

DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS APLICANDO LÓGICA FUZZY VS MORA VAHRSON, EN EL ÁREA MONJAS – ITCHIMBÍA – PANECILLO, DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, (DMQ) Y SIMULACIÓN EN 3D

OSWALDO PADILLA ALMEIDA

Laboratorio de Geomática y Sensores Remotos. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Avenida El Progreso, s/n. Sangolquí – Ecuador.
ovpadi@hotmail.com

MARIO CRUZ D’HOWITT

Laboratorio de Geología. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Avenida El Progreso, s/n. Sangolquí – Ecuador.
cruzdhowitt@yahoo.es

CAROLINA ALEXANDRA JARAMILLO CASTELO

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Avenida el Progreso, s/n. Sangolquí – Ecuador.
cajaramillo90@gmail.com

RESUMEN

En el presente proyecto se propone la comparación entre metodologías heurísticas tradicionales (Mora - Vahrson) y estadísticas (Lógica Fuzzy) para la determinación de la susceptibilidad a deslizamientos y la simulación en 3D de los deslizamientos fotointerpretados. La importancia del proyecto es la validación de la metodología Fuzzy, ya que este disminuye la subjetividad de los métodos heurísticos además de obtener resultados aparentemente más cercanos a la realidad, independientemente de que el investigador conozca a profundidad los fenómenos geodinámicos que intervienen en la ocurrencia de inestabilidades del terreno. El Distrito Metropolitano de Quito se ha caracterizado por tener sectores propensos a deslizamientos en la época de lluvias. Las zonas más vulnerables a este tipo de evento se ubican a lo largo de la Av. Simón Bolívar (nueva vía Oriental), laderas de Puengasí, laderas del Panecillo, Itchimbía y Pichincha (vía occidental). El resultado de estas metodologías son diferentes modelos, que mediante un ajuste se define cuál de ellos concuerda con la realidad del terreno. Por lo tanto, la validación de la susceptibilidad a deslizamientos en este sector de Quito, con nuevas metodologías como la propuesta, será un instrumento vital para la elaboración de cartografía de riesgos en otros sectores del DMQ.

ABSTRACT

The present project proposes the comparison among traditional heuristic methodologies (Mora - Vahrson) and statistical (Logical Fuzzy) for the determination of the susceptibility to landslides and the 3D simulation of the photointerpreted landslides. The importance of the project is the validation of the Fuzzy methodology, that diminishes the subjectivity of the heuristic methods obtaining results that are close to the reality, independently that the investigator knows the geodynamic phenomena that intervene in the occurrence of uncertainties of the land. The Metropolitan District of Quito has been characterized to have prone sectors landslides in the rainy season. The most vulnerable areas to this type of event are located along the Av. Simón Bolívar (New Oriental Road), Puengasí, Panecillo, Itchimbía and Pichincha hillsides (Occidental Avenue). The result of these methodologies is different models that are defined by means of an adjustment which agrees with the reality of the land. Therefore, the validation of the susceptibility to landslides in this sector of Quito, with new methodologies like the proposal, will be a vital instrument for the elaboration of risk cartography in other sectors of the DMQ.

INTRODUCCION

Las lluvias en la época de invierno dejan al descubierto, la vulnerabilidad de los taludes de la estratégica Av. Simón Bolívar. Se registran deslizamientos de tierra, en los sectores Oriente Quiteño y San Isidro de Puengasí. (Diario El Comercio, 2012) A pesar de los esfuerzos del I. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, los barrios ubicados en sectores de laderas, del Pichincha o de las elevaciones que rodean a Quito, sufren serios daños, frecuentes deslizamientos que devienen en flujos de lodo en la zona plana de la ciudad, los que, potencialmente, ocasionan colapso de viviendas y la interrupción de la circulación vehicular en calles y avenidas de alto flujo de tránsito.

Por las razones mencionadas, es imprescindible ensayar nuevas metodologías que conduzcan a realizar modelos predictivos mucho más objetivos para determinar susceptibilidad a deslizamientos en el DMQ, a fin de proporcionar a los Organismos competentes documentos cartográficos imprescindibles para la toma de decisiones en los ámbitos de la prevención, atención, remediación y ordenamiento urbano.

LOCALIZACION GEOGRAFICA

El área de estudio se encuentra dentro del Distrito Metropolitano de Quito ubicada en el Centro – Sur de Quito, Distrito Metropolitano, dentro de un polígono delimitado por la Avenida Simón Bolívar por el lado oriental, la Vía Occidental, autopista General Rumiñahui, en el tramo El Trébol – Peaje. Incluye los barrios de Monjas, Vista Hermosa (Puengasí); por el occidente a lo largo de la Avenida Velasco Ibarra (vieja vía oriental), Parque Itchimbía hasta La Vicentina Alta y el Panecillo hacia el sur por la avenida Pedro Vicente Maldonado.

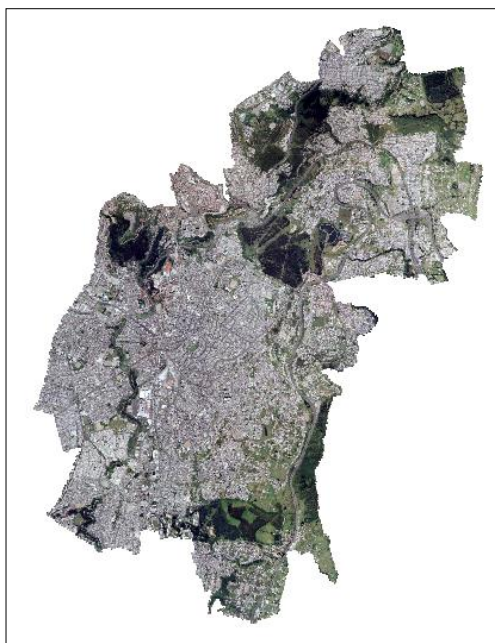


Figura N°1: Localización Geográfica

MORA & VAHRSON

Mora-Vahrson es un método para clasificar la amenaza por deslizamientos en **áreas tropicales con alta sismicidad** (Mora, S. & Vahrson, W.G, 1991).

La metodología puede resumirse de la siguiente forma: se aplica mediante la combinación de parámetros, los cuales se obtienen de la observación y medición de indicadores morfodinámicos y su distribución espacial. Dichos parámetros reflejan los factores que conducen a la inestabilidad de la ladera, tales como litología, el contenido de humedad del suelo y el grado de pendiente de la ladera; con estos parámetros se determina un grado de susceptibilidad por elementos pasivos.

A partir de estas condiciones, factores morfodinámicos desestabilizan las laderas que presentan cierto grado de susceptibilidad por factores pasivos, en esta metodología se utiliza la sismicidad y las lluvias intensas como elementos activos o factores de disparo que perturban el equilibrio de los materiales de la ladera.

El grado de susceptibilidad al deslizamiento es el producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo: (ecuación 1)

$$S = P * D [1]$$

Dónde:

S: grado de susceptibilidad a deslizamientos

P: valor producto de la combinación de los parámetros pasivos

D: valor del factor de disparo de los parámetros activos

Los elementos pasivos se componen de los siguientes parámetros (ecuación 2):

$$P = Pl * Ph * Pp [2]$$

Dónde:

Pl: valor del parámetro de susceptibilidad litológica

Ph: valor del parámetro de humedad del terreno

Pp: valor del parámetro pendiente

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros (ecuación 3):

$$D = Ds + Dll [3]$$

Dónde:

Ds: valor del parámetro de disparo por sismicidad

Dll: valor del parámetro de disparo por lluvia

Sustituyendo los parámetros, la ecuación completa se expresa como sigue (ecuación 4):

$$S = (Pl * Ph * Pp) * (Ds + Dll) [4]$$

El resultado de la combinación de todos los factores (acorde con la fórmula 4) no se establece en una escala única de valores del indicador, pues éstos deben ajustarse a las condiciones del área en estudio. El calificativo de susceptibilidad (S) es una representación cualitativa de los diferentes niveles de amenaza y no una amenaza propiamente dicha.

Con estos resultados se obtendrá cartografía temática con ayuda de herramientas geoinformáticas.

Análisis De Las Variables Que Intervienen En Mora – Vahrson

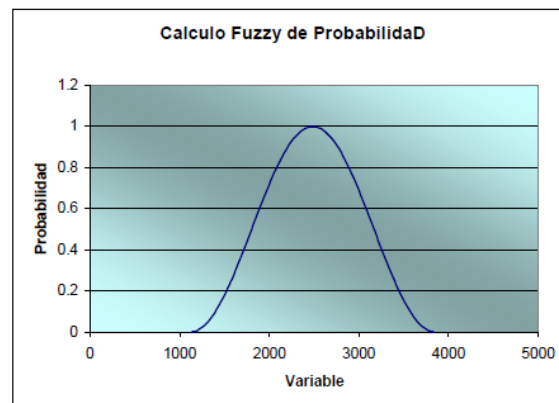
Tabla N°1: Análisis De Las Variables Que Intervienen En Mora - Vahrson

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE
PENDIENTE	FACTOR PASIVO
HUMEDAD DEL SUELO	FACTOR PASIVO
LITOLOGÍA	FACTOR PASIVO
INTENSIDAD DE LLUVIA	FACTOR DE DISPARO
SISMOLOGÍA	FACTOR DE DISPARO

LOGICA FUZZY

La clasificación difusa, borrosa o fuzzy evalúa la posibilidad de que cada elemento o píxel pertenezca a un determinado sistema o fenómeno (Guo et. al., 2004).

Se puede tomar más de dos variables y obtener la probabilidad individual de cada una de ellas. Al combinar dos variables se puede tener algo muy similar a una campana. (Figura 2)



Fuente: Padilla, O, .2008

Figura 2: Probabilidad tomando una variable.

Es así que la probabilidad se define de la siguiente forma: (ecuación 5)

$$\underline{\mathbf{P = f (Sen^2 \alpha) [5]}}$$

Donde:

P = Probabilidad de ocurrencia del evento o fenómeno

α = variable en función del evento o fenómeno

Mínima P= 0 o 0%

Máxima P= 1 o 100%

Las funciones sinusoidales o cosinusoidales se ajustan bastante bien a este tipo de representaciones, es por esto que utilizaremos ecuaciones en función de seno de alfa y coseno de alfa, (Ruiz Puente, et. al, 2007) donde alfa estará en función del fenómeno o variable que se desea modelar o representar, como se dijo antes este puede ser una clase en una imagen satelital.

Para obtener una curva donde el rango sea de $[0, 1,0]$, usamos la función cuadrada del seno. (ecuación 6)

$$\underline{P = \text{Sen}^2 \alpha [6]}$$

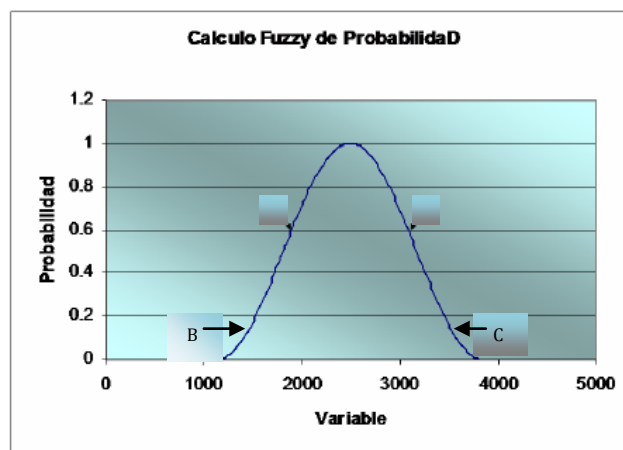
Puntos importantes en la función:

Estas funciones están controladas por cuatro puntos situados de la siguiente forma:

Punto A: Punto de valor mínimo en la variable a modelar

Punto B y C: Rango de valores donde se encuentran la mayor cantidad de datos de la variable

Punto D: Punto de valor máximo en la variable (Figura 3)



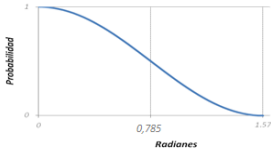
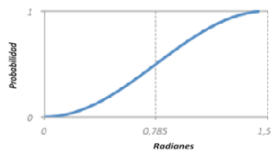
Fuente: Padilla, O., 2008

Figura 3: Puntos importantes del modelo.

Casos de Lógica Fuzzy

Tabla N°2: Casos Lógica Fuzzy

CASOS FUZZY	RANGO	FUNCION
<p>Primer Caso</p> <p>El gráfico muestra una curva de probabilidad con el eje horizontal etiquetado "Radianes" y el eje vertical "Probabilidad". El eje horizontal tiene marcas en 0, 0.785, 1.57, 2.355 y 3.14. La curva comienza en (0, 0), alcanza un pico de 1.0 a 1.57, y termina en (3.14, 0).</p> <p>Figura 2: Rango de interés de la función Seno</p>	<p>0° a 180° 0 en radianes 0 a π</p>	<p>Función Seno</p>

CONTINUACION DE LA TABLA		
CASOS FUZZY	RANGO	FUNCION
<p>Segundo Caso</p>  <p>Figura 3: Segundo caso del análisis Fuzzy</p>	<p>0° a 90° 0 en radianes 0 a $\frac{\pi}{2}$</p>	Función Coseno
<p>Tercer Caso</p>  <p>Figura 4: Tercer caso del análisis Fuzzy</p>	<p>0° a 90° 0 en radianes 0 a $\frac{\pi}{2}$</p>	Función Seno

Análisis De Las Variables Que Intervienen En Lógica Fuzzy

A continuación se analiza el comportamiento de cada variable que intervienen de acuerdo a los diferentes casos que existen en la metodología Fuzzy.

Tabla N°3: Análisis de cada variable según casos Fuzzy

VARIABLE	LOGICA FUZZY
PENDIENTE	Existe una relación directamente proporcional. Mayor pendiente, mayor probabilidad de deslizamientos TERCER CASO
PRECIPITACION	Existe una relación directamente proporcional. Mayor intensidad de lluvias, mayor probabilidad de deslizamientos. TERCER CASO
DISTANCIA A VIAS DE COMUNICACIÓN	Existe una relación indirectamente proporcional. La presencia de vías influyen en la inestabilidad del terreno, es decir a menor distancias hacia las vías, mayor probabilidad de ocurrencia a deslizamientos. SEGUNDO CASO
DISTANCIA A FALLAS GEOLOGICAS	Existe una relación indirectamente proporcional. La presencia de fallas influyen en la inestabilidad del terreno, es decir a menor distancias hacia las fallas, mayor probabilidad de ocurrencia a deslizamientos. SEGUNDO CASO

CONTINUACION DE TABLA	
VARIABLE	LOGICA FUZZY
DISTANCIA A RED HIDRICA	Existe una relación indirectamente proporcional. La presencia de ríos influyen en la inestabilidad del terreno, es decir a menor distancias hacia los ríos, mayor probabilidad de ocurrencia a deslizamientos. SEGUNDO CASO
COBERTURA VEGETAL	A mayor presencia de cobertura vegetal menos probabilidad de ocurrencia a deslizamientos. SEGUNDO CASO
DUREZA DE LA ROCA	Existe una relación indirectamente proporcional entre la resistencia de la roca a la erosión y la probabilidad de ocurrencia a deslizamientos, mayor resistencia de la roca menor probabilidad de ocurrencia a deslizamientos. SEGUNDO CASO

GENERACION Y AJUSTE DE MODELOS

Los seis modelos creados en la plataforma SIG fueron realizados mediante algoritmos y algebra de mapas como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N°4: Modelos Lógica Fuzzy

MODELO	DATOS UTILIZADOS	FORMULA NORMALIZACION	CONVERSION A RADIANTES	OBTENCION DE PROBABILIDAD
MODELO 1	Valores máximo (VM) y mínimo (Vm) de las variables originales (Vo)	$N = (Vo - Vm) / (VM - Vm)$	$R = N * (\pi/2)$ $\pi/2 = 1.5707963268$ $R = \text{radianes}$	$P = \sin^2 (R) \quad (1)$ O $P = \cos^2 (R) \quad (2)$
MODELO 2	Valores máximo (VM) y mínimo (Vm), a partir de los puntos de muestreo. Además del Valor más cercano = 0.1 Valor más lejano = 0.9	Los valores se utilizan previos a un análisis de ecuaciones mediante los casos de lógica Fuzzy. $y - y_1 =$ $(((y_2 - y_1)/(x_2 - x_1))^* (x - x_1))$	$R = N * (\pi/2)$ $\pi/2 = 1.5707963268$ $R = \text{radianes}$	$P = \sin^2 (R) \quad (1)$ O $P = \cos^2 (R) \quad (2)$
MODELO 4	Valores máximo (VM) y mínimo (Vm), a partir de los puntos de muestreo. Además del Valor más cercano = 0.05 Valor más lejano = 0.95	Los valores se utilizan previos a un análisis de ecuaciones mediante los casos de lógica Fuzzy. $y - y_1 =$ $(((y_2 - y_1)/(x_2 - x_1))^* (x - x_1))$	$R = N * (\pi/2)$ $\pi/2 = 1.5707963268$ $R = \text{radianes}$	$P = \sin^2 (R) \quad (1)$ O $P = \cos^2 (R) \quad (2)$

Tabla N°5: Modelos de Mora - Vahrson

MODELO	DATOS UTILIZADOS	OBTENCION DE PROBABILIDAD
MODELO 4	Utilizando todos los factores de disparo y los parámetros pasivos	$S = (Pl * Ph * Pp) * (Ds + Dll)$
MODELO 5	Utilizando solo un factor de disparo (Intensidad de Lluvia) y todos los parámetros pasivos	$S = (Pl * Ph * Pp) * (Dll)$
MODELO 6	Utilizando solo un factor de disparo (Sismicidad) y todos los parámetros pasivos	$S = (Pl * Ph * Pp) * (Ds)$

Ajuste de los modelos

Se realizó el ajuste de los modelos en base a la desviación estándar, que es un conjunto de datos o una medida de dispersión, que nos indica cuanto pueden alejarse los valores respecto al promedio (media), por lo tanto es útil para buscar la probabilidad de que un evento ocurra.

El ajuste realizado en los procesos SIG, se basan en la siguiente fórmula:

$$N = \left| \text{Valor medido} - \text{Valor Calculado} \right|$$

O

$$N = \left| 1 - Y \right|$$

Donde:

N = ajuste

Valor medido = 1 o valor de los puntos de muestra

Valor calculado = cálculo de la desviación estándar de los promedios de probabilidades (Y) de los diferentes modelos.

Se obtuvo las siguientes desviaciones estándar de los modelos aplicados:

Tabla N°6: Desviaciones estándar de los modelos

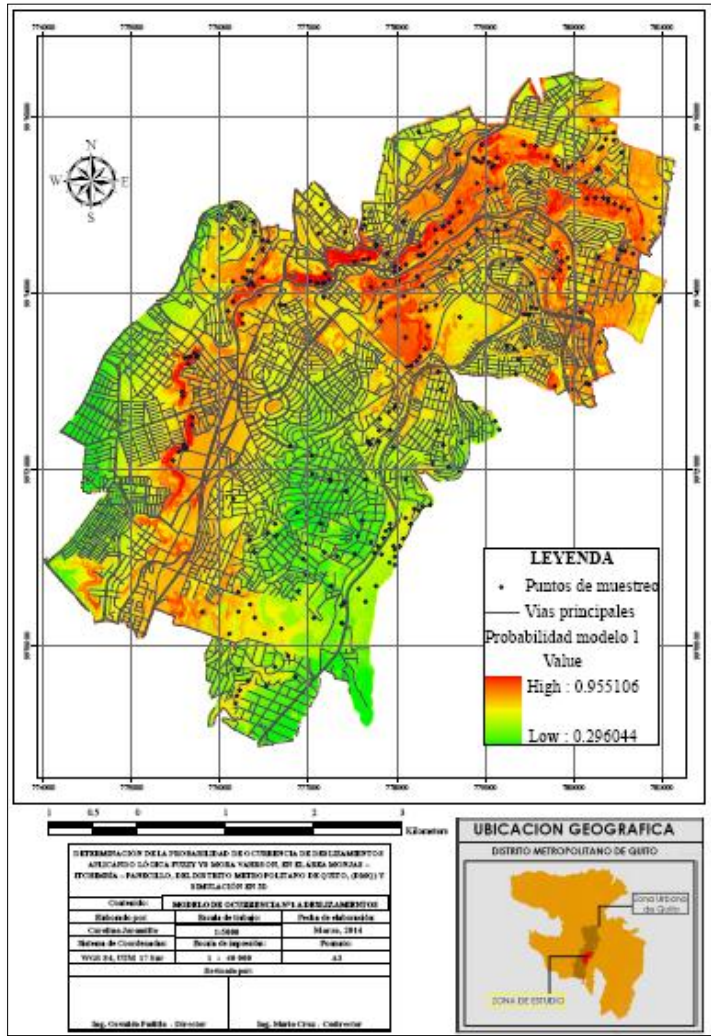
MODELOS PREDICTIVOS						
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6
	Fuzzy original	Fuzzy 10 percentil	Fuzzy 5 percentil	Mora-Varhson	Mora-Varhson sismos	Mora-Varhson precipitación
PROMEDIO	0.673507425	0.673492528	0.686179661	0.838062284	0.888581315	0.761245675
DESVIACION ESTANDAR	0.108091548	0.115701223	0.123310949	0.176593095	0.15692707	0.237214386

El mejor modelo está definido por el menor valor de acuerdo al ajuste realizado:

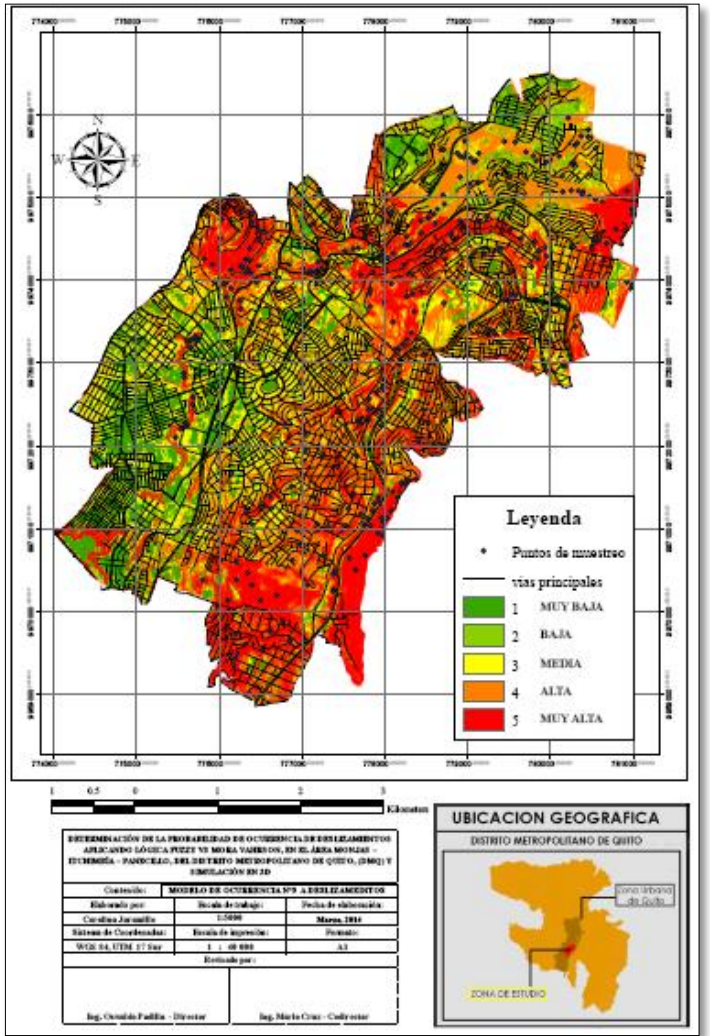
Tabla N°7: Ajuste de los modelos

MODELOS PREDICTIVOS						
	MODELO 1 Fuzzy original	MODELO 2 Fuzzy 10 percentil	MODELO 3 Fuzzy 5 percentil	MODELO 4 Mora-Varhson	MODELO 5 Mora-Varhson sismos	MODELO 6 Mora- Varhson precipitación
AJUSTE	0.891908452	0.884298777	0.876689051	0.823406905	0.84307293	0.762785614

Modelo N° 1 de Probabilidad de Ocurrencia de Deslizamientos - Lógica Fuzzy (Variables Originales)



Modelo N° 5 de Probabilidad de Ocurrencia de Deslizamientos - Mora-Vahrson (Factor Disparo Sismos)



ANALISIS DE MODELOS OBTENIDOS

Tabla N°8: Diferencias y Semejanzas entre modelos Fuzzy

MODELOS FUZZY	
SEMEJANZAS	DIFERENCIAS
<p>Gráficamente:</p> <p>Zonas aledañas a las vías principales, zonas de quebradas y rellenos del Río Machángara son susceptibles a deslizamientos.</p> <p>Las zonas con probabilidad de ocurrencia de deslizamiento son las que se encuentran en tonos rojos y naranjas que son casi los mismos sectores en todos los modelos.</p> <p>Las zonas en tonos verdes son superficies relativamente planas donde no hay probabilidad de deslizamientos.</p> <p>Todos los modelos cubren la mayoría de puntos de muestra de los deslizamientos fotointerpretados.</p>	<p>Por valor de ajuste:</p> <p>La desviación estándar del modelo 1 es: 0.108091548 lo que indica que la incompatibilidad entre la realidad del terreno y el modelo es relativamente mínima ya que al restarle de 1 este valor es 0. 0.891908452.</p> <p>La del segundo modelo es: 0.115701223y la del tercer modelo es: 0.123310949es decir que varían en sus partes decimales y estos restados de 1 son valores de 0.884298777 y 0.876689051 respectivamente.</p>

Tabla N°9: Diferencias y Semejanzas entre modelos Mora - Vahrson

MODELOS MORA - VAHRSON	
SEMEJANZAS	DIFERENCIAS
<p>Gráficamente:</p> <p>Zonas aledañas a La Ferroviaria, La Argelia, Puengasí, El Panecillo y las quebradas y rellenos del río Machángara son susceptibles a deslizamientos.</p> <p>Las zonas con probabilidad de deslizamiento son las que se encuentran en tonos rojos y naranjas que son parecidos en los modelos 4 y 5, pero en el modelo 6 se diferencian.</p> <p>Las zonas en tonos verdes son superficies relativamente planas donde no hay probabilidad de deslizamientos.</p> <p>Todos los modelos cubren la mayoría de puntos de muestra de los deslizamientos fotointerpretados.</p>	<p>Por valor de ajuste:</p> <p>La desviación estándar del modelo cuarto es: 0.176593095 y el quinto modelo es 0.15692707 lo que indica que la incompatibilidad entre la realidad del terreno y el modelo es significativo ya que al restarle de 1 este valor es 0.823406905 y 0.84307293 respectivamente.</p> <p>La del sexto modelo es: 0.237214386 es decir que este es el modelo que más se aleja de la realidad con una ajuste del 0.762785614.</p>

Simulación en 3D en ArcScene

La zona de estudio en el DMQ sufre de numerosos focos de deslizamientos de tierra, los cuales fueron fotointerpretados y debidamente comprobados en campo, estos movimientos en masa están integrados por Zonas Activas de Movimientos en Masa y por la presencia de Paleodeslizamientos.

Para la simulación en 3D se tomaron en cuenta todos éstos deslizamientos realizando una expansión a partir del centroide del polígono hasta llegar a la forma original que está representada en el terreno.

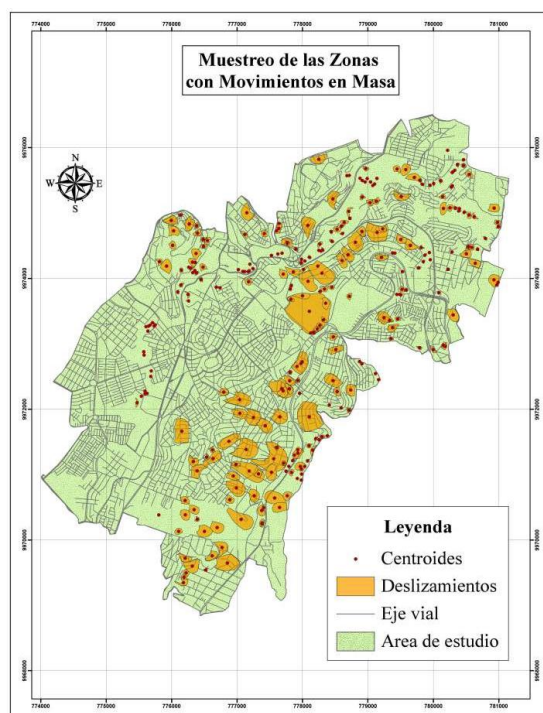


Figura N°4: Mapa de Muestreo de Deslizamientos

CONCLUSIONES

Luego de obtener los seis modelos de probabilidad de ocurrencia a deslizamientos utilizando las diferentes metodologías (Lógica Fuzzy & Mora Vahrson) y compararlos uno a uno realizando el ajuste necesario para cada modelo se obtuvo los siguientes resultados:

- Los modelos Fuzzy N° 1 (Variables Originales) y N°2 (10 percentil) cada uno con un ajuste de 0.8919 y 0.8842 respectivamente, son muy similares entre sí, por lo tanto se acoplan a la realidad del terreno y proporcionan una buena información acerca de los fenómenos en remoción en masa.
- Entre los modelos obtenidos con la metodología Mora & Vahrson tienen similitud entre sí, sin embargo el modelo de probabilidad de ocurrencia a deslizamientos N°6 cuyo factor de disparo es la Intensidad de Lluvia muestra el menor ajuste de todos los valores obtenidos de cada modelo.
- La metodología de Mora & Vahrson es utilizada para escalas de trabajo pequeñas (1:10 000 – 1:25 000 – 1:50 000), para zonas tropicales y con alta sismicidad, por ende al aplicarla en un sector interandino, con diversas características geológicas, climáticas y sismológicas no

demuestra con exactitud un modelo que sea representativo representando la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en la zona de estudio. No se recomienda que los Técnicos o Gestores del Riesgo utilicen la metodología Mora – Vahrson debido a que es un método heurístico y muy subjetivo con los parámetros a emplearse, razón por la cual es la metodología Fuzzy es apropiada para este tipo de estudios.

- La metodología Mora-Vahrson aplica como herramienta los polígonos de Thiessen; el cual es uno de los métodos de interpolación más simples, basado en la distancia euclidiana, aplicada para datos cualitativos. Por lo cual no es apropiado para dicha metodología ya que se utilizan variables continuas de tipo físico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

Andocilla, L. (Julio de 2012). Implementación del Algoritmo de Lógica Fuzzy aplicado a la determinación del grado de susceptibilidad a deslizamientos en el área Monjas-Ferrovial-La Magdalena-Itchimbia del Distrito Metropolitano de Quito. Tesis de Grado ESPE. Quito, Pichincha, Ecuador.

Aparicio, F. J. (1994). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México DF: LIMUSA S.A.

Avilés, M., & Lizzette, H. (2009). Análisis y modelamiento de susceptibilidad a deslizamientos mediante SIG y geoestadística en las parroquias de Papallacta y Cuyuja, Cantón Quijos. Tesis de Grado ESPE. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.

Ayala, F. J., Andreu, F. J., Ferrer, M., De Simón, A., Fernández, I., Olalla, C., . . . Cienfuegos, F. J. (1987). Manual de Taludes. Madrid: IGME.

Bosque Sendra, J. (1992). Sistemas de Información Geográfica. Madrid: Rialp.

Campos, C., Reyes, X., & Rodríguez, X. (2003).

Carranza, D. (2008). Aplicación de la Lógica Fuzzy para la ubicación de especies faunísticas y florísticas y su comparación con otros métodos geoestadísticos. Tesis de Grado ESPE. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.

Carrera, A., Cardinali, F., & Reichenbach, P. (1995). GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. Londres: Kluwer Academic Publishers.

Coromidas, D. (1989). Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera. Monografía N°3. Zaragoza, España: Sociedad Española de Geomorfología Zaragoza.

Coromidas, J., & Alonso, E. (1984). Inestabilidad de laderas en el Pirineo Catalán, tipología y causas. Jornadas de Inestabilidad de Laderas en el Pirineo. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Barcelona.

Coromidas, J., & García Yaqué, A. (1997). Terminología de los Movimientos de Ladera. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada.

Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes in Turner. En Specil Report (págs. 27-29 - 43). AK & Schuster.

Durán, & Benito. (2008). *Lógica Borrosa*.

El Comercio, D. (10 de Enero de 2012). *Deslizamientos e inundaciones por lluvias en Quito*.

EPN. (2013). Instituto Geofísico. *Informes Sísmicos Anuales*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Hibsch, C., Alvarado, A., Yepes, H., Sebrier, M., & Pérez, H. (1996). *Falla Activa de Quito y Fuentes Sismogénicas Regionales: Un estudio del Riesgo Sísmico de Quito con el Análisis de los sedimentos cuaternarios*. Quito, Ecuador.

Hutchinson, J. N. (1988). *Fifth International Symposium on Landslides*. En *General Report Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in relation to Geology and Hydrology* (págs. 1, 3-35). Rotterdam: *Bonnard*.

IGAC. (1996). *Conceptos Básicos de Sistemas de Información Geográfica y Aplicaciones en Latinoamérica. Guía Metodológica para la Formulación del Plan de Ordenamiento Territorial Urbano Aplicable a ciudades*.

INETER. (2005). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. *Inestabilidad de Laderas - Mapas de Amenaza*.

Irigaray, C., Lamas, F., Hamdouni, R., Fernández, T., & Chacón, J. (2000). *The Importance of Precipitation and The Susceptibility of the Slopes for the Triggering of Landslides along The Roads*. Vol 21 n°1: *Natural Hazards*.

Lana, H. X., Zhou, L. J., Wang, H. Y., & Li, R. H. (2004). *Landslide Hazard Spatial Analysis and Prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed*. Yunnan, China.

López, R. (2001). *Modelo de un Sistema Experto a partir de la Aplicación de la Lógica Difusa para Ayudar en las Decisiones Bursátiles*.

Mora, R. (2004). *Evaluación de la Susceptibilidad a Deslizamiento del Cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica*.

Mora, R., Vahrson, W., & Mora, S. (1992). *Determinación de la Amenaza de Deslizamiento sobre Grandes Áreas, Utilizando Indicadores Morfodinámicos*.

Moya Anegón, F., López Gijón, J., & García Caro, C. (1996). *Técnica y Documentación Cuantitativas Aplicadas a la Biblioteconomía. Síntesis*.

Nancy, J., Obermeyer, & Jeffrey, K. (2008). *Managing Geographic Information Systems*. New York: Segunda Edición.

Obermeyer, & Pinto. (1994). *Lo que aportan los SIG de diferente respecto a otro tipo de sistemas de información es su dependencia de la referencia espacial como también su organización y su capacidad de realizar análisis geográfico*.

Padilla, O. (2006). *Fundamento teórico para la modelización de variables ambientales mediante operadores difusos*. Quito: *Revista Geoespacial No.4*.

Peltre, P. (1989). *Quebradas y Riesgos Naturales en Quito Período 1900-1980*. Quito.

Rojas, N. (2011). *MINAET Ministerio del Ambiente y Telecomunicaciones - Instituto Meteorológico Nacional. En Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de Algunas Estaciones Meteorológicas Automáticas*.

Skinner, B. J., & Porter, S. C. (1992). An Introduction to Physical Geology. En The dynamic Earth. New York: John Wiley & Sons.

Van Zuidam, R. (1986). Aerial photo-interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic mapping. The Netherlands.

Varnes, D. (1978). Slope Movement Types and Processes. En Landslide: Analysis and Control Transportation Research Board (págs. Spetial Report 176: 11-33).

Varnes, D. (1984). Landslide hazard zonation. Paris.

Yanhuiguo, Cheng, H. D., Jianhua Huang, Jiawei Tian, Wei Zhao, Litao Sun, & Yanxin Su. (2004). Breast Ultrasound Image Enhancement Using Fuzzy Logic.