

MEMORIA TÉCNICA PARA EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL SALVADOR

Mayo, 2004.

1. INTRODUCCION.

El presente documento contiene información acerca de la aplicación de un modelo analítico con el cual se ha realizado una identificación de las zonas que presentan mayor susceptibilidad a los deslizamientos de tierra en El Salvador.

El modelo aplicado, conocido por Mora-Vahrson, utiliza cinco factores para evaluar la susceptibilidad. Estos factores son: el Relieve Relativo, la Litología, la Humedad del suelo, la Sismicidad y la Lluvia.

Cada uno de los factores define un índice de influencia para determinado lugar, zona o área de estudio, los cuales, al combinarse, permiten obtener un valor relativo de la susceptibilidad por deslizamientos de tierra. El resultado del modelo se presenta en el Mapa de Susceptibilidad por Deslizamientos de Tierra de El Salvador.

2. LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA.

Cuando los suelos y rocas están expuestos en la superficie de la Tierra, la acción desintegradora del agua, viento, sol y materia viviente, conocida por intemperismo, comienza a actuar inmediatamente para establecer un equilibrio entre los materiales térreos y su medio. Otros factores se unen al intemperismo, como por ejemplo la gravedad, para mover los suelos y las rocas hacia los niveles más bajos del relieve. A este movimiento de material en la superficie terrestre, causado por la gravedad, es lo que se denomina movimientos de masa, movimientos gravitatorios, movimientos de ladera, movimientos de terreno, inestabilidad de laderas, deslizamientos de tierra o simplemente, deslizamientos.

En general los deslizamientos de tierra se clasifican en tres grandes grupos: a) Derrumbes, b) Deslizamientos y c) Flujos. Los primeros suceden al desprenderse o volcarse bloques o fragmentos rocosos que caen con gran velocidad casi en caída libre, los segundos ocurren cuando una masa de suelo se mueve y desliza sobre una superficie de ruptura y los últimos se caracterizan porque la masa deslizante se rompe y disgrega hasta convertirse en una masa viscosa que fluye hacia las partes más bajas de la ladera.

3. FACTORES QUE CONTRIBUYEN CON LOS DESLIZAMIENTO DE TIERRA.

La gravedad puede mover los materiales térreos sólo cuando es capaz de vencer la resistencia del material que le impide moverse. Es claro, entonces, que cualquier factor que reduzca esta resistencia hasta el punto donde la gravedad pueda intervenir, contribuye al movimiento de masa.

Dependiendo en cómo actúan, los factores se clasifican en dos grupos: a) Condicionantes y b) Desencadenantes. Los primeros, también conocidos como pasivos o intrínsecos, son aquellos que dependen de la naturaleza, estructura y forma del terreno, mientras que los segundos, también llamados activos o externos, son factores que actúan desde fuera del medio que se estudia, provocando o desencadenando un deslizamiento.

3.1 FACTORES CONDICIONANTES.

3.1.1 La Morfología. Es considerado como el factor más importante de todos, ya que se necesita de cierta pendiente para que se produzcan los movimientos de ladera. Las regiones montañosas, por ejemplo, son las zonas más propensas a los movimientos de ladera. Este factor también se le conoce con el nombre de factor de relieve, topográfico ó geométrico.

3.1.2 La Geología. Este factor es determinante al contribuir con los movimientos en los diferentes tipos de suelos y rocas. Aspectos como la composición, resistencia, deformabilidad, grado de alteración y fracturación, porosidad y permeabilidad determinan la posibilidad del terreno de sufrir roturas y desplazamientos. Este factor también recibe el nombre de factor litológico o estratigráfico.

3.1.3 El Agua Subterránea. El agua subterránea juega un triple papel negativo en la resistencia de los materiales: a) reduce la resistencia por la generación de presiones intersticiales b) incrementa del peso del terreno y c) contribuye a la meteorización de los suelos y rocas. A este factor también se le denomina factor humedad.

3.2 FACTORES DESENCADENANTES.

3.2.1 La Lluvia. Los deslizamientos por causa de lluvias están relacionados con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones. En consecuencia, es importante tomar en consideración la respuesta del terreno a precipitaciones durante horas, días, meses, años ó incluso, durante ciclos de lluvia y sequía de varios años. La Lluvia contribuye a elevar el nivel de agua subterránea, ocasionando incrementos en las presiones intersticiales, aumento de peso, procesos de erosión interna y cambios mineralógicos, aspectos todos ellos que modifican las propiedades y resistencia de los suelos. Entre los numerosos casos de deslizamientos causados por lluvias podemos mencionar: Los más de 18,000 deslizamientos desencadenados por una lluvia de 32 horas de duración en la bahía de San Francisco en 1982 y el deslizamiento en el volcán Casitas, ocurrido en Nicaragua durante las lluvias del huracán Mitch en 1998.

3.2.2 La Sismicidad. Los sismos pueden provocar deslizamientos de todo tipo, dependiendo de las características de los suelos, de la magnitud y de la distancia al epicentro. Derrumbes, deslizamientos y flujos pueden ocurrir durante las sacudidas sísmicas. Ejemplos de deslizamientos causados por sismicidad son: Los más de 10,000 deslizamientos provocados por el terremoto de Guatemala de 1976 (M-7.6) y el deslizamiento de Las Colinas, causado por el terremoto del 13 de Enero en El Salvador.

4. CARACTERISTICAS DEL TERRITORIO SALVADOREÑO QUE CONTRIBUYEN CON LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA.

4.1 EL RELIEVE.

La mayor parte del territorio salvadoreño se distingue por una topografía quebrada y escabrosa, la cual es consecuencia de la actividad volcánica y tectónica que ha tenido lugar en el pasado. Por su morfología, el territorio salvadoreño se divide en cinco unidades: La Planicie Costera, la Cadena Costera, la Cadena Volcánica Joven, la Fosa Central y la Montaña Fronteriza (Plan Nacional de Ordenamiento Territorial, 2003). De estas, cuatro ofrecen condiciones favorables para propiciar deslizamientos:

4.1.1 La Cadena Costera. Son grupos de montañas paralelas a la costa, separadas por planicies aluviales. Esta formada por tres macizos independientes, que de O a E se les identifica con el nombre de Apaneca o Tacuba, El Bálsamo y Jucuarán. Juntos abarcan una extensión de 2750 Km² equivalente al 13% de la superficie total del país. La altura máxima es de 1502 msnm y se localiza cerca de la ciudad de Jayaque, departamento de la Libertad.

4.1.2 La Cadena Volcánica Joven. Se encuentra formada por volcanes aislados, grupos de volcanes y calderas volcánicas, con sus respectivos altiplanos y lomeríos intermedios. Tiene una longitud aproximada de 170 Km y cubre un área aproximada de 2600 km², equivalente a un 12% de la superficie del territorio. Su máxima altura es de 2365m en el volcán de Santa Ana. Dentro de esta cadena pueden diferenciarse los siguiente complejos volcánicos: Apaneca-Lamatepec, San Salvador, San Vicente, Tecapa-San Miguel y Conchagua.

4.1.3 La Fosa Central o Graben. Es una depresión alargada o bloque hundido de la corteza terrestre, que se encuentra limitado en sus extremos laterales por escarpes de fallas. Esta depresión cruza todo el país de Oeste a Este y se subdivide en las zonas siguientes: a) Los grandes valles interiores, b) los pequeños valles y cuencas adosadas a la cadena volcánica reciente, c) el complejo interior muy erosionado de depresiones y relieves bajos y d) las estructuras volcánicas extintas. Los límites de esta depresión son, al norte, la Montaña Fronteriza y al sur, la Cadena Volcánica Joven y la Cadena Costera. Su relieve se caracteriza por alcanzar pendientes que oscilan entre 30 y 50%.

4.1.4 La Montaña Fronteriza o Cordillera del Norte. Esta compuesta por tres grandes grupos de montañas que sirven de límite N con Honduras. Estos grupos son Montecristo, Miramundo y Perquín. En el grupo de Miramundo se encuentra la mayor elevación del país, conocida como Cerro El Pital, el cual presenta una altura de 2,730 msnm.

4.2 LA GEOLOGIA.

Desde el punto de vista geológico, el territorio salvadoreño está formado por las siguientes clases de rocas:

4.2.1 Rocas Volcánicas. Cubren más de un 90% del país. Por su composición química y mineralógica comprenden rocas efusivas riolíticas, dacíticas, andesíticas y basálticas, así como también materiales piroclásticos, en una escala mucho mayor.

4.2.2 Rocas Sedimentarias Marinas. Localizadas en el extremo Noroeste del país, al Norte de los Departamentos de Santa Ana y parte del de Chalatenango. Estas comprenden en su mayoría Calizas, Conglomerados de Cuarzo y Areniscas.

4.2.3 Rocas Sedimentarias de Origen Orgánico. Localizadas en diferentes partes del país, formando generalmente pequeños depósitos de Diatomita y Lignitos.

4.2.4 Rocas de Carácter Intrusivo. Clasificadas petrográficamente como Granitos, Granodioritas, Monzonitas y Dioritas.

Todas estas rocas hacen de El Salvador un país de edad geológica relativamente joven. La mayoría de ellas se formó en la Era Terciaria, posiblemente en los períodos Oligoceno y Mioceno. En cambio, un porcentaje menor tuvo su origen en la Era Cuaternaria, en el período Pleistoceno. Las más antiguas, que son las rocas sedimentarias marinas, se formaron a fines de la Era Secundaria, en el Cretácico Superior, es decir, hace ochenta millones de años.

4.3 EL CLIMA Y LAS PRECIPITACIONES

En El Salvador, las diferencias climáticas están dadas por la lluvia. Tanto por su cantidad como por su periodicidad anual, la lluvia determina nuestro clima. Los factores que explican las diferencias del clima se encuentran en la dirección de los vientos predominantes, la cercanía del mar y la altura.

Desde el punto de vista meteorológico hay dos estaciones y dos transiciones durante el curso del año. Normalmente en Mayo y Junio comienza la Estación Lluviosa y las cantidades de lluvia pueden alcanzar, en este último mes, el primer máximo. Las cantidades máximas mensuales en Mayo han sido observadas en el Oriente, con 620 mm en Cutuco y en Junio en la zona central, con 1230 mm en Cojutepeque.

Los meses de Julio y Agosto pertenecen a la Estación Lluviosa y representan, cada uno, el 16% de la cantidad total de lluvia del año.

Los meses de Septiembre y Octubre pertenecen al último tercio de la estación lluviosa, siendo Septiembre el mes más lluvioso del año; en Octubre ya comienza la Transición Lluviosa-Seca. En Septiembre y Octubre cae el 33% de las precipitaciones anuales de todo el país. Solamente Septiembre puede contribuir con el 25% de la suma total anual. El régimen de precipitaciones del país indica que Septiembre es el mes más lluvioso del año, con un promedio de 22 días y por lo tanto, es el mes con mayor probabilidad para propiciar deslizamientos de tierra. Ejemplos de deslizamientos disparados por las lluvias se tienen: El deslizamiento de El Picacho, cuya causa principal fue un temporal de tres días en septiembre de 1982.

En Octubre la Transición Lluviosa-Seca se anuncia con períodos sin lluvia originados por los primeros vientos del Norte. Esta época del año se caracteriza por una disminución considerable de la actividad lluviosa, pudiendo sin embargo, ocurrir temporales.

4.4 LA SISMICIDAD.

El Salvador está situado en el denominado Cinturón de Fuego Circumpacífico, presentando una intensa actividad sísmica y volcánica relacionada principalmente con el proceso de subducción que se origina por la interacción de la Placa del Caribe con la Placa de Cocos. Las principales fuentes generadoras de sismos que afectan a El Salvador son:

4.4.1 El Proceso de Subducción. Se origina por la interacción de la Placa del Caribe con la Placa de Cocos y cuyos sismos pueden alcanzar magnitudes cercanas a 8.0, como el ocurrido el 13 de Enero de 2001 (M-7.6).

4.4.2 La Cadena Volcánica. Se extiende a lo largo de territorio salvadoreño e interactúa con el sistema de fallas geológicas locales. Su sismicidad está generalmente confinada a los primeros 20 km de profundidad. Esta zona puede generar sismos con magnitudes del orden de 6.6, tal como el ocurrido el 13 de febrero de 2001.

4.4.3 La interacción entre la Placa del Caribe y la Placa de Norteamérica. La cual se manifiesta con un movimiento lateral izquierdo en las fallas de Motagua y Chixoy-Polochic. Los sismos en esta zona pueden alcanzar magnitudes del orden de 7.5.

4.4.4 Una estructura geológica denominada Depresión de Honduras. Situada en la parte central del territorio Hondureño, constituida en su mayoría por fallas con dirección predominante Norte-Sur. Históricamente, esta zona ha generado sismos con magnitudes en el orden de 6.2.

5. MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD.

Los mapas constituyen el método más efectivo de presentar información referente a la susceptibilidad, peligrosidad y riesgo de una zona o región, y deben ser usados por planificadores, arquitectos, ingenieros, científicos y técnicos encargados de las labores de emergencia. Tienen por finalidad dividir el territorio en zonas o unidades con diferente grado de susceptibilidad, peligro o riesgo potencial.

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, los cuales, como ya se mencionó, pueden ser intrínsecos o externos.

Los mapas de susceptibilidad pueden realizarse en base a:

5.1 Mapas Inventario: Reconociendo las áreas que sufren o han sufrido deslizamientos pueden volver a sufrirlos.

5.2 Mapas de Factores: Identificando las áreas donde confluyen determinados factores que condicionan los deslizamientos en una determinada zona o región, aunque éstos no se hayan presentado hasta la actualidad, pero pueden ser afectadas en un futuro.

En este último caso, la metodología se basa en la preparación de mapas temáticos de los factores condicionantes y desencadenantes, y en la superposición de los mismos, estableciéndose el grado de susceptibilidad en función del peso asignado a cada uno de los factores. Estos mapas se suelen preparar con técnicas SIG (Sistemas de información geográfica), que permiten el análisis automático de los datos y el establecimiento de bases de datos asociadas.

6. EL MÉTODO MORA-VAHRSON.

Para determinar la susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador, se utilizó el modelo "Determinación a Priori de la Amenaza de Deslizamientos en grandes áreas y utilizando indicadores Morfodinámicos", también conocido por método Mora-Vahrson.

El modelo evalúa cinco factores agrupados en dos categorías:

6.1 Factores Intrínsecos. Son aquellos que intrínsecamente forman parte de las propiedades y comportamiento del medio. Estos factores son el Relieve relativo (Rr), la Litología (L) y Humedad (H).

6.2 Factores Externos. Son los que inducen, desde el exterior, hacia un comportamiento activo de las masas de suelo. Estos factores son la Intensidad de los sismos (S) y la Intensidad de las lluvias (LL).

Cada uno de los factores se pondera con un valor, el cual define su grado de influencia en los deslizamientos de tierra. Luego, los valores se combinan mediante la expresión matemática siguiente:

$$Susc = (Rr * L * H) * (S + LL) \quad \text{Ecuación (I)}$$

Donde Susc = Susceptibilidad por Deslizamientos de Tierra.

Los valores obtenidos de la Ecuación (I) son categorizados de acuerdo a la tabla siguiente:

Susc	Clase	Grado de susceptibilidad
0 – 6	I	Muy bajo
7 – 32	II	Bajo
33 – 162	III	Moderado
163 – 512	IV	Mediano
513 – 1250	V	Alto
> 1250	VI	Muy alto

El resultado del modelo se presenta en el Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos de Tierra de El Salvador.

7. DESCRIPCION Y PROCESAMIENTO DE LOS FACTORES.

7.1 RELIEVE RELATIVO (Rr)

Es una estimación de la rugosidad natural del terreno. En otras palabras, este factor representa una medida del relieve ó la topografía de un área determinada.

El Relieve Relativo se define como la máxima diferencia de elevación por unidad de área y se calcula mediante la siguiente formula:

$$Rr = \frac{h_{max} - h_{min}}{A} \quad (\text{m/km}^2)$$

en donde: hmax = elevación máxima del área de estudio, hmin = elevación mínima del área de estudio y A = área que se está analizando.

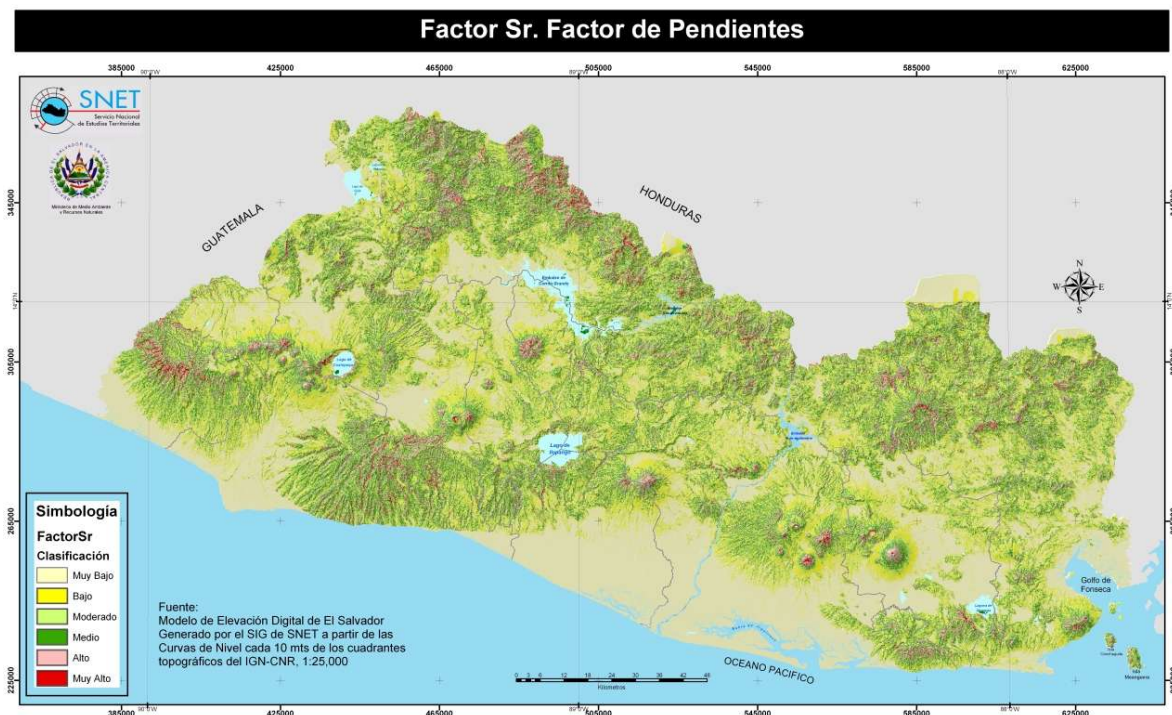
Los valores de relieve relativo también pueden ser expresados como valores de pendiente, ya sea en porcentaje o en grados. Una vez calculado el relieve relativo, el valor o peso de este factor se asigna según la tabla 1.

Tabla 1. Valores para el factor Relieve Relativo.

Relieve Relativo m/Km ²	Pendiente %	Pendiente en grados	Calificativo	Valor Factor Rr
0 – 75	0 – 7.5	0 - 4.29	Muy Bajo	0
76 – 175	7.6 – 17.5	4.30 - 9.93	Bajo	1
175.6 – 300	17.6 – 30.0	9.94 - 16.70	Moderado	2

301 – 500	30.1 – 50.0	16.71 - 26.57	Mediano	3
501 – 800	50.1 – 80.0	26.58 - 38.66	Alto	4
> 800	> 80.1	> 38.66	Muy Alto	5

Para el cálculo de este factor se utilizó un Modelo de Elevación Digital generado por el SIG del SNET, el cual fue obtenido a partir de la interpolación de curvas de nivel de los cuadrantes topográficos digitales del Instituto Geográfico Nacional, escala 1:25,000. Para generar el modelo de elevación se utilizó el módulo Topogrid del ArcGIS 8.3. Usando este modelo, se generó un mapa de pendientes para áreas de 25x25m (tamaño de píxel) que luego se clasificó usando los valores de la tabla 1. El resultado se muestra en el Mapa 1.



Mapa 1. Factor Relieve Relativo.

7.2 LITOLOGIA (L)

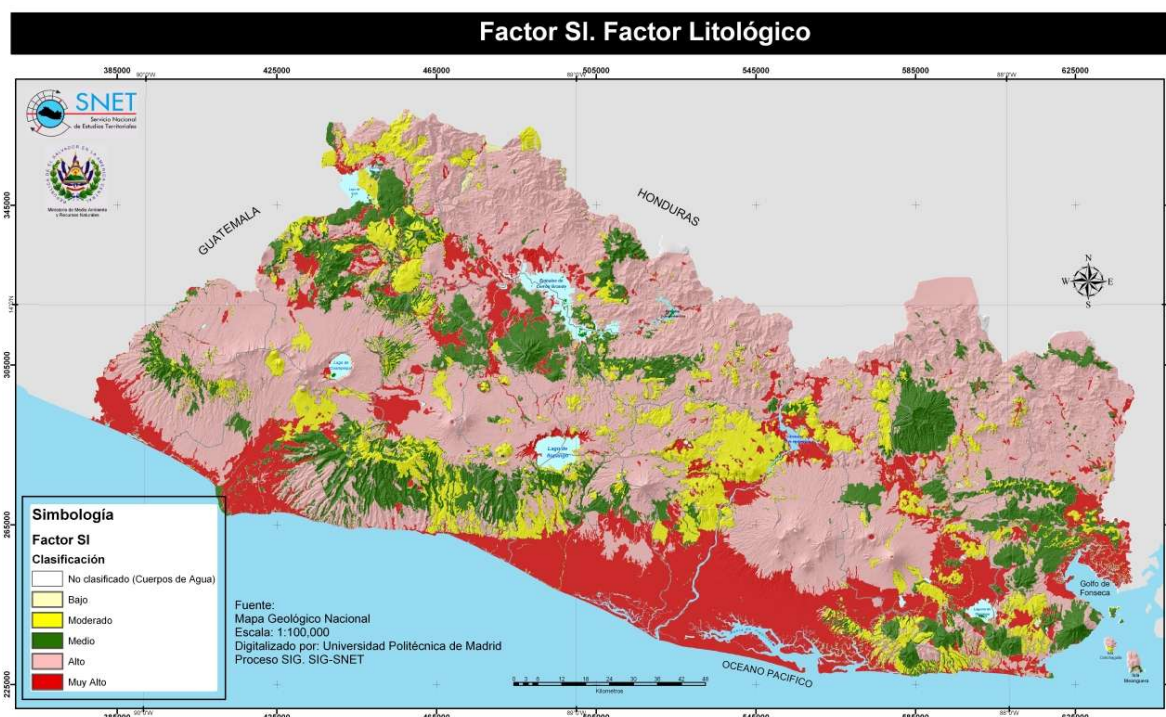
Este factor cuantifica la influencia de los diferentes tipos de suelos y rocas en la activación de los deslizamientos de tierra. Para el cálculo de este factor se utilizó el Mapa Geológico Digital del país, escala 1:100,000, el cual fue levantado por la Misión Geológica Alemana (MGA) entre los años 1967-1971 y fue digitalizado recientemente por la Universidad

Politécnica de Madrid (2004). El paso siguiente consiste en asignar un valor a cada una de las unidades geológicas que componen dicho mapa según la ponderación indicada en la tabla 2.

Tabla 2. Valores para el Factor Litología.

Unidades Lito-Estratigráficas Principales	Calificativo	Valor Factor Litología
Solo productos secundarios – ver tabla	BAJO	1
S3'b - s5'a - c2 - b3 – va – yo – ts - ts'm	MODERADO	2
C3 - b2 – b1	MEDIO	3
s5'c – s5'b - s4 - s3'a - s2 - s1 - c1 - ch2 - ch1 - I - m2'b - m2'a - m1'b – m1'a	ALTO	4
Q'f	MUY ALTO	5

El resultado de la reclasificación geológica se muestra en el Mapa 2.



Mapa 2. Factor Litología.

7.3 HUMEDAD (H)

El factor humedad cuantifica la cantidad de agua que se encuentra retenida en el suelo. Se refiere a la cantidad de agua que, por infiltración, se mantiene en el subsuelo rellenando vacíos entre las partículas de suelo. La ponderación del factor humedad se realiza mediante los pasos siguientes:

1. Identificar una serie de estaciones pluviométricas distribuidas en todo el país.
2. Categorizar los promedios mensuales de cada estación, según la tabla siguiente:

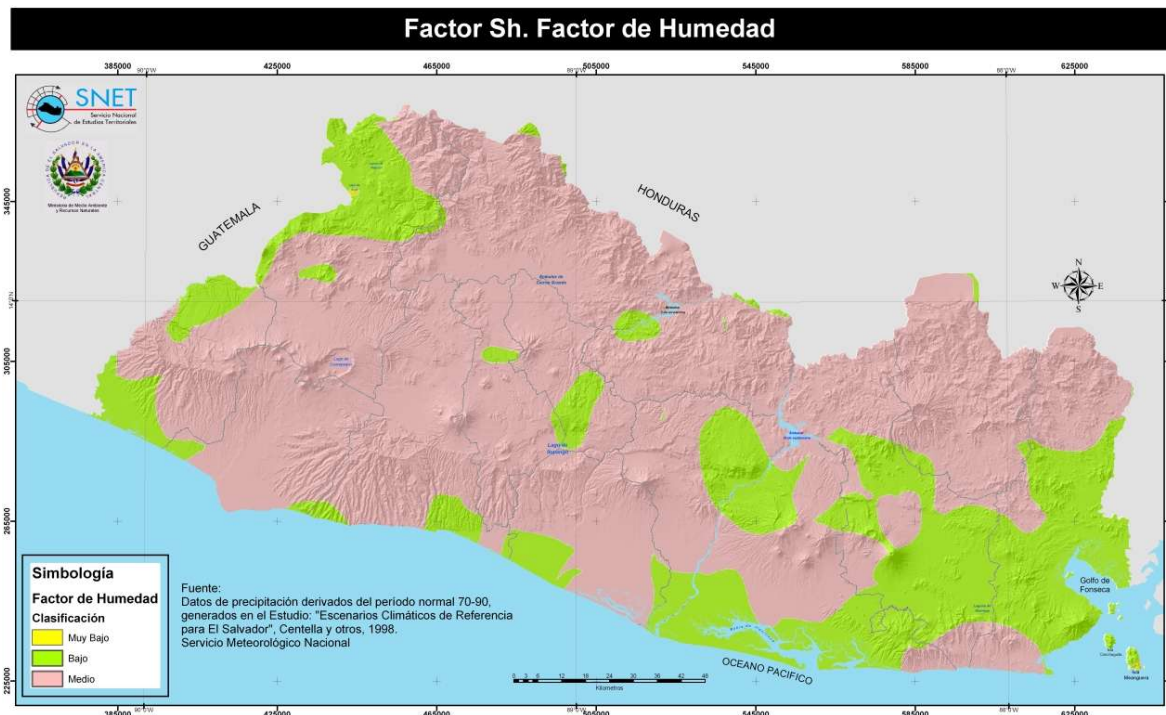
Precipitación promedio mm/mes	Valor
< 125	0
125 – 250	1
> 250	2

3. Sumar los doce valores asignados a cada mes. Los valores oscilaran entre 0 y 24.
4. El valor obtenido de la suma se clasifica según la tabla siguiente:

Tabla 3. Valores del Factor Humedad

Valor acumulado	Calificativo	Valor Factor Humedad
0 – 4	Muy bajo	1
5 – 9	Bajo	2
10 – 14	Medio	3
15 – 19	Alto	4
20 – 24	Muy Alto	5

Para el análisis de este factor se utilizaron datos de precipitación del período normal 70-90 generados en el estudio “Escenarios Climáticos de Referencia para El Salvador” ,Abel Centella y otros, 1998. A partir de estos datos se generaron 12 mapas de precipitación promedio mensual que luego fueron procesados según los pasos descritos anteriormente. El resultado del factor humedad se muestra en el Mapa 3.



Mapa 3. Factor Humedad.

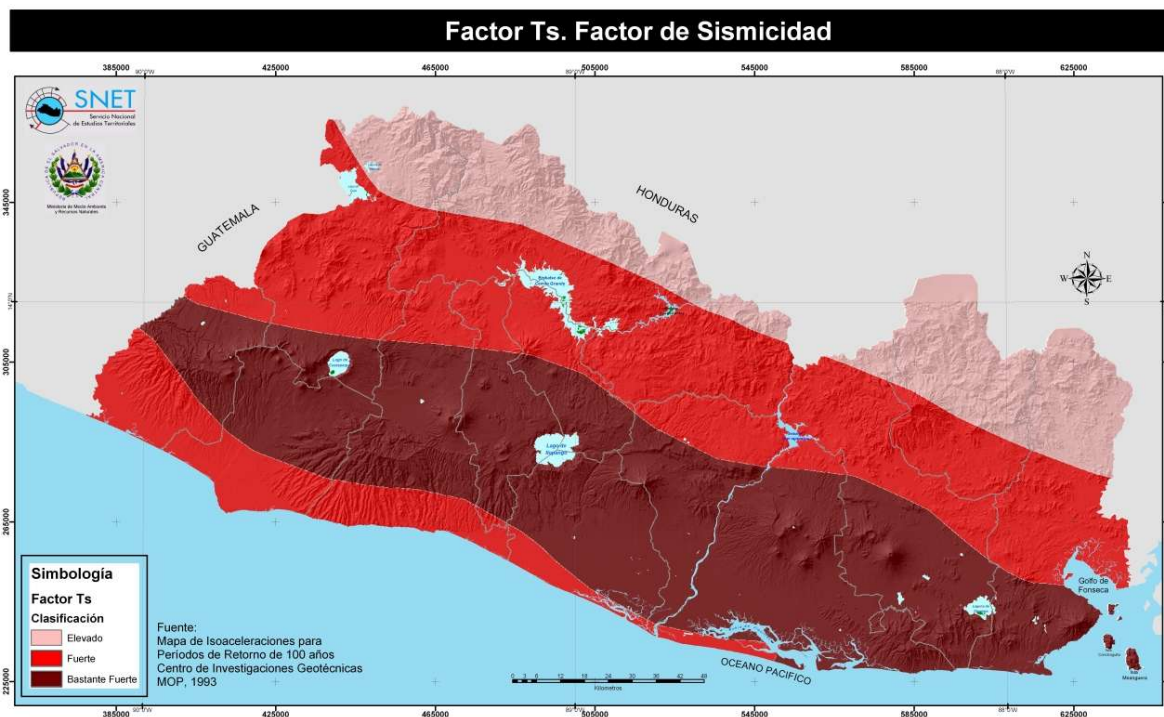
7.4 INTENSIDAD SISMICA (S)

Este factor cuantifica la influencia de la actividad sísmica en los deslizamientos de tierra y para el análisis se utilizó el mapa de aceleraciones máximas del terreno con un período de retorno de 100 años, elaborado para el Reglamento de Diseño Sísmico de la República de El Salvador en 1993. Con el mapa de aceleraciones, el paso siguiente consiste en asignar un valor a cada una de las áreas sísmicas definidas en el mapa de aceleraciones, según la tabla 4.

Tabla 4. Valores del Factor Sismicidad.

Intensidades Meralli Modificado	Aceleraciones Pico %g	Aceleraciones Pico Gals	Calificativo	Valor Factor Sismicidad
III	1 – 12	9.8 – 122.6	Leve	1
IV	13 – 20	122.7 – 201.1	Muy Bajo	2
V	21 – 29	201.2 – 289.4	Bajo	3
VI	30 – 37	289.5 – 367.9	Moderado	4
VII	38 – 44	368.0 – 436.5	Medio	5
VIII	45 – 55	436.6 – 544.5	Elevado	6
IX	56 – 65	544.6 – 642.6	Fuerte	7
X	66 – 73	642.7 – 721.0	Bastante Fuerte	8
XI	74 – 85	721.1 – 838.8	Muy Fuerte	9
XII	> 85	> 838.9	Extrem. Fuerte	10

El resultado del factor Sismicidad se muestra en el Mapa 4.



Mapa 4. Factor Sismicidad.

7.5 INTENSIDAD DE LLUVIA (LL)

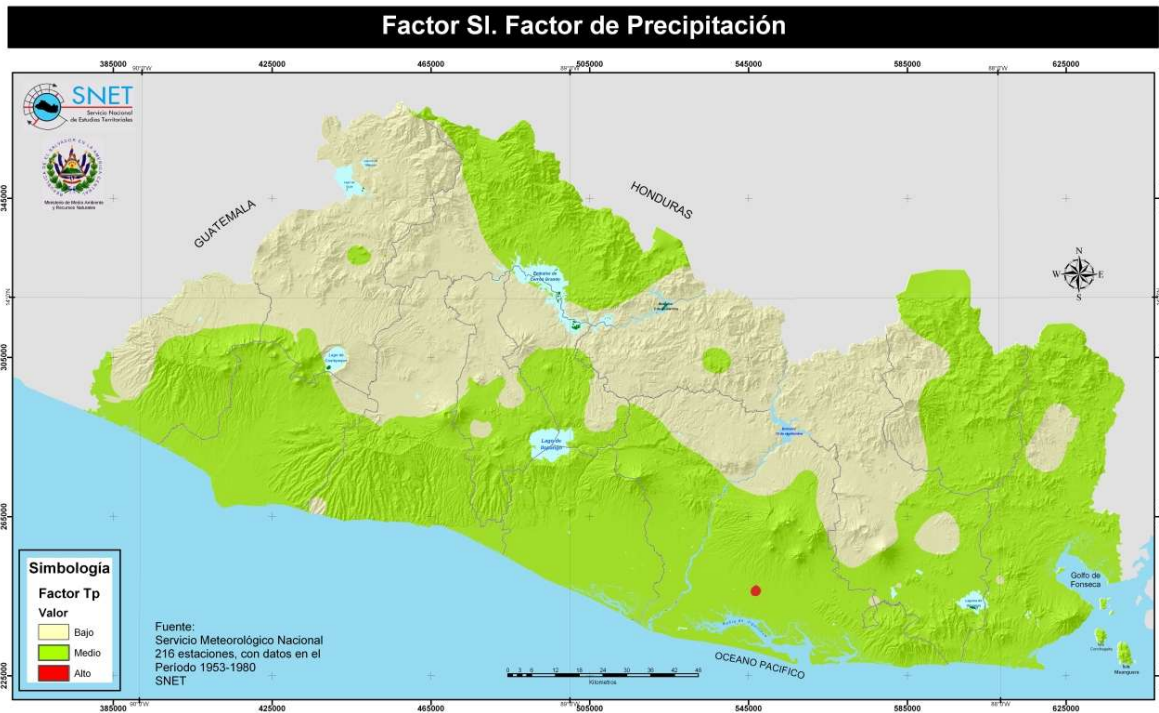
Este factor mide la influencia de la lluvia, por unidad de tiempo, en los deslizamientos de tierra. Para el análisis de este factor se utilizaron los valores máximos diarios anuales de precipitación de 200 estaciones, con un promedio de registro de 18 años por estación. El procesamiento de este factor se realiza según los pasos siguientes:

1. Identificar una serie de estaciones pluviométricas distribuidas en todo el país.
2. Determinar, para todas las estaciones, la serie de valores máximos diarios anuales.
3. Analizar si existen valores fuera de la serie y si los hay, eliminarlos.
4. Si el número de registros es menor de 10 años, calcular para estos el promedio.
5. Si el número de registros es mayor de 10 años, calcular por el método de Gumbel, la precipitación máxima para un período de retorno de 100 años.
6. A las cantidades obtenidas en 4 ó 5 se les asigna el valor del factor Lluvia según las ponderaciones que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Valores del Factor Lluvia.

Lluvias máximas N>10 años Tr=100 años	Lluvias máximas N<10 años promedio	Calificativo	Valor
< 100	< 50	Muy bajo	1
100 – 200	50 – 90	Bajo	2
200 – 300	90 – 130	Medio	3
300 – 400	130 – 175	Alto	4
> 400	> 175	Muy alto	5

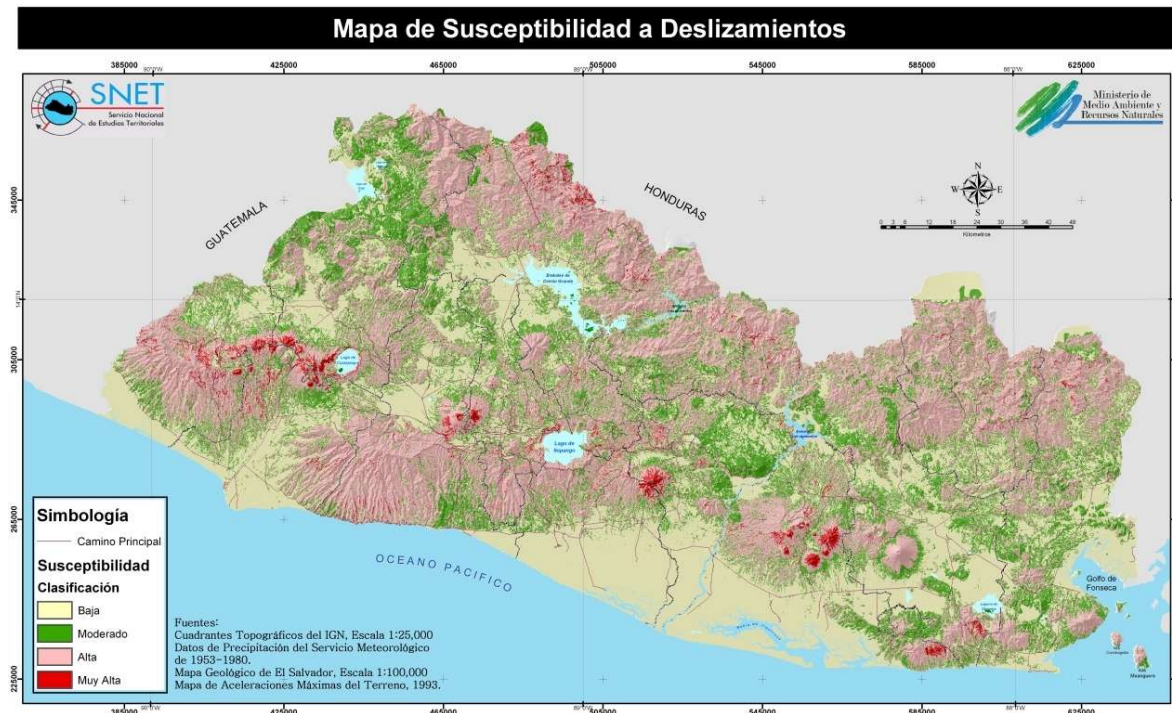
- Se procede a imprimir en un mapa cada estación con su correspondiente valor y luego se interpolan dichos valores para obtener un mapa de lluvias. El resultado del factor lluvias se muestra en el Mapa 5.



Mapa 5. Factor Lluvia.

8. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA.

Finalmente, los mapas de cada factor se combinan mediante la formula I usando un sistema de información geográfica, para obtener el Mapa de Susceptibilidad de Deslizamientos de Tierra.



Mapa 6. Susceptibilidad a deslizamientos de tierra para la República de El Salvador.

8.1 OBJETIVOS DEL MAPA.

- 8.1.1 Proporcionar a los planificadores urbanos e ingenieros una herramienta preliminar para facilitar la toma de decisión en cuanto a la factibilidad de realizar un proyecto o a la necesidad de profundizar el análisis geológico del lugar.
- 8.1.2 Este mapa debe considerarse como una herramienta de planificación destinada a mostrar un grado específico de susceptibilidad para un área determinada.
- 8.1.3 Su finalidad es definir y jerarquizar posibles áreas críticas que posteriormente deban ser sometidas a un análisis detallado y profundo por medio de métodos más específicos.

8.2 ZONAS QUE SE PRESENTAN EN EL MAPA.

El resultado del modelo se presenta en cuatro tipos de zonas, caracterizadas según un grado de susceptibilidad:

8.1 MUY ALTA SUSCEPTIBILIDAD. Zonas en donde todas las condiciones del terreno son muy favorables para generar deslizamientos.

8.2 ALTA SUSCEPTIBILIDAD. Zonas en donde la mayoría de condiciones del terreno son favorables para generar deslizamientos.

8.3 MODERADA SUSCEPTIBILIDAD. Zonas en donde el terreno presenta algunas condiciones para generar deslizamientos.

8.4 BAJA SUSCEPTIBILIDAD. Zonas en donde las condiciones del terreno no son favorables para generar deslizamientos.

9. RECOMENDACIONES PARA LAS ZONAS QUE SE PRESENTAN EN EL MAPA.

Atendiendo lo estipulado en la Ley de Medio Ambiente, así como en los Artículos 2 y 3 del Decreto Ejecutivo N° 96 de octubre de 2001, el Servicio Nacional de Estudios Territoriales recomienda:

9.1 Para las zonas de “ MUY ALTA SUSCEPTIBILIDAD”.

9.1.1 Prohibir el desarrollo de todo tipo de infraestructura.

9.2 Para las zonas de “ ALTA SUSCEPTIBILIDAD”.

9.2.1 Restringir el desarrollo de infraestructura urbana, industrial o instalaciones destinados para una alta concentración permanente de personas. En el caso de infraestructura con una baja concentración de personas, tales como carreteras, acueductos, líneas de energía, producción agrícola, proyectos turísticos, etc., se deberá:

9.2.1.1 Realizar un estudio de microzonificación de peligros geológicos a escala 1:5,000 en el área de influencia del proyecto. El estudio deberá ser llevado a cabo por un profesional especialista en Geotecnia, Geología ó Ingeniería Civil.

9.2.1.2 Con base en el estudio anterior, el especialista deberá indicar el alcance de un estudio geotécnico a escala 1:1,000 en el sitio del proyecto, el cual deberá tener como objetivo:

- Identificar y clasificar, en extensión y profundidad, los tipos de suelo existentes.
- Caracterizar las condiciones físicas de los suelos, entre ellas: permeabilidad, contenido de humedad, límites de consistencia, etc.
- Identificación y ubicación de fallas geológicas.

- Un análisis de estabilidad general y local de los taludes. Los taludes deberán analizarse tomando en cuenta las fuerzas gravitatorias y las sísmicas, así como todas aquellas que influyan en la estabilidad del talud.

9.2.1.3 Destinar como mínimo, un 10% de la inversión total de la obra, para la construcción de obras de mitigación.

9.3 Para las zonas clasificadas como “MODERADA SUSCEPTIBILIDAD” .

9.3.1 Permitir el desarrollo de infraestructura urbana e industrial, independientemente del nivel de concentración de personas, siempre y cuando se cumpla con lo siguiente:

9.3.1.1 Realizar un estudio de microzonificación y un estudio geotécnico según el numeral anterior, con el fin de conocer de forma pormenorizada las propiedades del terreno y así tomar decisiones respecto a la viabilidad del proyecto.

9.3.2 Incorporar las recomendaciones del estudio en los diseños de la infraestructura para hacer viable el proyecto o adaptarse a las condiciones del terreno y con ello, reducir la probabilidad de sufrir pérdidas y daños.

9.3.3 Destinar hasta un 5% de la inversión total de la obra, para la construcción de obras de mitigación.

9.4 Para las zonas identificadas como “BAJA SUSCEPTIBILIDAD” .

9.4.1 Se permite el desarrollo de infraestructura estratégica, urbana, industrial siempre y cuando se atienda lo indicado en 9.3.2.

9.4.2 Una Evaluación de Impacto Ambiental deberá determinar las medidas de mitigación que los proyectos deben incorporar para que estos no deterioren el medio ambiente o pongan en peligro las concentraciones humanas en su área de influencia.

10. LIMITACIONES DEL MAPA.

Al utilizar el mapa debe tomarse en cuenta lo siguiente:

10.1 Indica una posibilidad de ocurrencia, que requiere de la combinación de factores Geológicos e Hidrometeorológicos.

10.2 Identifica las áreas potencialmente generadoras de deslizamientos pero no la totalidad de zonas que se verán afectadas. Tampoco asegura que el evento vaya a ocurrir. Tampoco predice el período de tiempo durante el cual podría presentarse un deslizamiento.

10.3 El mapa es una herramienta de planificación y de toma de decisiones, pero no de diseño de obras. Para esto se requiere estudios y mapas de mayor detalle, como por ejemplo 1:10,000 a 1:5,000.

10.4 La metodología utilizada está diseñada para un reconocimiento previo de las áreas con posibles problemas por deslizamientos de tierra. No puede sustituir en ningún momento al análisis geotécnico de campo.

- 10.5 El uso del suelo y la intervención del hombre, son factores que todavía no han sido cuantificados por el modelo.
- 10.6 Aún con una investigación detallada y un monitoreo exhaustivo, es extremadamente difícil pronosticar el peligro de deslizamientos de tierra en términos absolutos.
- 10.7 Posteriores revisiones del mapa, utilizando información actualizada, posiblemente cambien los límites de las cuatro zonas identificadas. Por lo tanto, dichos límites deberán interpretarse como una referencia y no como valores absolutos.

11. BIBLIOGRAFIA.

1. Landslides: Investigation and Mitigation. A. Keith Turner, Robert L. Schuster, editors. Transportation Research Board Special Report 247. 1996, United States of America.
2. Monitoreo de Laderas con fines de evaluación y alertamiento. M. J. Mendoza L., L. Domínguez M. e I. Noriega R. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Cenapred – México. Noviembre, 2001.
3. Ingeniería Geológica. Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño y Carlos Oteo. Pearson Educación, Madrid, 2002.
4. Geografía de El Salvador. Primera edición. Dirección de Publicaciones, Ministerio de Cultura y Comunicaciones. San Salvador, 1986.
5. Fundamentos de Geología Física. L. Don Leet y Sheldon Judson. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. 1999, México, D.F.
6. Diccionario de Geología. D.G.A Whitten y J.R. V. Brooks. Alianza Editorial, S.A., Madrid, 1980.
7. Almanaque Salvadoreño 1993. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Recursos Naturales, Centro de Meteorología e Hidrología. República de El Salvador, C.A.
8. Informe Técnico del Terremoto de San Salvador del 10 de octubre de 1986. Salvador de Jesús Álvarez Guerrero, Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas. San Salvador, El Salvador, 1987.
9. Atlas de El Salvador. Ministerio de Obras Públicas, Instituto Geográfico Nacional. Tercera edición, 1979.
10. Landslide Hazard at the San Salvador Volcano. C. Backlin & H. Finnson, Division of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, 1994.
11. Sismología para Ingenieros. Julian Bommer, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, Papeles Técnicos UCA, serie: Fundamentos. F93001. San Salvador, El Salvador, 1994.
12. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. Karl Terzaghi & Ralph Peck, Segunda edición, 1973, Editorial El Ateneo. Buenos Aires, Argentina.
13. Determinación a Priori de la Amenaza de Deslizamientos en Grandes Áreas y Utilizando Indicadores Morfodinámicos. S. Mora Castro & W. G. Vahrson,

- Instituto Costarricense de Electricidad, Universidad de Costa Rica y Universidad Nacional de Costa Rica. Julio,1991.
14. Estudio Geotécnico de Taludes de la Parte Alta del Volcán de San Salvador. Manuel A. Pérez Merino, VI Congreso Nacional de Ingeniería, San Salvador, 1984.
 15. Hazards in El Salvador From Earthquake-Induced Landslides. Rymer, M.J. & White, R.A., Landslides, Extent and Economic Significance. Brabb & Harrod Eds., Balkema, Rotterdam, 1989.
 16. Peligro Sísmico en El Salvador. Singh, S., Gutiérrez, C. & Arboleda, J. Reglamento de Diseño Sísmico para la República de El Salvador. Julio,1993.
 17. Influencia de la Geología Regional en la Hidrología de El Salvador. Dietrich Seeger, 1961. Anales del Servicio Geológico Nacional de El Salvador. Boletín No.4.
 18. El Marco Geológico. Fritz Durr, 1960. Energía Geotérmica, Informe No.1. Servicio Geológico Nacional, Ministerio de Obras Públicas.