# SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO DE LOS SUELOS Y ROCAS, PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR


**Aguirre Herrera María Verónica[1], Chávez Moncayo Miguel Ángel[2]**

[1]Ingeniero Civil 2005
[2]Director de Tesis, Ingeniero Geólogo 1975, Ingeniero Civil 1996, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Msc Geotechnique 1977 Institute Francais. Profesor de la ESPOL desde 1974.



## RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el tema "Susceptibilidad al Deslizamiento de los suelos y rocas de la Provincia de Manabí". Para tal efecto se considera siete sectores como los más representativos de la provincia debido a la gran cantidad de movimientos de masas registrados. Estos son: Alajuela, Cantón Sucre, Jipijapa, Manta, Montecristi, Portoviejo y Puerto López.

En primer lugar y en base a estudios realizados (geología, hidrología, geohidrología, geotecnia) se caracteriza las formaciones geológicas encontradas. Se identifica y se evalúan las propiedades y características físicas de las superficies y taludes relevantes (morfología) de los sectores estudiados.

En base a toda la información obtenida y los análisis efectuados, la tesis constituye una contribución para evaluar las tendencias de los terrenos estudiados a desestabilizarse mediante deslizamientos.

## SUMMARY

The present work develops the topic "Susceptibility for occurring landslides of the soils and rocks of the Province of Manabí". For such an effect it is considered seven sectors like the most representative in the zone due to the great quantity of registered movements of masses. These are: Alajuela, Canton Sucre, Jipijapa, Manta, Montecristi, Portoviejo and Port López.

In first place and based on carried out studies (geology, hydrology, geohydrology, geotechnique) there are characterized the geologic formations. There are identified and evaluated the properties and physical characteristics of the surfaces and slopes which constitute the morphology of the studied sectors.

Based on all the obtained information and all the analysis done, the thesis is a contribution to evaluate the tendencies of the studied lands to destabilize by landslides.


## 1. ANTECEDENTES

La zona de estudio, la Provincia de Manabí, está ubicada en la costa del Ecuador, su extensión territorial es de 18.878 Km² y está limitada al norte por la provincia de Esmeraldas. Al sur por la provincia del Guayas. Al este por las provincias del Guayas, Los Ríos y Pichincha, y al oeste por el Océano Pacífico

La cercanía de las costas de Manabí al frente de subducción activa, convierte a la parte centro norte de la provincia en una zona sísmica activa. Esto se evidencia en la sismicidad histórica y durante el seguimiento del sismo del 4 de agosto de 1998 y sus réplicas. El evento, con un epicentro localizado a 10 km al noroeste de Bahía de Caráquez y una profundidad de 35 km, tuvo una magnitud Ms = 7.1 (mb = 6.2). Fue precedido por otro evento de magnitud Ms=5.1 (mb=5.4) y hasta la primera semana de septiembre, la Red Sismológica de Instituto Geofísico registró cerca de 510 réplicas, cuyo mayor evento ocurrió el 7 de agosto con una magnitud mb = 4.6.

En base a todo lo antes expuesto y considerando los registros históricos de graves deslizamientos, se procede a hacer el estudio y análisis respectivo para determinar la susceptibilidad al deslizamiento de los suelos y rocas de esta hermosa Provincia.

## 2. GEOLOGÍA REGIONAL

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Litoral Ecuatoriano, delimitado al Este por la Cordillera de los Andes, al Sur por el Arco Volcánico Macushi Cordillerano, hacia el Oeste por el Basamento Ultrabásico de Fondo Marino que también puede ser considerado de la Formación Macushi y que sólo aflora en ciertos sitios de la costa ecuatoriana y hacia el Norte por la falla geológica activa Jama-Quinindé**.**

La cordillera costera que atraviesa esta región, está constituida por terrenos cuyas elevaciones fluctúan entre los 200 y 600 m de altura, constituidas en más de un noventa por ciento por rocas sedimentarias terciarias y cuaternarias, poco consolidadas y con una estratificación indefinida. Los principales tipos de roca que se encuentran son: lutitas arcillosas, lutitas y limolitas tobáceas, areniscas pobremente cementadas y en ocasiones, en pocos sectores, extrusivos de rocas ígneas-basálticas.

Los suelos residuales son arcillas muy plásticas y expansivas, también existen grandes áreas cubiertas de limos con un alto grado de colapsibilidad y dispersión; materiales estos que por sus características son muy fáciles de movilizar y que al poco tiempo de ser excavados pierden sus propiedades de resistencia, por lo que son fácilmente erosionables, en particular por los efectos de las corrientes de agua.

Se considera que existe una gran sutura denominada Guayaquil-Babahoyo-Santo Domingo, la que continúa hasta Venezuela. Esta estructura geológica se considera que es un límite de las estructuras que se encuentran en las diferentes cuencas del Litoral Ecuatoriano.

En esta región se presentan numerosas cuencas sedimentarias, siendo las más importantes: la Cuenca Progreso en la Península de Santa Elena, la cuenca Manabí en la parte central que es en forma alargada y la Cuenca Borbón al norte del Litoral Ecuatoriano.

***Estratigrafía***

La secuencia estratigráfica se describe según la Formaciones geológicas a las cuales corresponden según su antigüedad (de mayor a menor):

- Formación Piñón: Diabasas, basaltos y doleritas de color verde oscura a negra y de textura porfiríticas y afaníticas.
- Formación Cayo: Lutitas gris verdosas silíceas y sedimentos con aporte volcánico.
- Formación San Eduardo: Calizas arrecifales
- Formación Cerro: Areniscas y microbrechas oscuras en la base con cemento calcáreo y lutitas silíceas grises, cherts y margas tobáceas color crema en la parte superior.
- Formación Tosagua: Lutitas de color café chocolate hasta café claro con intercalaciones centimétricas de yeso y lentes dolomíticos.
- Formación Charapotó: Lutitas tobáceas habanas y blancas, con diatomeas y capas delgadas de arenisca amarillenta.
- Formación Onzole: Lutitas y limonitas laminadas de color gris azulado y café verdoso.

- Formación Borbón: Areniscas de grano medio, conglomeráticas, en bancos métricos de color amarillento con intercalaciones de niveles calcáreos con areniscas y limonitas.
- Formación Canoa: Limos arcillosos y arcillas siltosas gris verdes sueltas, localmente conchíferas y esencialmente con arenas y arenas arcillosas poco consolidadas, con zonas concrecionadas y un nivel alto de diatomeas.
- Coluviales: Mezclas heterogéneas de bloques, boleos y gravas de rocas ígneas y sedimentarias de matriz arcillosa.
- Terrazas aluviales: gravas, arenas, limos y arcillas.
- Depósitos aluviales recientes: Arcillas, limos, arenas arcillosas y gravas sueltas.

***Geología estructural***

La tectónica se caracteriza por dos direcciones de fallas ortogonales:NNE-SSW que corresponde a la falla principal y concordante con la dirección general andina y una serie ortogonal a la primera con dirección NW-SE a WNW-ESE. Mientras que en las secundarias predomina la dirección E-W.

***Sismicidad***

En base a los registros sísmicos previos al 4 de agosto y los posteriores se evidencia una zona de rotura del orden de 80 km, semiparalela a la fosa, moviéndose a lo largo del plano de subducción y alejándose del evento principal y sismos premonitores. Existe una concentración sísmica de 50 a 100 km hacia el sur de la zona epicentral. Todo esto no sólo evidencia una gran actividad sísimica sino la necesidad de un mayor estudio de la misma.

## 3. HIDROLOGÍA E HDROGEOLOGÍA

A continuación se describe el estudio hidrológico realizado para la cuenca del Río Portoviejo, parte del cual es el Río Chico, que es la subcuenca del sector Alajuela así también el Río Jipijapa. Por esta razón lo que se deduce del estudio mostrado a continuación es aplicable a los otros sectores de estudio. La información se basa en su totalidad en el estudio efectuado para el encauzamiento del Río Portoviejo de la Ilustre Municipalidad de ese cantón.

Las características físicas de las cuencas se obtienen de la cartografía 1:400.000 y 1:50.000, así como de los informes de JICA (Empresa Consultora). Los valores así obtenidos se presentan a continuación.

| **“Sitio** | **Área de drenaje (Km2)** |
|---|---|
| Río Pata de Pájaro | 48 |
| Poza Honda | 170 |
| Río Chico en Alajuela | 184 |
| Río Portoviejo en Portoviejo | 1090 |
| Río Portoviejo desembocadura | 2060 |

Entre los tributarios más importantes del Río Portoviejo se cuentan en la cuenca alta los ríos Mineral, Pata de Pájaro y otros esteros que conforman el vaso del embalse de Poza Honda con una cuenca de 170 Km2; el Río Lodana o Estero La Balsa que drena un área aproximada de 285 Km2 y se une en Lodana, la cuenca intermedia entre Honorato Vásquez y Santa Ana (A= 215 Km2) y entre Sana Ana y Portoviejo (A= 262 $Km^2$), incluyendo las Quebradas El Cade y Monte Santo (A = 182 Km2); el Río Chico (A = 585 Km2) que se une a la altura de El Ceibal y el estero Bachillero (A=203 Km2).

Desde su nacimiento hasta Portoviejo (Aproximadamente en el sitio de Proyecto), la longitud del cauce principal es de 72 Km y el desnivel es de 330 metros.

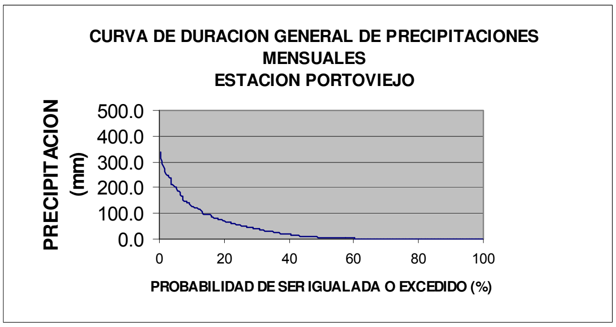
La cuenca del Río Portoviejo está comprendida en los cantones Portoviejo (45% del área de la cuenca), Santa Ana (27%), Rocafuerte (11%) y 17% principalmente entre los cantones 24 de Mayo y Jipijapa y en menor medida en los cantones Pichincha y Junín.

La pluviometría está constituida por las siguientes estaciones en toda la cuenca:

- Estación Chamotete
- Estación Santa Ana
- Estación Portoviejo
- Estación Rocafuerte

La precipitación media multianual para los 35 años del período homogéneo 1964-1998 es de 1243.2 mm/año en la cuenca alta (Est. Chamotete), 794.1 mm/año en la cuenca media alta (Est. Santa Ana), 529.4 mm/año en la cuenca media (Est. Portoviejo) y 420.0 mm/año en la cuenca baja (Est. Rocafuerte). La precipitación media en la cuenca es de 760 mm/año aproximadamente y la evaporación potencial en el Tanque tipo A es de 1618 mm/año.

La serie registrada está caracterizada por la presencia de dos picos muy altos de precipitación anual coincidentes con la ocurrencia de los Fenómenos de El Niño 82-83 y 97-98.

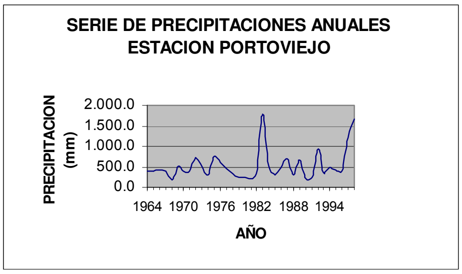



De la graficación de la serie de precipitaciones anuales de Portoviejo para el período 1964-1998, se determina la ocurrencia de años secos medios y húmedos y de años extraordinariamente húmedos como los de los Niños 83 y 97-98. Graficando las desviaciones respecto a la media acumuladas, se demuestra la ocurrencia de un ciclo seco o de precipitación decreciente entre 1964 y 1981 y un ciclo húmedo o de precipitación creciente a partir de 1982 hasta la presente.

Del ajuste probabilístico de la serie de caudales anuales se determina la ocurrencia de años húmedos con probabilidad 10% de ser igualados o excedidos con valores mayores a 760 mm tales como los años 75 o 92; o caudales con 25% de excedencia mayores a 600 mm como los años 76.

Los años de pluviosidad media como el 77, 65, 66 o 71, con precipitaciones en el rango de los 400 mm tienen un 50% de probabilidad de ser igualados o excedidos.

Por último los años secos con una probabilidad de 75% de ser igualados o excedidos como loas años 74 u 88, están en el rango de los 290 mm, mientras los años muy secos como el 68, 81 o el 90 en el rango de los 220 mm tienen 90% de probabilidad de ser excedidos."




Las cuencas geológicas de Manabí tienen un alto predominio de rocas sedimentarias de grano fino, las capas de suelo residual existente sobre dichas formaciones geológicas son arcillosas y en algunos casos limosas. Existen eventualmente formaciones geológicas tipo granular tales como los tablazos, areniscas de grano fino y limonitas, en algunos sitios existen también microconglomerados y conglomerados. Los depósitos aluviales tienen un alto porcentaje de suelos finos con presencia eventual de acumulaciones de arena media y arena fina con poco porcentaje de fragmentos clásticos (gravas y gravillas).

***Evaluación de las formaciones acuíferas .-*** Considerando la descripción geológica antes realizada se establece que las formaciones geológicas que tienen potencial acuífero son las siguientes:

Debido a que los acuíferos se forman a partir de condiciones geológicas favorables, es decir, en rocas y sedimentos permeables y porosos , para que se produzca la acumulación de agua, es importante que converjan otros elementos como lo son: la precipitación, la intensidad de las precipitaciones, la infiltración del agua de los terrenos superficiales y en esta últimas condiciones , la acumulación de este líquido en los estratos y capas permeables y porosas.

Otro elemento necesario para la formación de estos depósitos acuíferos, es la existencia de barreras impermeables que lo constituyen principalmente las lutitas y arcillas. Dentro de este aspecto se puede establecer que dentro de las formaciones geológicas existen litologías o estratos que son impermeables, tal es el caso de los estros en las formaciones:

Consecuentemente la existencia de acuíferos depende en su mayoría de que existan condiciones favorables para la infiltración, la acumulación, es decir, para la recarga de dichos acuíferos y por supuesto que el agua que se acumule tenga barreras impermeables, para así asegurar la existencia de depósitos de dichos acuíferos.

En los párrafos anteriores se pretende demostrar las ventajas que representa la existencia de acuíferos, sin embargo dentro del punto de vista geotécnico, las acumulaciones acuíferas y en general, el flujo de agua en las capas de suelo y estratos rocosos pueden constituirse en elementos desestabilizadores de las laderas y taludes.

***Incidencia de la Saturación en los suelos limosos.-***Si bien lo que se describe a continuación no se enmarca dentro de los conceptos hidrogeológicos de acumulaciones acuíferas, las precipitaciones sobre materiales sueltos, generan importantes acumulaciones de que en un momento dado movilizan los suelos debido a fenómenos que se analizan en la Mecánica de Suelos, sobre los cuales se discutirá posteriormente.

Se mencionó en la parte geológica, la descripción de los suelos superficiales de Manabí que en su mayoría son limosos y en muchos casos sin gran vegetación. Esta situación se presenta especialmente en sectores donde ha ocurrido desarrollo urbano y en sus alrededores.

## 4. PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y ROCAS

En la tabla I que se presenta, se muestran los resultados obtenidos de las prospecciones geomecánicas realizadas para diferentes proyectos, teniendo en cuenta las formaciones geológicas y dentro de éstas, las litologías presentes.

## 5. SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO

La mejor forma de obtener parámetros para evaluar la incidencia ambiental constituye establecer una valoración tanto del espesor de meteorización como de la alterabilidad que presentan las rocas cuando sufren cortes de talud, adicionalmente es necesario establecer un nuevo parámetro que para el efecto se denomina Masividad, consistente en una relación existente entre el Grado de Litificación y el Grado de separación de bloques por $m^2$.

***Grado de Litificación ($\xi$ ).-*** Se define con los siguientes parámetros.

**Tabla 2: Grado de Litificación**

| **Descripción** | **Valoración** |
|---|---|
| Estratificación no definida | 1 |
| Estratificación algo definida | 2 |
| Estratificación regularmente definida | 3 |
| Estratificación medianamente definida | 4 |
| Estratificación bien definida | 5 |

El cuadro arriba mostrado representa los grados de Litificación que pueden tener las rocas sedimentarias estudiadas, cuya característica más generalizada es no presentar estratificación o tener una estratificación incipiente o muy poco definida (53).

# Tabla I: Propiedades de los Tipos de Rocas y Suelos encontrados en la Provincia de Manabí

| PROPIEDADES DE LOS TIPOS DE ROCA Y SUELOS ENCONTRADOS EN LA PROVINCIA DE MANABI | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FORMACION O DEPOSITO | DESCRIPCION DE LOS MATERIALES PREDOMINANTES. | RANGO DE PROPIEDADES INDICE | | | | RANGO DE PROPIEDADES GEOMECANICAS | | | | |
| | | )Ton/m$^3$(γ | LP(%) | IP(%) | Clasif.SUCS | $R_c$-$q_u$(ton/m$^2$) | Φ° | C(Ton/m$^2$) | Esfuerzo Expansivo | CSIR |
| Piñón en canteras | Rocas ígneas muy duras, frescas a poco alteradas, fracturadas a muy fracturadas. | 2.2 a 2.5 | No tiene | No tiene | Roca Fuerte a muy fuerte | 2800 a 4500 | 31 a 34 | Alta | No hay | II a III |
| Piñón en horizonte alterado. | Rocas ígneas de mediana a alta dureza, alteradas, muy fracturadas. | 2.1 a 2.3 | No tiene | No tiene | Roca Fuerte | 2500 a 2800 | 30 a 32 | Alta | No hay | II a III |
| Cayo | Rocas sedimentarias silicificadas de mediana a baja dureza, medianamente alteradas a alteradas y muy fracturadas. | 1.9 a 2.2 | No tiene | No tiene | Roca moderadamente fuerte | 1500 a 2000 | 28 a 32 | 50 a 300 | No hay | IV |
| San Eduardo | Rocas sedimentarias finas y calcáreas, de baja dureza, alteradas y de muy fracturadas a fragmentadas. | 1.8 a 2.1 | No tiene | No tiene | Roca moderadamente fuerte | 800 a 1200 | 29 a 32 | 20 a 60 | No hay | IV |
| San Mateo facie gruesa. | Areniscas y conglomerados de dureza baja, alteradas y poco a medianamente fracturadas. | 1.7 a 2.0 | No tiene | No tiene | Roca Blanda | 350 a 500 | 25 a 28 | 5 a 20 | No hay | III a IV |
| San Mateo facie fina. | Areniscas finas, limolitas y lutitas de baja dureza, alteradas a completamente alteradas y fragmentadas. | 1.8 a 2.0 | No tiene | No tiene | Roca blanda a muy blanda | 300 a 400 | 25 a 28 | 7 a 28 | < de 5 | |
| Tosagua | Lutitas fisibles de muy baja dureza, muy alteradas a descompuestas y fragmentadas. | 1.7 a 2.0 | No tiene | No tiene | Roca blanda a muy blanda | 80 a 150. | 25 a 28 | 6 a 16 | 10 a 35 | V |
| Charapotó | Limolitas tobáceas y lutitas fisibles, de muy baja dureza, alteradas a descompuestas y fragmentadas. | 1.7 a 2.0 | | CL - ML | Roca blanda a muy blanda | 95 a 200 | 25 a 29 | 7 a 20 | 1 a 5 | V |
| Onzole suelo residual. | Suelos arcillo limosos color habano con fragmentos de lutitas del tamaño de gravas. Consistencia media y deleznables en estado seco y blandos en estado húmedo. Indicios de expansividad en los primeros 60 cm de las coberturas. | 1.4 a 1.6 | | | CL - ML CH - MH | | 14 a 21 | 4 a 14 | 4 a 20 | |
| Onzole, horizonte alterado. | Horizonte de roca muy alterada y fragmentada formado por limolitas y lutitas blandas a poco consistentes y deleznables. | 1.7 a 2.0 | No tiene | No tiene | Roca blanda a muy blanda | 15 a 50 | 20 a 26 | 5 a 20 | 5 a 15 | V |
| Borbón suelo residual. | Arcillas limosas y arcillas arenosas color habano. Consistencia media y deleznables en estado seco y blandos en estado húmedo. Escasas coberturas no mayores a 1 m. | 1.4 a 1.6 | | | CL - ML | 7 a 12 | 12 a 18 | 0 a 4 | 2 a 5 | |
| Borbón, horizonte alterado. | Limolitas calcáreas con estratificación fina color gris verdoso, areniscas alteradas y conglomeráticas alteradas color café amarillento, muy fracturadas, puntualmente concresionadas. | 1.7 a 1.9 | No tiene | No tiene | Roca blanda a muy blanda | 70 a 150 | 24 a 28 | 0 a 5 | No hay | IV a V |
| Tablazo y Canoa | Limos arenosos y arcillas arenosas sueltos en las coberturas. | 1.6 a 2.0 | | | CL - ML | 50 a 120 | 16 a 21 | 0 a 4 | No hay | |
| | Limos arenosos tobáceos medianamente consistentes, arenas compactas, niveles concresionados de areniscas y niveles conchíferos. | | | | ML - SM SW | 80 a 250 | 14 a 19 | 0 a 5 | No hay | |
| Depósitos Coluviales | Mezclas de arcillas café claras con fragmentos de roca de tamaños variados entre gravas hasta bloques métricos alterados. Predominio de la matriz de finos de consistencia variable entre blanda a medianamente consistente. | | | | CH+ML | 4 a 11 | 10 a 15 | 4 a 10 | 2 a 10 | |
| Terrazas aluviales | Niveles de arcillas y limos con fragmentos rocosos del tamaño de grava hasta bloques, sueltas y deleznables en estado seco y blandas en estado húmedo. | 1.5 a 1.8 | | | CH - MH CL - ML + gravay bloques | 7 a 12 | 12 a 16 | 5 a 12 | | |
| Aluviales recientes | Arcillas y limos algo arenosos sueltas en cursos actuales y arenas finas limosas en deltas y estuarios. | 1.4 a 1.6 | | | ML - SM | 8 a 14 | 10 a 16 | 4 a 12 | 1 a 5 | |

***Grado de separación de bloques por m²* (&).-** Es el parámetro que permite valorar la incidencia del tectonismo, mediante el cual los terrenos rocosos mencionados han sido separados por varios eventos tectónicos dando lugar a discontinuidades tanto en su época de Litificación como posteriormente, se asume como unidad de observación 1 $m^2$ (53)

**Tabla 3: Grado de separación de bloques por $m^2$**

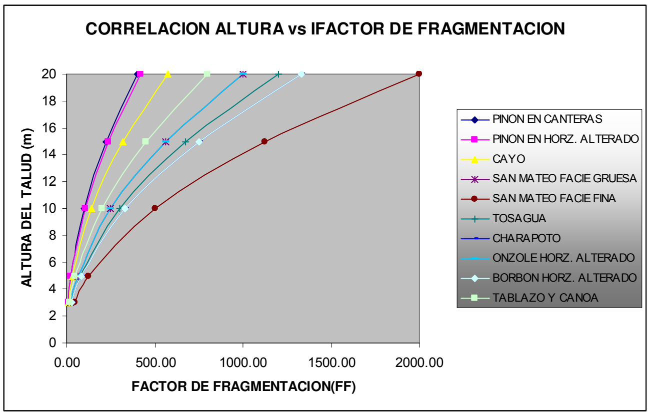
| DESCRIPCIÓN | VALORACIÓN |
|---|---|
| 5< discontinuidades | 1 |
| 3 < discontinuidades ≤ 5 | 2 |
| 2< discontinuidades ≤ 3 | 3 |
| ≤ 2 discontinuidades | 4 |
| Parte de un bloque o bloque sin discontinuidades | 5 |

La Masividad (MM) se define mediante la siguiente ecuación:

$$MM = \frac{\left(\frac{\& - \xi}{\&} + \xi\right)}{5}$$

***Estabilidad considerando la altura del talud, sin la presencia de agua***

La altura es uno de los parámetros de mayor importancia a considerar, bajo el concepto de la Masividad. Se efectúa este análisis tomando en cuenta un espesor unitario del talud y una pendiente totalmente vertical (90º), la Masividad podrá señalar el grado de inestabilidad dependiendo de la altura del talud, por lo que es preciso denominar otro concepto que es el Factor de Fragmentación (FF) (53), que se expresa por la siguiente relación:




$$FF = \frac{H \bullet H}{MM}$$

de donde:

$H =$ Altura de talud expresadas en m.

$MM =$ Masividad

***Estabilidad considerando la altura del talud, la pendiente y la presencia de agua***

La presencia de agua tiene directa relación con la altura de un talud, ya que a mayor altura de éste, mayor será la incidencia de la presencia de agua, debido a que existe un mayor Factor de Fragmentación, lo que significa además, que existe un mayor número de fracturas, a través de las cuales se puede infiltrar el agua y también fluir mediante flujos a presión.

La pendiente del talud es otro parámetro primordial con la presencia del agua. Un talud vertical es evidentemente, el que tiene la condición más crítica cuando existe flujo de agua, debido a que el flujo a presión puede actuar arealmente. La misma consideración se debe hacer a taludes menores que 90º, es decir, más tendidos, siempre y cuando estén conectados a laderas de mayor altitud; y en este último caso, un talud vertical tendría la peor condición de estabilidad.

Debido a que en el área estudiada, la mayor cantidad de terrenos tienen una predominancia de discontinuidades o lo que es lo mismo tienen índices de Masividad bajos, se considera interesante hacer un análisis tomando en cuenta la pendiente del talud y la proyección horizontal de ésta, considerada como área real de infiltración, esto se verifica teniendo en cuenta que un talud vertical no tiene un área de infiltración, en tanto que un tendido si la tiene.

En las observaciones de campo, se han constatado problemas de inestabilidad en taludes de corte tendidos, en los cuales ha existido primeramente un proceso de infiltración y luego el flujo a presión. Este hecho está en directa relación con el número de fracturas existentes y en consecuencia con el Factor de Fragmentación.

Para simular el efecto de la infiltración en un talud con una determinada inclinación, se considera la proyección horizontal del talud considerado y el Factor de Fragmentación. Para efectuar la correlación se considera una vez más la altura como el factor predominante, siendo el otro factor, la incidencia del agua.

En el la tabla siguiente se describe en forma esquemática la valoración de los siguientes parámetros para cada una de las formaciones geológicas y depósitos de suelos estudiados:

Espesor de meteorización (e)
Altura del talud (H)
Pendiente (S)
Discontinuidades
Grietas de tensión verticales
Carga de agua
Esfuerzo Cortante (τ)
Factor de Seguridad (F)
Estabilidad de talud o ladera y comentarios
Susceptibilidad al deslizamiento

**Tabla 4: Valoración de la susceptibilidad frente a deslizamiento de los terrenos de la Provincia de Manabí**

| VALORACION DE LA SUSCPETIBILIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTOS DE LOS TERRENOS DE LA PROVINCIA DE MANABI | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FORMACION O DEPOSITO DE SUELOS | OBSERVACIONES DE CAMPO: espesor de meteorizacion (e) altura del talud(H) pendiente del talud (S); presencia de familias de fracturas F; presencia de grietas de tension; Carga por flujo de agua. Àlta sismicidad | | | | | | Resistencia a la ruptura Mohr Coulomb τ=c+(σ-u)tan φ | Rango del Factor de seguridad al deslizamiento (F)= F resist / F actuan | ESTABILIDAD DEL TALUD O LADERA Y COMENTARIOS | | | SUSCEPTIBILIDAD AL DESLIZAMIENTO |
| | e(m) suelos | H(m) talud | S | Discontinuidades | Grietas de tensión verticales(m) | Carga de Àgua(m) | τ | F | Estable | Equilibrio precario | Inestable | Valoración |
| Piñón en canteras | 0 a 5 | 20 a 80 | Vertical a 0.25:1 | 2F/cda 5m | 0 a 5 | 0 a 5 | Alta | 1.5 a 3 | Fractura rugosas | Por efecto de voladuras pobres | | Baja |
| Piñón en horizonte alterado. | 5 a 10 | 20 a 40 | Vertical a 0.25:1 | 2F/cda 5m | 0 a 10 | 0 a 10 | Media a baja | 1.05 a 1.8 | Si el espesor de meteorización es <5m | En un 70% de casos | | Baja a media |
| Cayo | 1 a 3 | 10 a 30 | 0.25:1 a 1:1 | 3F/cda 5m | 0 a 10 | 0 a 10 | Media a baja | 1 a 2 | En un 50% de casos | Taludes verticales | | Baja a media |
| San Mateo facie gruesa. | 0.5 a 1 | 5 a 10 | 0.5:1 a 1:1 | No apreciables | 0.5 a 2 | 0.5 a 2 | Baja | 0.9 a 1.2 | | En un 60% de casos | | Media |
| San Mateo facie fina. | 0.5 a 1.5 | 5 a 10 | 0.5:1 a 1:1 | No apreciables | 0.5 a 2 | 0.5 a 2 | Baja | 0.9 a 1.2 | | En un 80% de casos | | Media |
| Tosagua | 0.5 a 2 | 5 a 10 | 0.5:1 a 1:1 | Múltiples fracturas | 0.5 a 2 | 0.5 a 2 | Muy Baja | 0.6 a 1 | | | En un 90% de casos | Alta a muy alta |
| Charapotó | 0.5 a 2 | 5 a 10 | 0.5:1 a 1:1 | Múltiples fracturas | 0.5 a 2 | 0.5 a 2 | Muy Baja | 0.6 a 1.1 | | | En un 80% de casos | Alta a muy alta |
| Onzole suelo residual. | 2 a 5 | 3 a 5 | 1: 1 | No apreciables | Grietas superficiales | No apreciable | Baja | 0.8 a 1 | | | En un 50% de casos | Alta |
| Onzole, horizonte alterado. | 0.5 a 2 | 5 a 10 | 0.5:1 a 1:1 | Múltiples fracturas | 0.5 a 2 | No apreciable | Muy Baja | 0.6 a 1 | | | En un 80% de casos | Alta a muy alta |
| Borbón suelo residual. | 0.5 a 2 | 3 a 5 | 1: 1 | No apreciables | Grietas superficiales | No apreciable | Muy Baja | 0.8 a 1 | | | En un 50% de casos | Alta a muy alta |
| Borbón, horizonte alterado. | 0.5 a 2 | 3 a 5 | 1: 1 | No apreciables | Grietas superficiales | No apreciable | Muy Baja | 0.8 a 1 | | | En un 50% de casos | Alta a muy alta |
| Tablazo y Canoa | 0.5 a 2 | 3 a 5 | 1: 1 | No apreciables | 2F/cda4m | No apreciable | Baja a media | 1 a 1.3 | En un 50% de casos | | | Media |
| Depósitos Coluviales | 0.5 a 2 | 5 a 12 | 1: 1 | No apreciables | Grietas superficiales | No apreciable | Baja | 0.8 a 1.1 | | En un 80% de casos | | Alta |
| Terrazas aluviales | 0.5 a 1.5 | 3 a 5 | 1: 1 | No apreciables | Grietas superficiales | No apreciable | Baja | 0.8 a 1.1 | | En un 80% de casos | | Alta |
| Aluviales recientes | 0.5 a 2 | 3 a 5 | 0.25:1 | No apreciables | Grietas superficiales | No apreciable | Baja | 0.9 a 1 | | | En un 80% de casos | Muy alta |

## 6. CONCLUSIONES

La conclusiones que se escriben a continuación han sido plenamente demostradas en el presente trabajo y en algunos casos pueden permitir el desarrollo de nuevas investigaciones que contribuyan al mejor conocimiento de los heterogéneos e inestables terrenos de la hermosa Provincia de Manabí.

1. El área estudiada de Manabí presenta condiciones naturales que al ser modificada por la acción antrópica, determinan varias posibilidades de procesos de deslizamientos en casi todos los sectores estudiados.

2. Los fenómenos geodinámicos más incidentes son: el Fenómeno el Nino y el tectonismo que incluye la sismicidad, los cuales pueden actuar como elementos generadores de procesos de inestabilidad que pueden afectar principalmente áreas habitadas, también a la infraestructura vial y urbana.

3. Las formaciones geológicas de Manabí, en particular las de edad Eoceno al Mioceno, presentan grados de debilidad a los procesos de deslizamiento que tienen magnitudes similares.

4. Los depósitos coluviales que existen en gran numero en el área estudiada constituyen masas de suelos inestable, sobre todo si existe la intervención antrópica.

5. Se ha demostrado que existen correlaciones entre diferentes parámetros de correlación del macizo rocoso, proponiendo incluso nuevos parámetros como la Masividad y el Factor de Fragmentación, que permiten realizar ajustes a las caracterizaciones geotécnicas propuestas por otros autores.

6. Se han determinado los grados de estabilidad y formas de valoración para cada una de las formaciones geológicas y depósitos de suelos encontrados.

7. Finalmente se ha determinado el grado de susceptibilidad al deslizamiento para todas las formaciones geológicas y depósitos de suelos encontrados.

## RECOMENDACIONES:

En base a la experiencia tenida en el presente trabajo se sugiere lo siguiente:

1. Mejorar la información cartográfica de las áreas estudiadas
2. Investigar con mayor detalle tanto formaciones como los miembros geológicos
3. Mejorar la información hidrometeorológica en los sitios estudiados que son de los mas críticos en la Provincia de Manabí
4. Realizar una base de datos que permita acumular información y disponer así de una mayor cantidad de parámetros para futuros análisis.
5. Utilizar los nuevos parámetros obtenidos en descripciones estratigráficas y litológicas mas detalladas para cada sector

## BIBLIOGRAFÍA


1. 1.http://www.manabi.gov.ec/consejo_cat.php?gid=41&gidm=41
2. http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/fulltext/ecuador/capi1.pdf
3. http://www.gobernacionmanabi.gov.ec/images/mapademanabi.jpg
4. http://www.inec.gov.ec/interna.asp?inc=cs_tabla&idTabla=175&tipo=p&idProvincia=13&idSeccion=&idCiudad=
5. http://www.observatoriofiscal.org/tlc/manabipina.jpg
6. Chávez Moncayo M.A. Presentación al Muy Ilustre Municipio de Guayaquil. Departamento de Medio Ambiente. Causas de los Deslizamientos. Noviembre 2004.
7. Ilustre Municipio de Portoviejo. <u>Proyecto de encauzamiento del Río Portoviejo.marzo 2001</u>.
8. http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/world/1906_01_31.html
9. www.oas.org/usde/publications/Unit/oea40s/p03.GIF
10. Márquez M. Omar.- <u>Aspectos geomecánicos en la rehabilitación de líneas de alta tensión, afectadas por movimientos de masa</u>.Seminario de Geomecánica. La Rábida, España 2002.
12. Márquez M. Omar.- <u>Estabilidad de Taludes. “Movimientos de Masas”</u>. Seminario de Geomecánica. La Rábida, España 2002.
13. Guardado Lacabas R. y Yuri Almaguer C.- Propuesta <u>de investigación. Rocas y suelos como indicadores ingeniero-geológicos y ambientales de estabilidad y sostenibilidad de taludes y laderas.</u> Seminario de Geomecánica. La Rábida, España 2002.
14. Guardado L. Rafael y Yuri Almaguer C<u>.- Análisis de Estabilidad de Taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo serpentinitico del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba</u>. Memorias del Octavo Congreso de Ciencias de la Tierra. Guayaquil, Ecuador. 2002.

15. Carrillo Gil A. y A. Carrillo A.- Diseño y Protección de Taludes en Climas Tropicales. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 525 a 536. Cartagena, Colombia. 2001.
16. Nuñez del Arco. Geología del Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. 2003
17. www.oas.org/usde/publications/Unit/oea40s/p03.GIF
18. http://neic.usgs.gov/neis/eqlists/significant.html
19. http://igepn.edu.ec/boletin/2005/boletin.htm
20. De Velasco Juan Padre. Aguas Subterráneas, Reporte Histórico de la Costa Ecuatoriana. 1784.
21. Chávez Moncayo M.A. Estudios y Diseños para estabilizar el Aeropuerto de Manta. 2001
22. Chávez Moncayo M.A. Estudios y Diseños para estabilizar el ceroso del Km 3+000 de la Vía Terminal-Pascuales. 2004
23. Chávez Moncayo M. A.-Estudios y Diseños para estabilizar el gran deslizamiento de Cerro Azul en el área urbana de Guayaquil, Ecuador. Memorias III Simposio Panamericano de Deslizamientos Volumen 2. Pagina 701 a 706. Cartagena, Colombia. 2001.
24. http://www.dlh.lahora.com.ec/paginas/manabita/historia3.htm
25. http://www.thebestofecuador.com/manta/manta.jpg
26. http://toddsproule.com/cruise2002/Ecuador%20-%20Manta/slides/View%20of%20Manta.JPG
27. Abril, Boris. Estudios hidráulicos y fluviomorfológicos para el diseño de la sección estable del cauce del Río Portoviejo. Ilustre Municipio de Portoviejo. Cuenca, Ecuador. 2001
28. ISRM. Clasificación de los macizos rocosos. 1981
29. http://www.transport-links.org/transport_links/filearea/publications/1_791_PA3680.pdf
30. Suàrez Dìaz J.- Metodología para la caracterización integral de los suelos residuales. Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 143 a 157. Lima, Perù. 1998.
31. Cascini, L.. Discussion. Géotechnique 42, No. 4, 645-648.37. 1992
32. Deere, D.U. and Miller. Engineering classification and index properties of rock.1965
33. Technical Report No. AFNL-TR-65-116. Albuquerque, NM: Air Force Weapons Laboratory. 1966.
34. Montero O. J.- Amenaza de impacto por fenómenos de remoción de masas en Colombia. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 859 a 886. Cartagena, Colombia. 2001.
35. BlancoTorrens y otros. Variación de las características de resistencia de las rocas con el tiempo y bajo la acción de diferentes líquidos. Revista Minería Y geología:14-17, ISMM de Moa, 1986
36. Barrios D. R.- Venezuela Inventario de Deslizamientos. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 757 a 773. Cartagena, Colombia. 2001.
37. Plaza G. y E. Jiménez.- Zonificaciòn de la Amenaza por Deslizamiento en la ciudad de Bahìa de Caráquez, Ecuador. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 789 a 795. Cartagena, Colombia. 2001.
38. Reyes y otros.- Inventario de Deslizamientos en el Departamento de Boyacá, Colombia. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 797 a 810. Cartagena, Colombia. 2001.
39. Benithmar C. A.- Una aproximación metodològica para el análisis de la estabilidad de taludes en masas rocosas y zonificación de áreas amenazadas. Memorias del Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. Volumen 2. Pàgina 821 a 834. Cartagena, Colombia. 001.
40. Carrillo Gil A.- Análisis y Diseños en los suelos de la selva (Conf.). Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 33 a 48. Lima, Perù. 1998.
41. Marín Nieto L.- El Niño 97-98 en la región sur-occidental del Ecuador (Conf.). Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 85 a 109. Lima, Perù. 1998.
42. Suàrez Dìaz J.- Las lluvias, las anomalías climáticas y los deslizamientos de tierra en zonas tropicales (Conf.). Memorias VIII Congreso Nacional Geo-Lima 98. Pàgina 111 a 129. Lima, Perù. 1998.
43. IRFAN, T, Y. & DEARMAN, W. R. 1978. The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England. Quarterly Journal of Engineering Geology, 11, 233-244.
44. William Lamber T. y R. V. Whitman.- Mecànica de Suelos. 8ava edición. Editorial Limusa. México. 1991.
45. Uriel, A. O.y otros.- Unstable cut slopes at the Oviedo (Spain) highway ring: análisis and solutions. Landslides. Editorial AA. Balkeman. Rotterdam. 1996.
46. Morgan, R. P.C.- Erosion y conservaciòn del suelo. Ediciones Mundi-Presa. Madrid, España. 1997.
47. Gray, D. H. Y Sotir, R. B.- Biotechnical and soil bioengineering: slope stabilization. A practical guide for erosion control. John Wiley & Sons, inc. New York. 1996.
48. López Jimeno C. y otros.- Manual de Estabilización y Revegetaciòn de Taludes. Madrid, España. 1999.

49. Chávez Moncayo M. A.- Génesis y Efectos de los deslizamientos en Ecuador. Memorias III Simposio Panamericano de Deslizamientos Volumen 2. Pagina 725 a 730. Cartagena, Colombia. 2001.
50. Chávez Moncayo M. A.- Estudios de Riesgos geodinámicos en la terraza de tanques del Terminal Petrolero de Balao. Informe Técnico. Esmeraldas, Ecuador. 1996.
51. Chávez Moncayo, et al. Reporte COPEFEN: Visita Técnica a la Provincia de Manabí. Mayo 2001
52. Chávez Moncayo, et al. COPEFEN: Borrador de informe de visita no. 1 a la Provincia de Manabí. Abril10, 2002.
53. Chávez Moncayo M.A.- Caracterización practica del comportamiento de los suelos y rocas blandas en el Cantón Sucre – Provincia de Manabí, mediante las experiencias recabadas en el Fenomeno “EL NIÑO 1997-98”.1999.
54. Nuques. Estudios y Diseños para estabilizar el deslizamiento del Terminal Petrolero Barbasquillo-Manta. Petrocomercial. 2005.
55. Chávez Moncayo M.A.- Estudios y Diseños para estabilizar el deslizamiento que se desplaza sobre el Cantón Montecristi en el Ecuador. Memorias III Simposio Panamericano de Deslizamientos Volumen 2. Pagina 707 a 712. Cartagena, Colombia. 2001.