

## XXII. BIOGRAFÍA



Silvia Retamal Cisterna, Originaria de Temuco, Chile. Profesora de Enseñanza Básica, Magíster en Educación (Universidad de Concepción), Máster en Investigación en Educación y Ph.D. en Educación (Universidad Autónoma de Barcelona). Experiencia laboral en instituciones educativas

formales y no formales. Actualmente se desempeña como docente investigadora en la Universidad Estatal de Bolívar.



## ESTUDIO DE FACTORES MEDIOAMBIENTALES QUE INTERVIENEN EN LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS EN EL CERRO SUSANGA (CHIMBO, ECUADOR).

Enrique Acosta, Eva Gavilanes, Giovanni García, Morayma Meza, Mongómeri Naranjo, Rosalía Muñoz, Carlos Ocampo, Abelardo Paucar y Alberto Cárdenas.

Instituto de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar Matriz Guaranda  
Av. Ernesto Che Guevara y Gabriel Secaira Guaranda-Bolívar-Ecuador  
investigación@ueb.edu.ec

## RESUMEN

El cerro Susanga ha experimentado diversos procesos geológicos que han modificado sustancialmente su morfología a lo largo de su historia (macro-deslizamientos, fallas normales, inversas y de desgarre) y otros procesos menores que, aunque no alteran su morfología (deslizamientos superficiales, desprendimientos y reptaciones), también constituyen una amenaza sobre los actuales asentamientos humanos e infraestructuras.

En este trabajo se ha realizado una cartografía geomorfológica a escala 1:10.000 de todos estos procesos geológicos y sus formas resultantes. Asimismo, se ha abordado un análisis y caracterización de los factores medioambientales que desencadenan (Sismicidad, Precipitación) y condicionan (Topografía, Geología, Hidrología, Geomorfología, Uso del suelo) la distribución espacial de deslizamientos de ladera. El mapa de susceptibilidad obtenido mediante Tratamiento de Datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG) junto con el análisis del Desarrollo Social y Económico de la zona ha servido para identificar los elementos expuestos (edificios, vías e infraestructuras) y hacer una evaluación preliminar de la vulnerabilidad a los deslizamientos en todo el cerro.

**Palabras Clave:** Cerro Susanga, Chimbo, mapa geomorfológico, deslizamiento, susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad, SIG.

## ABSTRACT

Susanga hill has undergone different geological processes that have substantially modified its shape along its history (macro-landslides, normal, inverse and strike-slip faults) and other

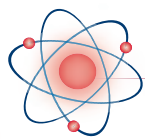
All these processes and their resulting morphologies have been geo-referenced in a 1:10.000 scale geomorphologic map. Moreover, the environmental factors that trigger (Seismic activity, Rainfall) and condition (Topography, Geology, Hydrology, Geomorphology, Land use) the spatial distribution of landslides have been analyzed. The landslide susceptibility map obtained by means of Data Processing in a Geographic Information System (GIS) along with the Socioeconomic study of the area have been helpful to identify the exposed elements (buildings, roads and other infrastructures) and to make a preliminary assessment of the landslide vulnerability around the hill.

## XXIII. INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de los deslizamientos es el producto de las condiciones geológicas, hidrológicas y geomorfológicas y la modificación de éstas por procesos geodinámicos, vegetación, uso de la tierra y actividades humanas, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la sismicidad (Suárez, 2009).

Los deslizamientos, son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades. Además producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos. El volumen total de daños producidos por deslizamientos, es superior al de los terremotos y las inundaciones. Sin embargo, un gran porcentaje de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se implementan las medidas de prevención o control (Suárez, 2009).

Según Hartlen y Viberg (1988), una evaluación completa de peligrosidad por movimientos de ladera. incluidos los



1. ¿Dónde ocurrirán los movimientos?
2. ¿Cuál será su volumen y qué distancia recorrerán?
3. ¿Qué clase de movimiento tendrá lugar?
4. ¿Cómo de rápido se moverán?
5. ¿Cuándo ocurrirán?

Sin embargo, en este estudio sólo se responde a la primera mediante un análisis de susceptibilidad a la rotura. La susceptibilidad frente a los movimientos de ladera puede definirse como la tendencia o propensión de una zona a verse afectada por este tipo de procesos en el futuro (Brabb, 1984). Los procedimientos para la estimación de la susceptibilidad a escala media-regional son de tres tipos (Baeza y Corominas, 2001):

1. Basados en el análisis geomorfológico.
2. Técnicas de tratamiento de datos.
3. Aproximaciones determinísticas.

Los dos primeros se aplican con frecuencia en análisis regionales, mientras que el último se suele utilizar en estudios de detalle, en los que se calcula el factor de seguridad de las laderas mediante análisis de estabilidad. Las aproximaciones determinísticas son, a pesar de sus limitaciones, probablemente el mejor tipo de procedimiento para determinados tipos de movimientos de ladera ya que tienen en cuenta los principios físicos que rigen la estabilidad de las laderas. Sin embargo, la gran cantidad de datos que requieren y lo gravoso que resulta su obtención hace que sólo sean utilizados en laderas individuales o pequeñas áreas.

Para escalas medias y regionales, la susceptibilidad a los deslizamientos se evalúa mediante métodos que van desde simples análisis geomorfológicos a complejos tratamientos de datos. La fiabilidad del análisis geomorfológico depende de la apropiada interpretación de las formas y los depósitos, la cual está sujeta a una cierta componente subjetiva por parte del geomorfólogo. La aplicación de técnicas de tratamiento de datos mediante herramientas SIG permite reducir la subjetividad y cuantificar la susceptibilidad. Con estas técnicas, las áreas susceptibles a movimientos de ladera se determinan correlacionando o comparando la distribución espacial de los movimientos de ladera ocurridos en el pasado con la distribución espacial de los principales factores que condicionan el desarrollo de estos procesos. De esta forma, se supone implícitamente que el funcionamiento de los procesos en el futuro será semejante a la del pasado (Cendrero, 2003). Existen varios métodos para analizar este tipo de correlaciones. El más simple consiste en superponer mapas de factores que condicionan la inestabilidad de movimientos de ladera al mapa inventario de movimientos de ladera (Brabb et al., 1972; Nilsen et al., 1979; Irigaray et al., 1996). Otras aproximaciones más sofisticadas de superposición incorporan procedimientos de ponderación de los factores de inestabilidad (Yin y Yan, 1988; Bonham-Carter et al., 1990; Chung y Fabbri, 1993; Chung y Leclerc, 1994).

Estos procedimientos han sido ya aplicados en análisis de susceptibilidad a deslizamientos someros, demostrando que tienen la capacidad de predecir con un grado de fiabilidad aceptable roturas en laderas utilizando tanto datos categóricos (Jones et al., 1961; Kawakami y Saito et al., 1984; Yin y Yan, 1988; Mora y Vahson, 1994) como parámetros cuantitativos del terreno (Carrara, 1983a, b; Mulder, 1991).

Por lo tanto, los objetivos del análisis de susceptibilidad son:

1. Identificar los factores medioambientales relacionados con la formación de deslizamientos y evaluar su contribución relativa a la inestabilidad de las laderas. Es decir, determinar y ponderar los factores desencadenantes y condicionantes de deslizamientos.

2. Generar un mapa que muestre la distribución espacial de las distintas clases de susceptibilidad a los deslizamientos. Este mapa representa una zonación que refleja el grado de propensión o tendencia de cada zona a experimentar deslizamientos. Estos mapas de susceptibilidad son una herramienta de gran utilidad para identificar las áreas que pueden deslizarse en el futuro, sirviendo de base para la toma de decisiones concretas sobre la aplicación de medidas de mitigación, ya sean de carácter preventivo o correctivo. Su fiabilidad depende principalmente de la cantidad, calidad y representatividad de la información utilizada, de la metodología aplicada para su evaluación y de la escala de trabajo (Van Westen, 1994). A estos aspectos deberíamos añadir el grado de uniformidad del proceso (validez del "actualismo inverso") (Cendrero, 2003) y el conocimiento que posea el investigador sobre el fenómeno y la zona de estudio.

Es conveniente aclarar en este punto qué es un mapa de susceptibilidad y en qué se diferencia de otros mapas relacionados como los mapas inventario, amenaza, los de severidad, peligrosidad y riesgo.

*Mapa inventario:* Este documento refleja la distribución espacial de los diferentes tipos de procesos actuales y antiguos o de las áreas afectadas, incluyendo la descripción y tipología de los mismos.

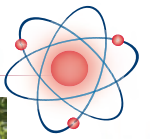
*Mapa de susceptibilidad:* Representa la distribución espacial de los procesos potenciales o de las zonas que quedarán afectadas. Estos mapas pueden considerarse en cierto modo como mapas de "predicción espacial", ya que muestran la localización de las posibles inestabilidades. Para su realización deben ser conocidos los factores condicionantes. Compartimentan el territorio en zonas en función de su propensión a verse afectadas por un determinado proceso en el futuro expresando la susceptibilidad de forma cualitativa en términos de probabilidad relativa.

*Mapa de amenaza:* Muestra la probabilidad de ocurrencia de tales fenómenos, de una magnitud esperada, en un lugar y tiempo definidos. Ésta se analiza en relación a la susceptibilidad y los factores detonantes (lluvias y sismos). En el cerro Susanga no disponemos de buena información sobre los factores detonantes, éstos toman un valor constante en toda la zona de estudio, por lo que resulta imposible realizar el mapa de amenaza.

*Mapa de severidad o intensidad:* Hace referencia a las características del proceso que determinan su capacidad para generar daños (masa, velocidad, volumen).

*Mapa de peligrosidad:* Representa la distribución espacial y temporal de los procesos potenciales y zonas afectadas. Para ello deben ser conocidos los factores condicionantes y desencadenantes, así como los periodos de retorno de estos últimos. Divide el territorio en zonas en función de la probabilidad en términos cuantitativos de que serán afectadas por un proceso en el futuro. Pueden además incluir aspectos relativos a la severidad del proceso.

*Mapa de riesgos:* Distribución espacial de los daños esperables en un futuro por la actuación de un proceso peligroso expresado en valor monetario/año o número de víctimas/año.



**XXIV. EL ÁREA DE ESTUDIO**

El cerro Susanga se localiza en la provincia de Bolívar, en el cantón Chimbo, inmediatamente al este de la población San José de Chimbo (Fig. 1). Su cima, a 2.905 m, se encuentra en las coordenadas UTM 720.331, 9.814.893.

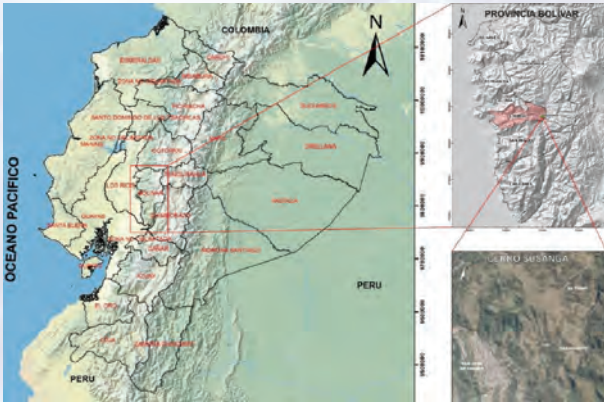


Figura 1.- Localización de la zona de estudio.

San José de Chimbo con sus 15.000 habitantes es la principal población de la zona, está situada en el flanco suroeste del cerro y ha experimentado varios desastres geológicos lo largo de su historia. En el documento Historia, Cuento y Leyenda de la Ciudad de Benalcázar (1535-1965), se describen las hecatombes que sepultaron a San José de Chimbo, tras dos movimientos sísmicos, uno del 29 de agosto de 1674 y otro del año de 1775. La primera sepultó a la floreciente ciudad colonial de San José de Chimbo y la segunda ocasionó el deslizamiento de una parte importante del cerro Susanga.

En este trabajo se han identificado numerosos deslizamientos (Figs. 2 - 13) de diferentes dimensiones y en distintos sectores del cerro, tanto en la parte alta como en la parte baja. Las siguientes figuras ilustran algunos ejemplos de estos deslizamientos.



Figura 2.- Cicatrices de antiguos deslizamientos en la zona de divisoria.



Figura 3.- Deslizamiento-flujo en zona arbolada.



Figura 4.- Deslizamiento-flujo en ladera abierta.



Figura 5.- Cicatriz de deslizamiento junto a vía Panamericana.

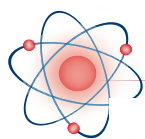


Figura 6.- Deslizamiento-flujo y vivienda ubicada en la parte alta del mismo.



Figura 7.- Árboles inclinados y troncos curvos por deslizamiento rotacional.



Figura 8.- Cicatrices de deslizamiento junto a incisión fluvial.



Figura 9.- Cicatrices de deslizamiento junto a sendero.



Figura 10.- Deslizamiento del flanco sur del cerro Susanga.



Figura 11.- Cicatrices de deslizamiento en ladera no cultivada.



Figura 12.- Cicatrices de deslizamiento en ladera no cultivada.

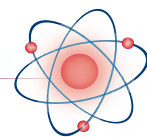


Figura 13.- Cicatric de deslizamiento junto a vía Panamericana.

**XXV. OBJETIVOS**

Debido a los frecuentes deslizamientos observados en el cerro Susanga, se hace necesario:

- 1) En primer lugar, analizar los procesos geológicos que actuaron y actúan en la zona del cerro Susanga, y que podrían generar en el futuro nuevos desastres. Este objetivo implica la elaboración de un mapa geomorfológico.
- 2) En segundo lugar, estudiar los factores medioambientales que intervienen en la ocurrencia de deslizamientos y crear un mapa de susceptibilidad que represente las zonas que podrían verse afectadas por estos fenómenos en el futuro.
- 3) En tercer lugar, realizar un diagnóstico de los elementos antrópicos expuestos en el área de estudio, a fin de determinar su grado de vulnerabilidad ante posibles deslizamientos.
- 4) Y por último, proponer estrategias de prevención, corrección, mitigación de dichos fenómenos para reducir los niveles de amenaza y riesgo y salvaguardar vidas e inversiones existentes en el cerro Susanga.

**XXVI. MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se ha llevado a cabo en las siguientes fases:

**Levantamiento topográfico**

Inicialmente se ha realizado un levantamiento topográfico del cerro mediante estación total Topcon serie GTO-3100-W y GPS de precisión o diferencial MAGELLAN ProMark 3 RTK (Fig. 14) y mediante OziExplorer, Global Mapper y ArcGIS.



Figura 14.- Levantamiento topográfico con GPS diferencial y estación total.

**Ortofoto**

En segundo lugar se ha capturado y georreferenciado la ortofoto de Google Earth mediante dicho programa y ArcGIS.

**Geología**

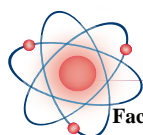
En tercer lugar se ha recopilado toda la información disponible sobre la geología de la zona de estudio: bibliografía, mapas ráster y vectoriales.

**Geomorfología**

En cuarto lugar se ha creado un mapa geomorfológico a escala 1:10.000 del cerro, prestando especial atención a la localización de las cicatrices de deslizamientos y de las masas deslizadas. La cartografía se realizó mediante la fotointerpretación de las imágenes aéreas de Google Earth y la observación directa en campo. Posteriormente se digitalizó usando ArcGIS 9.3 sobre la base georreferenciada del mapa topográfico y la ortofoto de Google Earth.

**Usos del suelo**

En quinto lugar se ha elaborado un mapa de usos del suelo a partir de la fotointerpretación de imágenes aéreas de Google Earth. Dicho mapa se digitalizó usando ArcGIS 9.3 sobre la base georreferenciada del mapa topográfico y la ortofoto de Google Earth.



**Factores desencadenantes**

En sexto lugar se ha recopilado toda la información disponible (bibliográfica y mapas) sobre los factores detonantes: Sismicidad y precipitación.

**Análisis de susceptibilidad**

En séptimo lugar se ha llevado a cabo el análisis de la susceptibilidad a los deslizamientos mediante técnicas de tratamiento de datos en ArcGIS, concretamente la metodología del CLIRSEN, SENPLADES, MAGAP, INIGEMM adaptada a la zona de estudio. Como factores condicionantes o de susceptibilidad se han considerado la topografía (pendiente), la litología, la geomorfología y el uso del suelo. Como ya se ha explicado anteriormente, la sismicidad y la intensidad de lluvias (factores detonantes) son constantes en la zona de estudio. Por lo tanto, se considera que el nivel de amenaza (producto de la susceptibilidad y de la acción de los elementos de disparo) coincide con el nivel de susceptibilidad. Es decir, el mapa de amenaza y el de susceptibilidad serían exactamente iguales.

En las siguientes ecuaciones se explica el proceso llevado a cabo.

$$H1 = Susc * Disp \quad (Ec. 1)$$

Donde las variables son:

H1: Grado o Nivel de amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa (FRM).

Susc: valor de los factores de susceptibilidad

Disp: valor de los factores de disparo

Por su parte, el valor de susceptibilidad se compone de los siguientes parámetros:

$$Susc = Sp + Sl + Sg + Ss \quad (Ec. 2)$$

Donde las variables son:

Sp: valor del parámetro topográfico (pendiente).

Sl: valor del parámetro litología.

Sg: valor del parámetro geomorfología.

Ss: valor del parámetro uso del suelo.

El valor de los factores de disparo se compone de los siguientes parámetros:

$$Disp = Ts + Tp \quad (Ec. 3)$$

Donde las variables son:

Ts: valor del parámetro de disparo sísmológico

Tp: valor del parámetro de disparo por lluvia

La ecuación (1) se puede entonces expresar en los términos:

$$H1 = (Sp + Sl + Sg + Ss) * (Ts + Tp) \quad (Ec. 4)$$

A cada uno de estos factores o parámetros se les ha asignado unos pesos que van de 1 a 3 en función de si su relación con la ocurrencia de deslizamientos es baja, media o alta:

- Factor topográfico: Para el estudio de este factor se toma en consideración la pendiente, que se ha obtenido mediante las herramientas *Spatial Analyst* de ArcGIS.

Rango	Factor	Susceptibilidad
0 -25	1	Bajo
> 25 – 40	2	Medio
> 70 – 100	3	Alto

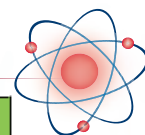
Figura 15.- Cuadro de codificación de la variable pendiente, en %.

- Factor litológico: Los factores litológicos son los relacionados con el tipo de rocas de un lugar concreto, la resistencia que ofrecen a los agentes geológicos las distintas rocas es diferente. De este modo, existen unas morfologías asociadas a determinados materiales. Por ejemplo la alteración y erosión de las rocas intrusivas, los procesos de meteorización, suelos licuefactables, poco compactos. Es un factor importante para la evaluación de los deslizamientos.

Formaciones Geológicas	Susceptibilidad	Factor
Gd.- Intrusivo granodiorítico	Baja	1
Pg.- Tobas andesíticas, afectadas por tectonismo	Media	2
PC EM.-Lava indiferenciada, lava de almohadilla, brecha volcánicas gruesas andesita areniscas volcánica limotita	Media	2
PI-PL.-Dacita porfírica Brecha roca volcánica con fenocristales de cuarzo y plagioclasa de cuarzo de plagioclasa. Afectada por procesos hidrotermal	Alta	3

Figura 16.- Cuadro de codificación de la variable litología.

- Factor geomorfología: Se considera los afloramientos de agua con un valor alto debido a la asociación que existe entre los humedales, reptaciones, fallas de la zona de estudio.



Contenido	Factor	Susceptibilidad
Cicatrices	1	Bajo
Humedales	2	Medio
Zona de erosión hídrica	2	Medio
Zona desnudada de antiguo deslizamiento	2	Medio
Deposito del antiguo deslizamiento	2	Medio
Reptaciones	3	Alto
Fallas y fracturas	3	Alto
Grietas	3	Alto
Afloramiento de agua	3	Alto

Figura 17.- Cuadro de codificación de la variable geomorfología.

- Factor uso del suelo: El deterioro del suelo es la consecuencia directa de la utilización del suelo por el hombre. Bien como resultado de actuaciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte.

Categoría	Calificativo	Factor
Vegetación Arbustiva	Baja	1
Parcelas con Pasto	Media	2
Parcelas Cultivadas	Alta	3
Zonas Sin Uso afectadas por erosión hídrica, eólica y procesos antrópicos	Alta	3

Figura 18.- Cuadro de codificación de la variable usos del suelo.

- Factor sismicidad: La intensidad sísmica en la zona del cerro Susanga toma valores comprendidos entre 7,5 y 9 según la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) (Singaicho, 2009).

Intensidad EMS	Factor	Susceptibilidad
VII – VIII	3	Alta
IX	3	Alta

Figura 19.- Cuadro de codificación de la variable sismicidad.

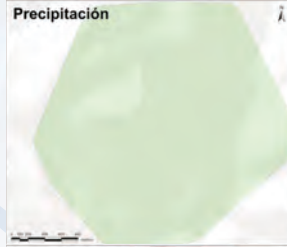
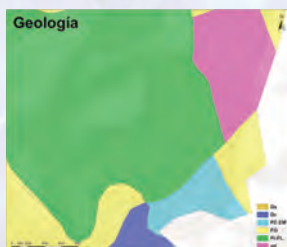
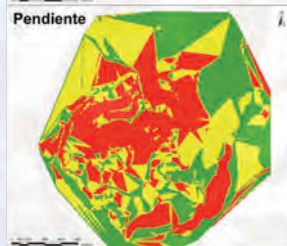
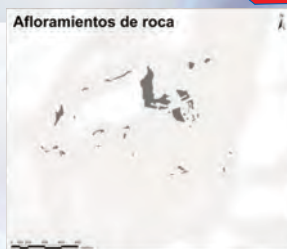
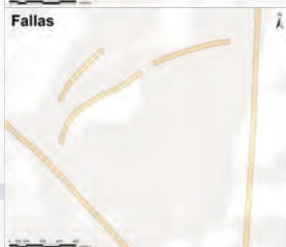
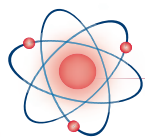
- Factor precipitación: Las lluvias intensas aceleran o provocan que la resistencia del suelo se reduzca pudiendo originar deslizamientos en taludes o laderas inestables. De acuerdo a datos obtenidos de la Estación Meteorológica del Instituto Tres de Marzo de San José de Chimbo y al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), el promedio anual de precipitaciones en este sector es de 763,77 mm.

Precipitaciones	Factor	Susceptibilidad
750 m	2	Medio

Figura 20.- Cuadro de codificación de la variable precipitación.

A continuación se superpone toda la información considerada con la ayuda del álgebra de mapas de ArcGIS. El mapa resultante está compuesto por una serie de polígonos que contienen información sobre la suma de los pesos de las diferentes capas de información considerada (Fig. 21). Dicha suma representa el valor de susceptibilidad al deslizamiento.







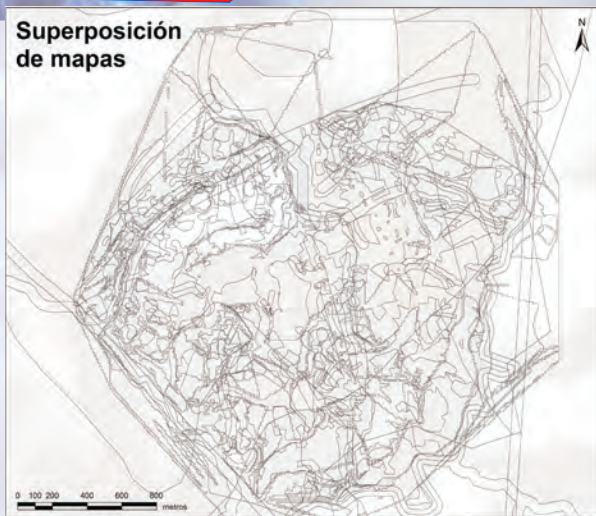
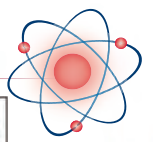


Figura 21.- Superposición de capas y álgebra de mapas.

Conviene aclarar una vez más que la sismicidad y la intensidad de lluvias (factores de disparo) son constantes en la zona de estudio. Por lo tanto, se considera que el nivel de amenaza (producto de la susceptibilidad y de la acción de los elementos de disparo) en este caso, coincide con el nivel de susceptibilidad. Es decir, el mapa de amenaza y el de susceptibilidad serían exactamente iguales.

#### Análisis de vulnerabilidad

Este análisis se ha efectuado superponiendo al mapa de susceptibilidad a deslizamientos los elementos antrópicos expuestos, los cuales han sido estudiados previamente mediante encuestas a organismos institucionales, población y consulta bibliográfica.

#### Propuesta de medidas de mitigación y remediación

Se ha consultado referencias bibliográficas especializadas en geotecnia e ingeniería civil para proponer las medidas de mitigación y remediación más comunes con un coste medio-bajo, que reduzcan los niveles de amenaza y riesgo frente a deslizamientos en el cerro Susanga.

## XXVII. RESULTADOS

### Levantamiento topográfico

Se ha obtenido un mapa topográfico (Fig. 22) en coordenadas UTM con curvas de nivel cada 5 metros. Este mapa, junto con la ortofoto de Google Earth ha servido para georreferenciar las cartografías realizadas en este trabajo (geomorfología y usos del suelo), para obtener el modelo digital de elevaciones y el mapa de pendientes, indispensable para el cálculo de susceptibilidad.



Figura 22.- Mapa topográfico del cerro Susanga.

### Ortofoto

Se ha obtenido un mosaico de cuatro ortofotos capturadas de Google Earth y georreferenciadas sobre el mapa topográfico (Fig. 23). Esta ortofoto, junto con el mapa topográfico, ha servido para cartografiar y georreferenciar los elementos de los mapas geomorfológico y de usos del suelo).



Figura 23.- Ortofoto del cerro Susanga.

### Geología

Desde el punto de vista geológico regional, el cerro Susanga se encuentra en la cordillera occidental de los Andes (Fig. 24), exactamente en la hoya de Chimbo.

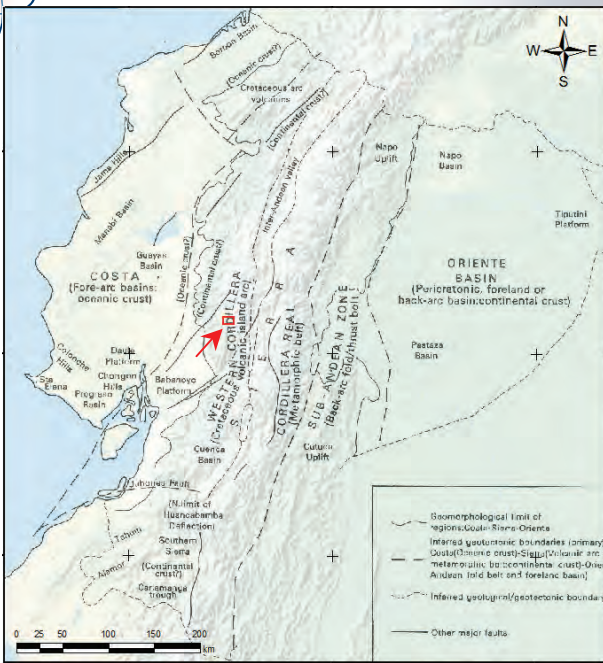
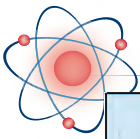


Figura 24.- Esquema geomorfológico y geológico de Ecuador, y localización de la zona de estudio (Modificada de Baldock, 1982).

Los materiales de la zona (Fig. 25) consisten en:

- Depósitos coluviales (Dc): aparecen el sector sur del cerro, junto a San José de Chimbo. Son depósitos cuaternarios y corresponden a derrumbios de ladera, masas deslizadas y flujos (Fig. 26).

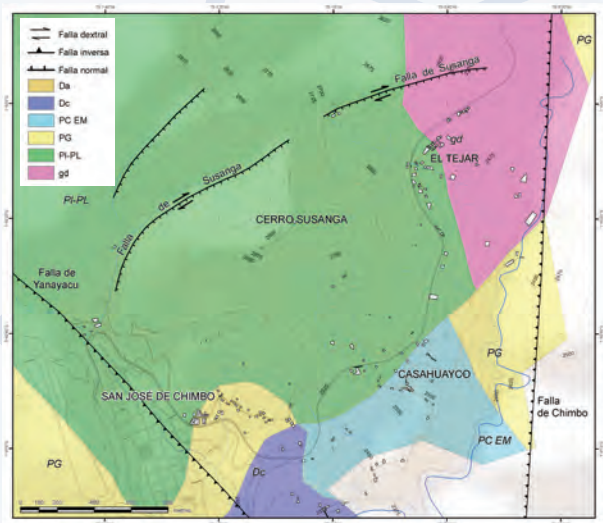


Figura 25.- Mapa geológico del cerro Susanga (Fuente: IGM).



Figura 26.- Imagen de depósito coluvial.

- Formación U. Macuchi (PC-EM): Lava indiferenciada, lava de almohadilla, brecha volcanoclásticas gruesas, andesita, areniscas, limonitas. Son de edad Paleoceno – Eoceno y presentan, en general, una permeabilidad muy baja.

- Formación Volcánicos Guaranda (PG): Tobas andesíticas, de edad cuaternaria con una permeabilidad de baja a media, a veces tectonizadas y fácilmente deleznable.



Figura 27.- Imagen de toba andesítica tectonizada y deleznable.

- Formación volcánicos Lourdes (PI-PL): Dacitas porfídicas de edad Terciaria con fenocristales de cuarzo y plagioclasa. Son de color blanco y debido a la alteración hidrotermal y meteorización aparecen frecuentemente alteradas a caolín de color rojizo (Fig. 28). Afloran en la parte superior del cerro y su permeabilidad es muy baja.



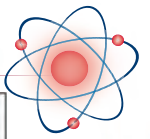


Figura 28.- Imágenes de afloramientos de roca dacítica de la Formación Lourdes, arriba fresca y abajo meteorizada.

- Intrusiones granodioríticas (gd): Al sur, cerca del río Chimbo, aparecen cuerpos intrusivos de tipo granodiorítico (Fig. 29).



Figura 29.- Imagen del afloramiento de granodiorita y detalle de este tipo de roca.

### Geomorfología

El cerro Susanga se encuentra en el extremo meridional de una pequeña sierra alomada, de dirección noroeste-sureste. Con sus 2.905 m constituye la mayor elevación de dicha sierra, debido probablemente a las intrusiones volcánicas dacíticas (Formación Lourdes) y a la convergencia de la falla inversa del río Chimbo de dirección norte-sur con la falla inversa de Yanayacu de dirección noroeste-sureste (Fig. 30).

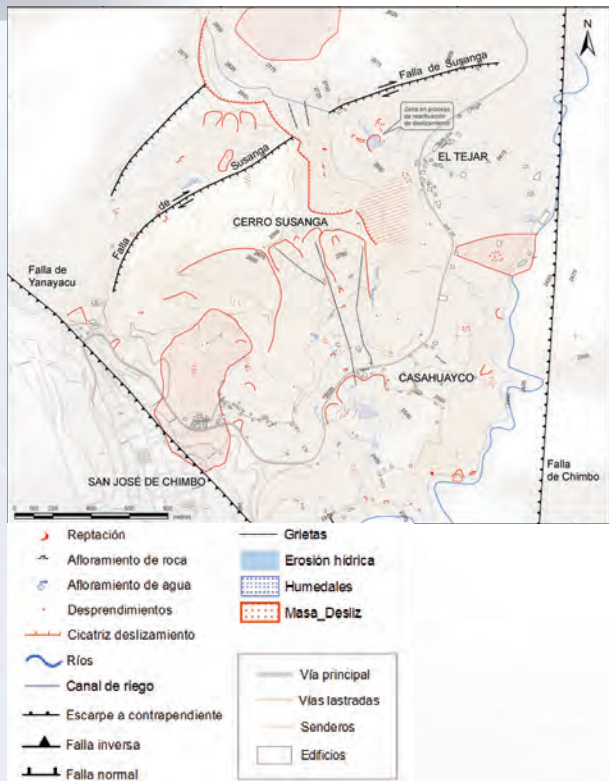


Figura 30.- Mapa geomorfológico del cerro Susanga.

Además, existen otras dos fallas, normales, de dirección noreste-suroeste que desgajan el cerro provocando su hundimiento y desplazamiento hacia el sureste, donde no tiene apoyo lateral. El flanco este del cerro está afectado por grandes deslizamientos que arrancan desde la divisoria y dan lugar a laderas de morfología cóncava en la mitad superior y abombamientos en la mitad inferior. Las figuras 31 y 32 ilustran dichas morfologías representadas en tres dimensiones y en varios perfiles longitudinales del cerro.

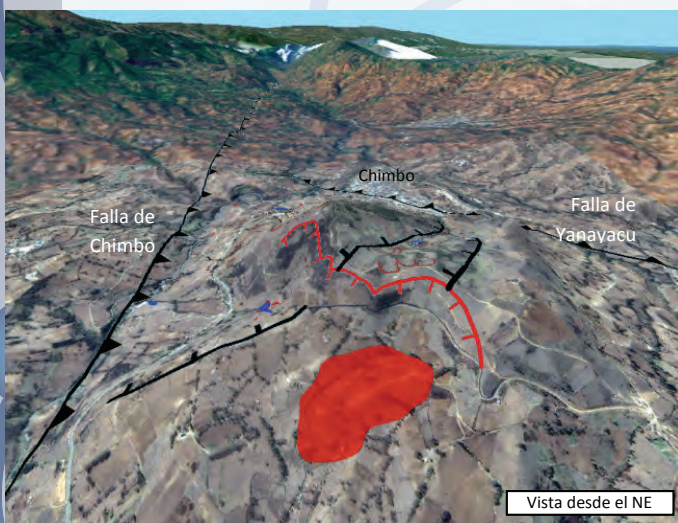
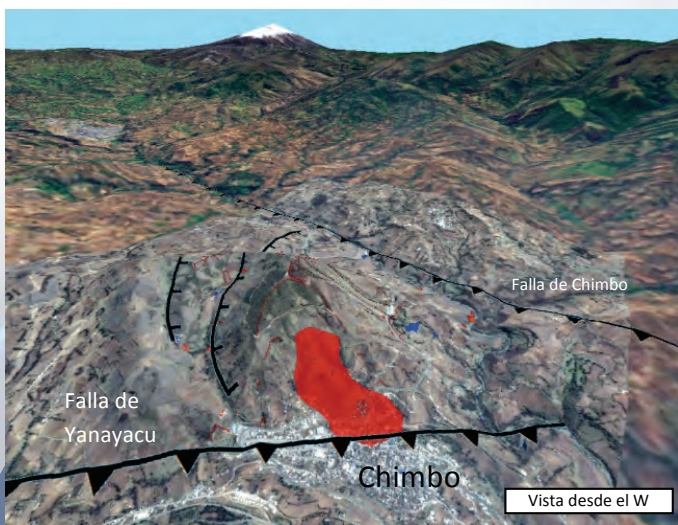
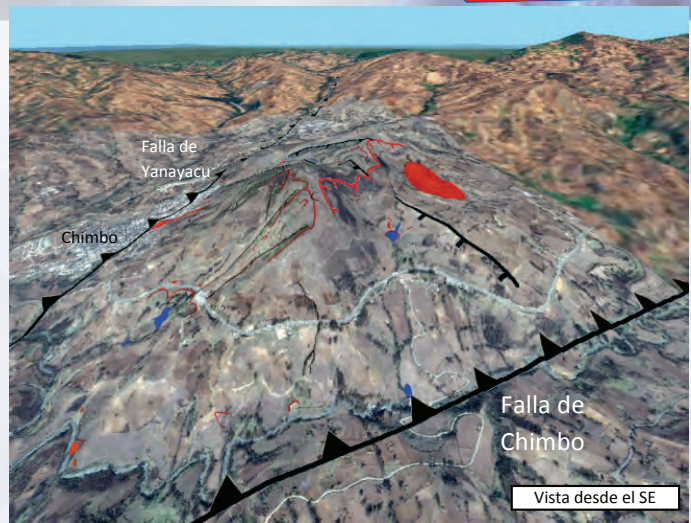
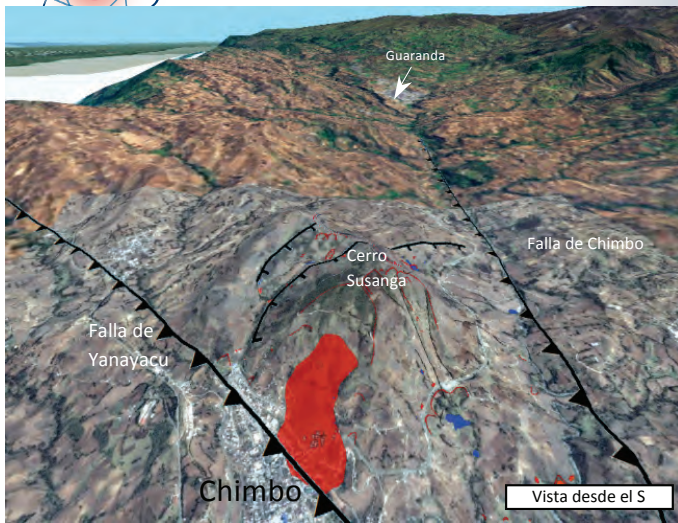
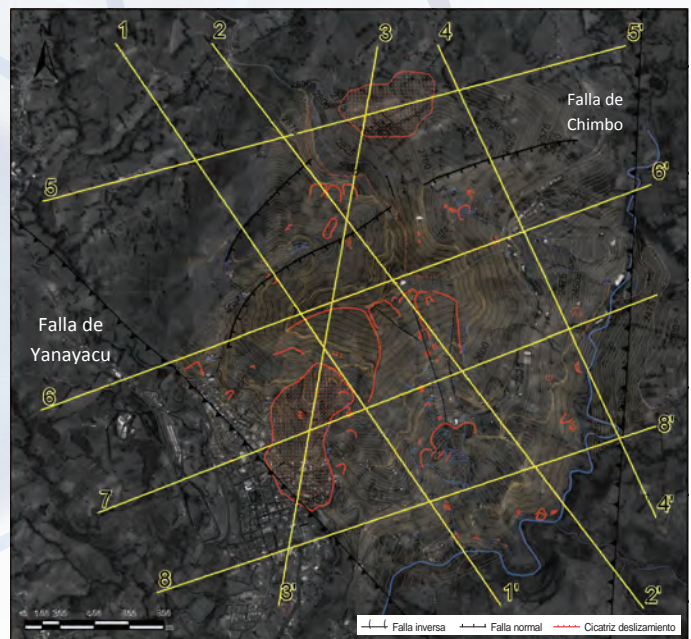


Figura 31.- Distintas perspectivas aéreas de la geomorfología del cerro Susanga.

La red hidrográfica se adapta a las fallas y fracturas que afectan al cerro, formando un sistema de drenaje aproximadamente radial (Fig. 30). El agua fluye por las diferentes quebradas durante todo el año aunque con diferente caudal en invierno y verano. Los arroyos del sector Oeste del cerro vierten sus aguas al río Yanayacu, mientras que los arroyos del sector Sur y Este desembocan en el río Chimbo. También se han cartografiado numerosos afloramientos de agua en todas las laderas y en todas las orientaciones. La mayoría de ellos presentan un funcionamiento estacional, quedando prácticamente secos en los meses de verano.



Falla inversa  
 Falla normal  
 Cicatriz deslizamiento

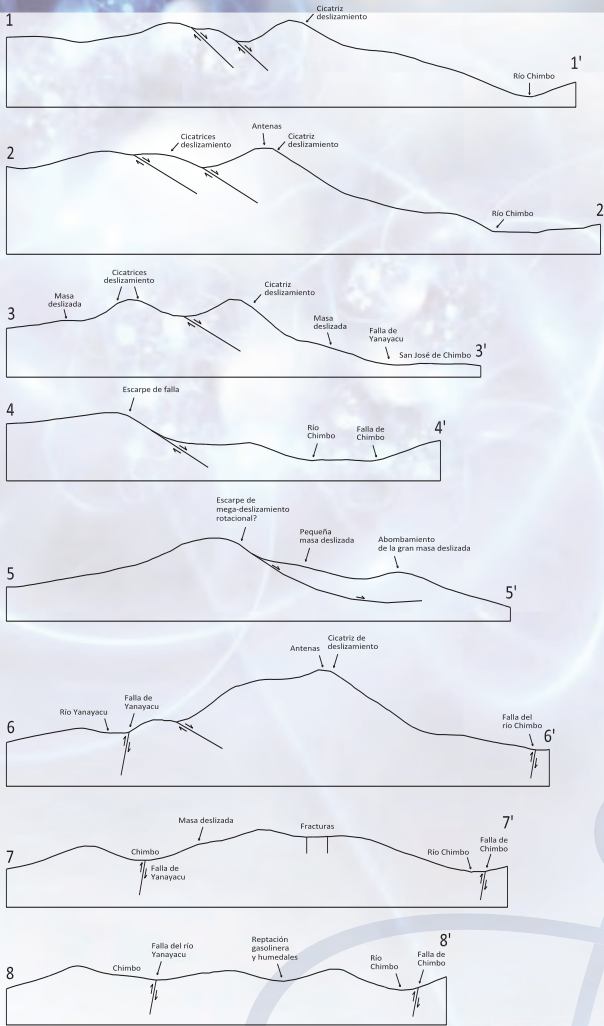
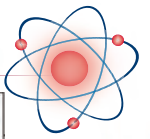


Figura 32- Perfiles longitudinales del cerro Susana.

**Uso del suelo**

Se ha elaborado para este proyecto un mapa de usos del suelo del cerro de Susana (Fig. 33). Se han identificado cuatro usos diferentes: (i) las parcelas con pastos abarcan una extensión de 27,6 Ha, (ii) las parcelas cultivadas suman un área de 108,9 Ha, (iii) la vegetación arbustiva tiene una superficie de 42,3 Ha, y (iv) las zonas sin uso abarcan 258,6 Ha. El uso de suelo nos indica el fuerte grado de intervención antrópica que ha sufrido esta zona a lo largo de la historia.

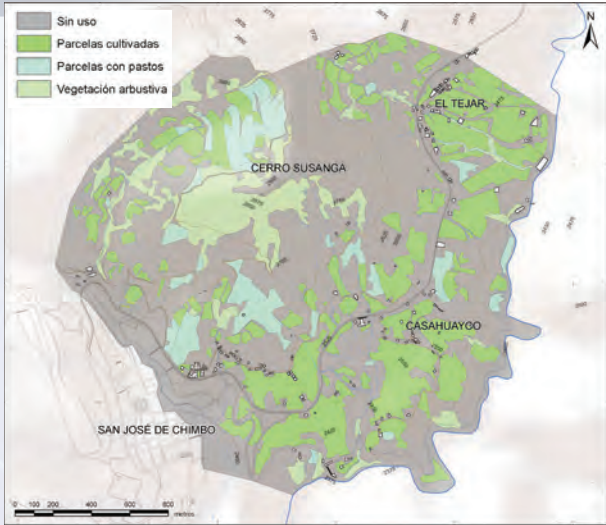


Figura 33.- Usos del suelo en el cerro Susana.

**Sismicidad**

La intensidad sísmica en la zona del cerro Susana toma valores comprendidos entre 7,5 y 9 según la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) (Singaicho, 2009). Dichos sismos están asociados a la actividad tectónica de las fallas cercanas a la zona de estudio (Puna-Pallatanga-Riobamba, Milagro-Guaranda y Chimbo) (Fig. 34). Según el Instituto Geofísico, el sistema de fallas dextrales que atraviesa el país de suroeste a noreste, desde el golfo de Guayaquil hasta el nororiente, es la fuente de frecuentes terremotos de intensidad variable, y ha originado la mayoría de los grandes terremotos que han azotado principalmente a la región Interandina.

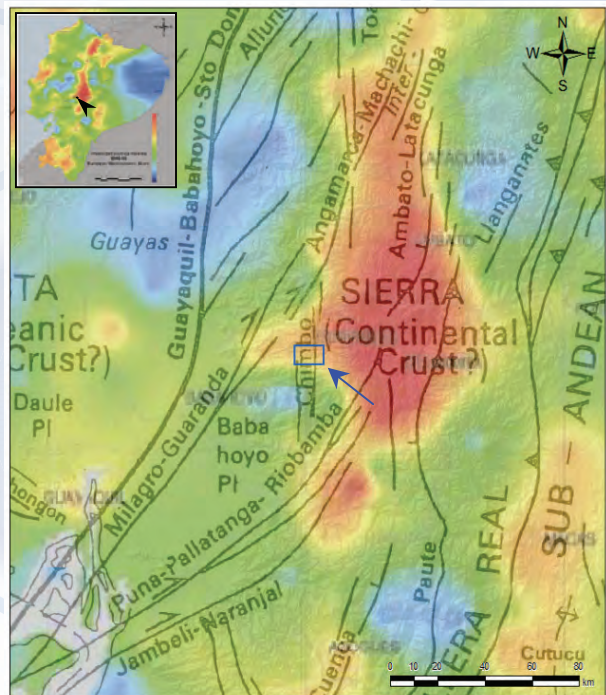
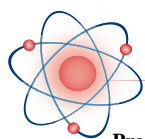


Figura 34.- Superposición de las fallas regionales (Baldock, 1982) al mapa de intensidad sísmica de Ecuador (Singaicho, 2009).



### Precipitaciones

De acuerdo a datos obtenidos de la Estación Meteorológica del Instituto Tres de Marzo de San José de Chimbo y al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (Fig. 35), el promedio anual de precipitaciones en este sector es de 763,77 mm, con una temperatura máxima de 19,79 °C y temperatura mínima de 9,31 °C.

Según el INAMHI, el cerro Susanga presenta un clima ecuatorial con un régimen térmico templado-frío, subhúmedo, con gran déficit hídrico en época seca. En las laderas orientales del cerro y hacia la margen izquierda del río Chimbo la variación estacional de la humedad es nula o pequeña.

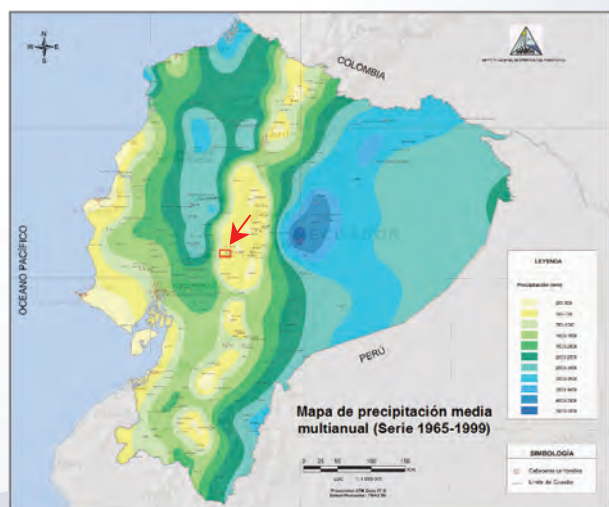


Figura 35.- Mapa de precipitación media de Ecuador y zona de estudio. Modificadas de INAMHI ([www.inamhi.gob.ec](http://www.inamhi.gob.ec)).

### Análisis de susceptibilidad

Mediante la superposición y álgebra de mapas se ha obtenido en cada polígono la suma de los pesos asignados a cada variable. Los resultados de dicha suma se han agrupado en 3 clases y se ha asignado un color a cada una de ellas mediante ArcGIS generando así un mapa de susceptibilidad a los deslizamientos. Los diferentes colores del mapa pretenden hacer que la visualización de los valores de susceptibilidad de futuros deslizamientos sea más sencilla.

Una manera cualitativa de contrastar o validar el mapa consiste en comparar lo pronosticado por el mapa con lo observado en la realidad. Para ello se ha superpuesto a dicho mapa la ubicación de cicatrices de deslizamiento, humedales, afloramientos de agua, y las reptaciones, así se puede apreciar visualmente el ajuste del mapa de susceptibilidad a la realidad.

Las grandes y antiguas cicatrices de deslizamiento situadas en la parte alta del cerro se encuentran en zonas de susceptibilidad media. Esto se debe a que en estas zonas dichas cicatrices de deslizamientos han dejado expuesta a la roca madre en numerosos afloramientos y han originado pendientes muy elevadas donde resulta difícil el desarrollo de suelos que posteriormente puedan deslizarse, en todo caso en dichas zonas podrían originarse otro tipo de movimiento en masa como los desprendimientos de rocas.

- En el flanco Este el mapa de susceptibilidad (Fig. 36) pronostica diversas zonas con alta susceptibilidad en la parte superior de la ladera por arriba de la vía Panamericana, especialmente al oeste de El Tejar donde se concentra la mayor parte de los deslizamientos, humedales y reptaciones identificadas en el flanco Este del cerro Susanga. En la parte inferior de la Ladera por debajo de la vía Panamericana dominan los niveles bajos de susceptibilidad debido fundamentalmente a la menor pendiente del terreno y a la litología dominante en este sector (gd: Intrusivo ácido o intermedio diferenciado, cuarzo diorita, cuarzo diorita porfídica, tonolita, granodiorita con peso 1).

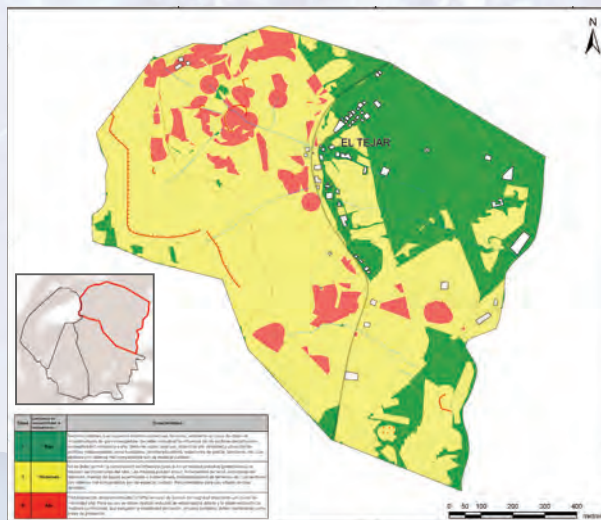


Figura 36.- Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos. Flanco Este.

- En el flanco Sureste el mapa de susceptibilidad (Fig. 37) pronostica que las zonas de alta susceptibilidad se localizan en la parte central e inferior de la ladera. En el cuadro siguiente (Fig. 38) se caracteriza dicho mapa.

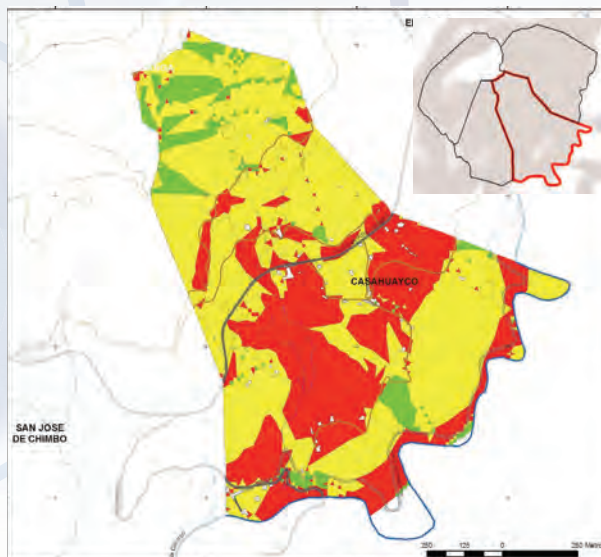
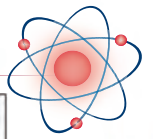


Figura 37.- Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos. Flanco Sureste.



NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	AREA Ha	% AREA	CARACTERIZACION
BAJA	8,53	7,19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En la parte superior de ladera, se puede apreciar presencia de antiguas cicatrices de deslizamiento y manchas de vegetación arbustiva, a pesar de una pendiente media a alta y el material litológico presente como, tobas dacíticas</li> <li>- En la parte superior de ladera, se puede apreciar presencia de antiguas cicatrices de deslizamiento y manchas de vegetación arbustiva, a pesar de una pendiente media a alta y el material litológico presente como, tobas dacíticas.</li> </ul>
MEDIA	73,66	62,09	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La parte media de la ladera se observa la fuerte intervención antrópica mediante el uso de suelo para cultivos con sistema de riego que favorecen la infiltración y pequeños deslizamientos en los terrenos cultivados, problemas de reptación, erosión hídrica y pequeños desprendimientos de roca.</li> </ul>
ALTA	36,44	30,71	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hacia la parte baja, por la reptación, infiltración, acumulación de agua en pequeñas hondonadas forman humedales, además se puede apreciar cicatrices de deslizamientos antiguos, en la actualidad la presencia de grietas con movimientos de tracción, es posible que la construcción de la vía principal haya obstruido el drenaje natural y favorecido a los movimientos de reptación y deformaciones que se observan en las cunetas de la vía.</li> <li>- En la cercanía del cauce del río Chimbo, el trazado y construcción del canal de agua de la hidroeléctrica Chimbo el cual carece de mantenimiento, la infiltración a través de las grietas del canal ha ocasionado a lo largo de su trayectoria, deslizamientos activos, caídas de roca, asentamientos, que también esta relacionados por la presencia de la falla del río Chimbo que cruza esta zona</li> </ul>
	<b>118,63</b>	<b>100</b>	

Figura 38.- Caracterización del mapa de susceptibilidad del flanco Sureste.

- En el *flanco Sur* (Fig. 39), de las tres cicatrices menores identificadas en la zona, una se encuentra en zona de alta susceptibilidad (rojo), y las otras dos en zonas de susceptibilidad media (amarillo). Lo mismo sucede con las reptaciones, hay tres zonas de reptación, una coincide con zonas de alta susceptibilidad (rojo) y las otras dos con zonas de susceptibilidad media (amarillo), pero muy próximas a zonas rojas. Por lo tanto, podemos concluir que el mapa de susceptibilidad creado en este estudio, mediante la asignación de pesos a cada variable considerada, la posterior superposición de dichas variables o mapas y finalmente el álgebra de mapas, pronostica de manera satisfactoria las laderas que muestran mayor propensión a experimentar roturas y generar deslizamientos.

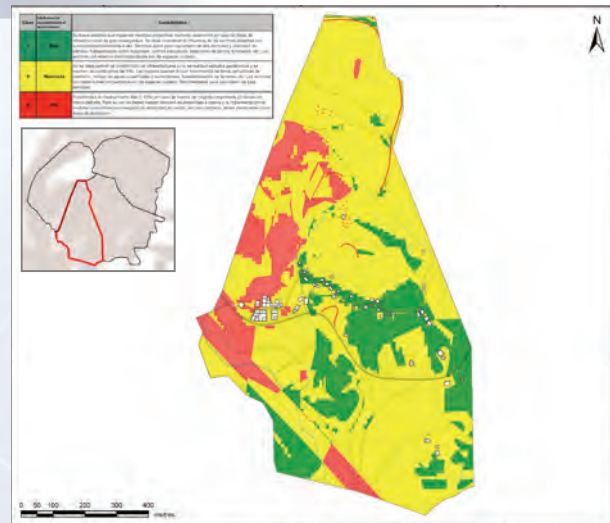


Figura 39.- Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos. Flanco Sur.

El mapa pronostica alta susceptibilidad especialmente en el terreno ocupado por la gran masa deslizada y en las proximidades de la falla de Yanayacu. Por el contrario, los sectores más estables corresponden a las zonas de menor pendiente, a la formación geológica “volcánicos Guaranda” (PG) y a la formación “Macuchi” (PC EM).

- En el *flanco Suroeste* (Fig. 40) la mayor parte de las cicatrices de deslizamiento se localizan en las partes superior, media e inferior del flanco y coinciden con zonas de susceptibilidad alta (rojo). El resto de cicatrices se encuentran en zonas de susceptibilidad media (amarillo). Sin embargo, cabe destacar que éstas se localizan muy próximas a zonas de alta susceptibilidad (rojo). Del mismo modo, las reptaciones identificadas en la parte alta de la zona de estudio también coinciden con zonas de alta susceptibilidad (rojo). Por lo tanto, podemos concluir que el mapa de susceptibilidad creado en este estudio, mediante la asignación de pesos a cada variable considerada, la posterior superposición de dichas variables o mapas y finalmente el álgebra de mapas, pronostica de manera satisfactoria las laderas que muestran mayor propensión a experimentar roturas y generar deslizamientos en el flanco Suroeste.

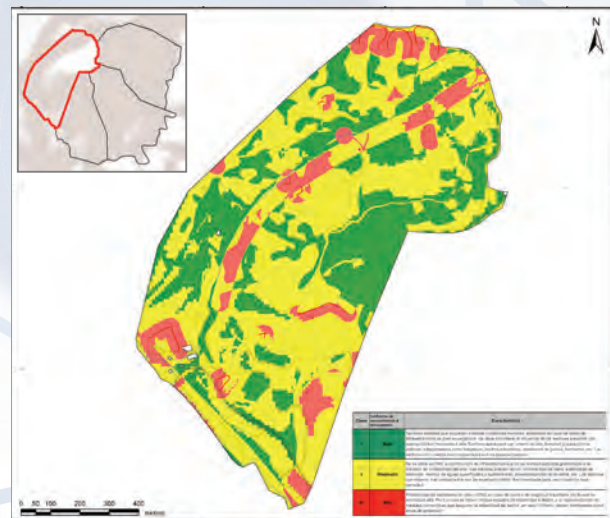




Figura 40.- Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos. Flanco Suroeste.

A diferencia del flanco Este del cerro Susanga, en este flanco Suroeste no se aprecia un claro patrón en cuanto a la distribución de las zonas de alta, media y baja susceptibilidad. Las “manchas” de colores están distribuidas de manera bastante aleatoria, probablemente debido a la nula influencia de la geología (PI-PL en toda la zona) y al fuerte control que ejercen otras variables como la pendiente, el uso del suelo, los afloramientos de roca, y la proximidad a fallas.

**Análisis de la vulnerabilidad**

Según la encuesta realizada a organismos públicos y población (Fig. 41) de la zona de estudio, existe un desconocimiento total sobre gestión del riesgo, no existe comité barrial, comité de emergencia, no han recibido capacitación alguna sobre estrategias de prevención frente a eventos adversos. Además, no existe ningún tipo de ordenamiento urbano ni rural en el cantón.



Figura 41.- Encuesta a la población.

- En el *flanco Este* la principal población es El Tejar con 158 habitantes y 54 familias, según el Centro de Salud de San José de Chimbo. El número de viviendas es aproximadamente el mismo que el de familias. Las viviendas son antiguas lo cual hace aumentar su vulnerabilidad. El 76 % de los edificios se encuentra en zonas de baja susceptibilidad, el 20 % en zonas de media y el 4 % en zonas de alta susceptibilidad a los deslizamientos. Los tres edificios expuestos a un mayor riesgo se encuentran en una fuerte pendiente, inmediatamente por debajo del escarpe de la falla normal-dextral de Susanga. La vía Panamericana discurre por zonas de susceptibilidad media excepto en su extremo norte, que lo hace por zonas de baja susceptibilidad. El canal de riego desciende desde la divisoria del cerro por zonas de susceptibilidad alta a media, atraviesa la población El Tejar y continúa ladera abajo por zonas de baja susceptibilidad hasta desembocar en el río Chimbo junto a la central hidroeléctrica.

En el siguiente cuadro (Fig. 42) y fotografía (Fig. 43) se muestran los elementos expuestos y su grado de vulnerabilidad según su posición en el mapa de susceptibilidad.

INFRAESTRUCTURA	SUSCEPTIBILIDAD
Vía Panamericana	Medio
Vía El Tejar - San Lorenzo	Medio
Estación Hidroeléctrica Chimbo	Medio
Iglesia Jesus del Gran Poder	Alto
Escuela Victor Villamarin	Alto

Figura 42.- Cuadro resumen del nivel de vulnerabilidad de las infraestructuras del flanco Este.



Figura 43. Imagen de los elementos expuestos de la zona de El Tejar.

- En el *flanco Sureste*, los elementos expuestos son (Fig. 44): La vía Panamericana; la estación de servicio del sindicato de chóferes de San José de Chimbo; la comunidad de Casahuayco; viviendas dispersas; el canal de agua de la hidroeléctrica Chimbo, ubicado en la parte baja de la ladera bordeando el río Chimbo, en el cual se han identificado deslizamientos (Fig. 45) y pequeños desprendimientos; planta hidroeléctrica de San José de Chimbo; así como zonas agrícolas y ganaderas.



Figura 44.- Elementos expuestos en el flanco sureste.



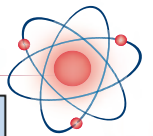


Figura 45.- Apuntalamiento del canal de agua para afianzar su posición.

- En el *flanco Sur* el mapa pone de manifiesto que la amenaza está presente en diversos sectores de la zona de estudio. El 60% de los edificios se encuentra en zonas de baja susceptibilidad, el 35% en zonas de media, y el 5 % en zonas de alta susceptibilidad a los deslizamientos. Estos últimos han sido construidos sobre la gran masa deslizada del Susanga. La vía Panamericana discurre principalmente por zonas de susceptibilidad media excepto en su extremo oeste donde la susceptibilidad es alta debido a la fuerte pendiente, y en el extremo este donde la susceptibilidad es baja debido a la formación geológica “Macuchi” (PC EM).

La reactivación del gran deslizamiento-flujo de este flanco provocaría cuantiosos daños en los elementos antrópicos situados sobre y al pie del deslizamiento (Fig. 46): vía panamericana y los barrios Crus Loma, El Guabo, Shamanga y San José.



Figura 46.- Vista Panorámica del Flanco Sur del Cerro Susanga con la masa deslizada y su cicatriz. Se puede apreciar la vía panamericana y los barrios Crus Loma, El Guabo, Shamanga y San José.

- En el *flanco Suroeste* el mapa pone de manifiesto que la amenaza está presente en numerosos sectores de la zona de estudio. Sin embargo, la vulnerabilidad es muy baja debido a que apenas existen infraestructuras ni edificios en la zona. La población de los barrios Cantera, San Francisco, Divino Niño y San José es de 155 habitantes. Se trata de asentamientos nuevos que no poseen servicios básicos aceptables ni los permisos correspondientes. La mayor parte de las construcciones son edificadas de forma casera sin ninguna supervisión técnica, es por tal motivo que la vulnerabilidad se acentúa.

INFRAESTRUCTURA	SUSCEPTIBILIDAD
Barrio San Francisco	Medio
Barrio Divino Niño	Medio
Barrio San José	Medio
Estación de Servicio de combustible	Alto
Asociación 23 de Abril	Alto
Sub Jefatura de transito	Alto

Figura 47.- Cuadro resumen del nivel de susceptibilidad de las infraestructuras del flanco suroeste.

El camino de tierra que asciende desde San José de Chimbo hasta la cumbre del cerro Susanga discurre por zonas de susceptibilidad baja a media.

El extremo inferior de la zona de estudio presenta algunos elementos expuestos correspondientes a la población de San José de Chimbo (edificios, embaulado) y vía Panamericana. Como puede apreciarse en la figura 48, el mapa predice dos zonas de mayor vulnerabilidad. El círculo 1 corresponde a un sector en el que los elementos expuestos son la vía Panamericana y a los edificios adyacentes. En 2010, un deslizamiento afectó a este sector produciendo daños moderados en dicha vía y edificios (Fig. 49). El círculo 2 indica una ladera de fuerte pendiente situada inmediatamente ladera abajo de la vía Panamericana. En dicha ladera existen unas escaleras de hormigón y un pequeño grupo de edificios. Hasta el momento no se tiene constancia de daños en este sector.

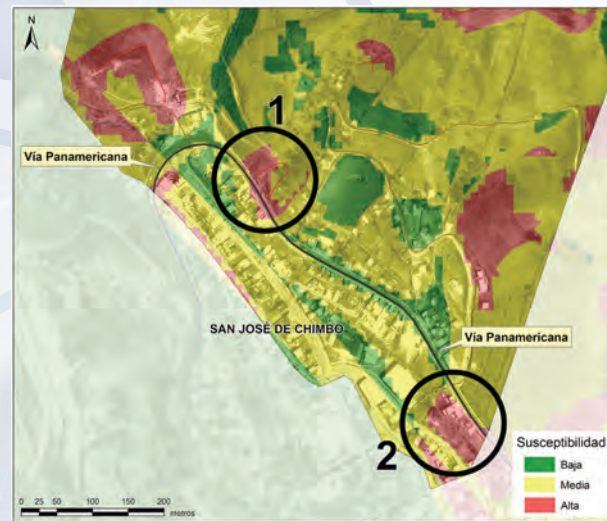


Figura 48.- Zonas de mayor vulnerabilidad en el flanco suroeste.



Figura 49.- Imagen de evidencia de un gran deslizamiento.

En lo que se refiere a la agricultura, los cultivos más importantes son maíz, fréjol, arveja y trigo. La producción pecuaria tiene menor importancia que la agrícola, debido fundamentalmente a la poca superficie de las UPA y la disponibilidad de grandes superficies de pastizales. En cuanto a la actividad económica de Chimbo, destacan la industria de la artesanía, pirotecnia, armería, ebanistería, cerámica y los productos agropecuarios. El comercio informal (panadería y gastronomía) es muy significativo, por lo que se convierte en la fuente del sustento familiar sobretodo de la mujer chimbeña.

### Propuestas de medidas de remediación y mitigación

Una vez analizados los factores de susceptibilidad y evaluado las causas de la inestabilidad del cerro, la presente propuesta trata de establecer los sistemas adecuados para prevenir deslizamientos.

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos, que causan miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb, 1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad en base a estudios de peligro y se toman medidas de prevención o control (Montiel, 2009).

Los fenómenos naturales han estado presentes en todo la historia de la evolución de nuestro planeta y hoy en día causan muchos daños en cuanto a pérdidas de vidas humanas, económicas y alteraciones en el ambiente.

Existen numerosas técnicas para lograr reducir los niveles de amenaza y riesgo de estos deslizamientos. Generalmente, los beneficios más significativos desde el punto de vista de reducción de amenazas y riesgos, se obtienen con las medidas de prevención. Sin embargo, no es posible la eliminación total de los problemas mediante métodos preventivos en todos los casos y se requiere establecer medidas de control o de remediación de las laderas susceptibles a deslizamiento o en los deslizamientos activos.

A continuación se proponen de manera resumida algunas medidas de prevención, control, remediación y/o estabilización para reducir los niveles de amenaza y riesgo por deslizamiento en los elementos antrópicos existentes y futuros situados en las laderas del cerro Susanga:

- La restricción de la expansión de las áreas urbanas con susceptibilidad a deslizamientos, utilizando el mapa de

susceptibilidad, es uno de los métodos más efectivos y económicos para reducir las pérdidas por deslizamientos.

- Protección del desarrollo urbano y/o de medidas de mitigación. Por ejemplo: Drenajes y subdrenajes (Fig. 50), bioingeniería y vegetación (Fig. 51) y modificación de la geometría de la ladera (Fig. 52).

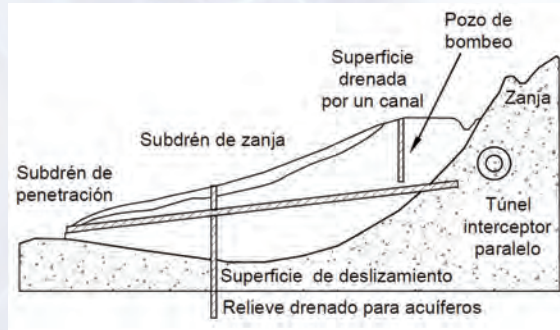


Figura 50.- Ejemplo de sistema de drenaje y subdrenaje. Tomada de Suárez (2009).



Figura 51.- Vigas de hormigón armado para confinar la vegetación.



Figura 52.- Ejemplos de la modificación de la geometría de una ladera para aumentar su coeficiente de seguridad. Tomada de González de Vallejo (2006).

- Desarrollo e instalación de sistemas de monitoreo y alarma (Fig. 53) utilizando extensómetros, inclinómetros, piezómetros, cercas eléctricas y disyuntores. Las recientes innovaciones (Schuster y Kockelman, 1996), incluyen instrumentos acústicos, televisión, radar, rayos láser y medidores de vibración, los cuales pueden ser medidos y manejados a control remoto, desde una estación central receptora.

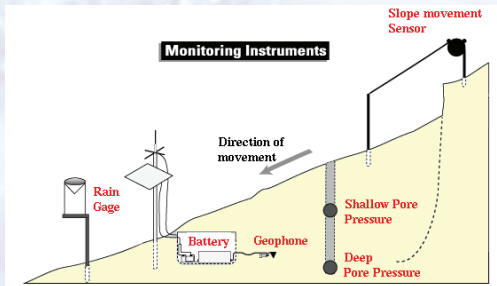
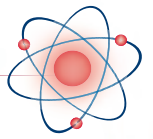


Figura 53.- Ejemplos de sistemas de monitorización de un deslizamiento. Tomada de www.usgs.gov.

## XXVIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Del estudio geológico y geomorfológico del cerro Susanga podemos concluir que las inestabilidades del terreno se manifiestan en forma de fallas, macro-deslizamientos, pequeños deslizamientos, desprendimientos y reptaciones. El origen de estos movimientos del terreno es una combinación de varios factores:

- La gran altitud del cerro Susanga es debido a las intrusiones ígneas y al contexto compresivo de la tectónica andina, que en esta zona ha originado dos fallas inversas que convergen entre sí. Son las fallas del río Chimbo de dirección norte-sur y la falla de Yanayacu de dirección noroeste-sureste.

- Una gran elevación normalmente implica la presencia de laderas con fuerte pendiente.

- La falta de apoyo lateral al sureste de esta gran elevación ha originado un sistema de fallas normales que han desgajado el cerro provocando su hundimiento y expansión lateral hacia el sureste. Un nuevo desplazamiento de este sistema de fallas normales provocaría el hundimiento y desplazamiento hacia el sureste de la mayor parte del cerro Susanga. Desde una perspectiva geológica, esto podría provocar cambios en la trayectoria del río Chimbo, incluso su represamiento, nuevas fallas normales y escarpes paralelos a la falla principal, desprendimientos, nuevos deslizamientos y reactivación de otros existentes, como la gran masa deslizada tras el terremoto de 1774. Desde el punto de vista geológico, la reactivación provocaría: nuevos deslizamientos menores que afectarían a distintos sectores de la masa en movimiento, desprendimientos en las zonas más abruptas, levantamientos y hundimientos del terreno, grietas, cambios en el trazado de la red fluvial de este flanco Sur (el río Yanayacu va embaulado en este sector y en principio no se vería afectado), deformaciones internas del terreno que modificarían su funcionamiento hidrogeológico haciendo desaparecer afloramientos de agua existentes y originando nuevos, y modificaciones en el patrón de erosión hídrica. Desde el punto de vista humano, el desplazamiento de las fallas normales o la reactivación de este gran deslizamiento-flujo provocaría cuantiosos daños en los elementos antrópicos, especialmente los situados sobre y al pie del deslizamiento (edificios y vía panamericana). Las posibles pérdidas humanas y económicas dependerían de la magnitud y velocidad de los movimientos.

- En la zona de estudio, algunas litologías como los depósitos cuaternarios (Dc), las tobas andesíticas (PG) o las dacitas

porfídicas (PI-PL), se meteorizan y alteran más fácilmente que otras como las intrusiones graníticas (gd). La alteración y meteorización puede llegar a generar un regolito o suelo con el espesor suficiente como para presentar inestabilidad en zonas de pendiente. Dicha inestabilidad se produce por: el peso del regolito y la aparición de minerales de alteración (ceolitas, arcillas, sercita, clorita). Estos minerales tienen facilidad para incorporar agua, son expansivos, incrementan la porosidad y de este modo disminuyen la resistencia al corte (Jacoby, 2001).

- El actual uso de suelo para cultivos en fuerte pendiente favorece la infiltración de las precipitaciones y un flujo subterráneo que puede generar superficies de debilidad y el posterior deslizamiento. Este mismo problema de disminución de la resistencia al corte también se produce en algunos elementos antrópicos como el canal de riego de Santa Fé o algunos tanques de almacenamiento de agua presentan pérdidas de agua que se infiltra en el terreno.

- Las constantes e intensas precipitaciones durante la época de lluvias (marzo-abril), así como los períodos de lluvias intensas por el fenómeno El Niño.

- Haciendo una revisión histórica de la actividad sísmica en la zona, desde el año 1674 a 1995 se han producido 10 sismos con intensidades de V a VIII.

- Las precipitaciones y los terremotos son recurrentes y tienen un periodo de retorno. Esto significa que en el futuro podríamos encontrar un escenario de lluvias y aceleración sísmica capaz de generar nuevos movimientos de ladera e incluso reactivar parcial o totalmente los macro-deslizamientos del cerro.

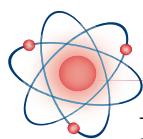
- Finalmente, los datos de las encuestas realizadas indicaron, que las poblaciones ubicadas al pie del Susanga no están preparadas para casos de emergencia, aun sabiendo que se encuentran en una zona de riesgo. La pobreza y la falta de planificación repercuten en que la población ubique sus viviendas humildes y poco resistentes en sectores de alta susceptibilidad a movimientos de masa.

Del análisis de susceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas de Tratamiento de Datos y SIG podemos concluir que:

- Los factores de susceptibilidad que explican satisfactoriamente la distribución espacial de los deslizamientos en el cerro Susanga son: Geomorfología, litología, pendiente y usos del suelo.

- La superposición de las cicatrices de deslizamientos observados al mapa de susceptibilidad indica que dicho mapa predice de manera satisfactoria la ocurrencia de deslizamientos.

- Una limitación de este estudio es que el modelo no proporciona valores de probabilidad espacio-temporal de ocurrencia (número de eventos/km<sup>2</sup> año) debido a la falta de información cronológica de los factores desencadenantes (lluvias, sismos y movimientos bruscos de las fallas normales que dividen el cerro, debido al escaso apoyo lateral que tiene el Susanga en el sector sureste). Sin embargo, el modelo sí proporciona una valiosa información sobre las condiciones de estabilidad, indicando las zonas más proclives a verse afectadas por roturas en el futuro. Estos mapas de susceptibilidad son posiblemente la mejor herramienta para la prevención de riesgos predecibles espacialmente (Ayala, 2001).



- La sismicidad y la intensidad de lluvias (factores de disparo) son constantes en la zona de estudio. Por lo tanto, se considera que el nivel de amenaza (producto de la susceptibilidad y de la acción de los elementos de disparo) en el caso que nos ocupa, coincide con el nivel de susceptibilidad. Es decir, el mapa de amenaza y el de susceptibilidad serían exactamente iguales.

- Otra limitación de este estudio de susceptibilidad a los deslizamientos es que no se tienen en cuenta todas las zonas que pueden verse afectadas por los mismos (susceptibilidad al alcance). Sólo se ha realizado una predicción de las zonas de rotura. El cálculo de la susceptibilidad al alcance presenta una gran dificultad debido al gran problema que entraña la predicción de los parámetros que influyen en la movilidad de los deslizamientos (volumen, viscosidad del flujo).

- Finalmente, todo el proceso de obtención del modelo de predicción de deslizamientos se basa en una serie de suposiciones (Remondo, 2001; Cendrero, 2003; Remondo et al., 2003a): (1) Los movimientos futuros ocurrirán bajo condiciones (geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, etc) similares a las condiciones en las que han ocurrido en el pasado y el presente; (2) Todos los factores condicionantes son conocidos e incluidos en el análisis; (3) Todos los movimientos pasados han sido identificados; y (4) Independencia, normalidad y continuidad de las variables consideradas. Estos supuestos difícilmente se cumplen, por lo que el modelo sólo proporciona un pronóstico con un grado de fiabilidad limitado.

## Recomendaciones

- Sería interesante realizar el análisis de susceptibilidad con un modelo digital del terreno mejorado mediante un vuelo fotogramétrico, algo que por otra parte supondría una notable mejora de las cartografías geomorfológica, geológica y de usos de suelo, ya que no trabajaríamos con la foto del año 2009 de Google Earth sino con una actual y de mayor resolución.

- Realizar el estudio a mayor detalle de las zonas que presentan mayores índices de vulnerabilidad e implementar medidas de prevención y mitigación.

- El análisis de susceptibilidad a la reactivación de masas deslizadas debería llevarse a cabo mediante un procedimiento determinístico, es decir, realizando sondeos, ensayos geotécnicos, geofísica, instrumentación del subsuelo, topografía y geodesia. En el momento de la redacción de este artículo se está haciendo una campaña de 50 sondeos eléctricos verticales (SEVs).

- Dar a conocer a las autoridades provinciales y locales (San José de Chimbo) la importancia de este estudio y los resultados alcanzados y con ello frenar la autorización de permisos de construcción en zonas de alta susceptibilidad al deslizamiento, formular ordenanzas que establezcan parámetros de construcción en laderas y en zonas vulnerables a deslizamientos en la zona de estudio.

- Desarrollar las capacidades de análisis del riesgo a nivel de todas las instituciones involucradas, para la toma de decisiones y para el Ordenamiento y Desarrollo Territorial.

- Establecer un programa que contemple educación ambiental y prevención en caso de emergencias para la población, y así disminuir el riesgo en la zona.

## XXIX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayala Francisco, J – Carcedo Jorge, A. 2002, Riesgos Naturales, Capítulo 18, Análisis de Riesgos por Movimientos de Ladera, Ariel Ciencia, impreso en España.

Baldock, J.W. (1982). Geology of Ecuador. Institute of Geological Sciences, London, United Kingdom, and Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Quito, Ecuador.

Cartas Topográficas Guaranda oeste NIV-D4, San Miguel NV-D4, Z17, WGS84

Casanova M. Leonardo. 2002, Topografía Plana, Capítulo 5, Procedimientos

Dirección General de Geología y Minas. (1982). Mapa geológico nacional de la República de Ecuador, escala 1:1,000,000.

Estudio de Evaluación de la Amenaza Sísmica para la Ciudad de Guaranda. Provincia de Bolívar, Informe Final, Instituto Geofísico Escuela-Politécnica Nacional, Quito, Septiembre 2007.

Gobierno Municipal del Cantón Chimbo, 2007 Plan de Desarrollo Estratégico Cantonal, Diseño e impresión: imprenta y offset “Santa Rita”.

Historia, Cuento y Leyenda de la Ciudad de Benalcázar, Chimbo, Ecuador, Editorial “MINERVA” Quito – Ecuador.

Mapa Geológico del Ecuador, Edición provisional 1979, CT-NIV-D, Hoja 49, CT-NIV-F Hoja 50.

Proyecto. “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, Escala 1: 25 000”. Análisis de Amenaza por Tipo de Movimiento en Masa, Metodología, Versión 2012.

Mora, S. y Vahrson, W.G. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bull. of the Int. Assoc. Geol.*, XXXI (1), 49-58.

Singaicho, J.C. (2009). Mapa de máximas intensidades sísmicas del Ecuador. Criterios estructurales para mejorar la estimación de intensidades. Tesis de grado, EPN., Quito. Ecuador, pág. 186.

## XXX. BIOGRAFÍA



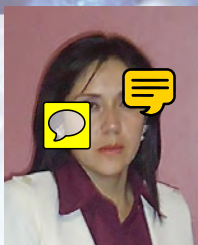
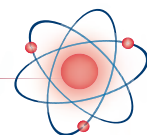
Enrique Acosta Arias

Lugar de nacimiento: Sevilla (España),

Título Profesional: Doctor en geología, Universidad de Zaragoza (España).

Experiencia profesional: Minería, geotecnia, ingeniería civil e investigación.

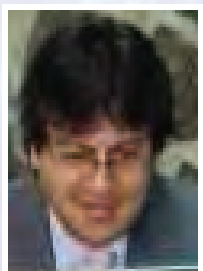
Actualmente me desempeño como investigador docente en la Universidad Estatal de Bolívar (UEB).



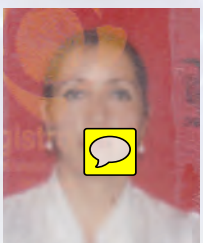
Eva Enriqueta Gavilanes Betancourt.  
Lugar de nacimiento: Guaranda.  
Título Profesional: Ing. geóloga,  
Escuela Politécnica Nacional, Quito  
(Ecuador).  
Experiencia profesional: Geología  
ambiental.  
Actualmente me desempeño como  
docente principal de la carrera de  
administración en desastres y gestión

Experiencia profesional: Director de la Escuela de  
Administración para Desastres y Gestión del Riesgo, período  
2005 – 2010; docente a dedicación exclusiva en la UEB, con 14  
años de experiencia en docencia e investigación en el área de  
riesgos, desastres y desarrollo; apoyo en procesos de desarrollo  
local en área rurales por 20 años.  
Actualmente me desempeño como: Docente Principal a  
Dedicación Exclusiva de la UEB, Director del proyecto de  
investigación “Análisis de riesgo de la ciudad de Guaranda”

del riesgo (UEB).



Giovanni García Camacho.  
Título Profesional: Ing. en administración  
y gestión del riesgo, UEB, Guaranda  
(Ecuador).



Morayma Meza Ramos.  
Título Profesional: Ing. en  
administración y gestión del riesgo,  
UEB, Guaranda (Ecuador).



Ernesto Mongómery Naranjo Garcés.  
Lugar de nacimiento: Guaranda.  
Título Profesional: Lic. en  
administración de desastres y gestión del  
riesgo, Universidad Estatal de Bolívar,  
Guaranda (Ecuador).  
Experiencia profesional: Capacitador en  
prevención en desastres para la  
Fundación Ayuda en Acción  
Provincia de Chimborazo y Provincia de  
Bolívar Cantón Echeandia.

Actualmente me desempeño como servidor público en el  
ministerio de cultura.

Rosalía Muñoz Salazar.  
Título Profesional: Lic. en administración de desastres y gestión  
del riesgo, UEB, Guaranda (Ecuador).

Carlos Ocampo  
Título Profesional: Ing. en administración y gestión del riesgo,  
UEB, Guaranda (Ecuador).

Abelardo Paucar.  
Lugar de nacimiento: Ambato (Ecuador)  
Título Profesional: Ingeniero en Administración para Desastres  
y Gestión del Riesgo, Universidad Estatal de Bolívar - UEB,  
Guaranda (Ecuador).