

IMPLEMENTACION DEL ALGORITMO DE LÓGICA FUZZY APLICADO A LA DETERMINACION DEL GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL ÁREA MONJAS – FERROVIARIA – LA MAGDALENA - ITCHIMBÍA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

OSWALDO PADILLA ALMEIDA

Laboratorio de Geomática y Sensores Remotos. Departamento de Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). Avenida El Progreso, s/n. Sangolquí – Ecuador.
ovpadi@hotmail.com

MARIO CRUZ D'HOWITT

Laboratorio de Geología. Departamento de Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). Avenida El Progreso, s/n. Sangolquí – Ecuador.
cruzdhowitt@yahoo.es

LORENA PATRICIA ANDOCILLA LÓPEZ

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Departamento de Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). Avenida el Progreso, s/n. Sangolquí – Ecuador.
boandocilla@hotmail.com

RESUMEN

En el presente proyecto se propone la implementación de la metodología de Lógica Fuzzy, en plataformas SIG, que es la generación de diferentes modelos probabilísticos de la ocurrencia de deslizamientos en el centro - sur de la ciudad de Quito, que se producen, ya sea por asentamientos urbanos ilegales, por la creación de infraestructura urbana, o por el mismo asentamiento de la ciudad en la zona geográfica donde se encuentra.

El método es desarrollado, con la obtención de un inventario de deslizamientos observados a partir de fotointerpretación y un minucioso trabajo de campo. Consecutivamente se obtiene una serie de mapas, los cuales son los parámetros para comenzar el estudio de la metodología de Lógica Fuzzy. El resultado de esta metodología son diferentes modelos, que mediante un ajuste se definirá cuál de ellos concuerda con la realidad del terreno. Posteriormente con estos efectos se procederá a la implementación de la metodología Fuzzy en plataformas SIG. Que proporcionará un programa, el cual se podrá aplicar a cualquier terreno donde se presente este fenómeno, a la vez se elegirá el modelo que más se ajuste a cada terreno donde se aplique esta metodología.

ABSTRACT

This project proposes the implementation of the methodology of Fuzzy Logic, GIS platforms, which is the generation of probabilistic models of the occurrence of landslides in central - south of Quito, which occur either by illegal urban settlements, the creation of urban infrastructure, or by the settlement of the city in the geographical area where you are.

The method is developed to obtain an inventory of landslides observed from a detailed photo interpretation and fieldwork. Running gives a series of maps, which are the parameters to begin the study of the methodology of fuzzy logic. The result of this methodology is different models, which will be defined by adjusting which one matches the reality on the ground. Then these effects will proceed to the implementation of the methodology Fuzzy GIS platforms. Will provide a program which can be applied to any land where this phenomenon, at the same time choose the model that best fits each spot where this methodology is applied.

INTRODUCCION

En los últimos años, varios sectores de la ciudad de Quito, durante el período lluvioso, se han visto afectados por inestabilidades del terreno e inundaciones que han afectado a la población y a las vías principales (pasos deprimidos), en el Centro - Sur de Quito. Los taludes de las avenidas perimetrales de la ciudad, han presentado deslizamientos que han causado pérdida de vidas, bienes materiales y la interrupción del tráfico vehicular por algunos días, agravando los problemas de movilidad de esta ciudad. Un estudio de la Secretaría de Riesgos del Municipio de Quito, revela que hay 1500 familias que viven en zonas de riesgo por deslizamientos y derrumbes en todo el Distrito, (El Comercio 23/11/2010).

Este tipo de riesgos se han generado debido a la ocupación desordenada de las elevaciones que rodean la ciudad, asentamientos en zonas de relleno, carencia de políticas claras de ordenamiento urbano, falta de cultura de prevención y carencia de cartografía de riesgos, factores que impiden a las entidades seccionales elaborar un adecuado plan de ordenamiento territorial que procure una ocupación racional del suelo. Por tanto, la determinación de la susceptibilidad a deslizamientos en Quito, con nuevas metodologías como el empleo de Lógica Fuzzy aplicada a la determinación de deslizamientos, es un instrumento vital para la toma de decisiones en lo relacionado a ordenamiento territorial y seguridad ciudadana.

LOCALIZACION GEOGRAFICA

El área de estudio se encuentra dentro del Distrito Metropolitano de Quito (Figura 1). El Distrito Metropolitano de Quito está localizado en la provincia de Pichincha, situada en la zona central norte de la Cordillera de los Andes, que atraviesa el Ecuador de Norte a Sur. La provincia tiene un área de 1.358.100 hectáreas (IMQ, 1992b), de las cuales el Distrito Metropolitano comprende más de 290.746 hectáreas, incluyendo a la ciudad de Quito propiamente dicha así como a 24 parroquias suburbanas y rurales que rodean al núcleo urbano. Dentro de esta región metropolitana ampliamente definida, la zona urbanizada cubre 37.091 hectáreas, que constituyen el área urbana de Quito, rodeada por aproximadamente 253.655 hectáreas de zonas periurbanas, suburbanas y rurales (IMQ, 1992b).

El área del proyecto se ubica 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 V. Maldonado.

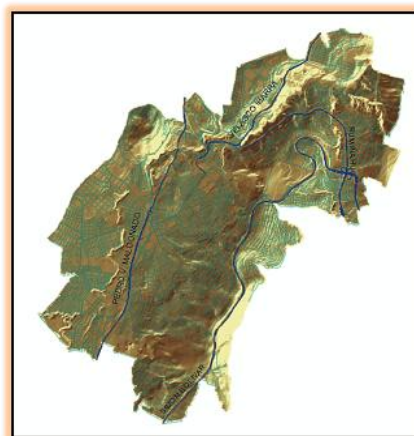


Figura 1: Área de influencia.

DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o que pueden ser interferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movilizadora se desplaza como un bloque único.

En un deslizamiento el material se mueve como una masa única, no como varios elementos que se mueven a la vez, se efectúa a lo largo de una superficie de deslizamiento, que facilita la acción de la gravedad. Esta superficie se crea por la absorción de agua a una profundidad determinada, lo que implica un cambio de densidad de la capa subyacente que es lo que provoca la existencia de un plano de deslizamiento. Afecta tanto a tierras poco compactas como a rocas.

La ocurrencia de deslizamientos pueden depender de las siguientes variables:

- Clase de rocas y suelos
- Orientación de las fracturas o grietas en la tierra.
- Cantidad de lluvia en el área.
- Cobertura vegetal
- Actividad sísmica.
- Actividad humana (cortes en ladera, falta de canalización de aguas, etc.).
- Erosión (por actividad humana y de la naturaleza).

Los deslizamientos o movimientos de masa no son iguales en todos los casos, y para evitarlos o mitigarlos es indispensable saber las causas y la forma como se originan, por tanto para el área de estudio se considerará las variables que expresen la mejor correlación del fenómeno, para ser tomadas en cuenta en el modelo de predicción.

LOGICA FUZZY

La lógica difusa fue investigada, por primera vez, a mediados de los años sesenta en la Universidad de Berkeley (California). La lógica difusa permite representar el conocimiento común, que es mayoritariamente del tipo lingüístico cualitativo y no necesariamente cuantitativo, en un lenguaje matemático. Permite trabajar a la vez con datos numéricos y términos lingüísticos; los términos lingüísticos son inherentemente menos precisos que los datos numéricos pero en muchas ocasiones aportan una información más útil para el razonamiento humano.

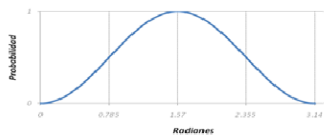
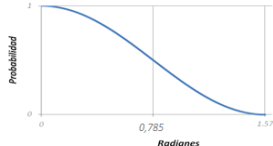
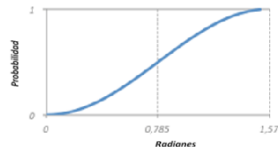
El aspecto central de los sistemas basados en la teoría de la lógica difusa es que, a diferencia de los que se basan en la lógica clásica, tienen la capacidad de reproducir aceptablemente los modos usuales del razonamiento, considerando que la certeza de una proposición es una cuestión de grado. Más formalmente se puede decir que si la lógica es la ciencia de los principios formales y normativos del razonamiento, la lógica difusa o borrosa se refiere a los principios formales del razonamiento aproximado, considerando el razonamiento preciso (lógica clásica) como caso límite. Así pues, las características más atractivas de la lógica difusa son su flexibilidad, su tolerancia con la imprecisión, su capacidad para modelar problemas no-lineales, y su base en el lenguaje natural.

En resumen la Lógica Fuzzy es una gama intermedia, o posibles respuestas entre el sí y el no, de forma cualitativa. Es decir, que aplicando la Lógica Fuzzy son valores numéricos probables entre el 0 y el 1, de forma cuantitativa.

Para la Lógica Fuzzy las funciones que se aplican son el Seno y el Coseno ya que, el rango en el que se trabaja es entre 0 y 1.

Los casos de lógica Fuzzy en los cuales ya se ha trabajado son 3, basándose en conceptos anteriores. En el primer caso, el rango a ser utilizado en el análisis es de [0,1], y no obtener valores negativos, como sería el caso de tomar la curva seno no cuadrática. En el segundo caso, los casos a encontrar, son aquellos donde la probabilidad de ocurrencia, es inversamente proporcional al evento analizado. En el tercer caso, los casos a encontrar, son aquellos donde la probabilidad de ocurrencia, es directamente proporcional al evento analizado.

Tabla 1: Casos Lógica Fuzzy

| CASOS FUZZY | RANGO | FUNCION |
|---|--|-----------------------|
| <p>Primer Caso</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> |
| <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> | <p>Función Coseno</p> |
| <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> | <p>Función Seno</p> |

INTERPRETACION DE FOTOGRAFIAS E IMAGEN SATELITAL

Al analizar las fotografías aéreas, las zonas susceptibles a deslizamientos, son extraídas mediante la descripción y observación de los elementos geográficos contenidos en las mismas. “Las claves de la interpretación se basan en principios de analogía: a una misma categoría de objetos (definida por sus propiedades) deberían corresponder imágenes fotográficas semejantes” (Avilés Marco, Hermosa Lizzette). Para lo cual se requirió de ciertos conocimientos acerca de procesos geomorfológicos, formaciones vegetales y uso del suelo del área de trabajo. Las zonas susceptibles a deslizamientos del terreno se definieron como los puntos de muestra para los posteriores análisis.

Fue completada esta información con observaciones de campo, donde se visualizo los movimientos en masa a lo largo de la zona de estudio, especialmente distribuidas en la Avenida Simón Bolívar, la ex vía Oriental, es decir la avenida Velasco Ibarra, la autopista General Rumiñahui y parte de las

quebradas del río Machángara. Mediante la fotointerpretación, se pudo determinar la existencia de varios sectores donde existen deslizamientos tanto activos como paleo – deslizamientos y donde existirán áreas susceptibles a deslizamientos. En el área del domo del Panecillo existe gran parte de terreno susceptible a deslizamientos, considerados actualmente estables parte de ellos así como existen paleo - deslizamientos.



Fotografía 1: Fotografía de la Zona de Estudio.

Posteriormente a la determinación de áreas susceptibles a deslizamientos, se procedió a la realización del modelo digital del terreno (Figura 3) y basándose en una interpretación de las fotografías aéreas, se pudo observar distintos accidentes geográficos, todo esto con el fin de obtener una clasificación exhaustiva, de la situación geográfica de la zona anteriormente descrita. Destacándose las siguientes unidades:

- Escarpes
- Fallas geológicas Inversas y normales
- Cambios de Pendientes
- Conos de deyección
- Deposito de acumulación
- Deposito lagunar
- Desplazamientos Activos y paleo - deslizamientos
- Fluvio - lacustre
- Rellenos
- Terrazas Tectónica y terraza aluvial

Al partir de la fotointerpretación, se obtuvieron zonas visibles, susceptibles a deslizamientos y mediante estos se obtiene un segundo producto que son los puntos de muestreo (Figura 4), los cuales abarcan sitios propensos donde se pueden producir eventos de movimientos en masa.

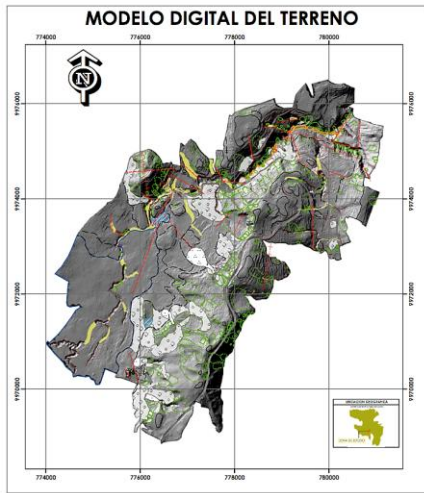


Figura 5: Modelo Digital del Terreno

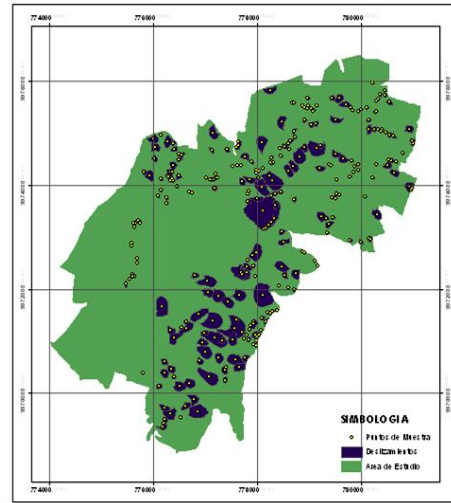


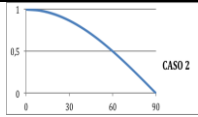
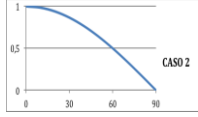
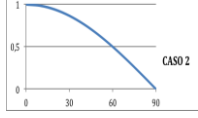
Figura 6: Puntos de muestreo sobre el área de estudio

ANÁLISIS DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LOGICA FUZZY

A continuación se analizará el comportamiento de cada variable que intervienen en los movimientos en masa, de acuerdo a los diferentes casos que existen en la metodología Fuzzy. Los casos serán explicados con más detalle posteriormente cuando se trate el tema de la metodología Fuzzy.

Tabla 2: Análisis de cada variable según casos Fuzzy

| VARIABLE | DESCRIPCION | GRAFICO |
|--|---|---|
| PENDIENTE (PEND) | Existe una relación directamente proporcional, es decir que mientras a mayor grado de pendiente exista, mayor será la probabilidad de ocurrencia de grandes o pequeños deslizamientos. | <p>Caso 3. Lógica Fuzzy. Pendientes.</p> |
| PRECIPITACION (PRECS) | Existe una relación directamente proporcional, es decir, que la influencia del agua lluvia en el terreno, provoca inestabilidad, por la tanto la ocurrencia de deslizamientos. | <p>Caso 3. Lógica Fuzzy. Precipitación.</p> |
| DISTANCIA A VIAS DE COMUNICACIÓN (DTS_VIAS) | La presencia de vías han influenciado en la inestabilidad del terreno, lo que provoca pequeños o grandes deslizamientos, es decir que mientras más corta sea la distancia de una vía en relación al terreno, mayor es la probabilidad de que se produzca dicho fenómeno y viceversa. | <p>Caso 2. Lógica Fuzzy. Distancia a Vías de comunicación</p> |
| DISTANCIA FALLAS GEOLOGICAS (DTS_FALLAS) | La actividad en una falla geológica, causan movimientos en el terreno, sean lentos o violentos, estos aumentan la probabilidad de que se produzcan eventos. Es decir que mientras la distancia del terreno a las fallas es pequeña, más probabilidades de que el terreno sea susceptible a deslizamientos. Si la distancia aumenta los deslizamientos tienes pocas probabilidades de que ocurran. | <p>Caso 2. Lógica Fuzzy. Distancia a Fallas Geológicas</p> |

| | | |
|--|---|--|
| DISTANCIA A RED HÍDRICA (DTS_HIDR) | El agua de ríos es causante de erosión con el tiempo, por lo mismo es causante de la inestabilidad del terreno, es decir, que mientras más pequeña es la distancia a estos es mayor la ocurrencia de deslizamientos y si la distancia va aumentando la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos es menor. |  <p>Caso 2. Lógica Fuzzy. Distancia a Red Hídrica.</p> |
| INFLUENCIA DE COBERTURA VEGETAL (VEGETAL) | La presencia de cobertura vegetal nos indica que mientras mayor sea la cantidad de la misma en el terreno, existirá menos grado de ocurrencia de deslizamientos, así mismo la ausencia de esta, da lugar a la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en mayor grado. |  <p>Caso 2. Lógica Fuzzy. Influencia Cobertura Vegetal.</p> |
| INDICE DE DUREZA DE LA ROCA (DUR) | Existe una relación indirectamente proporcional entre la resistencia de la roca a la erosión y la ocurrencia de deslizamientos, ya que mientras más resistente sea la roca existe menos probabilidades de que existan deslizamientos. |  <p>Caso 2. Lógica Fuzzy. Índice de Dureza de la Roca.</p> |

GENERACION Y AJUSTE DE MODELOS

Los diferentes modelos creados, se realizaron en un SIG, mediante operaciones algebraicas, posterior a ello se realizó su análisis. Para la obtención de los modelos se utilizó un software de sistemas de información geográfica, en este caso ArcGIS 9.3 y la herramienta Raster Calculator. Para obtener los modelos expuestos anteriormente es necesario agrupar las fórmulas, y escribirlas de forma que pueda ser utilizado en un programa SIG. Ver Tabla 3.

Tabla 3: Resumen del proceso SIG

| MODELO | DATOS UTILIZADOS | FORMULA NORMALIZACION | CONVERSION A RADIANTES | OBTENCION DE PROBABILIDAD |
|-----------------|---|--|--|--|
| MODELO 1 | Valores máximo (VM) y mínimo (Vm) de las variables originales (Vo) | $N = (V_o - V_m) / (V_M - V_m)$ | $R = N * (\pi/2)$ $\pi/2 = 1.5707963268$ <p>R = radianes</p> | $P = \sin (R) \quad (1)$ <p style="text-align: center;">O</p> $P = \cos (R) \quad (2)$ |
| MODELO 2 | Valores máximo (VM) y mínimo (Vm), excluyendo valores intermedios. Se obtienen a partir de puntos de muestreo. | $N = (V_o - V_m) / (V_M - V_m)$ | $R = N * (\pi/2)$ $\pi/2 = 1.5707963268$ <p>R = radianes</p> | $P = \sin (R) \quad (1)$ <p style="text-align: center;">O</p> $P = \cos (R) \quad (2)$ |
| MODELO 3 | Valores máximo (VM) y mínimo (Vm), a partir de los puntos de muestreo. Además del Valor más cercano = (1/289). Valor más lejano = (1 - (1/289)) | Los valores se utilizan previo a un análisis de ecuaciones mediante los casos de lógica fuzzy. $y - y_1 = \frac{((y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)) * (x - x_1)}$ | $R = N * (\pi/2)$ $\pi/2 = 1.5707963268$ <p>R = radianes</p> | $P = \sin (R) \quad (1)$ <p style="text-align: center;">O</p> $P = \cos (R) \quad (2)$ |

De acuerdo a este ajuste, todos los modelos muestran a su forma, la realidad de ocurrencia del fenómeno de deslizamientos, ya que al plantear los casos de Lógica Fuzzy, cada modelo muestra que su variabilidad es semejante a los datos reales tomados en campo. Esto permite conocer que los diferentes modelos de deslizamientos, muestran semejanza con la realidad, dependiendo de los valores de desviación estándar de cada uno de ellos, se puede saber qué modelo representa de mejor manera la realidad del terreno.

Se obtuvo las siguientes desviaciones estándar de los modelos aplicados:

Tabla 4: Desviaciones estándar de los modelos

| MODELOS PREDICTIVOS | | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | MODELO 1 | MODELO 2 | MODELO 3 | MODELO 4 |
| PROMEDIO | 0.283363 | 0.287414 | 0.286305 | 0.221055 |
| DESVIACION ESTANDAR | 0.076784 | 0.086394 | 0.08549 | 0.095627 |

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

Tabla 5: Ajuste de los modelos

| MODELOS PREDICTIVOS | | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | MODELO 1 | MODELO 2 | MODELO 3 | MODELO 4 |
| AJUSTE | 0.9232 | 0.91360 | 0.91451 | 0.90437 |

ANALISIS DE MODELOS OBTENIDOS

En los análisis Fuzzy desarrollados se plantearon varias ecuaciones utilizando herramientas SIG lo que permitió conocer qué modelo se ajusta mejor a la realidad del terreno, considerando que, en todos los modelos generados, se evidenciaron pequeñas inconsistencias en ciertas partes del área de estudio debido a la distribución no homogénea de puntos de muestra. Los modelos obtenidos se muestran en las figuras: 11 (modelo 1), 10 (modelo 2), 12 (modelo 3), 9 (modelo 4), respectivamente.

En los modelos se observa una escala de color determinada, ya que de esta forma se demostró con más claridad qué modelo concuerda con la realidad, es decir la semejanza que existe entre la metodología utilizada y la investigación en campo.

Cabe aclarar que en los modelos realizados con distintas ecuaciones pero muy semejantes entre ellos, las diferencias son muy escasas. Es decir que, se observó que las laderas del Panecillo, las vías principales que son Av. Simón Bolívar, Autopista General Rumiñahui, Av. Velasco Ibarra que parte de esta son las laderas orientales del parque Itchimbía y la zona de Monjas, están en tonalidades más oscuras, es decir las totalidades en color rojo más oscuro manifiestan la más alta probabilidad de susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de deslizamientos, las mismas que de acuerdo con los puntos de muestreo, concuerdan con la realidad del terreno verificada en campo. Las tonalidades en un rojo claro indican que la probabilidad de que ocurra un deslizamiento es módica y estas son en las zonas aledañas a las zonas donde existe máxima probabilidad de deslizamientos. Así como también las zonas de quebradas o rellenos que es por donde pasa el Río Machángara (modelo digital del Terreno Figura 5). Las zonas de color verde nos indican la menor probabilidad de ocurrencia de deslizamientos,

porque son zonas donde no existen los factores que intervienen en la producción de dicho fenómeno. La Figura 8 explica las zonas específicas de la zona total de estudio, y en la cual se puede comparar la compatibilidad de las zonas propensas a deslizamientos mediante los diferentes modelos de Lógica Fuzzy.

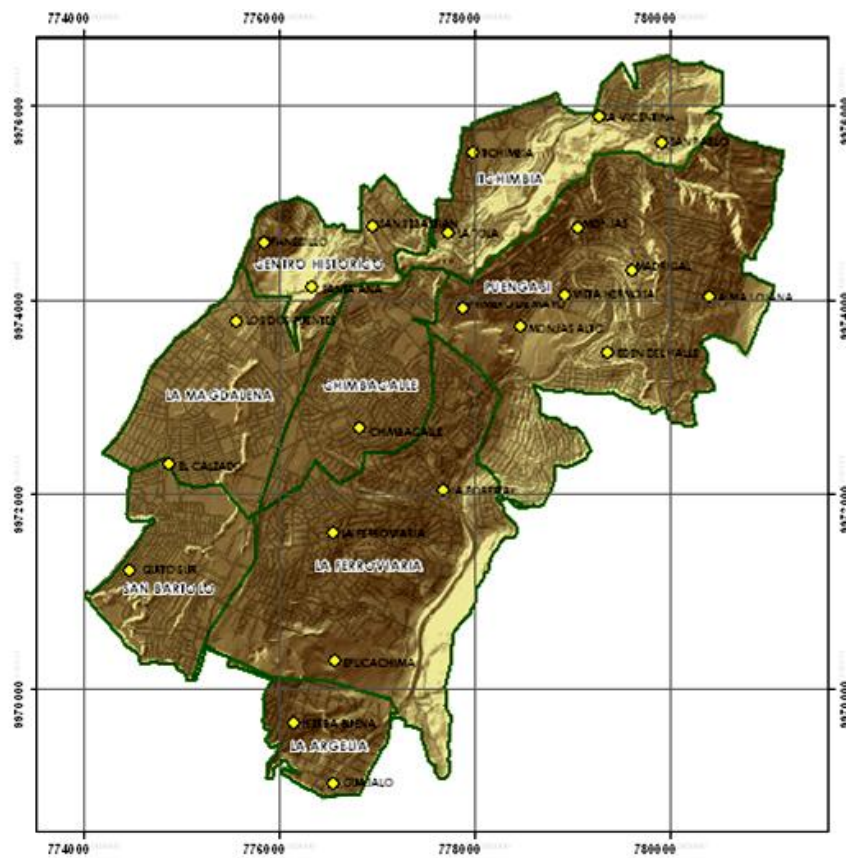


Figura 8: Parroquias dentro de la Zona de Estudio

Posterior a este análisis y de acuerdo al ajuste realizado, se puede decir que el modelo que mejor semeja a la realidad, es el modelo diez percentil (modelo 4), por ser el menor valor obtenido en el ajuste, pero se puede notar una gran inconsistencia en la zona sur oriental, debido a que este elimina los valores de los pequeños deslizamientos, por ende este modelo se podría tomar como un posible mapa de vulnerabilidad física de la zona.

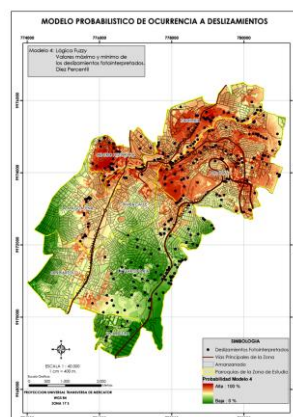


Figura 9: Modelo 4 (Posible Mapa de vulnerabilidad Física)

Por lo que el de acuerdo al ajuste realizado el menor valor es 0.91360 que corresponde al modelo donde se utilizan los valores máximo y mínimo de los puntos de muestra o deslizamientos fotointerpretados (modelo 2), y este es el modelo que mejor refleja la realidad del terreno susceptible a deslizamientos.

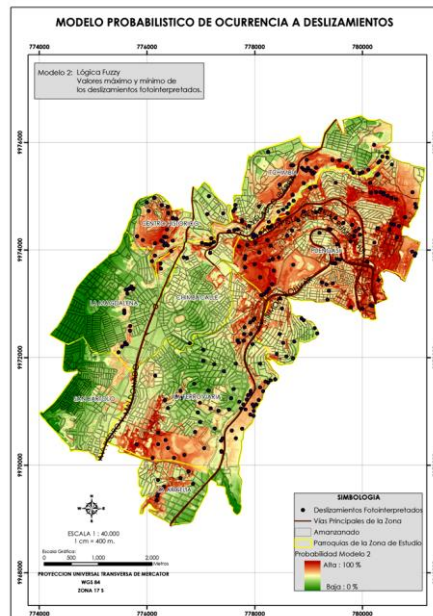


Figura 10: Modelo 2 (mejor modelo)

Como se dijo anteriormente los modelos son semejantes entre sí, su variación de desviación estándar y por ende su ajuste son mínimos, lo que se refleja en el modelo 1 y 3.

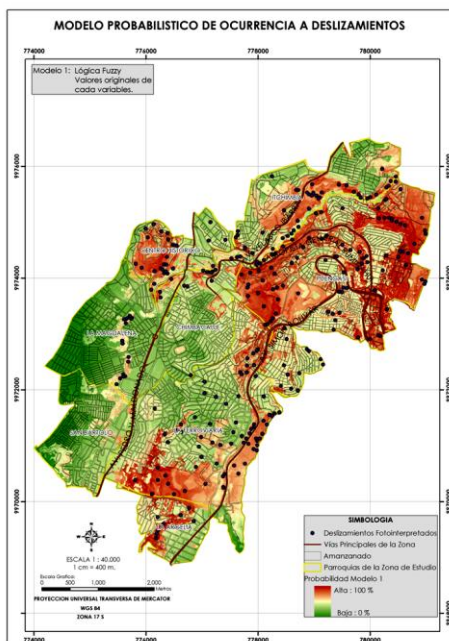


Figura 11: Modelo 1

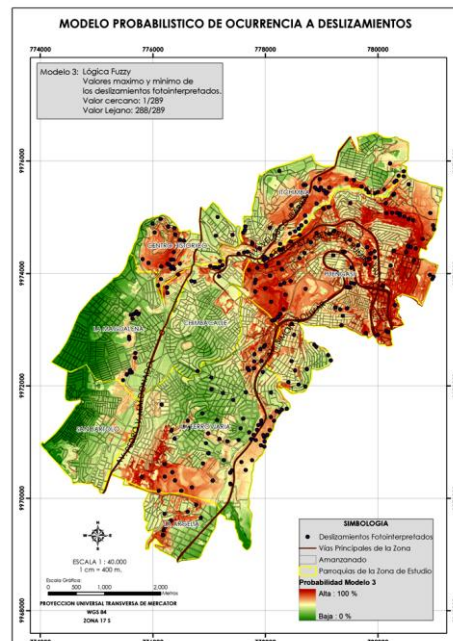


Figura 12: Modelo 3

IMPLEMENTACION DEL ALGORITMO (PROGRAMA)

La finalidad del proyecto es obtener los modelos resultantes mediante la aplicación de lógica Fuzzy y presentarlos de una forma sencilla, visual y en formatos informáticos compatibles con el software del mercado. Los resultados son archivos raster que contienen la información de la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en la zona de estudio en este caso.

Se presenta como resultado los cuatro raster que pertenecen a los cuatro modelos aplicados en la metodología Fuzzy. En los cuales se pueden diferenciar las tonalidades aunque se utilicen la misma paleta de colores. Esto es por los valores y ecuaciones relativamente iguales, utilizados en cada modelo.

Presentación del Programa

El programa presenta en su pantalla principal la zona donde se plotea en primer lugar las variables que se va seleccionando, las cuales ingresan al programa como archivo GeoTIFF, y por último los modelos después de los procesos de cálculo (Figura 13).

Existe un panel donde se imprimen los valores de los rangos que se va a utilizar en los cálculos de cada modelo. Así como también un menú desplegable donde se selecciona el modelo en el cual se quiere trabajar.

Además del botón de ayuda donde se describe el manual de usuario que explica claramente cómo funciona en si la totalidad del programa. Un botón de información que son los autores de este proyecto y el botón de salida del programa. (Figura 14).

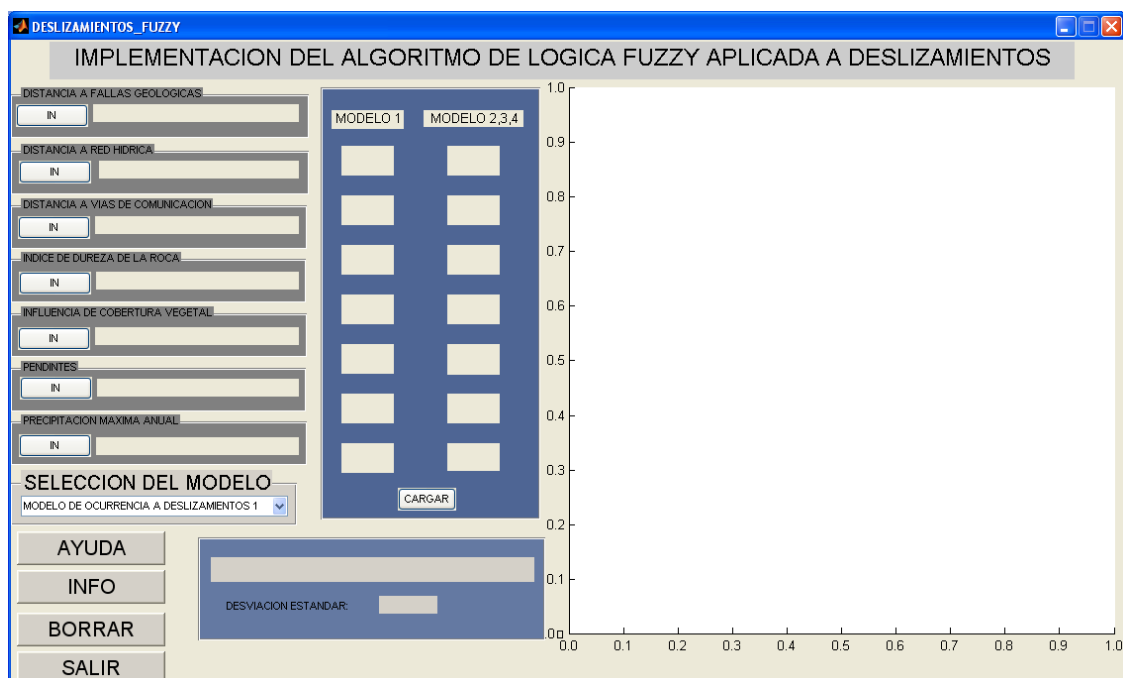


Figura 13: Pantalla Principal

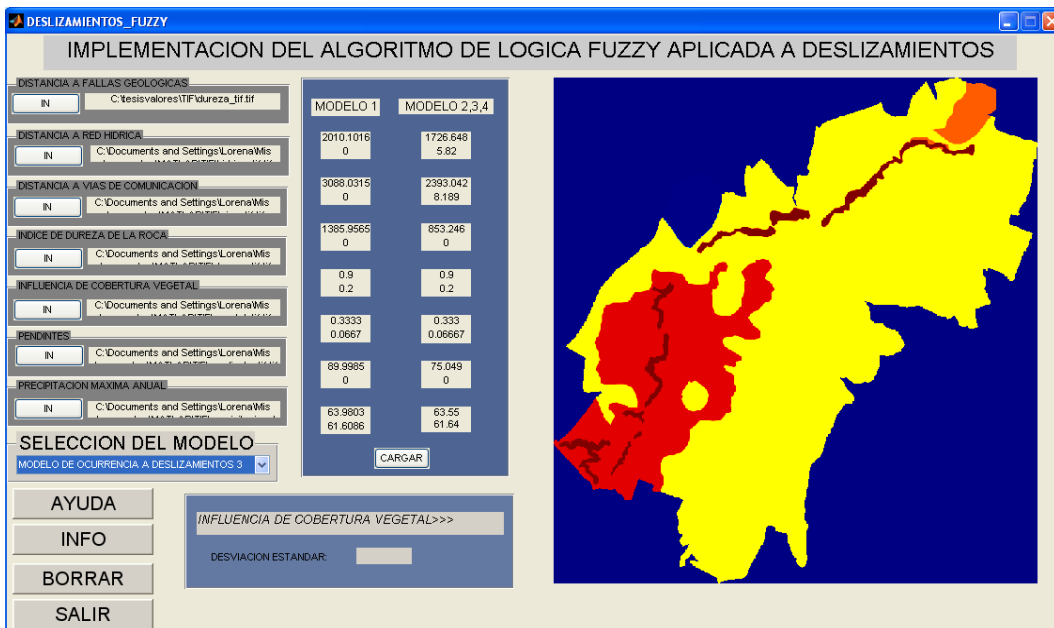


Figura 14: Visualización de las variables

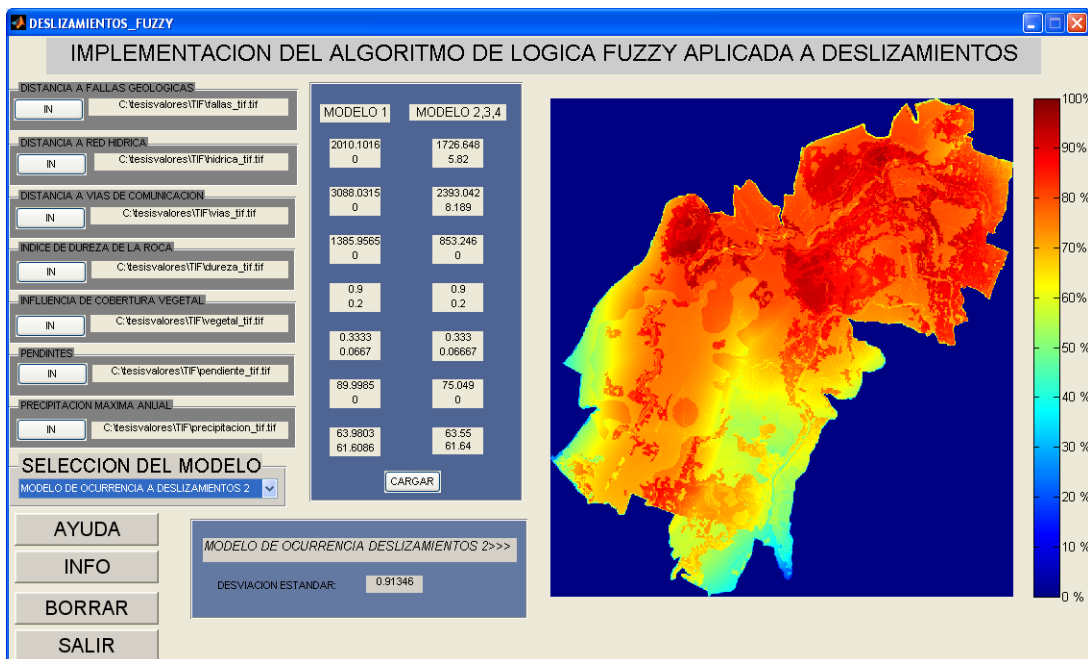


Figura 15: Funcionalidad Total

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

AVILES MARCO, HERMOSA LIZZETTE, “Análisis y modelamiento de susceptibilidad a deslizamientos mediante SIG y geoestadísticas en las parroquias de Papallacta y Cuyuja, Cantón Quijos”. Tesis de Grado, ESPE, 2009.

CAMPOS CECIBEL, REYES XIMENA, RODRÍGUEZ XIMENA, “Desarrollo de una aplicación SIG orientada a la administración de riesgos volcánico y sísmico en el tramo de la carretera Papallacta-Lago Agrio, y por movimientos en masa en el tramo Papallacta – Baeza.” Tesis de Grado, ESPE, 2003

CARRANZA DAVID, “Aplicación de la lógica difusa para la ubicación de especies faunísticas y florísticas, y su comparación con otros métodos geoestadísticos”, Tesis de Grado, ESPE, 2008.

CERECEDA, IRMA CRISTINA, ”Uso de los SIG en el análisis de susceptibilidad y predicción de deslizamientos”, 2005.

FUNDACIÓN WICKIPEDIA. INC. “Licencia Creative Commons Atribución Compartir Igual 3.0”

J. CUAVAS, A. OSORIO, Sistema interactivo de apoyo al Riesgo, guías y manuales de Terreno. Determinación de la textura del suelo en el terreno. SIAR. Limarí.

MATHWOKS_ MATLAB, “The lenguaje of Technical Computing”

OBERMEYER Y PINTO, “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”, 1994.

ORELLANA HERNAN, ZEA JOSE, “Peligrosidad de terrenos inestables en Quito, detección y mitigación. Sub – proyecto No. 5. CODIGEM.”, 1993

PADILLA OSWALDO, “Fundamento teórico para la modelización de variables ambientales mediante operadores difusos”. Revista Geoespacial No.4.

PEREZ, MARCO ANTONIO, “Sistemas de lógica Difusa”, 2003.

QUINTANILLA, IRMA CRISTINA, “Uso de los SIG en el análisis de susceptibilidad y predicción de Deslizamientos”, 2004.