

**ESTUDIO HIDRO-GEOLÓGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
UN SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA ANTE DESLIZAMIENTOS
EN ASENTAMIENTOS URBANOS DEL DEPARTAMENTO DE
GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA**

Elaborado por Geopetrol S.A.



Para la Alianza Oxfam GB – ESFRA – ISMUGUA



**En el marco del PROYECTO DIPECHO V
"Fortaleciendo capacidades de preparación ante desastres en
los asentamientos urbanos del departamento de Guatemala"**

Guatemala, Agosto 2007

**Proyecto financiado por la Comisión Europea
a través del Programa de Preparación ante Desastres
DIPECHO**

COMISION EUROPEA



Ayuda Humanitaria

**en coordinación con la Secretaría Ejecutiva de CONRED (SE-
CONRED), la Municipalidad de Guatemala y la Municipalidad de
Chinautla**



Este documento ha sido elaborado y publicado con la contribución financiera de la Comisión Europea quien no se hace responsable de las opiniones aquí recogidas ya que no reflejan su posición oficial.

INDICE

PRESENTACIÓN	4
OBJETIVOS DEL ESTUDIO Y AREA DE INTERÉS	8
ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS (Mora – Vahrson)	10
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS	41
INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS Y ANÁLISIS DE LLUVIAS HISTÓRICAS	55

PRESENTACIÓN

La ocurrencia de deslizamientos en Guatemala cobra cada vez más importancia en el marco de la prevención y mitigación de desastres. Por un lado, las cambiantes condiciones meteorológicas, la degradación del medio ambiente y la expansión de la frontera agrícola parecen estar intensificando la periodicidad del fenómeno. Y en el otro extremo, la falta de ordenamiento territorial y la pobreza como factor generador de vulnerabilidad aumentan los niveles de riesgo de ciertos grupos poblacionales.

En los últimos años han ocurrido innumerable cantidad de deslizamientos catastróficos en el país lo cual ha dejado una secuela de más de 650 personas fallecidas y millones de quetzales en pérdidas materiales. Entre estos eventos sobresalen los flujos de lodo ocurridos en los años 2000 y 2005 en la cabecera municipal de Senahú, Alta Verapaz en donde fallecieron alrededor de 34 personas; el flujo de lodo en la aldea El Porvenir, San Lucas Tolimán en el 2002 en donde fallecieron 23 personas y el catastrófico flujo de lodo que sepultó gran parte del cantón Panabaj en Santiago Atitlán durante la tormenta tropical Stan en octubre del 2005 con una fatídica cauda de más de 600 personas fallecidas.

En los barrancos y áreas empinadas de la zona metropolitana de Guatemala se presentan condiciones geológicas y topográficas que predisponen el terreno a la ocurrencia de deslizamientos. La

presencia de materiales piroclásticos de pómez y cenizas volcánicas combinados con fuertes pendientes crea un escenario de mayor susceptibilidad. Peor aún, actividades antropogénicas como la urbanización y extracción de materiales, entre otras, incrementan considerablemente dicha susceptibilidad. Ante tal combinación de factores cada vez es más factible la ocurrencia de deslizamientos catastróficos principalmente en época lluviosa o derivados de actividad sísmica.

En el presente análisis se incluyen varias componentes de trabajo tendientes a estimar la susceptibilidad a deslizamientos a nivel de la zona metropolitana, la estabilidad de laderas a nivel local y la realización de una base de datos (inventario) de deslizamientos históricos y lluvias relacionadas.

Para estimar la susceptibilidad a deslizamientos a nivel de zona metropolitana se aplicó la metodología Mora y Vahrson (1984) la cual utiliza información geológica, topográfica y meteorológica para estimar el índice de susceptibilidad ante deslizamientos. En la forma más simple, asumimos que este índice nos ilustra la susceptibilidad propia y natural del terreno a deslizarse. En pasos posteriores la metodología permite incorporar los factores de disparo (lluvia y/o actividad sísmica) para la determinación de la amenaza relativa. En nuestro análisis, solamente se estimó la amenaza relativa ante deslizamientos provocados por lluvias fuertes.

En general, los resultados del análisis sugieren que alrededor del 88% del área metropolitana estaría catalogada como de baja a moderada amenaza ante deslizamientos. En contraste, el 10 del área corresponde a la categoría de alta amenaza y el 2% se catalogaría como zona de muy alta amenaza. Sin embargo, las limitaciones de información geológica y meteorológica a detalle en la totalidad del área estudiada podrían estar sub-estimando el porcentaje de superficie ubicada en amenaza alta y moderada.

En materia de preparación ante desastres, el hecho que el 12% del área metropolitana con condiciones de alta a muy alta amenaza corresponda a zonas de asentamientos urbanos de alta vulnerabilidad y sea el hogar de alrededor de 82,700 personas presupone altos niveles de riesgo que merecen especial atención por parte de las autoridades municipales y de las instituciones miembros del sistema CONRED.

Adicionalmente, los análisis de estabilidad de laderas utilizando la metodología del factor de estabilidad demuestran que el factor crítico en la ocurrencia de deslizamientos en la zona metropolitana de Guatemala es el agua de lluvia. Al parecer, los niveles de saturación del suelo en los meses álgidos del invierno (septiembre y octubre) favorece la ocurrencia de deslizamientos. Por lo tanto, las medidas de mitigación deberán estar enfocadas al manejo y canalización de las aguas de lluvia, escorrentía e infiltración.

Una de las posibilidades para reducir la pérdida de vidas humanas ante la ocurrencia de deslizamientos catastróficos en la zona metropolitana de Guatemala es la implementación de un sistema de monitoreo de lluvias y alertamiento operado por las propias comunidades en coordinación con instituciones de respuesta a emergencias y apoyado por funcionarios de instituciones de nivel nacional.

Los resultados del presente estudio han sido enfocados a proporcionar elementos de juicio para el diseño, implementación y operación de un sistema con tal estructura.

Ing. Edy Manolo Barillas, M.Sc.

Coordinador Proyecto DIPECHO V

Oxfam Gran Bretaña

OBJETIVOS DEL ESTUDIO Y ÁREA DE INTERÉS

El objetivo principal del presente estudio ha sido la realización de análisis de susceptibilidad a deslizamientos, estabilidad de laderas, inventarios de deslizamientos y análisis de lluvias históricas para el diseño, implementación y operación de un sistema de monitoreo de lluvias y alertamiento ante deslizamientos cuyos beneficiarios principales serán los habitantes de los asentamientos en el departamento de Guatemala.

Los resultados son presentados en forma de mapas ilustrativos, listados de comunidades amenazadas, cortes de terreno, gráficas y reportes narrativos. En todos los casos, se añadió información demográfica, urbanística y de referencia para lograr una mejor presentación de los resultados y favorecer su interpretación.

El área de análisis comprende alrededor de 610 kilómetros cuadrados de 8 municipios del departamento de Guatemala, incluyendo San Lucas Sacatepéquez, Mixco, Chinautla, Guatemala, Santa Catarina Pinula, Villa Canales, San Miguel Petapa y Villa Nueva (Figura 1).

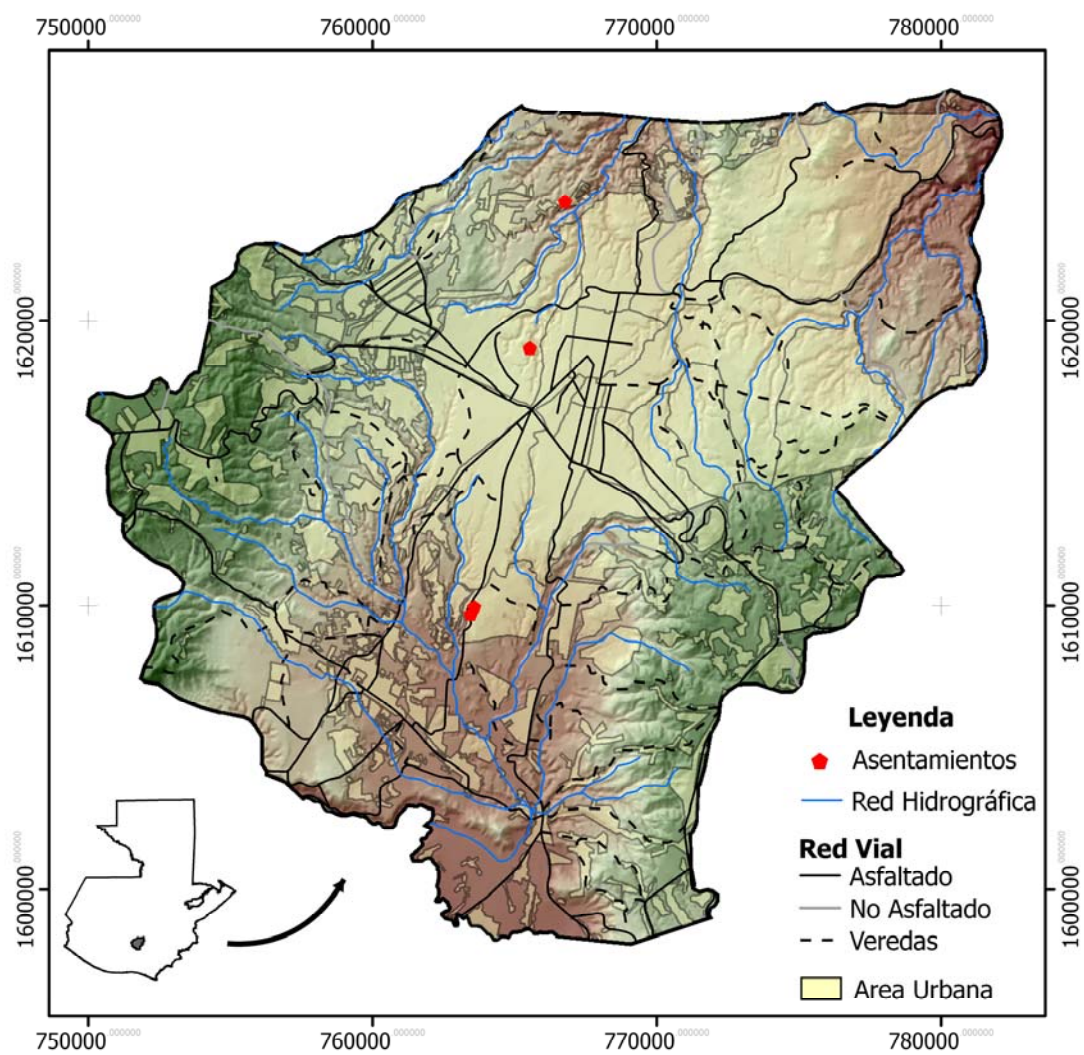


Figura 1. Ubicación del área de interés.

**ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD ANTE DESLIZAMIENTOS
GENERADOS POR LLUVIAS FUERTES EN LA ZONA
METROPOLITANA DE GUATEMALA
- Metodología Mora Vahrson -**

1. MARCO CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS.

1.1 Definiciones.

Para los propósitos del presente análisis aplican las siguientes definiciones:

- **Deslizamiento.**

Movimiento de una masa de roca, escombros o suelo a lo largo de una ladera (Cruden, 1991; en Cruden y Varnes, 1996).

Este concepto tan amplio no hace énfasis en el tipo de movimiento, no especifica el tipo y características del material involucrado y tampoco proporciona información sobre la distribución espacial o temporal del evento. Para propósitos generales, informativos o de referencia es común y apropiado utilizar el término deslizamiento.

- **Amenaza.**

Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en un tiempo y un área dada (WMO, 1999).

- **Susceptibilidad (a deslizamientos).**

Predisposición del terreno a sufrir un deslizamiento en función de sus condiciones geológicas, topográficas y de humedad propia (Mora y Vahrson, 1984).

1.2 Clasificación de deslizamientos por el tipo de movimiento (Cruden y Varnes, 1996).

La cinemática de los deslizamientos, es decir, el movimiento que gobierna el desplazamiento de la masa de material, es uno de los principales criterios para su clasificación. De igual importancia es el hecho que el tipo de movimiento es uno de los principales criterios que deben ser utilizados para el diseño e implementación de las medidas correctivas o de mitigación. Por ejemplo, la **caída** de rocas desde la parte alta de una ladera puede ser mitigada con la colocación de barreras de contención a lo largo de la ladera mientras que el **volcamiento** de esas mismas rocas necesitará medidas como el anclaje.

Los cinco tipos de movimientos que se pueden presentar en un deslizamiento son: **caída** (*fall*), **volcamiento** (*topple*), **deslizamiento** (*slide*), **deslizamiento extensivo** (*spread*) y **flujo** (*flow*). Estos tipos de movimiento no necesariamente ocurren en forma independiente ya que en muchos eventos pueden encontrarse dos o más diferentes tipos ocurriendo sucesiva o simultáneamente.

- **Caída.**

Un evento de caída de material se inicia con el desprendimiento de suelo o roca desde la parte alta de una ladera empinada y su posterior desplazamiento

(cayendo, rodando, rebotando o mixto) a lo largo de la ladera. El identificador principal para este movimiento es que el frotamiento o fricción entre la masa desplazada y la superficie de la ladera es mínimo o nulo. El principal factor que condiciona el tipo de desplazamiento es la pendiente. Se acepta que en pendientes mayores de 76 grados el desplazamiento principal será la caída libre y el rebote mientras que en pendientes menos pronunciadas (45 grados o menos) y de mayor longitud prevalecerá el rodamiento. En ambos casos, la masa desplazada estará expuesta a disgregarse y ese podría ser un factor que modifique el tipo de desplazamiento. La velocidad de ocurrencia de este tipo de movimiento es normalmente entre rápido a extremadamente rápido. En la Figura 2 se muestra un esquema ilustrativo para este tipo de deslizamiento. Muchos de los pequeños deslizamientos que ocurren a lo largo de las carreteras y caminos de los límites oriental y occidental del valle de la ciudad de Guatemala (Ciudad San Cristóbal, Mixco y Carretera a El Salvador, respectivamente) pertenecen a este tipo.

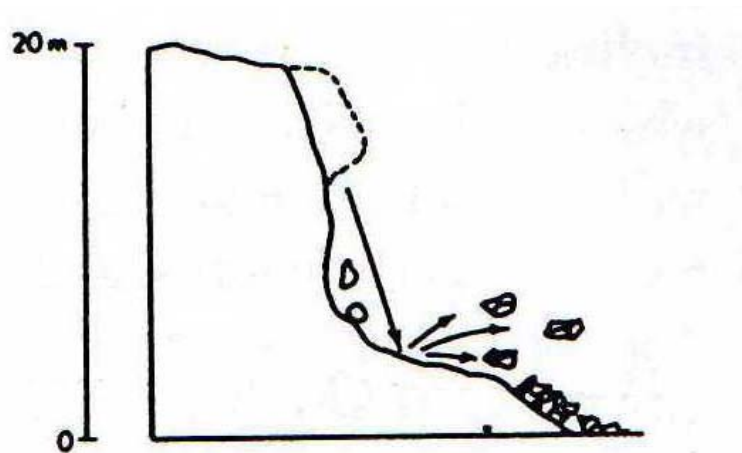


Figura 2. Esquema ilustrativo de caída de rocas.

Todas las figuras de esta sección tomadas de Cruden y Varnes (1996).

En la Fotografía 1 se muestra una caída ocurrida en un macizo de rocas volcánicas en los alrededores de la confluencia de los ríos Las Vacas y Chinautla. Como puede observarse en la fotografía, los fragmentos de roca caen desde la parte alta del macizo y se acumulan en la parte basal cercanos al cauce del río. Debido a la poca altura del talud se presume que en este fue un movimiento de caída libre.



Fotografía No. 1

Caída de rocas volcánicas en la margen norte del río Las Vacas en su confluencia con el río Chinautla.

- **Volcamiento.**

Este tipo de movimiento se define como la rotación hacia el frente y hacia fuera con base en un punto o eje de rotación ubicado bajo el centro de gravedad de la masa desplazada (caída de dominó). En muchas ocasiones, este tipo de movimiento es el detonante para movimientos posteriores de caída o de

deslizamiento del material. La velocidad de ocurrencia de este tipo de movimiento varía de extremadamente lento a extremadamente rápido algunas veces acelerándose como producto del propio movimiento. En la Figura 3 se muestra un esquema ilustrativo para este tipo de deslizamiento. En la zona metropolitana de Guatemala no se tienen registros de deslizamientos tipo volcamiento en parte debido a las

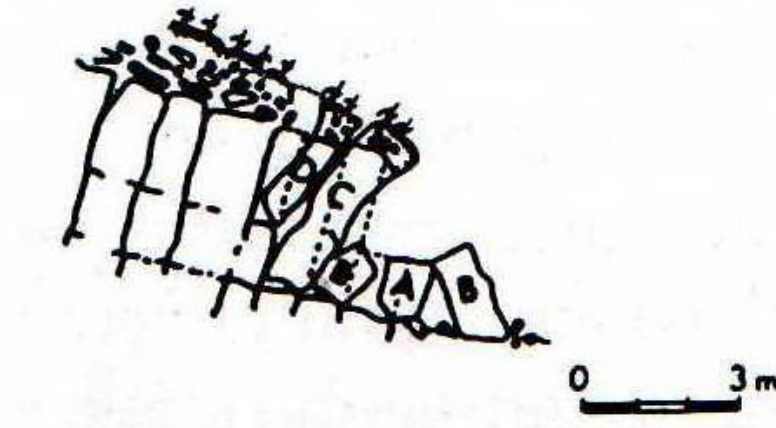


Figura 3. Esquema ilustrativo de volcamiento de rocas.

- **Deslizamiento.**

Este tipo de movimiento ocurre cuando una masa de roca o suelo se desliza predominantemente a lo largo de una o varias superficies de ruptura o de una delgada zona de intensa deformación de material. Este movimiento no ocurre inicialmente en forma simultánea sobre lo que eventualmente será dicha superficie de ruptura sino más bien se inicia en forma local y luego se extiende en una o varias direcciones. Normalmente, los primeros signos para este tipo de movimiento son las fracturas o grietas en superficie en donde luego se podrá formar el escarpe del deslizamiento. Este tipo particular de movimiento está subdividido en dos categorías en función de las características de la superficie de ruptura.

Los deslizamientos **rotacionales** son aquellos en donde la superficie de ruptura tiene una forma curva y cóncava. Este tipo de movimientos ocurren más frecuentemente en materiales homogéneos. Normalmente, en la zona alta del deslizamiento observamos “gradas” debido al desplazamiento casi vertical de la masa deslizada. Es muy común encontrar acumulaciones de agua en esta parte alta del deslizamiento lo cual mantiene el material con tal contenido de humedad que el movimiento puede perpetuarse en el tiempo. La Figura 4a es un esquema ilustrativo para este tipo de deslizamiento. El ejemplo clásico de movimiento rotacional lo podemos observar en una ladera de la carretera que de Santa Catarina Pinula conduce a Boca del Monte más o menos 500 metros al sur de El Pueblito en donde pueden observarse las grietas cóncavas de la corona del deslizamiento afectando directamente la carretera.

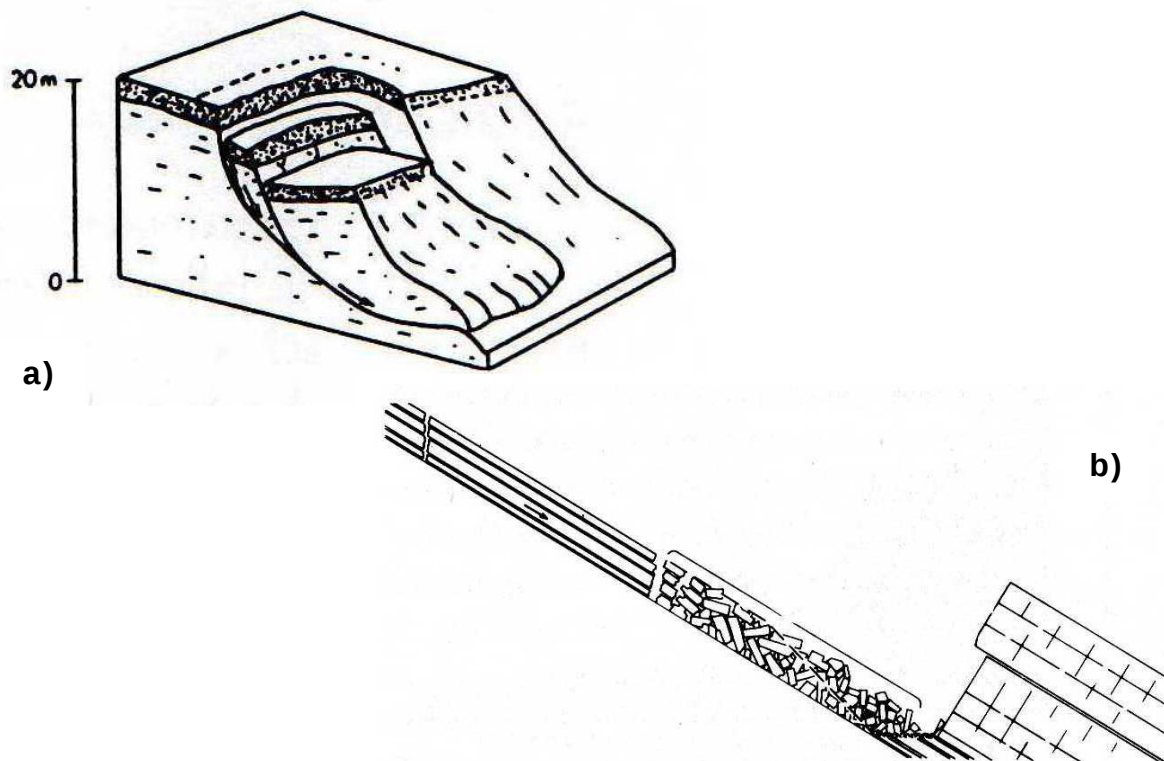


Figura 4. Esquema ilustrativo de deslizamiento de material.
a) rotacional y b) traslacional.

Los deslizamientos **traslacionales** son aquellos en donde el material se desliza a lo largo de una superficie de ruptura plana u ondulada. Estas superficies de ruptura (o traslado) normalmente coinciden con discontinuidades geológicas como fallas, fracturas o planos de estratificación aunque también es normal que se formen a lo largo del contacto entre el basamento rocoso y la capa superficial de suelo o material residual en cuyo caso tendrán una forma irregular. Tan pronto como el deslizamiento traslacional progresa la masa desplazada puede quebrarse, particularmente si su velocidad o contenido de agua se incrementa, y entonces puede convertirse en un flujo de material. La Figura 4b muestra un esquema ilustrativo para este tipo de deslizamiento. Posiblemente, los flujos de lodo que se disparan en la época de invierno en los asentamientos urbanos del área metropolitana de Guatemala puedan ser originados por deslizamientos traslacionales someros y de poco volumen de pómez y/suelo altamente saturados que al viajar a lo largo de la ladera se convierten en torrentes fluidos de material.

- **Deslizamiento Extensivo.**

Este tipo de movimiento ocurre en forma de extensión lateral de una masa de material en combinación con un hundimiento general sobre una delgada capa de material suave, húmedo y/o deformable (arena, limo, arcilla, o mixta = "capa mantequilla"). En este tipo de movimiento la superficie de ruptura tampoco sufre un movimiento friccional de intensa deformación. El material superior puede entonces hundirse, moverse por traslación y/o rotación, desintegrarse, o "licuarse" y entonces empezar a fluir. A pesar que este tipo de movimiento es complejo son lo suficientemente comunes en ciertos materiales geológicos que es factible clasificarlos como un tipo de movimiento diferente al traslacional. La Figura 5 muestra un esquema ilustrativo para este tipo de deslizamiento. No existen registros de este tipo de movimiento en la zona metropolitana de Guatemala aunque eso no signifique que el fenómeno no se pueda presentar.

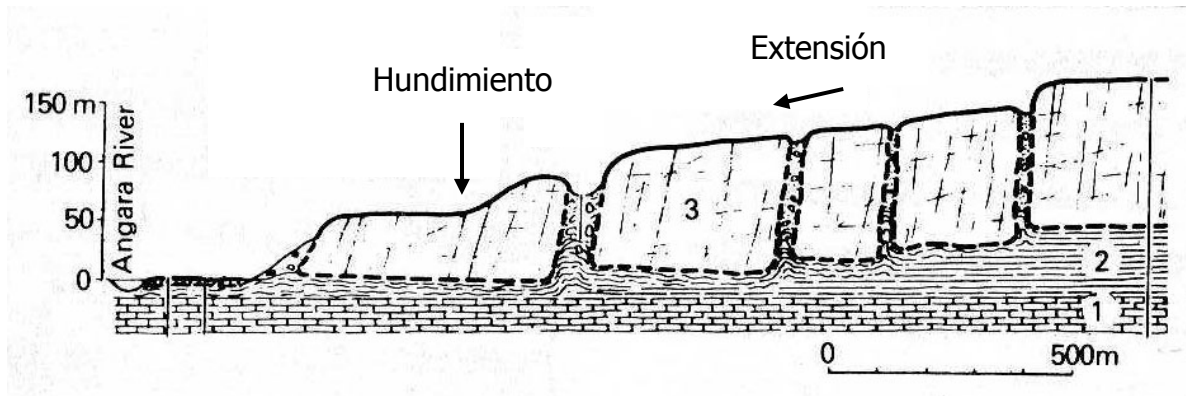


Figura 5. Esquema ilustrativo de deslizamiento extensivo de material homogéneo y macizo (roca) sobre material suave (arcilloso).

- **Flujo.**

Un flujo es un movimiento espacialmente continuo en el cual las superficies de fricción son de corta duración, poco espaciadas y usualmente no preservadas. En muchas ocasiones pueden observarse evoluciones de movimientos finalizando en flujos en función del contenido de agua, movilidad y pendiente del terreno. Normalmente, los flujos de detritos (fragmentos mayores de 2 centímetros) pueden tener velocidades extremadamente altas conforme el material desplazado pierde cohesión, incrementa su contenido de agua o encuentra pendientes más fuertes. La Figura 6 muestra un ejemplo ilustrativo para este tipo de fenómeno.

Los flujos de lodo son los responsables de la mayoría de los eventos más catastróficos en la historia reciente de Guatemala. Fue un flujo de lodo el responsable de la tragedia de doña Beatriz de la Cueva en épocas coloniales en la Antigua Guatemala. Fue un flujo de lodo el responsable de la muerte de más de 600 personas en el cantón Panabaj, Santiago Atitlán durante el Stan. Y fue un flujo de lodo el responsable de la última gran tragedia del invierno 2007 en la colonia El Edén, zona 5 de Guatemala.

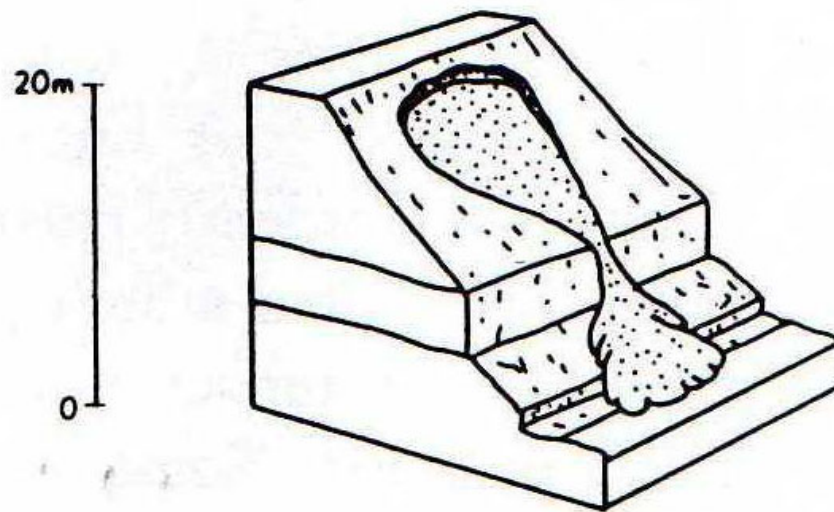


Figura 6. Esquema ilustrativo de flujo a lo largo de una ladera empinada.

Por el tipo de análisis e información de entrada, se asume que la metodología Mora-Vahrson evalúa la susceptibilidad del terreno a sufrir deslizamientos principalmente del tipo traslacional. El autor considera que los resultados obtenidos indicarían las posibles "zonas de iniciación" de tales fenómenos y no la extensión total del material desplazado.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Para la evaluación de la susceptibilidad ante deslizamientos provocados por lluvias fuertes se utilizó la metodología de Mora y Vahrson (1994) la cual fue desarrollada y probada en una provincia lluviosa de Costa Rica.

En general, con la metodología Mora-Vahrson se estima inicialmente el Índice de Susceptibilidad a partir de la evaluación de tres parámetros considerados como críticos para la ocurrencia de deslizamientos:

- pendiente,
- geología y
- humedad del suelo.

Seguidamente, se analiza la influencia de la lluvia como factor desencadenante de deslizamientos utilizando datos de lluvia máxima diaria de estaciones meteorológicas vecinas. A pesar que con la metodología Mora-Vahrson también es posible analizar la influencia de la energía sísmica como factor desencadenante esta variable no fue considerada en el presente análisis.

La metodología Mora-Vahrson para la evaluación de susceptibilidad ante deslizamientos provocados por lluvias fuertes se aplica siguiendo los pasos enumerados a continuación:

2.1 Estimación del Índice de Susceptibilidad.

Para la estimación del Índice de Susceptibilidad es necesario considerar los tres factores críticos mencionados anteriormente: la pendiente, las unidades litológicas (geología) y la humedad propia del terreno.

Con base a la correlación entre deslizamientos históricos provocados por lluvias fuertes, Mora y Vahrson (1984) sugirieron las diferentes clases en que debe dividirse cada factor y su correspondiente valor numérico.

a) Factor pendiente del terreno – FP.

El mapa de pendiente es derivado del Modelo Digital del Terreno (DTM, por sus siglas en inglés) el cual a su vez es la representación de las altitudes del terreno. Los valores de pendiente se agrupan en clases y a cada una de ellas se le asigna un “factor de peso relativo” tal y como se muestra en la Tabla 1. Aquellas zonas que tienen mayor valor de pendiente se les asigna un mayor factor de peso. El mapa correspondiente al Factor de Pendiente se muestra en la Figura 7.

Tabla 1. Clasificación del Factor Pendiente

Valor de la Pendiente	Clase	Factor
<12°	Muy baja	1
12° - 20°	Baja	2
20° - 28°	Moderada	3
28° - 40°	Alta	4
> 40°	Muy alta	5

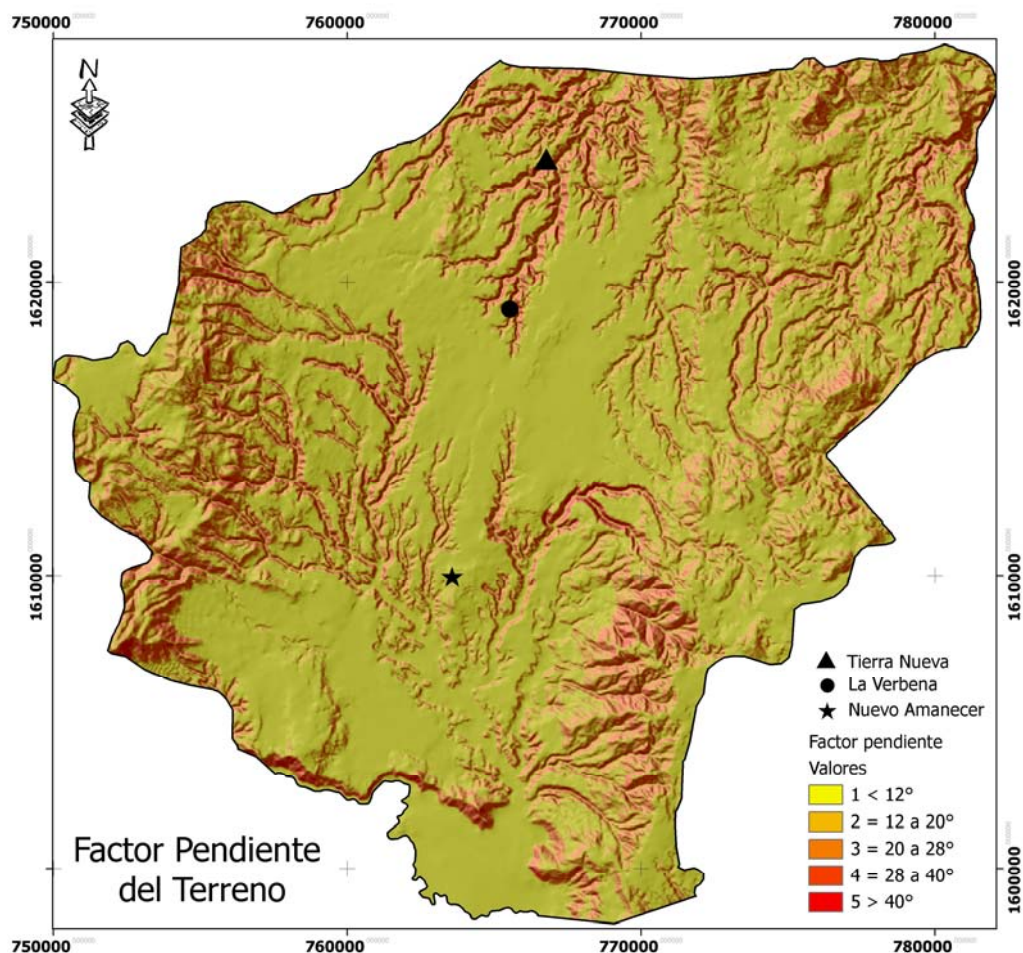


Figura 7. Mapa de factor de pendiente del terreno. Factores altos (en colores rojos) corresponden a zonas con pendientes fuertes.

b) Factor litológico (geología) – FL.

Desafortunadamente, para la estimación del factor litológico no se tuvo disponibilidad de mapas geológicos a escala 1:50,000 para toda el área de interés. Como puede verse en la Figura 8, solamente se tiene información de las hojas geológicas San Juan Sacatepéquez, San José Pinula, Amatitlán y Guatemala elaborados por el Instituto

Geográfico Nacional (IGN). El resto del área fue analizada con información geológica a escala 1:250,000 también obtenida del IGN.

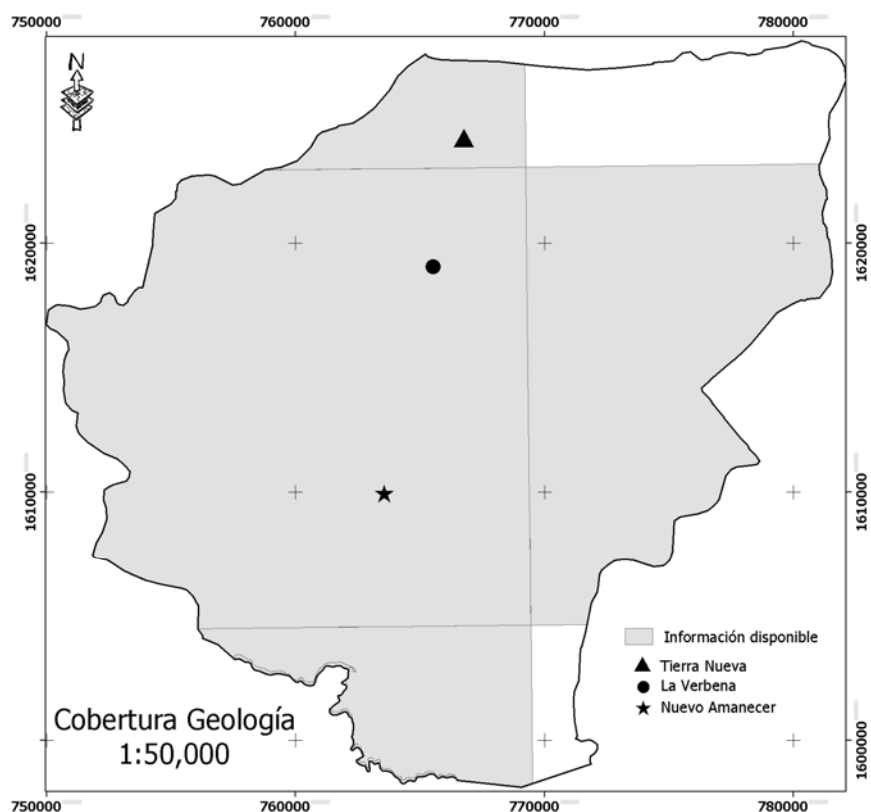


Figura 8. Disponibilidad de información geológica a escala 1:50,000 en el área de estudio.

A cada unidad litológica presente en el área de estudio se le asignó un valor numérico (factor) basado en el tipo de roca, el grado de alteración o meteorización y susceptibilidad al deslizamiento similar a lo mostrado en la Tabla 2. El mapa resultante de Factor Litológico (geología) se muestra en la Figura 9.

Tabla 2. Clasificación del Factor Litológico

Litología	Clase	Factor
Aluvión permeable, caliza permeable, intrusiones algo fracturadas, basaltos, ignimbritas, gneiss; bajo nivel de alteración, agua subterránea baja, fracturas limpias y rugosas, resistencia a cizalla	Baja	1
Mayor grado de alteración de las rocas, menor resistencia a la cizalla y fracturas deformables	Moderada	2
Rocas volcánicas, metamórficas, intrusivas y sedimentarias considerablemente alteradas, suelos residuales arenosos, mayor fracturamiento, agua subterránea fluctuante	Media	3
Rocas muy meteorizadas y alteradas, fuertemente fracturadas, rellenos de arcilla en las fracturas, piroclastos y suelos fluvio-lacustres pobremente compactados, agua subterránea superficial	Alta	4
Rocas extremadamente alteradas, coluviones y suelos residuales con baja resistencia a la cizalla, agua subterránea muy superficial	Muy Alta	5

c) Factor humedad del suelo – FH.

Para el caso del factor de humedad del terreno se utilizaron los datos de balance hídrico estimados por personal de la División de Hidrología del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH, 2004). En dichas estimaciones se utilizaron datos diarios de lluvia y evapo-transpiración para el período comprendido entre 1982 y 2003. En forma general, el cálculo de balance hídrico puede ser considerado como el contenido de humedad natural del suelo ya que para su estimación se restan los valores diarios de evapo-transpiración a los valores diarios de precipitación pluvial. Para los propósitos del presente análisis se consideraron los valores máximos del período analizado. En la Figura 10 se muestra el mapa de factor de humedad del suelo.

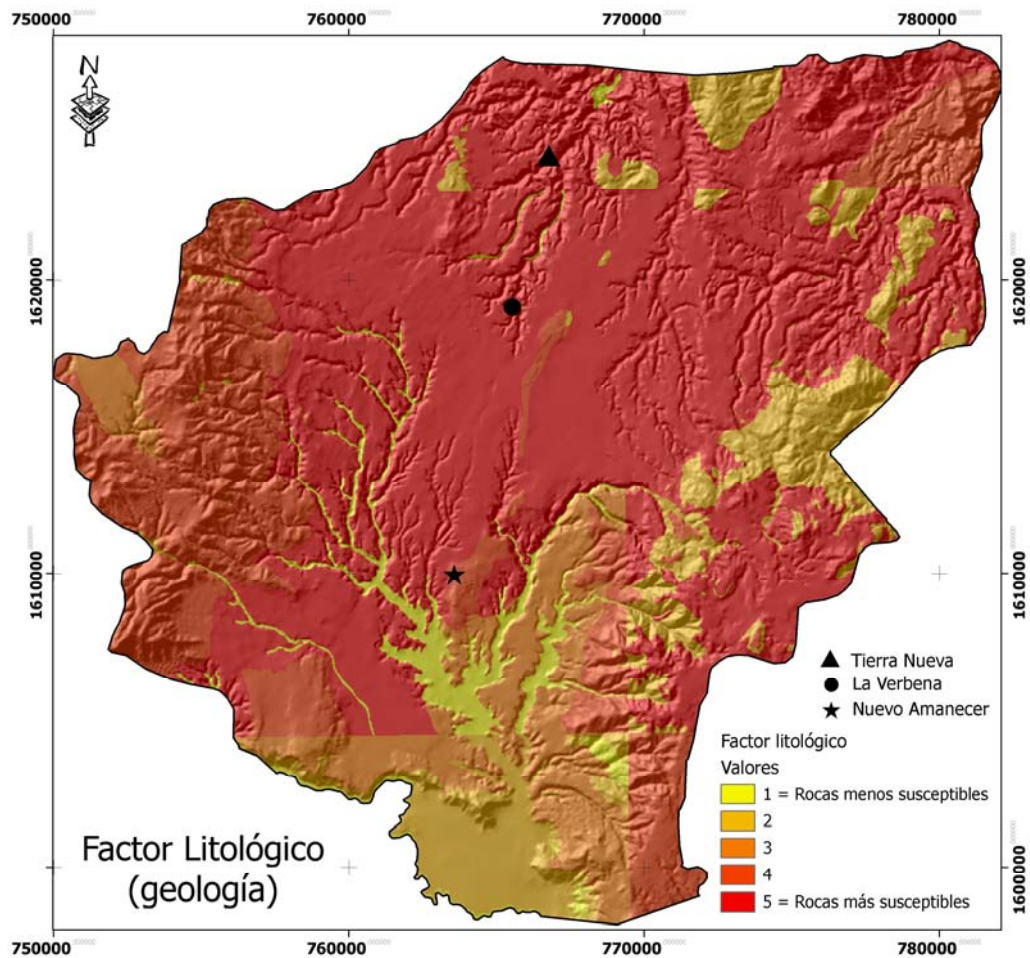


Figura 9. Mapa de factor litológico (geología). Factores altos (en colores rojos) corresponden a rocas más susceptibles a deslizarse.

En el cálculo final, los mapas de factor (pendiente, litológico y humedad del suelo) son multiplicados entre sí para obtener el Mapa de Índice de Susceptibilidad ante deslizamientos ($FP \cdot FL \cdot FH$). Este mapa representa la susceptibilidad propia del terreno a deslizarse en función de las características topográficas del terreno (representadas por la pendiente), las propiedades litológicas de las rocas y el contenido de humedad natural en las mismas. El mapa de Índice de Susceptibilidad es mostrado en la Figura 11.

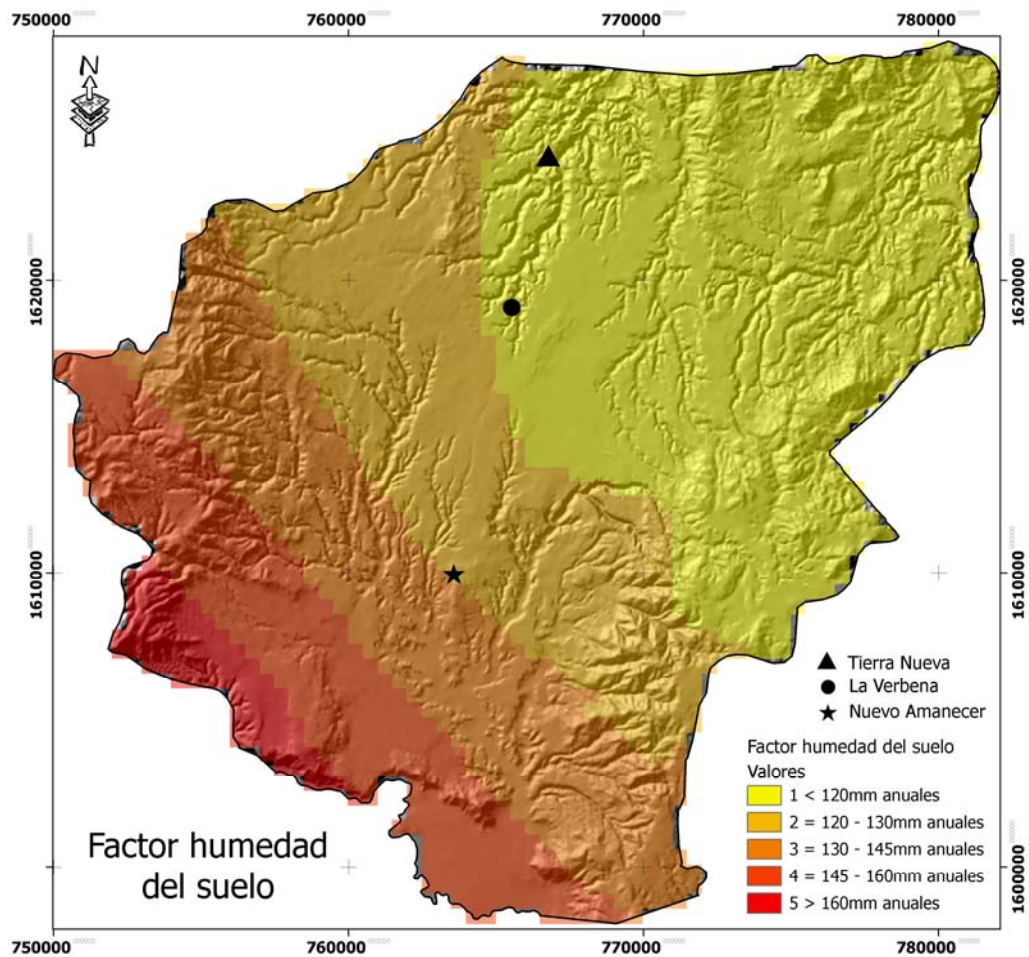


Figura 10. Mapa de factor de humedad del suelo. Factores altos (en colores rojos) corresponden a zonas con mayores contenidos de humedad.

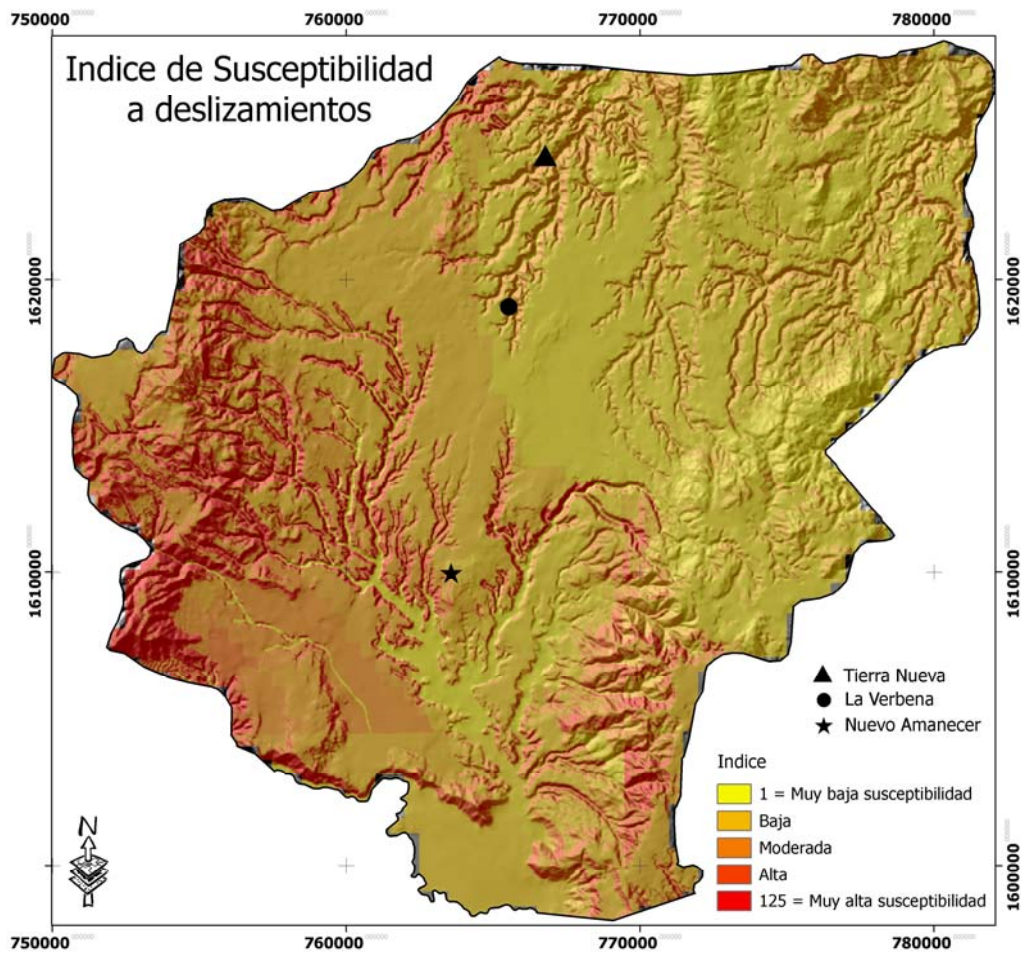


Figura 11. Mapa de índice de susceptibilidad a deslizamientos. Factores altos (en colores rojos) corresponden a zonas con mayor susceptibilidad.

2.2 Factor de disparo: las lluvias fuertes – FD.

Luego de definido el Mapa de Índice de Susceptibilidad es momento de evaluar la influencia de la lluvia como factor desencadenante de posibles deslizamientos. Para dicha evaluación, Mora y Vahrson (1984) han asumido que los deslizamientos que involucran depósitos superficiales o suelos residuales son comúnmente producidos por precipitaciones de tipo convectivo de corta duración pero de gran intensidad. En forma simplificada, en el presente análisis se consideraron los datos de lluvias máximas mensuales entre el período 1982 y 2003 con las cuales se realizó una interpolación lineal para cubrir la totalidad del área de estudio. El mapa resultante se presenta en la Figura 12.

2.3 Zonas de amenaza relativa.

Luego de estimado el Índice de Susceptibilidad y el Factor de Disparo por lluvia fuerte se realiza la multiplicación de dichos mapas para la determinación del nivel de amenaza relativa. Los valores del Índice de Susceptibilidad pueden variar entre 1 y 125 unidades, este último valor siendo posible únicamente en el caso que el Factor de Pendiente del terreno, Factor Litológico y Factor de Humedad del suelo hubiesen tenido valores máximos de 5 ($5 \times 5 \times 5 = 125$). El máximo Índice de Susceptibilidad (Figura 11) obtenido en el área de estudio fue de 125. Debido a que el mapa de Índice de Susceptibilidad es multiplicado por el mapa de Factor de disparo por lluvias fuertes el máximo valor posible en el mapa final de amenaza relativa será de 625 unidades. En este caso, el máximo valor de amenaza obtenido fue de 600.

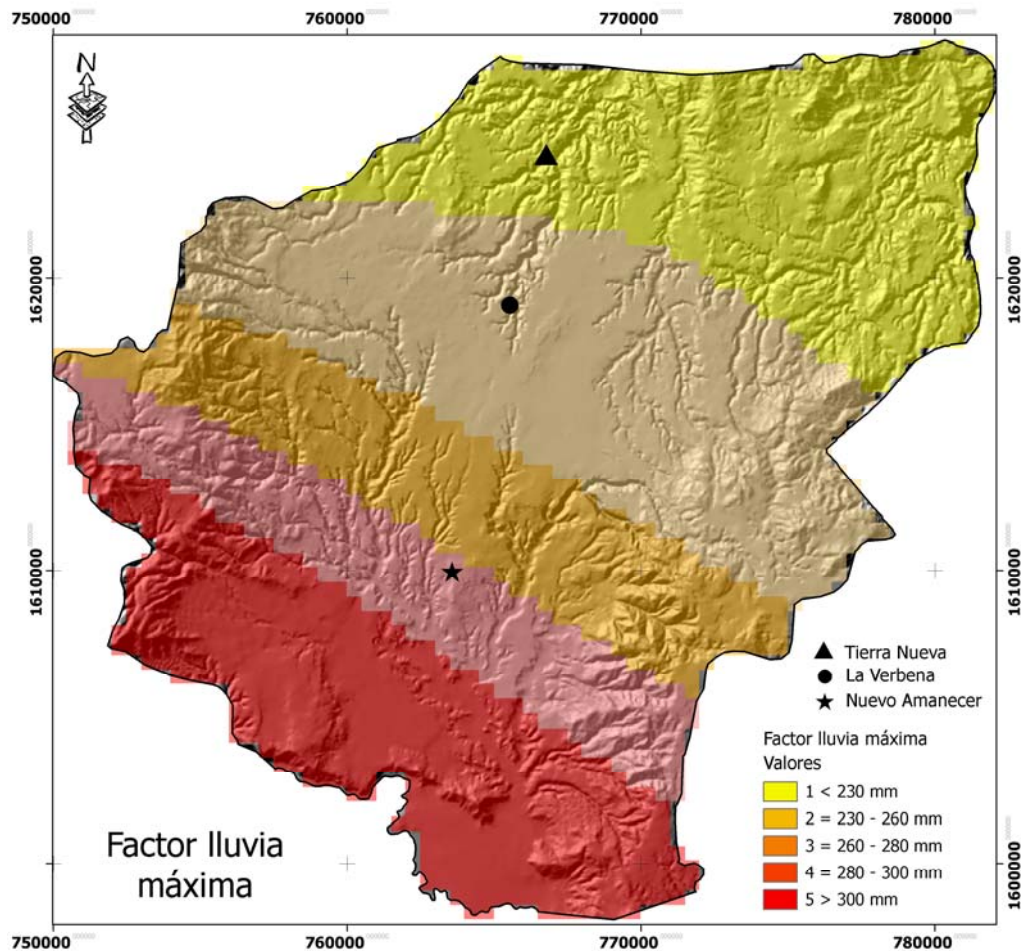


Figura 12. Mapa de Factor de disparo por lluvia fuerte. Factores altos (colores rojos) corresponden a zonas con mayor precipitación.

Basado en dicha calificación máxima, se definieron 4 diferentes niveles de amenaza por deslizamientos producidos por lluvias fuertes en la zona metropolitana de Guatemala. Para la definición de los límites de clases se realizó un análisis estadístico (histograma) separando las clases en los “quiebres naturales” de la curva. El mapa correspondiente a las zonas de amenaza relativa es mostrado en la Figura 13.

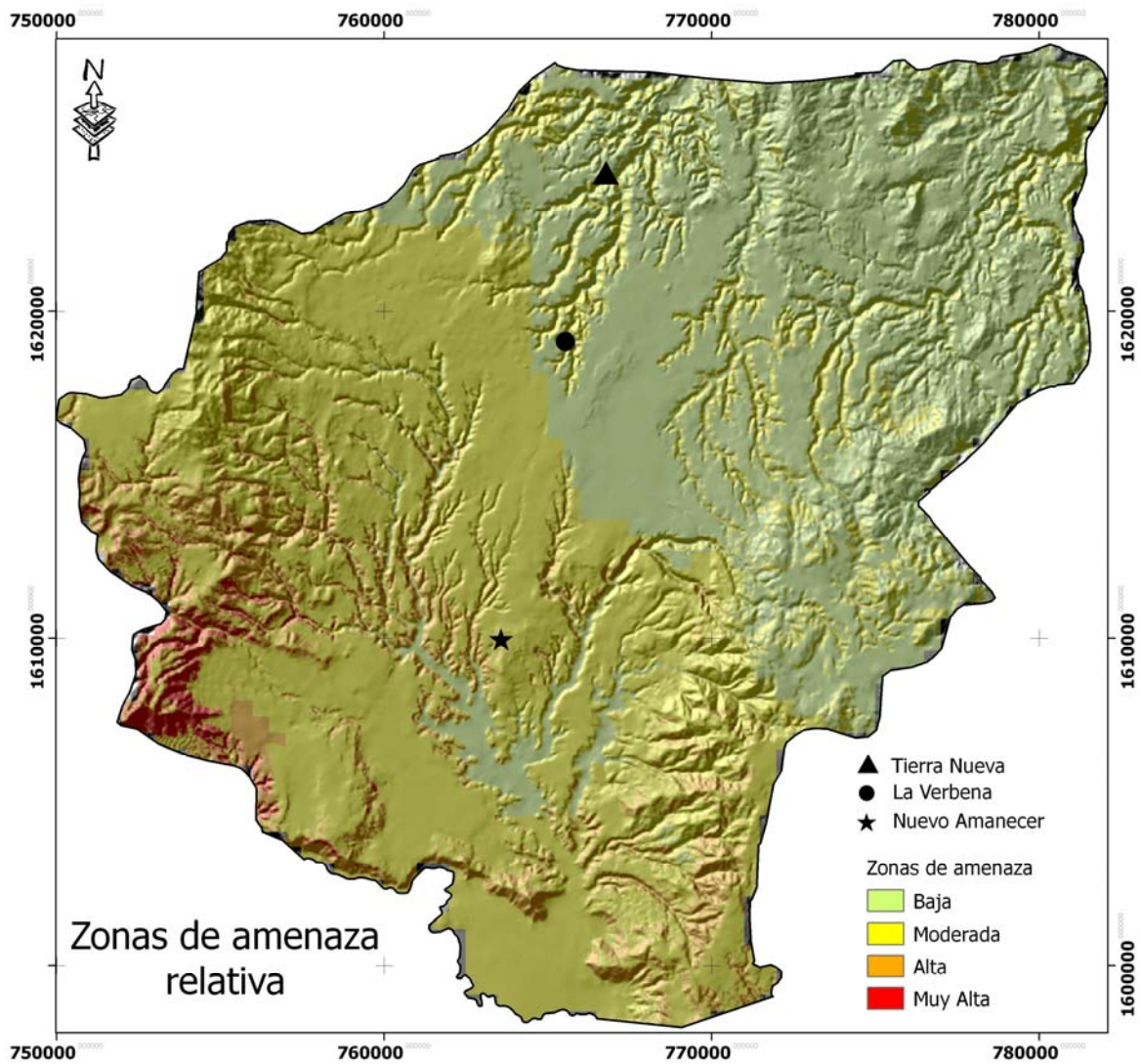


Figura 13. Mapa de Amenaza por Deslizamientos provocados por lluvias Fuertes en la zona metropolitana de Guatemala.

En la siguiente figura se muestra un flujograma que resume los diferentes pasos realizados para la estimación de la susceptibilidad a deslizamientos en la zona metropolitana de Guatemala utilizando la metodología de Mora y Vahrson (1984).

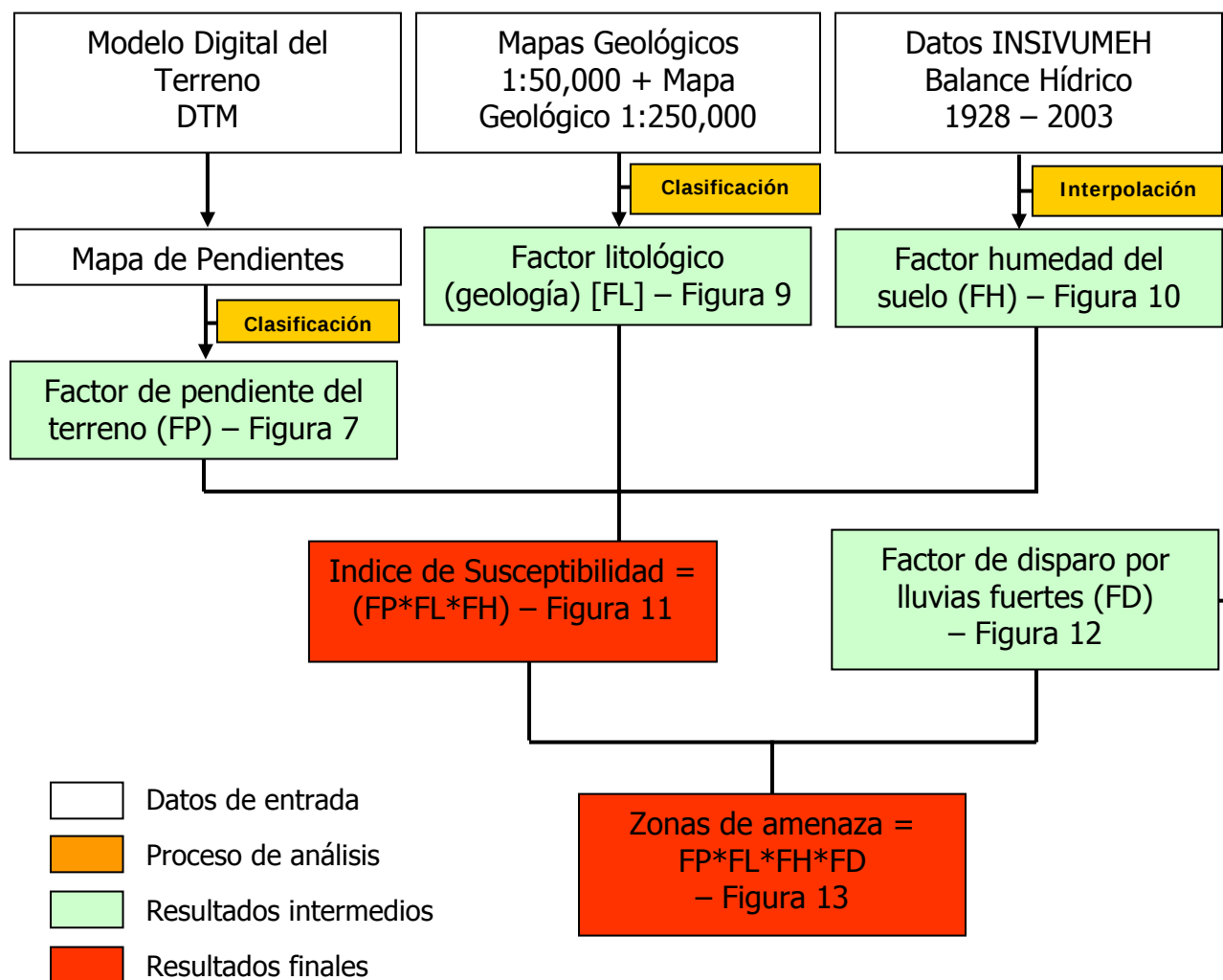


Figura 14. Flujograma de actividades para la estimación de susceptibilidad ante deslizamientos disparados por lluvias fuertes utilizando la metodología Mora y Vahrson (1984).

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

- **Limitaciones en la aplicación de la metodología.**

La metodología Mora y Vahrson (1984) es considerada una metodología de análisis semi-regional (en el artículo original se habla de “macrozonificación”). Es el tipo de metodología que permite tener una primera sobrevista de los posibles niveles de amenaza ante deslizamiento en una región determinada. Posterior a Mora-Vahrson, deberían ser aplicadas otras metodologías de análisis para obtener resultados de mayor detalle en las áreas de interés.

Para la aplicación de metodologías de análisis como la de Mora y Vahrson en Guatemala se cuenta con información digital de diferente calidad, escala y fecha. En el caso de la topografía, la información oficial más detallada a nivel nacional está a escala 1:50,000. La mayoría de estos mapas topográficos datan de la década de los años setenta por lo que no reflejan los cambios urbanísticos y paisajísticos de los últimos 30 años. Solamente una pequeña parte de la zona metropolitana cuenta con información oficial topográfica a escala 1:15,000. Fue hasta hace poco que la Municipalidad de Guatemala ha producido información topográfica a detalle (curvas de nivel a intervalos de 1 metro) como parte de la elaboración de las bases de datos catastrales.

En el caso de la información geológica, están disponibles a nivel nacional los mapas oficiales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:1,000,000. Obviamente, esta información no tiene el detalle

suficiente para utilizarla en análisis de susceptibilidad a deslizamientos. Al mismo tiempo, aunque no validada oficialmente, se cuenta con información geológica a escala 1:250,000 para todo el país la cual fue digitalizada y editada por el Laboratorio SIG del Ministerio de Agricultura. Solo una pequeña parte del país cuenta con información geológica a escala 1:50,000. Para el área metropolitana de Guatemala se utilizó una combinación entre información geológica 1:50,000 (la mayoría del área) complementada con información a escala 1:250,000 – ver Figura 8. En ambos casos, pero especialmente en la escala regional 1:250,000; el detalle de la información geológica no es el ideal ya que no se pueden incorporar estructuras o elementos geológicos con tamaño menor a 50 metros. Existen innumerable cantidad de estructuras o elementos geológicos menores de 50 metros que pueden contribuir a la ocurrencia de deslizamientos, entre los cuales se pueden mencionar: zonas de falla, zonas de fracturamiento, zonas de alteración, diques, chimeneas volcánicas, discontinuidades estratigráficas, entre otras.

Finalmente, la cobertura espacial de la red de estaciones meteorológicas no es uniforme en el país. La información de humedad del suelo y lluvias mensuales máximas para este análisis fue obtenido de un estudio de balance hídrico realizado por la División de Hidrología del INSIVUMEH con base a la información de alrededor de 30 estaciones en todo el país. Sin embargo, para la zona metropolitana solamente se tiene la estación INSIVUMEH dentro del listado de estaciones mencionadas por lo que fue necesario incorporar la información de otras estaciones aledañas para interpolar la información a lo interno del área de estudio. Entre las estaciones

utilizadas se encuentra la de Sábana Grande en Escuintla, San Martín Jilotepeque en Chimaltenango, San Pedro Ayampuc en Guatemala y Los Esclavos en Santa Rosa. Se presume que la interpolación pudo haber generado resultados no del todo satisfactorios principalmente en la zona norte del área de estudio.

Por las limitaciones en la información de entrada se recomienda utilizar los resultados del presente análisis como información de referencia y no como resultados concluyentes a detalle.

- **Niveles de amenaza.**

En general, como puede observarse en la Figura 13, los resultados del análisis sugieren que alrededor del 88% del área metropolitana estaría catalogada como de baja a moderada amenaza ante deslizamientos. En contraste, el 10% del área corresponde a la categoría de alta amenaza y el 2% del área se ubica en zona de muy alta amenaza. Sin embargo, como ya se ha mencionado en el apartado anterior, las limitaciones de información geológica y meteorológica a detalle en la totalidad del área estudiada podrían estar sobreestimando el porcentaje de superficie catalogada como baja a moderada amenaza, es decir, mucha del área catalogada como moderada podría ser realmente de alta amenaza.

En el anexo de este reporte se presenta un listado de poblados que se ubican en cada una de estas zonas de moderada, alta y muy alta amenaza (basado en la información del Instituto Nacional de Estadística – INE del censo 2,002). En general, la mayoría de

poblados en alta y muy alta amenaza se ubican en la parte sur y suroeste del área de estudio (Figura 15) totalizando 70 poblados y alrededor de 82,716 habitantes. A pesar que Ciudad Peronia (12,040), El Exodo (4,490), Ciudad Real (4,177); todas ellas en el municipio de Villa Nueva; y Santa Inés Petapa (4292) en Petapa y San José El Tablón (4,237) en Villa Canales se constituyen en centros poblados con amenaza alta es de hacer notar que, seguramente, no toda la población se encuentra en ese nivel de amenaza. No es posible desmenuzar los resultados del análisis por área poblada ya que cada comunidad está representada únicamente por un punto y no por un polígono. Este análisis adicional podría realizarse utilizando la información catastral de cada una de las Municipalidades involucradas.

Se ha estimado que 646 poblados se encontrarían ubicados en zonas de moderada amenaza ante deslizamientos para un total de 823,420 habitantes (ver listado de poblados en Anexo).

- **Sistema de monitoreo de lluvias y alertamiento.**

Los resultados obtenidos del análisis de susceptibilidad ante deslizamientos utilizando la metodología Mora y Vahrson sugieren que las zonas de mayor amenaza se encuentran ubicadas en el sector sur y sur-oeste del área metropolitana de Guatemala en la jurisdicción municipal de San Lucas Sacatepéquez, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales (ver Figura 15). Por lo tanto, se debería considerar la posibilidad de implementar la mayor cantidad de estaciones de monitoreo de lluvias en ese sector del área de estudio.

Sin embargo, existe la posibilidad de que las extensas zonas de baja a moderada amenaza obtenidas en la parte central y norte del área metropolitana hayan sido sub-estimadas debido a la carencia de información meteorológica (lluvias) y falta de detalle en la información geológica en dicha área.

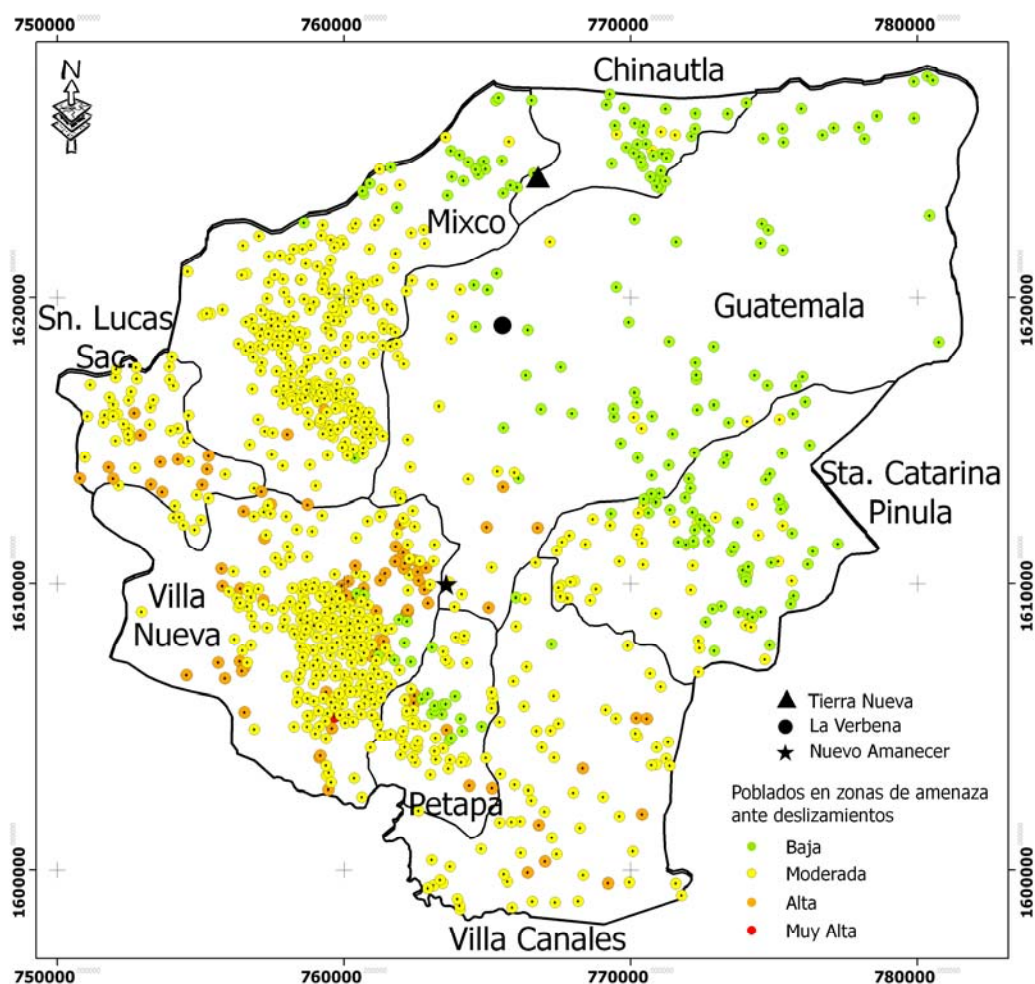


Figura 15. Mapa de poblados ubicados en zonas de moderada, alta y muy alta amenaza ante deslizamientos. Los puntos corresponden a la base de datos del INE (Censo 2,002).

4. CONCLUSIONES.

Basados en la metodología Mora y Vahrson (1984) y en la información topográfica, meteorológica y geológica utilizados en el presente análisis se concluye que el 88% del área analizada corresponde a la categoría de amenaza ante deslizamientos entre baja a moderada. Según datos demográficos del INE (Censo del 2002), en esa área vivirían alrededor de 823,420 personas distribuidas en 646 centros poblados. Como ya se discutió en la sección anterior, esta zonificación de baja y moderada amenaza pudiera estar sobre-estimada debido a la falta de información meteorológica y geológica a detalle. En términos de preparación ante desastres quizás sea conveniente poner atención a aquellas localidades ubicadas en los barrancos de los ríos Chinautla, El Zapote, Negro, Santa Rosita y Las Vacas.

Así mismo, el 10% del área analizada corresponde a la categoría de amenaza alta y el 2% corresponde a la categoría de muy alta amenaza. Estas zonas de alta y muy alta amenaza se ubican a lo largo de la zona sur y sur-occidental de la zona metropolitana en donde habitarían alrededor de 82,700 personas distribuidas en 70 centros poblados (ver Figuras 13, 15 y Anexos 1 y 2).

En los asentamientos que están siendo trabajados por la alianza Oxfam GB – ESFRA – ISMUGUA con el proyecto DIPECHO V se ha estimado que las pendientes del área de Tierra Nueva II son catalogadas como de moderada amenaza. Igualmente, en la zona de Las Joyas (La Verbena), el área de los barrancos se considera como de moderada amenaza ante deslizamientos provocados por lluvias fuertes. Por el contrario, las laderas y barrancos que bordean los asentamientos de Nuevo Amanecer y Areneras son catalogados como de moderada a alta amenaza. Adicionalmente, otros asentamientos y colonias en los alrededores de Nuevo

Amanecer aparecen en zonas de alta amenaza, entre ellos: Joya del Mezquital, 30 de enero, Eben Ezer, La Cuchilla, El Esfuerzo y Anexo Sur Villalobos II.

En cuanto al diseño e implementación de un sistema de monitoreo de lluvias y alertamiento ante deslizamientos se concluye que la mayor cantidad de estaciones de monitoreo deben ser ubicadas en la parte sur y sur-occidente del área metropolitana en jurisdicción de los municipios de Mixco (parte sur), San Lucas Sacatepéquez, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales (Figura 15). Sin embargo, también habrá que implementar estaciones de monitoreo en la parte norte y nor-oriental del área metropolitana en jurisdicción de los municipios de Chimaltenango, Guatemala (parte norte) y Santa Catarina Pinula (parte oriente).

Geopetrol S.A. concluye que es necesario realizar monitoreo de lluvias a nivel de las comunidades utilizando pluviómetros, a nivel municipal (alcaldías auxiliares y municipales o instituciones de socorro) utilizando estaciones meteorológicas básicas y a nivel metropolitano con estaciones meteorológicas en tiempo real (vía satélite). En este sentido, la ubicación de estaciones meteorológicas básicas en estaciones de bomberos puede ser de vital importancia para el sistema de monitoreo y alerta por la permanente vigilancia que estas instituciones mantienen en temporadas de lluvia.

En los mapas finales se ha incluido como referencia el inventario de deslizamientos del terremoto de 1976 con más de 1,800 deslizamientos individuales (Harp y colaboradores, 1976). La importancia de contar con esta información radica en el hecho que, la mayoría de las veces, los deslizamientos antiguos pueden ser reactivados durante eventos similares al que les dio origen o, en este caso, estos viejos deslizamientos también podrían ser reactivados por lluvias fuertes.

5. RECOMENDACIONES.

- Utilizar la información catastral detallada que maneja la Municipalidad de Guatemala para especificar aquellas comunidades o sectores ubicados en laderas de moderada a muy alta amenaza ante deslizamientos.
- Combinar los resultados del presente análisis con el inventario histórico de deslizamientos (provocados por lluvias y el de deslizamientos del terremoto de 1976) para afinar las zonas de alta y muy alta amenaza ante deslizamientos.
- Realizar recorridos de campo por aquellos barrancos que presentan los niveles más altos de amenaza para evaluar las condiciones de vulnerabilidad de las poblaciones ahí ubicadas.
- Considerar los tres niveles de monitoreo de lluvias (local, municipal y metropolitano) en el diseño e implementación del sistema de alertamiento ante deslizamientos.
- Ejecutar una campaña de divulgación de los resultados del presente análisis en las Municipalidades, instituciones de gobierno, ONG's, organizaciones comunitarias y población en general

6. REFERENCIAS

Cruden, D.M. and Varnes, D.J., Landslides Types and Processes in Turner, A.K and Schuster, R.L. (eds.), 1996, Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 672 p.

Harp, E. L., Wilson, R.C. and Wieczorek, G.F., 1981, Landslides from the February 4, 1976, Guatemala Earthquake, Geological Survey Professional Paper 1204-A, United States Department of the Interior, Washington, D.C., 35 p.

Instituto Geográfico Nacional (IGN), Hojas Topográficas y Geológicas San Juan Sacatepéquez, Guatemala, San José Pinula y Amatitlán, escala 1:50,000

Instituto Nacional de Estadística (INE), 2002, Censo Poblacional.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2004, Atlas Climatológico de Guatemala, División de Hidrología.

Mora C., S., and Vahrson, W.G., 1994, Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination: Association of Engineering Geologists Bulletin, Vol. XXXI, No. 1, pp. 49-58.

World Meteorological Organization, 1999, Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards, 92 p.

7. ANEXOS

No. 1:

Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos en la Zona Metropolitana de Guatemala

No. 2:

Centros Poblados Ubicados en Zonas de Moderada, Alta y Muy Alta Amenaza ante Deslizamientos Provocados por Lluvias Fuertes (Archivos Excel).