X= 713 364**

**Y= 9 560 776**

**Z= 1 816**

Se localiza en la parte central del área de Estudio específicamente al pie de la construcción (ECSF) con dirección S 60° E, posee una superficie aproximada de 3 300 m<sup>2</sup>, el espesor del cuerpo deslizado tiene como promedio 2.5 m lo que le da un volumen aproximado de 8 250m<sup>3</sup> y esto nos indica calibrarlo como de pequeña magnitud. La forma de la ladera es recta, se trata de un deslizamiento



traslacional superficial de tierra con una longitud de 48 m y con un ancho de la zona de aporte de 68 m. La actividad en la que se encuentra es activo con estilo múltiple.



**Figura 28.** Foto Deslizamiento Ubicado en la parte Central del Área de Estudio

El terreno del deslizamiento contiene una mínima cantidad de pastos y arbustos, el material que presenta el movimiento se compone de bloques de roca fragmentada en un 20%, tierra en un 50%, suelo en un 25% y 5% residuos vegetales.

Presenta un escarpe evidentemente claro que se encuentra al borde de la casa de la ECSF con un área pequeña menor a 200 m<sup>2</sup> y presenta vegetación arbustiva. La forma del escarpe es semicircular.

Las características de la masa desplazada es que la longitud es menor que el ancho, el estado de la masa es desintegrada en fragmentos, no presenta zonas húmedas y vegetación arbustiva.

La superficie de falla es el contacto y discontinuidades con la roca, la causa probable es el exceso de agua en periodos invernales y las cargas constructivas. El factor disparador se puede deber a las lluvias. Se puede ver afectadas las instalaciones de la ECSF, y posee estabilización como drenes y un sistema de bombeo de aguas freáticas.

#### 4.8. Caracterización Del Macizo Rocoso

La caracterización del macizo rocoso se la realizo tomando en cuenta la clasificación Geomecanica Rock Mars Rounting (RMR) de Bieniawski (1989) en el cual se ha cuantificado los valores de cada afloramiento para obtener las clasificaciones de tipo de roca según se lo expresa a continuación:

#### Clasificación Geomecanica Rmr (Bieniawski, 1989)

**Cuadro 19.** Datos geomecanicos del Afloramiento N 1

Item	Parámetros de clasificación	Valores
1	Resistencia de la roca	12
2	RQD (%)	13
3	Espaciado de las discontinuidades	10
4	Condición de las discontinuidades	13
5	Agua Subterránea	10
	<b>RMR</b>	<b>58</b>

RMR	Denominación	Clase
<b>58</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 20.** Datos geomecánicos Afloramiento N 2

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	12	
2	RQD (%)	8	
3	Espaciado de las discontinuidades	8	
4	Condición de las discontinuidades	13	
5	Agua Subterránea	10	
	<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>51</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 21.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 3

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	7	
2	RQD (%)	13	
3	Espaciado de las discontinuidades	10	
4	Condición de las discontinuidades	20	
5	Agua Subterránea	15	
	<b>TOTAL</b>	<b>65</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>65</b>	<b>Buena</b>	<b>II</b>

**Cuadro 22.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 4

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	4	
2	RQD (%)	13	
3	Espaciado de las discontinuidades	10	
4	Condición de las discontinuidades	20	
5	Agua Subterránea	15	
	<b>TOTAL</b>	<b>62</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>62</b>	<b>Buena</b>	<b>II</b>

**Cuadro 23.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 5

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	12	
2	RQD (%)	13	
3	Espaciado de las discontinuidades	10	
4	Condición de las discontinuidades	13	
5	Agua Subterránea	10	
	<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>58</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 24.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 6

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	4	
2	RQD (%)	8	
3	Espaciado de las discontinuidades	8	
4	Condición de las discontinuidades	16	
5	Agua Subterránea	15	
	<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>51</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 25.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 7

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	4	
2	RQD (%)	13	
3	Espaciado de las discontinuidades	9	
4	Condición de las discontinuidades	17	
5	Agua Subterránea	15	
	<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>58</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 26.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 8

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	15	
2	RQD (%)	17	
3	Espaciado de las discontinuidades	15	
4	Condición de las discontinuidades	12	
5	Agua Subterránea	13	
	<b>TOTAL</b>	<b>72</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>72</b>	<b>Buena</b>	<b>II</b>

**Cuadro 27.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 9

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	4	
2	RQD (%)	8	
3	Espaciado de las discontinuidades	8	
4	Condición de las discontinuidades	17	
5	Agua Subterránea	10	
	<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>47</b>	<b>Regular</b>	<b>IV</b>

**Cuadro 28.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 11

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	11	
2	RQD (%)	8	
3	Espaciado de las discontinuidades	8	
4	Condición de las discontinuidades	17	
5	Agua Subterránea	15	
	<b>TOTAL</b>	<b>59</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>59</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 29.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 12

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	12	
2	RQD (%)	8	
3	Espaciado de las discontinuidades	10	
4	Condición de las discontinuidades	17	
5	Agua Subterránea	10	
	<b>TOTAL</b>	<b>57</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>57</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 30.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 13

Ítem	Parámetros de clasificación			Valores
1	Resistencia de la roca			12
2	RQD (%)			13
3	Espaciado de las discontinuidades			8
4	Condición de las discontinuidades			13
5	Agua Subterránea			15
	TOTAL			61
	RMR	Denominación	Clase	
	<b>61</b>	<b>Buena</b>	<b>II</b>	

**Cuadro 31.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 14

Ítem	Parámetros de clasificación			Valores
1	Resistencia de la roca			4
2	RQD (%)			8
3	Espaciado de las discontinuidades			8
4	Condición de las discontinuidades			11
5	Agua Subterránea			15
	TOTAL			46
	RMR	Denominación	Clase	
	<b>46</b>	<b>mala</b>	<b>IV</b>	

**Cuadro 32.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 15

Ítem	Parámetros de clasificación			Valores
1	Resistencia de la roca			4
2	RQD (%)			13
3	Espaciado de las discontinuidades			8
4	Condición de las discontinuidades			11
5	Agua Subterránea			15
	TOTAL			51
	RMR	Denominación	Clase	
	<b>51</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>	

**Cuadro 33.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 16

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores
1	Resistencia de la roca	12
2	RQD (%)	13
3	Espaciado de las discontinuidades	8
4	Condición de las discontinuidades	13
5	Agua Subterránea	15
TOTAL		61
RMR	Denominación	Clase
<b>61</b>	<b>Regular a Buena</b>	<b>II</b>

**Cuadro 34.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 17

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores
1	Resistencia de la roca	4
2	RQD (%)	13
3	Espaciado de las discontinuidades	10
4	Condición de las discontinuidades	10
5	Agua Subterránea	10
TOTAL		47
RMR	Denominación	Clase
<b>47</b>	<b>mala</b>	<b>IV</b>

**Cuadro 35.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 18

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores
1	Resistencia de la roca	12
2	RQD (%)	13
3	Espaciado de las discontinuidades	10
4	Condición de las discontinuidades	15
5	Agua Subterránea	10
TOTAL		60
RMR	Denominación	Clase
<b>60</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 36.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 19

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	4	
2	RQD (%)	8	
3	Espaciado de las discontinuidades	10	
4	Condición de las discontinuidades	19	
5	Agua Subterránea	10	
	<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>51</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 37.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 20

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	7	
2	RQD (%)	13	
3	Espaciado de las discontinuidades	10	
4	Condición de las discontinuidades	19	
5	Agua Subterránea	15	
	<b>TOTAL</b>	<b>64</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>64</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 38.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 21

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	4	
2	RQD (%)	8	
3	Espaciado de las discontinuidades	10	
4	Condición de las discontinuidades	21	
5	Agua Subterránea	15	
	<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>58</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>



**Cuadro 39.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 22

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	7	
2	RQD (%)	13	
3	Espaciado de las discontinuidades	10	
4	Condición de las discontinuidades	19	
5	Agua Subterránea	15	
TOTAL		64	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>64</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 40.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 23

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	7	
2	RQD (%)	13	
3	Espaciado de las discontinuidades	10	
4	Condición de las discontinuidades	11	
5	Agua Subterránea	15	
TOTAL		56	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>56</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 41.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 24

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	7	
2	RQD (%)	17	
3	Espaciado de las discontinuidades	8	
4	Condición de las discontinuidades	14	
5	Agua Subterránea	15	
TOTAL		61	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>61</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

**Cuadro 42.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 25

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	4	
2	RQD (%)	13	
3	Espaciado de las discontinuidades	8	
4	Condición de las discontinuidades	13	
5	Agua Subterránea	10	
TOTAL		48	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>48</b>	<b>Mala</b>	<b>IV</b>

**Cuadro 43.** Datos geomecánicos del Afloramiento N 26

Ítem	Parámetros de clasificación	Valores	
1	Resistencia de la roca	12	
2	RQD (%)	13	
3	Espaciado de las discontinuidades	8	
4	Condición de las discontinuidades	13	
5	Agua Subterránea	15	
TOTAL		61	
	RMR	Denominación	Clase
	<b>61</b>	<b>Regular</b>	<b>III</b>

A esta descripción de la roca que se dio en afloramientos, se puede decir que la calidad de roca en superficie es Regular de clase III, la que abarca más del 70% en el área de estudio (Véase el Mapa N 6, Mapa Geotécnico) y lo conforman las rocas metamórficas fracturadas a muy fracturadas, la clase II son rocas de mediana fracturación que abarcan una pequeña extensión, y por último están la clase IV calificadas a las rocas metamórficas extremadamente fracturadas y muy meteorizadas conformando además suelo residuales y coluviales. A continuación se detalla en la siguiente tabla:

**Cuadro 44.** Clasificación Geomecánica del área de estudio según Bieniaswski

Clase	Tipo	Área (ha)
II	Buena	11.9411596
III	Regular	73.9559275
IV	Mala	16.1735145
		102.070602

#### 4.9. Análisis Cinemático De Taludes

El análisis de cinemática presentado es en base a los afloramientos del área que presentan un considerable talud, los que representan los materiales existentes y sus principales estructuras.

A partir de los ensayos de resistencia al corte en laboratorio se toma como promedio al ángulo de fricción  $\phi = 29^\circ$ , con el cual se trabajó en la presente evaluación.

##### Afloramiento 1

a) Los valores obtenidos en la intersección de set 2-3 son:

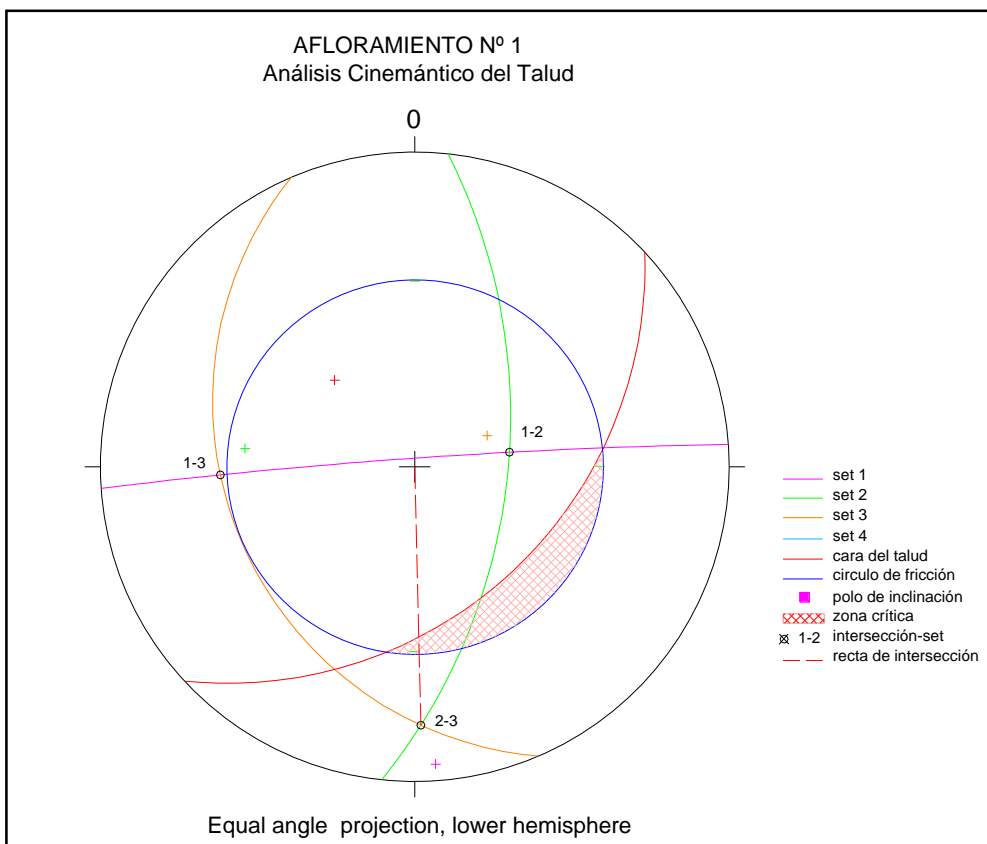


Figura 29. Análisis Cinemático del Afloramiento n 1

$$\Psi_f = 33^\circ$$

$$\Psi_i = 11^\circ$$

$$\phi = 29^\circ$$

b) El análisis pasa la prueba cinemática al no cumplirse  $\Psi_f > \Psi_i > \phi$ , por lo tanto son bajas las posibilidades de deslizamientos en el talud.

- c) La intersección de set 2-3 no presentan problemas de deslizamiento porque se encuentran fuera de la zona crítica, pero existe la posibilidad de fallas por volcamiento con una dirección de  $179^\circ$ .

### Afloramiento 2

- a) Los valores obtenidos en la intersección de set son:

Intersección 1-2

Intersección 2-4

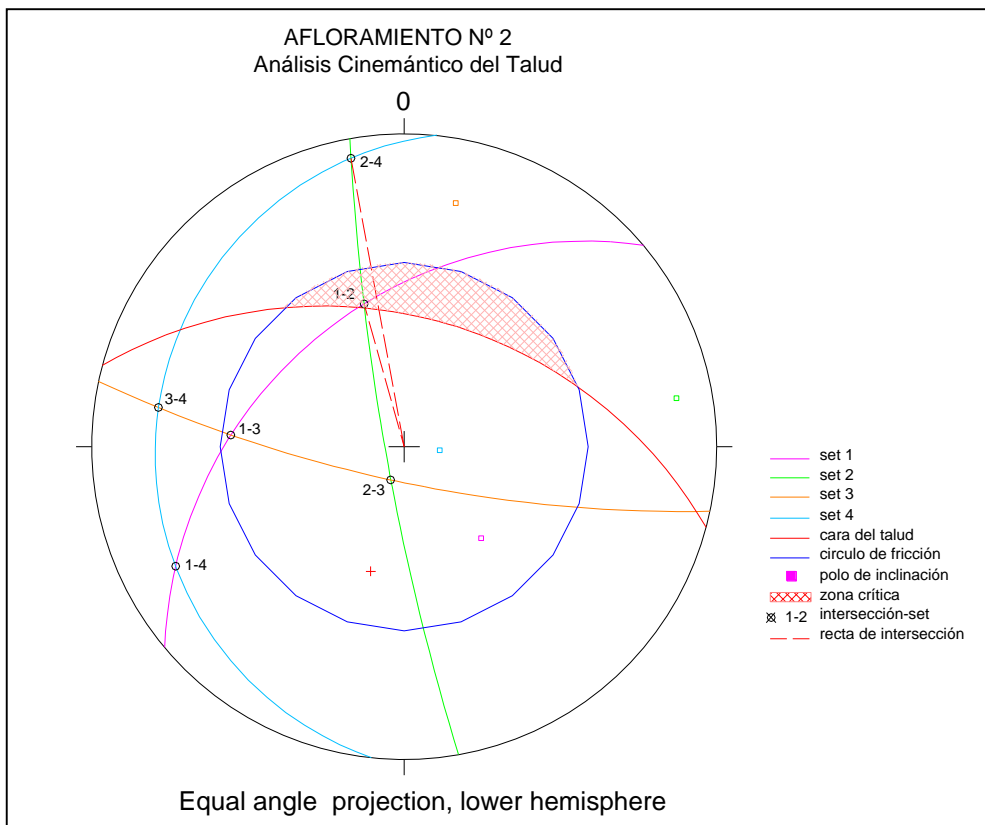


Figura 30. Análisis Cinemático del Afloramiento n 2

$$\Psi_f = 40^\circ$$

$$\Psi_f = 42^\circ$$

$$\Psi_i = 39^\circ$$

$$\Psi_i = 3.5^\circ$$

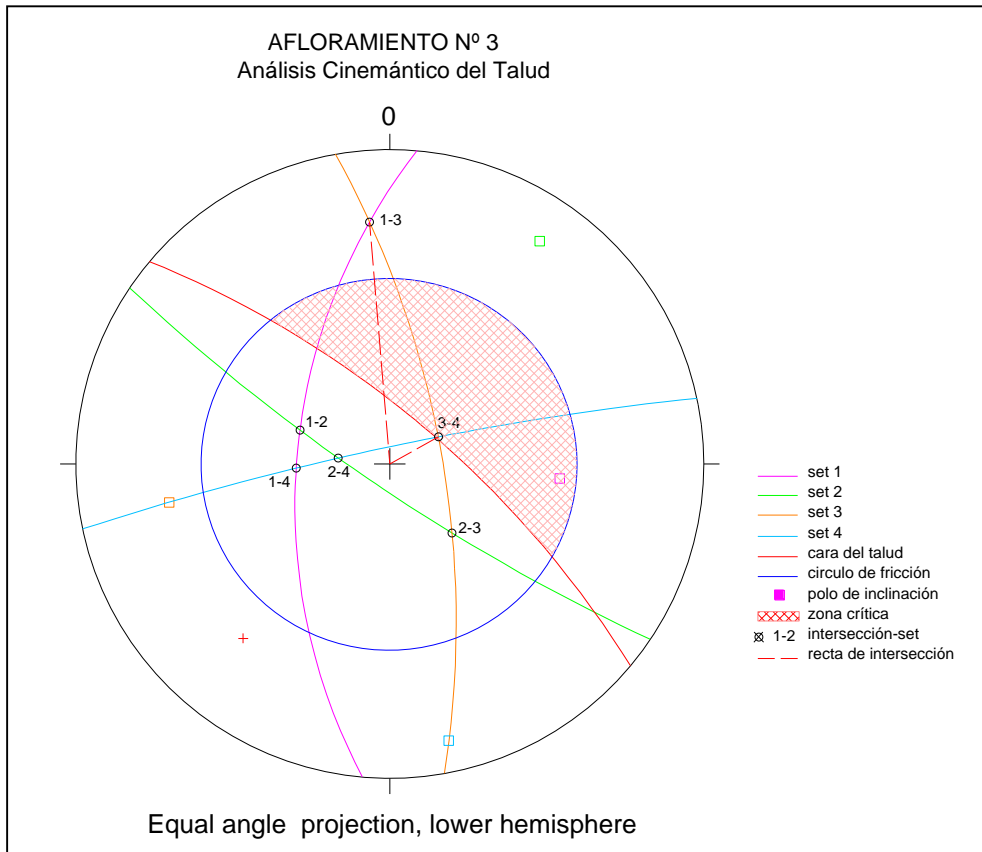
$$\varphi = 29^\circ$$

$$\varphi = 29^\circ$$

- b) El análisis del punto de intersección 1-2 se ubica dentro de la zona crítica y no pasa la prueba cinemática al cumplirse la expresión  $\Psi_f > \Psi_i > \varphi$ . Por lo tanto son las discontinuidades más peligrosas de las cuales puede ocurrir deslizamiento con una dirección de  $344^\circ$ .

- c) La intersección de set 2-4 no presentan problemas de deslizamiento porque se encuentran fuera de la zona crítica, pero existe la posibilidad de fallas por volcamiento.
- d) Las intersecciones 1-3, 1-4, 2-3 y 3-4 se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

**Afloramiento 3**



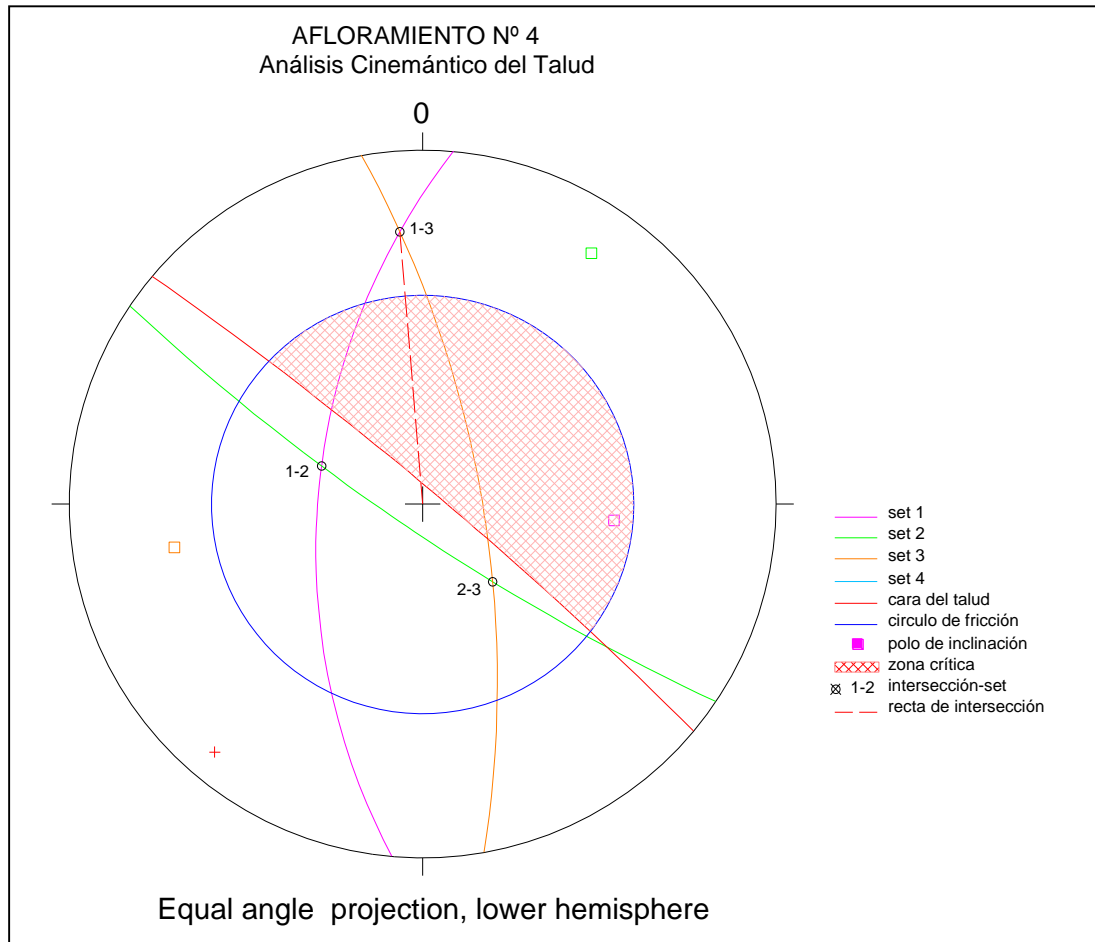
**Figura 31.** Análisis Cinemático del Afloramiento n 3

- a) Los valores obtenidos en la intersección de set son:
 

Intersección 1-3	Intersección 3-4
$\Psi_f = 65^\circ$	$\Psi_f = 70.7^\circ$
$\Psi_i = 14.6^\circ$	$\Psi_i = 69.6^\circ$
$\varphi = 29^\circ$	$\varphi = 29^\circ$
- b) El análisis del punto de intersección 3-4 se ubica dentro de la zona crítica y no pasa la prueba cinemática al cumplirse la expresión  $\Psi_f > \Psi_i > \varphi$ . Por lo tanto son las discontinuidades más peligrosas de las cuales puede ocurrir deslizamiento con una dirección de  $60^\circ$ .

- c) La intersección de set 1-3 no presentan problemas de deslizamiento porque se encuentran fuera de la zona crítica, pero existe la posibilidad de fallas por volcamiento.
- d) Las intersecciones 1-2, 1-4, 2-3 y 2-4 se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

**Afloramiento 4**

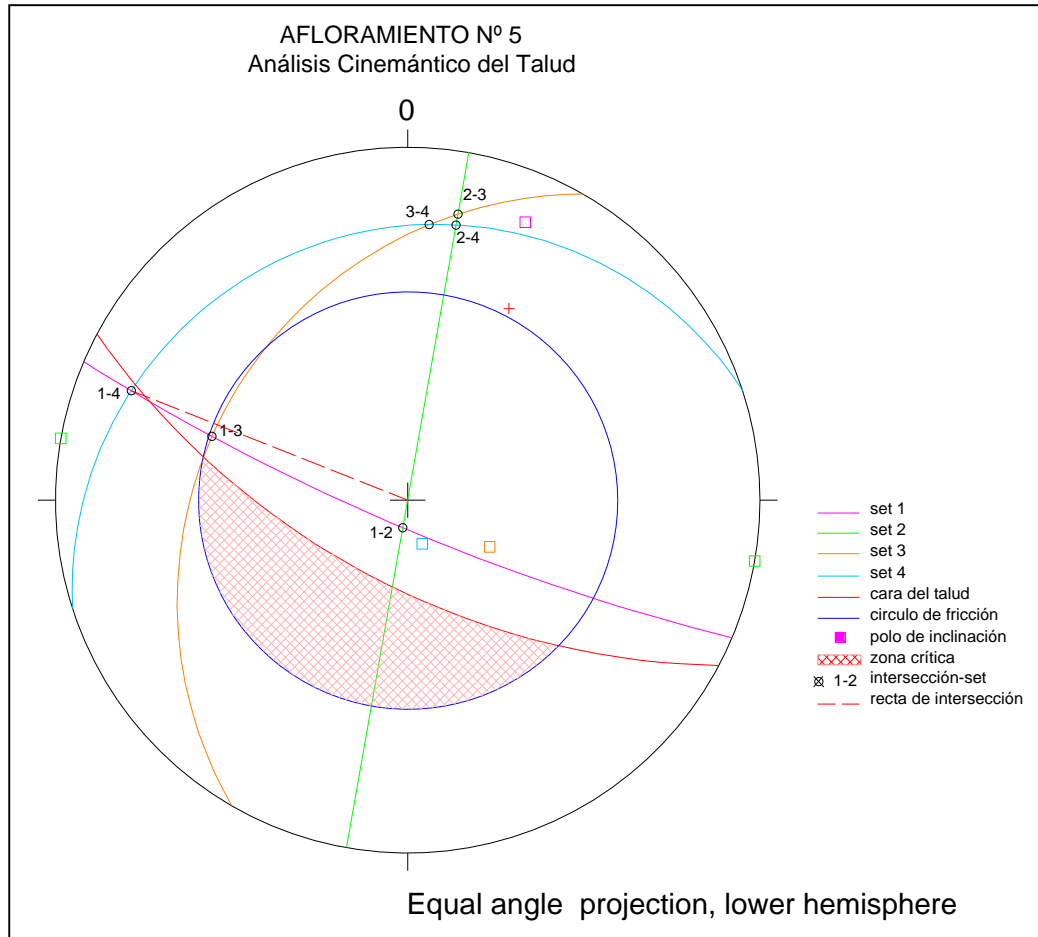


**Figura 32.** Análisis Cinemático del Afloramiento n 4

- a) Los valores obtenidos en la intersección de set 1-3 son:
  - $\Psi_f = 83^\circ$
  - $\Psi_i = 14.6^\circ$
  - $\varphi = 29^\circ$
- b) El análisis del punto de intersección de los set 1-3 pasa la prueba cinemática al no cumplirse  $\Psi_f > \Psi_i > \varphi$ , por lo tanto son bajas las posibilidades de deslizamientos en el talud.

- c) La intersección de set 1-3 no presentan problemas de deslizamiento porque se encuentran fuera de la zona crítica, pero existe la posibilidad de fallas por volcamiento con una dirección de 355°.

### Afloramiento 5

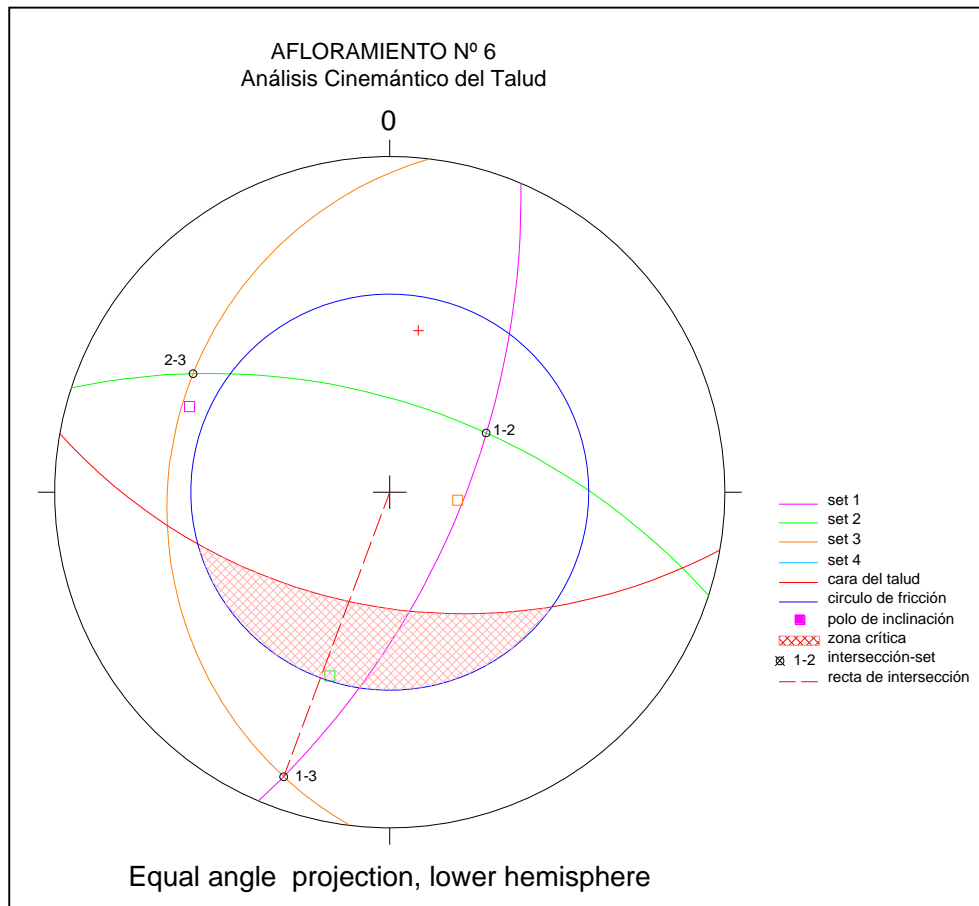


**Figura 33** Análisis Cinemático del Afloramiento n 5

- a) Los valores obtenidos en la intersección de set 1-4 son:
- $$\Psi_f = 12.4^\circ$$
- $$\Psi_i = 9.5^\circ$$
- $$\varphi = 29^\circ$$
- b) El análisis del punto de intersección de los set 1-4 pasa la prueba cinemática al no cumplirse  $\Psi_f > \Psi_i > \varphi$ , por lo tanto son bajas las posibilidades de deslizamientos en el talud.

- c) La intersección de set 1-4 no presentan problemas de deslizamiento porque se encuentran fuera de la zona crítica, pero existe la posibilidad de fallas por volcamiento con una dirección de 292°.
- d) Las intersecciones 1-2, 1-3, 2-3, 2-4 y 3-4 se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

### Afloramiento 6



**Figura 34** Análisis Cinemático del Afloramiento n 6

- e) Los valores obtenidos en la intersección de set 1-3 son:

$$\Psi_f = 51^\circ$$

$$\Psi_i = 5.7^\circ$$

$$\varphi = 29^\circ$$



- f) El análisis del punto de intersección de los set 1-3 pasa la prueba cinemática al no cumplirse  $\Psi_f > \Psi_i > \phi$ , por lo tanto son bajas las posibilidades de deslizamientos en el talud.
- g) La intersección de set 1-3 no presentan problemas de deslizamiento porque se encuentran fuera de la zona crítica, pero existe la posibilidad de fallas por volcamiento con una dirección de  $201^\circ$ .
- h) Las intersecciones 1-2, y 2-3, se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

### Afloramiento 7

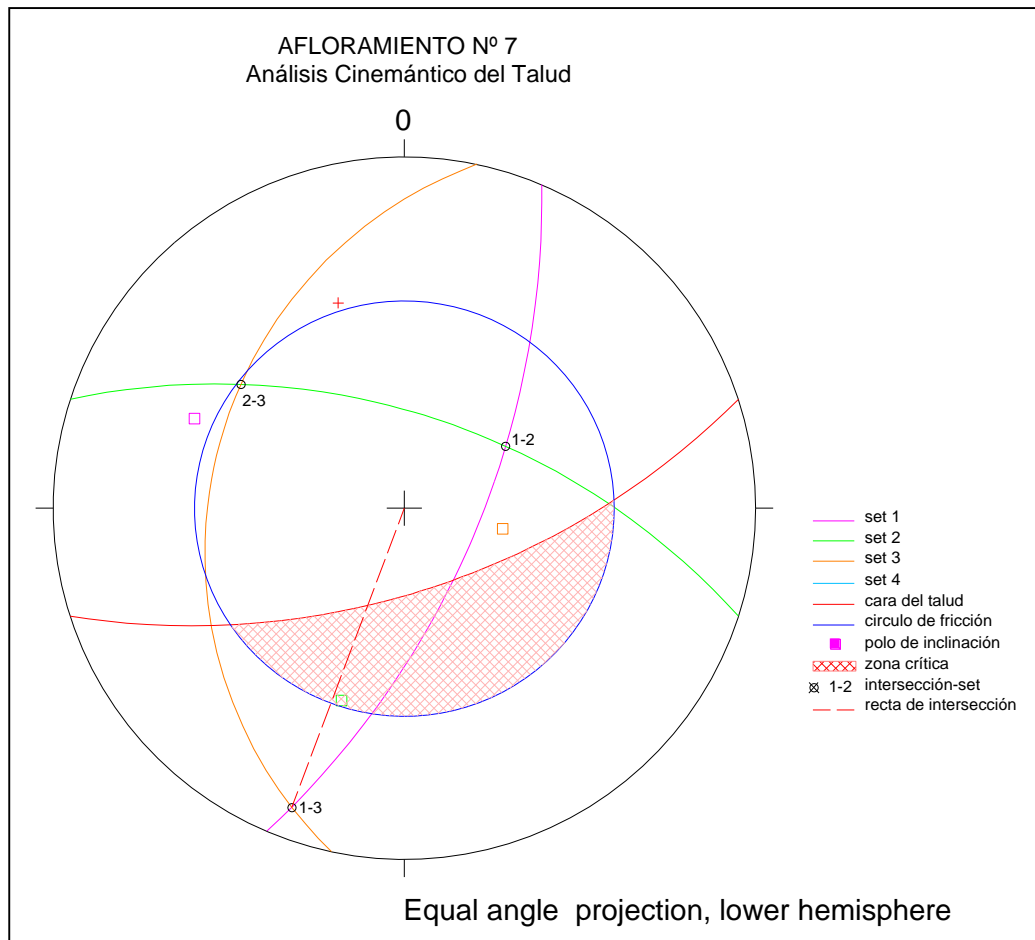
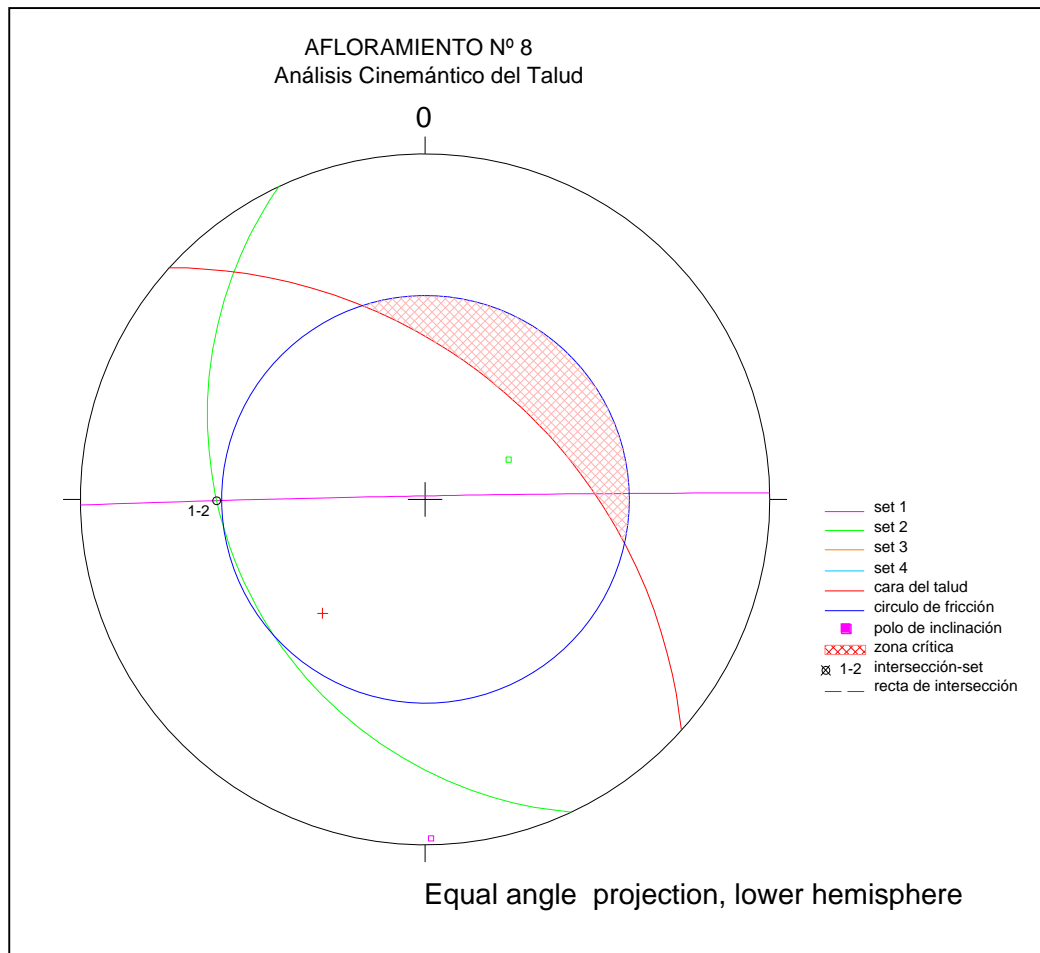


Figura 35. Análisis Cinemático del Afloramiento n 7

- a) Los valores obtenidos en la intersección de set 1-3 son:
  - $\Psi_f = 57^\circ$
  - $\Psi_i = 5.4^\circ$
  - $\phi = 29^\circ$

- b) El análisis del punto de intersección de los set 1-3 pasa la prueba cinemática al no cumplirse  $\Psi_f > \Psi_i > \varphi$ , por lo tanto son bajas las posibilidades de deslizamientos en el talud.
- c) La intersección de set 1-3 no presentan problemas de deslizamiento porque se encuentran fuera de la zona crítica, pero existe la posibilidad de fallas por volcamiento con una dirección de  $201^\circ$ .
- d) Las intersecciones 1-2, y 2-3, se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

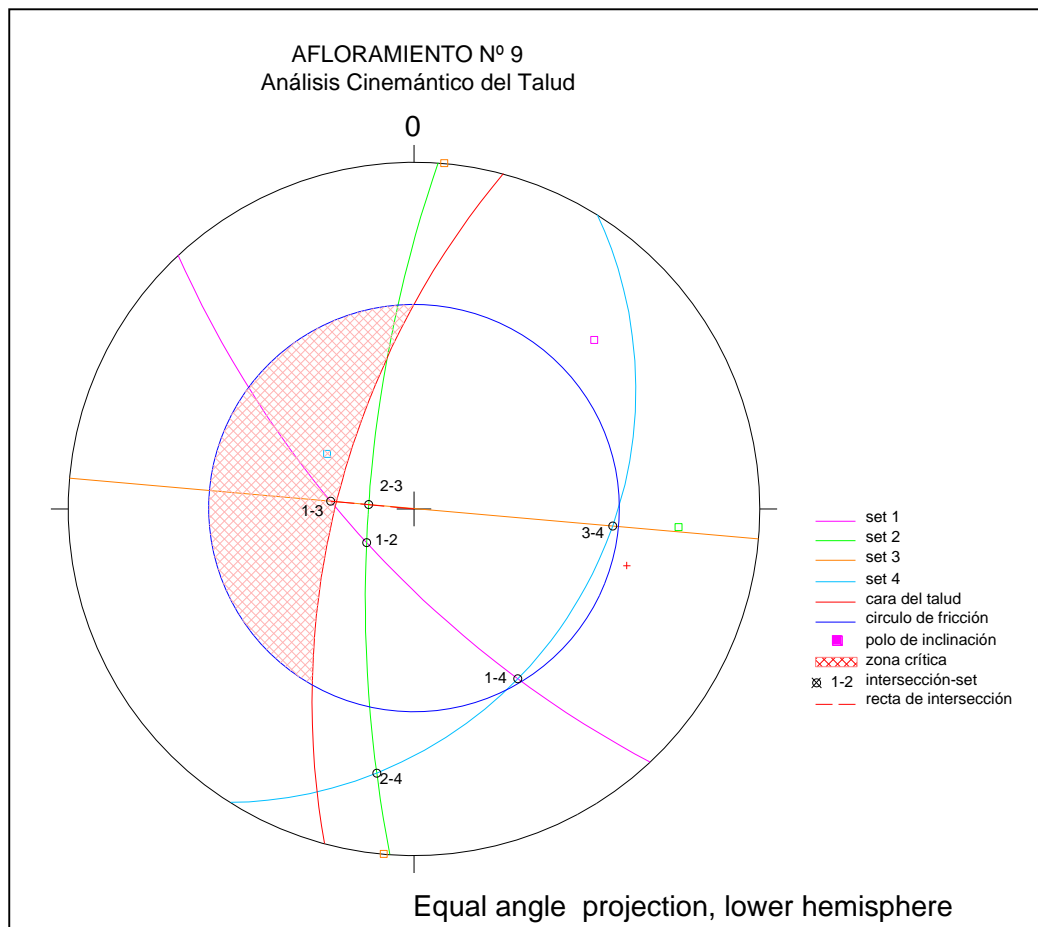
**Afloramiento 8**



**Figura 36.** Análisis Cinemático del Afloramiento n 8

- a) La intersección 1-2, se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

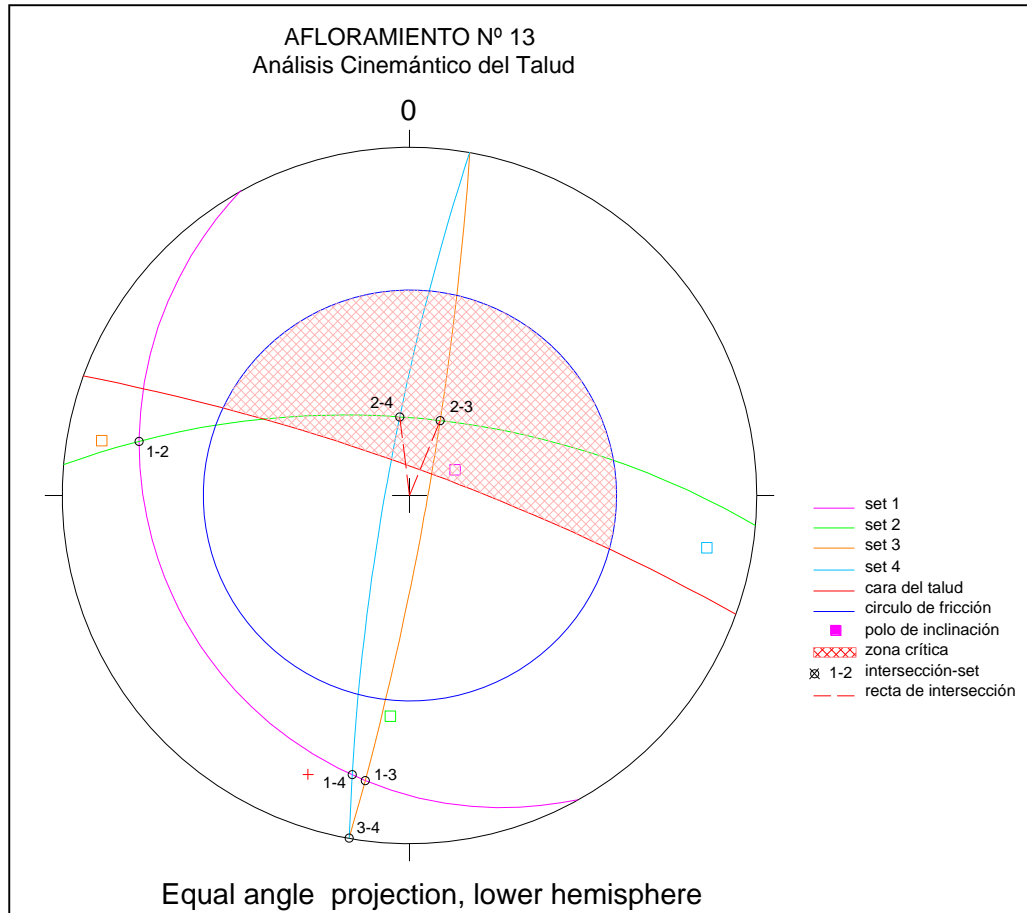
## Afloramiento 9



**Figura 37.** Análisis Cinemático del Afloramiento n 9

- a) Los valores obtenidos en la intersección de set 1-3 son:
- $\Psi_f = 65^\circ$
- $\Psi_i = 62^\circ$
- $\varphi = 29^\circ$
- b) El análisis del punto de intersección 1-3 se ubica dentro de la zona crítica y no pasa la prueba cinemática al cumplirse la expresión  $\Psi_f > \Psi_i > \varphi$ . Por lo tanto son las discontinuidades más peligrosas de las cuales puede ocurrir deslizamiento con una dirección de  $276^\circ$ .
- c) Las intersecciones 1-2, 1-4, 2-3, 2-4 y 3-4 se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

## Afloramiento 13



**Figura 38.** Análisis Cinemático del Afloramiento n 13

a) Los valores obtenidos en la intersección de set son:

Intersección 2-3

$$\Psi_f = 81^\circ$$

$$\Psi_i = 64^\circ$$

$$\varphi = 29^\circ$$

Intersección 2-4

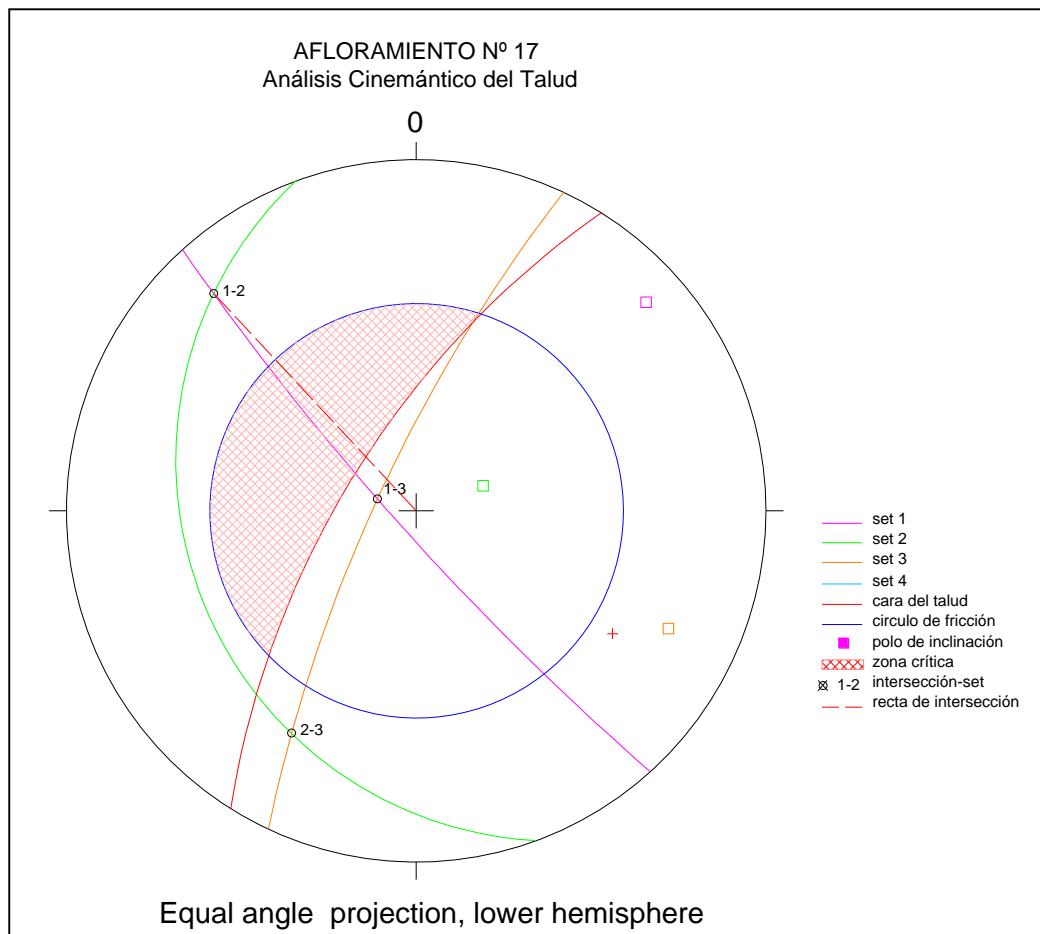
$$\Psi_f = 80^\circ$$

$$\Psi_i = 64^\circ$$

$$\varphi = 29^\circ$$

- b) El análisis de los puntos de intersección 2-3 y 2-4 se ubican dentro de la zona crítica y no pasan la prueba cinemática al cumplirse la expresión  $\Psi_f > \Psi_i > \varphi$ . Por lo tanto son las discontinuidades más peligrosas de las cuales puede ocurrir deslizamiento; en 2-3 con una dirección de  $21^\circ$  y en 2-4 con dirección de  $354^\circ$ .
- c) Las intersecciones 1-2, 1-3, 1-4 y 3-4 se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

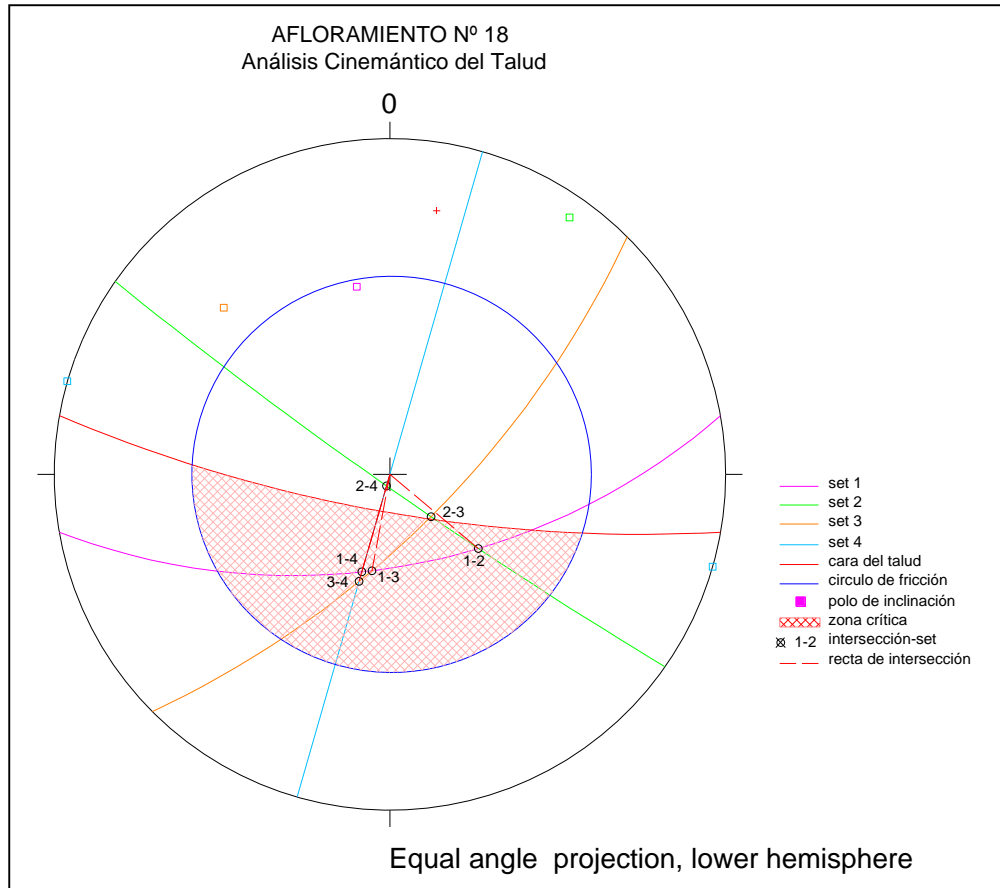
## Afloramiento 17



**Figura 39.** Análisis Cinemático del Afloramiento n 17

- a) Los valores obtenidos en la intersección de set 1-2 son:
  - $\Psi_f = 66^\circ$
  - $\Psi_i = 9.6^\circ$
  - $\phi = 29^\circ$
- b) El análisis del punto de intersección de los set 1-2 pasa la prueba cinemática al no cumplirse  $\Psi_f > \Psi_i > \phi$ , por lo tanto son bajas las posibilidades de deslizamientos en el talud.
- c) La intersección de set 1-2 no presentan problemas de deslizamiento porque se encuentran fuera de la zona crítica, pero existe la posibilidad de fallas por volcamiento con una dirección de  $317^\circ$ .
- d) Las intersecciones 1-3, y 2-3, se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

## Afloramiento 18



**Figura 40.** Análisis Cinemático del Afloramiento n 18

a) Los valores obtenidos en la intersección de set son:

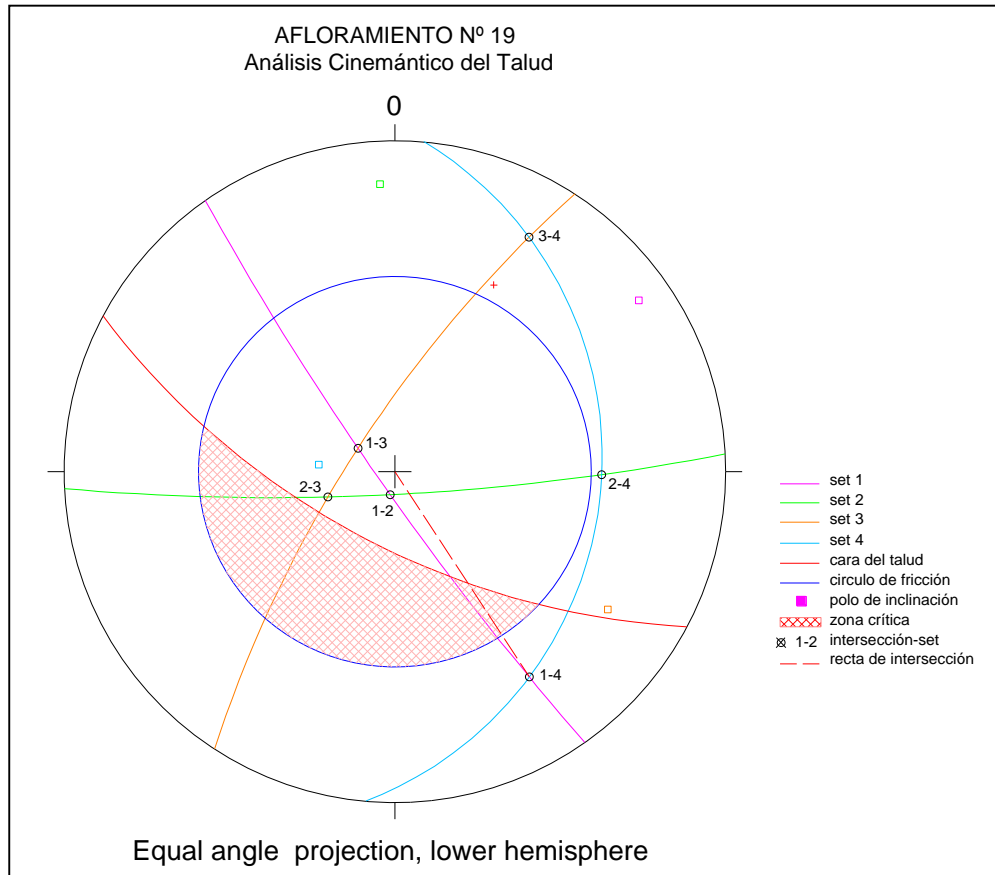
Intersección 1-2	Intersección 1-3	Intersección 1-4	Intersección 3-4
$\Psi_f = 68.5^\circ$	$\Psi_f = 77.4^\circ$	$\Psi_f = 77.4^\circ$	$\Psi_f = 77.4^\circ$
$\Psi_i = 52.4^\circ$	$\Psi_i = 57.7^\circ$	$\Psi_i = 56^\circ$	$\Psi_i = 53^\circ$
$\varphi = 29^\circ$	$\varphi = 29^\circ$	$\varphi = 29^\circ$	$\varphi = 29^\circ$

b) El análisis de los puntos de intersección 1-2, 1-3, 1-4 y 3-4 se ubican dentro de la zona crítica y no pasan la prueba cinemática al cumplirse la expresión  $\Psi_f > \Psi_i > \varphi$ . Por lo tanto son las discontinuidades más peligrosas de las cuales puede ocurrir deslizamiento en:

1-2	hacia $131^\circ$
1-3	hacia $190^\circ$
1-4	hacia $197^\circ$
3-4	hacia $196^\circ$

- c) Las intersecciones 2-3 y 2-4 se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

### Afloramiento 19



**Figura 41.** Análisis Cinemático del Afloramiento n 19

- i) Los valores obtenidos en la intersección de set 1-4 son:
- $\Psi_f = 46.3^\circ$
- $\Psi_i = 16.8^\circ$
- $\varphi = 29^\circ$
- j) El análisis del punto de intersección de los set 1-4 pasa la prueba cinemática al no cumplirse  $\Psi_f > \Psi_i > \varphi$ , por lo tanto son bajas las posibilidades de deslizamientos en el talud.
- k) La intersección de set 1-4 no presentan problemas de deslizamiento porque se encuentran fuera de la zona crítica, pero existe la posibilidad de fallas por volcamiento con una dirección de  $147^\circ$ .
- l) Las intersecciones 1-2, 1-3, 2-3, 2-4 y 3-4 se ubican fuera de la zona crítica y no presentan problemas de inestabilidad.

#### 4.10. Susceptibilidad

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos indica la susceptibilidad relativa del terreno a sufrir un deslizamiento. Solamente contiene un componente espacial.

Este mapa se determinó especificando y reclasificando los campos de las variables que intervienen en la determinación de las categorías de susceptibilidad, estos son: litología (tipos de rocas), morfometría (pendientes), geomorfología, cobertura vegetal (fisionomía de la vegetación), geotecnia, a cada uno de estos campos les corresponde una columna donde se determinarán los pesos relativos previamente establecidos. A continuación se muestran en las tablas siguientes los pesos utilizados.

##### 4.10.1. Pesos utilizados para los diferentes tipos de mapas

**Cuadro 45.** Pesos para Movimientos en Masa

Mov. De Masa (Por Tipo)	Pesos
Caída de Roca	5
Deslizamiento	4

**Cuadro 46.** Pesos de la variable Pendientes

Categorías	Clases	Pesos
Muy baja	0-15%	1
Baja	15-30%	2
Mediana	30-50%	3
Alta	50-100%	4
Muy Alta	>100%	5



**Cuadro 47.** Pesos de la variable Geomorfología

<b>Geomorfología</b>	<b>Peso asignado</b>
Abanico Coluvio aluvial	5
Cauce de río	1
Laderas	4
Laderas Inferiores	2
Superficies planas-Plataformas	1

**Cuadro 48.** Pesos de la variable Geología

<b>Geología</b>	<b>Peso</b>
Coluviales	5
Pizarras	4
Filitas	3
Cuarcitas	1

**Cuadro 49.** Pesos de la variable Geotecnia

<b>Geotecnia</b>	<b>Peso</b>
Buena	2
Media	3
Muy Mala	5

**Cuadro 50.** Pesos de la variable Cobertura y Uso

<b>Cobertura Vegetal</b>	<b>Peso</b>
Área Erosionada	5
Matorral	3
Bosque Natural	1
Bosque intervenido	1
Pastizal	4
Complejo Pastizal-Matorral	4
Complejo Pastizal-Plantación	2
Cauce de Río	1

#### **4.10.2. Mapa de Susceptibilidad**

Obtenidos los mapas de las variables antes indicadas se viene a efectuar un cruce entre ellos mediante el calculador de mapas.

Se debe entender que la susceptibilidad generalmente expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.

El índice de susceptibilidad a movimientos de masa, se expresa a través de la siguiente relación:

$$\text{Susceptibilidad} = M + L + F + G + T + P$$

donde:

M = Valor de la Variable Movimientos de Masa

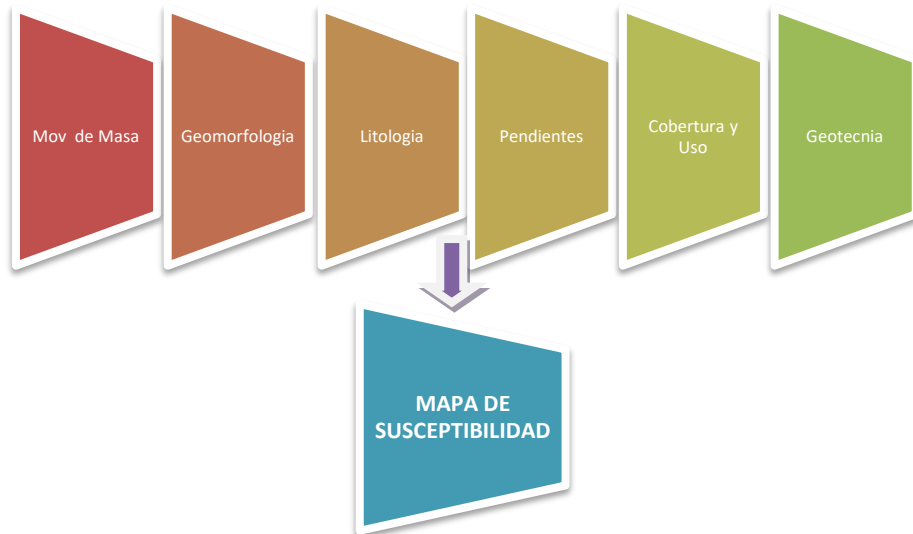
L = Valor de la variable litológica (Geología)

F = Valor de la variable Cobertura Vegetal.

G=Valor de la variable Geomorfología

T=Valor de la variable Geotecnia

P= Valor de la variable pendiente



.Figura 42. Uso de SIG para combinación de mapas

En dicho cruce se utilizaron ponderadores para cada variable: Movimientos de masa 25%, Geomorfología 5%, Litología 10%, Pendientes 25%, Cobertura y uso 30% y Geotecnia 5%.

Estos ponderadores fueron utilizados por la importancia a la susceptibilidad, pero se visualizó y análisis según al tipo y características

del terreno encontrado, donde a criterio del autor, por ser parte de un área protegida y según los mapas expuestos se valora con un porcentaje más alto a la cobertura y uso de suelo, luego se tomo en cuenta las pendientes debido a que el área se encuentra en un terreno muy escarpado y goza de pendientes muy elevadas, y por último se ha distribuido para la litología, geotecnia, geomorfología en un porcentaje equitativo debido al relieve, tipo, disposición de discontinuidades.

Con estos criterios el cruce de los mapas da como resultado las 5 categorías de susceptibilidad a movimientos en masa:

**Cuadro 51** categorías de susceptibilidad a movimientos en masa

Clases	Código
<b>Muy Bajo</b>	1
<b>Bajo</b>	2
<b>Medio (moderado)</b>	3
<b>Alto</b>	4
<b>Muy Alto</b>	5

El cuadro resultante de este cruce permite encontrar las siguientes áreas: (Véase el Mapa N 9, Mapa de Susceptibilidad)

**Cuadro 52** Áreas de susceptibilidad a movimientos en masa

Susceptibilidad	Área m <sup>2</sup>	Área (ha)	% Área
Muy bajo	42216	4,22	4,16
Bajo	342116	34,21	33,72
Moderado	302180	30,21	29,7
Alto	293884	29,38	28,91
Muy alto	35408	3,54	3,51
Total	1015804	101,56	100

## 5. DISCUSIÓN

Como primer análisis se destaca la geología del sector; las rocas metamórficas se originaron en un ambiente marino (de lo cual no se encontró evidencia durante el desarrollo del presente), pero es muy claro que después de su depositación, se litificarón formando rocas sedimentarias, evidencia que es clara en la granulometría, mineralogía y la intercalación de pizarras, filitas, cuarcitas y algunos esquistos; estos parámetros y datos geológicos también son remarcadas en la leyenda de la carta geológica del IGM 1974.

Estructuralmente el área está regida por las fallas y la principal es marcada por el río San Francisco, formando en cada uno de sus lados homoclinales con un mismo rumbo NE a SW pero diferente foliación. La parte superior de la división del río San Francisco la foliación de las rocas es hacia el NW y la parte inferior la foliación de las rocas es hacia el SE, por lo que se habla de inclinaciones contrarias de la esquistosidad de los metamórfico debido a la falla del río San Francisco que cruza la zona del SW al NE. También se puede notar que la foliación en las rocas es prácticamente vertical en las partes que están junto al las fallas y forman medianos plegamiento en las zonas de influencia las fallas. Así mismo las diaclasas se deben a estas grandes presiones y se acentúan cerca de las fallas.

En el área de influencia directa de la Estación Científica San Francisco siempre ha ocurrido movimientos de Masa, a lo largo de la vía Loja Zamora, ya que han sido inventariados desde tiempos atrás (Tesis de Stoyan, 2002), pero ahora estos deslizamientos se han estabilizado a través de diferentes mecanismos de control y otros de una forma natural ajustándose al relieve del terreno.

La obtención de zonas de susceptibilidad a movimientos en masa permite la implementación de medidas de control las cuales están destinadas a estabilizar las zonas de mayor susceptibilidad, se debe tomar en cuenta el análisis adicional de los factores desencadenantes que puedan contribuir a la inestabilidad de las zonas. Las lluvias, la temperatura, se constituyen como el principal problema o factor gatillo para que se produzcan movimientos en masa, adicional a esto se suma las altas pendientes, y la ausencia de cobertura vegetal en estas zonas, las cuales provocan que el terreno sea más propenso al apareamiento de movimientos en masa.

Al analizar la orientación de la foliación de las rocas con la orientación de la inclinación de las pendientes, se considera que son contrarias. Tomando en cuenta la división estructural por el río San Francisco, donde la foliación es NW la inclinación de las pendiente es SE y cuando la foliación es SE, la inclinación de las pendientes es NW; esto quiere decir que cuando se tiene en el terreno esta relación de foliación y pendiente es favorable para la estabilidad de taludes, (Véase Mapa N 5, Mapa Geológico).

Por otro lado en la parte superior de la falla principal, la foliación ante las pendientes orientadas hacia el Sur, NE y SW son desfavorables para la estabilidad de los taludes, y se evidencia la inestabilidad de los taludes a lo largo de la vía. Y la superficie ubicada en la parte inferior de la falla, la foliación & las pendientes orientadas al Norte, NE y SW son desfavorables para la estabilidad de los taludes, es por ello que en el área de estudio existen movimientos de masa de tipo caída de rocas ya que las pendientes en el sector son > al 100% lo que quiere decir que el terreno es muy escarpado.

Para determinar la meteorización química que se produce el área, compare la mineralogía de las rocas metamórficas y la mineralogía de estas rocas ya meteorizadas o que tengan un cierto grado de meteorización y se aprecie lo siguiente:

- En las filitas, pizarras y esquistos contienen un porcentaje considerable de micas (muscovita y biotita).
- En las mismas rocas ya con niveles de meteorización se observó sericita.
- Mientras mayor es la meteorización, mayor es el porcentaje de contenido de sericita y el contenido de micas es menor.

A partir de estos tres puntos la investigación se determinó que la sericita es el producto de la muscovita hidratada. Por lo tanto la gran cantidad de agua que se filtra por las diaclasas y fisuras satura las rocas y al ponerse en contacto con la muscovita se produce la hidratación, que es un proceso de la meteorización química.

La sericita es un mineral de baja resistencia que se disgrega en los dedos y de consistencia arcillosa o cerosa, que en grandes cantidades sería un factor importante a la producción de movimientos en masa.

En las inmediaciones de la Estación Científica San Francisco existe un deslizamiento, el cual ha sido controlado mediante un sistema de canales que actúan a profundidad de los mismos tomando en cuenta los parámetros meteorológicos, hidrológicos e hidrogeológicos de la zona, con el fin de desviar rápidamente volúmenes considerables de agua lluvia hacia los drenajes naturales y con esto bajar la profundidad del nivel freático en la zona.

## 6. CONCLUSIONES

- Geológicamente el área de estudio se encuentra dentro de la Formación Chiguinda de edad Paleozoica, donde litológicamente se pueden distinguir la presencia de Filitas con potencias que van en el orden de metros; intercaladas con cuarcitas, pizarras y esquistos.
- La orientación predominante de las foliaciones en el área tienen un rumbo S – SW a N – NE y foliando al NW con ángulos de 13° a 85°, esta variación de inclinación se debe al proceso de metamorfismo y la tectónica ocurrida en el sector.
- Del análisis de cinemática se toma en cuenta las diaclasas de las rocas y la resistencia al corte (ángulo de fricción), por lo que hay que tener en cuenta que los procesos físicos y químicos que provocan los movimientos no son considerados en este tipo de análisis.
- La vegetación predominante en el área de estudio son los Bosques con más del 30% del total del área, debido a que el área de estudio se encuentra en un área protegida y con fines de investigación científica sobre los hábitats que sobreviven en este y sobre los diferentes tipos de cobertura existentes. Existe un 26,4% ocupado por Matorrales; un 18,29% del total del área ocupado por una Zona de pastizales; un 15,84% ocupada por un Complejo de plantaciones de Pino y pastizal; un 5.27% ocupado por Matorrales y Pastizales y el restante, es decir el 4.2% lo ocupan las zonas erosionadas.

- Dentro del área de estudio existen zonas con pendientes que van de Alta - Muy Alta, mismas que son más propensas para la ocurrencia de Movimientos en Masa, ya que por efectos de gravedad contribuyen a la inestabilidad del terreno, estas zonas ocupan el 72.89% del total del área de estudio obteniendo como resultado un terreno muy escarpado, el porcentaje restante, es decir el 27.11% corresponde a zonas de pendientes de Media a Muy baja.
  
- El área de estudio se caracteriza por la presencia de Zonas poco susceptibles a Movimientos en Masa, con aproximadamente el 96,74% del total del área, donde las condiciones del terreno son poco favorables para mantener la estabilidad del mismo; el porcentaje restante, es decir, el 3,26% corresponde a Zonas Susceptibles a Movimientos en Masa, donde las condiciones son favorables para que se produzcan estos fenómenos.
  
- Con los factores condicionantes, se obtuvo un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa mediante el sistema de información geográfica (SIG), aplicando el ArcView 9.2. en el presente estudio, el análisis de susceptibilidad nos determinó que la zona de mayor susceptibilidad a movimientos en masa se localizan, alrededor de la Vía Loja Zamora y en donde se ubican los deslizamientos actuales de acuerdo a su litología, geomorfología, geotecnia, pendientes y cobertura Vegetal.



## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un estudio más detallado sobre las fallas geológicas existentes en el lugar, en donde se determine los contactos de la falla, con el fin de llegar a conocer de qué forma han sido desplazadas los bloques y definir a qué tipo de falla pertenecen.
- Continuar con los estudios complementarios, donde intervengan los factores desencadenantes para así llegar a obtener el estudio de Amenaza y Vulnerabilidad, con la finalidad de establecer un correcto estudio para prevención de riesgos geológicos.
- Los movimientos en masa que se han definido en el área de estudio deben ser actualizados de forma permanente sobre la base creada para este estudio en con la finalidad de mantenerlos plenamente identificados de forma espacial y temporal, ya que en todos los tiempos se han venido dando este tipo de fenómenos y pueden ocasionar afectaciones a la infraestructura de la Estación Científica, así como también a los canales de Agua para la hidroeléctrica San Ramón.
- Planificar un estudio a detalle de carácter geotécnico de los diferentes movimientos en masa, para diseñar las medidas de Estabilización y control.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

### Libros

BENITEZ, Stalin. Curso de Estratigrafía y Sedimentación. Universidad Técnica Particular de Loja, 2000. Pp. 6, 7, 25.

BLANCO, Roberto. Mecánica de Rocas. Santiago de Cuba. Editorial Oriente. 1981. Pp. 7-20.

DANA, S. Edward y FORD, E. William. "Tratado de Mineralogía". Cuarta Edición en Ingles. Traducida por Alberto Berumen. Impreso en México. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. 1985. Pp. 719

DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS (DGGM) 1979. "Hoja Geológica Zamora (77)". Escala 1:100,000.

DUQUE, P. "Léxico Estratigráfico del Ecuador". CODIGEM. 2000.

ESCOBAR, J. Álvaro. Manual de Campo-Ingeniería Geológica. Santafé de Bogotá-Colombia, 1992.

GAVILANES, J. Hernán y ANDRADE, H. Byron. "Introducción a la Ingeniería de Túneles" Caracterización, clasificación y Análisis Geomecánica de Macizos Rocosos, Quito-Ecuador, 2004, 344pp.

GUAMÁN, Galo, Ilustre Municipio de Loja, "Riesgos Naturales Y Antrópicos Del Área Urbana De La Ciudad De Loja", 2008. pp, 51-56.

HUANG, T. Walter. "Petrología". Primera Edición en Español. Traducida por Rafael García Díaz. Impreso en México. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana UTEHA. 1968. Pp. 1, 457, 458, 507, 508.

LEES, A. Introducción al Levantamiento Geológico. Traducido por Veroniqueé Paternóster. Universidad Técnica Particular de Loja, 1992. Pp 19, 23, 24, 31, 32, 33, 45.

LISLE, Richard y LEYSHON, Peter. Stereographic Projection Techniques. Printed in the United Kingdom at the University Press. Cambridge. Segunda edición, 2004

LITHERLAND, M., ASPDEN, J. A., & JEMIELITA, R.A. "The metamorphic belts of Ecuador". Overseas Memoir 11, BGS, Keyworth, United Kingdom. 1994.

MALDONADO, A.N. Contribución al Estudio del Clima en la provincia de Loja. Revista Estudios Universitarios. Universidad Nacional de Loja. 1985.

MENÉNDEZ, H. Alfonso y Fernando. Geología. España. Ediciones Paraninfo. 1985. Capitulo 7

MONOGRAFÍAS DE LA SECRETARIA DE ESTADO PARA LAS POLÍTICAS DEL AGUA Y EL MEDIO AMBIENTE, MOPT. "Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico", España. 1992. Pp 654

RAMSAY, G. John."Plegamiento y Fracturación de Rocas". Primera Edición española. Impreso en España. H. Blume Ediciones. 1977. Pp, 364, 377, 378.

ROSAS ORDOÑES Jorge Luis; VILLAVICENCIO GONZALES Jorge Eugenio; VIÑAN LUDEÑA Ramiro Leonardo. Estudio y Programación de las Obras de Infraestructura "Urbanización San Cayetano Alto", 1988, tomo I, pp. 5-14.p

SALCEDO R. Daniel. El Uso de las Proyecciones Hemisféricas como Técnica de Predicción y Análisis de Problemas Relativos a Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos. Colombia. Mayo 1973.

SAUER, W. 1965. "Geología del Ecuador". Ministerio de Educación, Quito, Ecuador, 383p.

SUAREZ, D. Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales .Colombia. Ingeniería de Suelos Ltda. – Publicaciones UIS. 1998.

VAN ZUIDAM R.A. 1985. "Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping". Printed Smith Publishers. Netherlands.

WHITTEN, D.G.A & BROOKS, J.R.V. "Diccionario de Geología". Primera Edición en Castellano. Madrid-España. Editorial Alianza. 1980

## **TESIS**

ALVARADO, Robert, (2000), Levantamiento de la cobertura vegetal de la Estación San Francisco, Tesis Universidad Nacional de Loja, 60 pp

CONSTANCE, O. (2000) Vegetation on Natural Landslides in the Tropical Montane Forest of Southern Ecuador with special Consideration of the Altitudinal Gradient, Diplomarbeit zur Erlangung des Grades einer Diplom-Biogeographin, Universität des Saarlandes, 80pp

STOYAN, R. (2000): Aktivität, Ursachen und Klassifikation der Rutschungen in San Francisco/Südecuador. Diplomarbeit. Unpublished: University of Erlangen. 120 p

## 9. ANEXOS

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.	1
	OBJETIVOS:.....	3
	Objetivo General:	3
	Objetivos Específicos:	3
2.	REVISION DE LITERATURA.	4
2.1.	Estructuras Geológicas: Orientación de las Rocas. ....	4
2.1.1.	Esquistosidad.	4
2.1.2.	Diaclasas.	5
2.1.3.	Fallas.	6
2.2.	Representación Estereográfica. ....	6
2.2.1.	Diagrama de la rosa.	6
2.3.	Movimientos en Masa. ....	9
1)	Los Deslizamientos.	10
2)	Caída.	11
3)	Flujo en Roca.	11
4)	Flujos de lodo.	11
2.4.	Caracterización de Movimientos en Masa.....	12
1)	Tipo de material.	12
2)	Humedad.	12
3)	Velocidad del Movimiento.	13
4)	Estilo.	13
5)	Estado de actividad.	14
2.5.	Caracterización del Macizo Rcoso. ....	14
1)	Mineralogía y litología.	14
2)	Grado de meteorización.	15

3)	Resistencia.	15
4)	Descripción de las Discontinuidades.	16
5)	Orientación.	16
6)	Espaciado.	17
7)	Persistencia.	17
8)	Rugosidad.	17
9)	Abertura.	18
10)	Relleno.	19
11)	Número de familias (sets) de discontinuidades.	19
12)	Tamaño de bloque y grado de fracturación del macizo rocoso.	20
2.6.	Análisis por Cinemática.....	22
2.7.	Zonificación.....	23
2.7.1.	Susceptibilidad.	23
3.	MATERIALES Y METODOS.	25
3.1.	Materiales:.....	25
3.1.1.	De Campo.	25
3.1.2.	De Gabinete:	26
	Objetivo 1.	26
4.	RESULTADOS.	36
4.1.	Descripción general del área de estudio	36
4.1.1.	Ubicación.	36
4.2.	Relieve.....	37
4.2.1.	Topografía.	37
4.2.2.	Pendientes.	37
4.3.	Geología Regional.....	38
	Unidad Chiguinda, (PzLc).	38
	Unidad Sabanilla, (TrSb).	39
4.4.	Geología Local.....	39

4.4.1.	Litología.	40
4.4.2.	Estructuras.	44
4.4.2.1.	Orientación de las Rocas.	44
4.5.	Geomorfología.	54
4.5.1.	Formas Estructurales Fluvio – Erosiónales .....	54
4.5.2.	Superficies planas – Plataformas	55
4.5.3.	Formas Denudacionales	55
4.6.	Clima y Vegetación. ....	55
4.6.1.	Clima.....	55
4.6.2.	Cobertura Vegetal.	56
4.7.	Caracterización de Movimientos en Masa Actuales.....	60
4.8.	Caracterización Del Macizo Rocoso.....	66
4.9.	Análisis Cinemático De Taludes.....	75
4.10.	Susceptibilidad .....	88
4.10.1.	Pesos utilizados para los diferentes tipos de mapas	88
4.10.2.	Mapa de Susceptibilidad	89
5.	DISCUSIÓN	92
6.	CONCLUSIONES	95
7.	RECOMENDACIONES	97
8.	BIBLIOGRAFÍA	98
9.	ANEXOS	101



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Descripción de Meteorización de la Roca Intacta.....	15
<b>Cuadro 2.</b> Estimación de la resistencia a la Compresión Simple.....	16
<b>Cuadro 3.</b> Terminología para el espaciado de Discontinuidades.....	17
<b>Cuadro 4.</b> Descripción de Persistencia.....	17
<b>Cuadro 5.</b> Tipo de rugosidades.....	18
<b>Cuadro 6.</b> Descripción de Abertura.....	18
<b>Cuadro 7.</b> Descripción de Grado de Diaclasado.....	19
<b>Cuadro 8.</b> Descripción de Blocosidad.....	20
<b>Cuadro 9.</b> Grado de Fracturación y Descripción del tamaño de bloque.....	21
<b>Cuadro 10.</b> Criterio para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.....	24
<b>Cuadro 11.</b> Coordenadas de los vértices del Área de Estudio.....	29
<b>Cuadro 12.</b> Clasificación para elaborar mapa de Pendientes .....	31
<b>Cuadro 13.</b> Pesos relativo tipo lickert .....	35
<b>Cuadro 14</b> Clasificación de la Zona de estudio sobre la base de Pendientes.	37
<b>Cuadro 15</b> Rumbo y Foliación de los Estratos rocosos observados.....	45
<b>Cuadro 16.</b> Diaclasas de los Estratos rocosos Observados .....	48
<b>Cuadro 17.</b> Orientación de las fallas.....	52
<b>Cuadro 18.</b> Estaciones Meteorológicas.....	56
<b>Cuadro 19.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-1 .....	66
<b>Cuadro 20.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-2 .....	66
<b>Cuadro 21.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-3 .....	67
<b>Cuadro 22.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-4 .....	67
<b>Cuadro 23.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-5 .....	67
<b>Cuadro 24.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-6 .....	68
<b>Cuadro 25.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-7 .....	68
<b>Cuadro 26.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-8 .....	68
<b>Cuadro 27.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-9 .....	69
<b>Cuadro 28.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-11 .....	69

<b>Cuadro 29.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-12 .....	69
<b>Cuadro 30.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-13 .....	70
<b>Cuadro 31.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-14 .....	70
<b>Cuadro 32.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-15 .....	70
<b>Cuadro 33.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-16 .....	71
<b>Cuadro 34.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-17 .....	71
<b>Cuadro 35.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-18 .....	71
<b>Cuadro 36.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-19 .....	72
<b>Cuadro 37.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-20 .....	72
<b>Cuadro 38.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-21 .....	72
<b>Cuadro 39.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-22 .....	73
<b>Cuadro 40.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-23 .....	73
<b>Cuadro 41.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-24 .....	73
<b>Cuadro 42.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-25 .....	74
<b>Cuadro 43.</b> Datos Geomecánicos del Afloramiento n.-26 .....	74
<b>Cuadro 44.</b> Clasificación Geomecánica del área de estudio según Beniaswski.....	74
<b>Cuadro 45.</b> Pesos para movimientos en Masa.....	88
<b>Cuadro 46.</b> Pesos de la Variable Pendientes.....	88
<b>Cuadro 47.</b> Pesos de la variable Geomorfología.....	89
<b>Cuadro 48.</b> Pesos de la Variable Geología.....	89
<b>Cuadro 49</b> Pesos de la variable Geotecnia.....	89
<b>Cuadro 50</b> Pesos de la Variable Cobertura y Uso.....	89
<b>Cuadro 51</b> Categorías de susceptibilidad a movimientos en masa.....	91
<b>Cuadro 52</b> Áreas de Susceptibilidad a Movimientos en Masa.....	91

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> . Determinación de Rumbo y buzamiento en Estructuras.....	4
<b>Figura 2</b> . Diagrama de la rosa, .....	7
<b>Figura3</b> . Diagramas de la rosa a) Diagrama que es usado para representar diagramas de la rosa b) Diagramas de la rosa completado con mediciones.....	143 8
<b>Figura 4</b> Red estereográfica de Wulff.....	9
<b>Figura 5</b> . Localización geográfica del área de Estudio.....	36
<b>Figura6</b> Representación grafica del nivel de Pendientes en el sector de estudio.....	38
<b>Figura 7</b> Foto de Afloramiento de Filita, Rio San Francisco.....	41
<b>Figura8</b> Foto de Afloramiento de Cuarcita, Rio San francisco.....	42
<b>Figura 9</b> Foto de Afloramiento de Pizarras, Vía Loja Zamora.....	42
<b>Figura10</b> Foto de Afloramiento de Esquistos, Rio San francisco.....	43
<b>Figura11</b> Foto de Coluvial, Rio San Francisco.....	44
<b>Figura12</b> Diagrama de la rosa representando la dirección o rumbo del macizo rocoso.....	46
<b>Figura13</b> Diagrama de la rosa representando la foliación del macizo rocoso.....	47
<b>Figura14</b> Representación estereográfica de las foliaciones.....	47
<b>Figura15</b> Diagrama de la Rosa representando la dirección o rumbo de las diaclasas.....	50
<b>Figura16</b> Diagramas de rosa representando la inclinación de las diaclasas...50	50
<b>Figura17</b> Representación de Diaclasas en la red Estereográfica polar.....	51
<b>Figura 18</b> Diagrama de la rosa representando el rumbo de las fallas.....	52
<b>Figura 19</b> Representación de fallas e la Red Estereográfica.....	53
<b>Figura20</b> Representación estereográfica de los diferentes tipos de aspectos geológicos.....	53
<b>Figura 21</b> Foto Bosque Natural, Matorral y Pastizal.....	57

<b>Figura 22</b> Foto, Matorral, Complejo Pastizal Matorral, Zonas Erosionadas.....	58
<b>Figura 23</b> Foto... Plantación, Matorral, Pastizal.....	59
<b>Figura 24</b> Foto, Flujo y Caída de Roca.....	60
<b>Figura 25</b> Foto: Deslizamiento.....	61
<b>Figura 26</b> Foto: Caída de Rocas.....	62
<b>Figura 27</b> Foto Caída de rocas.....	63
<b>Figura 28</b> Foto Deslizamiento.....	65
<b>Figura 29</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-1 .....	75
<b>Figura 30</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-2 .....	76
<b>Figura 31</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-3 .....	77
<b>Figura 32</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-4 .....	78
<b>Figura 33</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-5 .....	79
<b>Figura 34</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-6 .....	80
<b>Figura 35</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-7 .....	81
<b>Figura 36</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-8 .....	82
<b>Figura 37</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-9 .....	83
<b>Figura 38</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-13 .....	84
<b>Figura 39</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-17 .....	85
<b>Figura 40</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-18 .....	86
<b>Figura 41</b> Análisis Cinemático del Afloramiento n.-19 .....	87
<b>Figura 42</b> Uso de Sig para combinación de mapas .....	90

