

CAPITULO I.

EL PROBLEMA

1.1 INTRODUCCIÓN

Las modificaciones topográficas, la contaminación, el fuerte tránsito, la alta concentración de ruido, han hecho una vida exhausta para el ser humano, llena de estrés y agotamiento. Buscando la tranquilidad, han llegado a zonas de mayor altura, como colinas y montañas, donde reina el atractivo natural, con cercanías a fuentes de agua y la presencia de suelos fértiles.

Ejemplo de ello, está el municipio Naguanagua en el estado Carabobo, ubicado en la parte centro norte costera de Venezuela, donde se encuentran rocas metamórficas y suelos aluviales, que son afectados por constantes cambios en el tiempo geológico. Gracias a los agentes exógenos se ha visto modificada su fisionomía.

A partir de estos fenómenos se muestra como resultado el pueblo Las Trincheras, una zona montañosa de gran atractivo turístico, debido a sus Aguas Termales, la cual ha sido objeto de un incremento poblacional, producto de ello ha aumentado de manera notoria el número de viviendas, parcelas y haciendas.

Dicha zona ha sido afectada por movimientos en masas tales como, flujos torrenciales, derrumbes, deslizamientos, entre otros, los cuales han dado origen movimientos en masas, ocasionando pérdidas materiales como los ocurridos recientemente en la carretera vieja La Entrada – Las Trincheras, el derrumbe de la mitad de la calle principal del sector de Las Terrazas, grietas en las calles de pueblo, fracturas en algunas viviendas y parcelas de la zona. Limitando entonces el crecimiento de la comunidad, así como las actividades diarias de las haciendas. Para ello se enfocó este estudio a la caracterización geológica y geotécnica, donde se realizaran una serie de mapas temáticos a escala 1:5000 que proporcionan información necesaria para la planificación de futuros trabajos ingenieriles que permitan satisfacer las necesidades y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

1.2 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El sector de Las Terrazas está ubicado, municipio Naguanagua, estado Carabobo, específicamente en la autopista Valencia- Puerto Cabello a la altura del distribuidor “Las Trincheras”. Abarca un área de 6 km² aproximadamente. La cual es representada en la hoja topográfica **6546-I-NE** del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, (Figura 1.1).

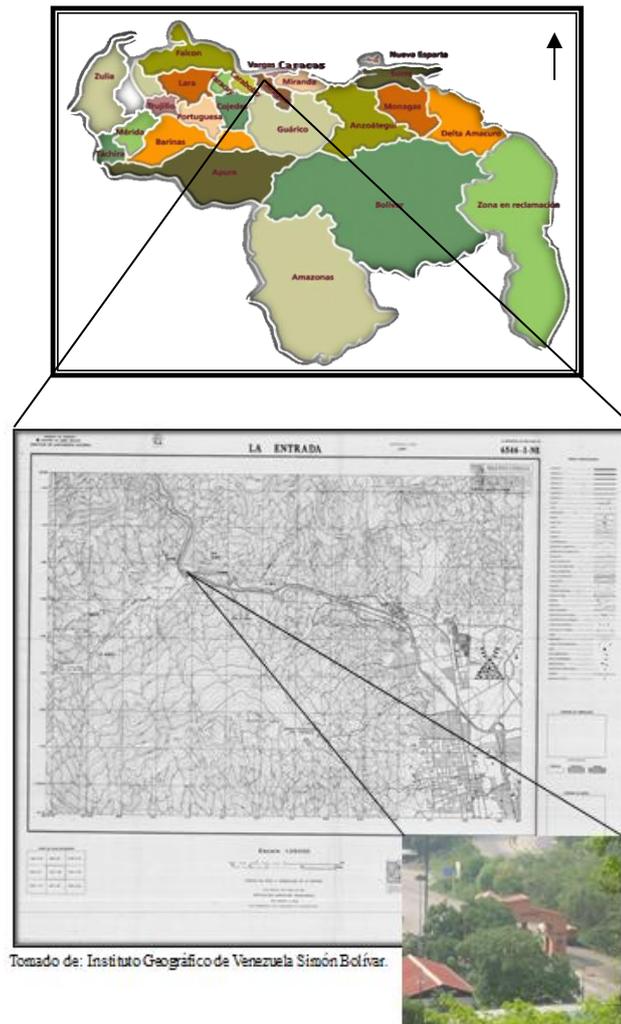


Figura 1.1 Ubicación de la zona de estudio

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los estudios geológicos, geotécnicos son necesarios para el desarrollo de proyectos y construcción de cualquier obra de ingeniería. Estos nos facilitan el diseño de manera correcta y segura de las obras. Más aun, en zonas con densidad de población y de constante amenaza por la acción de accidentes geológicos, tal como los que

caracterizan la parte centro norte costera de Venezuela. La población de Las Trincheras, debido a su ubicación no escapa de esto.

El sector de Las Terrazas, el cual forma parte de Las Trincheras, fue fundado luego de la inundación ocurrida en el año 1987 para brindarle viviendas a sus damnificados; sin embargo, el sector ha mostrado desde el mismo año de construcción frecuentes movimientos en masa como: derrumbes, deslizamientos, flujos, entre otros.

Esta es la razón que llevó a plantear la presente investigación, bajo criterios geológicos y geotécnicos que permitan establecer tanto el comportamiento de los suelos como de la roca en el sector de Las Terrazas y sectores aledaños, identificando áreas de inestabilidad y susceptibilidad, lo cual ayudará a planificar el crecimiento y desarrollo ordenado del área.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 LOCALES

Valencia F y Valencia L (2009) evaluaron la susceptibilidad de los movimientos en masas del río Cabriales en Valencia-Carabobo, detallando las principales unidades fisiográficas y la estabilidad cinemática de las laderas y taludes, resultando más susceptibles aquellas zonas de mayores alturas de pendientes que superan el 100%, y litologías de carácter inestables.

Grande (1982) separó en unidades litológicas la zona de Las Trincheras-Vallecito en el estado Carabobo; dos unidades de origen sedimentario y otras cuatro de origen ígneo. Diferenció aluviones antiguos que forman terrazas, aluviones recientes, rellenos en líneas de fallas y rellenos antrópicos. Las asociaciones mineralógicas presentes indican que las rocas aflorantes en la zona fueron afectadas por un metamorfismo regional en las facies de los esquistos verdes con zonas biotitas y clorita.

Urbani (1978, 1968) estudió el granito de Guaremal y sus rocas adyacentes, donde correlaciona el área con el Gneis Peña de Mora de la región de Caracas.

Aguerrevere y Zuloaga (1973) realizaron un primer estudio sistemático y organizado de la Cordillera de La Costa, allí se referencia lo que se conoce hoy como Esquisto de Las Mercedes.

Morgan (1969) estudio la zona de Puerto Cabello- Valencia donde definió las unidades litológicas y asignó una parte de la secuencia al complejo de Sebastopol el resto como parte del grupo Caracas.

Dengo (1951) publica un primer mapa geológico de Caracas y sus alrededores, tras reconocer y delimitar las unidades descritas por Aguerrevere y Zuloaga.

1.4.2 TEORICOS

Guedez C y Omaña P (2012) Caracterizaron de manera geológica - geotécnica y elaboraron mapas de zonificación geotécnica y riesgo geológico en sectores de San Agustín del sur del Distrito capital. Contaron con información geológica de casi 100 afloramientos de Esquisto Las Mercedes.

Buenahora (2011) Generó un mapa de zonificación geológico-geotécnico a escala 1:5000 donde mostró las características del subsuelo, suelo, unidades litológicas, discontinuidades en el macizo rocoso. Todo esto como herramienta para fines constructivos en los sectores Parque Generalísimo Francisco de Miranda-Bello Campo, perteneciente a la línea 5 del Metro de Caracas y las urbanizaciones Caurimare, Lomas del Mirador, Lomas de San Román, Lomas de Las Mercedes y Santa Sofía.

Rodríguez A y Villarroel V (2010) trabajaron en un estudio geológico-geotécnico generando un mapa a escala 1:25000, actualizado, de zonificación de los distintos niveles de susceptibilidad a los movimientos en masa en la cuenca del río El Limón, estado Aragua. Con la finalidad de incorporarlo en los planes de ordenamiento urbano del estado.

Mota (2006) planteó y evaluó la susceptibilidad del terreno frente a movimientos de masa y caracterizó los factores condicionantes de las inestabilidades tales como: la litología, cronometría, condiciones hidrogeológicas, uso del suelo y

condiciones geotécnicas, además valoró su influencia sobre el desarrollo de estos movimientos en la parroquia Petare, municipio Sucre, estado Miranda.

Tovar (2005) realizó un estudio geológico-geotécnico, basado en la caracterización de suelos residuales, en las zonas de influencia del área metropolitana de Caracas, para esto se describieron y caracterizaron geológicamente los suelos residuales naturales sin perturbación del perfil de meteorización de las rocas correspondientes a las Formaciones Las Brisas y Las Mercedes, para así determinar su comportamiento geotécnico.

Domínguez (2005) realizó una caracterización geotécnica de las masas rocosas ígneo - metamórficas que conforman los taludes a lo largo de la autopista Valencia – Puerto Cabello, con la finalidad de calcular los parámetros geomecánicos de la roca intacta y de la masa rocosa; para luego aplicar los métodos racionales pertinentes para analizar la estabilidad de taludes y de esta manera cuantificar el nivel de riesgo geotécnico que esos taludes presentan.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Caracterizar geológicamente y geotécnicamente el sector de Las Terrazas del municipio Naguanagua en el estado Carabobo

1.5.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar el levantamiento geológico de superficie que incluye descripción de afloramientos a detalle y toma de muestras de mano.
- ✓ Caracterizar petrográficamente las muestras tomadas en la zona para conocer la mineralogía y determinar unidades informales.
- ✓ Realizar ensayos en roca de densidad por parafina, carga puntual y matillo Schmidt.
- ✓ Realizar ensayos en suelo como clasificación visual, granulometría por tamizado, límite de consistencia, humedad, granulometría por hidrómetro y gravedad específica.

- ✓ Elaborar un mapa geológico a escala 1:5000 utilizando el programa ARCGIS 10.0.
- ✓ Elaborar un mapa de pendiente a escala 1:5000 utilizando el programa ARCGIS 10.0
- ✓ Elaborar un mapa de inventario de geodinámica externa a escala 1:5000 utilizando el programa ARCGIS 10.0.
- ✓ Generar un mapa con orientación de laderas a escala 1:5000 utilizando el programa ARCGIS 10.0
- ✓ Generar un mapa de estabilidad geoestructural de la zona a escala 1:5000 utilizando el programa ARCGIS 10.0
- ✓ Elaborar un mapa de susceptibilidad a los movimientos en masas a escala 1:5000 utilizando el programa ARCGIS 10.0

1.6 ALCANCE

La investigación se limita a **caracterizar de manera geológica y geotécnica el sector de Las Terrazas del municipio Naguanagua en el estado Carabobo**. La información obtenida se presentará en los siguientes mapas temáticos: geológico, de pendiente, de inventario de procesos geodinámicos externos, de orientación de laderas, de estabilidad geoestructural, con la información obtenida de los mapas anteriores se genera un mapa de susceptibilidad de la zona, todos a escala 1:5000. El estudio geotécnico consistió en la caracterización del suelo y la roca intacta con la finalidad de generar información necesaria para un futuro diseño de estabilización. Este trabajo de ayuda a la planificación, así mismo a la construcción de futuras obras de ingeniería que permitan el crecimiento de los sectores y mejorar la calidad de vida de sus habitantes, cabe destacar que el sector de “Las Terrazas” presenta movimientos de tierras importantes, por ello existe la posibilidad de que dicho estudio arroje resultados de zona no apta para ser habitada por colocar en riesgo la vida de sus habitantes. Por lo tanto, cualquier sistema de estabilización en la zona sería mucho más costoso que la posibilidad de construir nuevas viviendas y a su vez reubicar a los afectados.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

En este punto se muestran una serie de definiciones, métodos y procedimientos de la elaboración de los mapas, asimismo ensayos geotécnicos, los cuales ayudaran al entendimiento del proyecto en curso con un basamento teórico/ practico.

2.2 MOVIMIENTOS EN MASAS

Un movimiento en masa puede ser definido como todo desplazamiento (vertical, horizontal o inclinado) de un volumen de material litológico (roca, formación superficial o suelo) importante, donde el principal agente es la gravedad que puede o no incluir el efecto del agua.

Los términos más utilizados para denominar globalmente estos fenómenos son: movimientos en masa, movimientos de terreno, deslizamientos, deslizamientos de terreno, deslizamientos de vertiente, remociones en masa, movimientos de ladera, derrumbes, etc. (IDEAM, 2001)

2.3 CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Según Vallejo (2002) las fuerzas internas y externas que posee una ladera pueden ser modificados por ciertos factores naturales que controlan los movimientos en masa (Vallejo, 2002). Estos factores pueden ser condicionantes o pasivos, que dependen de la propia naturaleza, estructura, geometría y forma del terreno, como grado de pendiente, litología, vegetación entre otros. Mientras que los factores desencadenantes o activos se consideran factores externos que provocan o desencadenan la inestabilidad de las laderas y son responsables, por lo general la magnitud y velocidad de los mismos, como por ejemplo las precipitaciones y los sismos.

A efectos de cómo influyen en el comportamiento geomecánico de los suelos y rocas, los factores o agentes que controlan los movimientos de laderas pueden

agruparse en aquellos que contribuyen a reducir la resistencia al corte y aquellos que incrementan los esfuerzos al corte.

2.4 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

En general se definen seis grupos principales: derrumbes, flujos, deslizamientos, propagación lateral, reptación y deformaciones gravitacionales profundas (Cruden y Varnes, 1996; IDEAM, 2001), los cuales representan los principales tipos de movimientos en masa.

Tabla 2.1 Tipos de movimientos en masas según (Cruden y Varnes 1996).

Tipo	Subtipo
Derrumbes	Caída de roca (detritos o suelo)
	Volcamiento de roca (bloque)
	Volcamiento flexural de roca
Deslizamiento	Deslizamiento traslacional
	Deslizamiento en cuña
	Deslizamiento rotacional
	Deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos)
	Deslizamiento por flujo
Propagación lateral	Propagación lateral lenta
	Propagación lateral por licuación (rápida)

Flujo	Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de detritos Avalancha de rocas
Reptación	Reptación de suelos Solifluxión, gelifluxión (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	---

2.4.1 Caída (*Fall*)

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire logrando efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

2.4.2 Volcamiento (*Toppling*)

Se denomina así a un tipo de movimiento en masa en donde se produce una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978). El volcamiento puede ser en bloque, flexional o flexural y flexional del macizo rocoso.

Goodman y Bray (1976) diferencian el vuelco de bloques del vuelco flexural. El primero involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base, semejante al vuelco de libros en un estante.

El volcamiento de bloques es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas. El vuelco flexural, en cambio, involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales.

2.4.3 Deslizamiento (*Slide*)

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales.

Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de *deslizamientos compuestos* (Hutchinson, 1988).

2.4.4 Propagación Lateral (*Lateral Spread*)

La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. La mayoría de los *deslizamientos* y los *flujos* involucran algún grado de expansión.

Las propagaciones laterales pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el *deslizamiento* o el *flujo*.

Varnes (1978), distingue dos tipos de propagación, uno en que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas, y otro que ocurre en suelos cohesivos que suprayacen en materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico.

Las propagaciones laterales pueden desarrollarse y evidenciar deformación plástica de materiales frágiles bajo el peso de una unidad competente. Algunos autores señalan que hay una relación continua entre deslizamientos y expansiones laterales, dependiendo de la importancia de la deformación interna. De esta forma, muchos casos de propagación lateral podrían incluirse dentro de la categoría de *deslizamientos compuestos*, como lo propone Hutchinson (1988).

2.4.5 Flujo (Flow)

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco.

En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Hungr et al. (2001), clasifican los flujos de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles; así mismo, aportan definiciones que enfatizan aspectos de uso práctico útiles para el estudio de amenazas. Es importante hacer la distinción entre los diferentes tipos de flujos cuando se analiza la amenaza a que está sometida un área ya que, el potencial destructivo es característico de cada tipo.

Por ejemplo, es importante establecer la diferencia entre *flujo de detritos* y *avalancha de detritos*. En el caso del flujo de detritos (movimiento en masa canalizado) el estudio de amenaza se deberá concentrar en una trayectoria pre-establecida o canal y en el área de depositación o abanico, áreas potencialmente afectadas. En cambio, una avalancha de detritos puede desplazarse sobre áreas abiertas con laderas de alta pendiente. Por supuesto las avalanchas de detritos con frecuencia encuentran un canal pre-existente y se convierten en flujos de detritos.

Otra distinción importante de uso práctico para el estudio de amenazas es aquella entre *flujos de detritos* y *crecidas de detritos* (inundaciones o avenidas de detritos).

Las crecidas (debris flood) presentan un potencial destructivo relativamente bajo con respecto a los flujos de detritos (debris flow) (Hungr, 2005).

2.4.6 Reptación (Creep)

La reptación se refiere aquellos movimientos lentos del terreno, en donde no se distingue una superficie de falla. Puede ser de tipo estacional cuando se asocia a

cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

Dentro de este movimiento se incluyen la *solifluxión* y la *gelifluxión*, este último término reservado para ambientes periglaciales. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo.

La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente.

Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos.

A continuación se mostrarán una serie de gráficos que ilustran los diversos factores que pueden desencadenar movimientos en masa (figuras 2.1 y 2.2).

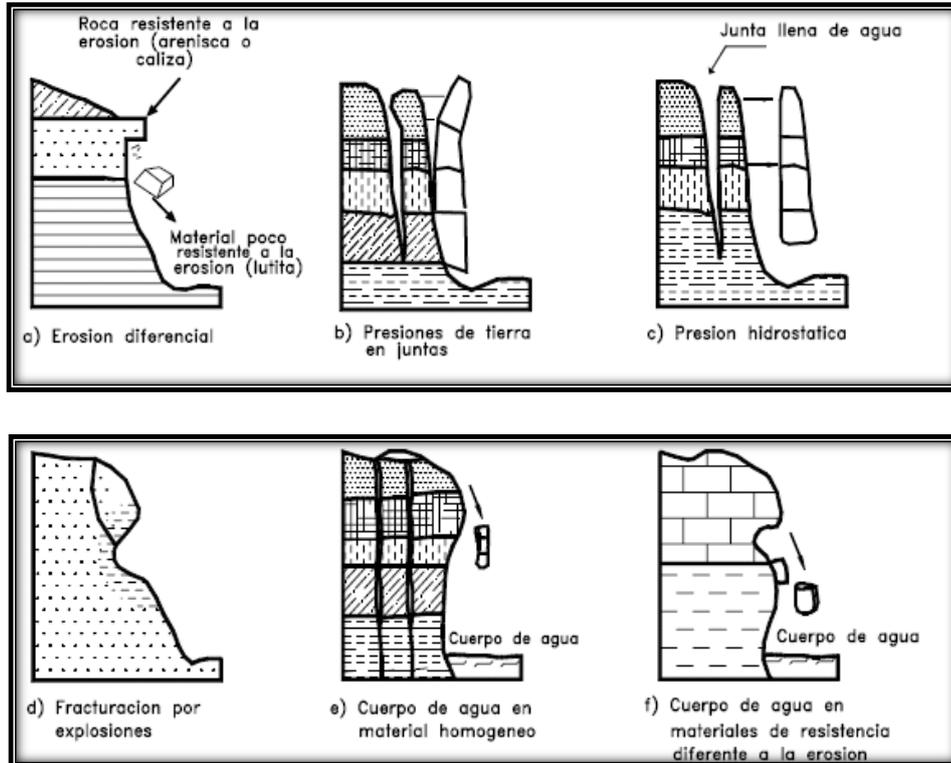


Figura 2.1. Factores que desencadenan movimientos en masas (IDEAM, 2001).

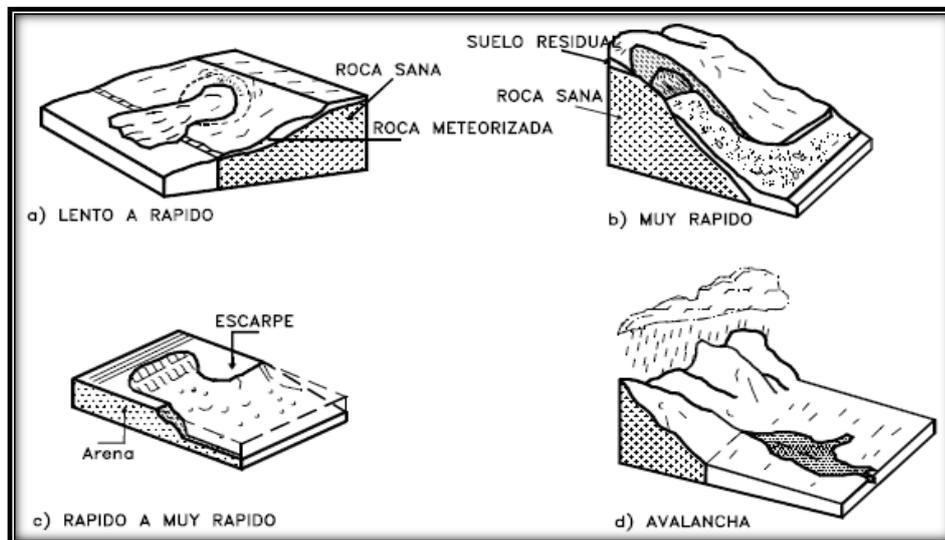


Figura 2.2 Factor velocidad en los movimientos en masas (IDEAM, 2001).

2.5 SUSCEPTIBILIDAD

Según González de Vallejo (2002) la *susceptibilidad*, puede definirse como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que

controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos o externos. La susceptibilidad de un sector se presenta como resultado plasmado en un mapa donde se identifican las áreas con diferentes grados de susceptibilidad (bajo, medio, alto) de la zona de estudio.

2.6 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD ANTE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

El mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa nos indica el grado de propensión con que ocurren cada uno de éstos (caídas, deslizamientos, volcamientos, flujos, etc.) de manera cualitativa siendo evaluada según las características intrínsecas y particulares del terreno: pendiente de las laderas, litología, estructuras geológicas, geomorfología del área, estabilidad cinemática de los taludes y cobertura vegetal sumando también el inventario de los procesos de geodinámica externa que ya han afectado la zona. Todos estos factores antes mencionados se evalúan, a través de la realización de mapas, donde cada uno de ellos es generado a partir de fotos aéreas, mapas previos, evaluación de campo y la visualización de los mismos en el modelo digital de elevación 3D.



Figura 2.3 Metodología para mapa de susceptibilidad.
(González de Vallejo, 2002)

Para generar una carta de susceptibilidad se necesitan previamente obtener los siguientes mapas temáticos:

2.6.1 Mapa Geológico-Estructural

Este mapa permite cartografiar unidades estratigráficas que afloran en la región, conjuntamente con las estructuras que dieron cabida a la disposición espacial que las rocas presentan hoy día. Este mapa permite conocer las designaciones estratigráficas, agrupación de unidades geológicas, naturaleza, edades y estructuras presentes de los materiales rocosos que están en la zona de estudio. Así mismo, revela intrínsecamente el comportamiento mecánico de la roca, relacionadas a identificación de litosomas o litodemos, permitiendo por medio del análisis geológico estructural, inferir parámetros cualitativos que conduzcan a un diagnóstico de estabilidad (IDEAM, 2001).

2.6.2 Mapa de Pendiente:

Registra la pendiente topográfica de la zona de estudio, además es una variante que incrementa el potencial de ocurrencia de un movimiento en masa y depende del porcentaje o grado de inclinación que posea, mientras mayor sea el porcentaje de inclinación de una pendiente, mayor es el efecto de la gravedad sobre el material que desliza, lo que hace que gane mayor velocidad. Las regiones que presentan mayor nivel de peligro, son aquellas en las que se producen cambios abruptos de pendientes, es decir, donde la inclinación pasa de muy empinada (mayor de 100 %) a pendientes bajas o nula (menor de 33 %) debido que la masa en movimiento se desplaza sin resistencia por la mayor inclinación hasta la planicie del terreno, descargando toda su energía en ellas; si el cambio se da de manera gradual, la masa va disipando en forma paulatina toda la energía cinética acumulada trayendo como consecuencia la disminución de la velocidad de desplazamiento y arrastre de la masa disminuyendo su efecto devastador (IDEAM, 2001).

2.6.3 Mapa de Zonificación Geotécnica (De muestras):

Estos mapas constituyen un método en ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológico-geotécnica con fines de planificación,

uso del territorio, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportando datos sobre las propiedades del suelo y subsuelo de una determinada zona para evaluar su comportamiento además de prever los problemas geológicos y geotécnicos.

2.6.4 Mapa de Orientación de Laderas:

Se basa en sectorizar dentro de la carta topográfica, las áreas que definen las laderas de acuerdo a su orientación espacial, considerando su rumbo y buzamiento. La finalidad de sectorizar en áreas la disposición espacial de las laderas, tiene como objetivo observar si las estructuras y el corte de los taludes guardan algún tipo de relación con el grado de estabilidad de las mismas y a su vez pero de manera informativa, conocer cuál es su exposición al medio.

2.6.5 Mapa de inventario de procesos de geodinámica externa:

Indica los principales y más probables tipos de movimientos de masa que pueden ocurrir en el área. (Márquez, 2005)

2.7 TEORÍA PARA DETERMINAR ESTABILIDAD DE TALUDES.

2.7.1 Modos de falla en taludes y laderas

Además de estudiar los factores condicionantes y desencadenantes influyentes en la inestabilidad de los taludes, es importante analizar los tipos de falla que pueden sufrir los mismos; en el caso de los taludes en suelos, éstos se rompen generalmente, a favor de superficies curvas, con forma diversa, condicionada por la morfología del talud. La rotura en taludes de suelo puede ser de varios tipos, a continuación se mencionan algunas (González de Vallejo 2002):

- ✓ Falla circular (la más frecuente), con su extremo inferior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando éste está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas.
- ✓ Puede ser casi circular pero pasando por debajo del pie del talud (deslizamiento profundo) (Figura 2.4 c).

Si se dan condiciones determinadas en el talud, como la existencia de estratos, foliaciones, diaclasas o capas de diferente competencia, puede tener lugar una

falla a favor de una superficie plana o de una superficie poligonal (cuña) formada por varios tramos planos (Figura 2.4 d).

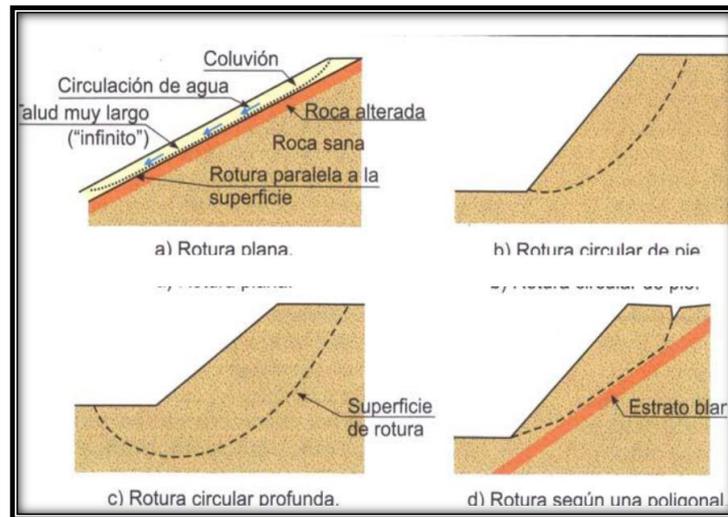


Figura 2.4 Tipos de fallas en suelo. González de Vallejo (2002)

Los diferentes tipos de falla están condicionados por el grado de fracturamiento del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades y de la matriz rocosa (Suarez, 1998). En macizos rocosos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por rocas blandas poco competentes, la matriz rocosa también juega un papel importante en la generación de éstos planos y en el mecanismo de rotura. Para taludes en rocas, los modelos más frecuentes son: rotura plana, por cuña y por vuelco.

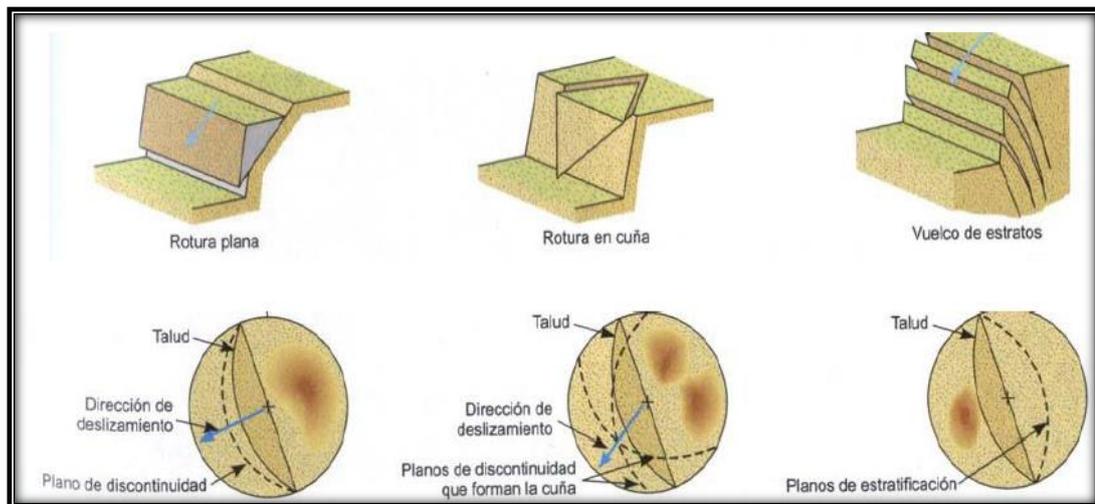


Figura 2.5. Modos de fallas en macizos rocosos. González de Vallejo (2002)

- ✓ Rotura Planar: Se produce a favor de una superficie preexistente, que puede ser la estratificación, la foliación, una junta tectónica, una falla, etc. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con su misma dirección, cumpliéndose la condición de que la discontinuidad debe interceptar el plano del talud, es decir, la discontinuidad debe presentar una pendiente menor que el talud. Para que ocurra el movimiento el buzamiento de la discontinuidad debe ser mayor que su ángulo de rozamiento interno (Ver figura 2.5 y 2.6a)

- ✓ Rotura en Cuña: Corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y se deben cumplir iguales condiciones que para la rotura plana ($\psi > \alpha > \varphi$), siendo α en este caso el buzamiento de la línea de intersección (Ver figuras 2.5 y 2.6b). Este tipo de rotura suele presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación espaciado, y continuidad determinan la forma y el volumen de la cuña (Castillejo, 1990).

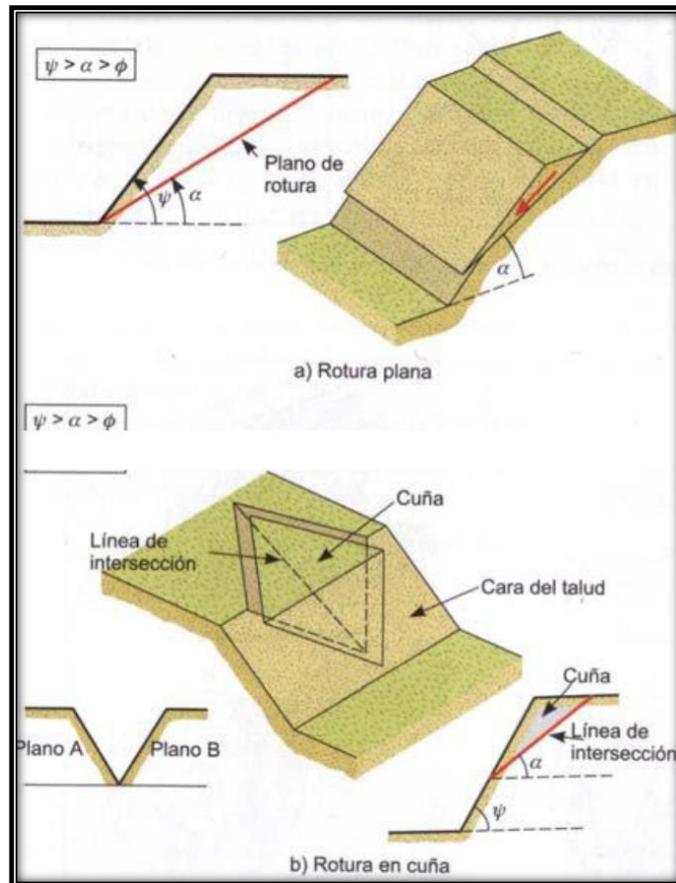


Figura 2.6. Condiciones para falla planar y en cuña. González de Vallejo (2002)

- ✓ Falla por Volcamiento: se produce en taludes de macizos rocosos donde los estratos buzcan con ángulos altos y en sentido contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo (Figura 2.5), este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de los bloques, y la estabilidad de los mismos no está únicamente condicionada por su resistencia al deslizamiento (Castillejo, 1990).

2.8 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS

VALLEJO (2002) define como depósitos sedimentarios aquellos formados por los procesos geomorfológicos y climáticos, destacando el medio de transporte y la meteorización. Explica que en la rama de la geotecnia la clasificación de los depósitos sedimentarios es importante puesto que con ello se conoce granulometría, forma y tamaño que esto dependerá del medio de transporte que prevaleció en la zona al momento de acumularse y compactarse los sedimentos.

Tipos de depósitos, en función de sus relaciones geológicas-geotécnicas más características:

2.8.1 Suelo Residual

Los suelos se originan por los procesos de alteración y disgregación de las rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas a que dan lugar los procesos geológicos externos y los fenómenos climáticos. Se forman suelos residuales cuando el producto de descomposición de la roca permanece en el lugar de origen.

Al tratar con suelo residual se deben de tomar las siguientes consideraciones:

- ✓ Los suelos residuales que derivan de rocas químicas poseen una zona gradual de transición al lecho de roca.
- ✓ Los suelos residuales derivados de la intemperización de rocas tipo calizas son casi todos de color gris; aunque de tipo uniforme.
- ✓ Los suelos residuales inmediatamente arriba del lecho rocoso pueden estar normalmente consolidados.

(Fuente: Gonzales L., 2002)

2.8.2 Suelo Coluvial

El suelo coluvial está compuesto por masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de rocas angulares a subangulares, depositados por la gravedad, lavado de lluvia, deslizamiento. Se caracterizan por ser materiales matriz-soportados según su origen. Tomado de Informe de Investigaciones Geológicas y Geomorfológicas, 2005). (Ver figura 2.7)



Figura 2.7. Coluvión en el sector Los Caracoles. Las Trincheras

2.8.3 Suelo Aluvial

Son sedimentos que han sido transportados y depositados por los ríos y quebradas, conformando los cauces activos y abandonados, llanuras de inundación, terrazas bajas y medias. Tomados de Informe de Investigaciones Geológicas y Geomorfológicas, 2005). (Ver figura 2.8).



Figura 2.8. Aluvión

Tomado de: <http://cdn.larepublica.ec/wp-content/uploads/2012/10/aluvion.jpg>

2.9 DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO

Para Salcedo (1983) el término se refiere a superficies de debilidad que imparten a la roca una condición de anisotropía de resistencia, englobando diaclasas, fallas, grietas, fisuras, foliación y estratificación.

2.9.1 Diaclasa

Salcedo (1983), asume la definición de la ISRM del año 1981 que la define como “un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de una roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible”, sin embargo se explica que es admisible un pequeño desplazamiento en sentido perpendicular al plano de discontinuidad.

2.9.2 Falla

Desde la perspectiva geotécnica de macizos rocosos, una falla se refiere a una fractura o zona de fractura, “idealizada” a un plano, a lo largo del cual ha habido un desplazamiento relativo de un lado respecto al otro. Su importancia desde el punto de vista de la estabilidad de taludes en macizos rocosos radica en que, las

fallas se constituyen en discontinuidades adicionales que presentan menor resistencia al corte que la roca intacta, lo que indica que a lo largo de ella puede haber rotura por corte. (Modificado de Salcedo, 1983)

2.9.3 Foliación

Se desarrollan como producto del metamorfismo de rocas preexistentes. Se constituyen en superficies penetrativas, que se desarrollan por alineaciones de familias minerales, en dirección perpendicular al esfuerzo máximo y se constituyen a la vez en alineaciones planares. (Modificado Salcedo, 1986).

(Tomado de MORENO & ORTEGA, 2013)

2.10 ENSAYOS DE LABORATORIO

2.10.1 En suelos (según I. González de Vallejo 2006)

2.10.1.1 Determinación del Peso Específico (ASTM D 854)

El peso específico o gravedad específica de un suelo se define como:

G_s = densidad de las partículas de arcilla / densidad del agua

Este valor depende de la composición mineralógica de las partículas que constituyen el suelo, algunos valores típicos se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Valores típicos de gravedad específica. Tomado de “Mecánica de suelos” (Berry, 1993)

Tipo de suelo	G_s
Grava, arena y limo	2,65
Arcilla inorgánica	2,70
Arcilla orgánica	2,60
Turba amorfa	2,00
Turba fibrosa	1,50



Figura 2.9. Picnómetro 250 ml, Boro 3,3. Balanza digital marca Setra

2.10.1.2 Análisis Granulométrico (Norma ASTM C-136-96a)

El análisis granulométrico tiene como objetivo determinar la proporción de las diferentes tamaños de grano que están presentes en un suelo, es decir, mediante este análisis sabemos qué cantidad de suelo comprende cada intervalo granulométrico. Para realizar este ensayo se toma la muestra inicial y se separan los finos (los que pasan por el tamiz 200, ver figura 2.10) de los gruesos, y se hace el análisis de unos y otros por separado previamente lavados utilizando agua y jabón, el cual actúa como de floculante, para eliminar las partículas más finas que pueden quedar enganchadas en la superficie de los granos.

Después de haber lavado la muestra, se toman los gruesos y se pasan por los tamices dispuestos en serie, desde el tamiz número $\frac{3}{4}$ " hasta el tamiz número 200, como se muestra en la figura 2.10, y luego se pesa y anota la cantidad de suelo retenido por cada tamiz. El tamizado se suele realizar con una tamizadora automática, que puede ser de diferentes modelos. Una vez conocida la cantidad de suelo (en peso) que cae en cada intervalo granulométrico, es decir la cantidad de suelo retenida por cada tamiz, se realiza una gráfica donde es representada la cantidad de suelo pasante por cada tamiz respecto el tamaño de grano lo que dará una curva más o menos recta en función de las características del suelo (curva granulométrica). De esta forma suelos con curvas similares tendrán un comportamiento granulométrico similar.



Figura 2.10. Juego de tamices Humboldt.

El rango de tamices utilizados comúnmente para el análisis del tamaño de las partículas se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Sucesión de tamices. Tomado de “Mecánica de suelos” (Berry, 1993)

Designación	Tamaño de apertura
3/4”	19 mm
Nº 4	4,75 mm
Nº 10	2 mm
Nº 40	0.425mm
Nº 60	0.25mm
Nº 200	0.075mm

2.10.1.3 Suelos gruesos

Se dividen en gravas y arena y se separan con el tamiz No. 4 y No. 3/4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava, si más del 50% pasa el tamiz No. 4 pertenecerá al grupo de las arenas. (Ver tabla 2.3)

2.10.1.4 Límite de Consistencia (ASTM D-4318)

Se entiende por consistencia el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su referencia a aquellas fuerzas exteriores que tienden a deformar o destruir su estructura.

Un suelo fino puede existir en un estado cualquiera de consistencia, dicho estado depende de la cantidad de agua en el sistema trifásico: suelo, agua y aire. En 1911 Atterberg definió las fronteras de cuatro estados de consistencias en términos de límite en la forma siguiente:

- a) Límite Líquido, es la frontera entre los estados líquido y plástico.
- b) Límite Plástico, frontera entre los estados plásticos y semisólidos.
- c) Límite de Contracción, fronteras entre estados semisólidos y sólidos. Esos límites han sido definidos en forma más precisa, por A. Casagrande, en función de los contenidos de humedad del suelo y se describen en las páginas siguientes.

Los límites y estados de consistencia mencionados pueden ser representados gráficamente como se ilustra a continuación:

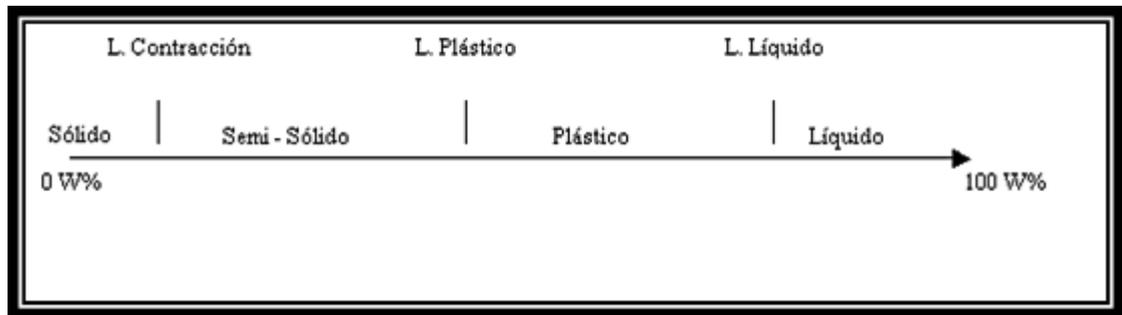


Figura 2.11 Límites de Atteberg. Tomado de: (Celso T. Ugas F, 1985).



Figura. 2.12 Cuchara de Casagrande y acanaladores.

2.10.1.5 Suelos finos

El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos:

Limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos - arcillas orgánicas (O). Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $Ll = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (baja plasticidad). Si es mayor de 50 se añade la letra H (alta plasticidad). Obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

ML: Limos Inorgánicos de baja plasticidad.

OL: Limos y arcillas limosas orgánicas.

CL: Arcillas inorgánicas de baja plasticidad.

CH. Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.

MH: Limos inorgánicos de alta plasticidad.

OH: arcillas y limos orgánicas de alta plasticidad.

(Tomado de MORENO & ORTEGA, 2013)

2.10.1.6 Granulometría por Hidrómetro (ASTM D-422)

El análisis hidrómetro se basa en el principio de sedimentación de las partículas de un suelo en el agua. Esta prueba comprende utilizar 50gr de suelo seco y pulverizado. Al suelo siempre se le agrega un agente desfloculante. El agente desfloculante más común empleado para el análisis hidrométricos de 125cc de una solución al 4% hexametáfosfato de sodio. Se deja que el suelo se sature con el agente desfloculante

durante 16 horas. Después del periodo de saturación, se agrega agua destilada y se agita muy bien la mezcla de suelo y el agente desfloculante del tipo hexametáfosfato de sodio. Luego la muestra se transfiere a un cilindro de vidrio de 1000ml. Se agrega más agua destilada al cilindro hasta alcanzar al cilindro hasta alcanzar la marca de 1000ml y se vuelve a agitar muy bien la mezcla. Se coloca un hidrómetro en el cilindro para medir la gravedad específica de la suspensión suelo agua en la densidad del bulbo del instrumento, por lo general durante un periodo de 24 horas. Los hidrómetros se calibran para mostrar la cantidad de suelo que aún está en suspensión en el tiempo t se puede determinar mediante la ley de Stokes.

Dónde:

D = Diámetro de la partícula de suelo

G_s = Gravedad específica de los sólidos del suelo

η = Viscosidad del agua

γ_w = Peso específico del agua

L = Longitud efectiva (es decir, longitud media desde la superficie del agua en el cilindro hasta el centro de gravedad del hidrómetro)

t = Tiempo

Las partículas de suelo con diámetros mayores que los calculados con la ecuación 1, se habrán asentado más allá de la zona de medición. De esta manera, con las lecturas del hidrómetro tomado en varios tiempos, el porcentaje de suelo más fino que el diámetro dado “ D ” se puede calcular y elaborar la gráfica de la distribución granulométrica. Las técnicas de las mallas e hidrómetros se pueden combinar para un suelo que tenga constituyentes tanto de grano grueso como de grano fino. (Tomado de Braja M. Das, 2012).



Figura 2.13 Equipo para realizar ensayo de hidrómetro.
Agitador eléctrico con vaso modelo H-4260

2.10.1.7 Determinación del porcentaje de Humedad natural (ASTM D-2216)

El contenido de humedad (W), es la relación entre el peso del agua libre más absorbida en la muestra (W_w) y el peso de la muestra secada al horno (W_s) a una temperatura constante de $105 \pm 5^\circ\text{C}$

Durante 24 horas o hasta que no se registre variación en el peso. Si el suelo contiene material orgánico la temperatura debe ser mayor a 60°C para evitar alterar las sustancias que lo constituyen.

El contenido de humedad se expresa en porcentaje:

$$W = (W_w / W_s) * 100$$

La temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ es convencional pero totalmente arbitraria, el secado de 105°C evapora solamente el agua libre más absorbida en los poros en los poros; el agua químicamente ligada (agua estructural) permanece en el suelo a esa temperatura, lo cual indica que existe una cantidad apreciable de agua en el suelo después de secado al horno a 105°C . Tomado de: (Ing. Celso T. Ugas F, 1985).



Figura 2.14 Balanza digital con error de 0,01 mg, utilizada en el ensayo de humedad, marca Setra.

2.10.2 PARA ROCAS (Según L. González de Vallejo 2006)

2.10.2.1 Ensayo de Carga Puntual (ASTM D5731-95)

Este ensayo constituye un método para medir indirectamente la resistencia a la compresión uniaxial de muestras de roca, ya sea en núcleos o muestras irregulares. Se realiza rompiendo la muestra aplicando una carga concentrada a través de un par de platinas cónicas opuestas, obteniéndose un Índice de Carga Puntual (I_s) el cual puede ser relacionado con la resistencia de la roca.

Las partes esenciales del equipo de carga son las siguientes:

- ✓ Un sistema de carga ajustable para aceptar y ensayar las muestras disponibles, las cuales pueden estar en un rango de tamaño entre 25 y 100 mm, para lo cual se requiere una capacidad de carga de al menos 50 kN.
- ✓ Dos platinas cónicas truncadas esféricamente para transmitir la carga a la muestra. La generatriz del cono debe formar 60° con el eje y las puntas esféricas deben tener un diámetro de 5 mm., las platinas deben ser lo suficientemente resistentes para permanecer intactas durante el ensayo. Igualmente, deben estar perfectamente alineadas de tal forma que sean

coaxiales, y la maquina debe ser rígida para garantizar que las platinas se mantengan alineadas. Esta configuración se muestra en la figura 2.15.



Figura 2.15. Equipo Matest (A125) para ensayo de carga puntual

- ✓ El sistema de medición de carga debe indicar la carga en la que ocurre la falla con una precisión de 2%, para esto debe poseer un dispositivo que mantenga la lectura después que la muestra falla.
En el caso de ensayos en muestras irregulares:
- ✓ En bloques o trozos de roca entre 50 y 35 mm de tamaño, la relación W/D debe estar entre 0,3 y 1,0 ($0,3W < D < W$); preferiblemente cerca de 1,0. La distancia (L) debe ser por lo menos $0,5 W$. Estas dimensiones se muestran en la 2.16.
- ✓ Se registra la distancia $D = 2\%$ y el ancho menor de la muestra $W < 5\%$ perpendicular a la dirección de carga. Si el ancho no es uniforme, se promediara el valor de la distancia W .

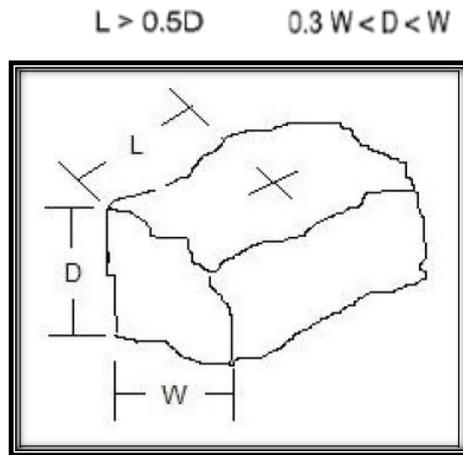


Figura. 2.16 Dimensiones a medir en muestras irregulares. Tomado de la Norma ASTM D5731-95

- ✓ La muestra se coloca entre los conos, los cuales deben hacer contacto en el centro aproximado de esta, lejos de los bordes y esquinas. Se debe tomar nota de las dimensiones de la muestra y se procede a aplicar la carga hasta que ocurra la falla. La carga P o carga en la cual falla la muestra se registra y se repite el procedimiento con las muestras restantes.

Para obtener el Índice de Carga Puntual I_s :

$$I_s = P/D_e^2 \text{ (N/mm}^2 = \text{Mpa)}$$

$$D_e^2 = D^2 \text{ (para ensayos en núcleos)}$$

$$D_e^2 = 4A/\pi \text{ (para muestras irregulares)}$$

$$A = W \cdot D \text{ (área mínima de la sección transversal del área de rotura)}$$

- ✓ Luego de obtener I_s se calcula el factor de corrección $F = (D_e \text{ (mm)}/50)^{0,45}$, con el cual se obtiene $I_s (50) = F \cdot I_s$. Es con este índice, I_s referido a un diámetro de 50mm, que se obtiene la resistencia a la compresión uniaxial al aplicar la siguiente expresión $C_o = 24 \cdot I_s (50)$.

Para interpretar los resultados obtenidos se tomaron en cuenta:

Clasificación de Franklin (1989)

σ_c Kg/cm ²	Clasificación
<20	Extremadamente débil
20-60	Muy débil
60-200	Débil
200-600	Medianamente resistente
600-2000	Muy resistente
>2000	Extremadamente resistente

Clasificación según Deere & Miller (1966)

σ_c MPa	Clasificación
<25	Muy baja
26-50	Baja
51-100	Media
101-200	Alta
>200	Muy Alta

2.10.2.2 Martillo de Schmidt (ASTM D-5873)

Este método es sugerido para determinar la dureza de la roca a través del impacto del martillo en la roca.

Consiste en determinar la dureza por medio del rebote de una muestra o material. La parte móvil del martillo o “buzo” se coloca contra la muestra y se empuja, de tal manera que se introduce en el martillo a medida que este se empuja contra la muestra. La energía se acumula en un resorte que se dispara automáticamente en cierto nivel e impacta una masa contra el buzo. La altura del rebote de la masa se mide sobre una escala, luego esta lectura se lleva a una tabla de correlación, la cual se muestra en la figura 9, donde, utilizando la densidad de la roca, se obtiene la resistencia a la compresión uniaxial (σ_c). (Tomado De Marco, 2004).



Figura 2.17 Martillo Schmidt o Esclerómetro.

Tomado de: www.minexproducts.com/resultados.php?pagina=2&frase=Muestreo&buscar=Buscar&orden=ingreso&criterio=categoria

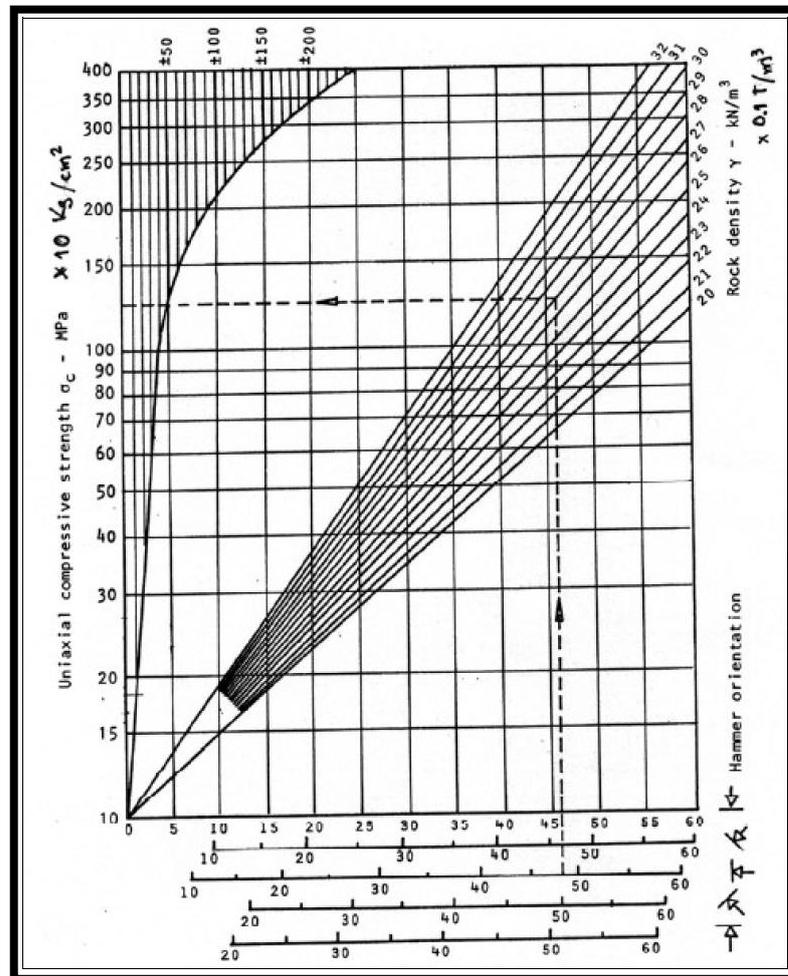


Figura. 2.18 Tabla de conversión para datos obtenidos del Martillo de Schmidt. Tomado de “Curso de Mecánica de Rocas” (De Marco, 2004).

2.10.2.3 Densidad (Peso Unitario con parafina en Roca) ASTM D-1188

Para un grupo de muestras de mano se realizaron ensayos de densidad en rocas representativos, mediante el método de la parafina, el cual consiste en realizar pesadas en agua y al aire para determinar el volumen (Modificado de De Santis, 2009).



Figura 2.19 Proceso para realizar peso unitario con parafina en roca.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es de tipo mixta, tanto investigativa, porque se consulta de documentos de interés, como de campo, ya que a través de ella se pretende indagar *in situ* los efectos de la interrelación entre diferentes tipos de variable (Kerlinger, 1975).

Sierra Bravo (1985) afirma que “la investigación de campo es aquel tipo de investigación a través de la cual se estudian los fenómenos en su ambiente natural”.

El nivel de la investigación es descriptivo de tipo diagnóstico, ya que intenta captar, reconocer y evaluar sobre el terreno, los componentes y las relaciones que se establecen en una situación estudiada, con el propósito de lograr su verdadera comprensión y avanzar en su resolución para poder determinar o proponer los cambios que dieran lugar. A partir del diagnóstico se puede establecer un pronóstico de la situación o hecho estudiado y en tal sentido, esta investigación es de gran valor para resolver problemas. (Balestrini, 2002)

3.2 ETAPA DE PLANIFICACIÓN

El fin en esta fase es documentar, compilar y validar la información disponible del área en estudio.

- ✓ Compilar y analizar del material bibliográfico disponible de la zona de estudio, como: Tesis de Grado, libros, Congresos, Informes Técnicos y publicaciones previas; de los cuales se obtuvo información acerca de la geología regional y local.
- ✓ Interpretar del material cartográfico, a escala 1:25.000, del área correspondiente a la Hoja **6546-I-NE**
- ✓ Estudiar e interpretar de las fotografías aéreas que cubren la zona.

Tabla 3.1. Misiones de las fotografías aéreas que cubren la zona de estudio

MISIÓN	FOTO	AÑO	ESCALA
030198	2493 al 2495 5259 al 5266	1975	1:25000

- ✓ Por la falta de fotografías aéreas recientes de la zona se llevó a cabo una observación directa en la zona donde denotaron derrumbes, deslizamientos, flujos, reptaciones, fallas entre otros. También se apoyó de la herramienta Google Earth, una imagen de satélite reciente.

Esto con el objeto de determinar la evolución de los procesos dinámicos y generar un mapa de inventario, con límites de zona, vías de acceso, límites de formaciones geológicas y cualquier otro rasgo que se considerara necesario resaltar para su comprobación en campo.

3.3 ETAPA DE CAMPO

Esta fase se basó en reconocer e identificar. Primero se reconoció la zona de estudio, precisando las vías de acceso, ubicación de las formaciones geológicas y elegir los puntos más representativos de la problemática.

Una vez hecho esto, se planifico el recorrido definitivo para realizar el levantamiento geológico detallado con las mediciones de discontinuidades y orientación de taludes o laderas utilizando la brújula y registrando estas anotaciones en la libreta de campo; reconociendo las diferentes litologías: Litotipos aflorantes, color fresco y meteorizado, tamaño de grano, espesor, composición mineralógica aproximada, texturas metamórficas y residuales observables, grado de meteorización y posibles contactos entre grupos litológicos. Se ubicarán en el plano las observaciones geomorfológicas y topográficas. Se tomarán muestras representativas de las litologías descritas, para la realización de ensayos geotécnicos en roca y suelo.

3.4 ETAPA DE LABORATORIO

- ✓ Se realizarán los análisis petrográficos de 7 muestras representativas mediante el uso de microscopios de luz polarizada de las secciones finas hechas a partir de las muestras recolectadas en campo, lo cual servirá para la identificación de minerales, grado de meteorización, textura de la roca y así dar una clasificación definitiva a la roca, definir la geología local informal.
- ✓ Se efectuarán ensayos geotécnicos de las muestras tomadas en campo, para obtener la caracterización cuantitativa de macizos rocosos y suelos encontrados.

Los Ensayos Geotécnicos que se realizaron son los siguientes:

Para Suelos: Granulometría de Suelos (Norma ASTM D-422), Límites de consistencia (Norma ASTM D-4318-00), gravedad específica en suelos (Norma ASTM D-854), Hidrómetro Norma ASTM D-422, Humedad (Norma ASTM D-2216).

Para Rocas: Determinación indirecta de la resistencia a la Compresión uniaxial de la roca por medio del ensayo Índice de Carga Puntual (Norma ASTM D-5731-95), Martillos Schmidt (Norma ASTM D-5873) y Peso Unitario por el método de la parafina (Norma ASTM D-1188).

3.5 ETAPA DE OFICINA

(Procesamiento, interpretación y análisis de los resultados) Consiste en la organización y procesamiento de datos obtenidos y en la evaluación de los parámetros geológicos y geomecánicos del área de estudio.

- ✓ Análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio.
- ✓ Clasificar la roca intacta según Deere & Miller (1966); Franklin (1989), utilizando los datos recogidos en campo.
- ✓ Clasificar los Suelos (SUCS) según la NORMA ASTM D 2487 – 93.
- ✓ Agrupar e Interpretar toda la información obtenida para luego construir los mapa, Geológico, Inventario de Procesos Geodinámicos Externos,

Orientación de Laderas, Pendiente, Estabilidad Geoestructural, Susceptibilidad, todos a escala 1:5000 de la zona estudiada, utilizando el programa de ARCGIS 10.0

- ✓ En esta fase del trabajo también se desarrollaran las conclusiones y recomendaciones pertinentes del estudio geológico-geotécnico.

CAPITULO IV.

GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

4.1.1 Generalidades

La zona de estudio se encuentra Ubicada en el flanco sur del tramo centro occidental de la cordillera de la costa en el municipio Naguanagua del estado Carabobo, específicamente en el pueblo de “Las Trincheras”, conformado geológicamente por rocas metamórficas de origen ígneo y sedimentario según AGUERREVERE y ZULUAGA (1937); DENGO (1951.)

La Faja de la Cordillera de la Costa comprende: Complejo San Julián y formaciones Las Brisas, Pena de Mora, Antimano, Las Mercedes y la Unidad Oligoceno-Eoceno Cuaternario que yace sobre el basamento (Figura.4.1).

El límite sur de esta Faja coincide con la zona de fallas de La Victoria, la cual es una falla activa menor de tipo transcurrente dextral que sigue al gran sistema de fallas Oca-Ancon-Bocono-San Sebastián-El Pilar.

Laubscher (1995), al estudiar las canteras de la zona de Baruta al sur de Caracas, encuentra que todas las rocas de la faja están intensamente “mezcladas” por procesos tectónicos. Los hechos mencionados sugieren la idea de que los contactos entre las Formaciones Las Brisas y Las Mercedes podrían ser de tipo tectónico y no sedimentario.

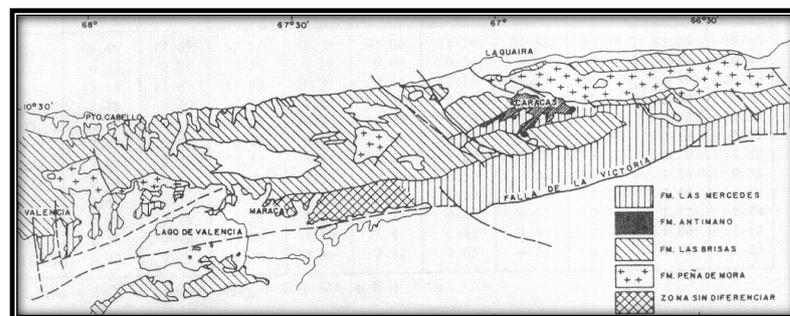


Figura 4.1. Contactos de las formaciones que conforman la Cordillera de la Costa. Esc. 1:500.000 Laubscher (1995).



Figura.4.2. Vista aérea de la Cordillera de la costa. Tomado y modificado de Google Earth.

4.1.2. Marco litológico

En la zona de estudio se distingue la siguiente unidad litológica:

4.1.2.1 Esquistos SAN JULIAN (Paleozoico-Precámbrico)

Distrito Federal y estados Miranda, Aragua y Carabobo.

Según el léxico estratigráfico de Venezuela, las rocas preponderantes son el esquistos y gneis cuarzo – plagioclásico – micáceo, frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnéisico (Urbani y Ostos, 1989). Las litologías minoritarias (menos del 5%) son mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas.

El esquistos es de color gris a gris oscuro con tonalidades verde, meteoriza a tonos pardos, usualmente se presenta muy bien foliado. A escala centimétrica o plurimétrica pueden encontrarse niveles alternos de esquistos y/o gneis con proporciones variables de los minerales esenciales y accesorios, adquiriendo características diferentes en cuanto a color y desarrollo de foliación.

Una característica resaltante de ciertos sectores donde aflora el esquistos cuarzo – plagioclásico – micáceo, es que la plagioclasa (albita – oligoclasa) se desarrolla

marcadamente porfidoblástica y cuando su concentración es alta puede enmascarar a la foliación, impartándole a la roca un aspecto moteado. Buenos ejemplos de esto pueden verse en la cuenca del río Chichiriviche, D.F. y en la quebrada Vallecito, Carabobo.

Todos estos autores a partir de evidencias petrográficas interpretan que entre esta amplia gama de litologías, aquellas más ricas en feldespatos corresponden a rocas metaígneas félsicas, mientras que aquellas esquistas ricas en micas sean producto de un protolito sedimentario, mientras que aquellos esquistos ricos en epidoto, actinolita \pm clorita las interpretan como producto del metamorfismo de horizontes volcánicos, probablemente tobas.

Abarca desde la localidad tipo el noroeste de Caracas, se ha extendido hacia el oeste hasta la zona de El Cambur en el estado Carabobo, y hacia el este hasta Cabo Codera en el estado Miranda.

Kovach et al. (1979) presenta datos de Rb/Sr de cantos rodados de muestras esquistas de la quebrada San Julián, que al ser recalculados por Urbani (1982, p. 81) resulta en una edad de 270 m.a. Estos escasos datos geocronológicos, impide mayor precisión en la asignación de una edad a esta unidad, por tal motivo se ha sugerido una edad genérica de Paleozoico – Precámbrico al Complejo Avila (Urbani y Ostos, 1989).

Con el trabajo geoquímico de componentes mayoritarios y elementos trazas Ostos (1981) deduce un origen sedimentario para el esquisto cuarzo-feldespático-micáceo.

4.1.3. Marco estructural asociación mineralógica

Urbani (1968) señala que Las Trincheras esta cruzada por una serie de amplios pliegues y zonas de fallas a través de las cuales ascienden las aguas termales que afloran en la zona.

Grande (1982) concluye que las rocas de la cordillera de la costa, excepto los gneises, augen-gneis de origen ígneo y las rocas graníticas tienen una historia poli-metamórfica reconociéndose al menos dos eventos metamórficos superpuestos, el primero con una relación de alta presión y temperatura, en las facies de los esquistos glaucofánicos y de la facies de los esquistos verdes la eclogita con una relación de presión y temperatura intermedia.

Haciendo un cuarto análisis geológico-estructural de nivel regional el Valle de Valencia se encuentra limitado por fallas: al norte por el Sistema del Caribe, falla de San Sebastián y al sur por el Sistema de La Victoria, lo cual le confiere cierta complejidad estructural.

4.2. GEOLOGÍA LOCAL

El pueblo de Las Trincheras está ubicado en el Km 183 de la autopista Valencia-Puerto Cabello adjunto al municipio Naguanagua del estado Carabobo, zona en donde predomina el cultivo y da vida una pequeña comunidad suburbana; el lugar cuenta con una capa vegetal de 40cm que cubre aproximadamente un 70% de la superficie, lo que hace la exposición de taludes y laderas escasa o de difícil acceso.

Se compone de manera general por rocas metamórficas de Unidad Litodémica llamada esquistos de San Julián y una zona de sedimentos no consolidados (aluvión fluvial cuaternario y terrazas aluviales) por donde escurre el cauce medio y bajo de los ríos.



Figura. 4.3. Vista aérea del Valle de Las Trincheras. Tomada y modificada de Google Earth.



Figura.4.4 Vista de Las Trincheras desde el sector Los Caracoles

Las rocas metamórficas observadas son el esquistos cuarzo - plagioclásico - micáceo, con una textura esquistosa (Urbaní y Ostos, 1989), lo cual fue corroborado en este trabajo según las secciones finas E8r, E17r, E11r, E19r. Otra litología existente en la zona es la cuarcita de textura medianamente foliada y color gris claro, esto debido al alto porcentaje de cuarzo que contienen, siendo verificado en el análisis petrográfico de las secciones finas E21r, E4r, E20r.



Figura.4.5.Cuarcita hallada en las cercanías de un afluente del rio Aguas Calientes

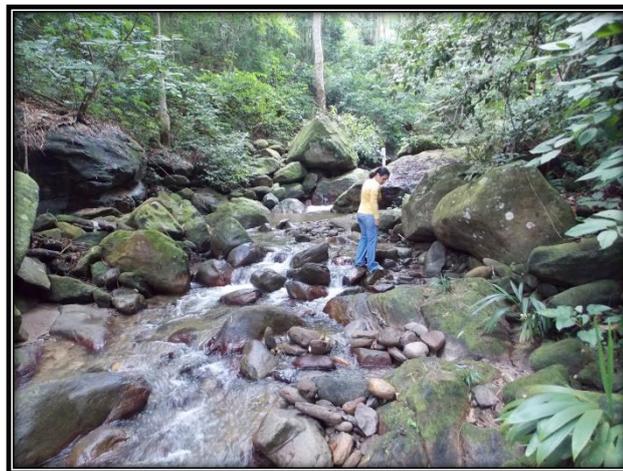


Figura.4.6. Rio Aguas Calientes en el sector La Unión.

Se tomaron un total de 20 muestras, de las cuales solo siete (7) fueron afloramientos significativos. Los planos de foliación en los afloramientos se caracterizan por estar bien definidos, con presencia de varias familias de diaclasas en la mayoría de los afloramientos. Es común encontrar rocas con buena resistencia, así como 20cm de roca descompuesta o saprolito a partir de la superficie de los taludes.

En la figura 4.7 se muestra un afloramiento típico de la zona con alto contenido del mineral de cuarzo en la roca mostrando perfectamente los planos de foliación.



Figura.4.7. Aguas abajo del río “Siete Potencias” Talud E4r.

Los sedimentos no consolidados se presentan en forma de aluviones que provienen de las zonas altas. Los materiales proceden del complejo metamórfico (esquistos plagioclásico y micáceos) que rodea el valle. Estos depósitos sedimentarios yacen sobre la planicie del Valle de Las Trincheras y conforma los márgenes del cauce bajo del río Aguas Calientes.

Se recolectaron diez (10) muestras E1s, E2s, E3s, E4s, E5s, E6s, E7s, E8s, E9s, E10s para practicarle los ensayos de: Humedad, gravedad específica en suelos, granulometría por tamizado.



Figura.4.8. Parte baja del río Aguas Calientes, frente a las Aguas Termales

Además de tres (3) muestras de suelo fino con identificación E3s, E9s, E10s, a las cuales se le realizaron ensayos de caracterización: humedad, granulometría por

hidrómetro, gravedad específica en suelo, límites de consistencia y granulometría por tamizado.



Figura.4.9. Muestra de suelo en laboratorio.

En las inmediaciones del valle se localizan fallas regionales y locales, la falla local lleva por nombre falla de Las Trincheras, también se evidenciaron plegamientos a pequeña escala, foliaciones y diaclasas; como se pueden observar en las siguientes imágenes (figuras 4.10, 4.11, 4.12).



Figura.4.10. Sistema de diaclasas en complejo San Julián



Figura.4.11. Pliegue abierto en un afloramiento de esquistos en el sector La Chivera

El esquistos se halló de color gris a gris oscuro con tonalidades verde, meteoriza a tonos pardos, usualmente se presenta muy bien foliado, tal como lo describen (Urbani y Ostos, 1989).



Figura.4.12. Esquistos del Complejo San Julián. Río Siete Potencias

Distribuidos equitativamente se encontraron evidencias de deslizamientos en los diversos sectores de Las Trincheras; según los habitantes durante la temporada de invierno constantemente se presentan derrumbes o deslizamientos en los sectores y calles del pueblo.



Figura.4.13. Derrumbe en la parte trasera de una vivienda en el sector La Unión.



Figura.4.14. Deslizamiento antiguo que se denota dentro de la elipse roja. En la Calle del sector Las Terrazas



Figura.4.15. La flecha indica el empuje del material. En el sector Las Terrazas

Varias de las casas se han visto afectadas por deslizamientos y fallas rotacionales presentes en la zona, los cuales han tenido un avance bastante rápido ante la percepción humana.



Figura.4.16. Grietas en la calle principal del sector Las Terrazas



Figura.4.17. Vivienda con grietas en sector Las Terrazas de 3cm.

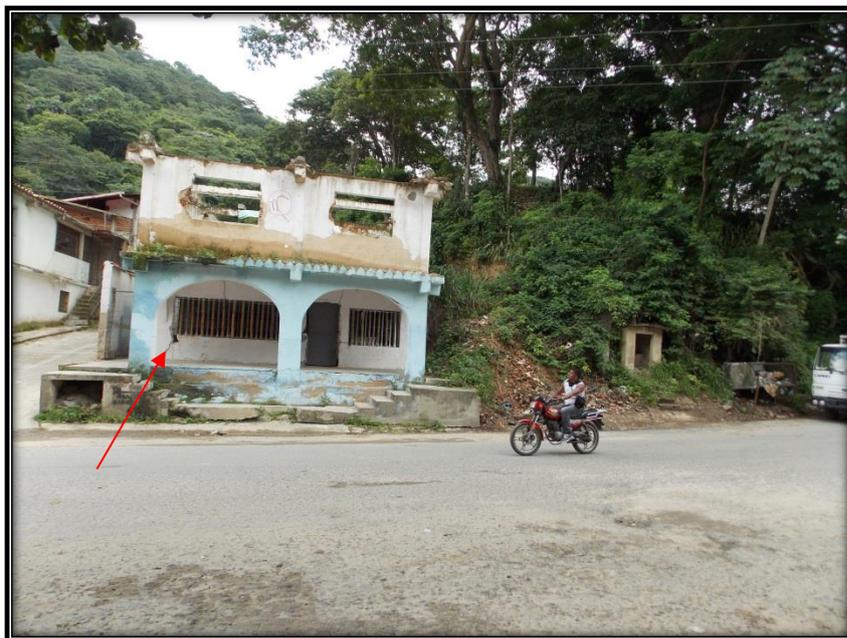


Figura 4.18. Evidencias de deslizamiento rotacional en el sector El Pueblo.

CAPITULO V.

RESULTADOS Y ANALISIS

5.1 DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

La zona de estudio comprende un área urbana y montañosa, donde predomina la vegetación, por lo cual la exposición de taludes o laderas es escasa y de difícil acceso, sin embargo, se estudiaron un total de siete (7) afloramientos. Estos se distribuyen a lo largo de los afluentes del río aguas calientes y algunos cerca de las zonas rurales.

La roca varía entre esquisto cuarzo plagioclásico micáceo y cuarcita plagioclásica micácea; esto fue corroborado por medio del análisis petrográfico de las secciones finas realizadas en las muestras E4, E8 E11, E16, E17, E18, E21.

Los planos de foliación se caracterizan por estar bien definidos, se muestran abundantes familias de diaclasas. Varios de los afloramientos tienen presencia de óxido de hierro; las rocas presentan una resistencia media.

Tabla 5.1. Descripción de afloramiento E4r

Estación	Ubicación Geográfica	Cota (m.s.n.m)	Estructuras	Descripción	Litología
E4r	N 1137885 E 599251	630	Foliación N55E39N	Color fresco: Gris oscuro	Esquisto cuarzo- micáceo- grafitoso
			Diaclasas N40W85N S16W41S N10E72N	Color meteorizado: Pardo Longitud del afloramiento: 39.2m	



Afloramiento expuesto en una quebrada naciente de la fila El Café.

Tabla 5.2. Descripción de afloramiento E8r

Estación	Ubicación Geográfica	Cota (m.s.n.m)	Estructuras	Descripción	Litología
E8r	N 1138666 E 600269	575	Foliación N58E48S	Color fresco: Gris claro	Esquisto cuarzo- micáceo albitico
			Diaclasas N14W12S N26E70N N85W89N	Color meteorizado: Gris Longitud del afloramiento: 3.60m	



Afloramiento hallado en el río “siete potencias” afluente del río aguas calientes, ubicado en el sector de Las Terrazas.

Tabla 5.3. Descripción de afloramiento E11r

Estación	Ubicación Geográfica	Cota (m.s.n.m)	Estructuras	Descripción	Litología
E11r	N 1137399 E 600502	920	Foliación N70W27S	Color fresco: Gris oscuro	Esquisto cuarzo- albitico- moscovític o
			Diaclasas N38E50S N06W80N	Color meteorizado: Pardo Longitud del afloramiento: 7.5m	



Afloramiento expuesto en una quebrada naciente de la fila El Café.

Tabla. 5.4. Descripción de afloramiento E16r

Estación	Ubicación Geográfica	Cota (m.s.n.m)	Estructuras	Descripción	Litología
E16r	N 1139447 E 600289	430	Foliación S80W50S	Color fresco: Gris	cuarcita- micácea
			Diaclasas N11E05S N77E65N E-W70S	Color meteorizado: Gris claro Longitud del afloramiento: 19.5m	



Afloramiento hallado en el sector La Balen muy cerca del paso de la autopista a la altura del distribuidor.

Tabla.5.5. Descripción de afloramiento E17r

Estación	Ubicación Geográfica	Cota (m.s.n.m)	Estructuras	Descripción	Litología
E17r	N 1138529 E 599628	550	Foliación N30E24N	Color fresco: gris oscuro	cuarcita- micácea
			Diaclasas N60W40S N40W37N N03W60N	Color meteorizado: pardo Longitud del afloramiento: 9.8m	



Afloramiento expuesto en la caminaria del sector “la chivera”, el cual lleva a hacienda de cultivo en la zona.

Tabla 5.6. Descripción de afloramiento E18r

Estación	Ubicación Geográfica	Cota (m.s.n.m)	Estructuras	Descripción	Litología
E18r	N 1139302 E 599965	415	Foliación S51W40N	Color fresco: Gris claro	cuarcita albitica – micácea
			Diaclasas S60W85S N37W30S S40W60S N05W22S	Color meteorizado: Gris claro Longitud del afloramiento: 17.5m	



Afloramiento expuesto en las cercanías de la caminaria del sector “la chivera”.

Tabla 5.7. Descripción de afloramiento E21r

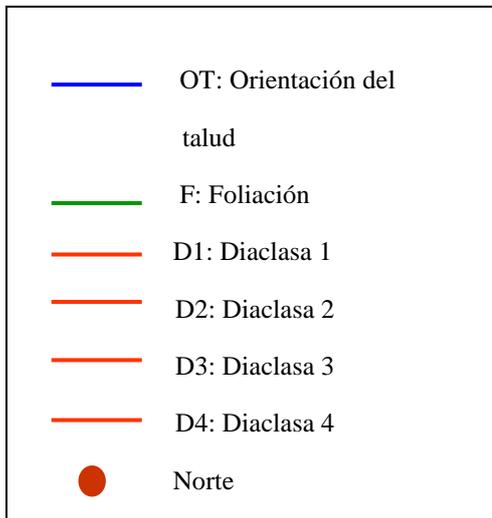
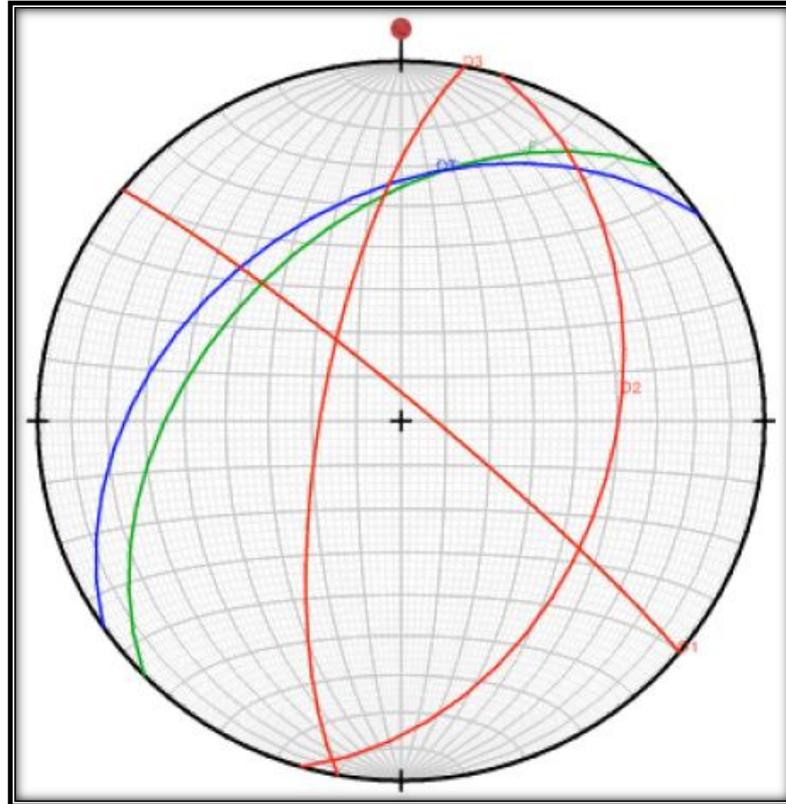
Estación	Ubicación Geográfica	Cota (m.s.n.m)	Estructuras	Descripción	Litología
E21	N 1139043 E 600191	475	Foliación N04W52S	Color fresco: Gris claro Color meteorizado: Gris Longitud del afloramiento: 22m	cuarcita-albitica-moscovitica
			Diaclasas N03W47N N46W35S S25W44N		



Afloramiento hallado en una quebrada paralela al rio "siete potencias" afluente también del rio aguas calientes.

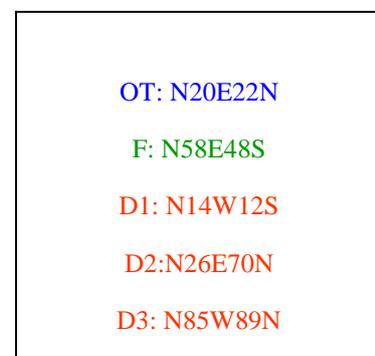
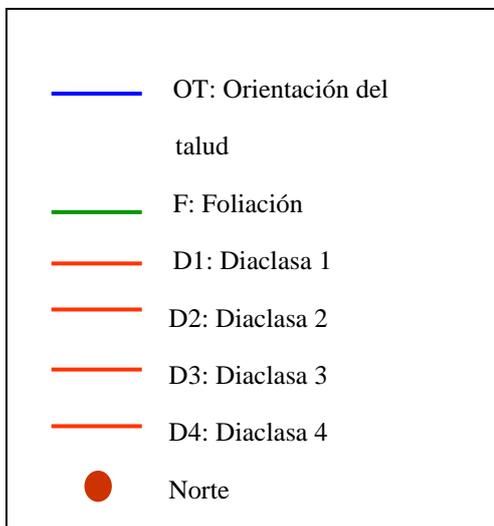
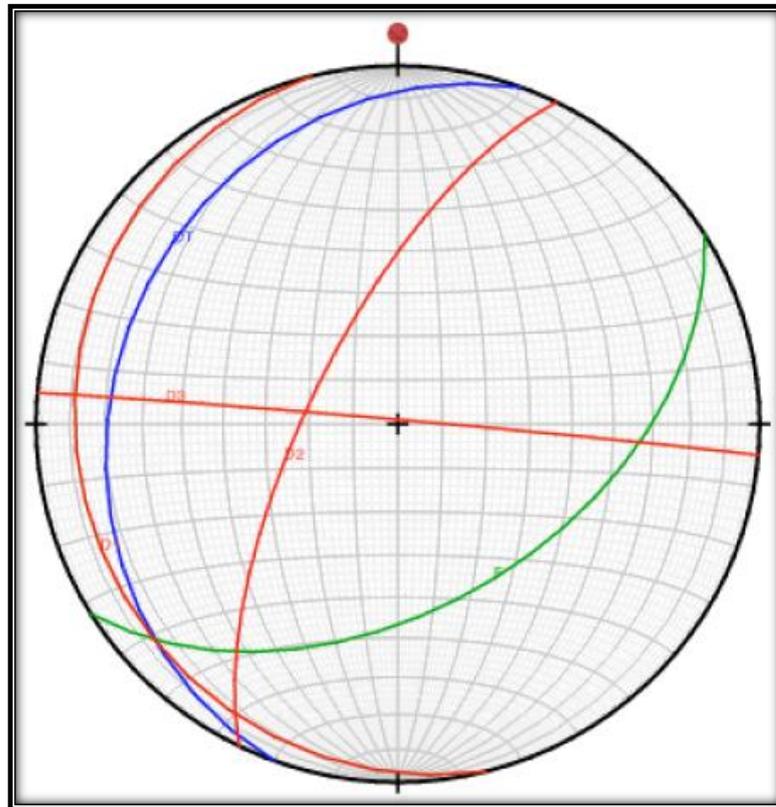
5.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN ROCA

5.2.1 Talud E4r



Existe la posibilidad cinemática de falla en cuña, controlada por la recta intersección que forman F-D2 con un ángulo de seis grados (6°), que se inclina en el mismo sentido que el de la orientación del talud y en buzamiento menor.

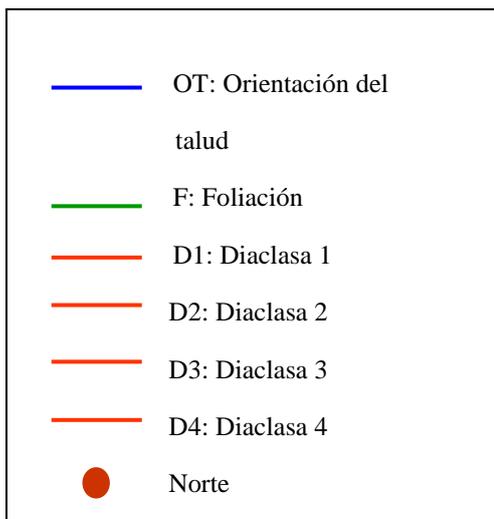
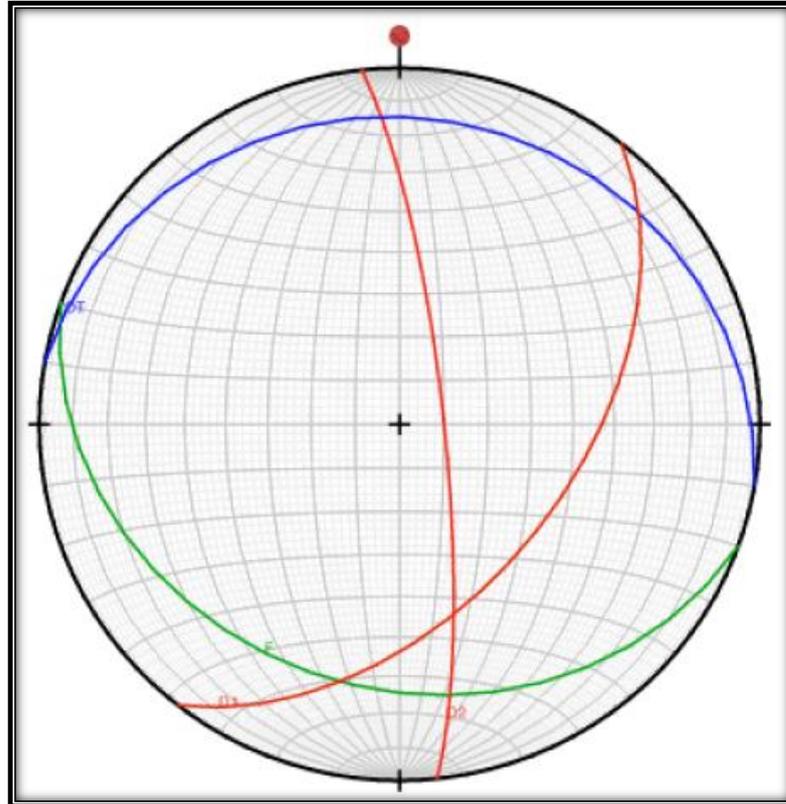
5.2.2 Talud E8r



En este análisis cinemático se observó el rumbo de la discontinuidad F (foliación) casi paralela al rumbo de la orientación del talud, presentando un buzamiento menor y en el mismo sentido, lo que indica que se puede producir una falla de tipo Planar.

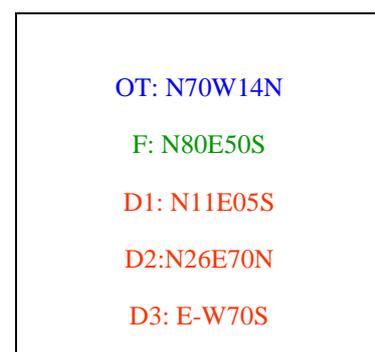
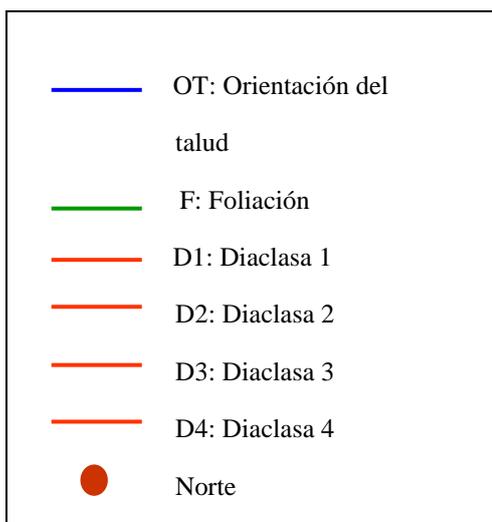
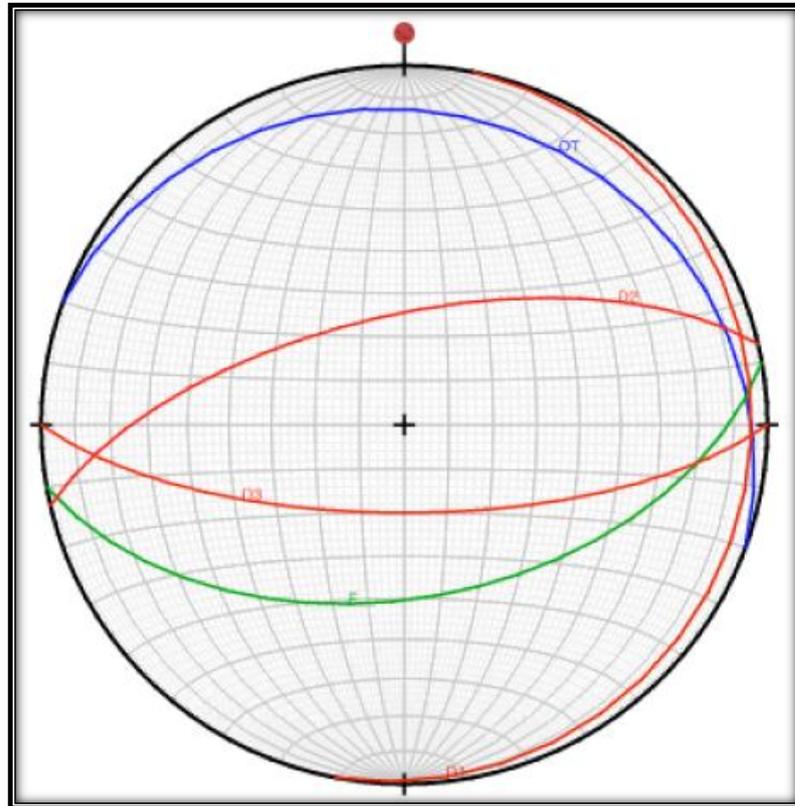
Existe la posibilidad cinemática de falla de cuña, controlada por la intersección de D3 – D1 y ángulo de cinco grados (5°), recta que se inclina en el mismo sentido que el talud y con buzamiento un poco menor.

5.2.3 Talud E11r



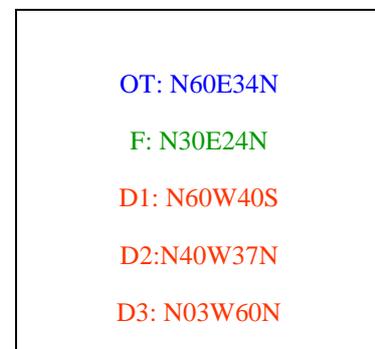
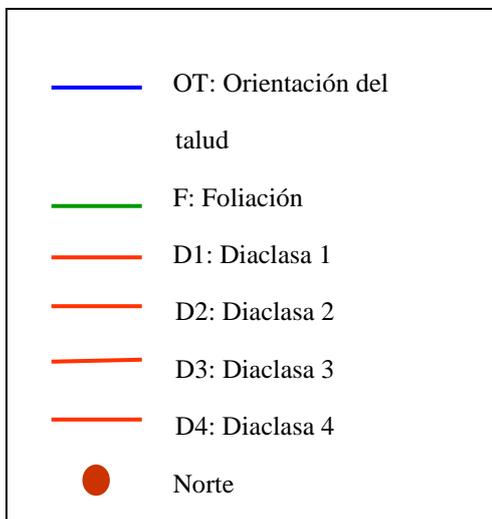
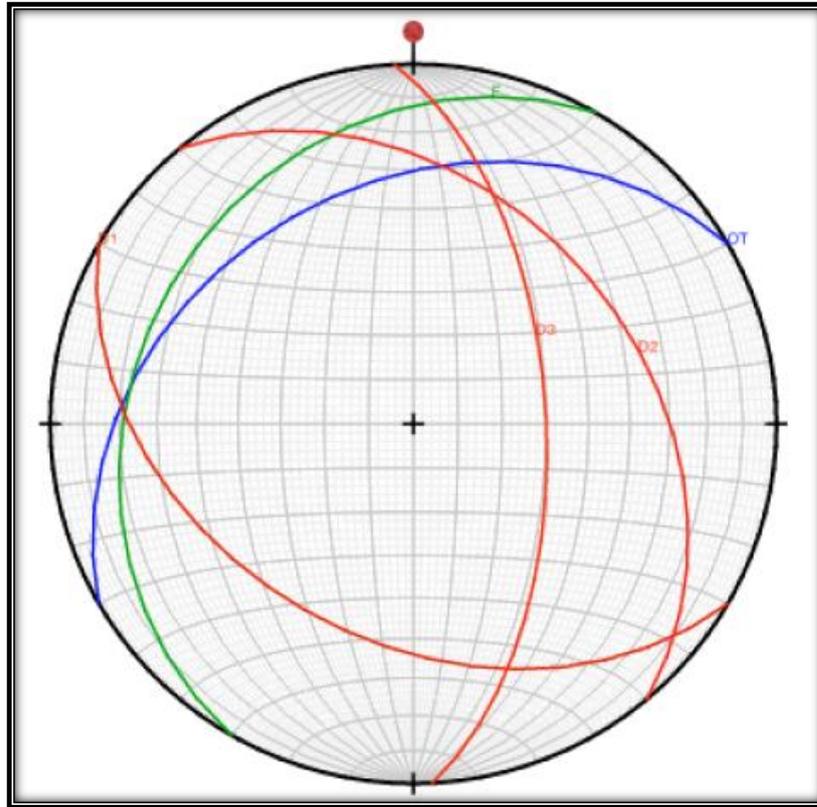
Por cinemática es posible que se genere una falla por volcamiento controlada por el plano de discontinuidad F (foliación), debido a que este es aproximadamente paralelo al del talud y su buzamiento más alto en sentido contrario.

5.2.4 Talud E16r



Este talud no presenta configuraciones cinemáticas inestables.

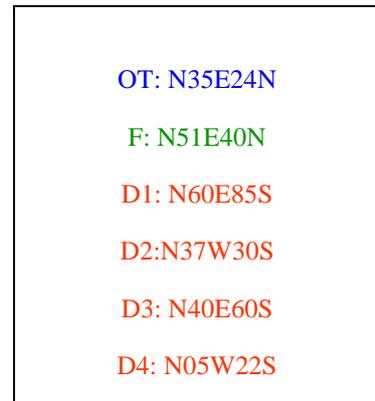
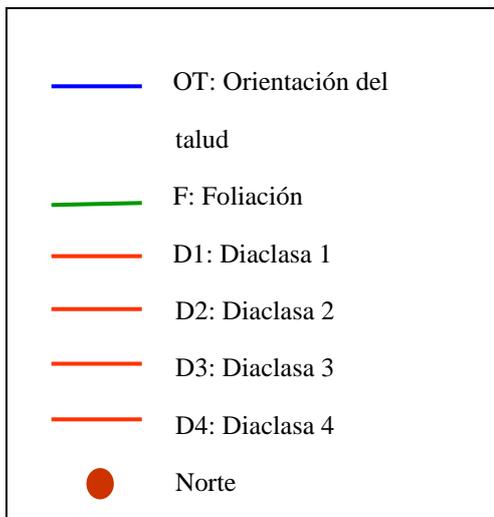
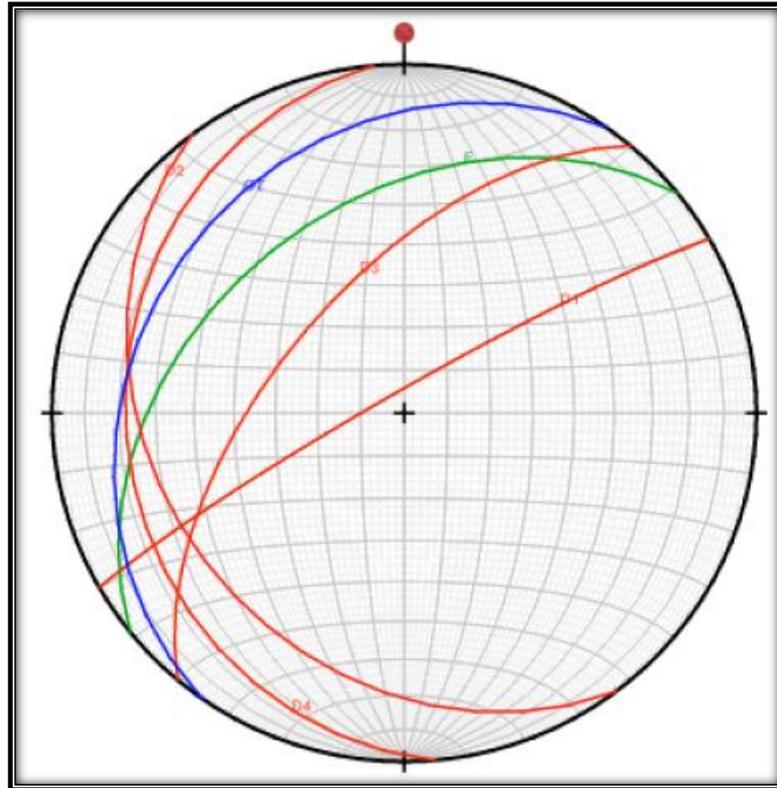
5.2.5 Talud E17r



Existen posibilidades cinemáticas de falla en planar, a través del plano de foliación (F), producto de que el rumbo de este plano F es aproximadamente paralelo al de la orientación del talud y tiene buzamiento menor que la pendiente en el mismo sentido.

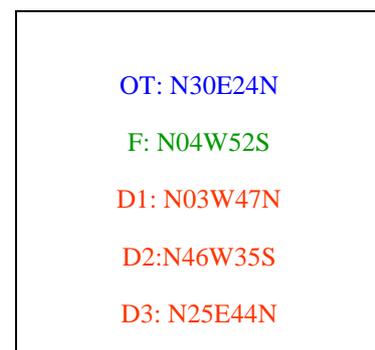
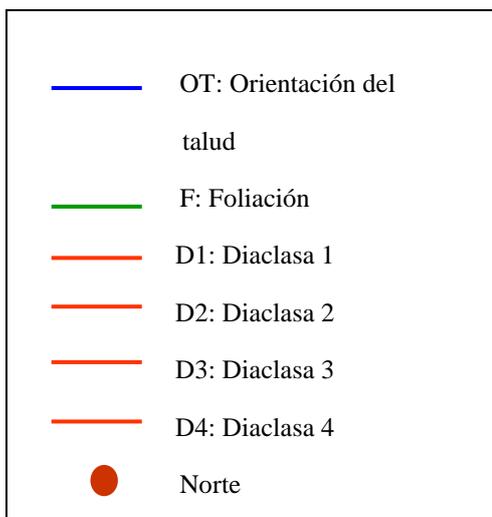
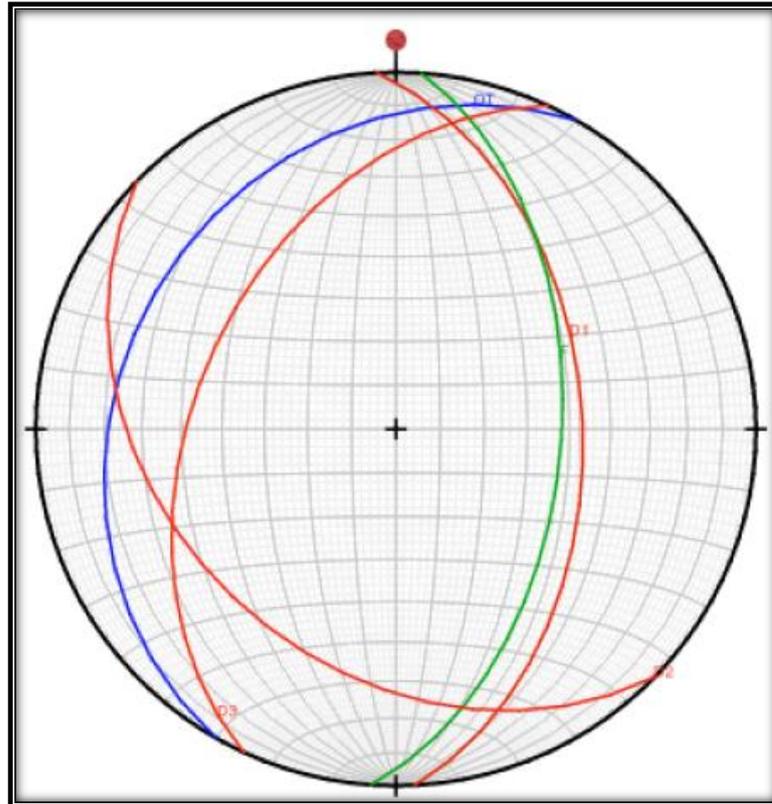
Existe la posibilidad cinemática de falla de cuña, controlada por la intersección de D2 – F con veinte coma cinco grados ($20,5^\circ$) y D3-F con seis grados (6°) de intersección, se inclinan en el mismo sentido de la orientación del talud y con buzamiento menor.

5.2.6 Talud E18r



Existe la posibilidad cinemática de falla de cuña, controlada por las intersecciones de D2 - D4 veinte coma cinco grados ($20,5^\circ$) y F - D1 con un ángulo de tres coma cinco grados ($3,5^\circ$), dichas rectas de intersecciones se inclinan en el mismo sentido que el de la orientación del talud y en buzamiento un poco menor.

5.2.7 Talud E21



Se muestra el rumbo de la discontinuidad de la foliación aproximadamente paralelo al de la orientación del talud y tiene un buzamiento alto en sentido contrario, lo que puede causar según el análisis cinemático una falla de tipo volcamiento.

5.3 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Este análisis nace de la necesidad de clasificar las rocas a nivel de detalle y con mayor precisión, que la determinada en muestra de mano. Permitiendo así, definir los minerales presentes, alineación de los mismos, textura, tamaño de grano. Esto con el fin de obtener las unidades litológicas informales planteadas en este estudio, para luego ser comparadas con unidades litológicas formales.

5.3.1 Para la muestra: E4r

Clasificación de la roca: Cuarzita

Tamaño promedio de los granos (mínimo y máximo): (0,6-24) mm

Tabla.5.8. Porcentaje mineralógico de la muestra E4r

Mineral	Porcentaje de la muestra (%)
Cuarzo	90
Microclino	4
Moscovita	3
Accesorios	3



Figura.5.1. Se denota el alto contenido de cuarzo en toda la sección fina.



Figura.5.2. Se identifican feldespatos, con un maclado tipo tartán una característica del microclino.

Con un alto porcentaje de cuarzo, lo cual le atribuye la clasificación de cuarcita, una roca de textura granular, los cristales de cuarzo con un contacto predominante tangencial, de extinciones ondulatorias. Las micas se presentan de manera aisladas sin orientación preferencial, con un tamaño de grano mínimo.

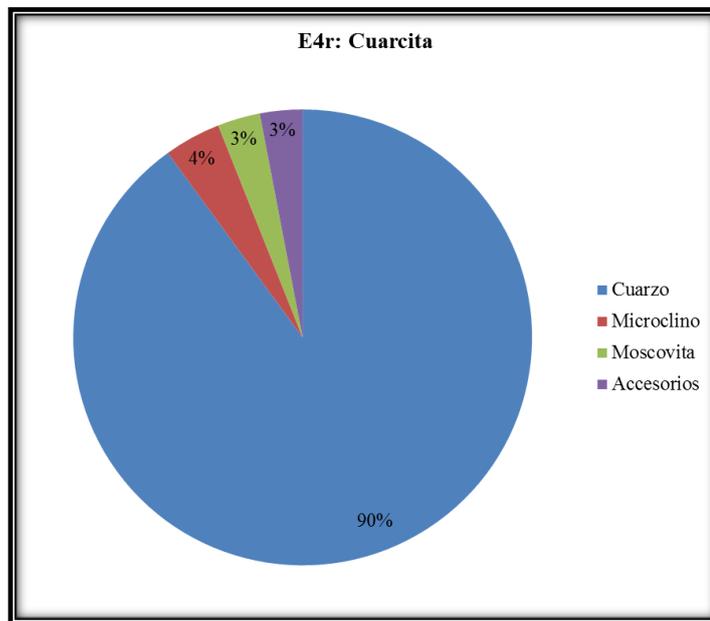


Figura.5.3. Representación gráfica de la petrografía E4r

5.3.2 Para la muestra: E8r

Clasificación de la roca: Esquisto-cuarzo-micáceo-albítico

Tamaño promedio de los granos (mínimo y máximo): (0,3-12) mm

Tabla.5.9. Porcentaje mineralógico de la muestra E8r

Mineral	Porcentaje en la muestra (%)
Cuarzo	66
Moscovita	18
Albita	13
Biotita	3
Accesorios	1

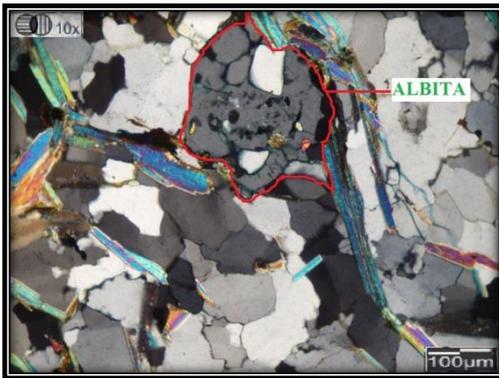


Figura.5.4. El cristal de albita presenta inclusiones, el cuarzo y las micas siguen la misma orientación preferencia

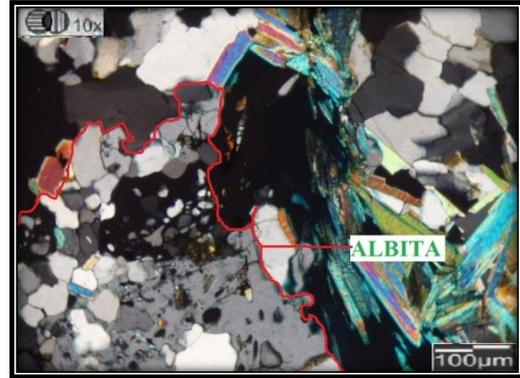


Figura.5.5. Se muestra un cristal de albita bastante grande con inclusiones de cuarzo y mica.

Presenta una textura foliada esquistosa, donde el cuarzo es el mineral predominante. Los cristales de moscovita y biótica se intercalan formando bandas lepidoblasticas en sentido de la foliación. Dichos minerales se presentan deformados. Como mineral accesorio se encuentra apatito.

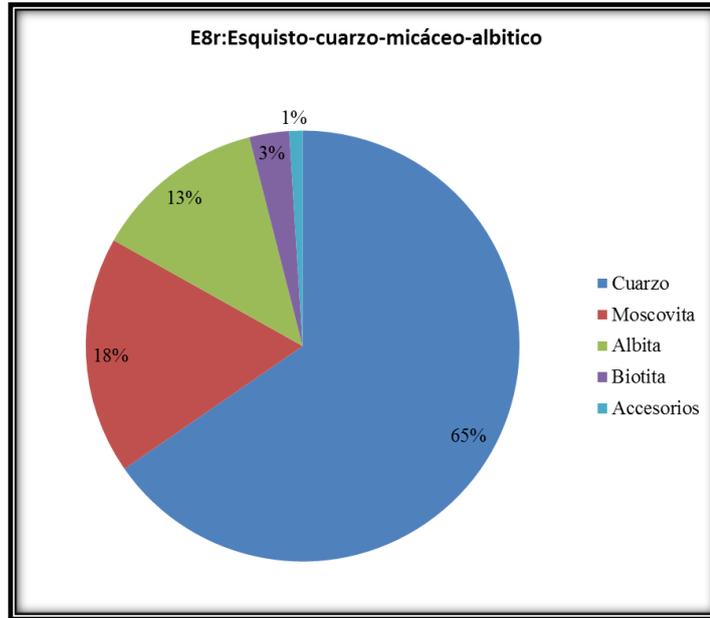


Figura.5.6. Representación gráfica de la petrografía E8r

5.3.3 Para la muestra: E11r

Clasificación de la roca: Esquisto cuarzo-albítico-moscovítico

Tamaño promedio de los granos (mínimo y máximo): (0,6-9) mm

Tabla.5.10. Porcentaje mineralógico de la muestra E11r

Mineral	Porcentaje en la muestra (%)
Cuarzo	71,9
Albita	13,2
Moscovita	10,1
Clorita	2,2
Epidoto	1,6
Biotita	0,8
M. Opaco	0,2



Figura.5.7. Muestra un micropliegue de micas y epidoto, generado por esfuerzos de compresión.

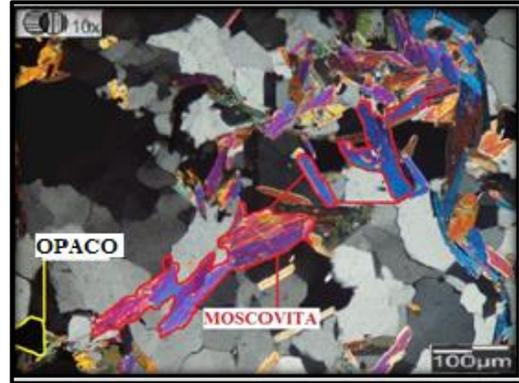


Figura.5.8. Se observan cristales de moscovita y epidoto sin dirección preferencial

La foliación en esta sección fina no es notoria. Esta muestra está constituida principalmente por cuarzo, albita y moscovita. El cuarzo anhedral, tanto mono-cristalino como poli-cristalino. Las micas de habito laminar sin orientación preferencial. Las cuales están compuestas por moscovita, biotita y clorita, las dos últimas como minerales accesorios. Además se notó la presencia de epidoto. La muestra contiene un bajo porcentaje de minerales opacos.

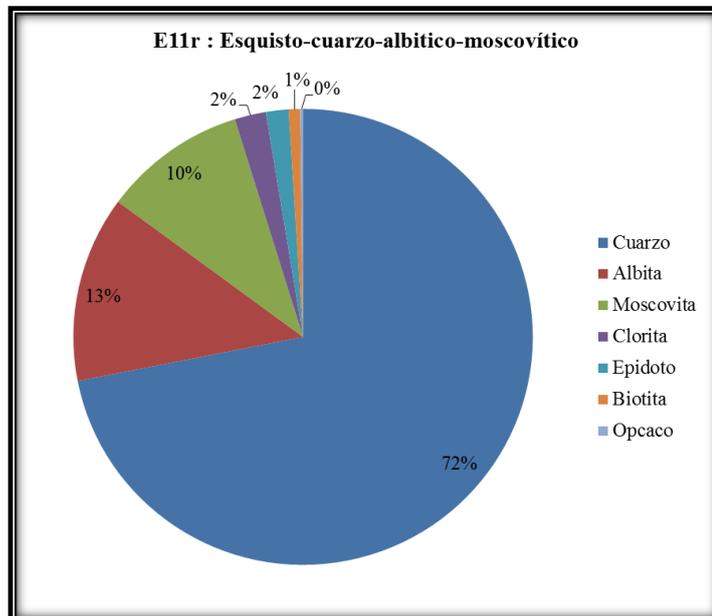


Figura.5.9. representación gráfica de la petrografía E11r

5.3.4 Para la muestra: E17r

Clasificación de la roca: Esquisto cuarzo- micáceo

Tamaño promedio de los granos (mínimo y máximo): (0,6-7.5) mm

Tabla. 5.11. Porcentaje mineralógico de la muestra E17r

Mineral	Porcentaje contenido en la muestra (%)
Cuarzo	74
Albita	15
Moscovita	7
Microclino	3

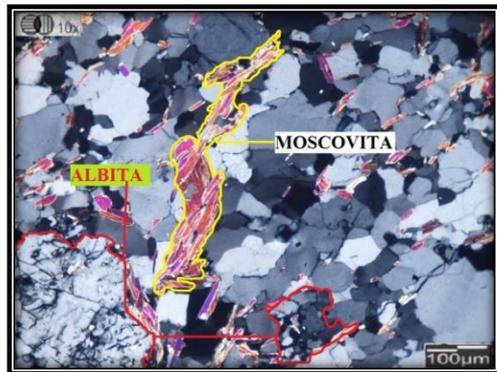


Figura.5.10. Cristales de cuarzo y moscovita alineados en una dirección preferencial.

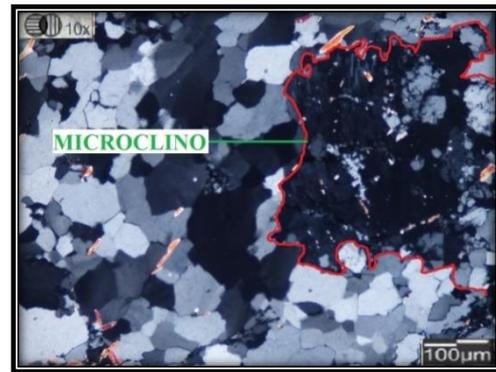


Figura.5.11. Se distingue un microclino de tamaño promedio, con inclusiones de minerales accesorios.

Con mayor porcentaje del mineral de cuarzo, los cuales parecen triturados de contacto cóncavo-convexo, lo que indica que la roca fue sometida a altas deformaciones. Dichos cristales de cuarzo tienen una orientación preferencial, donde predominan los polí-cristalinos. La albita también se encuentra triturada y con evidencias de deformación. El porcentaje en moscovita es bajo, sin embargo en ella también se observa la dirección preferencial que conlleva a la foliación.

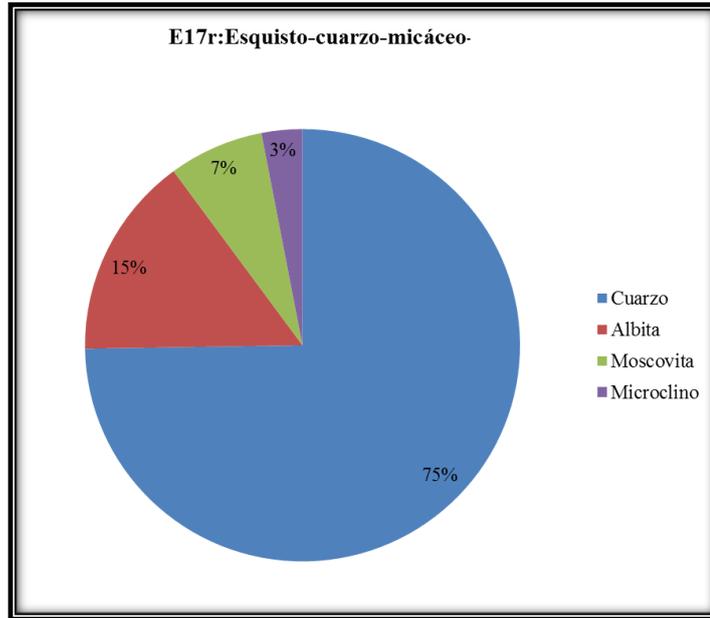


Figura.5.12. Representación gráfica de la petrografía E17r

5.3.5 Para la muestra: E19r

Clasificación de la roca: Esquisto-cuarzo- albítico- micáceo

Tamaño promedio de los granos (mínimo y máximo): (1,2-12) mm

Tabla.5.12. Porcentaje mineralógico de la muestra E19r

Mineral	Porcentaje en la muestra (%)
Cuarzo	67
Albita	14
Moscovita	10
Biotita	4
Clorita	3
Epidoto	2

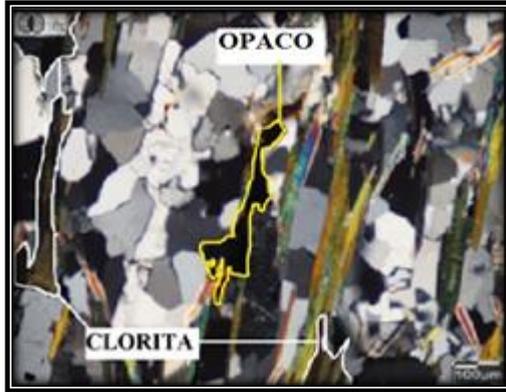


Figura.5.13. Bandas de micas con una orientación preferencial definiendo de esta manera la foliación de la roca.



Figura 5.14. Bandas lepidoblásticas de micas que definen la foliación

Muestra una textura foliada con cristales de cuarzo mono-cristalino y policristalino, este mineral se muestra intercalado con bandas de micas, estas son paralelas a los planos de foliación. De hábito laminar, la moscovita, biotita y clorita. En la sección fina se evidenciaron minerales opacos de color marrón en nicoles paralelos y cruzados, observando la muestra de mano se reconoce como óxido de hierro. Como minerales accesorios se observó epidoto.

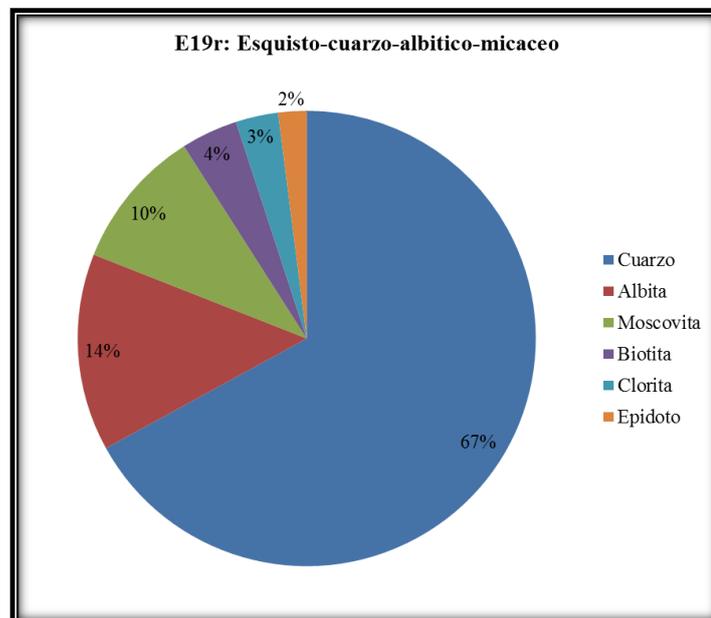


Figura. 5.15. Porcentaje mineralógico de la muestra E19r

5.3.6 Para la muestra: E20r

Clasificación de la roca: cuarcita albitica – micácea

Tamaño promedio de los granos (mínimo y máximo): (0,4-12.5) mm

Tabla.5.13. Porcentaje mineralógico de la muestra E20r

Mineral	Porcentaje de en la muestra (%)
Cuarzo	77
Albita	10
Biotita	8
Moscovita	3,5
Clorita	1
Epidoto	0,5

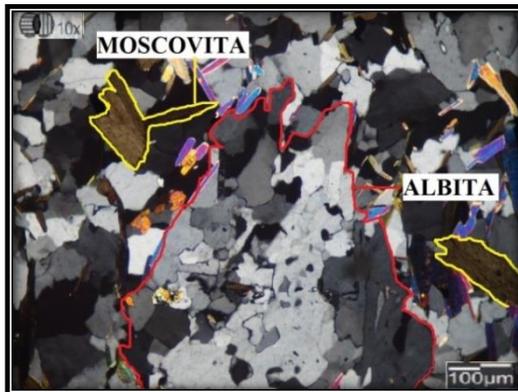


Figura.5.16. Se indica un gran grano de albita, rodeado de cuarzo y micas.

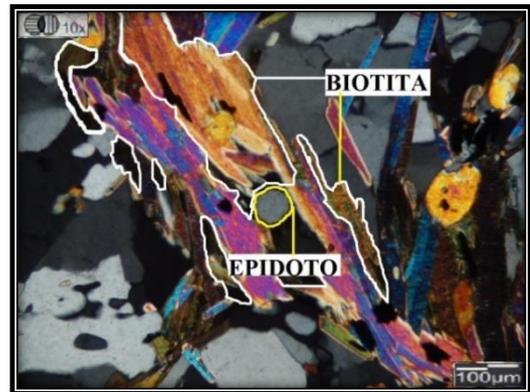


Figura.5.17. Con láminas de biotita alineadas en una dirección preferencial

Se clasifica como cuarcita por el alto contenido de cuarzo, donde predominan cristales de cuarzo, con contactos tangenciales, extinción escasamente ondulatoria. Plagioclasas como albita con incrustaciones de cuarzo y micas dentro de ella. La micas de habito laminar presentan bandeamientos paralelos a la foliación; tanto la biotita, la moscovita y la clorita se encuentran asociadas. Dentro de ciertos granos de cuarzo se evidenciaron cristales de epidoto, manteniéndose estos limpios a los

bordes. Determinados granos de biotita contienen en su interior minerales opacos de color marrón intenso. La biotita es ligeramente pleocroica y marrón claro.

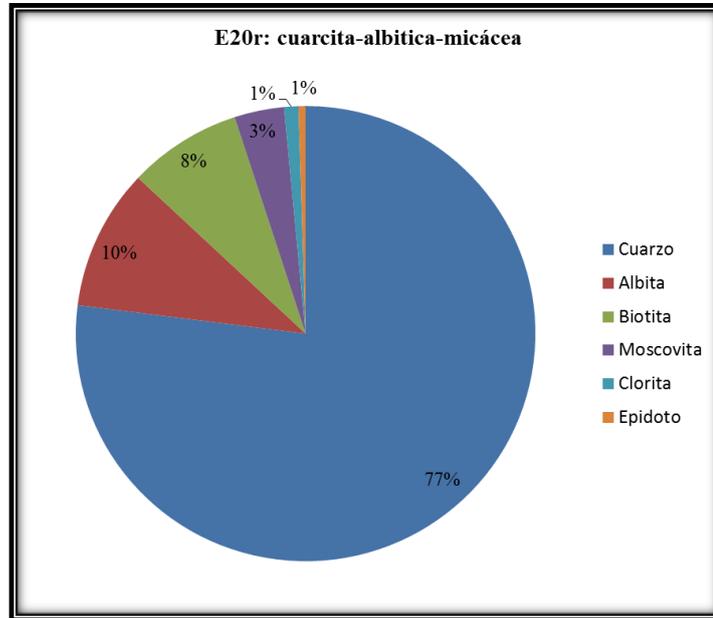


Figura.5.18. Representación gráfica de la petrografía E20r

5.3.7 Para la muestra: E21r

Clasificación de la roca: cuarcita- albitica- moscovitica

Tamaño promedio de los granos (mínimo y máximo): (0,9-6) mm

Tabla.5.14. Porcentaje mineralógico de la muestra E21r

Mineral	Porcentaje en la muestra (%)
Cuarzo	78
Albita	14
Moscovita	6
Biotita	1
Epidoto	0,5
Opacos	0,5



Figura.5.19. Láminas de moscovita alineadas en una dirección preferencial y perpendicular a los esfuerzos.

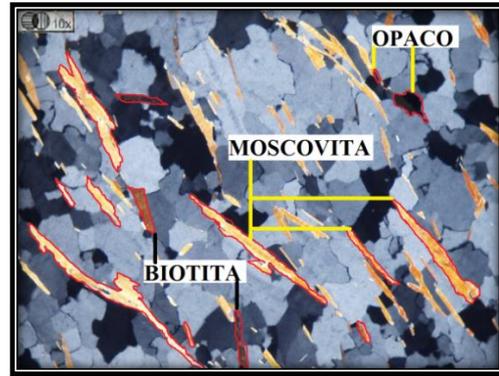


Figura.5.20. Se muestra el alto contenido de cuarzo que se halla en toda la sección fina, el cual también tiene una leve orientación, ayudando a definir la foliación de la roca.

Se clasifica como cuarcita por el alto porcentaje de cuarzo contenido en la roca, el cual, se muestra con una orientación preferencial, de extinción ondulatoria en su mayoría y poli-cristalino, con contacto entre granos tangencial. Las micas también presentan una orientación preferencial, la misma que los cristales de cuarzo, contribuyendo así a definir la textura foliada de la roca. Como minerales accesorios se halló apatito y epidoto en bajo porcentaje.

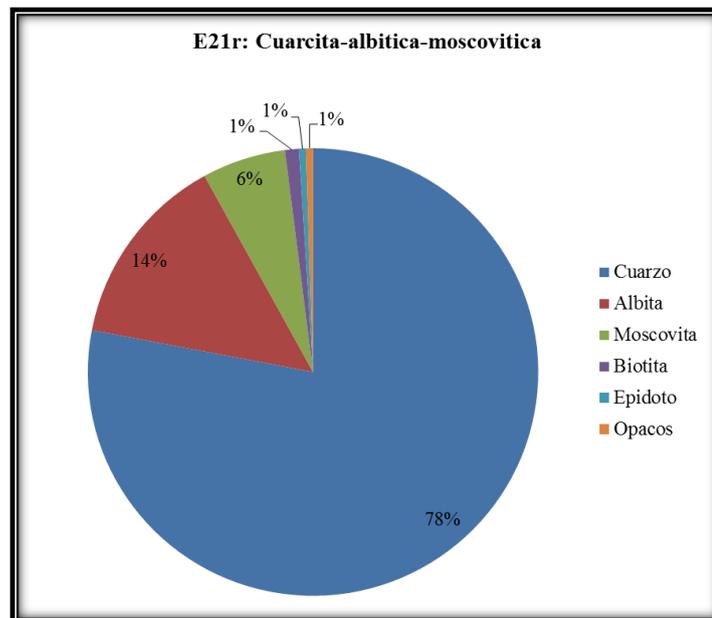


Figura.5.21. Representación gráfica de la petrografía E2

5.4 ENSAYOS

5.4.1 De suelos

5.4.1.1 Gravedad específica

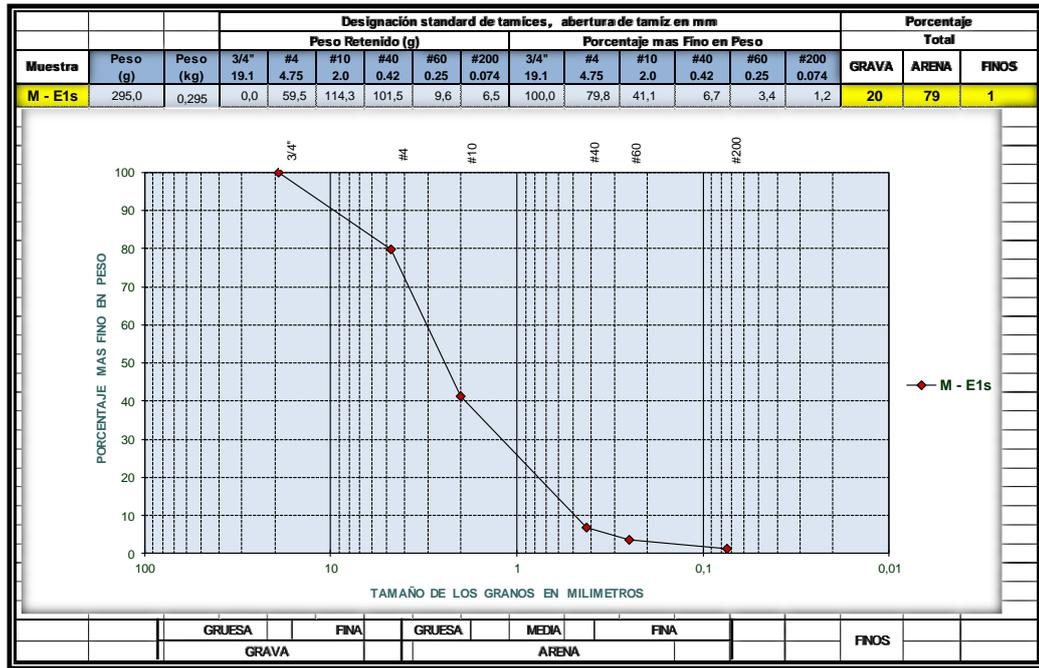
Tabla.5.15. Ensayo de gravedad específica en suelos

Ensayo de Gravedad Específica en Suelos									
Según ASTM D 854									
Muestra	E1s	E2s	E3s	E5s E5r	E6s	E7s	E8s E8r	E9s	E10s
Numero de Picnómetro	76	72	71	73	68	69	75	70	67
Peso de Picnómetro con Suelo seco (g)	197,34	264,16	181,97	271,88	224,46	308,29	206,31	213,27	181,08
Wb = Peso Picnómetro (g)	105,38	96,91	104,76	99,49	103,42	102,59	102,91	104,60	101,26
Wo = Peso de suelo Seco (g)	91,96	167,25	77,21	172,39	121,04	205,70	103,40	108,67	79,82
W3 = Peso Picnómetro con suelo y Agua (g)	412,17	452,42	402,79	457,92	429,82	482,68	417,31	422,21	400,32
Temperatura de Ensayo (°C)	21,10	22,20	24,60	22,20	22,90	21,80	21,70	24,70	24,00
W2 Calibración del Peso Picnómetro lleno de Agua (g)	354,24	345,83	353,47	348,32	352,42	351,37	351,75	352,72	350,14
Gs=	Wo								
	Wo+ (W₂ - W₃)	2,70	2,76	2,77	2,75	2,78	2,77	2,73	2,77

La Gravedad Específica en las muestras de suelo oscilan entre los valores típicos de 2,70 y 2,78 con un valor promedio de 2,74.

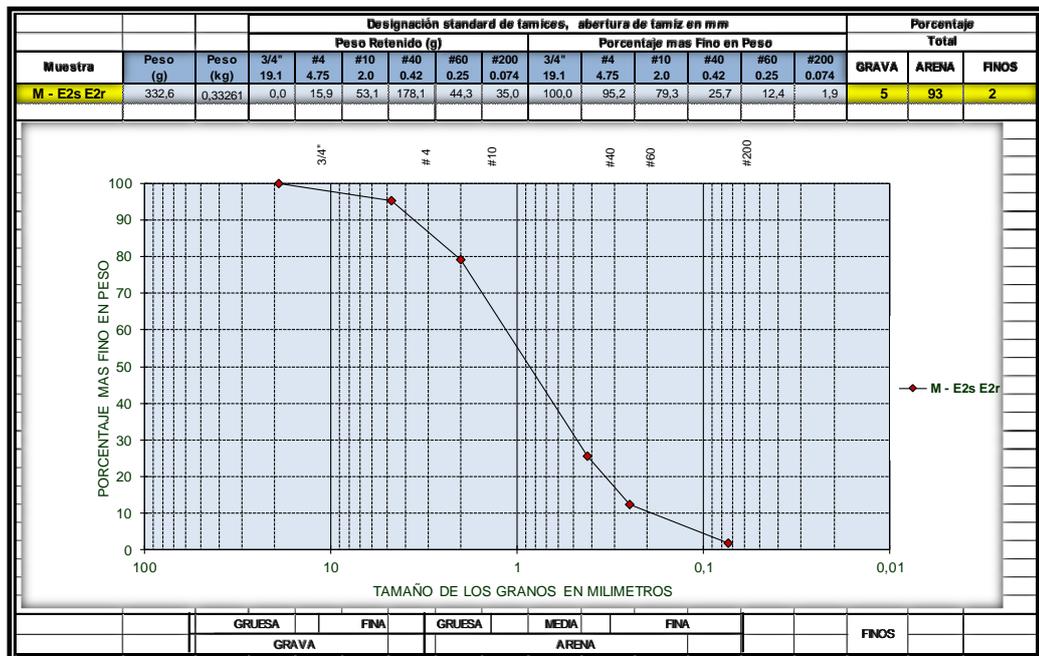
5.4.1.2 Granulometría por Tamizado

Tabla.5.16.Curva granulométrica de la muestra E1s



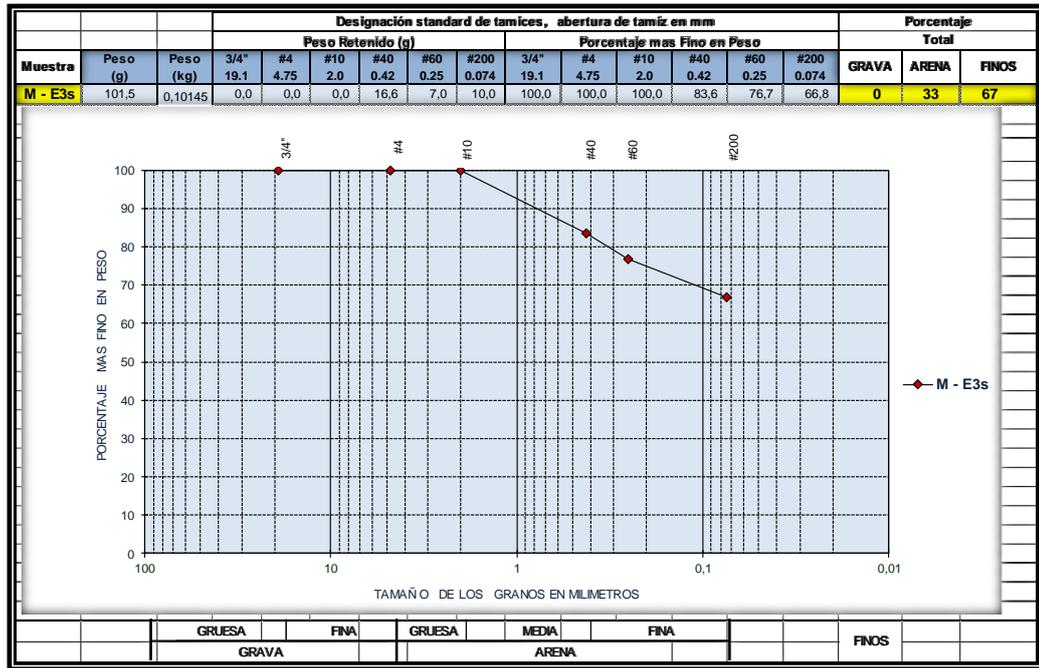
E1s: Arena de grano medio, limpia, con grava, marrón grisáceo claro, gris claro, con abundante cuarzo, micas y restos vegetales.

Tabla 5.17. Curva granulométrica de la muestra E2s



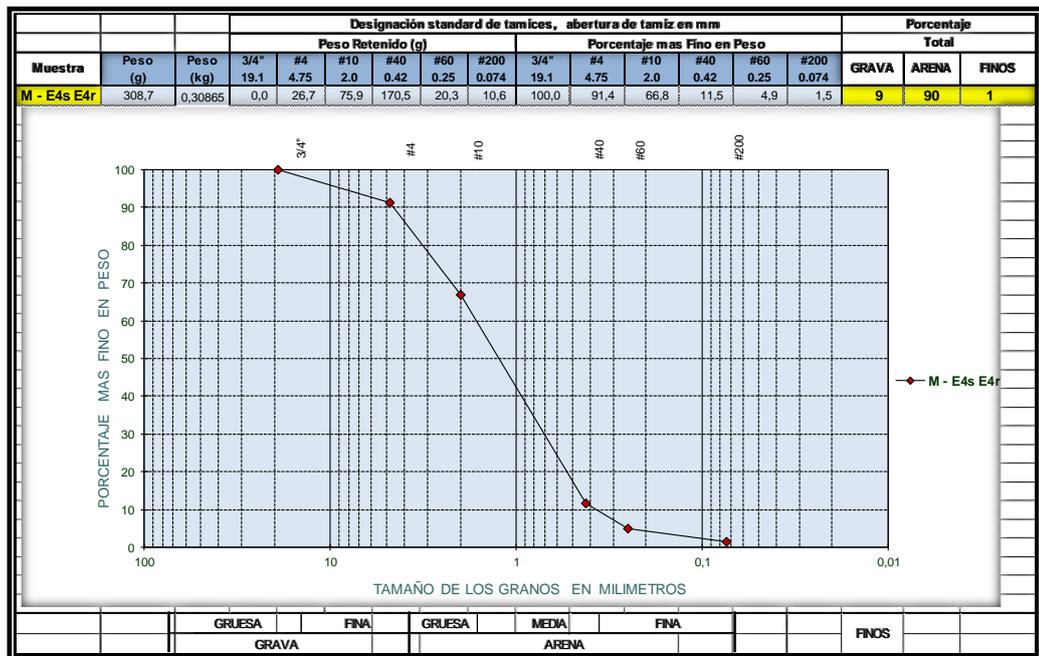
E2s: Arena de grano medio a fino, limpia, marrón grisáceo claro, gris claro, con abundante cuarzo, micas y restos vegetales.

Tabla.5.18. Curva granulométrica de la muestra E3s



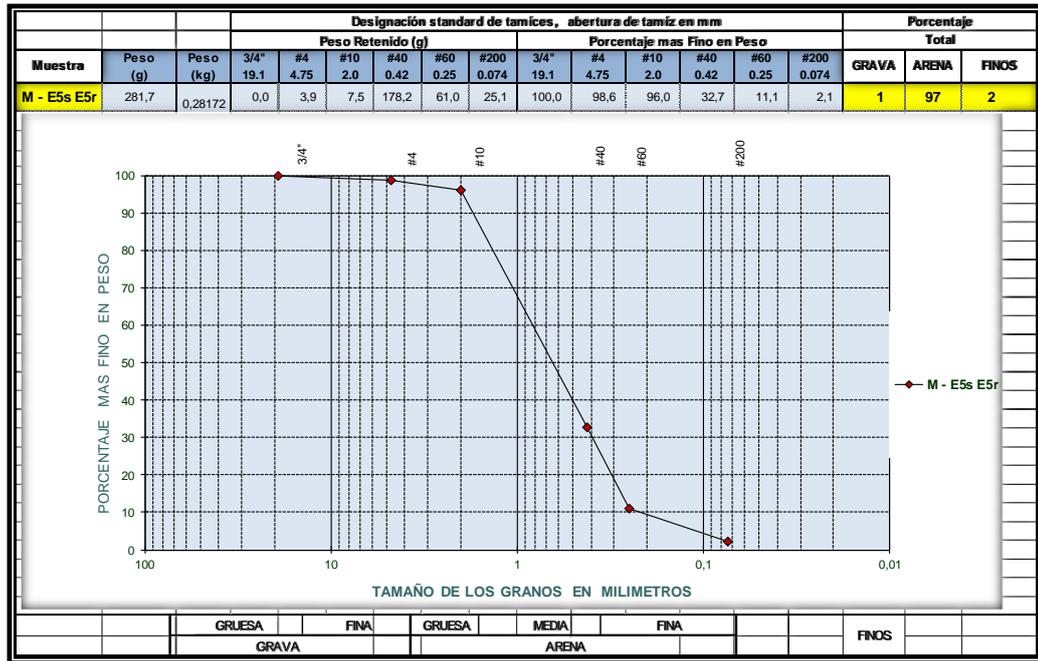
E3s: Arcilla de baja plasticidad arenosa, marrón muy pálido, marrón amarillento claro, con restos vegetales (CL)

Figura.5.19. Curva granulométrica de la muestra E4s



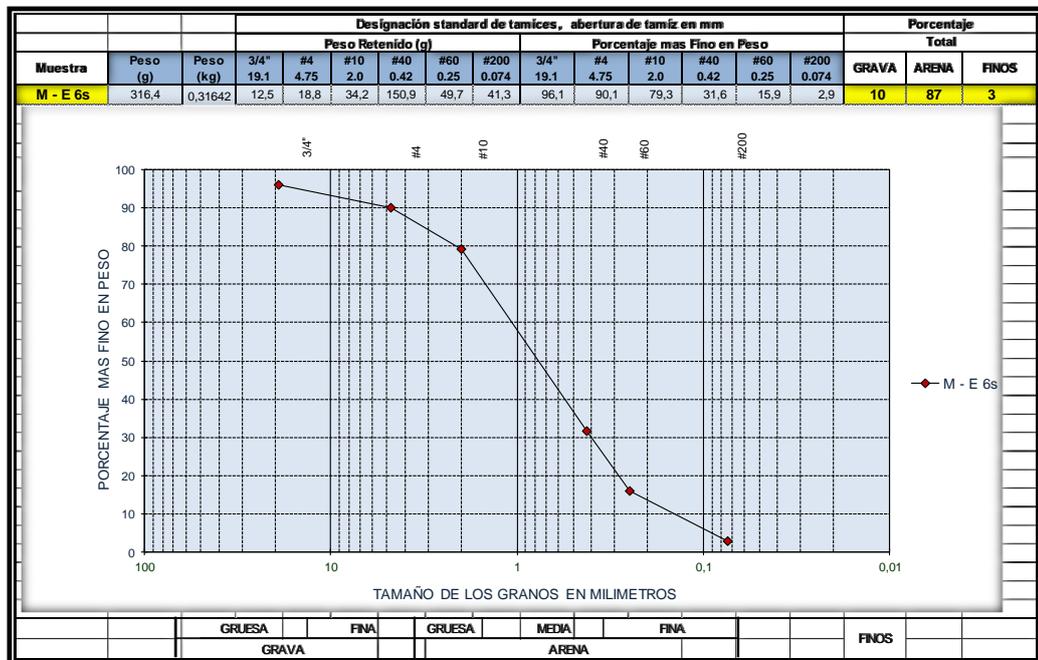
E4s: Arena de grano medio a fino, limpia, marrón grisáceo claro, gris claro, con cuarzo y abundante micas.

Tabla.5.20. Curva granulométrica de la muestra E5s



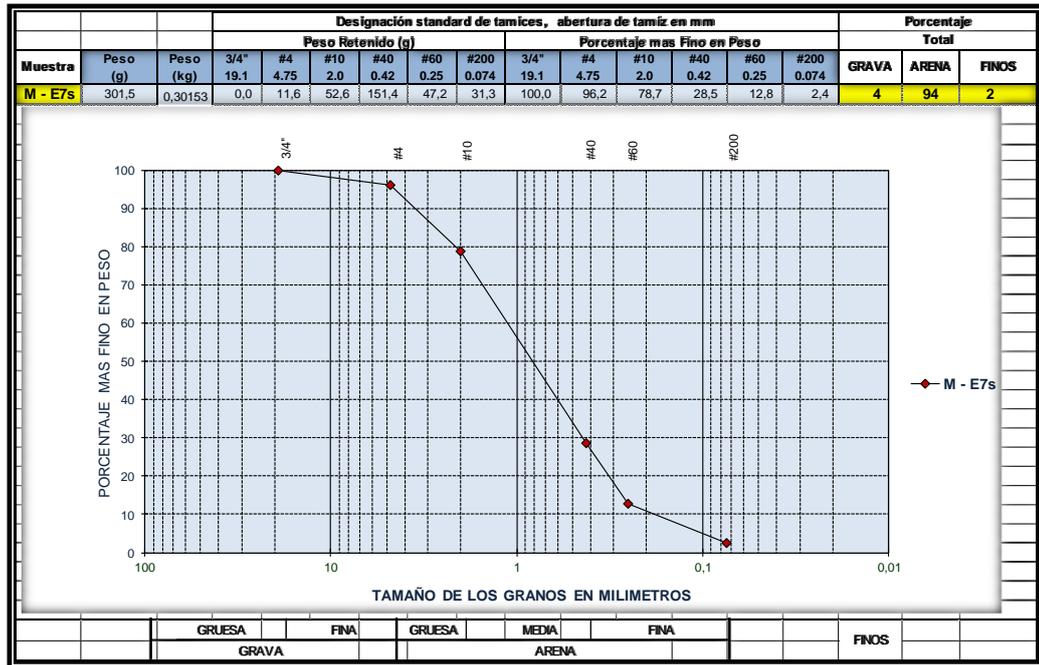
E5s: Arena de grano medio a fino, limpia, marrón grisáceo claro, gris claro, con cuarzo y abundante micas.

Tabla.5.21. Curva granulométrica de la muestra E6s



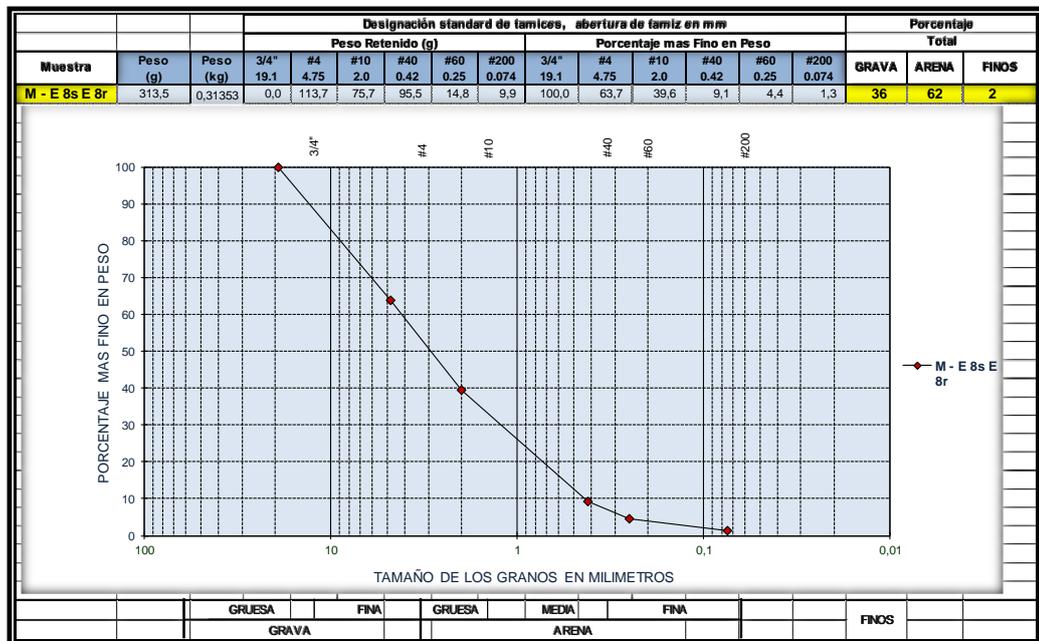
E6s: Arena de grano medio a fino, limpia, marrón grisáceo claro, gris claro, con cuarzo y abundante micas.

Tabla.5.22. Curva granulométrica de la muestra E7s



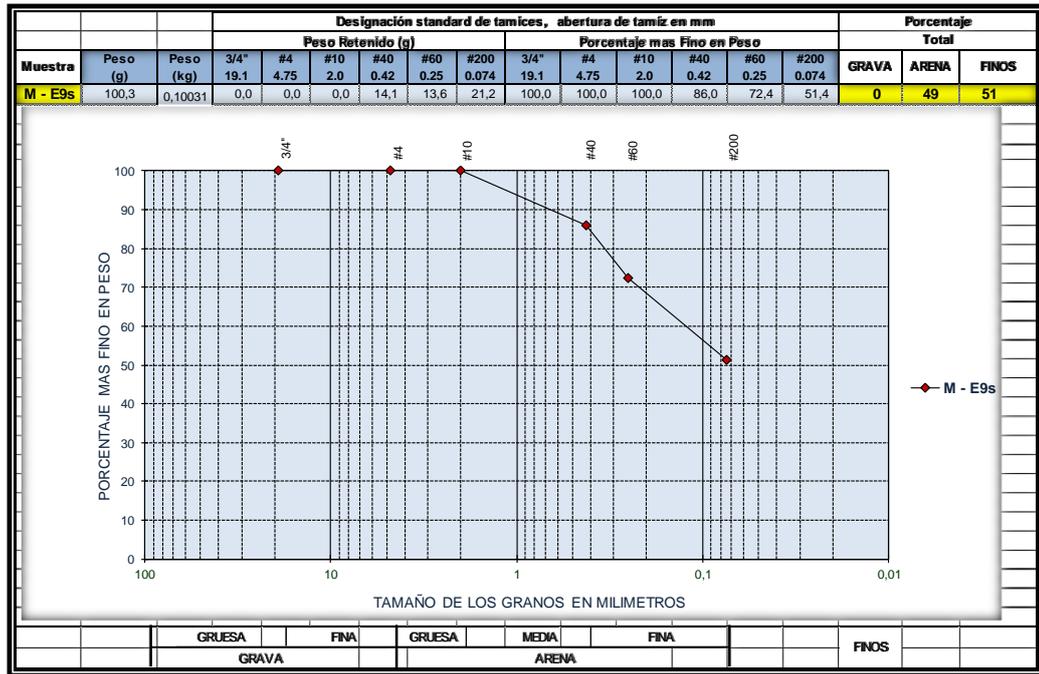
E7s: Arena de grano medio a fino, limpia, marrón grisáceo claro, gris claro, con abundante cuarzo y micas.

Tabla.5.23. Curva granulométrica de la muestra E8s



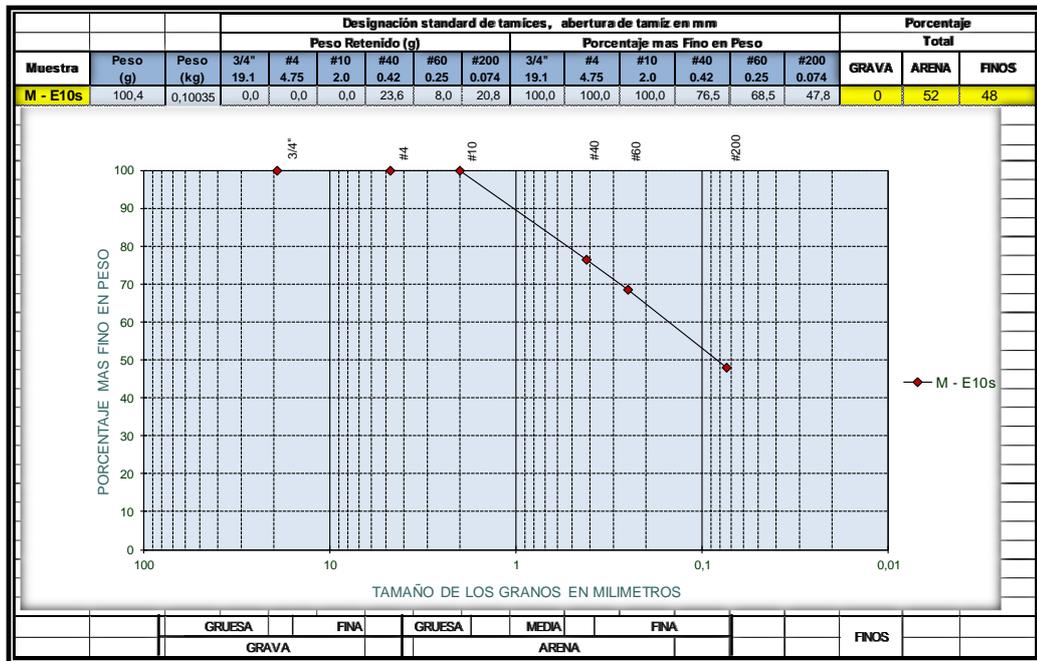
E8s: Arena de grano grueso a medio, limpia, con grava, marrón grisáceo claro, gris claro, con abundante cuarzo y micas.

Tabla 5.24. Curva granulométrica de la muestra E9s



E9s: Limo de baja plasticidad, arenoso, marrón muy pálido, con restos vegetales y abundantes mica. (ML)

Tabla 5.25 Curva granulométrica de la muestra E10s



E10s: Arena de grano medio a fino, arcillosa, marrón rojizo con restos vegetales (SC)

Análisis

Para el análisis de los datos obtenidos y la clasificación de los suelos se siguió lo contemplado en la norma ASTM D-2487-11.

Para obtener la distribución granulométrica de las muestras se usó una serie de tamices ordenados de mayor a menor: T-3/4", abertura 19 mm, T-4 abertura 4.75 mm, T-10 abertura 2.0 mm, T-40 abertura 0.42 mm, T- 60 abertura 0.250 mm, T-200 abertura 0.075 mm, según ASTM D-422.

Las gravas pasa el tamiz #3/4" y queda retenido en el tamiz #4

Las Arena de grano fino pasa el tamiz 40 y queda retenido en el tamiz # 200

Las arenas de grano medio pasa el tamiz #10 y queda retenido en el tamiz #40.

Las arenas de grano grueso pasa el tamiz #4 y queda retenido en el tamiz #10.

Se dice arena limpia si el porcentaje de finos oscila entre 0 a 5 %

Se le da un adjetivo con arcilla/limo cuando el pasa #200 oscila entre 5% y 12%

Cuando son arenas arcillosas o limosas el pasa #200 es mayor 12% y menor al 50 %. Las arcillas o limos se subdividen y se identifican con una letra prefijo y sufijo: Para limos (M), arcillas (C) , suelo orgánico (O), esto se aplica si más del 12% del material pasa por el tamiz #200, y se clasifican según los sufijos L- es de baja plasticidad y el LL es (<50%), H- es de alta plasticidad y el (LL)>50%), para la realización de este ensayo utilizamos los datos límite líquido (LL) y del índice de plástico (Ip), los cuales se reflejan en la carta de plasticidad permitiendo clasificar el suelo, como se observa en la tablas anteriores.

5.4.1.3 Limite de Consistencia

Tabla. 5.26. Límite de consistencia

ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA (Según ASTM D 4318)												
MUESTRA	Nº GOLPES	TARA Nº	PESO TARA (gr)	TARA + SUELO HUMEDO	TARA+ SUELO SECO	LL (%)	TARA Nº	PESO TARA (gr)	TARA+ SUELO HUMEDO	TARA+ SUELO SECO	LP %	IP
E3s	27	5	10,03	42,19	31,76	48,00	23,00	8,08	41,03	33,93	27,47	20,53
E9s	25	8	13,57	41,15	34,25	33,37	26,00	10,00	41,32	35,24	24,09	9,28
E10s	25	19	10,11	42,26	35,96	24,37	40,00	10,3	42,03	37,36	17,26	7,11

El criterio de clasificación de suelos finos es la plasticidad y su herramienta de laboratorio es el ensayo de límite de consistencia (LC), para la descripción se utilizó la norma ASTM 2487-11 y la simbología de SUCS.

Tabla.5.27. SUCS. Tomado y modificado del Vallejo 2002

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)				Simbolo del grupo	Nombres típicos		
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista).	Gravas-más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos		
	Arenas-más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo <i>ML</i> más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo		
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo <i>CL</i> más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla		
			Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
	Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro	Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo <i>ML</i> más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas		
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo <i>CL</i> más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas		
	Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40						
	Suelos de grano fino-Más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista).	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
Nula a ligera			Rápida a lenta	Nula	CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
Media a alta			Nula a muy lenta	Media			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50		Ligera a media	Lenta	Ligera	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos	
		Alta a muy alta	Nula	Alta		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas
		Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media			OH
Suelos altamente orgánicos		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa			Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	

Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej. GW-GC, mezcla

Donde,

LL= Límite líquido

LP= Límite plástico

IP = Índice de plasticidad

CL= Arcilla de baja plasticidad

ML= Limo de baja plasticidad

SC=Arenas arcillosas

Tabla.5.28. Datos del límite de consistencia

Muestra	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice Plástico (IP)
E3s	48,00	27,47	20,53
E9s	33,37	24,09	9,28
E10s	24,37	17,26	7,11

Obteniendo como resultado que la muestra E3s es una arcilla de baja plasticidad (CL), mientras que la muestra E9s es un Limo de baja plasticidad (ML). Y la muestra E10s, se determinó que es una arena arcillosa (SC). Datos comprobados con el ensayo de granulometría por hidrómetro (GH).

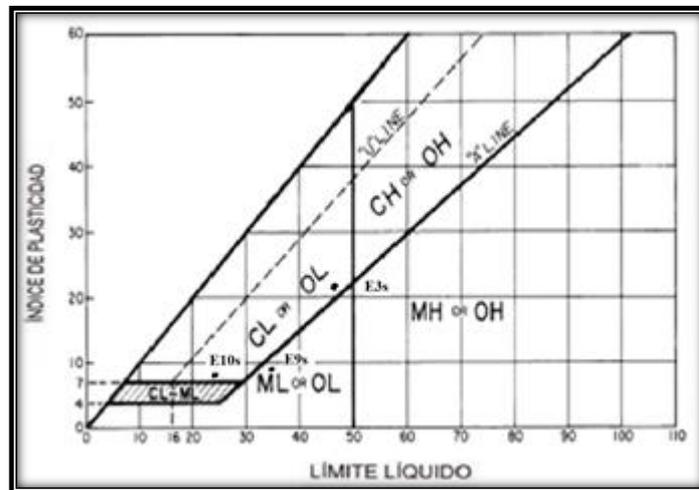


Figura.5.22. Carta de Plasticidad. Tomado y modificado de la norma ASTM 2487-11

E3s: Arcilla de baja plasticidad arenosa, marrón muy pálido, marrón amarillento claro, con restos vegetales (**CL**)

E9s: Limo de baja plasticidad, arenoso, marrón muy pálido, con restos vegetales y abundante micas. (ML)

E10s: Arena de grano medio a fino, arcillosa, marrón rojizo y restos vegetales. (SC).

5.4.1.4 Granulometría por Hidrómetro

Tabla.5.29. Granulometría por hidrómetro de la muestra E3s

Planilla de Hidrómetros (Según ASTM D-422)						
Muestras: E3s						
Peso Muestra Hidrómetro:	101,45 gr.					
Tamiz Nro.	3/4"	# 4	# 10	# 40	# 60	# 200
Peso Muestra Retenida	0	0	0	16,61	7,04	10,02
% Retenido	0	0	0	16,37	6,94	9,88
% Pasante	0	0	0	83,36	76,69	66,81
	Tiempo (Min)	Temp (°C)	Lectura			
	2	24	55			
	5	24	54			
	30	24	44			
	60	24	40			
	250	25	35			
	1440	25	29			
					Resultados	
				Grava	Arena	Finos
	Gs: 2,77			% 0	33	67

Tabla.5.30. Granulometría por hidrómetro de la muestra E9s

Planilla de Hidrómetros (Según ASTM D-422)						
Muestras: E9s						
Peso Muestra Hidrómetro:	100,31					
Tamiz Nro.	3/4"	# 4	# 10	# 40	# 60	# 200
Peso Muestra Retenida	0	0	0	14,08	13,56	21,15
% Retenido	0	0	0	14,04	13,52	21,08
% Pasante	0	0	0	85,96	72,44	51,36
	Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lectura			
	2	24	47			
	5	24	40			
	30	24	30			
	60	25	27			
	250	25	21			
	1440	25	16		Resultados	
				Grava	Arena	Finos
Gs:	2,77		%	0	49	51

Tabla.5.31. Granulometría por hidrómetro de la muestra E10s

Planilla de Hidrómetros (Según ASTM D-422)						
Muestras: E10s						
Peso Muestra Hidrómetro:	100,35					
Tamiz Nro.	3/4"	# 4	# 10	# 40	# 60	# 200
Peso Muestra Retenida	0	0	0	23,58	8,01	20,76
% Retenido	0	0	0	23,49	7,98	20,68
% Pasante	0	0	0	76,51	68,53	47,85
	Tiempo (Min)	Temp. (°C)	Lectura			
Recipiente Nº _____	2	24,8	44			
Clasificación _____	5	24,2	41			
	30	24,5	37			
	60	24,3	34			
	250	25,3	29			
	1440	25	20		Resultados	
				Grava	Arena	Finos
Gs:	2,73		%	0	52	48

Análisis

Este ensayo permitió clasificar la muestra por medio de la granulometría por hidrómetro (GH), mostrando como resultados de la cantidad de arenas o finos contenidos en las muestras:

E3s: 33% arena y 67% finos,

E9s: 49% de arena y 51% de finos,

E10s: 52% es de arena y 48% es de finos

5.4.1.5 Determinación de Humedad natural

Tabla.5.32 Resultados de ensayo de humedad natural

ENSAYO DE HUMEDAD (Según ASTM D 2216)							
Muestra	Nº de Cápsula	1	2	3	4	E	F
		Peso Cápsula (g)	Peso Cápsula + Suelo Húmedo (g)	Peso Cápsula + Suelo Seco (g)	Peso Suelo Seco (g) D= 3 - 1 Aplica como peso total de GT	Humedad (%) $E = \frac{(2 - 3) * 100}{4}$	Peso del Agua Ww = 2 - 3
E1S	305	28,16	361,27	322,97	294,81	12,99	38,30
E2s	108	48,96	448,54	381,57	332,61	20,13	66,97
E3s	72	33,00	373,08	307,11	274,11	24,07	65,97
E4s	402	38,45	377,64	347,10	308,65	9,89	30,54
E5s E5r	246	29,02	376,85	310,74	281,72	23,47	66,11
E6s	460	31,42	402,59	347,84	316,42	17,30	54,75
E7s	53	47,43	398,16	348,96	301,53	16,32	49,20
E8s E8r	167	30,89	387,68	344,42	313,53	13,80	43,26
E9s	277	30,95	395,14	334,31	303,36	20,05	60,83
E10s	A3	25,02	390,14	331,30	306,28	19,21	58,84

El ensayo de humedad indica el contenido de agua en las muestras de suelo, donde el valor mínimo es 9,89, valor máximo 24,07 y el valor promedio 16,98. (Ver tabla 5.32)

5.4.2 De rocas

5.4.2.1 Carga Puntual

PANTOJA & VALECILLOS

Tabla 5.33. Resultados de ensayo de carga puntual

MUESTRA	Litología	Ensayo tipo	Dmm	Wmm	A mm ²	De mm	De2 mm ²	P(KN)	P (N)	Is(N/mm ²)	Fc	Is(50) N/mm ²	σc (kg/cm ²)	σc MPa	Clasificación según Franklin (1989) kg/cm ²	Descripción de la resistencia según Deere & Miller (1966) MPa
E4r	Guareña	tipo axial ⊥	53,00	61,50	3260	64,42	4149,94	7,145	7145,00	1,72	1,12	1,93	424,53	41,58	Medianamente resistente	Baja
E5r	Esquistos	tipo axial ⊥	39,00	63,80	2488	56,29	3168,56	7,660	7660,00	2,42	1,05	2,55	560,98	54,94	Medianamente resistente	Media
E8r	Esquisto	tipo axial ⊥	29,00	42,50	1233	39,61	1568,95	6,119	6119,00	3,90	0,90	3,51	772,63	75,67	Muy Resistente (Roca dura)	Media
E11r	Esquisto	tipo axial ⊥	68,80	61,00	4197	73,10	5343,52	12,690	12690,00	2,37	1,19	2,82	619,85	60,71	Muy Resistente (Roca dura)	Media
E16r	Esquisto	tipo axial ⊥	55,00	34,70	1909	49,29	2429,97	2,900	2900,00	1,19	0,99	1,19	260,87	25,55	Medianamente resistente	Baja
E18r	Esquistos	tipo axial ⊥	37,50	62,00	2325	54,41	2960,45	1,235	1235,00	0,42	1,04	0,43	95,33	9,34	Débil	Muy baja
E19r	Esquisto	tipo axial ⊥	60,00	57,50	3450	66,30	4395,69	5,035	5035,00	1,15	1,14	1,30	286,11	28,02	Medianamente resistente	Baja
E21r	Guareña	tipo axial ⊥	49,00	61,50	3014	61,94	3836,90	13,080	13080,00	3,41	1,10	3,75	825,85	80,88	Muy Resistente (Roca dura)	Media
E20r	Guareña	tipo axial ⊥	47,00	65,00	3055	62,40	3893,76	4,015	4015,00	1,03	1,10	1,14	250,63	24,55	Medianamente resistente	Muy baja
E22r	Esquisto	tipo axial ⊥	67,00	52,00	3484	66,60	4435,56	2,889	2889,00	0,65	1,14	0,74	163,02	15,97	Débil	Muy baja

Tabla 5.34. Clasificaciones de Fanklin, Deer & Miller. Tomado de Mota, 2006.

Franklin (1989)		Deere & Miller (1966)	
σ_c (kg/cm ²)	Descripción	σ_c (MPa)	Descripción
<20	Extremadamente. Débil	<25	Muy baja
20 - 60	Muy Débil	26 - 50	Baja
60 - 200	Débil	51 - 100	Media
200 - 600	Medianamente Resistente	101 - 200	Alta
600 - 2000	Muy resistente	> 200	Muy alta
> 2000	Extremadamente. Resistente		

Análisis

Según la clasificación de Deere y Miller la resistencia a la compresión uniaxial indirecta para las muestras E18r, E20r, E22r, son **muy baja**, donde la resistencia a la compresión es (< 25 MPa), mientras que Franklin clasifica la resistencia a la compresión de las mismas muestras **Extremadamente débil** (<20 Kg/ cm²).

Deere y Miller en la descripción a la resistencia a la compresión de las muestras E4r, E16r, E19r las clasifica **baja** (26-50 MPa), sin embargo Franklin las coloca en el rango de 20-60 Kg/ cm² y las denomina como **muy débiles**.

Las muestras E5r, E8r, E11, E21 según Deere y Miller tienen una resistencia **media** (51-100 Mpa), y Franklin las cataloga **débil** (60-200 Kg/ cm²).

5.4.2.2. Martillo Schmidt

Figura 5.23. Clasificación del ensayo de Martillo Schmidt

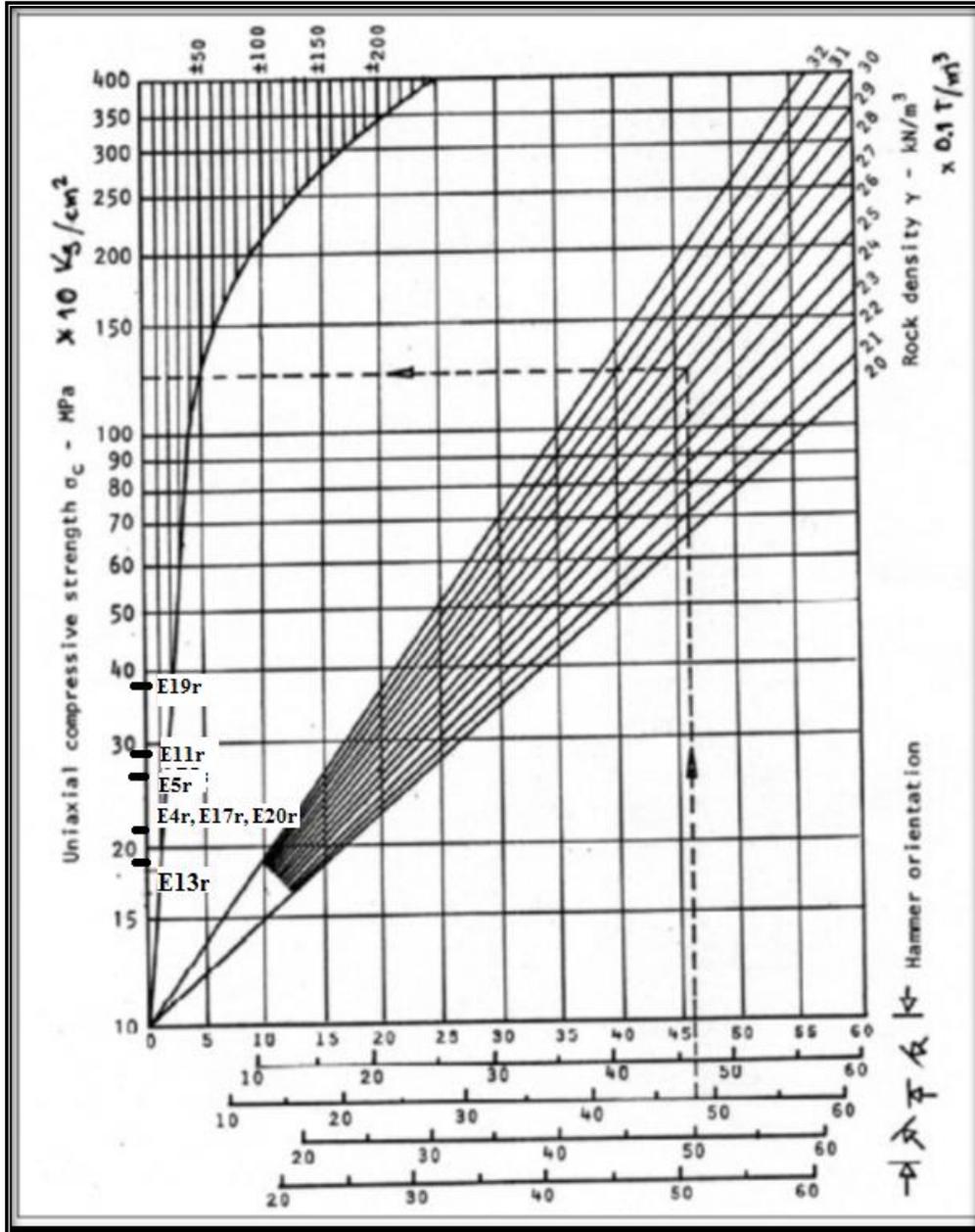


Tabla 5.35. Resultados del ensayo de Martillo Schmidt

Muestra	Promedio	Densidad	σ_c (Mpa)	Franklin	Deere & Miller
E4r	13,80	2,56	22,00	Muy débil	Muy baja
E5r	17,20	2,68	27,00	Muy débil	Baja
E11r	19,60	2,68	29,50	Muy débil	Baja
E13r	12,60	2,69	19,00	Extremadamente débil	Muy baja
E17r	16,80	2,66	22,00	Muy débil	Muy baja
E19r	24,20	2,68	37,00	Muy débil	Baja
E20r	14,80	2,66	22,00	Muy débil	Muy baja

Análisis

Este ensayo permite caracterizar de forma indirecta la resistencia a la compresión uniaxial, para ello se tomaron mediciones de siete (7) muestras de rocas en sentido perpendicular hacia abajo. Cuyos datos se graficaron con respecto a la densidad como se muestra en la figura 5.25.

Luego se clasificó según Deere y Miller, las muestras E4r, E13r, E17r, E20r, donde se obtuvo una resistencia a la compresión **muy baja** (< 25 MPa), mientras que las muestras E5r, E11r, E19r, su resistencia a la compresión uniaxial es **baja** (26-50 MPa).

5.4.2.3. Densidad (Peso Unitario con parafina).

Tabla 5.36. Resultado de Peso Unitario con parafina

Ensayo de Peso Unitario con Parafina " En Roca "											
MUESTRA	E5r	E8r	E11r	E12r	E13r	E16r	E17r	E19r	E20r	E21r	E22r
PESO MUESTRA AL AIRE (g)	178,80	556,12	365,78	222,63	947,04	182,45	230,01	227,07	227,92	300,14	257,52
PESO MUESTRA+PARAFINA AL AIRE(g)	190,55	577,69	382,11	237,30	977,01	193,19	239,05	234,9	235,94	310,14	265,63
PESO MUESTRA+PARAFINA+SUMERG (g)	110,67	331,67	227,29	133,47	592,52	112,09	142,3	141,29	141,38	310,71	155,89
VOLUMEN TOTAL = (PESO MUESTRA+PARAFINA AL AIRE(g)) - (PESO MUESTRA+PARAFINA+SUMERG (g))	79,88	246,02	154,82	103,83	384,49	81,1	96,75	93,61	94,56	181,61	109,74
PESO PARAFINA= (PESO MUESTRA+PARAFINA AL AIRE(g)) - (PESO MUESTRA AL AIRE (g))	11,75	21,57	16,33	14,67	29,97	10,74	9,04	7,83	8,02	129,1	8,11
PESO ESPECÍFICO DE PARAFINA	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
VOLUMEN PARAFINA= (PESO PARAFINA) / (PESO ESPECÍFICO PARAFINA)	13,2	24,23	18,35	16,48	33,67	12,06	10,16	8,80	9,01	11,88	9,11
VOLUMEN MUESTRA= (VOLUMEN TOTAL - VOLUMEN PARAFINA)	66,68	221,79	136,47	87,35	350,8	69,04	86,59	84,81	85,55	117,22	100,63
DENSIDAD HÚMEDA= (PESO MUESTRA AL AIRE (g))/VOLUMEN MUESTRA)	2,68	2,50	2,68	2,54	2,69	2,64	2,66	2,68	2,66	2,56	2,56
DENSIDAD SECA = (DENSIDAD HÚMEDA) / (PESO MUESTRA AL AIRE (g)) + (HÚMEDA% w /100)))*1000 Kg/m ³	2,68	2,50	2,68	2,54	2,69	2,64	2,66	2,68	2,66	2,56	2,56

Valor mínimo 2,50 valor máximo 2,68, promedio es 2,59, estos valores son usado en la tabla 5.25, permitiendo caracterizar de forma indirecta la resistencia a la compresión uniaxial.

5.5 MAPAS TEMÁTICOS

5.5.1 Mapa Geológico

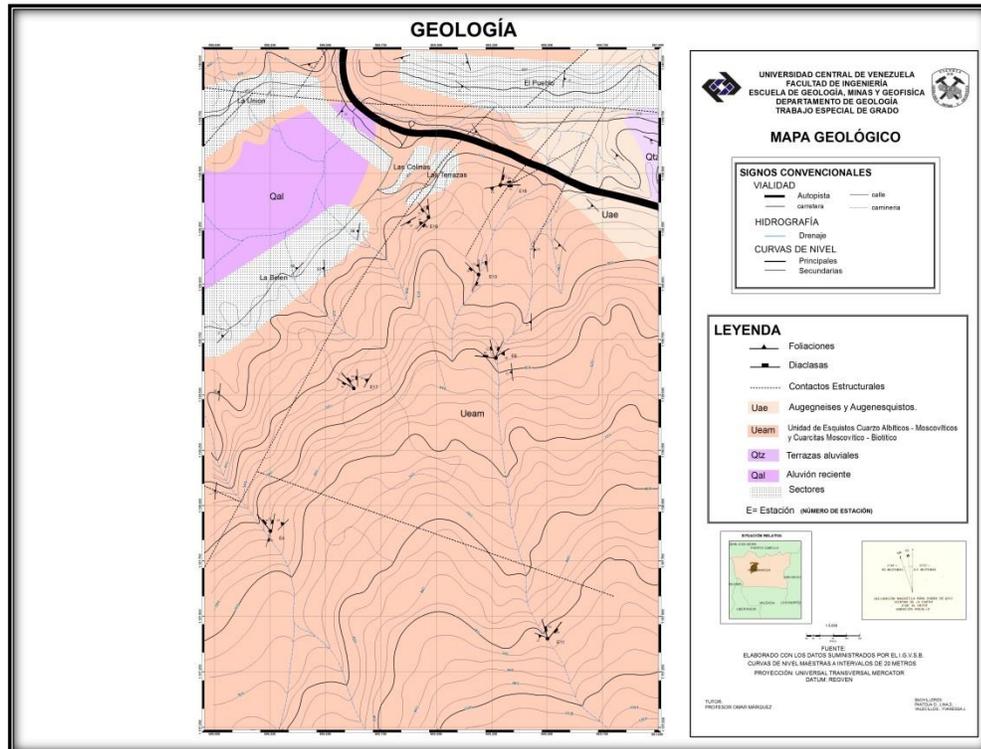


Figura 5.24. Mapa Geológico

Esta carta contiene litología e información estructural, planos de diaclasa, foliación y fallas. En este mapa son tomados en cuenta las observaciones de campo junto con el análisis petrográfico realizado a las secciones finas.

Se definieron 4 unidades litológicas informales, las cuales fueron correlacionadas con las unidades formales y publicadas por el léxico estratigráfico de Venezuela y coincidieron perfectamente, estas unidades son: Unidad de Esquitos cuarzo-albitico-moscovítico y cuarcitas moscovítica- biotíticas, Unidad de Augengneis y Augengesquitos, Terrazas aluviales, Aluvión reciente.

Unidad de Esquisto cuarzo-albiticos-moscovíticos.

Unidad de Augengnesis y Augenesquitos.

Unidad de: Aluvión reciente

Unidad de Terrazas aluviales.

La unidad de Esquistos y Cuarcitas es la que abarca la mayor parte de la zona de estudio con más de un 70%, mientras que Aluviones recientes un 15%, la Unidad de Augengneis y Augenesquistos un 12% y en menor porcentaje Las Terrazas Aluviales con un aproximado del 3%

El mapa geológico se presenta a escala 1:5000 en el anexo 1.

5.5.2 Mapa de Pendientes

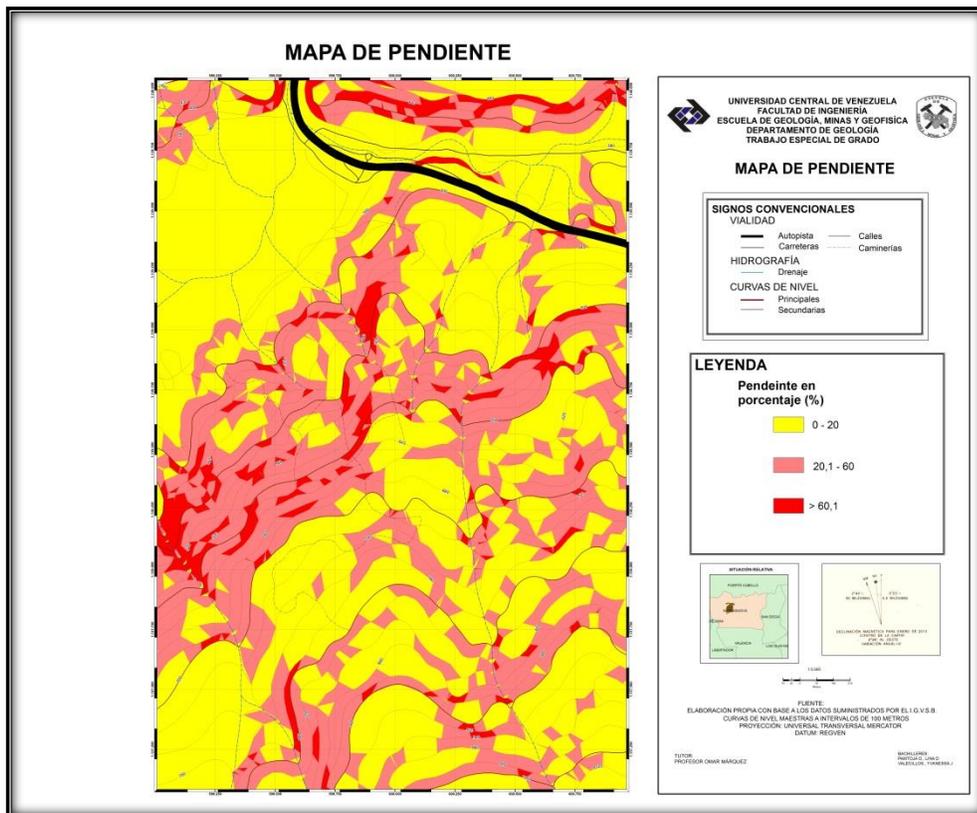


Figura 5.25. Mapa de Pendiente

Se agruparon las pendientes según los siguientes rangos:

- ✓ Pendientes bajas: 0% a 20%
- ✓ Pendientes medias: 20.1% a 60%
- ✓ Pendientes altas: > 60.1%

Donde las zonas con pendientes bajas son predominantes abarcando aproximadamente un 55% de la zona, las pendientes medias un 40% y las pendientes altas un 5% de la zona de estudio.

En el anexo 2 se presenta el mapa de pendientes en escala 1:5000.

5.5.3 Mapa de orientación de laderas

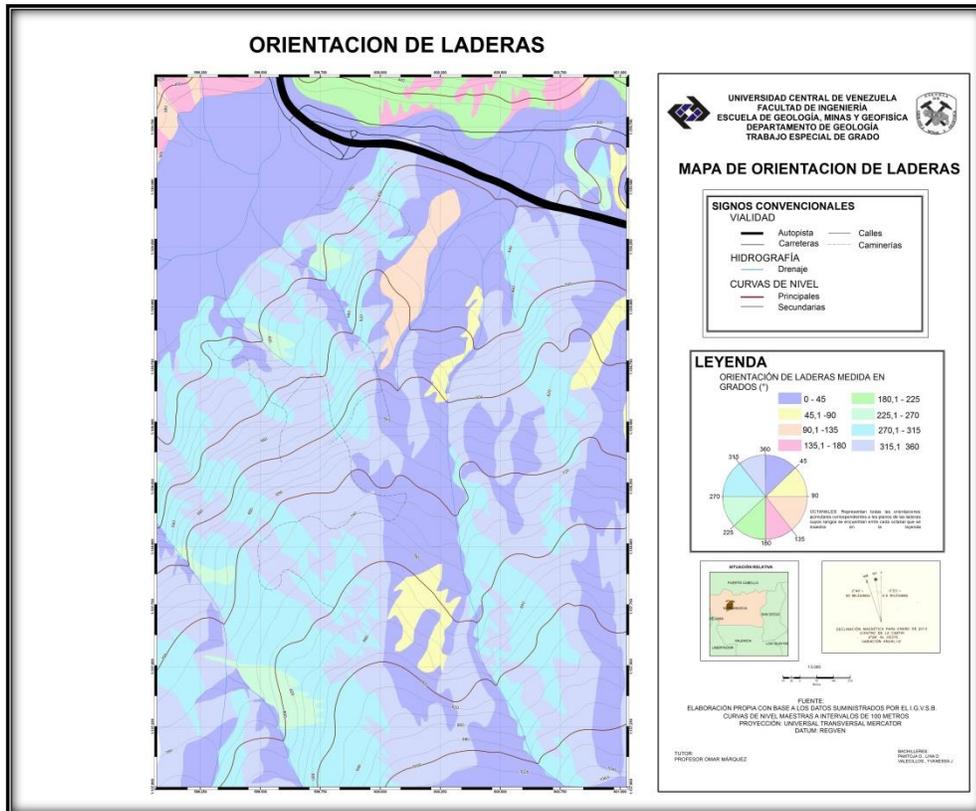


Figura 5.26. Mapa de orientación de laderas

En este mapa se representan de manera gráfica y sectorizan las laderas de acuerdo a su orientación espacial, considerando su rumbo y buzamiento.

El rango que cubre mayor zona es de (0-45) %.

En el anexo 3 se presenta el mapa de orientación de laderas a escala 1:5000.

5.5.4 Mapa de Estabilidad Geoestructural.

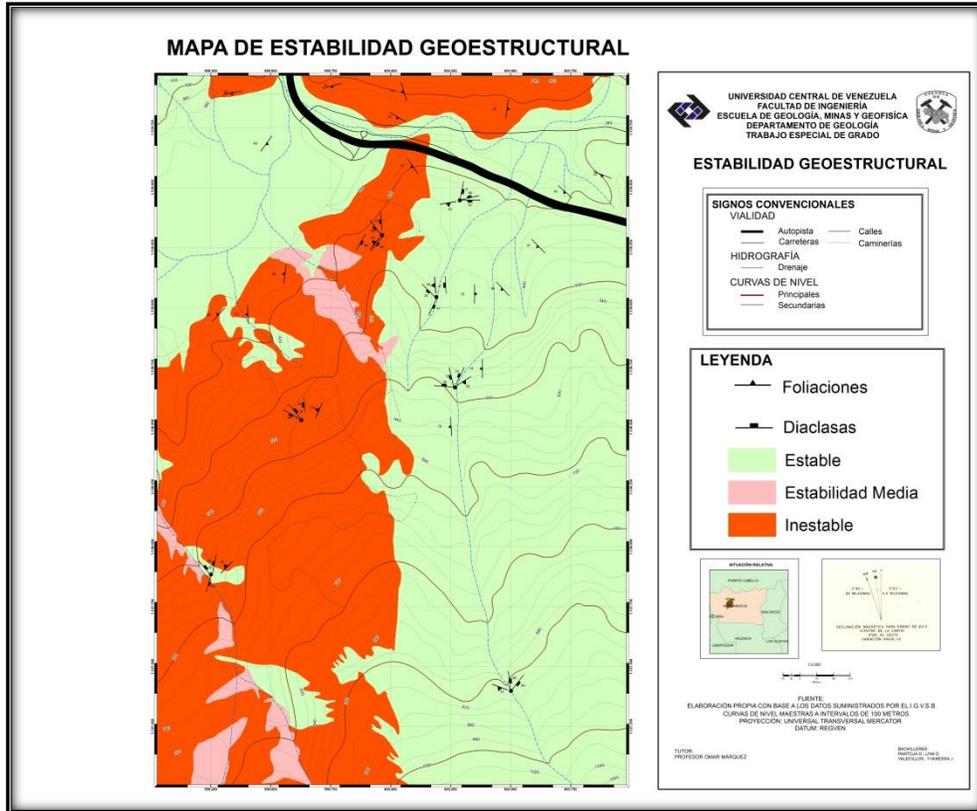


Figura 5.27. Mapa de Geoestructural.

Tiene como objetivo observar si la orientación de las discontinuidades, la cara libre de los taludes, el grado de inclinación de los mismos y los procesos geodinámicos guardan algún tipo de relación con el grado de estabilidad de la zona. Para lograr esto se superponen los mapas de pendiente con el de orientación de laderas y el de procesos de geodinámica externa.

Se definieron tres zonas de estabilidad:

- ✓ Estables: Todos los parámetros son favorables, es decir, las discontinuidades buzcan en sentido contrario al talud o en el mismo sentido, pero con mayor ángulo de buzamiento, como las posibles intersecciones entre éstas.

- ✓ Estabilidad media: La discontinuidad buza en el mismo sentido del talud, sin embargo la diferencia entre las direcciones de los planos es mayor a 20°. Para las intersecciones entre las discontinuidades se aplica la misma condición.
- ✓ Inestable: En este caso tanto la discontinuidad como el talud tienen el mismo sentido de buzamiento, la diferencia entre las orientaciones es menor a 20° y la discontinuidad tiene un ángulo de buzamiento menor que el talud. Se aplica lo mismo para las intersecciones entre discontinuidades.

Es importante destacar que las zonas de inestabilidad se observan en la parte Oeste y norte del mapa, mientras que en el Este se muestra estabilidad geoestructural. Donde El 53% de la zona es estable, el 44% inestable y el 3% de estabilidad media. El anexo 4 contiene el mapa de estabilidad geoestructural en escala 1:5000.

5.5.5 Mapa de Geodinámica Externa

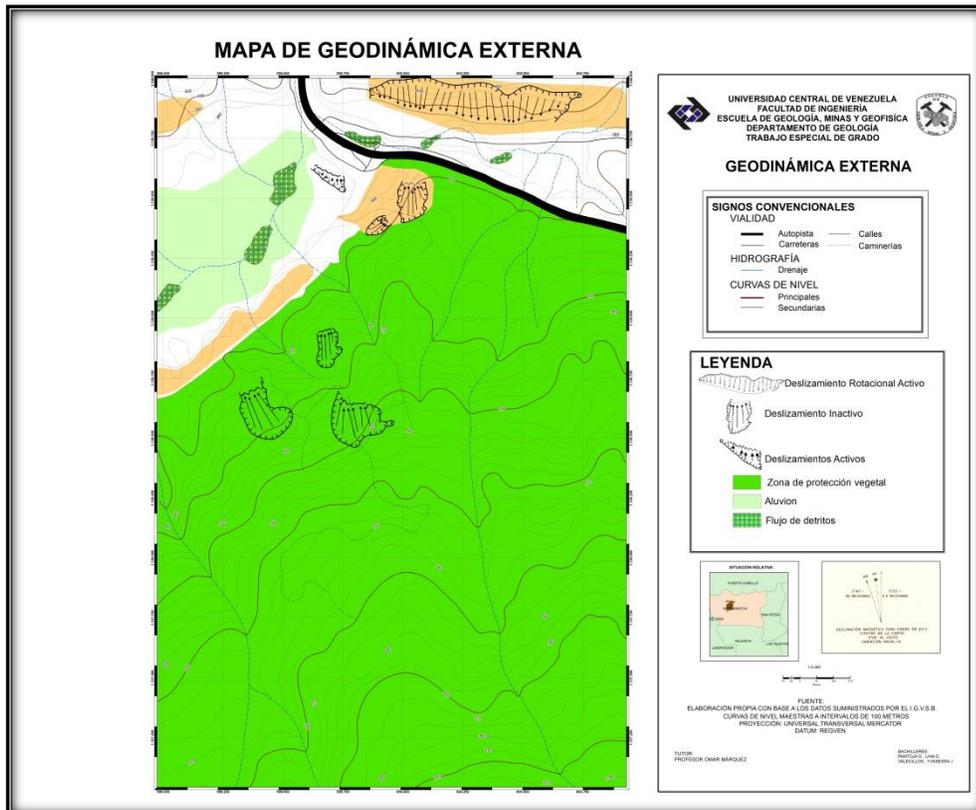


Figura 5.28. Mapa de Geodinámica.

Es una recopilación de procesos geodinámicos externos: deslizamiento rotacional activo, deslizamiento inactivo, zona de protección vegetal, aluvión, flujo de dentritos, zona de corte y relleno, estos son procesos que han tenido lugar en la zona en los últimos años.

Observados en fotografías aéreas del lugar misión 030198, reconocidos en campo e información proporcionada por habitantes de la zona.

El anexo 5 contiene el mapa de estabilidad geoestructural en escala 1:5000.

5.5.6 Mapa de Susceptibilidad

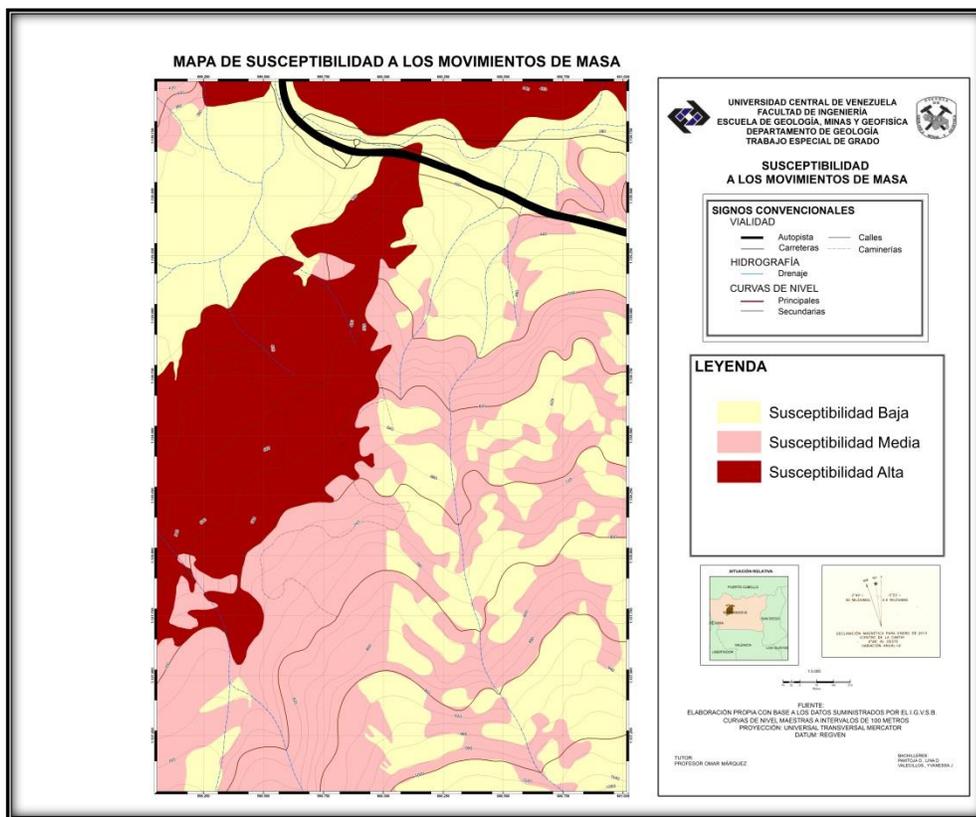


Figura 5.29. Mapa de Susceptibilidad.

Este mapa de susceptibilidad ante movimientos en masa muestra 3 categorías de susceptibilidad que vienen determinadas por la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa; éstas son:

Susceptibilidad Baja: La categoría de susceptibilidad baja corresponde a las zonas que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa del 0 al 20 %, estas zonas se ubican a lo largo del aluvión y terrazas aluviales, piedemonte de las laderas este y en pequeñas zonas dentro de las mismas (parte baja del río aguas calientes y valle de Las Trincheras)

Estas zonas presentan una susceptibilidad muy baja a nula, ya que en ella se hallan terrenos con pendientes bajas que oscilan entre los 0 a 20 %, litologías estables y un relieve de bajo a nulo. Estas zonas de baja susceptibilidad comprenden el 40 % de la zona.

Abarcan aproximadamente el 40% de la zona.

Susceptibilidad Moderada: La categoría de susceptibilidad moderada corresponde a zonas que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa del 20.1 al 60%.

Abarcan aproximadamente el 35% de la zona.

Susceptibilidad Alta: La categoría de susceptibilidad alta corresponde a las zonas que poseen una probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa mayores al 60.1%, ubicados dentro de las zonas norte y medias a bajas de las laderas oeste.

Estas zonas se encuentran asociadas a deslizamientos activos, coluviones, aluviones, cortes y rellenos, los cuales están sujetos a condiciones desencadenantes de movimientos en masa en casos de pluviosidad extrema.

Abarcan aproximadamente el 25% de la zona.

5.5.7 Mapa de Muestras

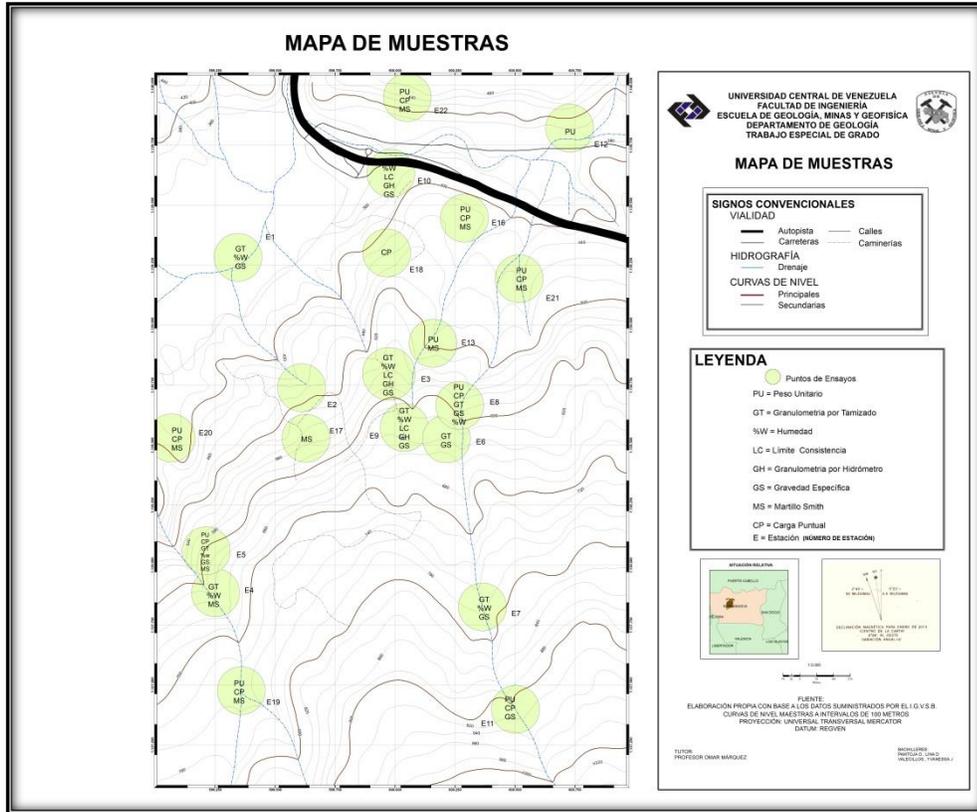


Figura 5.32. Mapa de Muestras

Representa de manera gráfica la distribución espacial de las muestras recolectadas en campo, con los ensayos que se le practicaron a cada una de ellas.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- ✓ La litología informal determinada en este trabajo se correlaciona con la geología regional de los Esquistos de San Julián, esquistos con muy buena foliación, de asociación mineralógica cuarzo-albita-moscovita y minerales accesorios como la clorita y el epidoto. Las estructuras típicas medidas fueron planos de foliación y diaclasas, los cuales se distribuyen de manera uniforme en la zona de estudio.
- ✓ La caracterización geotécnica de las rocas ensayadas, dieron una resistencia a la compresión uniaxial de muy baja a media. Las de resistencias media se ubican al Este de la zona de estudio, coincidiendo con las zonas de susceptibilidad estable, mientras que las rocas de resistencia muy baja se ubican en la parte oeste coincidiendo con las zonas inestables, influyendo que hacia esta zona se encontraron esquistos muy foliados y con numerosas diaclasas.
- ✓ De la caracterización del suelo resultaron, arenas de grano medio a fino en la mayoría de las muestras, arena de grano grueso a medio una muestra, arcilla de baja plasticidad arenosa (CL) y limo de baja plasticidad arenoso (ML), arena de grano medio a fino arcillosa, lo que indica una variación en los rangos de tamaño de las partículas, debido al transporte que han sufrido.
- ✓ Cinematicamente la estabilidad de los taludes analizados son estables mientras que otros presentan la posibilidad de fallas en cuñas, planares y por volcamiento, lo que coincide con los lugares de media y alta susceptibilidad.

- ✓ En la zona predominan las pendientes bajas de 0-20% lo que ayuda a la baja probabilidad de movimientos en masas. Las zonas con pendientes medias entre 20.1-60% se encuentran en menor proporción y de manera uniforme en toda el área de estudio, pendientes mayores al 60% ocupan tan solo un 10%, lo que correlaciona perfectamente con el mapa de geoestructuras.
- ✓ Cabe destacar que más del 60% de las laderas en el área de estudio se orientan hacia el norte con las discontinuidades, respecto a la orientación de los taludes es favorable obteniendo una estabilidad geoestructural.
- ✓ El inventario de procesos de geodinámica externa resultó en seis masas deslizantes: Deslizamiento rotacional activo, deslizamiento inactivo, zona de protección vegetal, aluvión, flujo de detritos, zona de corte y relleno, procesos que han tenido lugar en la zona en los últimos años. Correlacionando esto con la susceptibilidad de la zona se halla coincidencia.
- ✓ El resultado de susceptibilidad donde, afortunadamente, las zonas de estabilidad ocupan mayor área territorial con un aproximado del 40%, mientras que las medianamente estables ocupan aproximadamente el 35% y las zonas inestables se encuentran en menor porcentaje cubriendo una extensión del 25%.

6.2 RECOMENDACIONES

Complementar el estudio realizando el ensayo de corte directo para obtener el ángulo de fricción interno de la roca, lo que permitirá hacer el cálculo de estabilidad mecánica de los taludes.

Complementar la información generada en el presente trabajo con estudios de los efectos detonantes de los movimientos en masa (precipitación, sismicidad y acción antrópica), con la finalidad de evaluar la amenaza ante movimientos en masa.

Las viviendas construidas al lado del río Aguas Calientes merecen especial atención debido al crecimiento del cauce en épocas de invierno, donde sufrirían las consecuencias en caso de crecida del cauce como ha ocurrido en años anteriores.

Para realizar cortes en el terreno, se debe buscar asesoramiento profesional para evitar afectar las viviendas cercanas y debilitar el terreno, sobre todo en sectores con pendientes altas y medias.

En las zonas donde se han registrado deslizamientos debe evitarse construir, ya que el terreno alcanza una estabilidad aparente, sin embargo, luego el movimiento puede reactivarse y deslizarse nuevamente. Un claro ejemplo de esto es la masa deslizante en el sector El Pueblo y Las Terrazas, donde se ha construido repetidamente a pesar de la situación descrita anteriormente.

Tomando en cuenta el análisis de susceptibilidad debe generarse un plan de ordenamiento territorial en zonas no intervenidas que impida el uso de zonas de alta susceptibilidad y distribuya de la manera provechosa el espacio territorial.

En zonas de alta susceptibilidad e intervenidas por viviendas se debe crear un plan de reordenamiento territorial, donde no se coloque en riesgo la vida de sus habitantes.

Promover campañas de concientización a la comunidad que permitan enseñarles las medidas preventivas antes de efectuarse algún movimiento en masa.

Evaluar el sistema de drenaje actual y diseñar un plan adecuado a las aguas servidas y superficiales, y de esta manera lograr disminuir la influencia del agua en la cohesión y estabilidad del suelo.

REFERENCIAS

AGUERREVERE, S. & ZULOAGA, G. (1937). **Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela.** Boletín de Geología y Minas. Caracas, 1(2-4):8-24.

AGUERREVERE, S. & ZULOAGA, G. (1973). **Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela.** Boletín de Geología y Minas. Caracas, 1(2-4):8-24.

BERRY P. (1993). **Mecánica de suelos.** Bogotá: Editorial McGraw Hill.

BRAJA M., DAS (2012). **Fundamentos de ingeniería de cimentaciones.** Cengage Learning Editores S.A. México DF. Séptima edición. 665-667pp.

BUENAHORA B., VANESSA (2011). **Caracterización Geológica - Geotécnica y elaboración de un mapa de zonificación geotécnica en los sectores Parque Generalísimo Francisco de Miranda-Bello Campo, perteneciente a la línea 5 del Metro de Caracas y las urbanizaciones Caurimare, Lomas del Mirador, Lomas de San Román, Lomas de Las Mercedes y Santa Sofía.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

CRUDEN, D. & VARNES, D. (1996). **Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides Investigation and Mitigation.** Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247 (1): 36-75.

DE SANTIS, F. (2006). **“Los suelos de acuerdo a la nueva versión del Sistema Unificado de Clasificación de suelos modificado en la norma ASTM D-2487-00”** Boletín 86 Sociedad Venezolana de Geotecnia.

DENGO, G. (1951). **Indicaciones para el estudio de campo de las rocas metamórficas.** Boletín Geológico, Caracas, 1 (3): 39-115pp.

DE MARCO, P. (2004). **Curso mecánica de rocas**. Guía de estudio no publicada, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

DOMÍNGUEZ F., NÉSTOR (2005). **Caracterización geotécnica de masas rocosas ígneo-metamórficas de la autopista Valencia-Puerto Cabello, entre los kilómetros 181 y 186, para el desarrollo de soluciones ingenieriles a los problemas de estabilidad de taludes presentes en la zona**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, LUIS (2002). **Ingeniería Geológica**. Ed. Pearson Educación. Madrid

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L., *et al.* (2006) **Ingeniería Geológica**. Pearson Educación. Madrid. 382-385 pp

GONZÁLEZ, L., FERRER, M., ORTUÑO, L., & OTEO, C. (2002). **Ingeniería Geológica**. Pearson Educación. Madrid. 774 p.

GOODMAN, R. & BRAY, J. (1976). **Toppling of rock slopes, en Memorias, Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes**, Boulder: Boulder, Colorado, 201–234.

GRANDE, SEBASTIÁN (1982). **Geología de la zona Trincheras-Vallecito Estado Carabobo**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

GUEDEZ, C. & OMAÑA, P. (2012). **Caracterización geológica-geotécnica y elaboración de mapa zonificación geotécnica y riesgo geológico en sectores de San Agustín del Sur, de la ciudad de Caracas, Distrito Capital**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

HUNGR, O., EVANS, S.G., BOVIS, M., & HUTCHINSON, J.N. (2001). **Review of the classification of landslides of the flow type: Environmental and Engineering Geoscience**, 7 (1): 22–238.

HUNGR, O. (2005). **Classification and terminology**, en Jakob, M., y Hungr, O., ed., **Debris flow hazard and related phenomena: Chichester, Springer-Praxis**, 9–23.

HUTCHINSON, J.N. (1988). **Morphological and geotechnical parameters of landslides In relation to geology and hydrogeology**, en *Memorias, 5th International Conference on Landslides, Lausanne*, 3–35.

IDEAM (2001). **Geomorfología y susceptibilidad a la inundación del valle fluvial del río Magdalena (sector Barrancabermeja – Bocas de ceniza)**.

INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR. (1975) **Hoja 6546-I-NE. Escala 1:25.000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables**. Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. Caracas, Venezuela.

MÁRQUEZ, OMAR (2005). **Caracterización geomecánica para diseño de sostenimiento en minería subterránea. Un caso de aplicación: nivel 6, Mina Colombia, El Callao, Estado Bolívar**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1970). **Léxico estratigráfico de Venezuela**. M.J. Editores C.A. Caracas.

MORENO, M. & ORTEGA, D. (2013). **Caracterización Geológica-Geotécnica en los sectores ubicados al norte del Municipio Chacao y noreste del Municipio**

Sucre. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

MORGAN, B., (1969). **Geología de la región de Valencia, Carabobo, Venezuela.** Bol. Geol., Caracas, 10(20): 4-136.

MOTA M., CECILIA (2006). **Zonificación de riesgos para sectores de crecimiento no controlado en la parroquia Petare, Municipio Sucre, Estado Miranda.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

OVIEDO C., GUSTAVO (1979). **Manual Didáctico: Ensayos de mecánica de suelos.** Impreso en la Editorial Universitaria de la Universidad del Zulia. Maracaibo – Venezuela.

PIRELA, J., VALENCIA, F. & VALENCIA, L. (2009). **Estudio de susceptibilidad ante movimientos en masa de la cuenca del Río Cabriales, Valencia - Estado Carabobo.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

RODRÍGUEZ, A. & VILLARROEL, V. (2010). **Estudio Geológico-Geotécnico de la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del Río El Limón, Edo. Aragua.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

SALCEDO, D. (1983). **Macizos rocosos: Caracterización, Resistencia al Corte y Mecanismos de Rotura.** Conferencia SVMSIF, p 143-212.

SUÁREZ, J. (1998). **Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.** Ediciones UIS, Bucaramanga, Colombia. pp 584.

TOVAR, C., MARISMELIA (2005). **Estudio geológico-geotécnico basado en la caracterización de suelos residuales y del perfil de meteorización en las zonas de**

influencia del área metropolitana de Caracas. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

UGAS F., CELSO (1985). **Ensayos de laboratorio en mecánica de suelos. Discusión, evaluación y procedimiento.** Tercera edición. 1 era. Impresión, Caracas.

URBANI P., FRANCO (1968). **Composición química y origen probable del granito de Guaremal, Estado Carabobo. Trabajo Especial de Grado.** Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

URBANI P., FRANCO (1978). **Geología del granito de Guaremal, Estado Carabobo. Trabajo Especial de Grado.** Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

URBANI, F. & RODRÍGUEZ, J. (2004). **Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela.** Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS. Caracas.

VARNES, D. J. (1978). Slope movements types and processes, *en* Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176 (1): 9–33.

ZAPATA C., ERNESTO (1990). **Análisis comparativo de los distintos ensayos en rocas.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:

Google Earth, imágenes satelitales. <http://www.google.com/earth/index.html> (Consultado el 16 de mayo de 2014.)

<http://www.minexproducts.com/resultados.php?pagina=2&frase=Muestreo&buscar=Buscar&orden=ingreso&criterio=categoria>. (Consulta 2014, Julio 15).

Google Earth, imágenes satelitales. <http://www.google.com/earth/index.html>
(Consultado el 22 de septiembre de 2014).