



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA

“DETERMINACIÓN DE ZONAS AMENAZADAS POR MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIONES EN LAS MICROCUENCAS DEL RÍO SAN ANTONIO Y DEL ESTERO RONCADOR”

Angélica Isabel Ragonessi Guzmán
Diana Guadalupe Soto Erazo

Sangolquí – Ecuador

Junio – 2010

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por las Señoritas Angélica Isabel Ragonessi Guzmán y Diana Guadalupe Soto Erazo, y que han cumplido con los requisitos establecidos para un proyecto de tesis como documento previo a la obtención del Título de Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente.

Sangolquí, 21 de Junio del 2010.

Ing. Guillermo Beltrán
DIRECTOR

Ing. Ginella Jácome
CO-DIRECTORA

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre a mi lado, por darme fuerzas en los momentos que más he necesitado y por permitirme cumplir con esta meta.

A mi padre, José Carlos, por ser un gran padre, por quererme mucho, por darme el ejemplo de ser una persona muy trabajadora y honesta. Te quiero mucho.

A mi madre, Jeannette, por ser la madre que es, por apoyarme en todo lo que has podido, y que a pesar de nuestras diferencias te agradezco todo, esto no hubiese sido posible sin ti. Que sea la primera pero no la última razón para que estés orgullosa de mí. Te quiero mucho.

A mis hermanos: Nuta, Coche y Jean Pierre, por la ayuda de cada uno en su debido momento. Los quiero mucho.

A dianita, "alma gemela", por todo lo compartido y aprendido tanto en lo profesional como en lo personal, por tener la oportunidad de conocerte mejor y saber que ahora tengo una muy buena amiga, las cosas pasan por algo. No nos dejamos vencer por nada. Lo logramos!!!

Te quiero mucho.

Ange.

DEDICATORIA

La siguiente dedicatoria es para una mujer que me ha demostrado día tras día que no hay nada imposible en este mundo, una mujer única, **magnánima**, llena de fuerza y ternura, **mi madre**. Este trabajo no debería llevar mi nombre sino el tuyo porque eres tú quien que hizo esto posible.

A mi padre por guiarme desde que llegue a su vida, por dejarme ser libre y sobre todo por amarme tal y como soy, no olvide papá que su espíritu aventurero es que el que poseo y es el que me impulsa a seguir.

Gracias Padres.

A mis hermanos Ramirito, Magalita, Daltito, Sylvannita, Carlitos, Belencita, y Alejandrita, a cada uno de ellos por su ejemplo, paciencia, pero sobre todo por su cariño y amor.

A mis cuñados Claudia, Gaby y Cesítar, por apoyarme y sobre todo por ser una compañía para mis hermanos.

Gracias Hermanos.

A mis sobrinos Alejandrita, Emilita, Pamelita y Cesítar por ser una luz que ilumina y abriga todo lugar en el que se encuentran, por brindarme esos abrazos y besos que sinceramente fueron medicina para mi alma.

Gracias Angelitos

A Sandrita y Alejandrita por ser mis amigas, por estar conmigo en las buenas y en las malas, por llorar junto a mí, por quererme y preocuparse, por los papelitos con mensajes de ánimo, las cartas, pero sobre todo por su gran alma.

Gracias por llegar a mi vida.

A Ange por su voluntad, paciencia y carácter para continuar en un camino que fue lleno de enormes rocas, por ser mi compañía y fuerza en este trayecto, que nos pareció largo pero en realidad duró lo que tenía que durar. Dios sabe como hace las cosas y sabe muy bien qué es lo mejor para cada uno de nosotros y él te puso en mi camino y no sé equivoco porque he aprendido mucho de ti. No olvides que siempre que necesites ahí estaré.

Gracias Ange, mi *alma gemela*

Este pequeño paso en mi vida no le resta importancia a los que le antepusieron porque sé que en cada uno de ellos estabas tú, Ramirito y para mí eso es suficiente...

Diana.

AGRADECIMIENTO

A nuestro director, Ing. Guillermo Beltrán, por ser una persona siempre dispuesta a tender una mano al que lo necesita, por su amabilidad, profesionalismo y calidad humana, llegando a ser un gran ejemplo a seguir para nosotras.

A nuestra co-directora, Ing. Ginella Jácome, por ser una guía en el desarrollo de este proyecto, por su disponibilidad para ayudarnos y aconsejarnos a ser más diplomáticas.

Al Ing. Francisco León, Panchito, por su amistad brindada, por ayudarnos tanto, por sus consejos, por preocuparse por nosotras, en fin por tantas cosas y momentos compartidos, mil gracias.

Al Ing. Iván Medina, Iván Arturo, por su ayuda prestada, por su sinceridad y por su gran amistad.

Al Crnel. Salazar, por ser nuestro apoyo, por su ayuda y por no dejarnos solas en nuestros momentos críticos.

Al Dr. Alfonso Tierra, por aconsejarnos a pesar de no haberle hecho caso, por sus conocimientos y sabiduría compartida.

Y a todos nuestros profesores que han compartido sus conocimientos y experiencias durante esta etapa: Crnel. Medrano, Ing. Pérez, Ing. Robayo, Ing. Andrade, Ing. Atiaga, Ing. Naranjo, Ing. Luna, Ing. Villacís y el resto de nuestros profesores.

Al Crnel. Ricardo Urbina, por darnos el respaldo y apoyo en la realización del proyecto, por demostrarnos que a pesar de ser el director de CLIRSEN tomó un poco de su tiempo para compartir con nosotras.

Al Mayor Dehivi Salgado, por abrirnos las puertas y ventanas de CLIRSEN de par en par, por motivarnos a seguir adelante. Gracias por ser parte de CLIRSEN.

Al Ing. Lino Verduga, por habernos ayudado tanto, por permitirnos conocerlo y ser nuestro amigo.

Al Ing. Jorge Coloma, Coco, por ser tan bello, por portarse muy bien con nosotras, por prestarnos su escritorio y brindarnos su amistad.

Y a todos los demás profesionales de CLIRSEN que nos prestaron su ayuda en su momento, gracias.

A SIGTIERRAS, por facilitarnos la cartografía temática para el desarrollo de este proyecto.

Ange y Diana

AGRADECIMIENTO

Andrea, “mai fríen”, eres mi otro yo, te conozco....., muchas gracias por todo todo todo, realmente no me alcanzan las palabras. Siempre estaremos juntas.

Mis perringos: Jorge, Byron, Lore, Rosa y otra vez a Andrea, por ser los mejores amigos, por todo lo que hemos pasado juntos, por ser y por que seguirán siendo parte de mi vida. Gracias!!! Los amo carajo.

A un gran hombre, por su amistad, por su apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado, por preocuparse por mí, por ayudarme a levantarme cuando he caído, por ayudar a mi familia y sobre todo por aguantarme. Gracias por ser como eres David.

A mi Carlitos, por su sincera y eterna amistad. A mis demás amigos: Carla, Richi, Mary, Claudia, Miki, Franklin y los que me falten.

Ange.

A Sandrita, mi Samwich, que aunque no llevamos la misma sangre somos hermanas de corazón, por enseñarme que la amistad sinónimo de cariño rompe límites de tiempo y espacio

A Myri, Pollito despeinado, que es una grandiosa, única y formidable amiga y mujer, por permitirme entrar en tu vida y compartir una amistad tan linda.

A Janeth, mi jefa, por tu amistad y sinceridad desde primer día que nos conocimos, por ser tan leal y jamás creer lo que otros hablen hasta escucharte primero.

Gracias a ustedes por ser mis mejores amigas

A mis amigos Claudia, Anita, Andre (Ino), Joa, Rosita, Andre Santa, Mary, Byron, Jorge, Carlitos, Miki, Richi, Pepita, Pancho, Nicolay, Ange V., Diani, Maritza, Caro, Raquel, Geovanotti, Bruja, Chicho, Huguito, Natilla, Eli, Pau-pau, Carlita, Santiago, Marco, Juan Carlos, Marucho, Rosita Q., Marquito Á, Mario J, Marco y Edison C., Bichito, Franklin, Carlitos Álvarez, Ivancho Vinueza, David “nuestro tercer compañero de trabajo”, que aunque sé que por ciertas circunstancias no he compartido lo que debí con ustedes los llevo en mi corazón y siempre podrán contar conmigo.

A cada uno de los compañeros de GeoPlaDes y de Newvis.

Gracias Amigos.

Diana.

RESUMEN

Las inundaciones y los movimientos en masa son fenómenos naturales que llaman la atención a nivel mundial, principalmente por las posibles consecuencias que éstos puedan tener en áreas donde existen intereses humanos. En el Ecuador, la mayoría de estos acontecimientos coinciden con la presencia de lluvias estacionales, existiendo registros históricos que demuestran el peligro constante al que se enfrentan ciertas áreas caracterizadas por estos eventos.

En el presente estudio se plantea dos metodologías para determinar, en primera instancia, la amenaza por movimientos en masa en la microcuenca del río San Antonio (cantón Chillanes), y posteriormente, la amenaza por inundaciones en la microcuenca del estero Roncador (cantón Salitre).

Se presenta una tabla comparativa de seis metodologías planteadas por diferentes autores, en la cual se describen los factores de intervención y las escalas de trabajo aplicables. Adicionalmente, se expone una clasificación de los diferentes movimientos en masa e inundaciones.

La metodología identificada como la más idónea para el análisis de la amenaza por movimientos en masa plantea como principales factores: la pendiente, cobertura vegetal y uso de suelo, humedad, geología, precipitación, sismicidad, concentración de flujo de agua, e infraestructura vial. A cada uno de estos factores le ha sido asignado un peso o valor de ponderación, de acuerdo a su influencia dentro del fenómeno, para la obtención del mapa final. En el caso de la amenaza por inundaciones, se plantea una metodología en la cual, por su relevancia, se pondera los factores: pendiente, cobertura vegetal y uso de suelo, suelos, y precipitación.

Se describe el procedimiento para la obtención de cada uno de los resultados finales, mediante la utilización del software ArcGIS 9.2,

SUMMARY

Flooding and landslides are natural phenomenon which catch global attention, mainly because of their possible consequences over areas where human interests exist. In Ecuador, the majority of these events overlap with the presence of seasonal rainfall, of which, historic data shown the permanent hazard that some areas, characterized with these events, have to confront.

The current study raises two methodologies which initially establish the threat of landslides over the San Antonio river microbasin (Chillanes town). Later, it raises the threat of flooding over the Roncador stream microbasin (Salitre town).

A comparative table of six methodologies from different authors is shown. This table describes some of the main factors involved in the occurrence of landslides and flooding events, as well as the suggested scales to work with.

The methodology identified as the more suitable for analyzing the threat for landslides establishes as main factors: the slope, land use and vegetation cover, humidity, geology, rainfall, seismicity, water flow concentration, and road infrastructure. Each of these factors has been assigned a specific weight value, according to its influence in the phenomenon, in order to obtain the final map. For the threat for flooding, the proposed methodology establishes as relevant factors to be weighted: the slope, land use and vegetation cover, soils, and rainfall.

The process to obtain each of the final results is also described, by using ArcGIS 9.2 software.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1: ASPECTOS GENERALES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.3 OBJETIVO GENERAL	5
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5 METAS	6
1.6 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	6
1.7 ÁREA DE INFLUENCIA	8
1.8 DISEÑO DEL PROYECTO	9
CAPITULO 2: MARCO CONCEPTUAL	12
2.1 EVENTO DE MOVIMIENTO EN MASA	12
2.1.1 CONCEPTO	12
2.1.2 MORFOLOGÍA DE UN DESLIZAMIENTO	13
2.1.3 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA	15
2.1.4 ACTIVIDAD Y PELIGROSIDAD DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA	21
2.1.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS MOVIMIENTOS EN MASA	24
2.2 EVENTO INUNDACIÓN	30
2.2.1 CONCEPTO	30
2.2.2 TIPOS DE INUNDACIONES	31
2.2.3 CAUSAS DE LAS INUNDACIONES E INFLUENCIA DEL FENÓMENO CLIMÁTICO EL NIÑO	37
2.2.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS INUNDACIONES	40
2.3 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LAS MICROCUENCAS	42
2.4 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES	44
2.5 MÉTODOS EXISTENTES	46
2.6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	51
2.7 MODELOS CARTOGRÁFICOS	53
2.8 SUSCEPTIBILIDAD	53
2.9 AMENAZA NATURAL	54
2.9.1 TIPO DE AMENAZA Y UBICACIÓN	55
2.9.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	56
2.9.3 GRADO DE AMENAZA	57
CAPITULO 3: METODOLOGIA	58
3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	58
3.2 EVALUACIÓN DE LA CARTOGRÁFICA BASE Y TEMÁTICA	59
3.2.1 CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA	59
3.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES	59
3.2.3 DIGITALIZACIÓN	59
3.3 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LAS MICROCUENCAS	62
3.4 MÉTODO PROPUESTO PARA MOVIMIENTOS EN MASA	63
3.4.1 MODELO TEMÁTICO DE MOVIMIENTOS EN MASA	64
3.4.2 PENDIENTE	65
3.4.3 COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	67
3.4.4 GEOLOGÍA	68
3.4.5 HUMEDAD	70

3.4.6	CONCENTRACIÓN DE FLUJO DE AGUA	72
3.4.7	INFRAESTRUCTURA VIAL	77
3.4.8	PRECIPITACIONES	78
3.4.9	SISMICIDAD	80
3.4.10	MODELO CARTOGRÁFICO DE LAS ÁREAS AMENAZADAS POR MOVIMIENTOS EN MASA	82
3.5	MÉTODO PROPUESTO PARA INUNDACIONES	83
3.5.1	MODELO TEMÁTICO DE INUNDACIONES	84
3.5.2	PENDIENTE	85
3.5.3	COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	86
3.5.4	SUELOS	88
3.5.5	CONCENTRACIÓN DE FLUJO DE AGUA	90
3.5.6	PRECIPITACIONES	92
3.5.7	MODELO CARTOGRÁFICO DE ÁREAS AMENAZAS POR INUNDACIONES.	94
CAPÍTULO 4: RESULTADOS		95
4.1	DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LAS MICROCUENCAS	95
4.2	FACTORES DEL MODELO PARA MOVIMIENTOS EN MASA	98
4.2.1	PENDIENTE	98
4.2.2	COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	98
4.2.3	GEOLOGÍA	100
4.2.4	HUMEDAD	102
4.2.5	CONCENTRACIÓN DE FLUJO DE AGUA.	103
4.2.6	INFRAESTRUCTURA VIAL	103
4.2.7	PRECIPITACIONES	104
4.2.8	SISMICIDAD	104
4.3	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS PARA MOVIMIENTOS EN MASA	105
4.3.1	DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE AMENAZA PARA MOVIMIENTOS EN MASA	107
4.4	FACTORES DEL MODELO PARA INUNDACIONES	108
4.4.1	PENDIENTE	108
4.4.2	COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	108
4.4.3	SUELOS	109
4.4.4	CONCENTRACIÓN DE FLUJO DE AGUA	110
4.4.5	PRECIPITACIONES	111
4.5	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS PARA INUNDACIONES	112
4.5.1	DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE AMENAZA PARA INUNDACIONES	113
4.5.2	ESTIMACIÓN DEL CAUDAL	113
4.5.3	ESTIMACIÓN DE CAUDALES A PARTIR DE PERFILES TRAZADOS	114
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		115
5.1	CONCLUSIONES	115
5.2	RECOMENDACIONES	118
ANEXOS		121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.1.1. Datos agrícolas de la cuenca del río Guayas.	3
Tabla.1.2. Mapas temáticos a escala de trabajo 1:25000.....	6
Tabla.1.3. Área y perímetro de las microcuencas de estudio	6
Tabla.1.4. Coordenadas utm wgs84 de la zona de estudio.	7
Tabla.1.5. Parroquias pertenecientes de la zona de estudio.	8
Tabla.2.1. Factores que influyen en la estabilidad del terreno	24
Tabla.2.2. Factores que influyen en las inundaciones.....	40
Tabla. 2.3. Métodos existentes.....	48
Tabla.2.4. Tipos de amenaza.	55
Tabla.2.5. Escalas recomendadas para la zonificación de amenazas referentes a un fenómeno. .	57
Tabla. 3.1. Elementos digitalizados de la microcuenca del río san antonio.....	60
Tabla. 3.2. Características de los elementos digitalizados.	60
Tabla. 3.3. Parámetros de forma.	62
Tabla. 3.4. Parámetros de relieve.....	62
Tabla. 3.5. Parámetros relativos a la red hidrográfica.	63
Tabla. 3.6. Clases de pendientes y condiciones del terreno.....	65
Tabla. 3.7. Calificación para el tipo de vegetación y uso del suelo para movimientos en masa.	67
Tabla.3.8. Calificación del factor litológico.	69
Tabla. 3.9. Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia	71
Tabla. 3.10. Valoración del parámetro humedad del terreno.	71
Tabla. 3.11. Estaciones meteorológicas más cercanas a la microcuenca del río San Antonio.....	78
Tabla. 3.12. Calificación del factor lluvias.	78
Tabla. 3.13. Calificación del factor sismicidad.....	80
Tabla. 3.14. Clases de pendientes y condiciones del terreno.....	85
Tabla. 3.15. Calificación para el tipo de vegetación y uso del suelo para inundaciones.....	87
Tabla. 3.16. Calificación del factor suelos por textura.	89
Tabla. 3.17. Estaciones meteorológicas más cercanas a la microcuenca del estero Roncador	92
Tabla. 3.18. Calificación del factor lluvias.	92
Tabla. 4.1. Resultados de los parámetros de forma.	95
Tabla. 4.2. Resultado de los parámetros de relieve.	96
Tabla. 4.3. Resultados de los parámetros relativos a la red hidrográfica.	97
Tabla. 4.4. Resultados de la asignación de pesos a la pendiente de la microcuenca del río San Antonio.	98
Tabla. 4.5. Tipos de cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del río San Antonio.....	99
Tabla. 4.6. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del río San Antonio.....	99
Tabla. 4.7. Unidades litológicas de la microcuenca del río San Antonio.	101
Tabla. 4.8. Resultados de la asignación de pesos a la litología de la microcuenca del río San Antonio.	101
Tabla. 4.9. Valoración del parámetro de humedad.....	102
Tabla. 4.10. Resultados de la asignación de pesos a la humedad relativa de la microcuenca del río San Antonio.....	102
Tabla. 4.11. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura de concentraciones de flujo de aguas para la microcuenca del río San Antonio.....	103
Tabla. 4.12. Resultados de la asignación de pesos para infraestructura vial de la microcuenca del estero Roncador.	103
Tabla. 4.13. Resultados de la asignación de pesos a la precipitación de la microcuenca del río San Antonio	104

Tabla. 4.14. Resultados de la asignación de pesos a la sismicidad de la microcuenca del río San Antonio.	104
Tabla. 4.15. Comparativa de los modelos obtenidos para la determinación de la amenaza por movimientos en masa de la microcuenca del río San Antonio.....	105
Tabla. 4.16. Grados de amenaza por movimientos en masa.....	107
Tabla. 4.17. Resultados de la asignación de pesos a la pendiente de la microcuenca del estero Roncador	108
Tabla. 4.18. Cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del estero Roncador.....	108
Tabla. 4.19. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del estero Roncador.	109
Tabla. 4.20. Resultados de la asignación de pesos a los suelos de la microcuenca del estero Roncador.	110
Tabla. 4.21. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura de concentraciones de flujo de aguas para la microcuenca del estero Roncador.	110
Tabla. 4.22. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura de precipitaciones de la microcuenca del estero Roncador.	111
Tabla. 4.23. Comparativa de los modelos obtenidos para la determinación de la amenaza por inundaciones de la microcuenca del estero Roncador	112
Tabla. 4.24. Grados de amenaza por inundaciones.	113
Tabla. 4.25. Datos obtenidos.....	114
Tabla. 4.26. Valores de caudales para un período de retorno de un año.....	114
Tabla. 4.27. Caudales de acuerdo a cada perfil trazado.	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1.1. Inundaciones.....	4
Figura.1.2. Inundaciones.....	5
Figura.1.3. Ubicación de la microcuenca del río San Antonio.....	7
Figura.1.4. Ubicación de la microcuenca del estero Roncador.....	8
Figura.1.5. Estructura del diseño del proyecto.....	9
Figura.2.1. Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.....	13
Figura.2.2. Deslizamiento lento.....	15
Figura.2.3. Deslizamiento rápido.....	15
Figura.2.4. Caída.....	16
Figura.2.5. Vuelco.....	17
Figura.2.6. Deslizamiento.....	17
Figura.2.7. Flujo.....	18
Figura.2.8. Reptación.....	19
Figura.2.9. Extensión lateral.....	19
Figura.2.10. Deformación sin roturas.....	20
Figura.2.11. Movimientos complejos.....	20
Figura.2.12. Movimientos por discontinuidad estructural.....	21
Figura.2.13. Movimiento activo.....	22
Figura.2.14. Movimiento en suspenso.....	22
Figura.2.15. Movimiento reactivo.....	23
Figura.2.16. Movimiento inactivo.....	23
Figura.2.17. Inundación en Jujan.....	31
Figura.2.18. Inundación in situ.....	32
Figura.2.19. Desbordamiento del río Cristal, cantón Montalvo.....	32
Figura.2.20. Inundación por la ruptura de una represa en Cocal, Brasil.....	33
Figura.2.21. Inundación súbita en aguas calientes, Perú.....	34
Figura.2.22. Inundación en la provincia de Guayas.....	34
Figura.2.23. Inundación extraordinaria.....	35
Figura.2.24. Inundación ordinaria.....	36
Figura.2.25. Inundación extraordinaria.....	36
Figura.2.26. Inundación catastrófica.....	37
Figura.2.27. Fase metodológica para la caracterización física de la microcuenca.....	42
Figura.2.28. Aster gdem de la cuenca del río Guayas.....	45
Figura.2.29. Procesos de un SIG.....	51
Figura.3.1. Instituciones colaboradoras.....	58
Figura. 3.2. Diagrama del proceso de digitalización.....	61
Figura.3.3. Reglas topológicas de elementos lineales.....	61
Figura. 3.3. Modelo temático para movimientos en masa.....	64
Figura. 3.4. Flujo de datos de la capa de pendientes de río San Antonio.....	66
Figura. 3.5. Flujo de datos de la capa de cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del río San Antonio.....	68
Figura. 3.6. Flujo de datos de la capa de litología de la microcuenca del río San Antonio.....	70
Figura.3.7. Flujo de datos de la capa de humedad de la microcuenca del río San Antonio.....	72
Figura. 3.8. Ventana de opción general para la exportación.....	73
Figura. 3.9. Ventana de opción export bounds para la exportación.....	74
Figura. 3.10. Ventana de propiedades del mapa de vectores.....	74
Figura. 3.11. Flujo de datos de concentración de flujo de agua para la microcuenca del río San Antonio.....	76

Figura. 3.12. Flujo de datos de la capa de infraestructura vial de la microcuenca del río San Antonio.	77
Figura. 3.13. Flujo de datos de la capa de precipitación de la microcuenca del río San Antonio.	79
Figura. 3.14. Flujo de datos de la capa de sismicidad de la microcuenca del río San Antonio.	81
Figura. 3.15. Flujo de datos de la capa áreas amenazadas por movimientos en masa.	82
Figura.3.16. Modelo temático para inundación.	84
Figura. 3.17. Flujo de datos de la capa de pendientes del estero Roncador.	86
Figura. 3.18. Flujo de datos de la capa de cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del estero Roncador.	88
Figura. 3.19. Flujo de datos de la capa de suelos para la susceptibilidad a inundaciones.	89
Figura. 3.20. Flujo de datos de concentraciones de flujo de aguas para la microcuenca del estero Roncador.	91
Figura. 3.21. Flujo de datos de la capa de precipitación de la microcuenca estero Roncador.	93
Figura. 3.22. Flujo de datos de áreas amenazadas por inundaciones.	94

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: VALIDACIÓN DE LA INFORMACION CARTOGRÁFICA	122
A.1 Evaluación de la cartográfica base y temática	123
A.2 Evaluación del Aster GDEM.....	126
ANEXO B: REGISTROS DE PRECIPITACIONES PARA LA ESTIMACION DE LA HUMEDAD	129
B.1 Registros de la estación Chillanes	130
B.2 Registros de la estación río San Antonio	131
B.3 Registros de la estación Pallatanga	131
B.4 Registros de la estación Chimbo DJ Pangor.....	132
ANEXO C: FOTOS	133
Foto. C.1. Movimiento en masa por fracturamiento y pendientes fuertes.	134
Foto. C.2. Movimiento en masa por meteorización y construcción de la vía.....	134
Foto. C.3. Movimiento en masa por fracturamiento y construcción de la vía.	134
Foto. C.4. Cobertura vegetal de la microcuenca del río san antonio.....	135
Foto. C.5. Asentamientos humanos dispersos de la microcuenca del río san antonio.	135
Foto. C.6. Pendientes y cobertura vegetal de la microcuenca del río san antonio.	135
Foto. C.7. Talud.....	136
Foto. C.8. Dimensión de un movimiento en masa.....	136
Foto. C.9. Vegetación y talud.	137
Foto. C.10. Vegetación de la microcuenca del río san antonio.....	137
Foto. C.11. Estero roncador en la zona de rosa de oro, cantón daule.	138
Foto. C.12. Área de afectación de las inundaciones, área de desborde del cauce.	138
Foto. C.13. Zona de anegación, peces muertos.....	139
Foto. C.14. Estero roncador.	139
Foto. C.15 colonos de la zona.	140
Foto. C.16. Escuela localizada en la llanura de inundación.....	140
Foto. C.17. Viviendas localizadas en la llanura de inundación.	141
Foto. C.18 zona agrícola a orillas del estero roncador.	141
Foto. C.19. Zonas anegables.	142
Foto. C.20. Viviendas afectadas en las inundaciones.	142
Foto. C.21. Viviendas afectadas, con zonas de anegamiento, posible poco de enfermedades.	143
Foto. C.22. Caballos pastando en zona de anegación.....	143
ANEXO D: CAUDAL	144
D.1 Estimación del caudal	145
D.2 Estimación de caudales a partir de perfiles trazados	148
ANEXO E: MAPAS	151
E.1 Microcuenca del río San Antonio	151
1. Mapa de Orientación	152
2. Mapa de Pendientes	153
3. Mapa de Cobertura vegetal y uso del suelo	154
4. Mapa Geológico	155
5. Mapa de Humedad.....	156
6. Mapa de Concentración de flujo de agua.....	157
7. Mapa de Afectación vial	158
8. Mapa de Isoyetas.....	159
9. Mapa de Sismicidad.....	160
10. Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa (modelo F)	161
11. Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa (modelo B)	162
E.2 Microcuenca del estero Roncador	151
1. Modelo digital de elevaciones.....	163
2. Mapa de Pendientes	164
3. Mapa de Cobertura vegetal y uso del suelo	165
4. Mapa de Suelos	166
5. Mapa de Concentración de flujo de agua.....	167
6. Mapa de Isoyetas.....	168
7. Mapa de Amenaza por Inundaciones (modelo A)	169
8. Mapa de Amenaza por Inundaciones (modelo D)	170

GLOSARIO

- **Afloramiento Rocoso** Se aplica al lugar que está lleno de rocas.
- **Afluente** Se considera al río que desemboca en otro río, que tiene menos caudal y menos cuenca de recepción que el río principal. También llamado tributario
- **Altitud** Altura. Altura de un punto de la Tierra con relación al nivel del mar.
- **Aluvión** Corriente de agua que ha sufrido una crecida brusca y se desplaza de manera rápida y violenta.
- **Anegamiento** Se refiere a un tipo de inundación de un terreno por un aumento del nivel freático (capa superior del agua subterránea).
- **Azolvamiento** Fenómeno en el cual se acumula los sedimentos acarreados por el agua en los lechos de ríos, presas, depósitos subterráneos, etc.
- **Ciclo hidrológico** Describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra. Es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al océano después de pasar por las etapas de precipitación, escorrentía superficial y/o escorrentía subterránea.
- **Cuenca hidrográfica** Es una unidad territorial limitada por la divisoria de aguas, formada por componentes o conjunto de factores: biofísicos, económicos, sociales y culturales que se interrelacionan entre sí, para proveer o dar bienestar a todos los habitantes inmersos dentro de ella.
- **Denudación** Desprendimiento o desaparición de la parte más externa de la corteza terrestre a causa de la erosión.
- **Desastre** Es un hecho natural o provocado por el hombre que afecta negativamente a la vida, al sustento o a la industria, desembocando con frecuencia en cambios permanentes en las sociedades humanas, ecosistemas y medio ambiente
- **Digitalización** Proceso de conversión de una variable física expresada analógicamente en una representación digital.
- **Escorrentía** Es la lámina de agua que circula en una cuenca hidrográfica.
- **Erosión** Alteración de la superficie de la Tierra por la acción de agentes externos, como las lluvias, el viento o las olas del mar.

- **Evapotranspiración** Cantidad de agua perdida por un terreno mediante la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas que lo cubren.
- **Extrapolación** Acción de extrapolar: la extrapolación de los resultados en las elecciones municipales permitirá una predicción bastante fiable de lo que ocurrirá en las generales.
- **Fenómeno Natural** Se refiere a toda expresión de la naturaleza y actividad de la Tierra, independientemente de su incidencia al hombre y su forma de vida.
- **Fluvial** Perteneciente o relativa a los ríos
- **Geomorfología** Es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre
- **Georreferenciación** Es el posicionamiento en el que se define la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas y datum determinado.
- **Hidrografía** Parte de la geografía que estudia y describe los mares, los lagos, los ríos y otras corrientes de agua.
- **Isoyeta** Línea que une puntos de un mapa que presentan el mismo índice de pluviosidad durante un periodo determinado.
- **Infiltración** es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo.
- **Infraestructura Vial** relacionado con las vías de comunicación.
- **Licuefacción** Es un tipo de corrimiento, provocado por la inestabilidad de un talud
- **Meteorización** Es el proceso de desintegración física y química de los materiales sólidos en o cerca de la superficie de la Tierra.
- **Microcuenca** Territorio cuyas aguas afluyen al mismo río, lago o mar y tiene un área menor en relación a una cuenca hidrográfica.
- **Nivel Freático** Se aplica al agua que está bajo tierra acumulada sobre una capa de tierra impermeable: las aguas freáticas se pueden aprovechar construyendo pozos.
- **Ortofoto** fotografía en la cual se pueden realizar mediciones.
- **Punto Acotado** Número que, en un mapa o plano topográfico, señala la altura de un punto sobre el nivel del mar.

- **Planicie** Extensión grande de terreno que tiene el mismo nivel en todas sus partes.
- **Raster** Formación rectangular de líneas paralelas de exploración que guía el haz de electrones en una pantalla de televisión o un monitor de ordenador.
- **Riesgo** Es una medida de potencial de pérdida económica o lesión en términos de la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado junto con la magnitud de las consecuencias.
- **Roca Metamórfica** roca que se ha formado a partir de rocas preexistentes por acción del metamorfismo.
- **Roca Intrusiva** Díc. del material o roca que penetra o atraviesa otros, rompiéndolos o deformándolos.
- **Roca Sedimentaria** mineral o roca que se ha formado por un proceso de sedimentación.
- **Shapefile** Es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI.
- **Somero** Que es ligero, superficial o poco reflexionado.
- **Sendero** camino estrecho que se forma por el paso de personas y animales.
- **Talud** es una masa de tierra que no es plana sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. También conocido como ladera.

ABREVIATURAS

ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (siglas en ingles)
ASTER GDEM	ASTER Global Digital Elevation Model (siglas en ingles).
CEDEGE	Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Guayas.
CLIRSEN	Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos.
DINAGE	Dirección Nacional de Geología
ESRI	Environmental Systems Research Institute (siglas en ingles).
IGM	Instituto Geográfico Militar
INAHMI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
MDT	Modelo Digital del Terreno
METI	Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón
m.s.n.m	medido sobre el nivel del mar
NASA	National Aeronautics and Space Administration (siglas en ingles).
PRAT	Programa De Regularización y Administración de Tierras Rurales
PRODEMINCA	Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental
SENPLADES	Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo.
SIG	Sistemas de información geográfica
SIGAGRO	Sistema de información geográfica y agropecuaria del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
SIGTIERRAS	Sistema de Información y Gestión de Tierras Rurales

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES

El presente capítulo presenta el ¿por qué? y ¿para qué? se realizó el presente proyecto, el alcance y el diseño del mismo.

1.1 ANTECEDENTES

Los movimientos en masa y las inundaciones se encuentran entre los principales riesgos hidrológicos y geológicos en América, teniendo gran relevancia en temas sociales y económicos, además son los procesos de la dinámica superficial más recurrentes en los últimos años especialmente con el Cambio Climático (Augusto, 2005).

En el Ecuador este tipo de desastres, ocuparon en el año 2000, el cuarto y sexto lugar en pérdidas económicas, y el primer y tercer lugar en pérdidas humanas, en relación a los desastres naturales más representativos del país, como son: terremotos, tsunamis, volcanes, inundaciones, deslizamientos, sequías, desertificación y deforestación (Toulkeridis, 2008).

Los afluentes de la cuenca baja del río Guayas frecuentemente se desbordan provocando inundaciones, como consecuencia del azolvamiento que sufren por el gran aporte de sedimentos, resultado de la erosión que sufre la parte alta (montañosa) de las cuencas. Las inundaciones en la zona baja suelen afectar amplias extensiones de terreno suscitando graves trastornos en las comunidades, entre los que se citan las afectaciones a las personas (lesiones, enfermedades e incluso pérdidas de vida) y a los bienes materiales (pérdidas de cultivos y animales, daños a la infraestructura y servicios básicos). Según los informes de

las autoridades, en el año 2008, 3'500 000 personas fueron afectadas por las lluvias, principalmente en las provincias de Guayas, Los Ríos, El Oro y Manabí ¹.

Uno de los sectores más afectados es el cantón Salitre con cerca de 30 familias damnificadas en la parroquia Las Ramas, las cuales lo perdieron todo tras un fuerte desbordamiento del río Vinces el pasado 19 de Febrero del 2009².

En cuanto a los movimientos en masa de la microcuenca del río San Antonio correspondiente a la parte alta, no se han encontrado informes, datos o registros históricos de estudios sobre dicho fenómeno.

El Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), como una entidad técnico-científica, generadora de geoinformación temática relacionada con los recursos naturales y el ambiente, en conjunto con la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), se encuentran realizando el proyecto "Generación de Geoinformación para la Gestión de territorio y valoración de tierras rurales de la cuenca del río Guayas, escala 1:25 000", con la finalidad de construir una cartografía multipropósito y de libre acceso para las instituciones del estado y público en general.

Otra institución que desarrolla estudios relacionados es la CEDEGE (Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Guayas), la cual vela por la preservación, conservación y buen uso de los recursos hídricos en la Cuenca del Río Guayas, ubicándose en el primer lugar como ejecutor de estudios y proyectos relacionados a inundaciones y a deslizamientos con la finalidad de evitar pérdidas sociales, económicas y ambientales.

¹ *Oxfam internacional, Marzo del 2008.*

² *Diario El Universo, Febrero de 2009.*

Una de las actividades que cumple la CEDEGE, es la de salvaguardar la integridad de cerca de 170 000 ha, dando como resultado que durante el invierno de 1997 y 1998, se evite la destrucción masiva de 155 000 ha de cultivos, y se disminuya la magnitud de las inundaciones en las ciudades de Salitre, el Triunfo, las poblaciones de Manuel de J. Calle, Boliche, Taura y Virgen de Fátima (km 26), entre otros centros de menor densidad poblacional.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La cuenca del río Guayas, es la zona más importante de explotación agropecuaria del país, así también como la más susceptible a inundaciones y a movimientos en masa (Rizzo, 2000). Abarca aproximadamente 800 000 hectáreas en su totalidad, representando el 13% del territorio nacional, con una densidad poblacional equivalente al 37% de la población ecuatoriana. Es el sistema fluvial que por su extensión y recursos naturales renovables, se lo considera como la región hidrográfica más representativa del Ecuador y América del Sur en la costa del Océano Pacífico (Pachay, 2006).

Tabla.1.1. Datos agrícolas de la cuenca del río Guayas.

Exportación agrícola de la cuenca del río Guayas en el año 1997		
Producto	USD	% a nivel nacional
banano	400'986 000	30.20
camarón	530'294 000	61.53
cacao	4'275 000	22
café	10'610 000	5

La cuenca totalizó US \$ 946'165 000, lo cual representó el 23.70% de la exportación total del país excluyendo el petróleo. Los porcentajes de exportación se mantienen en la actualidad (Rizzo, 2000).

Las microcuencas del río San Antonio y del estero Roncador, por ser parte de la cuenca del río Guayas adquieren gran importancia socioeconómico-ambiental. Debido a su ubicación son susceptibles en la parte alta a movimientos en masa y en la parte baja a inundaciones, originados principalmente por fenómenos naturales y antrópicos, por lo cual es imprescindible realizar estudios sobre

riesgos naturales y estrategias de mitigación para disminuir las pérdidas ocasionadas por los mismos.

Actualmente el CLIRSEN se encuentra ejecutando un proyecto con el fin de generar una metodología aplicable para el manejo de la cuenca del río Guayas como una necesidad de prioridad nacional. Uno de los objetivos de este proyecto es realizar una adecuada *Gestión del Riesgo*³. Conscientes de la necesidad de aportar a la realización de este tipo de iniciativas se ha seleccionado una área piloto en las microcuencas antes mencionadas, con el fin de proponer una metodología con la cual se identifiquen zonas amenazadas por movimientos en masa e inundaciones, de manera que sirva como instrumento de apoyo a la institución ejecutora del macro proyecto (CLIRSEN).



Figura.1.1. Inundaciones
Fuente: www.tribunalatina.com

³ La *Gestión del Riesgo* constituye un eje transversal e integrador en los diferentes procesos que tiene por objetivo garantizar que los procesos de desarrollo impulsados en la sociedad se dan en las condiciones óptimas de seguridad posible para la infraestructura y población y que la atención y acciones desplegadas ante un desastre promuevan el mismo desarrollo. Así mismo involucra etapas como la prevención, mitigación de desastres, la respuesta a la emergencia, la rehabilitación y la reconstrucción (Cardona, 2002).



Figura.1.2. Inundaciones
Fuente: www.eluniverso.com

1.3 OBJETIVO GENERAL

Determinar zonas amenazadas por movimientos en masa e inundaciones en las microcuencas del río San Antonio y del estero Roncador con aplicación de una herramienta SIG, como un componente de la gestión del territorio en la cuenca del río Guayas.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar y analizar la calidad de la información existente, para llevar a cabo este estudio.
- Proponer una metodología para el análisis de amenazas derivadas a movimientos en masa.
- Proponer una metodología para el análisis de amenazas derivadas a inundaciones.
- Obtener un modelo cartográfico de las áreas amenazas por movimientos en masa.
- Obtener un modelo cartográfico de las áreas amenazas por inundaciones.
- Generar los mapas de amenaza de movimientos en masa y de inundaciones.
- Proponer acciones preventivas de acuerdo a zonas de amenazas por movimientos en masa.
- Proponer acciones preventivas de acuerdo a zonas de amenazas por inundaciones.

1.5 METAS

- Una tabla comparativa de la metodología de análisis de amenaza derivada a movimientos en masa
- Una tabla comparativa de la metodología de análisis de amenaza derivada a inundaciones
- 13 Mapas temáticos de la zona de estudio a escala de trabajo 1: 25000

Tabla.1.2. Mapas Temáticos a escala de trabajo 1:25000.

Cartografía Temática	
Río San Antonio	Estero Roncador
Mapa de Pendientes	Mapa de Pendientes
Mapa de Cobertura Vegetal y uso del suelo	Mapa de Cobertura Vegetal y uso del suelo
Mapa Geológico	
Mapa de Humedad	Mapa de Concentración de flujo
Mapa de Concentración de flujo	
Mapa de Afectación vial	Mapa de Isoyetas
Mapa de Isoyetas	
Mapa de Sismicidad	Mapa de Suelos

- Un mapa de amenazas derivadas a movimientos en masa resultante de la metodología propuesta a escala de trabajo 1:25000
- Un mapa de amenazas derivadas a inundaciones resultante de la metodología propuesta a escala de trabajo 1:25000.

1.6 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El presente proyecto se desarrolla en las microcuencas del río San Antonio y del estero Roncador, pertenecientes a la cuenca alta y baja del río Guayas. Dichas microcuencas están localizadas en las provincias de Guayas, Los Ríos y Bolívar.

Tabla.1.3. Área y perímetro de las microcuencas de estudio

Microcuencas de estudio		
Parámetro	Estero Roncador	Río San Antonio
Perímetro (m)	46314,250	7567243,883
Área (m ²)	68429550,723	33510366,371

Tabla.1.4. Coordenadas UTM WGS84 de la zona de estudio.

Coordenadas de ubicación de las microcuencas de estudio				
Id	Estero Roncador		Río San Antonio	
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
0	634381,356	9805204,342	710871,665	9776520,576
1	639363,963	9804772,324	715851,665	9776838,076
2	647622,473	9791742,737	718407,265	9772422,376
3	644267,500	9796683,431	715719,865	9774475,476
4	642390,186	9793349,319	715959,807	9770400,655
5	636560,646	9799332,098	712874,465	9771312,176
6	641360,346	9801719,561	709769,165	9772993,076

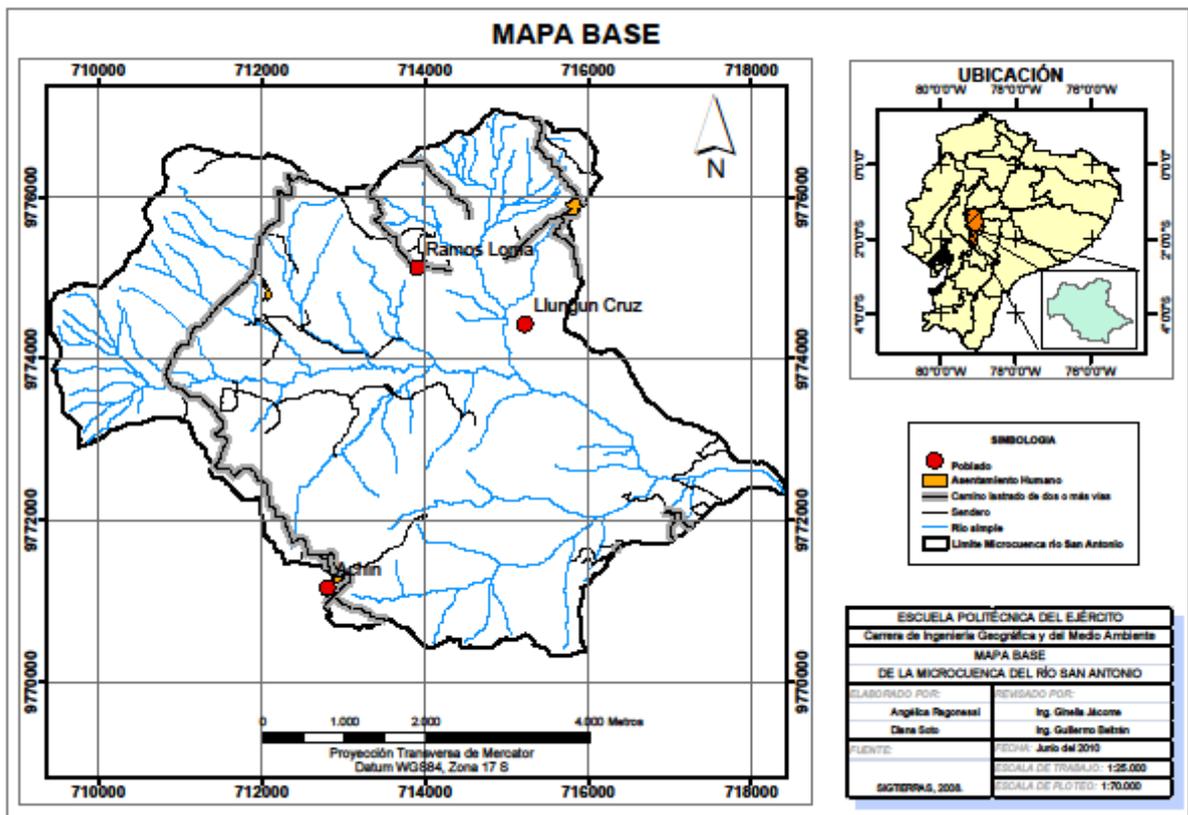


Figura.1.3. Ubicación de la microcuenca del río San Antonio.
Elaboración: Autoras.

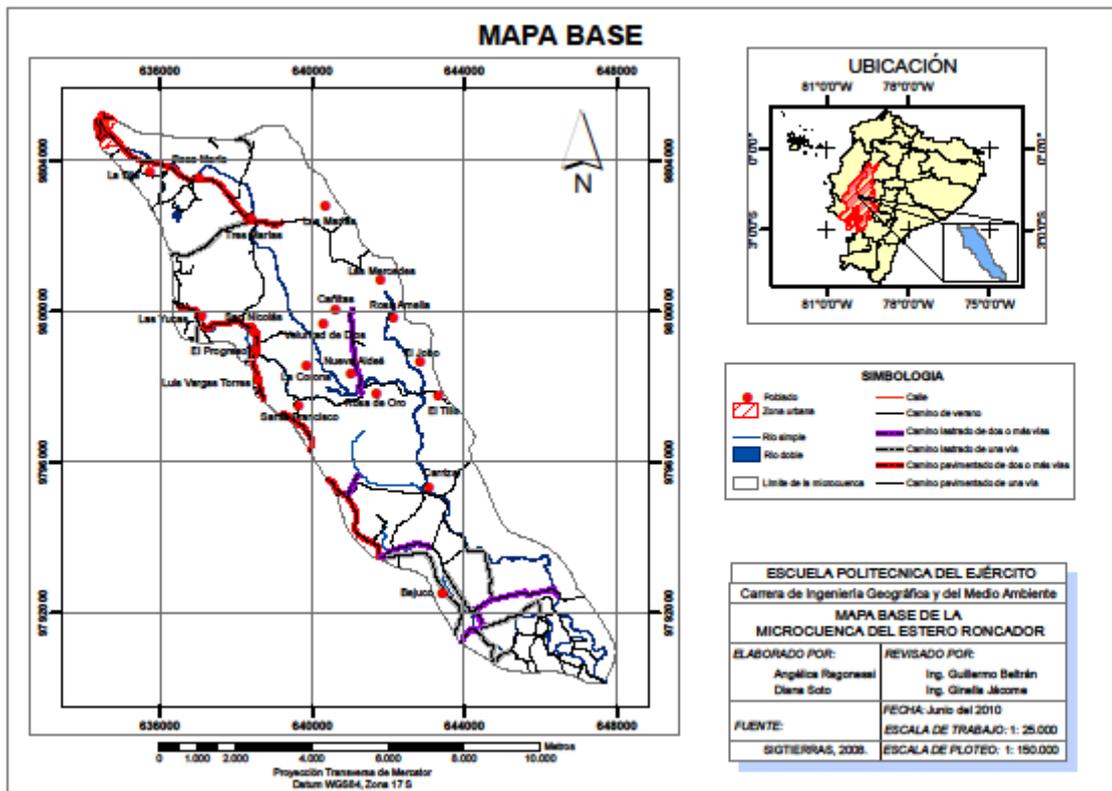


Figura.1.4. Ubicación de la microcuenca del estero Roncador.
Elaboración: Autoras.

1.7 ÁREA DE INFLUENCIA

Las zonas que se ven directamente influenciadas por estas microcuencas son las siguientes:

Tabla.1.5. Parroquias pertenecientes de la zona de estudio.

Microcuenca	Número	Parroquias
Estero Roncador	1	General Vernaza
	2	Salitre (Las Ramas)
	3	La Victoria (Ñausa)
	4	Baba
Río San Antonio	1	Chillanes

1.8 DISEÑO DEL PROYECTO

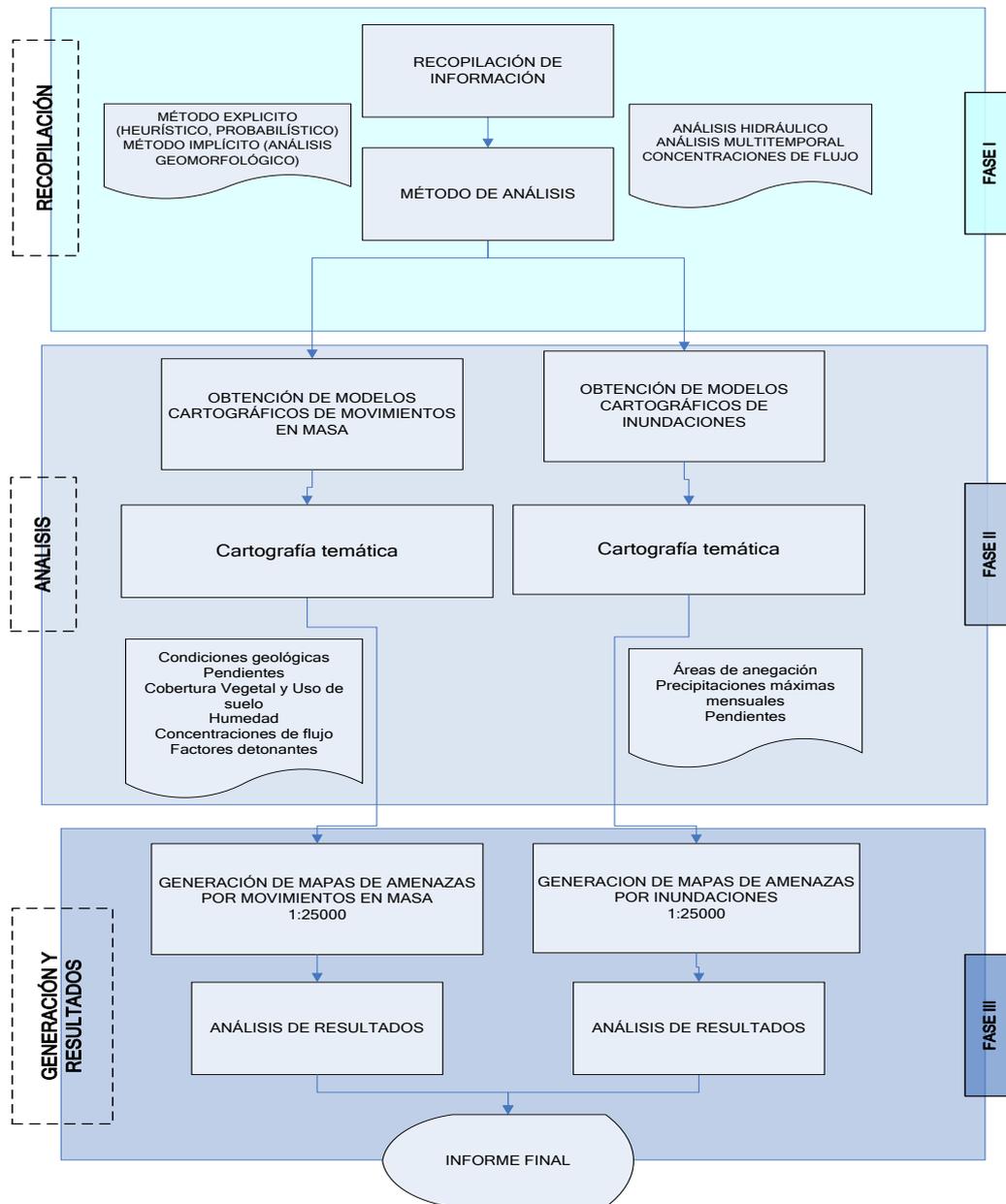


Figura.1.5. Estructura del diseño del proyecto.
Elaboración: Autoras, 2010.

En la primera fase del proyecto se recopiló y analizó la información existente. Se buscó toda la información necesaria para el presente proyecto que estuvo sujeta a validaciones.

Se investigó la información referente a métodos existentes para el análisis de amenaza derivada a movimientos en masa e inundaciones, una vez revisado los

diferentes métodos se propuso una metodología acorde a las características del área de estudio.

En la segunda fase se obtuvieron los modelos cartográficos que siguen las metodologías propuestas para el análisis de amenaza por movimientos en masa e inundaciones. Se desarrolló las funciones de análisis mediante el uso de un SIG, siguiendo una secuencia lógica de los modelos, para lo cual fue necesario preparar la información geoespacial referente a cada una de las variables que intervienen en el estudio.

En la tercera fase se generó los mapas temáticos de cada una de las variables como los mapas de amenaza por movimientos en masa e inundaciones. Se realizó las salidas de campo para la comprobación de los mapas resultantes de los modelos y posteriormente se analizó los datos finales y se realizó el informe final.

CAPITULO 2

MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se presenta conceptos básicos, principales características y clasificaciones de los diferentes aspectos o temas, que son necesarios conocer para el desarrollo del proyecto. Las temáticas consideradas son: movimientos en masa e inundaciones; descripción física de las microcuencas, modelos digitales de elevaciones y métodos existentes para la determinación de la amenaza de los fenómenos anteriormente mencionados. Se hace una introducción a lo que son los sistemas de información geográfica y modelos cartográficos, y una breve síntesis sobre lo que involucra los términos susceptibilidad y amenaza.

2.1 EVENTO DE MOVIMIENTO EN MASA

2.1.1 Concepto

Movimiento en masa, es un fenómeno natural, definido como el movimiento pendiente abajo, lento o súbito de una ladera, formado por materiales naturales, roca, suelo, vegetación, rellenos artificiales o una combinación de los mismos. Se presentan sobre todo en la época lluviosa o durante períodos de actividad sísmica causando serios daños materiales y pérdida de vidas.

El termino movimiento en masa hace referencia a desplazamientos de terreno y no incluye los procesos erosivos denudacionales (Vargas, 1999).

2.1.2 Morfología de un deslizamiento

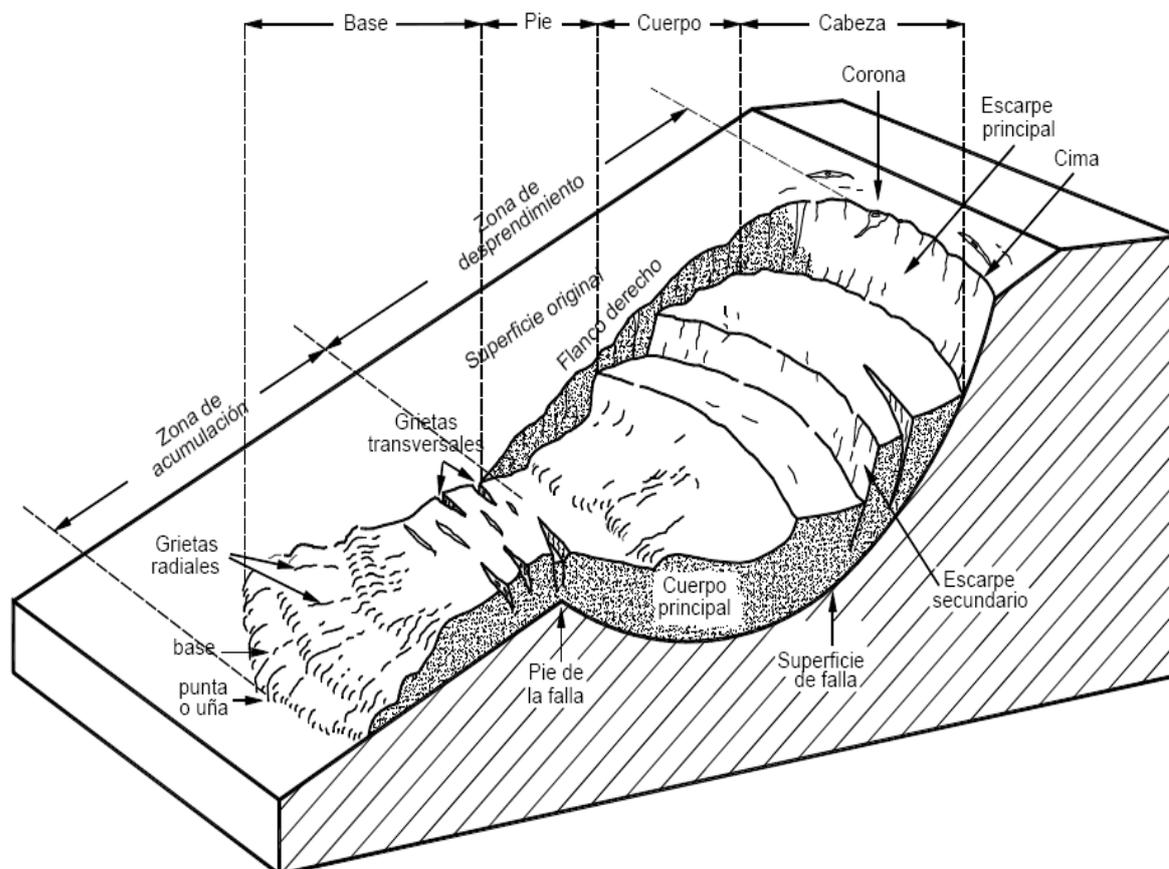


Figura.2.1. Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento
Fuente: Suárez, 2009.

Cabeza. Comprende la parte superior del movimiento y se caracteriza por presentar una morfología irregular de escarpes y contra escarpes, con cimas planas y dispuestas en forma escalonada. Arriba de la cabeza está la corona.

Cima. El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Corona. El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.

Escarpe principal. Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.

Escarpe secundario. Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.

Superficie de falla. Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.

Pie de la superficie de falla. Representa la parte inferior del deslizamiento y se caracteriza por desarrollar una morfología abombada o protuberante con presencia de numerosas grietas.

Base. El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

Punta o uña. El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

Cuerpo principal del deslizamiento. Se presenta en la parte intermedia del deslizamiento y se caracteriza por desarrollar una morfología en forma de depresión o cuneta, en donde se presentan concentraciones importantes de agua, saturando el material removido en forma de charcos o pequeñas lagunas según su extensión. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.

Superficie original del terreno. La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

Costado o flanco. Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

2.1.3 Tipos de movimientos en masa

- Según la velocidad de movimientos, pueden ser:

Deslizamientos lentos

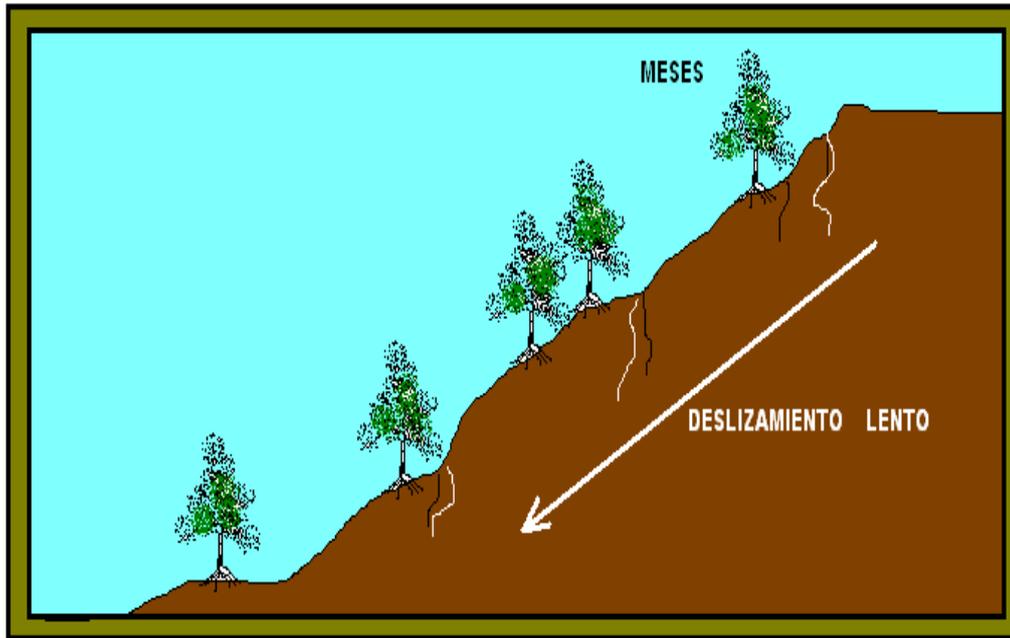


Figura.2.2. Deslizamiento lento
Fuente: Autoras.

Son aquellos donde la velocidad del movimiento es tan lento que no se percibe. Este tipo de deslizamiento genera unos pocos centímetros de material al año. Se identifican por medio de una serie de características marcadas en el terreno.

Deslizamientos rápidos



Figura.2.3. Deslizamiento rápido
Fuente: Autoras.

Son aquellos donde la velocidad del movimiento es tal que la caída de todo el material puede darse en pocos minutos o segundos. Son frecuentes durante las épocas de lluvias o actividades sísmicas intensas. Como son difíciles de identificar, ocasionan importantes pérdidas materiales y humanas.

- Según el tipo de movimientos, pueden ser:

Caída o Desprendimiento

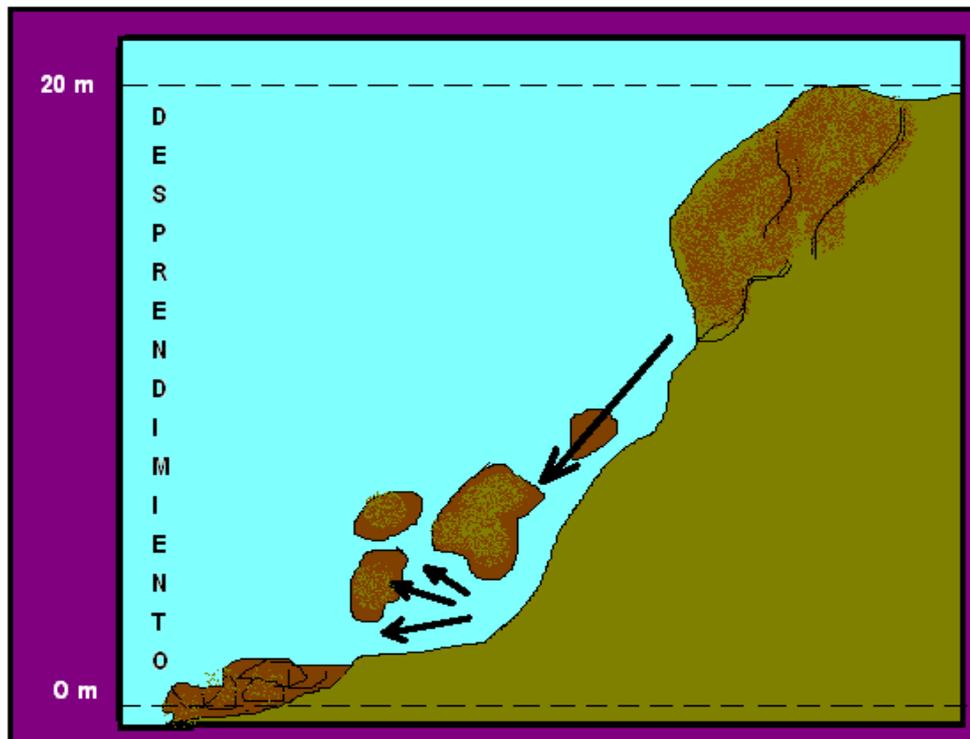


Figura.2.4. Caída.
Fuente: Autoras.

Se inicia con el desprendimiento de suelo o roca en una pendiente fuerte. El material desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras.

Vuelco

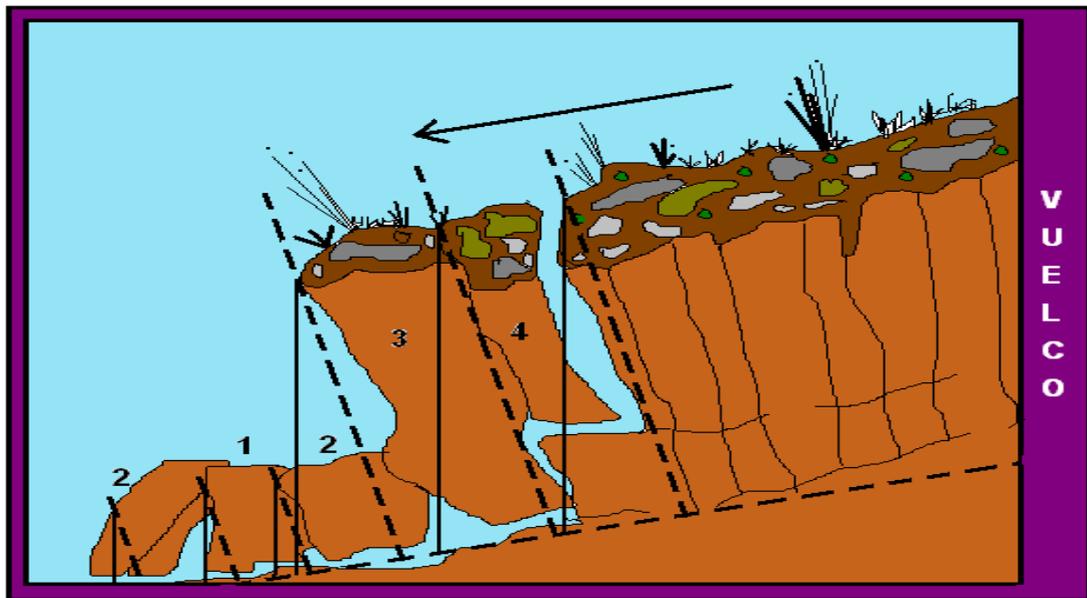


Figura.2.5. Vuelco.
Fuente: Autoras.

Son movimientos de rotación hacia el exterior, de una unidad o de un conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo del centro de gravedad de la masa movida.

Deslizamientos

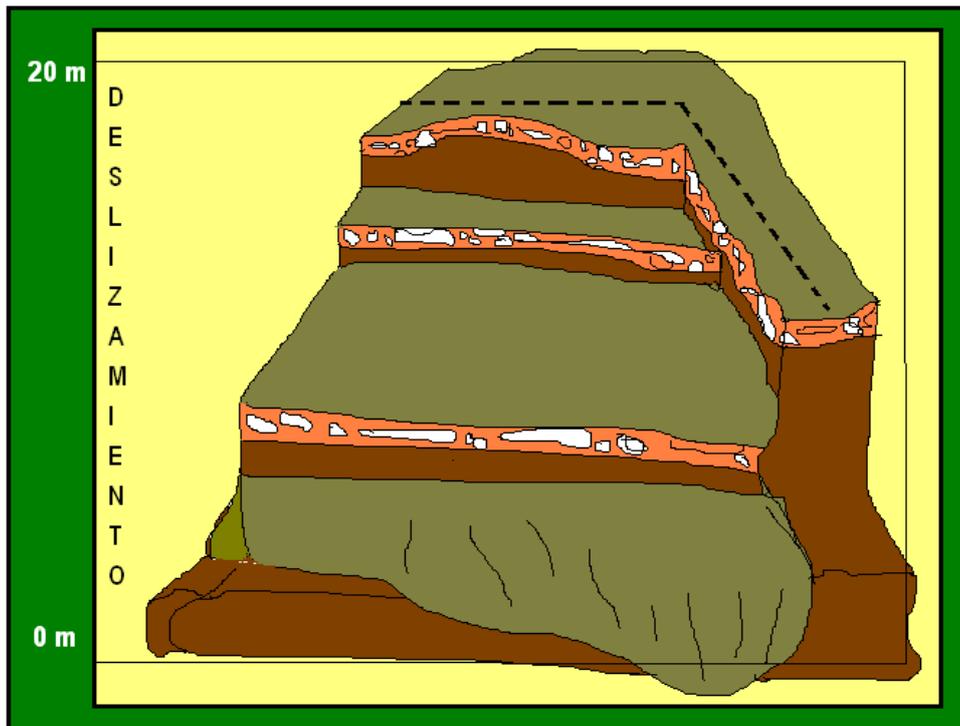


Figura.2.6. Deslizamiento
Fuente: Autoras.

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 inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movilizada se desplaza como un bloque único, y según la trayectoria descrita los deslizamientos pueden ser rotacionales o traslacionales.

Flujos

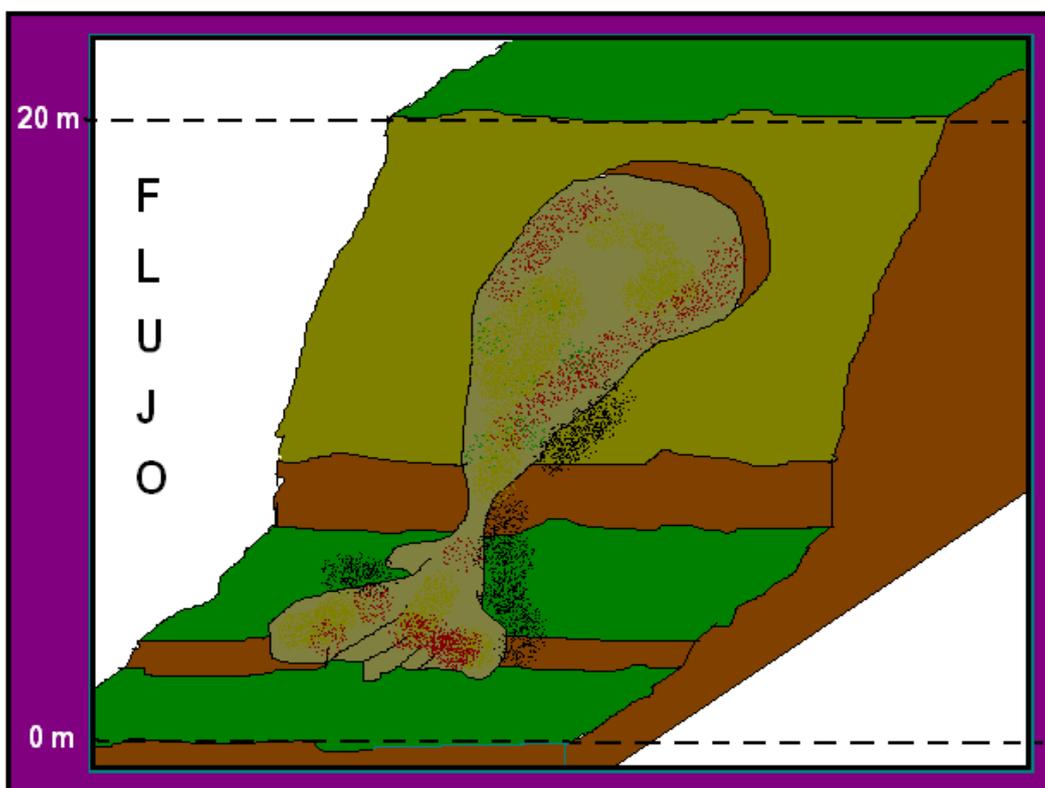


Figura.2.7. Flujo
Fuente: Autoras.

Son movimientos de una masa desorganizada o mezclada (materiales blandos, tierra y/o vegetación), donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni sus trayectorias tienen que ser paralelas. Debido a ello la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas.

Reptación

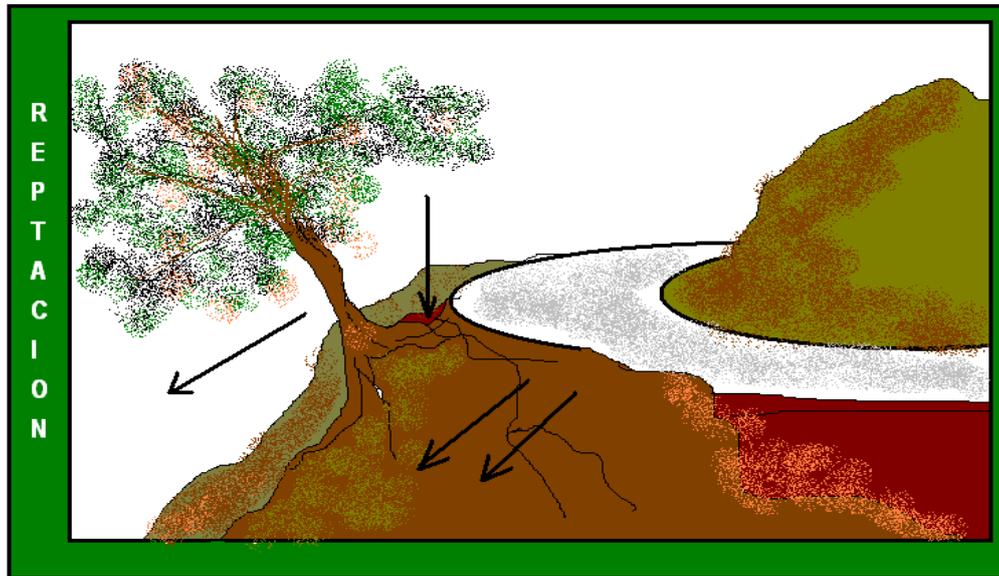


Figura.2.8. Reptación
Fuente: Autoras.

Se suele manifestar por la inclinación de los árboles y postes, el corrimiento de carreteras y líneas férreas y la aparición de grietas.

Extensiones laterales

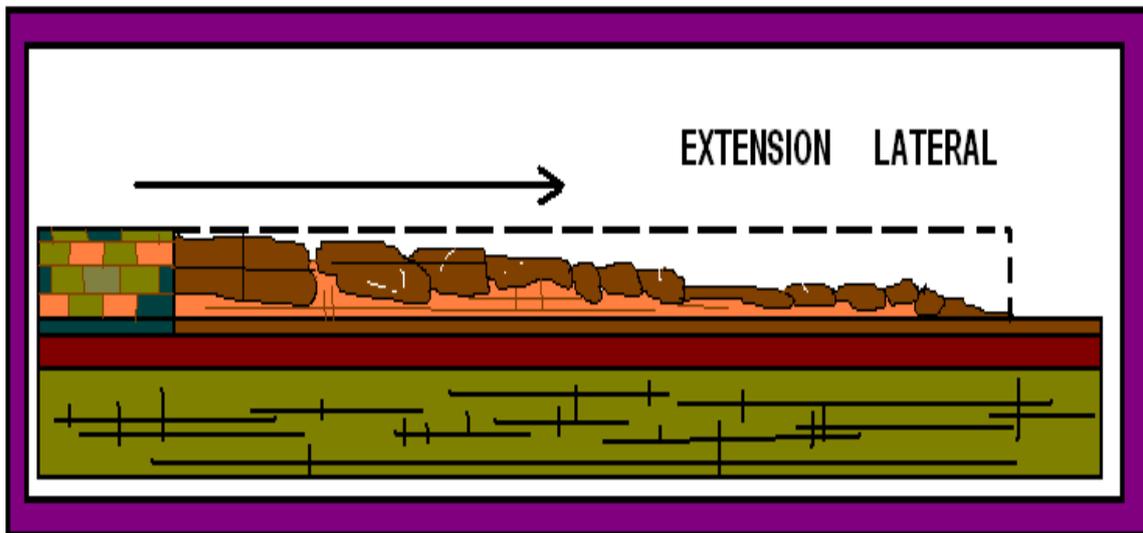


Figura.2.9. Extensión lateral
Fuente: Autoras.

Su movimiento dominante es la extrusión plástica lateral, acomodada por fracturas de cizalla o de tracción que en ocasiones pueden ser de difícil localización.

- Según el mecanismo de rotura (Corominas y García, 1997), pueden ser:

Deformaciones sin roturas o previas a la rotura de las laderas

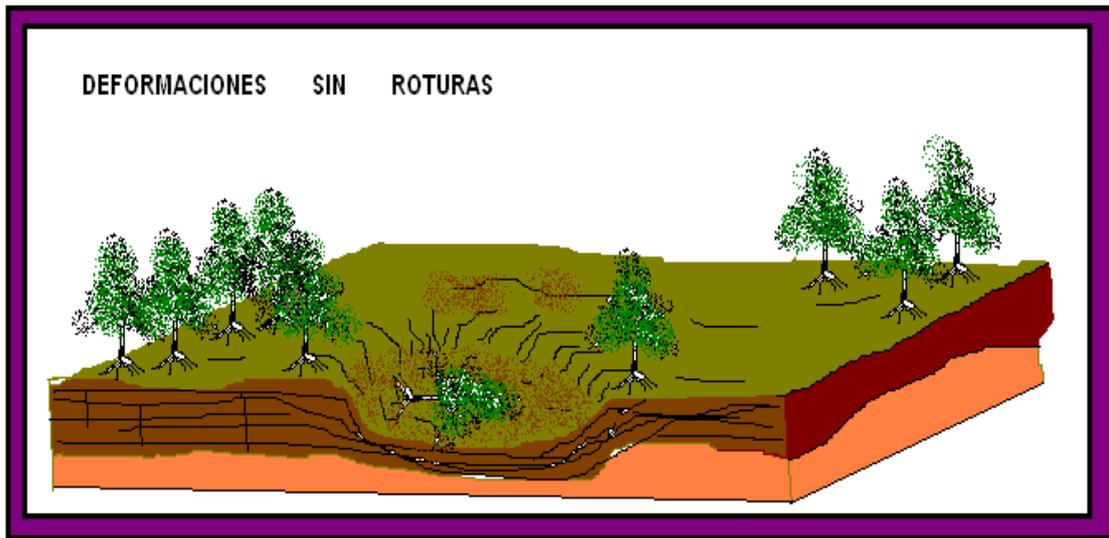


Figura.2.10. Deformación sin roturas
Fuente: Autoras.

Ejemplos: Reptación por fluencia, cabeceo de estratos, combadura, pandeo en valle, deformaciones gravitacionales profundas y rotura confinada

Movimientos complejos

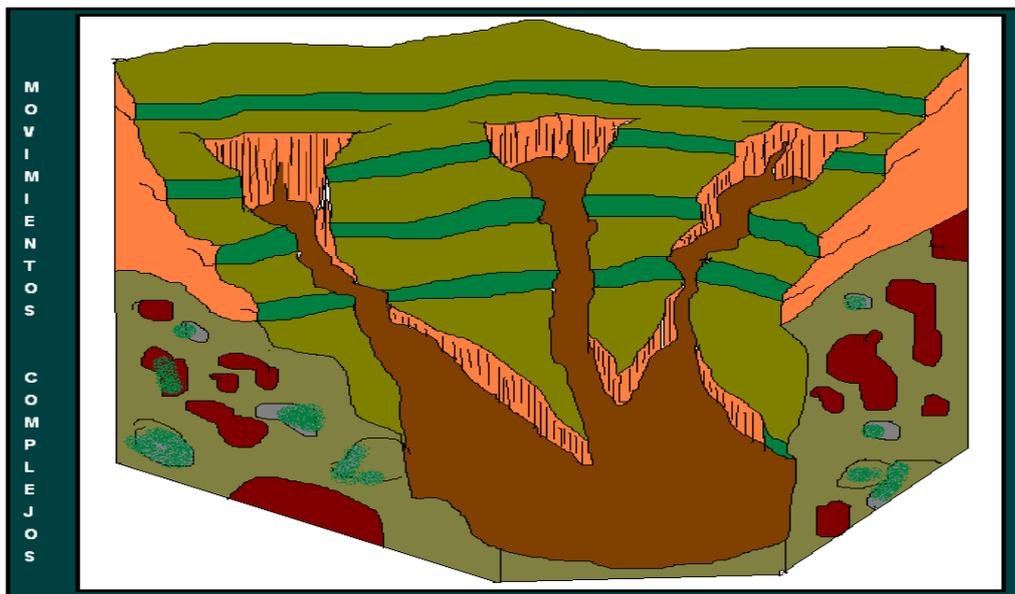


Figura.2.11. Movimientos complejos
Fuente: Autoras.

Ejemplos: Colapso de volcanes y Flujos deslizantes

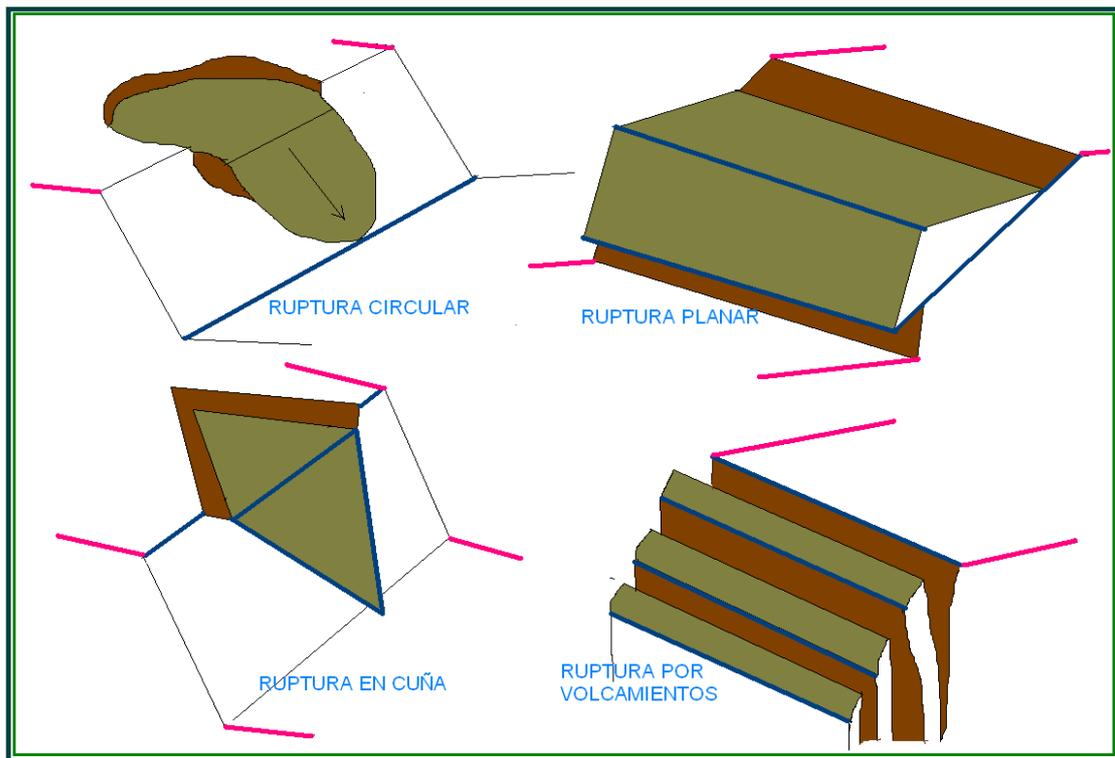
Por discontinuidad estructural

Figura.2.12. Movimientos por discontinuidad estructural
Fuente: Autoras.

Circular: semejante al movimiento rotacional, se presentan discontinuidades ampliamente distribuidas sobre toda la masa rocosa en diferentes orientaciones.

Planar: se presenta a lo largo de una superficie estructural principal y de forma plana.

En cuña: se presenta a lo largo de dos discontinuidades que se interceptan en ángulo oblicuo a la superficie del talud

Volcamiento: se presenta en rocas con planos de discontinuidad paralelos entre sí.

2.1.4 Actividad y peligrosidad de los movimientos en masa

Los términos más utilizados sobre la actividad de los movimientos en masa son las expresiones de las primeras roturas, refiriéndose a sus estados iniciales y cuando se produce por primera vez, y de reactivaciones cuando el deslizamiento que estaba parado vuelve a iniciarse.

- Según el estado de actividad, se conocen los siguientes términos:

Activo

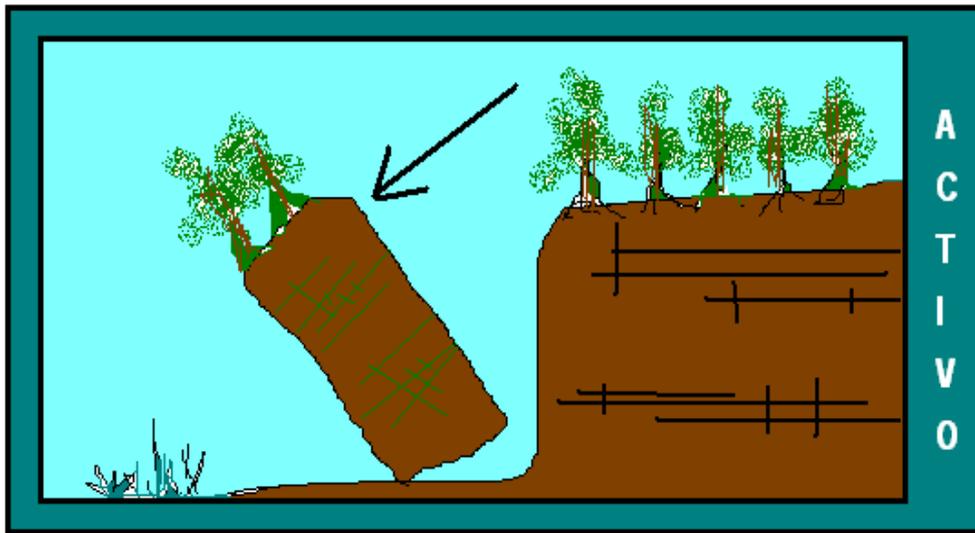


Figura.2.13. Movimiento Activo
Fuente: Autoras.

Es el que se está moviendo en el momento de la observación

En suspenso

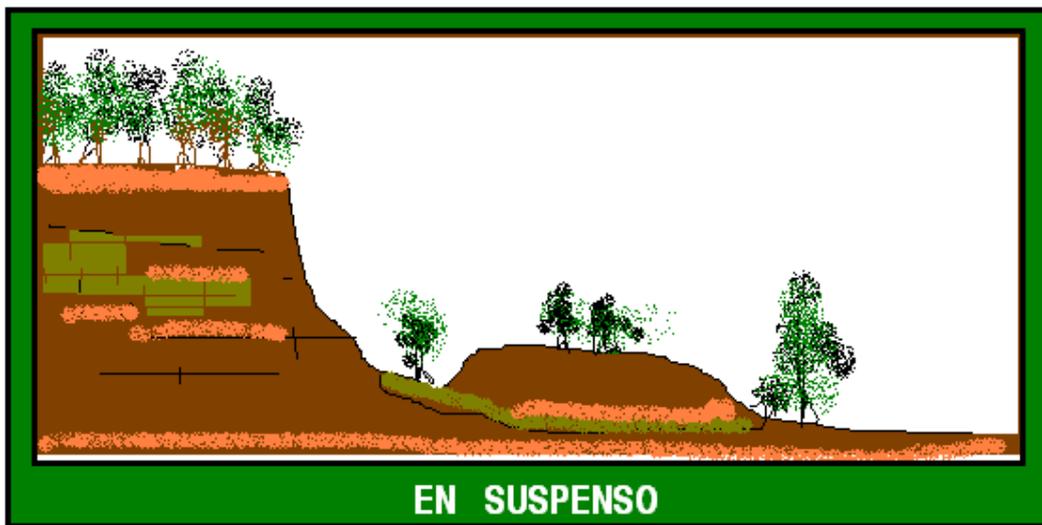


Figura.2.14. Movimiento en suspenso
Fuente: Autoras.

Es aquel que se ha movido en los últimos 12 meses pero actualmente no es activo

Reactivo

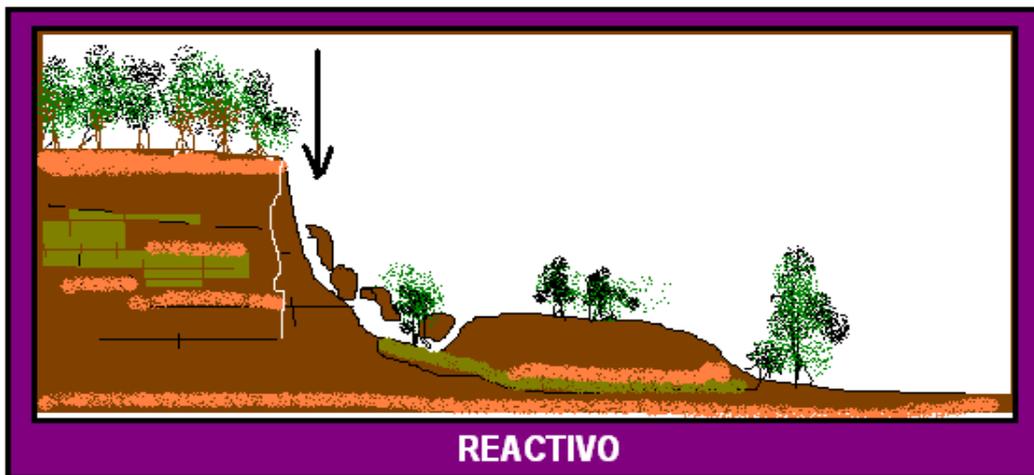


Figura.2.15. Movimiento Reactivo
Fuente: Autoras.

Es cuando se reactiva un deslizamiento.

Inactivo

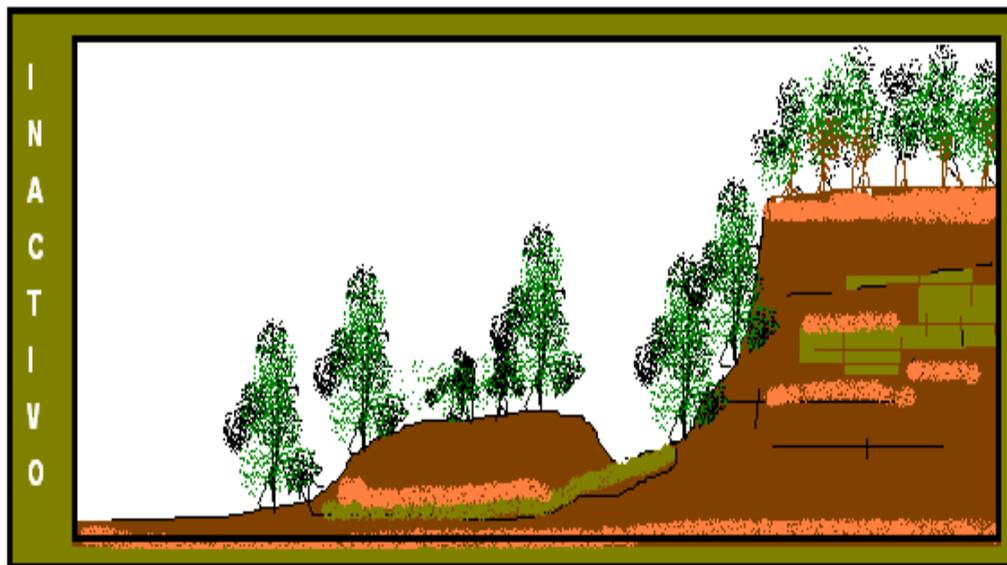


Figura.2.16. Movimiento Inactivo
Fuente: Autoras.

Es aquel que no se ha movido en los últimos 12 meses. Se subdivide en los siguientes estados:

Latente, se puede reactivar por las causas que lo originaron.

Antiguo, no ha vuelto a ser afectado por las causas originales.

Estabilizado, es aquel donde se han adoptado medidas correctivas.

Relicto, se desarrollo bajo condiciones climáticas o geomorfológicas considerablemente diferentes de las que prevalecen actualmente.

2.1.5 Factores que influyen en los movimientos en masa

Tabla.2.1. Factores que influyen en la estabilidad del terreno

Factores Internos	Intrínsecos	Litología
	Extrínsecos	Pendiente
		Vegetación
		Humedad
Factores Externos	Efectos Climáticos	Lluvias Intensas
		Temperatura
	Sismicidad	Vibraciones
	Modificaciones Antrópicas	Cortes en el Terreno
		Cambios en el Régimen Hidrológico Superficial
		Explotaciones Mineras
		Construcciones

Elaboración: Autoras.

- *Factores internos*

Características intrínsecas

Relativas a las propiedades del material y a su resistencia, se considera el siguiente:

○ *Litología*

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas (Mora, R. et al., 1992).

El tipo de roca puede ejercer control sobre deslizamientos por su influencia sobre la resistencia del material de superficie en el área.

Una roca débil, incompetente, probablemente ha de fallar más que roca fuerte y competente. En pendientes donde queda expuesta la roca débil cubierta por roca fuerte, la diferencia de resistencia también aumenta el potencial de deslizamiento de la roca más fuerte, dado que la roca débil tiende a erosionar y socavar la roca más fuerte.

Cuanto más discontinuidades se encuentren en la roca fuerte, mayor será la probabilidad de inestabilidad de la roca. Por ejemplo, los suelos derivados de esquistos o pizarras, contendrán mayores porcentajes de arcilla. Estos suelos tendrán características de resistencia diferentes a los suelos de granos gruesos tales como aquellos derivados de roca granítica.

La susceptibilidad de las rocas depende especialmente de la meteorización y de su fracturamiento.

Para la interpretación del comportamiento de los materiales del suelo, se deben considerar los siguientes factores (Beltrán, 2009):

- ✓ Grado de pendiente
- ✓ Longitud de la pendiente
- ✓ Forma del paisaje, configuración superficial
- ✓ Profundidad del suelo hasta la roca subyacente
- ✓ Pedregosidad
- ✓ Presencia o ausencia de capas que pueden restringir el movimiento del agua.
- ✓ Aspecto u orientación
- ✓ Otros

Características extrínsecas

Relativas a la morfología de la ladera y a las condiciones ambientales de esta, se considera los siguientes:

- *Pendiente*

La influencia de la calidad de pendiente sobre la ocurrencia de los movimientos en masa es el factor más fácil de comprender.

Podríamos definir la pendiente del terreno en un punto dado como el ángulo que forma el plano horizontal con el plano tangente a la superficie del terreno en ese punto. Es, en definitiva, la inclinación o desnivel del suelo.

En lugar de expresarla como un ángulo, es más interesante representar la pendiente del terreno como un valor de tanto por ciento. Esto se obtiene multiplicando por 100 la tangente del ángulo que define el desnivel del suelo.

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Diferencia de nivel (Altitud)}}{\text{Distancia Horizontal}}$$

$$\text{Tan } \infty = \text{Pendiente del terreno}$$

$$\% \text{ Pendiente} = \text{Tan } \infty * 100$$

Generalmente, las pendientes más pronunciadas tienen mayor probabilidad de movimientos en masa. Esto no impide que ocurran movimientos en masa en pendientes suaves. Otros factores pueden contribuir a que una pendiente suave sea especialmente propensa a fallar. Por ejemplo, en condiciones de aguas subterráneas cercanas a la superficie y suelos arenosos, podría ocurrir licuefacción durante un terremoto. Esto puede causar movimientos en masa en pendientes tan pequeñas como del 5% a 10%. A la inversa, las pendientes más pronunciadas pueden no ser siempre las más peligrosas. Las pendientes pronunciadas son menos proclives a acumular una gruesa capa de material en superficie, la cual estaría sujeta a ciertos tipos de deslizamientos.

- *Vegetación*

Constituye una fase de interacción entre el suelo y la atmósfera que se manifiesta a través de una serie de efectos hidrológicos y mecánicos.

La existencia de una cubierta vegetal incrementa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y su tasa de infiltración. Como consecuencia se produce una reducción del volumen de escorrentía generado y de su velocidad, con el consiguiente efecto sobre la intensidad y extensión de los procesos erosivos.

Como efectos mecánicos, la vegetación aumenta la resistencia al movimiento en masa y la estabilidad del suelo, al tiempo que protege la superficie del terreno ante la acción de algunos agentes externos, como el viento.

Algunas estadísticas muestran que los deslizamientos ocurren 3.5 veces más en zonas desprovistas de vegetación que en zonas vegetadas. La tala y la quema indiscriminada de los bosques tropicales, especialmente cerca de los núcleos urbanos han producido efectos catastróficos de erosión masiva y ocurrencia de deslizamientos.

- *Humedad*

La humedad superficial del suelo es un parámetro de vital importancia que determina los flujos hídricos y energéticos que se producen en la capa límite entre el suelo y la atmósfera. Es una variable de estado clave en el ciclo hidrológico. Determina la participación de la precipitación en escorrentía e infiltración, la tasa de evapotranspiración o la ocurrencia de erosión hídrica del suelo. No obstante, los valores de humedad relativa tienen la desventaja de que dependen fuertemente de la temperatura del momento.

Las características de la humedad y de la litología influyen en la resistividad aparente del terreno. La presencia de humedad y sales disueltas dentro de los poros del suelo o la roca, controlan generalmente la conductividad aparente de los materiales. Por ejemplo, un granito denso con pocos vacíos y poca humedad, presenta una alta resistencia, mientras una arcilla muestra una resistencia baja.

La superficie de falla de un deslizamiento se detecta como un área de baja resistencia por la concentración de humedad a lo largo de la superficie.

- *Concentración de flujo de agua.*

Partiendo del concepto de un vector, donde se lo considera como una magnitud que tiene longitud o módulo, dirección y sentido, los flujos hídricos son líneas o vectores que siguen la circulación del agua en distintas modalidades y la circulación de los materiales más superficiales en las laderas, siendo su principal motor la atracción gravitatoria.

La densidad de flujos es la concentración de un cierto número de líneas de flujos hídricos coincidentes en un punto.

Al observar las concentraciones de líneas o flujos sobre el terreno corresponde con la aparición de la formación de la red de drenaje de primer orden.

El mapa de densidades de flujos representa los materiales que están cerca de la superficie, que son susceptibles de fluir en relación con los flujos hídricos superficiales. Lo hacen como fluidos en espacios volumétricos, siguiendo parcialmente la disposición superficial, pero con la posibilidad de deslizamiento en vertical, variando su espesor.

Un perfil de una ladera en el que confluyen líneas de flujos, es una situación de balance dinámico en cada punto entre los materiales que le llegan ladera arriba, los que le llegan por los laterales y los que continúan ladera abajo.

- *Factores externos*

Actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando roturas, se considera los siguientes:

- *Efectos climáticos*

Indica la cantidad de *precipitaciones*, factor que influye considerablemente en la estabilidad de los taludes, ya que después de épocas de *lluvias intensas* suelen producirse grandes deslizamientos, esto es debido a que la *infiltración de agua* en el terreno, puede ocasionar un incremento de las fuerzas que tienden al

deslizamiento, la importancia de este factor se establece que cuanto más saturado este el suelo de agua, tiende a ser menos estable.

○ *Sismicidad*

La ocurrencia de un sismo asociado a una falla geológica, puede generar un gran número de deslizamientos. Las vibraciones, provocan aceleraciones en el terreno favoreciendo la rotura y licuefacción. La sacudida debido a terremotos naturales es uno de los agentes que generan deslizamientos.

En la costa oeste de América del Sur, la tierra puede temblar en cualquier momento. En esta zona están Colombia, Ecuador, Perú y Chile, países condenados a sufrir sismos de grandes magnitudes solo por estar ubicados en una región en cuyo escenario están localizados los bordes de las placas de Nazca y Sudamericana, que concentran la actividad sísmica, volcánica y tectónica.

○ *Modificaciones antrópicas*

Las actividades humanas pueden aumentar la tendencia natural para que ocurra un deslizamiento. Dichas actividades alteran el equilibrio de las laderas debido a cargas estáticas provocadas por construcciones de edificios, construcciones de taludes para vías de comunicación, construcciones inadecuadas de canales de riego, cambios en la morfología del terreno por cortes no tecnificados, explotaciones mineras y construcciones de presas.

La *infraestructura vial* es el factor más importante analizado para determinar las zonas amenazas por movimientos en masa en cuanto se refiere a modificaciones antrópicas. Para su construcción de carreteras, se requiere gran cantidad de movimientos de tierra, excavaciones, rellenos, etc. Los cuales disminuyen la estabilidad de los taludes de las siguientes formas (Suarez, 1994):

- Corte del pie de las laderas removiendo el soporte y facilitando el desplazamiento de los materiales de la parte alta de la ladera.
- Sobrecarga de los taludes con material de relleno.
- Aumento de las pendientes utilizando tanto cortes como rellenos.

- Concentración de aguas del drenaje de la vía en sitios inestables debajo de la carretera.
- Interceptación de niveles freáticos en los cortes, generando procesos de erosión.
- Bloqueo de los afloramientos de agua mediante rellenos.
- Colocación de materiales sueltos a media ladera.
- Redireccionamiento del drenaje y concentración en determinados sitios

Los movimientos en masa son 5 a 8 veces más frecuentes en las zonas cercanas a las vías que en zonas alejadas. Las carreteras afectan la estabilidad de los taludes mediante procesos de corte y relleno, deforestación y concentración de aguas de escorrentía (Larsen y Park, 1997).

Existe un parámetro fundamental a tener en cuenta en la estabilidad, y que determina el factor de seguridad en los taludes: el *tiempo*. Éste influye sobre aspectos como la geometría de la ladera, la resistencia del material y otros. Su influencia se observa en la distinción entre estabilidad a corto, mediano y largo plazo.

2.2 EVENTO INUNDACIÓN

2.2.1 Concepto

La inundación es el fenómeno por el cual una parte de la superficie terrestre queda cubierta temporalmente por el agua, ante un incremento extraordinario del nivel de ésta. El desbordamiento de las aguas que conduce el cauce del río se debe a la imposibilidad de que fluyan grandes escurrimientos por él.

La inundación es un fenómeno de gran complejidad hidrometeorológica, territorial, económica y ambiental. Se considera como uno de los desastres naturales con mayores pérdidas humanas y materiales.

Estadísticamente, los ríos igualarán o excederán la inundación media anual, cada 2,33 años (Leopold et al., 1984). Las inundaciones son el resultado de lluvias

fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras. Esto hace que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes.



Figura.2.17. Inundación en Jujan.
Fuente: Diario El Universo, Marzo 2009.

2.2.2 Tipos de inundaciones

- *Según el origen*
 - *Inundaciones por precipitaciones "in situ"*, dependen fuertemente del estado de la red de drenaje y de la presencia de infraestructuras fácilmente susceptibles de ser inundadas, tales como sótanos o pasos subterráneos.



Figura.2.18. Inundación in situ.
Fuente: www.opsecu.org

- *Inundaciones por avenidas o desbordamiento de los ríos, lagos o marismas provocadas o potenciadas por precipitaciones, obstrucción de los lechos de los ríos o la acción de mareas y vientos.*



Figura.2.19. Desbordamiento del río Cristal, cantón Montalvo.
Fuente: www.eluniverso.com

- *Inundaciones por rotura* o por operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica.



Figura.2.20. Inundación por la ruptura de una represa en Cocal, Brasil.
Fuente: www.notifamainter.com

- *Según las precipitaciones*
 - *Inundaciones súbitas*, se produce en cuencas hidrográficas de alta pendiente, en presencia de lluvias de intensidad muy fuerte (superior a 180 mm/h) en corto tiempo. Se producen a causa de:
 1. Fuertes aguaceros sobre terrenos débiles o sin vegetación.
 2. Represamiento natural de las aguas debido a rocas, vegetación y otros materiales.
 3. Rotura del represamiento por grandes fuerzas que ejerce el agua.
 4. Lluvias fuertes o moderadas de bastante duración provocando el agotamiento de la función del suelo como esponja natural.



Figura.2.21. Inundación súbita en Aguas Calientes, Perú.
Fuente: www.eluniverso.com

- *Inundaciones Lenta o en llanura*, se produce sobre terrenos planos que desaguan muy lentamente cercanos a riveras de los ríos o donde la lluvia es de intensidad fuerte o moderada (superior a 60 mm/h) y duración inferior a 72 horas. Muchas de ellas son producto del comportamiento normal de los ríos, es decir, de su régimen de aguas ya que es habitual que en época lluviosa aumente la cantidad de agua, inundando los terrenos cercanos como playones o llanuras. Una característica de ello es que las rocas y tierras desprendidas se dispersan sobre el lecho del río en grandes cantidades (colmatación), ocasionando que las aguas tengan menos lecho y en consecuencia suba el nivel y se desborden inundando las cercanías.



Figura.2.22. Inundación en la Provincia de Guayas.
Fuente: www.elecuadordehoy.org

- *Inundaciones extraordinarias* producidas por lluvias de intensidad débil con valores fuertes pero muy cortos y locales, y de una duración superior a 3 días.



Figura.2.23. Inundación extraordinaria.
Fuente: www.hoy.com.ec

- *Según la atención al impacto de la crecida de los ríos*

Esta clasificación es útil principalmente para integrar estudios de inundaciones históricas a escala secular. La pérdida de vidas humanas se halla muy vinculada al tipo de respuesta de la población, tanto individual como social que ha ido evolucionando a lo largo del tiempo. Por tanto, el número de víctimas no se puede considerar como un indicador objetivo del alcance del desbordamiento.

- *Inundación ordinaria*, es la que se produce cuando el caudal del río aumenta de tal forma que puede alterar el ritmo de vida cotidiano, afectar infraestructuras no permanentes situadas en el río (p.ej.: pasarelas) o invadir pasos para el cruce del río. Sin embargo no produce daños materiales mayores.



Figura.2.24. Inundación Ordinaria.
Fuente: www.hoy.com

- *Inundación extraordinaria*, se produce cuando el río se desborda y aunque afecta el desarrollo de la vida ordinaria y produce algunos daños, no generan destrucción completa de infraestructuras. Estas inundaciones pueden ser locales o muy extensas.



Figura.2.25. Inundación Extraordinaria.
Fuente: www.eltiempo.com.ec

- *Inundación catastrófica*, aquella que produce pérdidas materiales graves, como destrucción total o parcial de puentes, molinos u otras infraestructuras, pérdidas de ganado y cosechas.



Figura.2.26. Inundación Catastrófica.
Fuente: www.hoy.com

2.2.3 Causas de las inundaciones e Influencia del fenómeno climático El Niño

- Excesiva precipitación; alta intensidad y/o duración.
- Presencia cíclica del Fenómeno “El Niño”.
- Una infiltración pobre del terreno, es decir, el agua tiene dificultad para ser absorbida por el terreno, razón por la cual ésta se acumula.
- Un mal funcionamiento de las infraestructuras hidráulicas, como los embalses o las redes de drenaje
- Edificaciones o actuaciones urbanísticas cerca de ríos, o lugares donde obstruyen la circulación del agua.
- Descongelamiento de nieve o hielo.
- La geometría del fondo marino.
- La naturaleza de la línea costera.
- Tsunamis producidos por terremotos.

- El represamiento de un río por derrumbes, originados por fuertes lluvias o sismos.
- La repentina destrucción de una presa, por causas naturales y/o humanas.
- La expansión de un lago o laguna por fuertes o continuas precipitaciones o por represamiento del desagüe.
- El ascenso del nivel del mar causado por fenómenos meteorológicos como temporales, tormentas, marejadas, o tsunamis.

Influencia del fenómeno del Niño

El Niño se origina en el Océano Pacífico Tropical (cerca de Australia e Indonesia). En condiciones normales las corrientes atmosféricas desplazan ligeramente el volumen de agua del océano Pacífico hacia la costa este; pero, en las condiciones del Niño, algunas corrientes atmosféricas quedan alteradas, disminuyen la intensidad en su dirección habitual (oeste-este) e incluso llegan a invertirse. Esa disminución de la corriente repercute sobre la vida marina con significativas consecuencias. La irregularidad térmica de la superficie oceánica altera el clima de las regiones: costa de Sur América, especialmente Perú, Ecuador y Archipiélago de Galápagos.

Con la presencia del fenómeno del Niño, se presentan una serie de anomalías oceánicas y atmosféricas de gran escala, de ocurrencia aperiódica e intensidad variable, caracterizadas por el calentamiento de la superficie del mar y la atmósfera en un periodo que va de 12 a 18 meses.

La presencia de El Niño implica que muchas regiones normalmente húmedas, llegan a ser secas y otras que se han caracterizado por su sequedad, se vuelven húmedas. Los cambios en la disponibilidad y abundancia de la población de peces, tiene otros efectos adversos como inundaciones, erosión costera, alteración en el anidamiento de aves marinas y en los arrecifes de coral, presencia de tormentas tropicales, etc.

Efectos provocados por el fenómeno de El Niño:

- a) Las aguas cálidas producen gran cantidad de nubes y fuertes precipitaciones en el Sureste de Asia, pero durante El Niño, este fenómeno se desplaza hacia América.
- b) Un problema grave es que existen especies que no sobreviven al cambio de temperatura y mueren. Otros de los efectos en la salud de las especies, son temporales y tienden a normalizarse poco a poco.

La influencia de el fenómeno del Niño en las precipitaciones en el Ecuador, señalan que durante los años 1982-1983 se produjeron precipitaciones excepcionales sobre las estribaciones exteriores de la Cordillera Occidental de los Andes, lluvias que correspondieron a períodos de retorno que superan significativamente 100 años. Una característica particular de este evento extremo fue la de presentar todas las condiciones anómalas del océano y la atmósfera por lapsos muy largos: fuerte calentamiento del mar, fuertes anomalías de vientos del suroeste, fuertes anomalías de la temperatura superficial del mar y de los vientos del oeste.

El fenómeno del Niño fue considerado el evento más fuerte del siglo, ya que su duración fue desde el mes de febrero del 1997 hasta agosto del 1998, estas lluvias intensas y de larga duración, generaron severos impactos sin precedente en la historia registrada de este fenómeno en el Ecuador. El impacto de El Niño va mucho más allá de la alteración de los patrones meteorológicos típicos. Existieron trastornos de ecosistemas y estuvieron en peligro muchas especies, en Galápagos. El intenso episodio de El Niño de 1997-1998 fue seguido por un largo episodio anómalo de La Niña, que empezó hacia mediados de 1998 y terminó a principios de 2001.

2.2.4 Factores que influyen en las inundaciones

Tabla.2.2. Factores que influyen en las inundaciones.

FACTORES	Pendiente
	Cobertura Vegetal y Uso del suelo
	Suelos
	Concentraciones de flujo de aguas
	Precipitación

Elaboración: Autoras.

- *Pendiente*

Es un factor determinante en la formación de zonas propensas a inundarse. Generalmente un terreno con poca pendiente estará más expuesto a inundarse que uno con pendiente alta.

Los terrenos que se encuentran por debajo de los 160 m.s.n.m son propensos a inundarse producto de fuertes precipitaciones (Sánchez y Batista, 2005).

- *Cobertura Vegetal y Uso del Suelo*

El cambio en el uso del terreno afecta al equilibrio dinámico que mantienen los sistemas de los ríos, esto es, en el balance global entre el trabajo que realiza el río al transportar el sedimento y la carga que recibe. El aumento o disminución de la cantidad de agua o sedimento que recibe un río ocasiona cambios en su gradiente (pendiente) o en la forma de su cauce cambiando de hecho la velocidad del agua. A su vez este cambio de velocidad puede aumentar o disminuir la cantidad de sedimentos que lleva el sistema. De acuerdo al nuevo uso del terreno, o al tipo de vegetación actual, la tasa de erosión aumentará y por ende la escorrentía superficial, disminuyendo las propiedades físicas del suelo, que expuesto a considerables precipitaciones, darán lugar a las inundaciones.

Mucho en esta situación se debe a que parte de la cobertura vegetal ha sido reemplazada por el desarrollo de infraestructura y cultivos sin tomar las medidas necesarias para reducir la escorrentía superficial lo cual incide en las partes bajas de una cuenca hidrográfica.

- *Suelos*

El suelo, dentro de los varios factores que determinan las inundaciones, se lo considera como un factor más determinante, debido a que no cambia tan rápido (excepto en casos especiales) y que no puede ser modificado notablemente sin realizar gran esfuerzo. Por tal razón su valor es uno de los más estables que determinan las inundaciones por anegación.

La textura se refiere técnicamente a la clasificación de las partículas de acuerdo a su tamaño y la proporción en la que se encuentran. De acuerdo al tamaño de las partículas se clasifican en: arena (2.0 a 0.05 mm), limo (0.05 a 0.002), y arcilla (menos de 0.002 mm).

- *Concentración de flujo de agua*

Las concentraciones de flujo de aguas también son utilizadas para determinar las posibles zonas de anegamiento (Foto. C.19.), donde la mayor concentración indica una mayor acumulación de aguas.

- *Precipitación*

Es uno de los factores más importantes en la determinación de la amenaza por inundaciones. Las precipitaciones son el principal causante de una inundación, ya que cuando se producen lluvias intensas provocan el desbordamiento de los ríos.

Es muy importante tener en cuenta la cantidad y la distribución de las precipitaciones dentro de una cuenca hidrográfica, como la velocidad a la que las precipitaciones empapan el suelo y la rapidez con que la escorrentía superficial de las precipitaciones llega al río.

2.3 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LAS MICROCUENCAS

Con la morfometría de las microcuencas se tiene un mejor entendimiento del funcionamiento del sistema hidrológico de una región, determinando las características importantes como las de forma, los relacionados al relieve y a la red hidrográfica. También sirve como base para el análisis de particularidades y diferentes tipos de estudios ambientales.

A continuación se presenta los parámetros morfométricos más relevantes, que han sido calculados para las dos microcuencas de estudio:

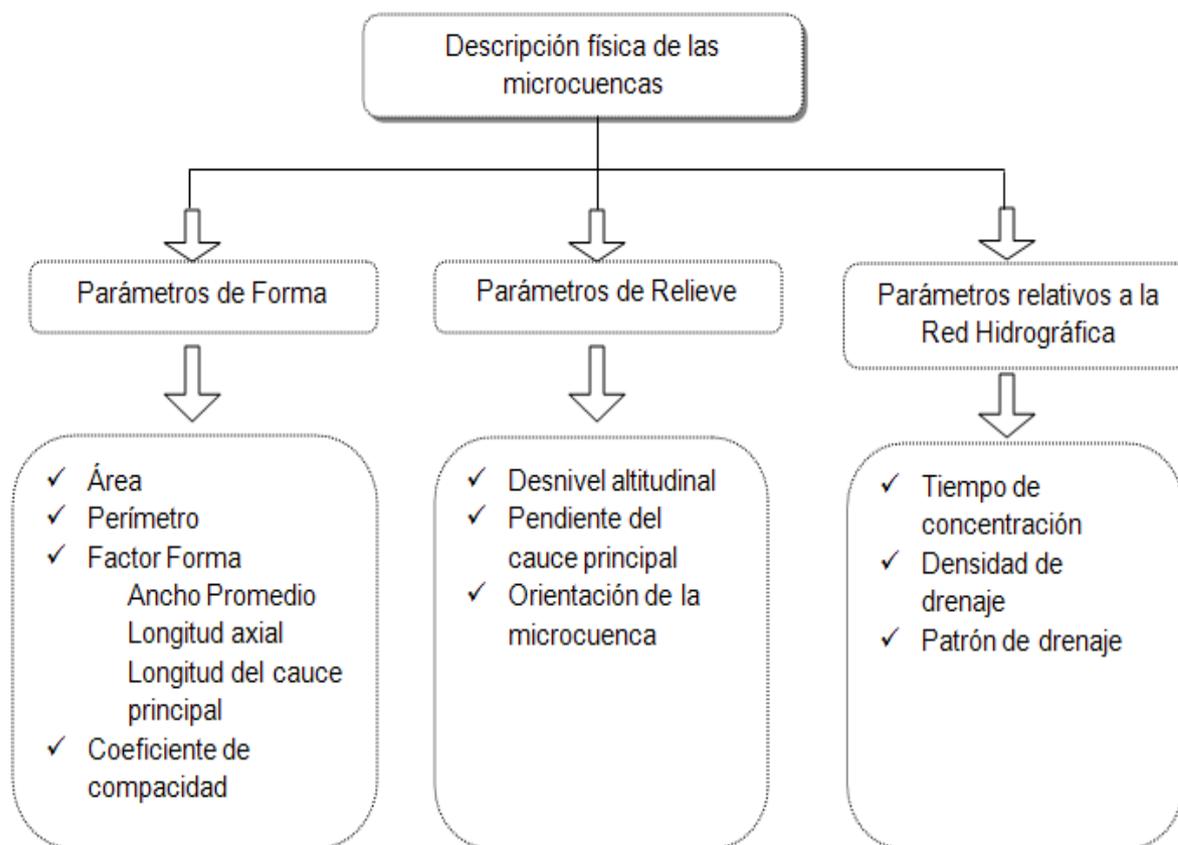


Figura.2.27. Fase metodológica para la caracterización física de la microcuenca.

Fuente: Gutiérrez, 2009.

- *Parámetros de forma*
 - *Factor Forma (Ff)*

Es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una microcuenca. En otras palabras, indica la tendencia que tiene la microcuenca hacia las crecidas, por lo tanto un alto factor de forma muestra que es más propensa a tener lluvias intensas y viceversa.
 - *Ancho promedio (Ap)*

Se lo obtiene al dividir el área de la microcuenca para la longitud axial.
 - *Longitud axial (La)*

Es la distancia que existe entre el punto de salida o desagüe de la microcuenca hasta el punto más alejado de esta.
 - *Longitud del cauce principal*

Es la distancia total del río principal de la microcuenca.
 - *Coefficiente de compacidad (Kc)*

Es indicador de la regularidad geométrica de la forma de la cuenca. Establece la relación entre el perímetro de la microcuenca, y la circunferencia de un círculo con igual superficie que la microcuenca.

- *Parámetros de Relieve*
 - *Desnivel Altitudinal (Da)*

Es la diferencia entre la cota más alta y más baja de la microcuenca.
 - *Pendiente del cauce principal (S)*

Se obtiene al dividir el desnivel altitudinal para la longitud del río principal. También permite estimar su potencial para erosionar, ya que al aumentar la pendiente, la velocidad del río también aumenta, provocando mayor erosión y mayor arrastre de materiales.
 - *Orientación*

Indica la dirección geográfica de la microcuenca.

- *Parámetros relativos a la red hidrográfica*
 - *Tiempo de concentración (Tc)*

Es el tiempo necesario para que el agua que discurre por la superficie procedente del punto más alejado de la microcuenca alcance la salida.
 - *Densidad de drenaje*

Permite conocer el grado de desarrollo del sistema de drenaje de la microcuenca. Es indicador de la respuesta de la microcuenca ante un aguacero.
 - *Patrón de drenaje*

Nos permite conocer la distribución de los afluentes que integran la red hidrográfica de la microcuenca. Pueden ser erosionales o deposicionales.

2.4 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

Un modelo digital de elevaciones (MDE) se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. De forma general, la unidad básica de información en un MDE es un valor de altitud, z , al que acompañan los valores correspondientes de x e y , expresados en un sistema de proyección geográfica para una precisa referenciación espacial (Felicísimo, 1994).

En algunas ocasiones se confunde el término MDE con MDT, por lo que es necesario conocer que es un MDT.

Un modelo digital del terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (Felicísimo, 1994). Con los MDT se puede representar varias propiedades del terreno, permiten una elevada precisión en la descripción de los procesos pero no garantiza la exactitud de los resultados. El término MDT se utiliza como denominación genérica.

Como ejemplo del MDE se puede citar al *Aster GDEM* (ASTER Global Digital Elevation Model). Diseñado por la NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón, conocido también como METI, ha sido elaborado a partir de casi 1,3 millones de imágenes estéreo recogidas por el radiómetro japonés llamado *ASTER* (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), que viaja a bordo del satélite americano Terra, lanzado en diciembre de 1999. Cabe mencionar que los puntos de elevación del terreno son medidos cada 30 metros, por lo cual tiene una resolución espacial aproximada de 30 metros⁴.

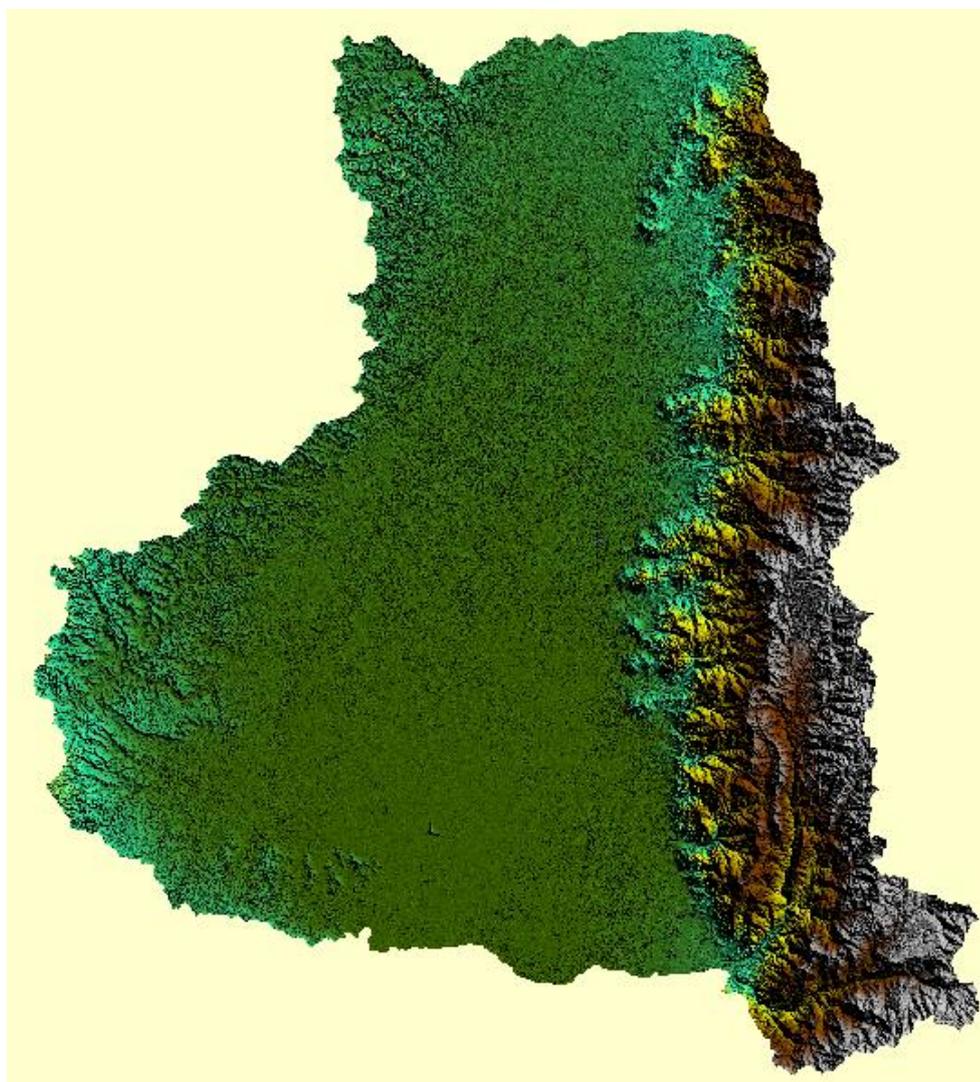


Figura.2.28. Aster GDEM de la cuenca del río Guayas.
Fuente: www.gdem.aster.ersdac.or

⁴ Disponible en: www.gdem.aster.ersdac.or

2.5 MÉTODOS EXISTENTES

- Método Explicito

Método heurístico. También conocido como la combinación de mapas cualitativos, se basa en categorizar y ponderar los factores causantes de un riesgo natural, los factores se combinan mediante el uso de puntajes ponderados, que se asignan a cada uno. La ponderación es dada por un especialista, basándose en su experiencia y conocimiento. La suma de los puntajes de todos los factores da como resultado un mapa de valores numéricos, los que se pueden dividir en rangos para la zonificación de distintos niveles de amenaza.

Su desventaja radica en la ponderación exacta de los distintos factores, en caso de no contar con expertos idóneos, que tengan el conocimiento apropiado, puede conducir a resultados poco confiables.

El método heurístico introduce un grado de subjetividad que imposibilita el comparar documentos producidos por diferentes autores.

Método probabilístico. Los factores se califican en forma semejante al método anterior, pero se combinan con formulaciones matemáticas. Se utilizan cuando se dispone de abundante información, tanto cualitativa como cuantitativa, aplicándose técnicas estadísticas entre los que pueden ser: Univariantes (o bivariantes) y multivariantes.

Análisis estadístico bivariado. Es aplicable a zonas donde se tenga una muestra estadística representativa del fenómeno, para poder obtener un mapa de distribución del mismo. Este mapa se combina con cada uno de los otros mapas de factores (pendientes, cobertura, etc.) y para cada clase de parámetros (rango de pendiente, tipo de cobertura, etc.) se calcula la densidad del fenómeno, asignándole un peso ponderado, para luego obtener una probabilidad condicionada

Análisis estadístico multivariado. En éste interviene la interacción y dependencia de un conjunto de factores que actúa simultáneamente en la ocurrencia del fenómeno, estableciendo la implicación que tiene cada uno de ellos. Resulta ser una aproximación más objetiva que otras técnicas, situándose como uno de los procedimientos con mejores resultados en la predicción espacial del fenómeno. Al igual que en el método anterior se toman todos los factores de análisis pero se divide la zona de estudio en cuadrículas o unidades morfométricas. Para cada una de las unidades se establece la presencia o ausencia del fenómeno con el fin de conformar una matriz, para posteriormente ser analizada mediante regresiones múltiples o análisis discriminantes de cada factor.

- Método Implícito

Método de Análisis Geomorfológico. Es un método directo basado en la geomorfología identificada, localizada y también en los procesos asociados al fenómeno por el experto en el campo. La evaluación es subjetiva porque no sigue reglas que pueda repetir otro experto. Los criterios obtenidos con las observaciones permiten la confección del mapa de susceptibilidad y/o peligrosidad final. La elaboración de estos mapas exige conocer la morfología y tipología del fenómeno de estudio (Hansen y Frank, 1991).

Los métodos de análisis geomorfológicos pueden ser los siguientes:

Análisis de la densidad. Se calculan las densidades a partir del recuento del fenómeno. Los valores resultantes son interpolados y representados como medias de líneas de igual número, el método no investiga las relaciones entre el fenómeno y los factores causantes del mismo.

Análisis de la actividad. Se basa en la interpretación multitemporal de fotos aéreas o imágenes satelitales, obteniendo un mapa de actividad del fenómeno. Es posible obtener datos para estimar la recurrencia de los períodos de actividad del fenómeno.

Tabla. 2.3. Métodos existentes.

NOMBRE DEL MÉTODO	DIVISION	SUBDIVISION	ESCALA	INFORMACIÓN BÁSICA									CARACTERÍSTICAS	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Método Explícito	Heurístico	Combinación de mapas cualitativos (Martínez et al., 1998 y Suárez) Inundaciones: Análisis Multitemporal	Todas las escalas, es recomendable para escalas: 1: 10000 a 1:25000 < 1:10000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento a priori de factores. • Uso de puntajes ponderados, SIG. • Dificultad: Asignación correcta de puntajes, resultados pobres
	Probabilístico	Análisis estadístico bivariado (Vargas, 1994 y Castro, 1998) Inundaciones: Análisis Hidráulico	1: 10000 a 1:25000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Formulaciones matemáticas. • Aplicable a zonas donde se tenga muestras estadísticas representativas. • Mapa de distribución. • Pesos Ponderados • Datos históricos. • Resultados confiables.
		Análisis estadístico multivariado (Mora y Vahrson, 1994)	1: 10000 a 1:25000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Formulaciones matemáticas. • Divide las zonas de estudio en cuadrículas o unidades morfométricas. • Para cada unidad se establece la presencia o ausencia de un fenómeno para conformar una matriz. • Regresiones múltiples • Análisis discriminantes
Método Implícito	Análisis Geomorfológico (Sijmonsbergen, 1992) (Petley y Murphy, 2000)	Análisis de la densidad (Wright et al., 1974)	1: 10000 a 1:25000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Calculo de las densidades. • Observación directa • Conocimiento y experiencia (subjetiva) 	
		Análisis de la actividad (Canutti et al., 1986)	1: 10000 a 1:25000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretación multitemporal. • Observación directa • Conocimiento y experiencia (subjetiva)

1. Topografía 2. Geología: Litología 3. Geomorfología 4. Agrología 5. Clima: Lluvia 6. Cobertura del suelo 7. Sismos 8. Elementos antrópicos 9. Propiedades Geomecánicas

Elaboración: Autoras.

- Método de Mora-Vahrson

Se considera como un método explícito, probabilístico de análisis multivariado, basado en indicadores morfodinámicos, los mismos que se puede obtener de manera sencilla. Los indicadores morfodinámicos conocidos como factores pasivos (o factores de susceptibilidad) y factores de disparo, se combinan mediante una ponderación que define su grado de influencia, dando como resultado un valor relativo de la amenaza por movimientos en masa.

Los factores de susceptibilidad toman en cuenta no sólo las condiciones litológicas, freáticas, humedad, espesor de suelos, sino también la rugosidad del terreno. Los factores de disparo de los deslizamientos son: intensidades sísmicas y lluvias intensas.

Es así como se considera que el grado de susceptibilidad al deslizamiento es el producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo (Mora, R. et al., 1992):

$$H = EP * D$$

Donde:

H = grado de susceptibilidad al movimiento en masa,

EP = valor producto de la combinación de los elementos pasivos, y

D = valor del factor de disparo.

Por su parte el valor de los elementos pasivos se compone de los siguientes parámetros (Mora, R. et al., 1992):

$$EP = S_l * S_h * S_p$$

Donde:

S_l = valor del parámetro de susceptibilidad litológica,

S_h = valor del parámetro de humedad del terreno, y

S_p = valor del parámetro de la pendiente.

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros (Mora, R. et al., 1992):

$$D = D_s + D_{ll}$$

Donde:

D_s = valor del parámetro de disparo por sismicidad, y

D_{ll} = valor del parámetro de disparo por lluvia.

Sustituyendo los parámetros apropiados, la ecuación original se puede expresar como (Mora, R. et al., 1992):

$$H = (S_l * S_h * S_p) * (D_s + D_{ll})$$

De esta ecuación se pueden derivar las relaciones (Mora, R. et al., 1992):

$$H_s = (S_l * S_h * S_p) * (D_s)$$

$$H_{ll} = (S_l * S_h * S_p) * (D_{ll})$$

Donde:

H_s = susceptibilidad a movimientos en masa por sismicidad, y

H_{ll} = susceptibilidad a movimientos en masa por lluvias.

- Análisis Hidráulico

Uno de los métodos más empleados por el INAHMI para la identificación y delimitación de zonas propensas a inundación son los estudios hidráulicos, usualmente desarrollados por hidrólogos. Estos son el sustento de los Mapas de Peligro por Inundaciones y Sistemas de Alerta Temprana, constituyéndose un elemento de gran importancia a la hora de tomar decisiones territoriales.

El estudio hidrológico comprende la determinación del régimen pluviométrico, la distribución espacial de la lluvia representado por el Mapa de Isoyetas de las cuencas, el mapa de precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno y la cuantificación de los caudales máximos referidos a periodos de retorno de 5,10, 25, 50 y 100 años para las cuencas hidrográficas. Todos estos procesos atienden a una serie de técnicas: topografía detallada, reconocimiento de campo, encuestas a la población, datos empíricos,

conocimiento determinístico y cálculo probabilístico y de recurrencia de caudales, entre otras.

Es necesario para el desarrollo de este tipo de estudio contar con varios parámetros tales como la geomorfología del terreno, orografía y condiciones hidrometeorológicas. Dicha información se plasma en mapas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

2.6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para auxiliar en la captura, administración, manipulación, análisis, y presentación de datos u objetos referenciados espacialmente, llamados comúnmente datos espaciales u objetos espaciales (Harmon y Anderson, 2003).

De igual forma, es el conjunto de técnicas metodológicas para modelar variables, eventos y fenómenos geográficos mediante procesos manuales o automatizados, que permiten recopilar datos, almacenarlos, analizarlos y presentar la información en resultados entendibles, de manera local o de alguna forma de acceso público (Medina, 2007).

- *Procesos de un SIG*

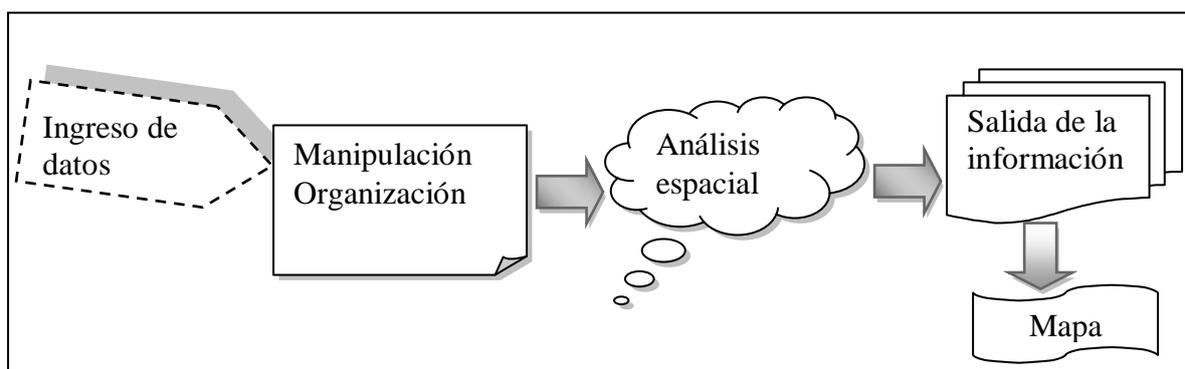


Figura.2.29. Procesos de un SIG.
Elaboración: Autoras.

Los SIG funcionan por procesos: el primero es el ingreso de datos, sean estos digitalizados a partir de cartas topográficas o imágenes satelitales, medidos con

topografía o geodesia, entre otros. Una vez que tenemos los datos se realiza su manipulación y organización, esto se refiere a las diferentes herramientas que permiten el manejo de la información como transformación de coordenadas, cálculos, actualizaciones gráficas y tabulares, etc. En el análisis espacial es donde se trata los datos ya manipulados para producir la información geográfica, algunas funciones analíticas pueden ser: relaciones espaciales, de vecindad, de pertenencia, topología, etc. Después de todos los procesos mencionados anteriormente se puede representar dicha cartografía en papel o en digital, realizando mapas.

Existen dos formas de representar los objetos espaciales: Raster y Vectorial. La representación *Raster*, se encuentra formada por píxeles que están georreferenciados, es decir cada píxel tiene asociada una posición geográfica (Ej: latitud, longitud). En la representación *Vectorial* un objeto espacial se representa por su geometría y tiene integrado un conjunto de atributos. Por ejemplo: una “zona urbana” está representada por una geometría (polígono) y por un conjunto de atributos temáticos: posición geográfica (latitud y longitud), color según el área, etc.

La mayor utilidad de un sistema de información geográfica está íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos. La construcción de modelos de simulación⁵, se convierte en una valiosa herramienta para analizar fenómenos que tengan relación con tendencias y así poder lograr establecer los diferentes factores influyentes.

Por las razones expuestas, existe a nivel nacional la necesidad de suministrar información sobre la probabilidad espacial y temporal de ocurrencia de los movimientos en masa e inundaciones, para lo cual se toma como herramienta de trabajo a los sistemas de información geográfica, que permiten de forma rápida y precisa trabajar los datos y los diferentes parámetros.

⁵ Se refiere al diseño y empleo de algoritmos numéricos que utilizan la información de los MDT, generando modelos derivados.

2.7 MODELOS CARTOGRÁFICOS

Los Modelos Cartográficos “se refieren a la utilización de las funciones de análisis de un sistema de información geográfica bajo una secuencia lógica de tal manera que se puedan resolver problemas espaciales complejos” (IGAC, 1995).

De acuerdo a Cristancho (2003), son características de los modelos cartográficos:

- Presentación de una secuencia lógica de operaciones analíticas expresadas en Diagramas de Flujo (*Flowcharts*)
- Codificación en macros (*lenguajes de comando*)
- Apoyo en el uso de SIG en planeamiento, realización de consensos (*consensus building*) y resolución de conflictos

En el esquema de flujo se presentan primero los datos o mapas primitivos de entrada, luego los mapas derivados, a continuación los mapas de interpretación y finalmente el resultado ó interpretación final integrada. Por ej: un mapa de entrada puede ser el de altitudes, el mapa derivado podría ser el de pendientes y el mapa interpretado sería por ejemplo el mapa con pendientes seleccionadas.

2.8 SUSCEPTIBILIDAD

El término susceptibilidad hace referencia a la predisposición del terreno, a la ocurrencia de un fenómeno y no implica el aspecto temporal de dicho fenómeno (Santacana, 2001).

La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que pueda ocurrir un fenómeno.

La susceptibilidad se puede evaluar de dos formas diferentes:

- *Sistema de la experiencia*

Se utiliza la observación directa de la mayor cantidad de fenómeno ocurrido en el área estudiada y se evalúa la relación entre el fenómeno y la geomorfología del terreno.

- *Sistema teórico*

Se mapea el mayor número de factores que se considera que puedan afectar la ocurrencia del fenómeno y luego se analiza la posible contribución de cada uno de los factores. Este estudio se fundamenta en dicho sistema.

La susceptibilidad puede clasificar la estabilidad relativa de una zona, en categorías que van de estable a inestable.

2.9 AMENAZA NATURAL

Está asociada con la posible manifestación de un fenómeno de origen natural -por ejemplo, un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o inundación- cuya génesis se encuentra en los procesos naturales de transformación y modificación de ambiente.

Amenaza natural es el resultado de combinar los factores internos (referentes a las características del terreno como litología, geomorfología, suelos, etc.) con los factores externos o de disparo (referentes a las condiciones del ambiente como precipitaciones, sismos, etc.)

Cabe mencionar que amenaza y peligro no significan lo mismo. El peligro existe cuando hay una amenaza que puede causar daños a la población, a los bienes materiales o al medio ambiente.

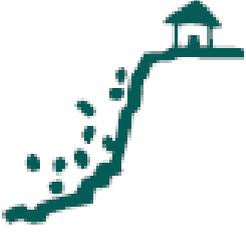
Peligro es la probabilidad de ocurrencia de las consecuencias de un fenómeno de origen natural o antrópicos, generalmente de carácter sorpresivo, de evolución rápida y de relativa severidad, que se concentra durante un determinado período

de tiempo y en un lugar, afectando a un componente o a la totalidad del sistema territorial expuesto.

2.9.1 Tipo de amenaza y ubicación

Tabla.2.4. Tipos de amenaza.

TIPO	CLASE	DESCRIPCION	UBICACION
AMENAZAS GEOLOGICAS NATURALES	TERREMOTOS 	Los terremotos son fuertes movimientos de la corteza terrestre que se originan por la repentina liberación de la energía de tensión lentamente acumulada en una falla de la corteza terrestre.	Zonas planas y/o montañosas
	TSUNAMIS (MAREMOTOS) 	Serie de olas marinas gigantes que se abaten sobre las costas, provocadas por terremotos, erupciones volcánicas o deslizamientos submarinos. Las características únicas de los tsunamis (olas con 100 km. o más de longitud, velocidades en aguas profundas de hasta 700 Km. /h y altura de cresta pequeña en aguas profundas) hacen que sean difíciles de detectar y monitorear.	Zonas costeras
	ERUPCIONES VOLCANICAS 	Explosiones o emanaciones de lava, ceniza y gases tóxicos desde el interior de la Tierra, a través de los volcanes. La actividad volcánica puede, a su vez, accionar otros eventos naturales peligrosos, incluyendo tsunamis locales, deformación del paisaje, inundaciones por rompimiento de las paredes.	Zonas montañosas
AMENAZAS HIDRO-METEOROLOGICAS	INUNDACIONES 	Presencia de grandes cantidades de agua en general provocadas por fuertes lluvias y que el suelo no puede absorber.	Zonas planas y/o montañosas

	<p>MOVIMIENTOS EN MASA</p> 	<p>Comprenden una gran variedad y complejidad de movimientos de material geológico debidos a la fuerza de gravedad. Se presentan sobre todo en la época lluviosa o durante una actividad sísmica.</p>	<p>Zonas montañosas</p>
	<p>SEQUIAS</p> 	<p>Período de tiempo (meses, años) durante el cual una zona de la tierra padece por la falta de lluvia, causando daños graves al suelo, los cultivos, los animales y hasta las personas.</p>	<p>Zonas planas y/o montañosas</p>

Elaboración: Autoras.

2.9.2 Características principales

Para identificar una amenaza es necesario conocer sus principales características, entre las cuales se mencionan:

- *Probabilidad de ocurrencia.* Se refiere a la frecuencia de probabilidad de ocurrencia de un fenómeno extremo. Puede ser a corto o largo plazo. Como ejemplo se puede expresar en el siguiente término: *el número de eventos de ciertas características que puede ocurrir en un área por año.*
- *Duración.* Se refiere al tiempo que durará el fenómeno. Es decir, unos pocos segundos o minutos en el caso de un terremoto; y, meses, o incluso años, en el caso de una sequía.
- *Intensidad y/o magnitud.* Se refiere a la gravedad que tendrá probablemente un fenómeno. Para medir la intensidad, en algunas ocasiones se necesita contar con equipo e instrumentos sofisticados; sin embargo pueden usarse métodos sencillos en el nivel local que permitan una aproximación sobre la intensidad de una amenaza; por ejemplo, las marcas de nivel en los ríos utilizando las piedras o las bases de los

puentes, velocidad de los vientos y volumen y frecuencia de las precipitaciones en casos de huracán, magnitud e intensidad de terremotos.

- *Localización y alcance.* Se refiere a la afectación de una o más amenazas naturales en la zona de estudio, también a qué tipo de amenazas son y dónde se encuentran.
- *Previsibilidad.* Se refiere a la seguridad con la que puede preverse cuándo y dónde ocurrirán esos fenómenos.

2.9.3 Grado de amenaza

No existe un estándar nacional e internacional para la calificación de la amenaza. Los términos utilizados incluyen desde la amenaza muy baja a la amenaza muy alta.

Se recomienda la utilización de tres escalas de clasificación; sin embargo, la zonificación no debería ser subjetiva sino que debería representar un margen de probabilidad como lo recomienda Hungr en la tabla 2.5.

Tabla.2.5. Escalas recomendadas para la zonificación de amenazas referentes a un fenómeno.

Grado de Amenaza	Baja	Probable
	Media	Probable el tiempo de ocurrencia.
	Alta	inminente
Hungr, 1997	Muy alta probabilidad	inminente

CAPITULO 3

METODOLOGIA

El presente capítulo describe la recopilación y la validación de la información necesaria para la ejecución de este estudio. Aquí se desarrolla la metodología propuesta para el análisis de la amenaza para movimientos en masa e inundaciones, detallando cada parámetro utilizado con su manejo espacial en el software.

3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La recopilación de la información se basó principalmente en el análisis de los parámetros necesarios. Se acudió a las diferentes instituciones como son:

	CARTOGRAFÍA BASE	CARTOGRAFÍA TEMÁTICA	DATOS NECESARIOS
CLIRSEN	✌️	✌️	✌️
SIGTIERRAS		✌️	
IGM	✌️		
INSTITUTO GEOFISICO NACIONAL		✌️	
INAMHI			✌️
DINAGE		✌️	

Figura.3.1. Instituciones colaboradoras
Elaboración: Autoras.

3.2 EVALUACIÓN DE LA CARTOGRÁFICA BASE Y TEMÁTICA

3.2.1 Cartografía base y temática

La información referente a la cartografía base y temática preliminar para el inicio del presente estudio, fue facilitada por la institución auspiciante (CLIRSEN), y fue sometida a procesos de validación con la finalidad de determinar la fiabilidad de los datos a ser empleados (anexo A).

3.2.2 Modelo digital de elevaciones

En inicio se trató de utilizar el Aster GDEM de resolución de 30m en la zona de estudio, para lo cual se realizó una evaluación sobre la aplicabilidad para la escala de trabajo (1:25000).

Se cuantificó el error del Aster GDEM comparando un conjunto de valores de alturas (puntos acotados, a escala 1:50.000) con puntos homólogos del modelo, mediante pruebas estadísticas.

El proceso a seguir para poder cuantificar el error en los modelos digitales de elevaciones, en este caso el Aster GDEM se lo encuentra en el anexo B.

3.2.3 Digitalización

De la cartografía base de las microcuencas de estudio, solo estaba disponible la información de la microcuenca del estero Roncador, por lo que se procedió a digitalizar la cartografía base de la microcuenca del río San Antonio, a partir del MDE de resolución de 5 m. (facilitado por SIGTIERRAS), utilizando el software ArcGis 9.2, el cual facilita realizar el proceso de digitalización de forma precisa.

Cabe destacar que lo fundamental en esta fase es dar una interrelación entre la información vectorial con la información descriptiva.

Los elementos digitalizados comprenden básicamente:

Tabla. 3.1. Elementos digitalizados de la microcuenca del río San Antonio.

TEMA / ELEMENTO	COLOR
Edificaciones	Naranja
Transporte	Amarillo
Hidrografía	Azul

Elaboración: Autoras.

Tabla. 3.2. Características de los elementos digitalizados.

COBERTURA	TIPO DE COBERTURA	CAMPO	TIPO DE CAMPO
VIA	Poli línea	Camino Pavimentado de dos o más vías y Sendero	Texto 75
RIO	Poli línea	Intermitente y perenne	Texto 75
EDIFICACION	Punto	Sin nombre	Texto 75

Elaboración: Autoras.

- El proceso inicial consistió en crear una geo data base, con el nombre de PLANIMETRIA_SAN ANTONIO, se procedió a adicionar new feature data set con los nombres de Hidrografía, Miselaneos, y Transportación_Carreteras, los cuales fueron llenados con news features class nombrados respectivamente como Río, Edificación, Vía.
- Se procedió a digitalizar las coberturas de Vía y Edificación utilizando como insumo visual a la ortofoto, la cual posee una resolución de 5 m, para la obtención de la hidrografía de la microcuenca se utilizó la herramienta Hydrology del Spatial Analyst Tools, partiendo del MDT del cual se obtuvo el flujo de direcciones de acumulación, observando graficamente los cauces de la zona de estudio, y comprobando con el mapa de sombras.

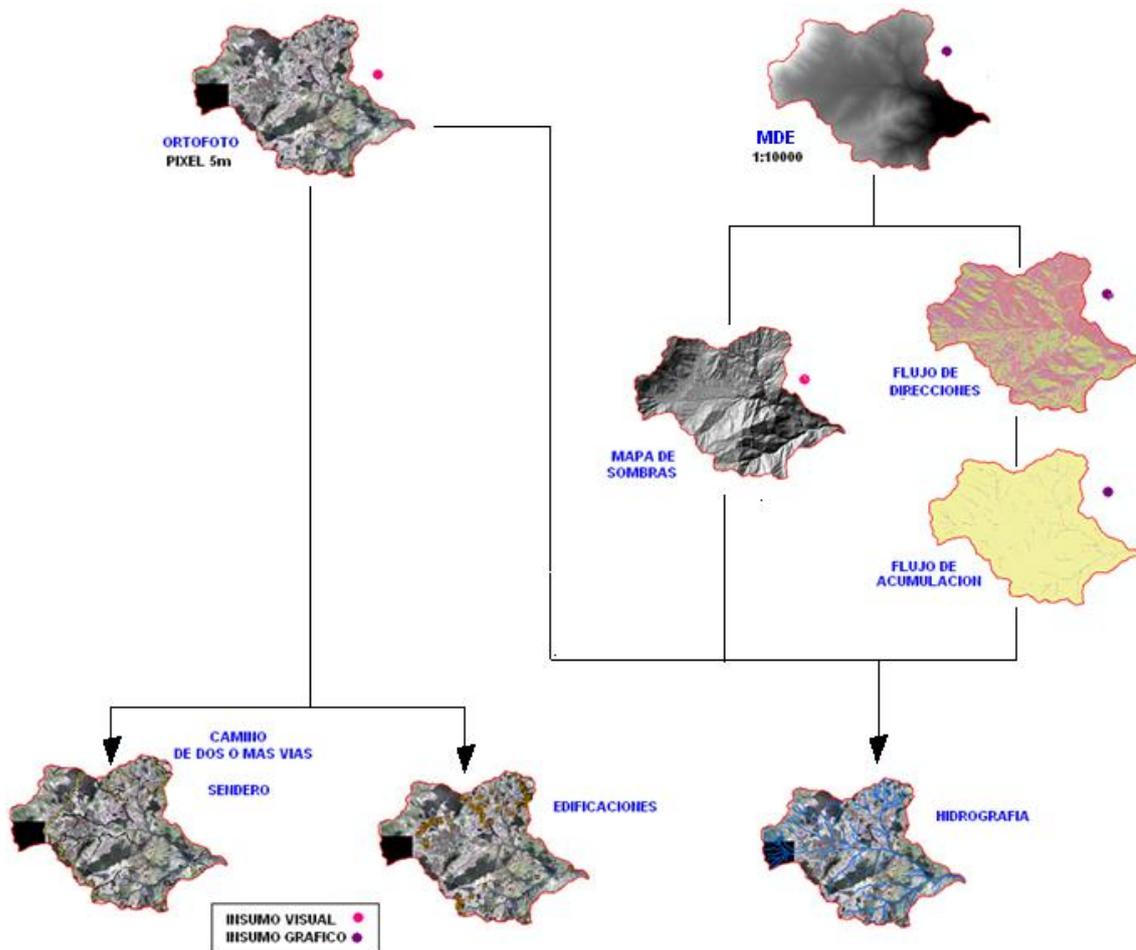


Figura. 3.2. Diagrama del proceso de digitalización
Elaboración: Autoras.

- Se continuó con el proceso de Topología de los datos lineales, en el cual se utilizó las siguientes reglas topológicas:

REGLAS TOPOLOGICAS UTILIZADAS

Must Not Overlap	
Must Not Intersect	
Must Not Have Dangles	
Must Not Have Pseudos	
Must Not Self-Overlap	
Must Be Single Part	
Must Not Self-Intersect	
Must Not Intersect Or Touch Interior	

Figura.3.3. Reglas topológicas de elementos lineales.
Elaboración: Autoras.

- El resultado son elementos del terreno representados digitalmente.

3.3 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LAS MICROCUENCAS

Utilizando Excel 2007 y Arcgis9.2 de acuerdo a las respectivas fórmulas y de manera automatizada, se calculan los diferentes parámetros morfométricos.

Tabla. 3.3. Parámetros de Forma.

PARAMETRO	FORMULA	FUENTE
Aérea (A)	Software (Arcgis 9.2)	Calculate Geometry
Perímetro (P)	Software (Arcgis 9.2)	Calculate Geometry
Factor forma (Ff)	$Ff = \frac{Ap}{La}$	(Urbina, 1974)
Ancho Promedio (Ap)	$Ap = \frac{A}{La}$	(Urbina, 1974)
Longitud axial (La)	$La = \sqrt{(Xf - Xi)^2 + (Yf - Yi)^2}$ Xf, Yf = coordenadas del punto más alto Xi, Yi = coordenadas del punto más bajo, en la desembocadura.	
Longitud del cauce principal (Lr)	Software (Arcgis 9.2)	Calculate Geometry
Coefficiente de compacidad (Kc)	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	(Llamas, 1993)

Elaboración: Autoras.

Tabla. 3.4. Parámetros de Relieve.

PARAMETRO	FORMULA	FUENTE
Desnivel altitudinal (Da)	Da= Hmax – Hmin Hmax = altura en el punto más alto Hmin = altura en el punto más bajo	(Llamas, 1993)
Pendiente del cauce principal (S)	$S = \frac{Da}{Lr}$	(Llamas, 1993)
Orientación de la microcuenca	Software (Arcgis 9.2)	3D Analyst, Surface Analysis, Hillshade

Elaboración: Autoras.

Tabla. 3.5. Parámetros relativos a la Red Hidrográfica.

PARAMETRO	FORMULA	FUENTE
Tiempo de concentración (Tc)	$Tc = 0.0195 \left(\frac{Lr^3}{Da} \right)^{0.385} \text{ (min)}$ Lr y Da en m.	Kirpich
	$Tc = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5Lr)}{0.8Da^{0.5}}$ A en km ² Lr en km. Da en m.	Giandotti
Densidad de drenaje (Dd)	$Dd = \frac{Lr + \text{sumatoria } (Li)}{A}$ Li= longitud de los cursos de agua	(Urbina, 1974)
Patrón de drenaje	Análisis de los patrones de drenaje	

Elaboración: Autoras.

3.4 MÉTODO PROPUESTO PARA MOVIMIENTOS EN MASA

- *Mora Vahrson Modificado (MVM)*

La metodología empleada para el presente estudio sigue el lineamiento del método descrito en el capítulo 2, adicionando como parámetros extras a la cobertura vegetal y uso del suelo, infraestructura vial y a la concentración de flujo de agua, para la identificación de la amenaza por movimientos en masa.

Modelo matemático de amenaza por movimientos en masa

$$H = EP * D$$

$$H = (P * CV * L * H * CF) * (AV + I + S)$$

Donde:

H = amenaza por movimiento en masa.

EP = valor producto de la combinación de los elementos pasivos (susceptibilidad).

D = valor del factor de disparo.

P = pendientes.

CV = cobertura vegetal y uso del suelo.

L = geología.

H = humedad.

CF = concentración de flujo de agua

AV = afectación vial

I = isoyetas

S = sismicidad

3.4.1 Modelo temático de movimientos en masa

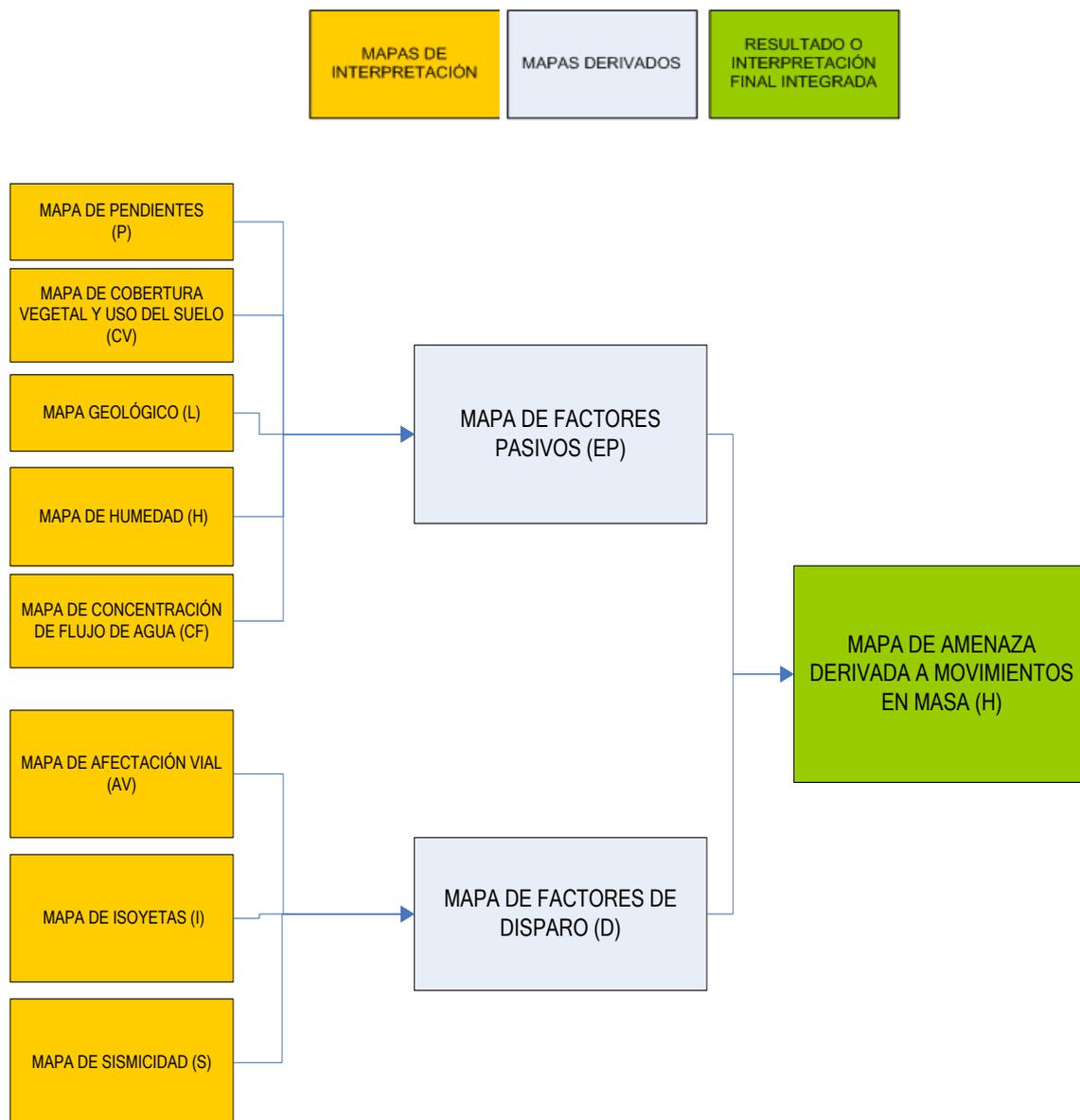


Figura. 3.3. Modelo temático para movimientos en masa.
Elaboración: Autoras.

3.4.2 Pendiente

- Para el estudio se utilizó el modelo digital de elevaciones con una resolución de 6m (SIGTIERRAS), del cual se partió con ayuda del 3D Analyst del ArcGis 9.2 para realizar un raster de pendientes del río San Antonio.
- Se continuó con una reclasificación del raster, el cual se lo realizó mediante los valores definidos en grados (Tabla 3.6).
- Se agregó en la tabla de atributos del raster obtenido en el proceso anterior, las condiciones del terreno para poder identificar las diferentes pendientes y se asignó los pesos correspondientes.

Las clases de pendientes pueden coincidir con los sectores críticos, donde los procesos de movimientos en masa son dominantes, es por ellos que la asignación de pesos se basa en el supuesto que: a menor pendiente menor será la importancia para la valoración de amenaza por movimientos en masa.

Tabla. 3.6 Clases de pendientes y condiciones del terreno.

GRADOS	PORCENTAJE	CONDICIONES DEL TERRENO	PESOS
0-2	0-2	Planicie, sin denudación apreciable	0
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión	1
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión	2
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión.	3
16-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos	4
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	5

> 55	> 140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada	6
------	-------	--	---

Fuente: Mora, 1992.

- Del raster de pendiente que se obtuvo de la reclasificación, se lo convirtió a vector mediante la herramienta Spatial Analyst.
- Se procedió a una edición topológica para poder posteriormente calcular el área que ocupa cada tipo de pendiente en la microcuenca del río San Antonio, finalmente se obtuvo la capa de pendientes.

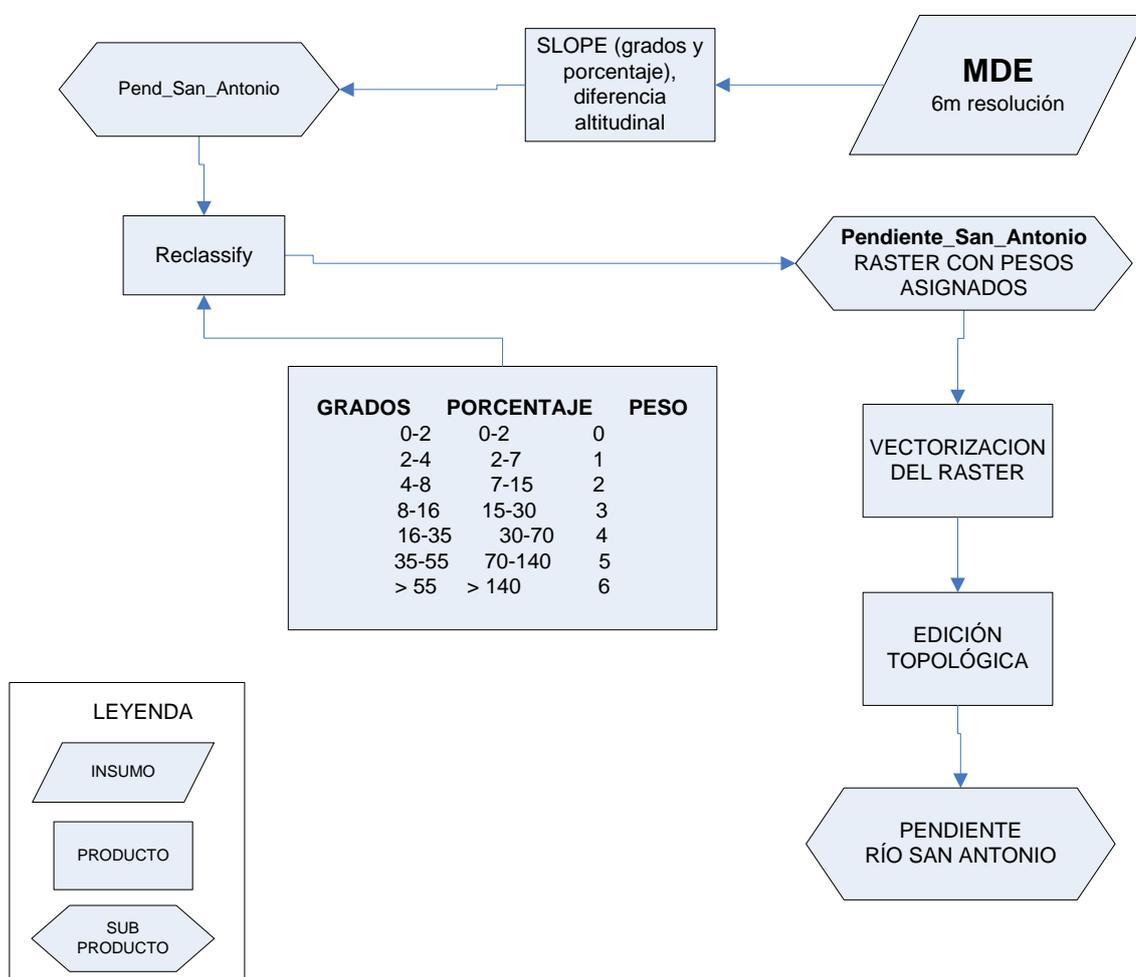


Figura. 3.4 Flujo de datos de la capa de pendientes de río San Antonio. Elaboración: Autoras.

3.4.3 Cobertura vegetal y uso del suelo

- Para este estudio se utilizó la cobertura de uso del suelo facilitada por SIGTIERRAS, a escala 1:20.000.
- Se analizó los diferentes tipos de vegetación y se les asignó un peso de acuerdo a su influencia en la estabilidad de laderas. Siendo menor influencia el área perteneciente a bosque primario, y mayor influencia a áreas erosionadas. Se le asignó un peso de 0 a los asentamientos humanos, debido a que no influyen en la susceptibilidad del terreno.

Tabla. 3.7. Calificación para el tipo de vegetación y uso del suelo para movimientos en masa.

TIPO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	PESO
Área en proceso de erosión	5
Área erosionada	5
Cultivo anual	4
Cultivo semi perenne	4
Cultivo perenne	3
Bosque intervenido	2
Pasto cultivado	3
Pasto natural	3
Vegetación arbustiva	2
Bosque natural	1
Bosque plantado	1
Asentamiento humano y zona urbana	0

Elaboración: Autoras.

- Se convirtió el shape de uso a raster, mediante la herramienta Spatial Analyst Tools.

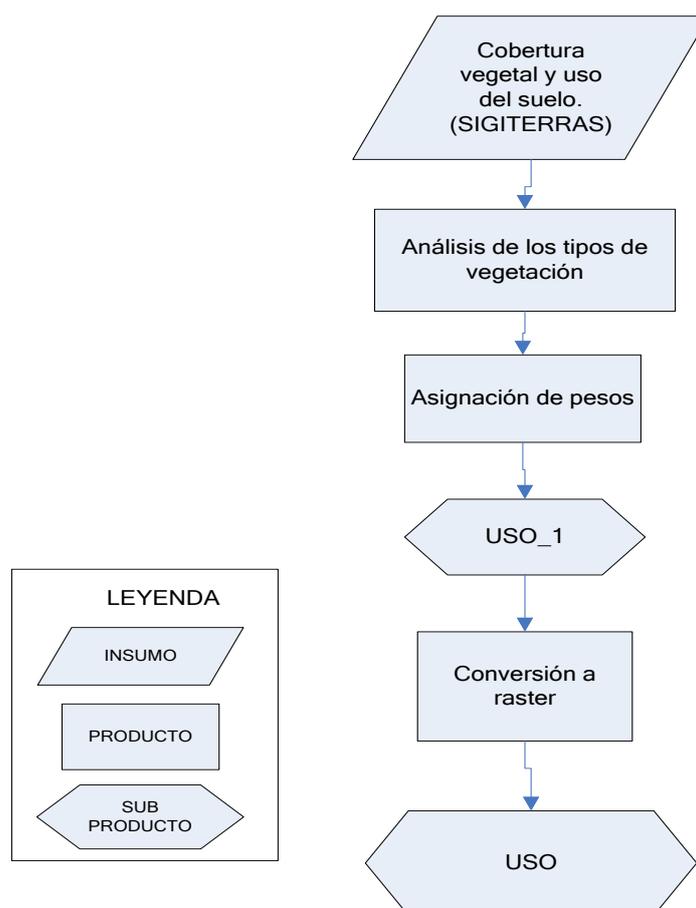


Figura. 3.5 Flujo de datos de la capa de cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del río San Antonio.
Elaboración: Autoras.

3.4.4 Geología

- Para este estudio se utilizó la hoja geológica de Bucay a escala 1:100.000 publicada por la DINAGE, existente en la Mapoteca del CLIRSEN.
- Al contar con la hoja geológica en formato análogo, se la escaneó para tenerla en formato digital (bucay.tiff). Se procedió a su georeferenciación: sistema de referencia y datum WGS84, zona 17s, utilizando la herramienta Georeferencing, ArcGis9.2.
- Una vez que se obtuvo la hoja geológica georeferenciada (BucayW84.tiff), se creó el shape "Geología" y se digitalizó el área de la microcuenca para obtener la capa de Geología, utilizando las herramientas del Editor, Arcgis 9.2

- Se verificó las unidades litológicas de la capa de Geología, utilizando el MDE. Se modificó los límites de las unidades litológicas utilizando las herramientas del Editor, Arcgis 9.2.
- Como la hoja geológica utilizada data del año 1977 (trabajo realizado por Bristow y Hoffstetter), se actualizó la nomenclatura estratigráfica a partir del Léxico Estratigráfico del Ecuador desarrollado en 1995 por PRODEMINCA.
- Se analizó la influencia de la litología basándose en las características litológicas y físico-mecánicas, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla.3.8. Calificación del factor litológico.

LITOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS FISICOMECAÑICAS	PESO
Aluviones: gruesos, permeables, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeables. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo	Sanos con poco o Ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas sin rellenos.	1
Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza, poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático a profundidades intermedias.	Resistencia al corte media a elevada, fracturas cizallables.	2
Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas, coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.	Resistencia al corte: moderada a media, fracturación importante.	3
Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.	Resistencia al corte: moderada a baja.	4
Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre.	Resistencia al corte: muy baja, materiales blandos con muchos finos.	5

Fuente: Mora, 1992.

- Se convirtió el shape de geología a raster, mediante la herramienta Spatial Analyst Tools.

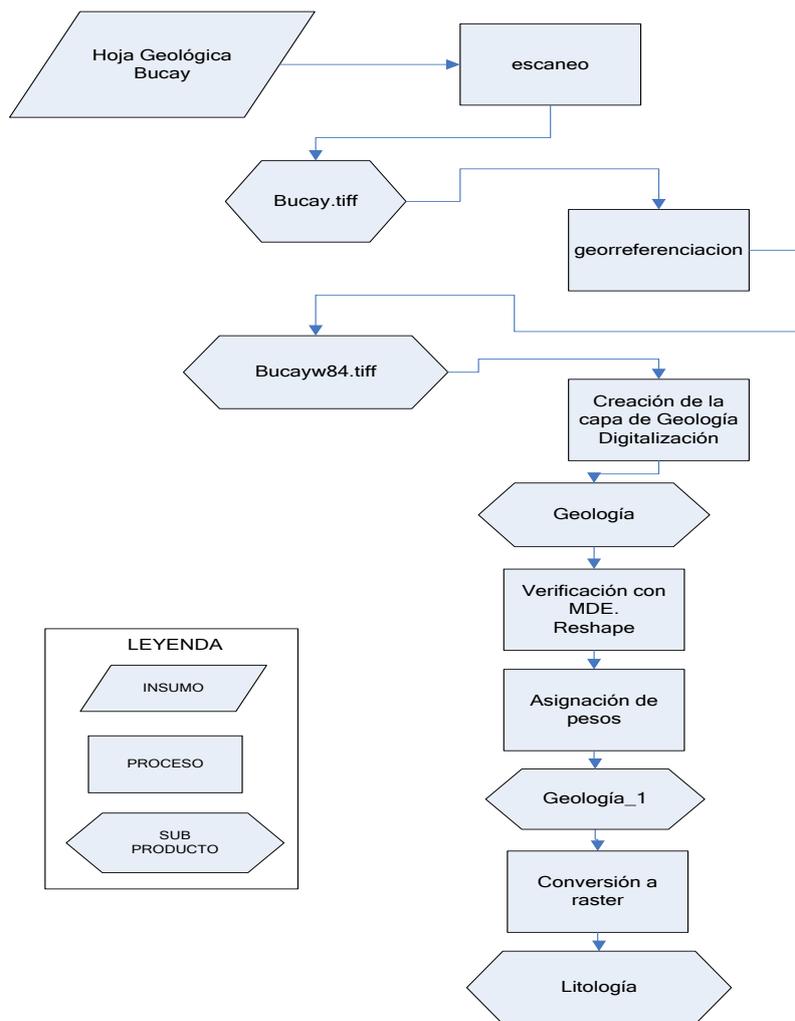


Figura. 3.6 Flujo de datos de la capa de Litología de la microcuenca del río San Antonio. Elaboración: Autoras.

3.4.5 Humedad

- Se utilizó los promedios mensuales de precipitación de las estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio (M130, M388, M391 y M402), de un promedio de 17 años (1985-2003), efectuando con ellos un balance hídrico simplificado, en donde se asumió una evapotranspiración potencial de 250 mm/mes para nuestro país.
- Precipitaciones mensuales inferiores a 250 mm no conducen a un aumento de la humedad del terreno, mientras que una precipitación entre 250 y 550 mm sí la incrementa; y precipitaciones mensuales superiores a 550 mm conducen a una humedad del suelo muy alta.

Tabla. 3.9. Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia

Promedio de precipitación mensual [mm]	Valor asignado
<250	0
250 - 550	1
>550	2

Elaboración: Autoras.

- A los promedios mensuales se les asignó los pesos y se efectuó la suma de estos valores para los doce meses del año, con lo que se obtuvo un valor que puede oscilar entre 0 y 24 unidades. La clasificación de las estaciones meteorológicas se la realizó mediante un análisis de aquellas estaciones que están ubicadas dentro y fuera del área de estudio, consiguiendo de esta forma observar y estudiar los datos continuos en las mismas.

Tabla. 3.10. Valoración del parámetro humedad del terreno.

Suma de valores asignados a cada mes	Descripción	Peso
0-4	Muy bajo	1
5-9	Bajo	2
10-14	Medio	3
15-19	Alto	4
20-24	Muy alto	5

Fuente: Mora, R. et al., 1992.

- El rango de tiempo se lo consideró únicamente según la disponibilidad y toma de datos de las estaciones cercanas a la microcuenca del río San Antonio.

- Una vez asignado los pesos correspondientes al shape humedad_1, se lo convirtió a raster.

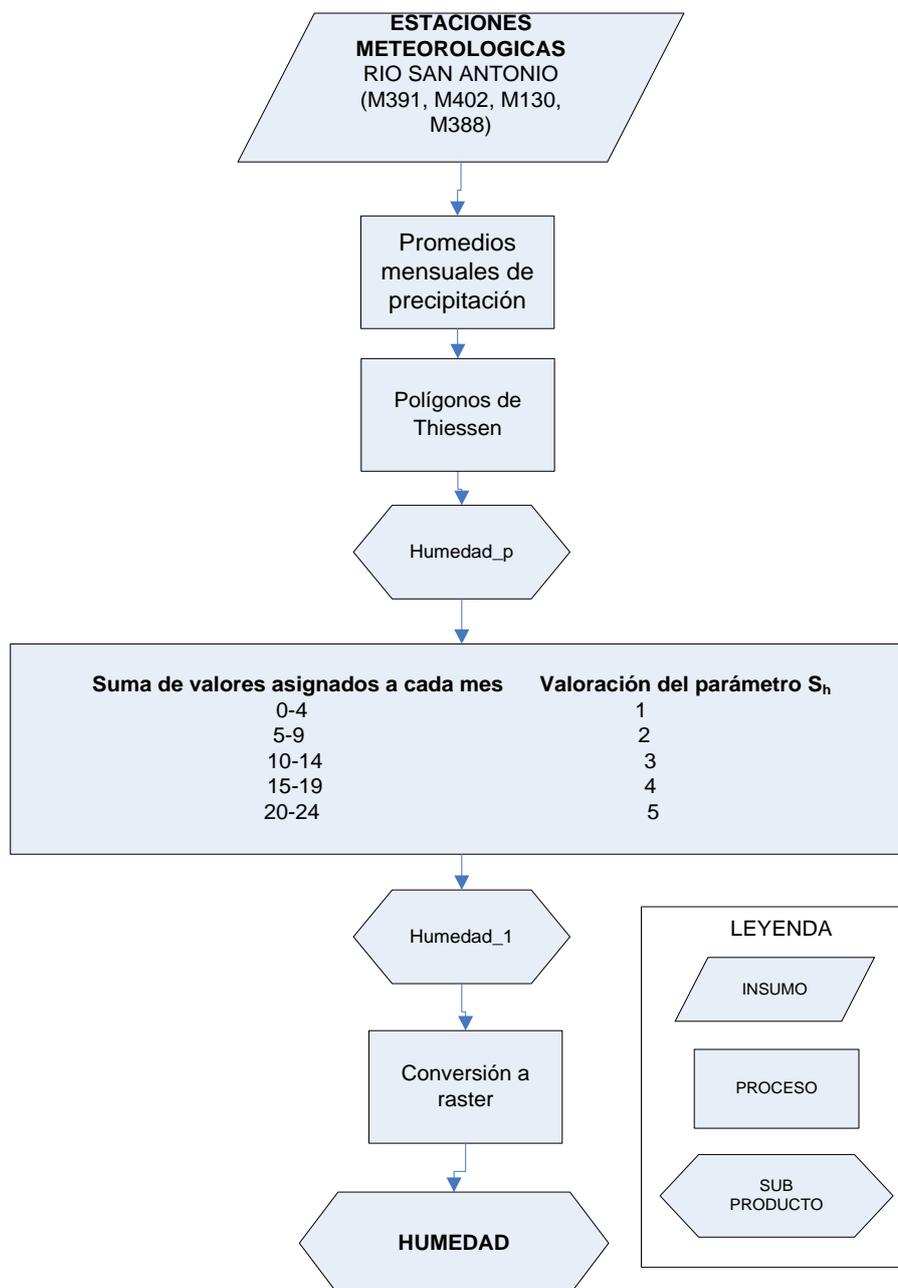


Figura.3.7 Flujo de datos de la capa de humedad de la microcuenca del río San Antonio. Elaboración: Autoras.

3.4.6 Concentración de flujo de agua

- Para obtener las concentraciones de flujos de aguas fue necesario contar con un MDE que cumpla con la precisión y exactitud de acuerdo a la escala de trabajo (1:25000). Se utilizó el MDE con una resolución de 5m facilitado por SIGTIERRAS.

- El MDE correspondiente a la microcuenca del río San Antonio estaba en formato grid por lo que se realizó su exportación a formato img (MDE_MRSAN) utilizando la herramienta export data, ArcGis 9.2, con la finalidad de que se pueda abrir en el Global Mapper 10.
- El MDE_MRSAN fue exportado nuevamente a formato surfer grid, de acuerdo a las siguientes opciones: File/Export Raster and Elevacion Data, desplegándose la siguiente ventana de opciones:

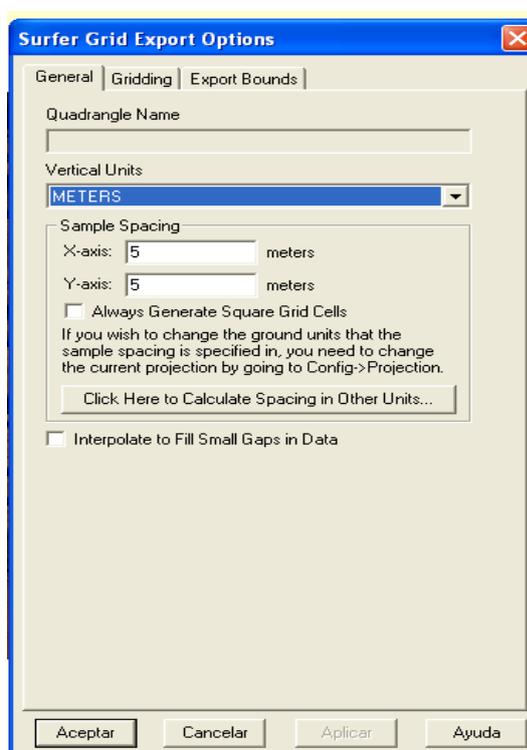


Figura. 3.8 Ventana de opción General para la exportación.

En general, se verificó la resolución del MDE.

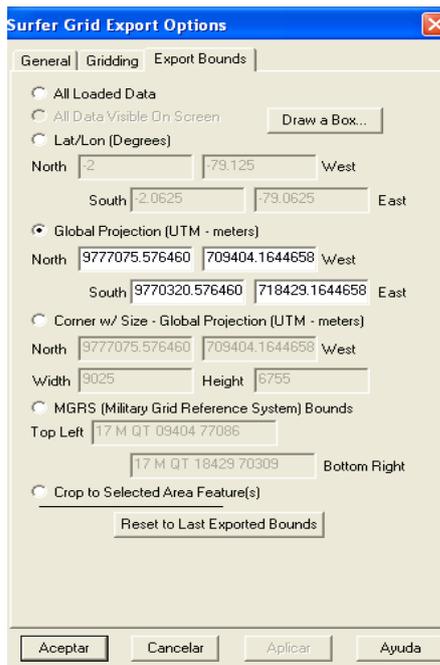


Figura. 3.9 Ventana de opción Export Bounds para la exportación.

En Export Bounds, se seleccionó la opción Global Projection (UTM-meters) para su posterior uso en el software ArcGIS 9.2.

- Para la generación de vectores (flujos) el MDE_MRSAN.grid se abrió en Sufer 8 de acuerdo a las siguientes opciones: Map/ Vector Map/ New 1-Grid Vector Map.

Se desplegó la siguiente ventana de opciones, haciendo doble clic sobre el mapa:

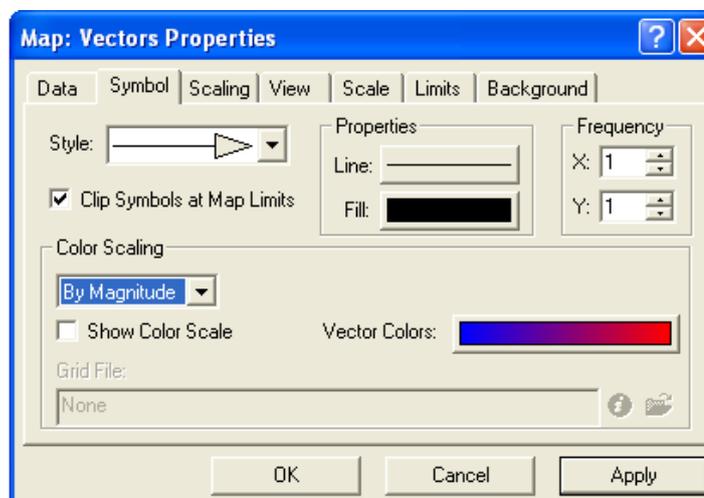


Figura. 3.10 Ventana de Propiedades del mapa de vectores.

Donde:

Se especificó una frecuencia de $x= 1\text{ m}$ y $y=1\text{ m}$ para que el software dibuje un vector cada metro con el fin de cubrir todo el área posible.

En la opción Color Scaling se escogió By Magnitude para diferenciar las direcciones de los vectores.

- Se exportó el mapa de vectores generado de acuerdo a las siguientes opciones: File/ Export/ Tipo: ESRI shapefile, con el nombre de Vector_rsan.
- Se procedió al cálculo de las densidades, mediante la herramienta Density/Spatial Analyst.
- Del proceso anterior se obtuvo densidad_rsan. Se realizó un clip con el límite de la microcuenca y se lo exportó como *.img* (formato de imagen).
- Se analizó la cobertura de densidades y se les asignó un peso basado en las comprobaciones de campo. Para tal efecto, los valores de densidades más bajos corresponden a un relieve alto o fuerte (cumbre o cima) lo cual indica una muy baja susceptibilidad a los movimientos en masa y los valores de densidades más altos corresponden a un relieve bajo (red hidrográfica) lo cual indica una baja susceptibilidad. Los valores intermedios son los que influyen en la amenaza de los movimientos en masa. Cabe recalcar que la asignación de pesos fue específica para la microcuenca del río San Antonio.
- Como resultado se obtuvo un raster al que se denominó Concentracion_mran.

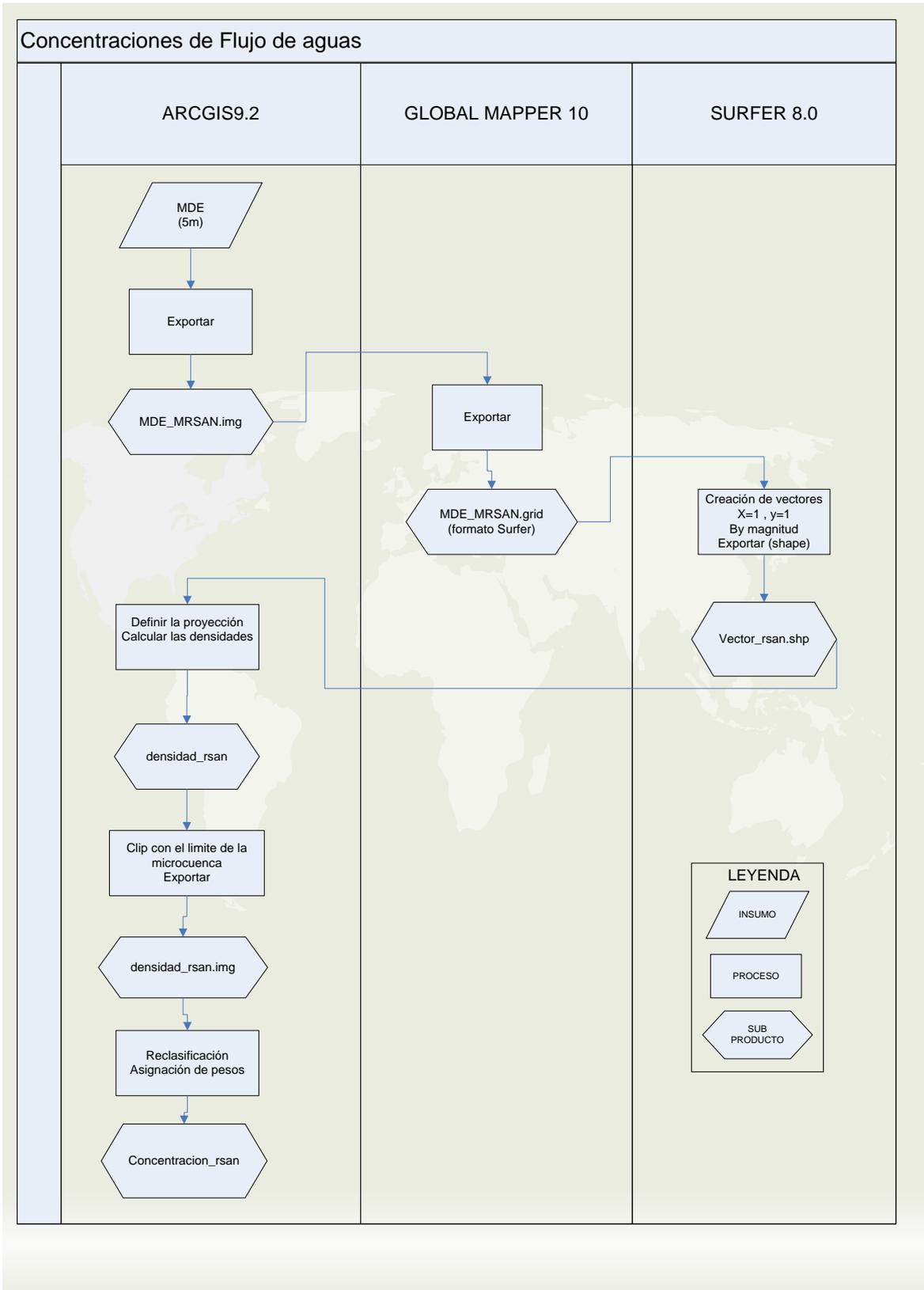


Figura. 3.11 Flujo de datos de concentración de flujo de agua para la microcuenca del río San Antonio.
Elaboración: Autoras.

3.4.7 Infraestructura vial

- Se utilizó las vías digitalizadas, según el tipo de vía del área de la microcuenca del río San Antonio.
- Se trazó un área de influencia aplicando un buffer de 500 metros a los caminos de dos o más vías, con la herramienta Proximity del Analyst Tools
- Se asignó los pesos dándole mayor importancia al buffer trazado a los caminos de dos o más vías, ya que por el ancho de la misma tiene una mayor susceptibilidad a los movimientos en masa. Y a los senderos se les asignó un menor peso.
- Se obtuvo la capa de infraestructura vial en formato raster para su posterior combinación.

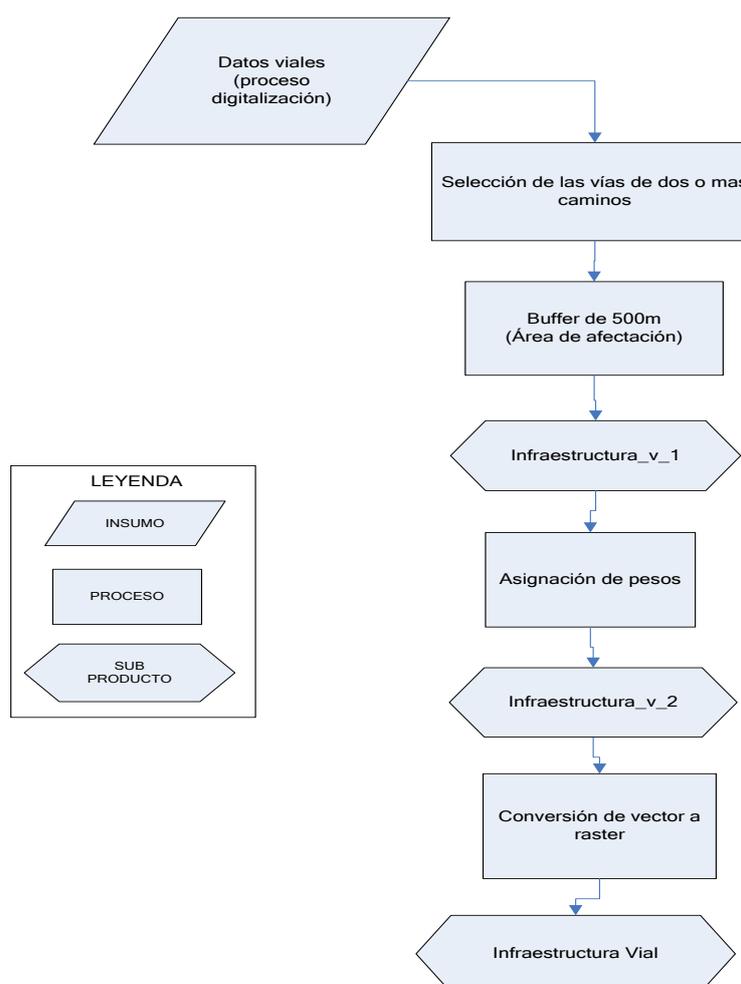


Figura. 3.12. Flujo de datos de la capa de infraestructura vial de la microcuenca del río San Antonio.

Elaboración: Autoras.

3.4.8 Precipitaciones

Para evaluar este parámetro de disparo se debe utilizar los valores extremos anuales de lluvia en 24 horas, pero debido a que existen en las series de datos valores vacíos de las estaciones cercanas y de varios años atrás, la fiabilidad de utilizar dichos datos es mínima y no es factible realizar una extrapolación por la insuficiencia de los datos.

- Por lo anteriormente mencionado se utilizó el mapa de isoyetas de la cuenca del río Guayas, correspondiente a valores de precipitaciones anuales, desarrollado por el módulo de clima del CLIRSEN (datos otorgados por el INAMHI).

Tabla. 3.11. Estaciones meteorológicas más cercanas a la microcuenca del río San Antonio

Código	Estación	Norte	Este
M039	BUCAY	9755827,102	707354,159
M391	PALLATANGA	9778864,485	726000,448
M402	CHIMBO DJ PANGOR	9785072,444	721733,495
M130	CHILLANES	9785138,457	715139,548
M388	RÍO SAN ANTONIO- MONJAS	9783994,223	696633,291

Elaboración: Autoras.

- Se realizó un clip o extracción del mapa de isoyetas de la cuenca del río Guayas perteneciente al área de la microcuenca del río San Antonio, mediante la herramienta Analysis Tools, ArcGis 9.2.
- Se asignó el valor al parámetro de lluvias o precipitación, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla. 3.12. Calificación del factor lluvias.

Valor de precipitación (mm)	Peso
1500 - 1700	6
1300 - 1500	5
1000 - 1300	4

Elaboración: Autoras.

- Se convirtió el shape de isoyetas a raster, mediante la herramienta Spatial Analyst Tools.

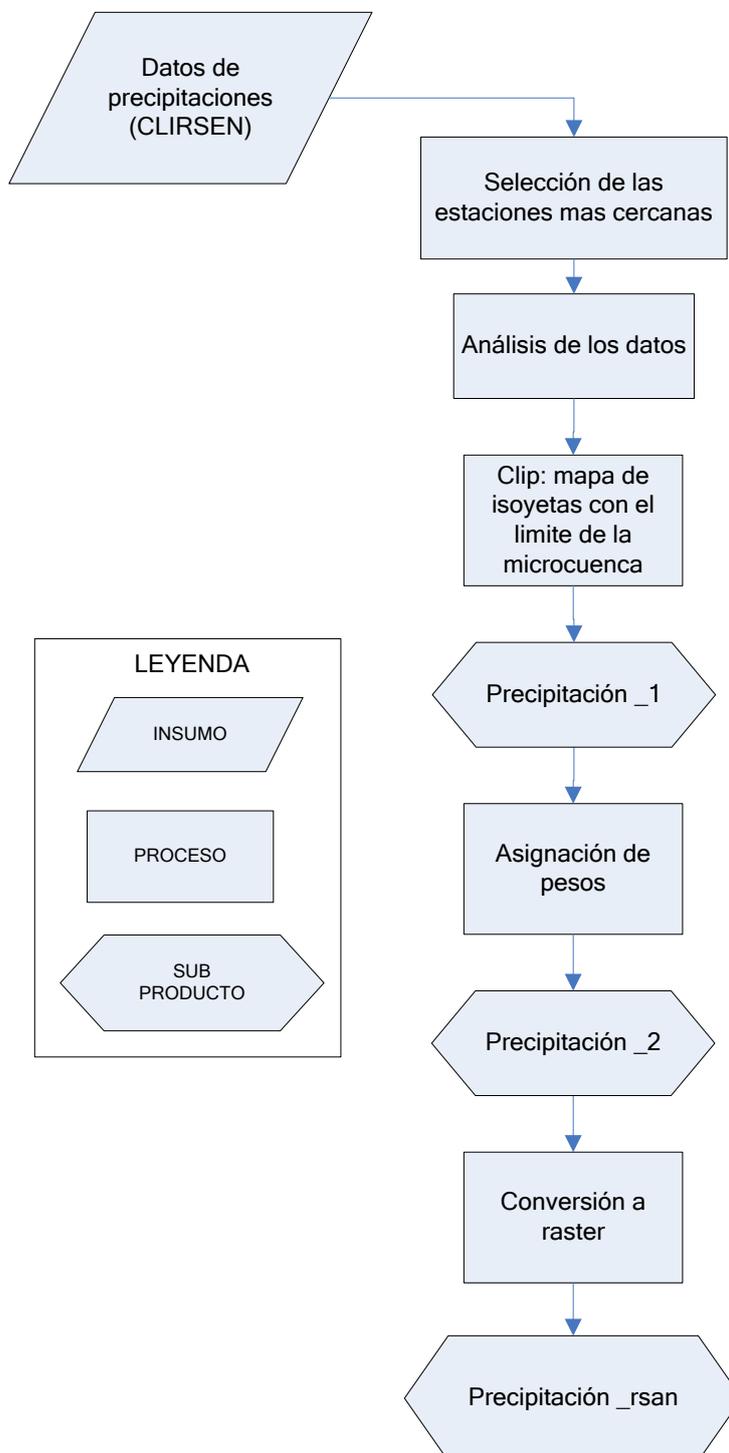


Figura. 3.13. Flujo de datos de la capa de precipitación de la microcuenca del río San Antonio.

Elaboración: Autoras.

3.4.9 Sismicidad

- Con ayuda del mapa de intensidades máximas del Ecuador que se encontraba en formato análogo, se procedió a georreferenciarlo, para continuar con el proceso de digitalización.
- Debido a que las intensidades Mercalli son estándar, se asignó los pesos de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla. 3.13. Calificación del factor sismicidad.

Intensidad Mercalli-Modificada	Aceleración pico (%g) (Trifunac & Brady, 1975)	Pesos
I	0.3-0.6	1
II	0.6-1.1	2
III	1.1-2.2	3
IV	2.2-4.5	4
V	4.5-8.9	5
VI	8.9-17.7	6
VII	17.7-35.4	7
VIII	35.4-70.5	8
IX	7.5-140.8	9
X	140.8-280.8	10
XI	280.8-560.4	11
XII	> 560.4	12

- Se realizó la conversión de la capa vector a raster y se obtuvo la capa de sismicidad.

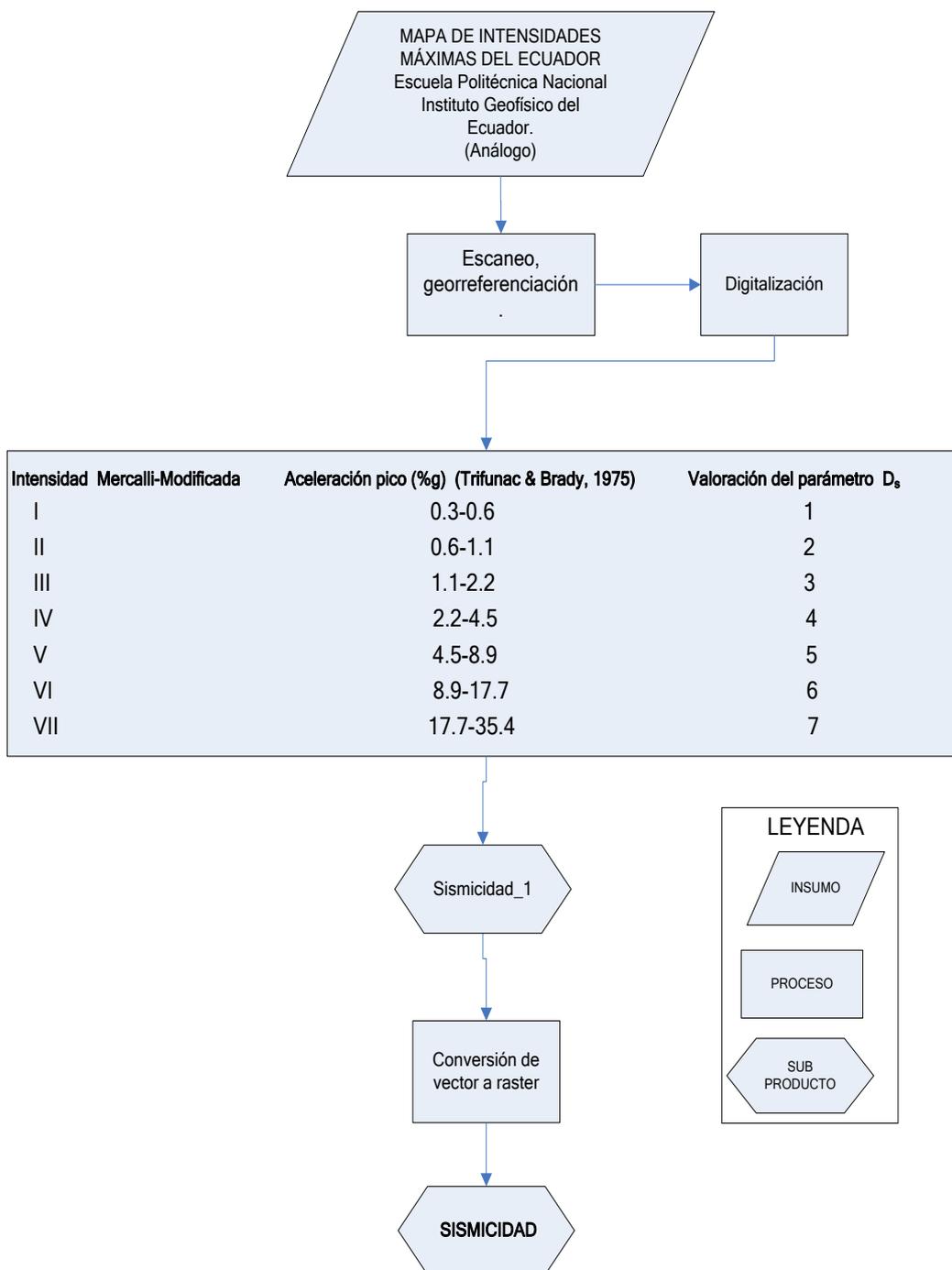


Figura. 3.14. Flujo de datos de la capa de sismicidad de la microcuenca del río San Antonio. Elaboración: Autoras.

3.4.10 Modelo cartográfico de las áreas amenazadas por movimientos en masa

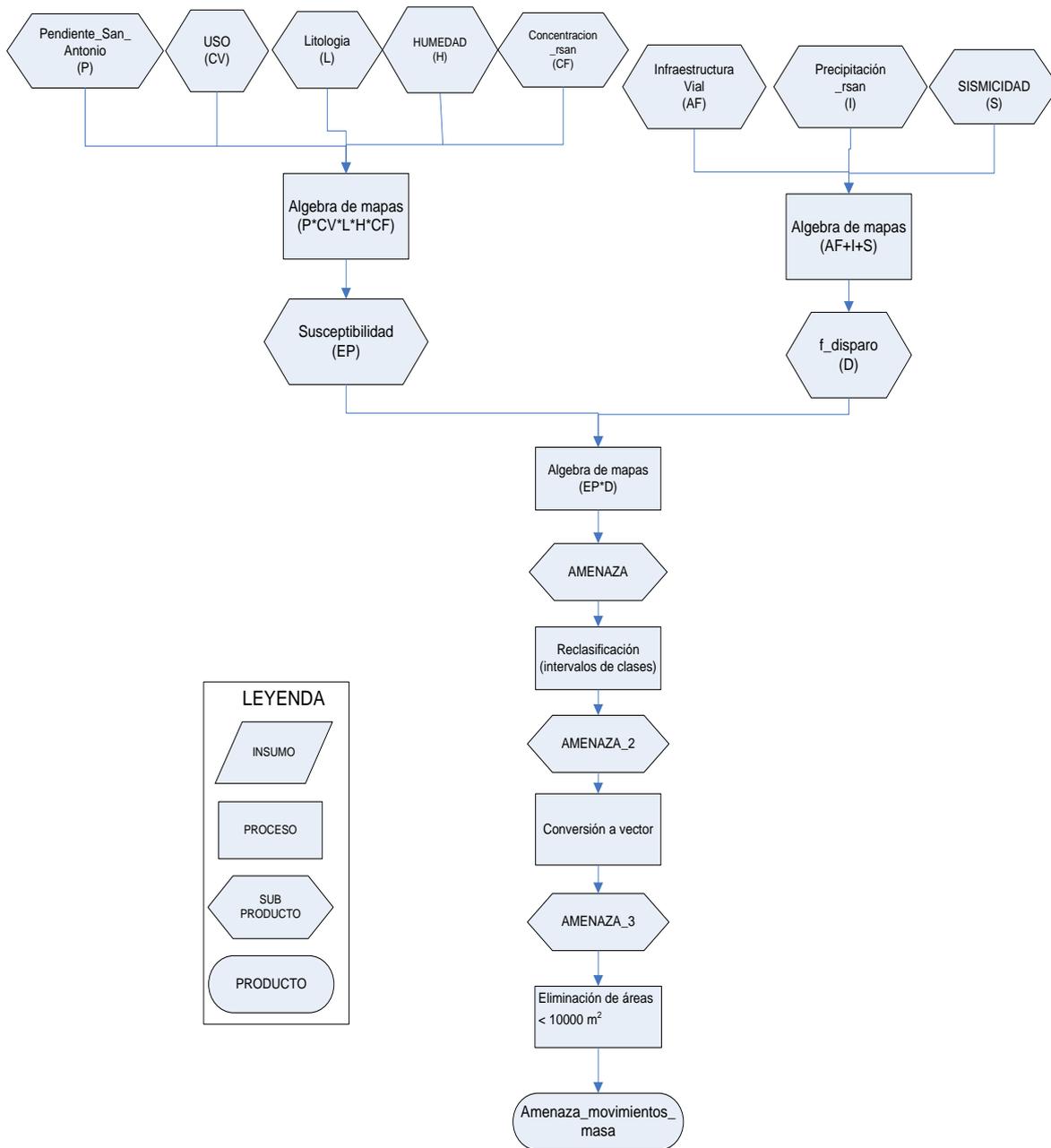


Figura. 3.15. Flujo de datos de la capa áreas amenazadas por movimientos en masa. Elaboración: Autoras.

3.5 MÉTODO PROPUESTO PARA INUNDACIONES

Para el análisis de amenaza por inundaciones, se toma como parámetros a la pendiente, la cobertura vegetal y uso del suelo, suelos (textura), concentración de flujo de agua y precipitaciones.

Modelo matemático de amenaza por inundaciones

$$H = P * CV * S * CF * P * I$$

Donde:

H = amenaza por inundación.

P = pendiente

CV = cobertura vegetal y uso del suelo

S = suelos (textura)

CF = concentración de flujo de agua

I = precipitación

3.5.1 Modelo temático de inundaciones

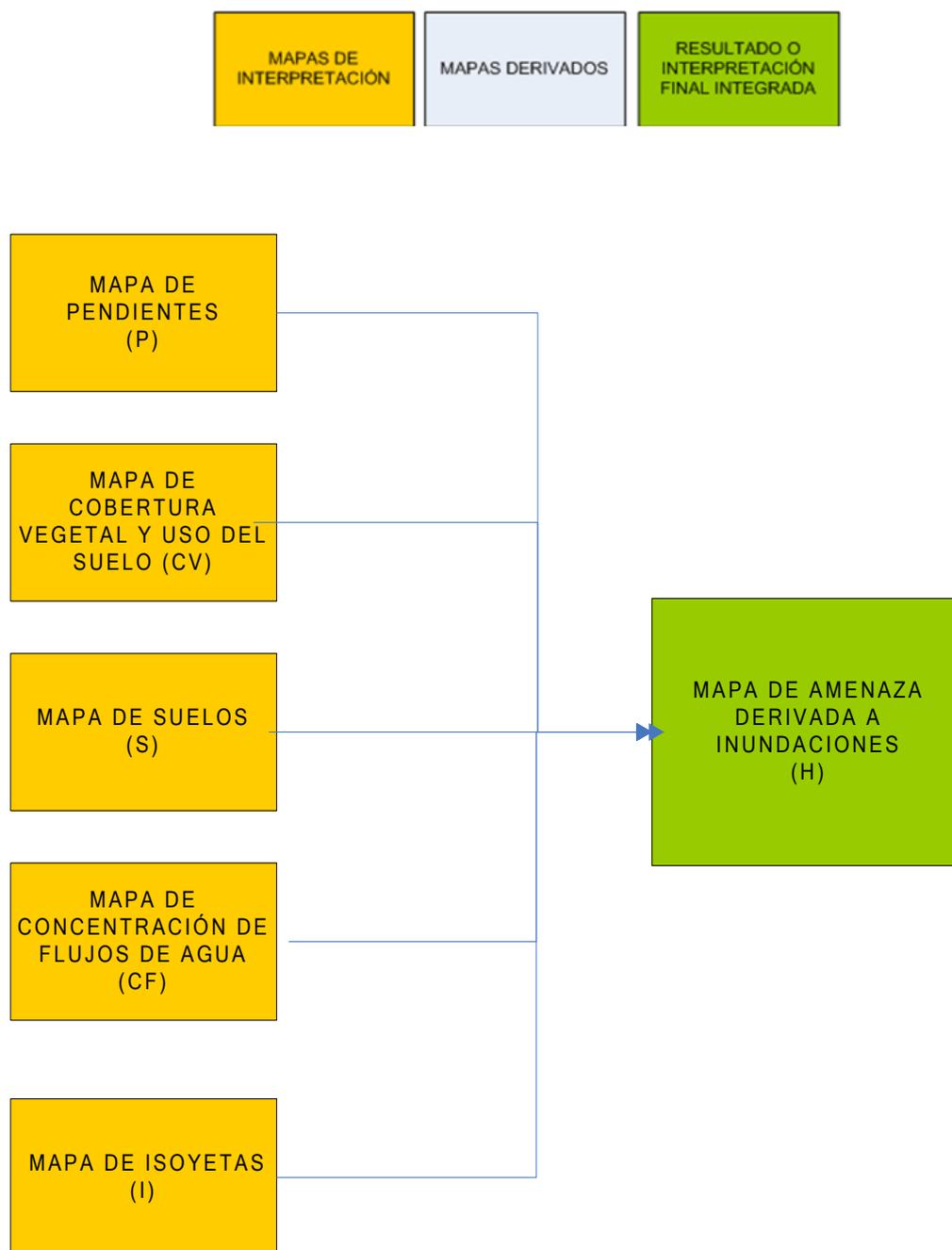


Figura.3.16. Modelo temático para inundación.
Elaboración: Autoras.

3.5.2 Pendiente

- Para el estudio se utilizó el modelo digital de elevaciones con una resolución de 6m (SIGTIERRAS), del cual se partió con ayuda del 3D Analyst del ArcGis 9.2 para realizar un Slope, obteniendo un raster de pendientes.
- Se continuó con una reclasificación del raster, el cual se lo realizó mediante los valores definidos en grados (Tabla 3.14).
- A la tabla de atributos del raster obtenido en el proceso anterior, se agregó las condiciones del terreno para poder identificar las diferentes pendientes y posteriormente se asignó los pesos correspondientes.

Tabla. 3.14. Clases de pendientes y condiciones del terreno.

GRADOS	PORCENTAJE	CONDICIONES DEL TERRENO	PESOS
0-2	0-2	Planicie, sin denudación apreciable	5
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión	4
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión	3
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión.	2
16-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos	1
35-55	>70	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	0

Fuente: Mora, R. et al., 1992

- Del raster de pendiente que se obtuvo de la reclasificación, se lo convirtió a vector mediante la herramienta Spatial Analyst.

- Se procedió a una edición topológica para poder posteriormente calcular el área que ocupa cada tipo de pendiente en la microcuenca del estero Roncador. Finalmente se obtuvo la capa de pendientes.

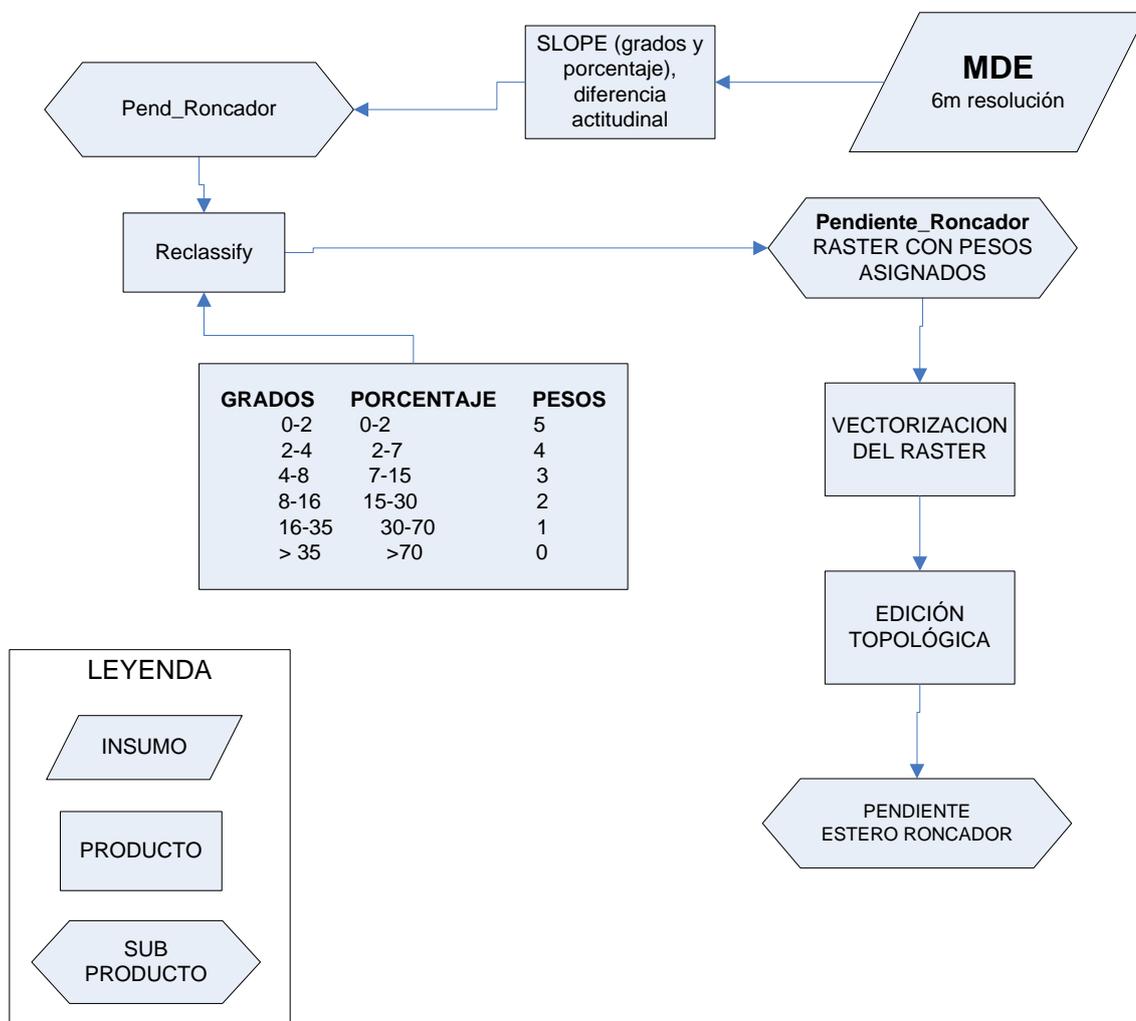


Figura. 3.17. Flujo de datos de la capa de pendientes del estero Roncador. Elaboración: Autoras.

3.5.3 Cobertura Vegetal y Uso del Suelo

- Para este estudio se utilizó la cobertura de uso del suelo facilitada por SIGTIERRAS, a escala 1:20.000.

- Se analizó los diferentes tipos de vegetación y se les asignó un peso de acuerdo a su influencia en los sistemas de los ríos. Siendo de menor influencia el área perteneciente a bosque primario, y mayor influencia a áreas erosionadas. Se le asignó un peso de 0 a las zonas urbanas, debido a que no influyen.

Tabla. 3.15. Calificación para el tipo de vegetación y uso del suelo para inundaciones.

TIPO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	PESO
Cuerpos de agua	5
Área en proceso de erosión	5
Área erosionada	5
Cultivo anual	4
Cultivo semi perenne	4
Cultivo perenne	3
Bosque intervenido	2
Pasto cultivado	3
Pasto natural	3
Vegetación arbustiva	2
Bosque natural	1
Bosque plantado	1
Asentamiento humano y zona urbana	0

Elaboración: Autoras.

- Se convirtió el shape de uso a raster, mediante la herramienta Spatial Analyst Tools, para poder ser utilizado en el álgebra de mapas.

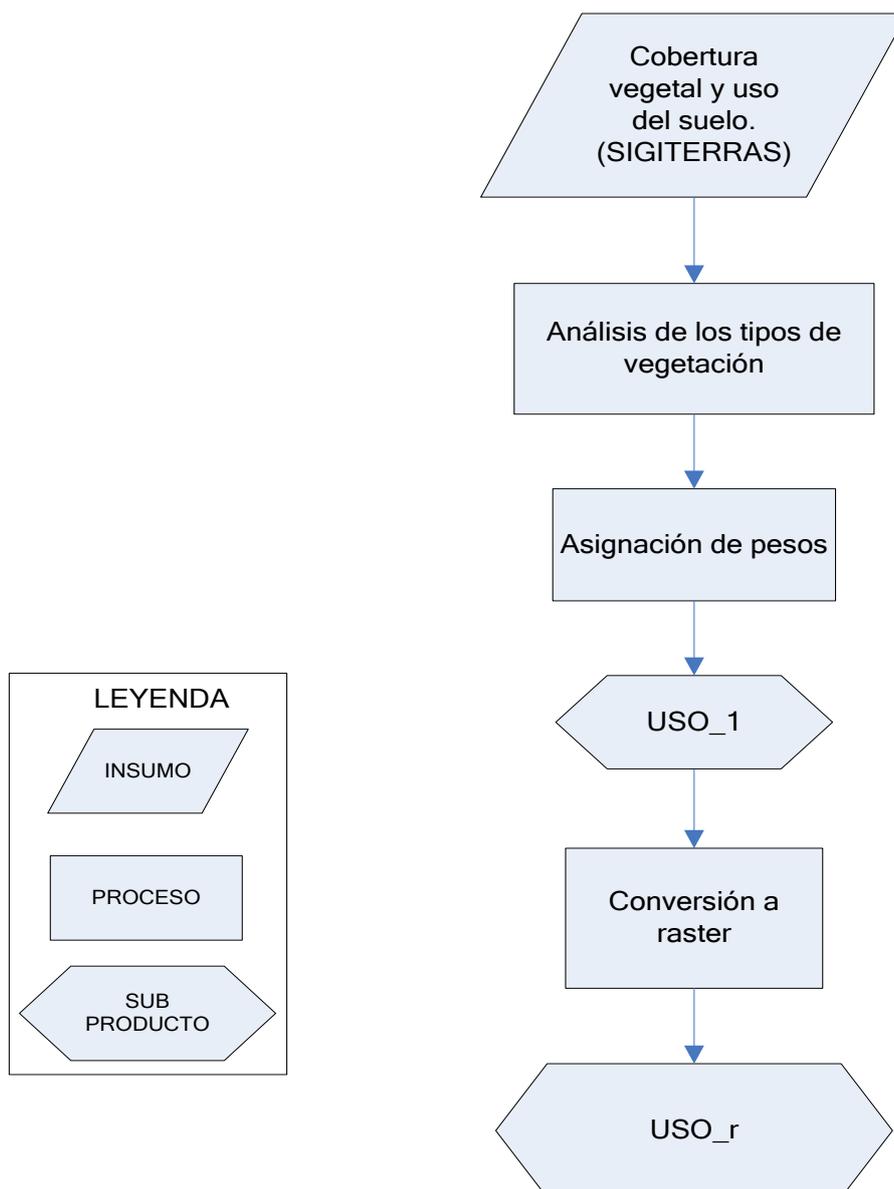


Figura. 3.18. Flujo de datos de la capa de cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del estero Roncador.
Elaboración: Autoras.

3.5.4 Suelos

- Para este estudio se utilizó la cobertura de suelos facilitada por SIGAGRO, a escala 1:20.000.
- Para caracterizar este elemento se agrupó las clases texturales, en cinco categorías de acuerdo a la tabla 3.16.
- Se asignó los pesos según el tipo de suelo encontrado en la zona, entre mas arcilloso la importancia era mayor debido a que no permite la

infiltración del agua lluvia, reteniéndola y provocando anegaciones de agua lluvia.

Tabla. 3.16. Calificación del factor suelos por textura.

CATEGORIA	TEXTURA	PESO
Gruesa	Arenoso, arenoso franco	1
Moderadamente gruesa	Franco arenoso, franco limoso.	2
Media	Franco limoso, franco arcilloso (<35% de arcilla), franco arenoso, franco arcillo limoso.	3
Fina	Franco arcilloso (> a 35%), arcilloso, arcilloso arenoso, arcilloso limoso.	4
Muy fina	Arcilloso (> 60%)	5

Fuente: SIGAGRO, 2008.

- Se convirtió el shape de suelos_1 a raster.

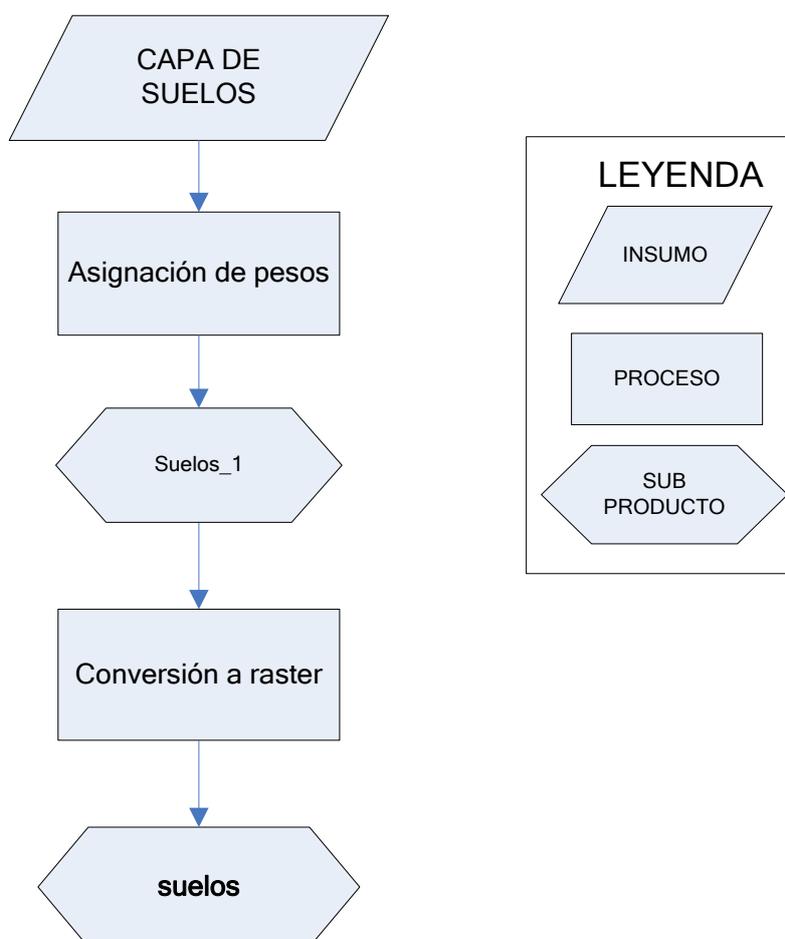


Figura. 3.19. Flujo de datos de la capa de suelos para la susceptibilidad a Inundaciones. Elaboración: Autoras.

3.5.5 Concentración de flujo de agua

- Se utilizó el MDE de resolución de 5m, facilitado por SIGTIERRAS.
- El MDE correspondiente a la microcuenca del estero Roncador estaba en formato grid por lo que se realizó su exportación a formato img (MDE_ERON), utilizando la herramienta export data, ArcGis 9.2, con la finalidad de que se pueda abrir en el Global Mapper⁶ (versión 10).
- El MDE_ERON se exportó nuevamente a formato surfer grid, de acuerdo a las siguientes opciones: File/Export Raster and Elevacion Data.
- Para la generación de vectores (flujos) el MDE_ERON.grid se abrió en Sufer 8 de acuerdo a las siguientes opciones: Map/ Vector Map/ New 1-Grid Vector Map.
- Se exportó el mapa de vectores generado de acuerdo a las siguientes opciones: File/ Export/ Tipo: ESRI shapefile, con el nombre de Vector_eron.
- Se procedió al cálculo de las densidades, mediante la herramienta Density/ Spatial Analyst.
- Del proceso anterior se obtuvo densidad_eron. Se realizó un clip con el límite de la microcuenca y se lo exportó como formato img, para poder ser visualizado y procesado en el ArcGis 9.2.
- Se analizó la cobertura de densidades y se les asignó un peso basado en las comprobaciones de campo. Para lo cual los valores de densidades más bajos corresponden a un relieve alto o fuerte (cumbre o cima), lo cual indica una muy baja susceptibilidad a inundaciones y los valores de densidades más altos corresponden a un relieve bajo (red hidrográfica), lo

⁶ Software que permite la visualización de imágenes, mapas topográficos y datos del terreno.

cual indica una alta susceptibilidad, es decir posibles zonas de anegamiento. Cabe recalcar que la asignación de pesos fue específica para la microcuenca del estero Roncador.

- El resultado es el raster Concentracion_eron.

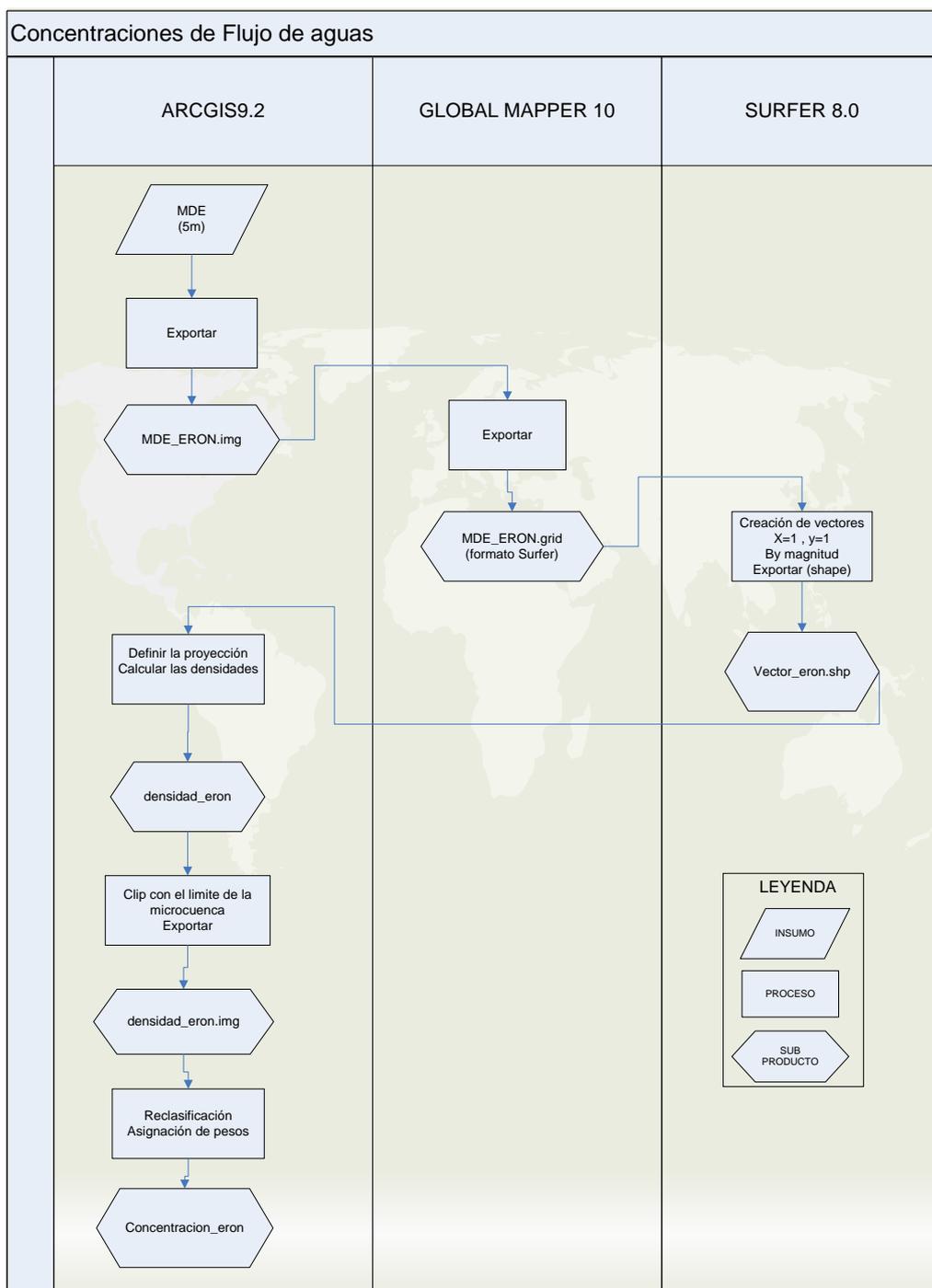


Figura. 3.20. Flujo de datos de concentraciones de flujo de aguas para la microcuenca del estero Roncador.
Elaboración: Autoras.

3.5.6 Precipitaciones

- Se utilizó el mapa de isoyetas de la cuenca del río Guayas, correspondiente a valores de precipitación anual, desarrollado por el módulo de clima del CLIRSEN (datos otorgados por el INAMHI).

Tabla. 3.17. Estaciones meteorológicas más cercanas a la microcuenca del Estero Roncador

Código	Estación	Norte	Este
M051	BABAHOYO-UTB	9801384,000	668992,000
M476	LA CAPILLA INAMHI	9812149,000	611485,000
M466	VINCES INAMHI	9827632,000	637053,000
M037	MILAGRO(INGENIO VALDEZ)	9765818,000	655647,000

Elaboración: Autoras.

- Se realizó un clip o extracción del mapa de isoyetas de la cuenca del río Guayas perteneciente al área de la microcuenca del Estero Roncador, mediante la herramienta Analysis Tools, ArcGis 9.2.
- Se asignó el valor al parámetro de lluvias o precipitación, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla. 3.18. Calificación del factor lluvias.

Valor de precipitación (mm)	Peso
1500 - 1700	6
1300 - 1500	5
1000 - 1300	4

Elaboración: Autoras.

- Se convirtió el shape de isoyetas a raster, mediante la herramienta Spatial Analyst Tools, para el álgebra de mapas.

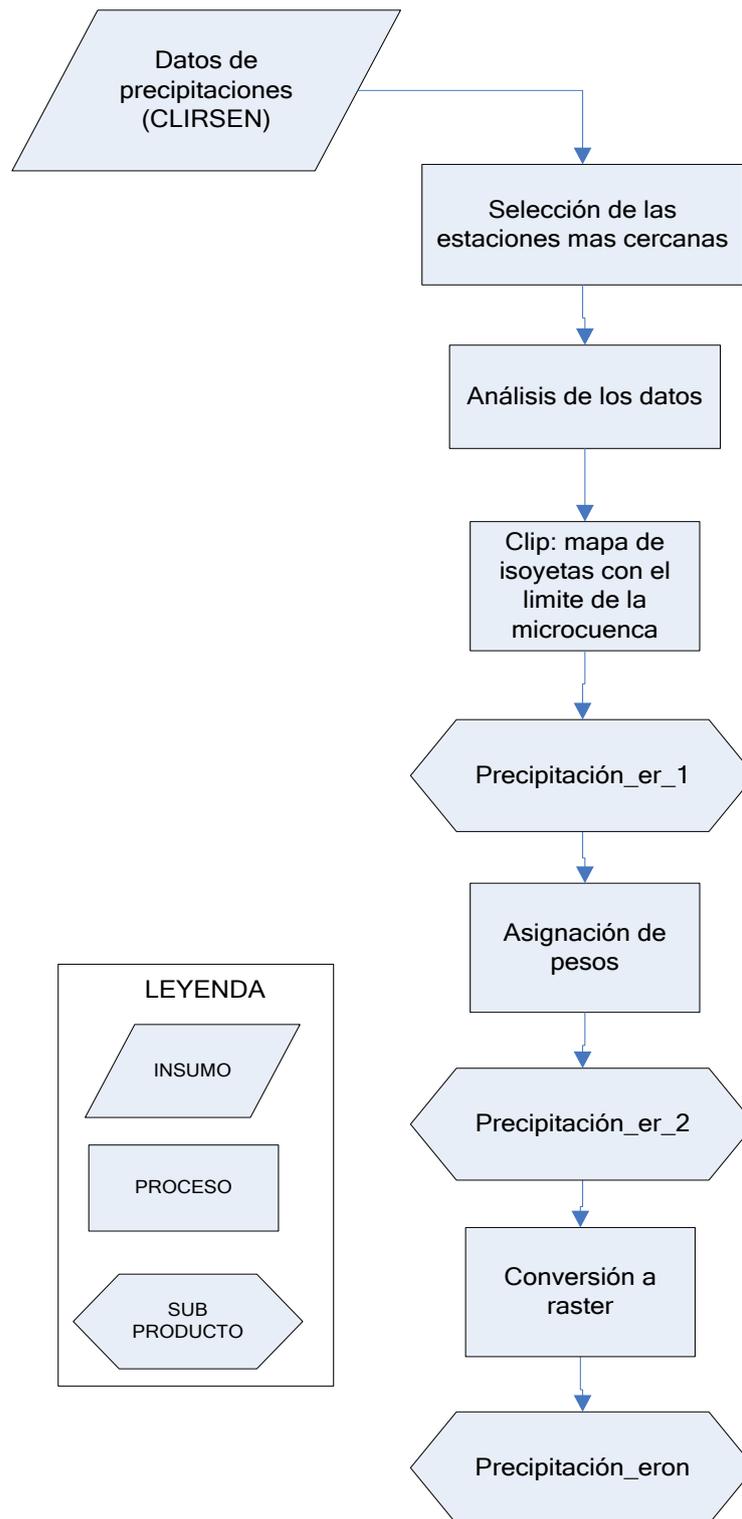


Figura. 3.21. Flujo de Datos de la capa de Precipitación de la microcuenca estero Roncador. Elaboración: Autoras.

3.5.7 Modelo Cartográfico de áreas amenazadas por inundaciones.

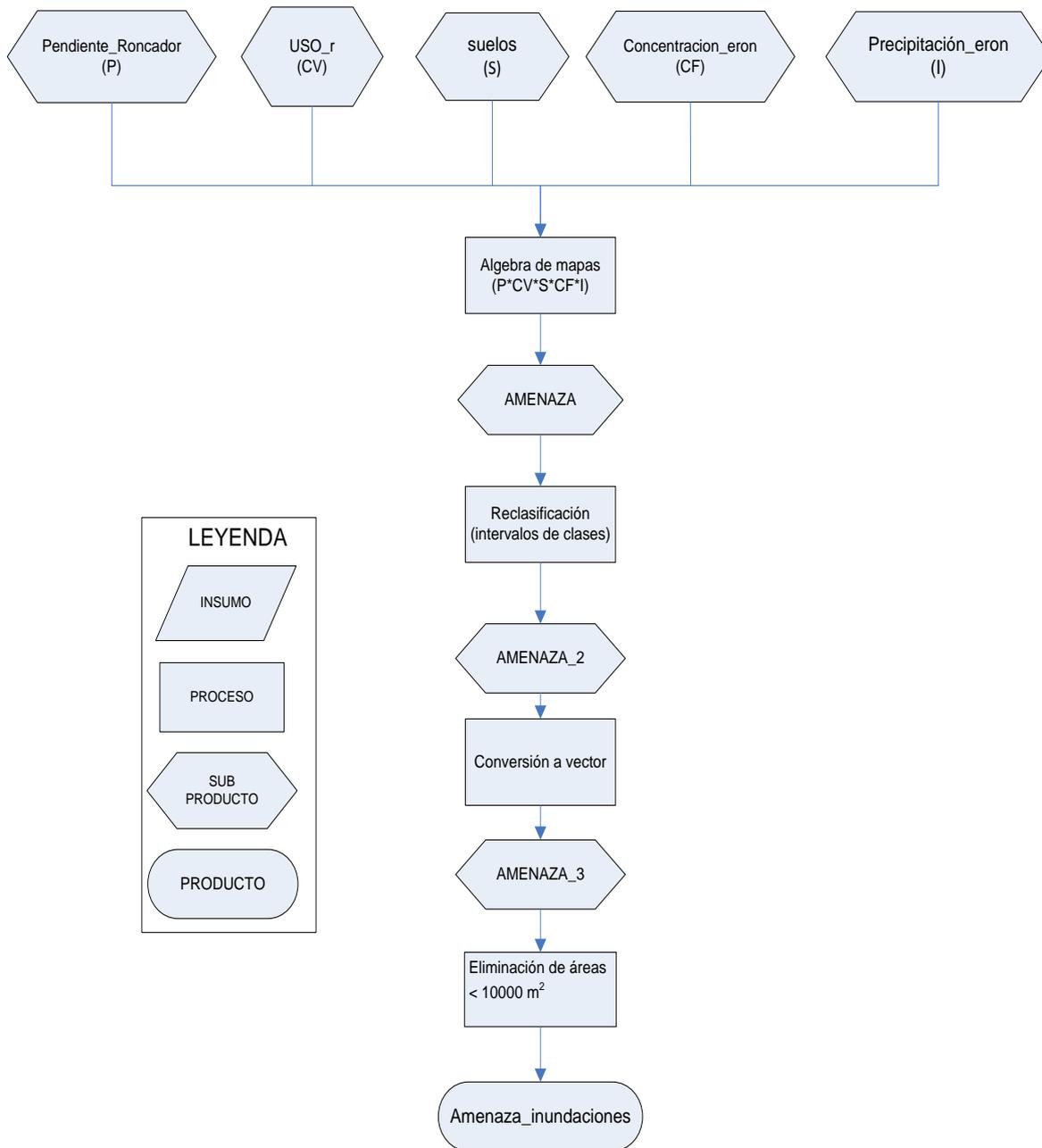


Figura. 3.22. Flujo de datos de áreas amenazadas por inundaciones. Elaboración: Autoras.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

El presente capítulo muestra los resultados del análisis de cada factor que intervienen en los fenómenos de movimientos en masa e inundaciones. También se presenta un análisis comparativo entre los diferentes modelos obtenidos al combinar cada factor para cada uno de los fenómenos antes mencionados.

4.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LAS MICROCUENCAS

Los distintos parámetros morfométricos calculados son los siguientes:

Tabla. 4.1. Resultados de los parámetros de Forma.

PARÁMETRO	MICROCUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO	MICROCUENCA DEL ESTERO RONCADOR
Aérea (A)	33,51 km ²	68,43 km ²
Perímetro (P)	30333,52m	46314,25m
Factor forma (Ff)	0,40 Susceptibilidad a crecidas media	0,17 Susceptibilidad a crecidas baja
Ancho Promedio (Ap)	3672,32m	3397,24m
Longitud axial (La)	9125,13m	20142,56m
Longitud del cauce principal (Lr)	11,09km	55,07km
Coefficiente de compacidad (Kc)	1,47 oval redonda a oval oblonga	1,57 oval oblonga a rectangular oblonga

Elaboración: Autoras.

La microcuenca del río San Antonio, de acuerdo a los valores obtenidos en el factor forma, presenta una media susceptibilidad a las crecidas o una mediana probabilidad de ocurrencia de una lluvia intensa simultánea y de acuerdo a la regularidad geométrica (Kc) presenta una forma oval redonda a oval oblonga.

La microcuenca del estero Roncador, de acuerdo a los valores obtenidos en el factor forma, presenta una baja susceptibilidad a las crecidas o una baja probabilidad de ocurrencia de una lluvia intensa simultánea y de acuerdo a la regularidad geométrica (Kc) presenta una forma oval oblonga a rectangular oblonga.

Tabla. 4.2. Resultado de los parámetros de Relieve.

PARÁMETRO	MICROCUCENCA DEL RÍO SAN ANTONIO	MICROCUCENCA DEL ESTERO RONCADOR
Desnivel altitudinal (Da)	2012,57m	5,58m
Pendiente del cauce principal (S)	18,14 % Relieve moderado	0,01% Relieve plano
Orientación de la microcuenca	ver anexo D	Sin orientación apreciable.

Elaboración: Autoras.

De acuerdo al porcentaje obtenido de pendiente del cauce principal, la microcuenca del río San Antonio presenta un relieve moderado, con lo que se podría decir que su potencial de erosión también es moderado. Presenta un área mayor (630,9 ha) de orientación hacia el sureste con lo cual posee una óptima iluminación favoreciendo a la agricultura.

De acuerdo al porcentaje obtenido de pendiente del cauce principal, la microcuenca del estero Roncador presenta un relieve plano, con lo que se podría decir que su potencial de erosión también es bajo, es decir, corresponde a una zona de depósitos de sedimentos.

Tabla. 4.3. Resultados de los parámetros relativos a la Red Hidrográfica.

PARÁMETRO	MICROCUEENCA DEL RÍO SAN ANTONIO	MICROCUEENCA DEL ESTERO RONCADOR
Tiempo de concentración (Tc)	1,11 h (Giandotti) 0,81 h (Kirpich)	61,21 h (Giandotti) 50,13 h (Kirpich)
Densidad de drenaje (Dd)	2,53 $\frac{\text{km}}{\text{km}^2}$ Densidad baja	1,42 $\frac{\text{km}}{\text{km}^2}$ Densidad baja
Patrón de drenaje	Dendrítico	Meándrico

Elaboración: Autoras.

La microcuenca del río San Antonio presenta un tiempo de concentración medio con lo que se puede decir que tiene un rápido escurrimiento. Presenta una densidad de drenaje baja.

La microcuenca del estero Roncador presenta un tiempo de concentración alto con lo que se puede decir que tiene un alto grado de infiltración. Presenta una densidad de drenaje baja.

4.2 FACTORES DEL MODELO PARA MOVIMIENTOS EN MASA

4.2.1 Pendiente

En la microcuenca del río San Antonio se encontró los siguientes tipos de pendiente (Foto. C.6.):

Tabla. 4.4. Resultados de la asignación de pesos a la pendiente de la microcuenca del río San Antonio.

SIMBOLOGÍA	PENDIENTE	CONDICIONES DEL TERRENO	PESO	ÁREA (ha)	AREA %
Plsd	0-2	Planicie, sin denudación apreciable	0	13,171	0,4
Pmbe	2D - 4	Pendiente muy baja, peligro de erosión	1	101,313	3
Pbse	4 S -8	Pendiente baja, peligro severo de erosión	2	426,000	12,7
Pmdse	8 S- 16	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión.	3	1055,965	31,5
Pfdpe	16-35	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos	4	863,661	25,8
Pmfp	35-55	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	5	890,928	26,6
Elaboración: Autoras.			TOTAL	3351,037	100

Como principales zonas con pendientes susceptibles a movimientos en masa, se encontró: un 25,8% correspondiente a pendientes fuertes con posibles deslizamientos intensos y un 31,5% a pendientes moderadas con posibles deslizamientos ocasionales (ver anexo E, pág. 153).

4.2.2 Cobertura Vegetal y Uso del Suelo

En la microcuenca del río San Antonio se encontró los siguientes tipos de vegetación y uso del suelo (Foto. C.10.):

Tabla. 4.5. Tipos de cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del río San Antonio.

TIPO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	DESCRIPCIÓN
Área en proceso de erosión	Área en la que se evidencia la pérdida del suelo superficial por acciones naturales o por intervención humana.
Área erosionada	Área con elevado grado de desgaste del suelo orgánico, desprovistos de vegetación o con cobertura vegetal dispersa donde aparecen los estratos inferiores improductivos.
Asentamiento humano	Área con pocas viviendas que cuentan con servicios básicos.
Bosque intervenido	Bosque natural primario y secundario, que se haya iniciado la colonización, pero que aun no influye sensiblemente en el medio vegetal.
Bosque natural	Bosque natural primario y secundario, que se halla sin ocupación o intervención humana, constituido por especies nativas de la zona.
Bosque plantado	Área con masa boscosa formada antrópicamente con especies madereras nativas, introducidas y/o adaptadas a determinada altura y clima.
Cultivo anual	Área utilizada para consumo interno, industrial o comercial cuyo ciclo de producción no supera el año.
Cultivo perenne	Área utilizada para cultivos cuyo ciclo de producción supera los tres años.
Cultivo semi perenne	Área utilizada para cultivos cuyo ciclo de producción oscila entre un año y tres años.
Pasto cultivado	Vegetación ocupada por especies herbáceas introducidas – nativas mejoradas, utilizada con fines pecuarios, que para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo conducidos por el hombre o regeneración espontánea de especies introducidas.
Pasto natural	Vegetación dominante constituida por especies herbáceas nativas, con un crecimiento espontáneo, sin cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección.
Vegetación arbustiva	Vegetación natural densa heterogénea propia de los ángulos de los sistemas hidrográficos localizada en relieves fuertes, producto de la regeneración espontánea.

Fuente: SIGAGRO, 2008.

Tabla. 4.6. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del río San Antonio

TIPO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	PESO	ÁREA(ha)	ÁREA %
Área en proceso de erosión y Área erosionada	5	65,65	1,9
Cultivo anual y Cultivo semi perenne	4	736,35	22
Cultivo perenne, Pasto cultivado y Pasto natural	3	1371,07	41
Bosque intervenido y Vegetación arbustiva	2	552,91	16,5

Bosque natural y Bosque plantado	1	620,63	18,5
Asentamiento Humano	0	4,92	0,1
Elaboración: Autoras.	TOTAL	3351,53	100

Como principales zonas de acuerdo al tipo de vegetación susceptibles a movimientos en masa, se encontró: un 2% a áreas en proceso de erosión y erosionadas, un 22% corresponden a cultivos anuales y semi perennes y un 41% a cultivos perennes, pasto cultivado y pasto natural (ver anexo E, pág. 154).

4.2.3 Geología

El área perteneciente a la microcuenca del río San Antonio está sobre la Cordillera Occidental y sus estribaciones. El conjunto de materiales rocosos pertenecen en su mayoría a la Unidad Macuchi. La mayor parte de los materiales que conforman la Unidad Macuchi son productos de actividad volcánica efusiva submarina, ya sean productos eruptivos o material retrabajado depositado por procesos de flujo de masas. Se halla representada por rocas volcánico-clásticas de grano grueso, con clastos grandes hasta 1 m. de diámetro. En otras partes está constituida por areniscas volcánicas silíceas de color negro a gris oscuro. Además existen andesitas porfíricas verdes y sedimentos con lutitas de color negro con matriz silícea de grano fino. Por el motivo que existe silicificación en muchas partes esta roca es muy dura y es especialmente reconocible. Otra unidad litológica presente en el área de la microcuenca es una terraza, que se compone de un material conglomerado poco consolidado, con clastos de roca volcánica redondeados de diámetro que varía de 2 – 15 cm (Hoja geológica de Bucay, CT – NV - B).

Se encontró las siguientes unidades litológicas:

Tabla. 4.7. Unidades litológicas de la microcuenca del río San Antonio.

SIMBOLOGÍA	UNIDAD LITOLÓGICA	FORMACIÓN	PERÍODO	ÉPOCA
Km	andesita, n. sedimentos, s	Macuchi	Cretáceo	Mesozoico
m1	terrazas		Holoceno	Cuaternario

Elaboración: Autoras.

De acuerdo a la asignación de pesos⁷ de cada unidad litológica, se obtuvo lo siguiente:

Tabla. 4.8. Resultados de la asignación de pesos a la litología de la microcuenca del río San Antonio.

SIMBOLOGÍA	UNIDAD LITOLÓGICA	PESO	ÁREA (ha)	ÁREA %
Km	andesita, n. sedimentos, s	1	2885,8	86,12
m1	terrazas	3	465,24	13,88
Elaboración: Autoras.		TOTAL	3351,04	100

De acuerdo a las unidades litológicas susceptibles a movimientos en masa, se encontró: un 13,88% del total del área correspondiente a terrazas y un 86,12% a áreas con rocas tipo andesitas y sedimentos (ver anexo E, pág. 155).

⁷ Fue desarrollada con la colaboración de los geólogos Jorge Coloma y Laura López.

4.2.4 Humedad

Tabla. 4.9. Valoración del parámetro de humedad.

AÑO	PESOS			
	M130	M388	M391	M402
1985	1	3	1	1
1986	1	2	1	1
1987	2	2	2	1
1988	2	2	2	
1989	2	2		1
1990	1	2	1	1
1991	1	2	1	1
1992	1	2	2	1
1993	2	3	2	2
1994	1	3	2	1
1995	1	3	1	1
1996	1	3	2	1
1999	1	3	2	2
2000	1	2	1	2
2001	1	2	2	1
2002	1	2	1	3
2003	1	2	1	1
	1,23529412	2,35294118	1,41176471	1,23529412
MEDIA	1	2	1	1

Elaboración: Autoras.

En la microcuenca del río San Antonio se encuentro el siguiente tipo de humedad:

Tabla. 4.10. Resultados de la asignación de pesos a la humedad relativa de la microcuenca del río San Antonio

SIMBOLOGÍA	HUMEDAD	PESO	ÁREA (ha)	AREA%
Hmb	<250	1	3351,037	100
		TOTAL	3351,037	100

Elaboración: Autoras.

Toda el área correspondiente a la microcuenca del río San Antonio presentó una humedad menor a 250mm (ver anexo E, pág. 156).

4.2.5 Concentración de flujo de agua.

En la microcuenca del río San Antonio se encontraron los siguientes valores de concentraciones de flujo de agua:

Tabla. 4.11. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura de concentraciones de flujo de aguas para la microcuenca del río San Antonio.

VALOR DE LA DENSIDAD	PESO	ÁREA(ha)	ÁREA %
11435 - 18477	5	212,03	6,3
18477 - 27000	4	818,9	24,4
4140 - 11435	3	1114,18	33,2
27000- 63000	2	902,52	27
0 - 4140	1	303,95	9,1
TOTAL		3351,58	100

Elaboración: Autoras.

Como principales zonas con valores de concentraciones de flujo de agua susceptibles a movimientos en masa, se encontró: un 6,3 % del área total correspondiente a valores medios y un 24,4% a valores moderados (ver anexo E, pág. 157).

4.2.6 Infraestructura Vial

En la microcuenca del río San Antonio se encontraron las siguientes áreas de afectación vial (Foto. C.1. – C.3.):

Tabla. 4.12. Resultados de la asignación de pesos para infraestructura vial de la microcuenca del estero Roncador.

SIMBOLOGÍA	TIPO	PESO	ÁREA(ha)	ÁREA %
Cd	Camino de dos o más vías	3	1335	39,827
Ra	Área Circundante	1	2017	60,173
Elaboración: Autoras.			3352	100

Como principales zonas de acuerdo al tipo de vía susceptibles a movimientos en masa, se encontró: un 39,8% correspondiente a zonas cercas a caminos de dos o más vías y un 60,2% al resto del área de la microcuenca (ver anexo E, pág. 158).

4.2.7 Precipitaciones

En la microcuenca del Río San Antonio se encontraron los siguientes valores de precipitaciones:

Tabla. 4.13. Resultados de la asignación de pesos a la precipitación de la microcuenca del río San Antonio

VALOR DE PRECIPITACIÓN (mm)	PESO	ÁREA(ha)	ÁREA %
1500 - 1700	6	1088,93	32.5
1300 - 1500	5	1953,25	58.3
1100 - 1300	4	309,03	9.2
	TOTAL	3351,21	100

Elaboración: Autoras.

Como principales zonas de acuerdo a valores de precipitación susceptibles a movimientos en masa, se encontró: un 32,5% correspondiente a valores muy altos de precipitación y un 58,3% a valores altos de precipitación (ver anexo E, pág. 159).

4.2.8 Sismicidad

En la microcuenca del río San Antonio se encontró el siguiente tipo de sismicidad:

Tabla. 4.14. Resultados de la asignación de pesos a la sismicidad de la microcuenca del río San Antonio.

INTENSIDAD MERCALLI-MODIFICADA	ACELERACIÓN PICO (%G) (TRIFUNAC & BRADY, 1975)	PESO	AREA (ha)	AREA %
VII	17.7-35.4	7	3351,037	100
		TOTAL	3351,037	100

Elaboración: Autoras.

Toda el área de la microcuenca corresponde a una intensidad de Mercalli-Modificada igual a VII (ver anexo E, pág. 160).

4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS PARA MOVIMIENTOS EN MASA

Tabla. 4.15. Comparativa de los modelos obtenidos para la determinación de la amenaza por movimientos en masa de la microcuenca del río San Antonio.

MODELO	FACTOR									GRADO DE AMENAZA					
	No.	L	H	UC	P	CF	V	S	LI	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	MEDIANO	ALTO	MUY ALTO
Modelo A	6	x	x	x	x			x	x	18,25	21,02	2159,98	1152,33	SIN	SIN
Modelo B	8	x	x	x	x	x	x	x	x	18,67	SIN	238,36	2172,64	921,94	SIN
Modelo C	7	x	x	x	x	x		x	x	18,67	SIN	343,38	2367,13	622,4	SIN
Modelo D	7	x	x	x		x	x	x	x	5,12	132,42	1602,49	1517,28	94,32	SIN
Modelo E	6	x	x	x		x		x	x	5,12	140,39	1924,95	1241,45	39,73	SIN
Modelo F	7	x	x	x	x		x	x	x	18,18	18,19	1645,08	1670,09	SIN	SIN

G= Geológico, H= Humedad, UC= Cobertura Vegetal y Uso de Suelo, P= Pendientes, CF= Concentración de Flujo de Agua, V= Infraestructura Vial, S= Sismicidad, LI= Precipitaciones
SIN= Grado de amenaza no existente.

Elaboración: Autoras.

En el modelo A se combinó los factores de litología, humedad, cobertura vegetal y uso del suelo, pendiente, sismicidad y precipitaciones, predominando un grado de amenaza moderado, que corresponde al 64,45 % del área total.

En el modelo B se combinó los factores de litología, humedad, cobertura vegetal y uso del suelo, pendiente, concentración de flujo de agua, infraestructura vial, sismicidad y precipitaciones, predominando un grado de amenaza mediano, que corresponde al 64,82 % del área total (ver anexo E, pág. 162).

En el modelo C se combinó los factores de litología, humedad, cobertura vegetal y uso del suelo, pendiente, concentración de flujo de agua, sismicidad y precipitaciones, predominando un grado de amenaza mediano, que corresponde al 70,63 % del área total.

En el modelo D se combinó los factores de litología, humedad, cobertura vegetal y uso del suelo, concentración de flujo de agua, infraestructura vial, sismicidad y precipitaciones, predominando un grado de amenaza moderado, que corresponde al 47,81 % del área total.

En el modelo E se combinó los factores de litología, humedad, cobertura vegetal y uso del suelo, concentración de flujo de agua, sismicidad y precipitaciones, predominando un grado de amenaza moderado, que corresponde al 57,43 % del área total.

En el modelo F se combinó los factores de litología, humedad, cobertura vegetal y uso del suelo, pendiente, infraestructura vial, sismicidad y precipitaciones, predominando un grado de amenaza mediano, que corresponde al 49,83 % del área total (ver anexo E, pág. 161).

4.3.1 Descripción del grado de amenaza para movimientos en masa

Tabla. 4.16. Grados de amenaza por movimientos en masa.

GRADO DE AMENAZA	INTERVALOS	DESCRIPCION
MUY BAJO	0 A 5	Abarca zonas con pendiente planas, con concentraciones de flujo de agua muy bajos, y precipitaciones menores a 600 mm.
BAJO	5 A 30	Abarca zonas con pendiente baja, presenta rocas sanas con una resistencia al corte elevado, con bosque naturales y/o plantados, concentraciones de flujo de agua bajo y precipitaciones menores a 900 mm
MODERADO	30 A 150	Abarca zonas con pendiente baja, presenta rocas con una resistencia al corte media a elevada, con vegetación arbustiva y/o bosque intervenido, con concentraciones de flujo de agua altos, presencia de caminos de dos o más vías, con precipitaciones menores a 1100 mm
MEDIANO	150 A 750	Abarca zonas con pendiente moderada, presencia de rocas con una resistencia al corte moderada a media, con vegetación de cultivos perennes, pasto natural y/o cultivado, concentraciones de flujo de agua moderado, presencia de caminos pavimentados de dos o más vías, deslizamientos ocasionales, con precipitaciones entre 1100 a 1300 mm.
ALTO	750 A 11250	Son zonas con pendiente fuerte, presenta rocas con una resistencia al corte moderada a baja, vegetación de cultivos anuales y semi perennes, contenido de humedad y concentraciones de flujo de agua medio, y precipitaciones entre 1300 a 1500 mm
MUY ALTO	MAYOR A 11250	Aquí se encuentran zonas con pendiente muy fuerte, con áreas erosionadas o en proceso, presenta rocas con una resistencia al corte muy baja, un contenido de humedad muy alto, concentraciones de flujo de agua de medio a alto, con precipitaciones entre 1500 a 1700 mm.

Elaboración: Autoras.

4.4 FACTORES DEL MODELO PARA INUNDACIONES

4.4.1 Pendiente

En la microcuenca del estero Roncador se encontraron los siguientes tipos de pendiente (Foto. C.20.):

Tabla. 4.17. Resultados de la asignación de pesos a la pendiente de la microcuenca del estero Roncador

SIMBOLOGÍA	PENDIENTE	CONDICIONES DEL TERRENO	PESO	ÁREA (ha)	AREA%
Plsd	0 - 2	Planicie, sin denudación apreciable	5	5942,2718	86,8
Pmbe	2 - 4	Pendiente muy baja, peligro de erosión	4	835,248677	12,2
Pbse	4 - 8	Pendiente baja, peligro severo de erosión	3	24,0962227	0,4
Ca	-	Cuerpo de agua	5	41,338	0,6
Elaboración: Autoras.			TOTAL	6801,6167	100

Como principales zonas con pendientes susceptibles a inundaciones, se encontró: un 86,8% correspondiente a planicies y un 12,2% a pendientes muy bajas (ver anexo E, pág. 164).

4.4.2 Cobertura Vegetal y Uso del Suelo

En la microcuenca del estero Roncador se encontraron los siguientes tipos de vegetación y uso del suelo (Foto. C.16. y C.18.):

Tabla. 4.18. Cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del Estero Roncador.

TIPO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	DESCRIPCIÓN
Zona urbana	Área urbanizada, en expansión urbana y en proceso de urbanización.
Cuerpos de agua	Se consideran las superficies y volúmenes de agua estática o en movimiento que reposan sobre la superficie terrestre. Se refiere al sistema hidrográfico en general.
Cultivo anual	Área utilizada para consumo interno, industrial o comercial cuyo ciclo de producción no supera el año.
Cultivo perenne	Área utilizada para cultivos cuyo ciclo de producción supera los tres años.

Cultivo semi perenne	Área utilizada para cultivos cuyo ciclo de producción oscila entre un año y tres años.
Pasto cultivado	Vegetación ocupada por especies herbáceas introducidas – nativas mejoradas, utilizada con fines pecuarios, que para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo conducidos por el hombre o regeneración espontánea de especies introducidas.
Pasto natural	Vegetación dominante constituida por especies herbáceas nativas, con un crecimiento espontáneo, sin cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección.
Vegetación arbustiva	Vegetación natural densa heterogénea propia de los ángulos de los sistemas hidrográficos localizada en relieves fuertes, producto de la regeneración espontánea.

Fuente: SIGAGRO, 2008.

Tabla. 4.19. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura vegetal y uso del suelo de la microcuenca del estero Roncador.

TIPO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	PESO	ÁREA(ha)	ÁREA %
Cuerpos de agua	5	58,57	0,9
Cultivo anual y Cultivo semi perenne	4	4748,41	69,4
Cultivo perenne, Pasto cultivado y Pasto natural	3	1954,8	28,5
Vegetación arbustiva	2	33,5	0,5
Zona urbana	0	47,23	0,7
TOTAL		6842,51	100

Elaboración: Autoras.

Como principales zonas de acuerdo al tipo de vegetaciones susceptibles a inundaciones, se encontró: un 69,4% a cultivos anuales y semi perenne, y un 28,5% a cultivos perennes, pasto cultivado y pasto natural (ver anexo E, pág. 165).

4.4.3 Suelos

En la microcuenca del estero Roncador se encontraron los siguientes tipos de suelos:

Tabla. 4.20. Resultados de la asignación de pesos a los suelos de la microcuenca del Estero Roncador.

CATEGORÍA	TEXTURA	PESO	ÁREA (ha)	ÁREA %
Moderadamente gruesa	Franco arenoso, franco limoso.	2	2486,233	36,3
Media	Franco limoso, franco arcilloso (<35% de arcilla), franco arenoso, franco arcillo limoso.	3	2850,788	41,7
Fina	Franco arcilloso (> a 35%), arcilloso, arcilloso arenoso, arcilloso limoso.	4	506,924	7,4
Muy fina	Arcilloso (> 60%)	5	999,011	14,6
Elaboración: Autoras.		TOTAL	6842,955	100

Como principales zonas de acuerdo al tipo de textura del suelo susceptibles a inundaciones, se encontró: un 14,6% a suelos arcillosos y un 7,4% suelos franco arcillosos. Arcilloso, arcilloso arenoso y arcilloso limoso (ver anexo E, pág. 166).

4.4.4 Concentración de flujo de agua

En la microcuenca del estero Roncador se encontraron los siguientes valores de concentraciones de flujo de agua:

Tabla. 4.21. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura de concentraciones de flujo de aguas para la microcuenca del estero Roncador.

VALOR DE LA DENSIDAD	PESO	ÁREA (ha)	ÁREA %
2029 - 3736	5	342,73	5
1676 - 2029	4	1435,67	21
1394 - 1676	3	2433,46	35,5
1083 - 1394	2	1953,75	28,5
124 - 1083	1	695,31	10
TOTAL		6860,92	100

Elaboración: Autoras.

Como principales zonas con valores de concentraciones de flujo de agua susceptibles a inundaciones, se encontró: un 5 % del área total correspondiente a valores muy altos y un 21% a valores altos (ver anexo E, pág. 167).

4.4.5 Precipitaciones

En la microcuenca del estero Roncador se encontraron los siguientes valores de precipitaciones:

Tabla. 4.22. Resultados de la asignación de pesos a la cobertura de precipitaciones de la microcuenca del estero Roncador.

VALOR DE PRECIPITACIÓN (mm)	PESO	ÁREA (ha)	ÁREA %
1300 - 1500	5	4791,05	70
1100 - 1300	4	2051,96	30
	TOTAL	6843,01	100

Elaboración: Autoras.

Como principales zonas de acuerdo a valores de precipitación susceptibles a inundaciones, se encontró: un 70% correspondiente a valores muy altos de precipitación y un 30% a valores altos de precipitación (ver anexo E, pág. 168).

4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS PARA INUNDACIONES

Tabla. 4.23. Comparativa de los modelos obtenidos para la determinación de la amenaza por inundaciones de la microcuenca del estero Roncador

MODELO	FACTOR						GRADO DE AMENAZA					
	No.	CV	P	CF	S	LI	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	MEDIANO	ALTO	MUY ALTO
Modelo A	4	x	x			x	47,64	SIN	6595,07	SIN	SIN	SIN
Modelo B	5	x	x	x		x	47,68	SIN	970,36	5824,66	SIN	SIN
Modelo C	5	x	x	x	x	x	47,64	SIN	9,67	3558,12	2779,6	447,64
Modelo D	7	x	x		x	x	47,64	SIN	80,99	6714,1	SIN	SIN

CV= Cobertura Vegetal y Uso de Suelo, P= Pendientes, CF= Concentración de Flujo de Agua, S= Suelos, LI= Precipitaciones
SIN= Grado de amenaza no existente.

Elaboración: Autoras.

En el modelo A se combinó los factores de cobertura vegetal y uso del suelo, pendiente y precipitaciones, predominando un grado de amenaza moderado, que corresponde al 96,39 % del área total (ver anexo E, pág. 169).

En el modelo B se combinó los factores de cobertura vegetal y uso del suelo, pendiente, concentración de flujo de agua y precipitaciones, predominando un grado de amenaza mediano, que corresponde al 85,12 % del área total.

En el modelo C se combinó los factores de cobertura vegetal y uso del suelo, pendiente, concentración de flujo de agua, suelos y precipitaciones, predominando un grado de amenaza mediano, que corresponde al 52 % del área total.

En el modelo D se combinó los factores de cobertura vegetal y uso del suelo, pendiente, suelos y precipitaciones, predominando un grado de amenaza mediano, que corresponde al 98,12 % del área total (ver anexo E, pág. 170).

4.5.1 Descripción del grado de amenaza para inundaciones

Tabla. 4.24. Grados de amenaza por inundaciones.

GRADO DE AMENAZA	INTERVALOS	DESCRIPCION
MUY BAJO	0 A 5	Aquí se encuentran zonas con pendiente fuerte, con suelos arenosos y precipitaciones muy bajas.
BAJO	5 A 30	Son zonas con pendiente moderada, suelos franco arenosos, franco limosos, presencia de vegetación densa y precipitaciones menores a 1100 mm.
MODERADO	30 A 150	Abarca zonas con pendiente baja, poseen suelos franco limoso, franco arcilloso (<35% de arcilla), con vegetación arbustiva y precipitaciones menores a 1100 mm
MEDIANO	150 A 750	Abarca zonas con pendiente muy baja, suelos franco arcilloso (> a 35%), con vegetación de cultivos perennes, pasto natural y/o cultivado, con precipitaciones entre 1100 a 1300 mm.
ALTO	300 A 1500	Abarca zonas con pendiente muy baja, suelos arcillosos, con cultivos perennes y semi perennes y precipitaciones mayores a 1300 mm.
MUY ALTO	MAYOR 1500	Abarca zonas con pendiente planas, suelos con un porcentaje mayor al 60% de arcilla y precipitaciones mayores a 1300 mm.

Elaboración: Autoras.

4.5.2 Estimación del caudal

Se realizó el cálculo de caudal de acuerdo al método racional, aplicando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{CIA}{3,6} \quad (4.1)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de precipitación (mm/h)

A = Área de aporte (km²)

Los datos obtenidos son:

Tabla. 4.25. Datos obtenidos.

A	68,43	km ²
I_{año}	22	mm/día
	0,91	mm/h
I_{lluviosa}	45	mm/día
	1,90	mm/h
C	0,45	

Resolviendo la ecuación (4.1), se obtuvo:

Tabla. 4.26. Valores de caudales para un período de retorno de un año.

T = 1 año	Caudal (m ³ /s)	Probabilidad
Todo el año	7,84	95,20%
Época lluviosa	16,04	95,20%

Elaboración: Autoras

Para ver el proceso completo ver anexo D.

4.5.3 Estimación de caudales a partir de perfiles trazados

El caudal se calculó para cada perfil trazado (ver anexo D), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q = A * V \quad (4.2)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

A = Área de la sección transversal (m²)

V = Velocidad (m/s)

Resolviendo la ecuación (4.2), se obtuvo:

Tabla. 4.27. Caudales de acuerdo a cada perfil trazado.

Perfil	Área (m ²)	V (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	76,5	0,4	30,6
2	118,75	0,4	47,5
3	51	0,4	20,4
4	122,5	0,4	49,0
5	24,3	0,4	9,7

Elaboración: Autoras.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se analizó y evaluó la calidad de la información cartográfica, por lo tanto la información correspondiente a cobertura vegetal y uso de suelo, y suelos de SIGTIERRAS (2008) y la información meteorológica desarrollada CLIRSEN (2009) fueron óptimas para el desarrollo de este estudio.
- ✓ Se utilizó el modelo digital de elevaciones con una resolución espacial de 5m a 6m desarrollado por SIGTIERRAS, porque el error del AsterGDEM es igual a $26 \pm 1,12m$ a un nivel de confianza del 99,999 %, incumpliendo con el error tolerable a escala 1:25000 (5m aproximadamente).

Movimientos en masa

- ✓ En el análisis de amenaza derivadas a movimientos en masa, la utilización de los factores de cálculo llevan a las siguientes conclusiones:
 - El factor de infraestructura vial es la principal causa para la aparición de la amenaza por movimientos en masa en la microcuenca del río San Antonio.
 - El factor de precipitación es el principal detonante para la aparición de la amenaza por movimientos en masa, con precipitaciones anuales entre 1100 a 1700 mm, lo que demuestra períodos intensos de precipitaciones.
 - El factor de concentración de flujo de agua es un parámetro poco utilizado pero de gran importancia debido a que determina la acumulación de agua según el relieve de la microcuenca, lo que implica que existiría una mayor fuerza a que se deslice un talud.

- La microcuenca del río San Antonio presenta pendientes moderadas a fuertes, lo cual la convierte en una zona susceptible a movimientos en masa.
 - El factor de sismicidad presenta una susceptibilidad media a movimientos en masa debido a que se encuentra ubicada en una zona con una intensidad de Mercalli igual a VII.
 - De acuerdo a las unidades litológicas, la microcuenca posee una susceptibilidad media a los movimientos en masa, porque las rocas presentes tienen una resistencia al corte media.
 - El factor de humedad relativa presenta una baja susceptibilidad a movimientos en masa debido a que en la valoración final obtuvo 1 de acuerdo a los datos precipitaciones mensuales evaluados para cuatro estaciones cercanas a la microcuenca.
-
- ✓ Para este estudio los factores principales de la amenaza por movimientos en masa son: la pendiente, cobertura vegetal y uso del suelo, geología, humedad, infraestructura vial, precipitación y sismicidad, ya que influyen directamente en dicho fenómeno.
 - ✓ De acuerdo a los factores analizados se determinó las zonas amenazas por movimientos en masa en la microcuenca del río San Antonio. La mayor parte del área de la microcuenca corresponde a un grado de amenaza mediano.
 - ✓ El modelo B es el que más se asemeja a la realidad, debido a que se comprobó en campo y los factores que intervienen en él son: pendiente, cobertura vegetal y uso de suelo, humedad, geología, precipitación, sismicidad, concentración de flujo de agua e infraestructura vial.
 - ✓ El modelo F es el segundo modelo que más se asemeja a la realidad, debido a que incluye todo los factores excepto la concentración de flujo de agua.

Inundaciones

- ✓ En el análisis de amenaza derivadas a inundaciones, la utilización de los factores de cálculo llevan a las siguientes conclusiones:
 - Precipitaciones de 1300 a 1500 mm en la microcuenca del estero Roncador demuestra períodos intensos de precipitaciones produciendo inundaciones.
 - El factor de concentración de flujo de agua es un parámetro que no se debe utilizar en la determinación de la amenaza por inundaciones debido a que por ser una zona plana no se diferencian las direcciones de flujo.
 - Para desarrollar la metodología del factor de concentración de flujo de agua, se necesita la adquisición de tres licencias de software de procesamientos de datos espaciales, por lo que resulta ser una desventaja en relación a costos.
 - La microcuenca del estero Roncador presenta pendientes planas, lo cual la convierte en una zona susceptible a inundaciones.
 - La microcuenca del estero Roncador posee una textura del suelo franco limoso, franco arcilloso (<35%), franco arenoso, franco arcillo limoso en la mayor parte de su área, por lo tanto presenta una susceptibilidad media a inundaciones.
 - La microcuenca del estero Roncador presenta una susceptibilidad alta a inundaciones de acuerdo al factor de cobertura vegetal y uso del suelo, debido a que la mayor parte de su área corresponde a zonas de cultivo.

- ✓ Para este estudio los factores principales de la amenaza por inundaciones son: la pendiente, cobertura vegetal y uso del suelo, suelos y la precipitación.

- ✓ De acuerdo a los factores analizados se determinó las zonas amenazas por inundaciones en la microcuenca del estero Roncador, la mayor parte del área de la microcuenca corresponde a un grado de amenaza mediano,

cabe recalcar que la zona se inunda en la mayor parte de su área en los meses de enero a abril que corresponden a la época lluviosa.

- ✓ El modelo D es el que más se asemeja a la realidad, debido a que se comprobó en campo y los factores que intervienen en él son: pendiente, cobertura vegetal y uso de suelo, suelos y precipitación.
- ✓ El modelo A es el segundo modelo que más se asemeja a la realidad, debido a que incluye todo los factores excepto la concentración de flujo de agua.
- ✓ Las inundaciones son un fenómeno natural que no se lo debe considerar como un desastre, ya que cuando se producen arrastran sedimentos que al ser depositados construyen la llanura de inundación manteniendo la tierra por encima del nivel del mar, proporcionan sedimento fértil para el cultivo y tienen ventajas para los ecosistemas acuáticos, el problema radica cuando existen asentamientos humanos.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Disponer de información geoespacial que cumpla con la escala de trabajo requerida, realizando una evaluación o supervisión con el objetivo de cumplir con el error tolerable según la escala y así lograr que los resultados sean confiables.
- ✓ Trabajar con modelos digitales de elevaciones que posean una evaluación estadística con la finalidad de comprobar que se los puede utilizar para la escala de trabajo requerida, cabe recalcar que los modelos digitales de elevaciones son el principal insumo para la obtención de los resultados.
- ✓ Determinar la amenaza por movimientos en masa considerando las épocas secas, ya que en estos períodos el terreno, al estar con poco contenido de humedad, es susceptible a meteorizarse. También se debe considerar el período de transición entre la época seca y lluviosa.

- ✓ Realizar un inventario histórico de los movimientos en masa e inundaciones de la zona de estudio.
- ✓ Desarrollar estudios específicos que permitan el monitoreo de los taludes circundantes, para determinar el área de afectación directa de acuerdo al tipo de vía.
- ✓ De acuerdo al factor de concentraciones de flujo de agua se recomienda continuar con estudios más específicos que permitan determinar de manera precisa la influencia que ejercen para la determinación de la amenaza por movimientos en masa.
- ✓ Realizar estudios específicos relacionados a la humedad, que determinen de manera más directa el contenido de la misma en el suelo.
- ✓ Desarrollar estudios de protección y/o conservación de la zona, sobre todo en las laderas debido a que presentan fuertes pendientes y altas precipitaciones, con el fin de que dichas áreas sean poco susceptibles a deslizarse.
- ✓ Contar con un mayor control y mantenimiento de las estaciones meteorológicas, no solo de las cercanas a las microcuencas de estudio sino en todo el país, logrando así tener datos verídicos que se asemejen a la realidad climática del Ecuador.
- ✓ Trabajar a escalas de mayor detalle para la determinación de zonas amenazadas por inundaciones, debido a que en zonas planas la cota de inundación va de 1 a 2 metros, inundándose gran parte de ella, por lo que es importante considerar el error en altura de acuerdo a la escala requerida, obteniendo resultados más precisos que sirvan para una gestión óptima del ordenamiento territorial.

- ✓ Realizar estudios sobre la influencia de la infraestructura vial con fin de determinar si actúa o no como dique ante una inundación.

- ✓ Desarrollar estudios sobre la aplicabilidad de las concentraciones de flujo de agua en la determinación de la amenaza por inundaciones a escalas de mayor detalle.

- ✓ Crear ordenanzas municipales que prohíban asentamientos humanos en las zonas susceptibles a inundarse. Dichas zonas tendrían un mejor uso siendo zonas de protección ambiental, de esta forma las pérdidas socio-económicas y ambientales serían mínimas.

ANEXOS

ANEXO A

VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

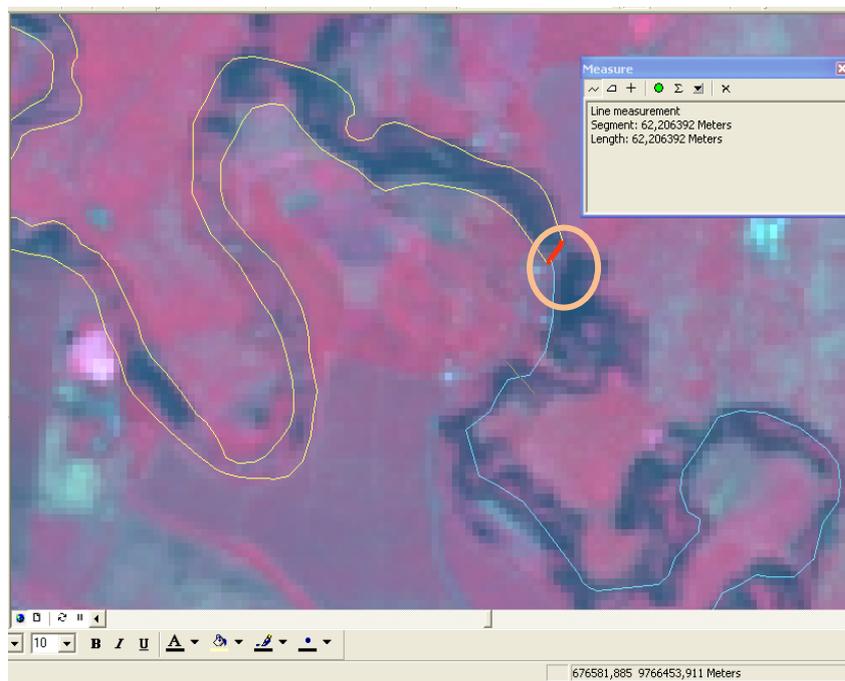
A.1 EVALUACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA.

A.2 EVALUACIÓN DEL ASTER GDEM.

A.1 EVALUACION DE LA CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA

A continuación se presentan algunas observaciones, de la evaluación de la información cartográfica base y temática preliminar facilitada por CLIRSEN (2009), para lo cual se utilizó una ortoimagen spot de resolución de 5 metros:

1. Según la Estructura condensada para elementos cartográficos de carta nacional del IGM, se representa un río doble como dos líneas si su ancho mínimo es 12,5 metros para escala 1:25000. De acuerdo al mosaico de ortoimágenes spot, el ancho del río Milagro a continuación del puente (señalado con el círculo) es aproximadamente 62 metros, por lo que debió ser digitalizado como río doble. Es conveniente que en ningún caso un río doble sea transformado en río simple después de que este sea atravesado por un puente. Cabe recalcar que desde este punto, existe un largo tramo que está como río simple. Se puede observar arenas en el trayecto del río lo que implica que las imágenes fueron tomadas en época seca, razón que no justifica que no haya sido representado de acuerdo a la estructura de elementos cartográficos de carta nacional.



Representación del río Milagro.

2. Los límites de las microcuencas (representan las divisorias de aguas) cortan a los ríos simples, por lo tanto dichos límites no están representando la verdadera delimitación de las microcuencas a escala 1:25000 (círculo 1). Previa consulta a un hidrólogo los ríos en la realidad no se cruzan (círculo 2), por lo que deberían estar representados como canales.



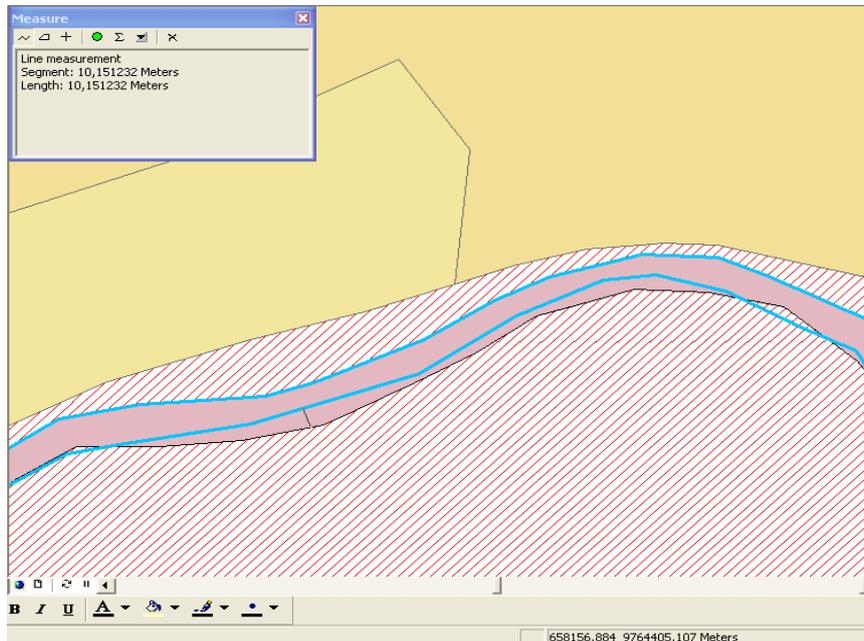
Círculo 1, Límite de la microcuenca y Círculo 2 cruce de ríos.

3. Se encontró como río perenne (círculo 1) lo que se observa podría ser un cauce antiguo o un canal. También aparecen como ríos perennes (círculo 2 y 3) lo que se podría considerar como canales debido a que no siguen la dirección del río principal hacia su desembocadura. Se revisó la cobertura de canales sin resultados visibles en el área mencionada.



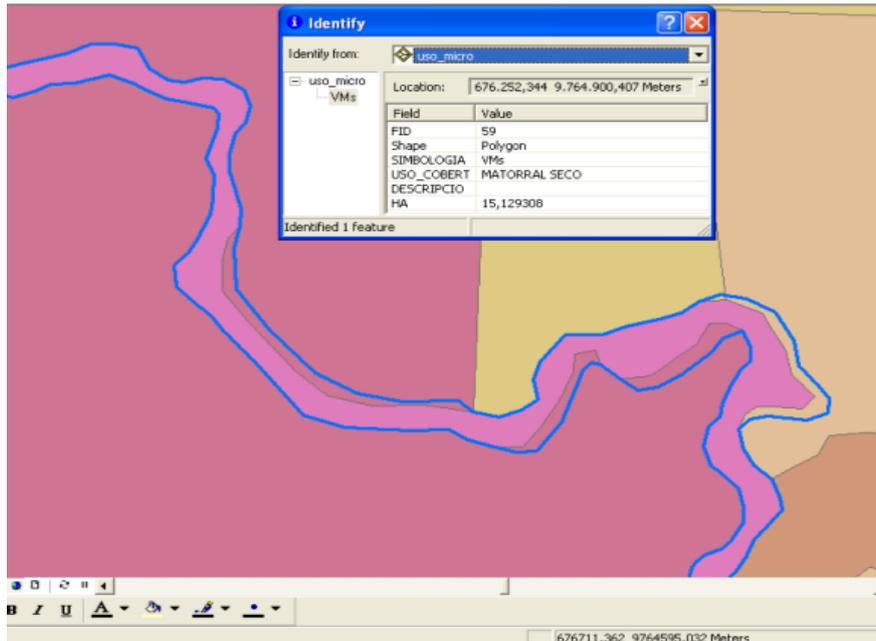
Ríos perennes.

4. Al comparar las coberturas de uso de suelo, riego y parcela con la cartografía base, los límites correspondientes al río Milagro no coinciden.



Cobertura de uso del suelo y cartografía base.

5. La cobertura de uso de suelo representa en su descripción como matorral seco en el área del río Apoyando, además los límites no coinciden.



Cobertura de uso del suelo.

A.2 EVALUACIÓN DEL ASTER GDEM

Para cuantificar el error sobre el Aster GDEM se comparó un conjunto de valores conocidos de altitudes (puntos acotados, a escala 1:50.000) con los correspondientes de puntos homólogos del modelo, mediante pruebas estadísticas.

Para obtener el valor de altitud de acuerdo a un MDE, se necesito:

- ✓ Aster GDEM
- ✓ Cobertura de puntos acotados

El proceso es el siguiente:

1.- Se utilizó a cobertura de puntos acotados a escala 1:50.000, debido a que en el país no existe actualmente a escala 1:25.000. Dicha cobertura esta en formato dgn, se realizo su exportación a shape y se verificó el valor de altura.

2.- Como el Aster GDEM adquirido cubre el área de la cuenca del río Guayas, se realizó un corte (extract by mask del Spatial Analyst Tools, ArcGis 9.2) con el límite de la zona de estudio, obteniéndose un MDE que cubre solamente la zona de estudio.

3.- Se obtuvo el valor de la altura en base al MDE (Surface Spot del 3D Analyst Tools, ArcGis 9.2).

4.- En la cobertura de puntos acotados se tiene el campo de *altura*, donde están los valores de altura “real” y el campo de *altitud*, donde están los valores de altura calculados en base al MDE.

5.- Se realizó las siguientes pruebas estadísticas.

Información Estadística para la evaluación del Aster GDEM.

PUNTOS	TOTAL	
Puntos acotados	1231	
Puntos eliminados (valores negativos)	6	
Total de puntos evaluados (puntos acotados a 1:50000)	1225	
INFORMACION ESTADISTICA DE PUNTOS	Puntos acotados	Puntos Aster GDEM
Media	1622	1648
Máximo	4433	4488
Mínimo	2	1
Rango	4431	4487
Varianza	126	1
Desviación Estándar	11	1

✓ Se calculó del nivel de confianza de la muestra, a partir de la ecuación:

$$n = \frac{\delta^2 * Z^{\alpha/2^2}}{\tau^2} \quad (A.1)$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra, igual 1225.

δ= Desviación estándar, igual a 10,03, tomando en cuenta el valor de la media aritmética

= Es el valor que representa el área bajo la curva de la distribución normal estandarizada y que sirve para el cálculo del nivel de confianza.

= Es el error permitido o tolerado en el proceso, igual a 5m

Se obtuvo $Z = 17,44$, resolviendo la ecuación anterior. Este valor en la tabla de la distribución normal es igual a 3,9; lo que indica un porcentaje aproximado de 99.999.

✓ El error de la evaluación del Aster GEM fue igual a:

$$error = |\bar{X}| \pm Z^{\alpha/2} * \sigma_{\bar{x}} \quad (A.2)$$

Donde:

= es el valor de la media aritmética absoluta, igual a 26 m

= valor que representa el área bajo la curva de la distribución normal estandarizada, igual a 3,9

= error típico de la muestra, donde:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \quad (A.3)$$

= desviación estándar, igual a 10,03 m

n = tamaño de la muestra, igual a 1225

- ✓ Calculando la ecuación del error típico (A.3), se obtuvo un valor igual a $\pm 0,286$ m.

Resolviendo la ecuación (A.2), se conoce que el error probable en la evaluación del ASTERGDEM a un nivel de confianza del 99.999%, es igual a 26 ± 1.12 m

ANEXO B
REGISTROS DE PRECIPITACIONES PARA LA ESTIMACION DE
LA HUMEDAD

B.1 REGISTROS DE LA ESTACIÓN CHILLANES:

COD	M130		COORDENADAS														X	715139,5	Y	9785138								
NO	CHILLANES																ALTUR	2330										
AÑO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		OCTUBRE		SUMA		HUMEDAD DEL TERRENO							
	precipit	pe	precipit	pe	precipit	pe	precipit	pe	precipit	pe	precipit	pe	precipit	pe	precipit	pe	precipit	pe	precipit	pe	suma	valora	DESCRIPCION					
1985	113,7	0	56,8	0	132,4	0	61,3	0	57,6	0	4,1	0	0,0	0	4,1	0	19,9	0	11,9	0	7,5	0	72,7	0	542,0	0	1	muy bajo
1986	230,8	0	111,2	0	110,9	0	230,4	0	39,1	0	2,1	0	9,4	0	8,6	0	12,0	0	26,9	0	6,3	0	52,8	0	840,5	0	1	muy bajo
1987	169,3	0	126,2	0	153,2	0	192,6	0	138,9	0	0,0	0	20,4	0	15,1	0	10,5	0	12,3	0	23,5	0	12,7	0	874,7	0	1	muy bajo
1988	184,6	0	267,2	1	63,4	0	272,0	1	111,5	0	9,7	0	8,8	0	4,8	0	12,9	0	34,0	0	62,4	0	43,2	0	1074,5	2	1	muy bajo
1989	213,3	0	276,0	1	305,3	1	180,0	0	30,5	0	13,4	0	8,2	0	0,9	0	3,7	0	32,6	0	11,9	0	22,5	0	1098,3	2	1	muy bajo
1990	24,3	0	112,7	0	45,4	0	153,8	0	16,0	0	6,9	0	0,0	0	1,6	0	0,3	0	20,6	0	2,8	0	76,9	0	461,3	0	1	muy bajo
1991	60,3	0	193,1	0	240,9	0	62,9	0	46,9	0	18,1	0	20,8	0	2,5	0	2,2	0	2,6	0	28,6	0	72,8	0	751,7	0	1	muy bajo
1992	122,1	0	64,6	0	239,9	0	215,5	0	93,5	0	5,5	0	1,6	0	0,0	0	4,6	0	8,6	0	17,8	0	18,5	0	792,2	0	1	muy bajo
1993	102,3	0	242,1	0	263,3	1	282,5	1	66,4	0	0,9	0	9,2	0	0,1	0	6,8	0	2,4	0	7,1	0	62,2	0	1045,3	2	1	muy bajo
1994	260,8	1	119,3	0	178,7	0	177,7	0	35,5	0	0,0	0	0,9	0	0,0	0	3,3	0	1,2	0	2,7	0	66,6	0	846,7	1	1	muy bajo
1995	49,7	0	115,8	0	68,2	0	128,0	0	61,8	0	4,0	0	7,4	0	6,0	0	9,3	0	15,7	0	53,6	0	48,0	0	567,5	0	1	muy bajo
1996	99,2	0	173,3	0	145,5	0	91,1	0	26,4	0	2,6	0	3,9	0	6,7	0	5,2	0	16,5	0	3,6	0	7,2	0	581,2	0	1	muy bajo
1999	70,0	0	196,1	0	124,9	0	135,9	0	17,6	0	10,2	0	8,9	0	6,0	0	42,8	0	12,7	0	10,1	0	110,3	0	745,5	0	1	muy bajo
2000	57,0	0	133,4	0	89,7	0	170,6	0	50,1	0	15,0	0	0,0	0	0,1	0	26,2	0	0,0	0	1,6	0	33,8	0	577,5	0	1	muy bajo
2001	149,5	0	75,0	0	195,2	0	93,9	0	29,1	0	0,9	0	1,0	0	0,0	0	1,2	0	0,0	0	24,1	0	15,8	0	585,7	0	1	muy bajo
2002	11,5	0	104,5	0	333,6	1	182,0	0	12,5	0	2,0	0	3,3	0	0,0	0	0,0	0	65,9	0	56,7	0	72,1	0	844,1	1	1	muy bajo
2003	114,5	0	164,0	0	115,6	0	199,7	0	53,0	0	41,1	0	2,8	0	0,7	0	0,5	0	13,0	0	3,9	0	54,7	0	763,5	0	1	muy bajo

B.2 REGISTROS DE LA ESTACIÓN RÍO SAN ANTONIO:

CODI		M388		COORDENADAS										X		696633,29		Y		9783994,2						
NOM		RIO SAN ANTONIO-		ALTURA										160												
AÑO	ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		OCTUBRE		DICIEMBRE		SUMA	HUMEDAD DEL TERRENO					
	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	suma	valora	DESCRIPCION		
1985	415,7	1	430,6	1	501,8	1	369,0	1	304,3	1	152,1	0	0,7	0	20,4	0	24,1	0	12,8	0	174,4	0	2417,4	5	2	bajo
1986	425,2	1	196,6	0	217,5	0	374,2	1	48,0	0	1,1	0	2,9	0	0,0	0	39,9	0	121,1	0	132,4	0	1590,2	2	1	Muy bajo
1987	287,7	1	295,8	1	383,8	1	248,8	0	254,2	1	10,5	0	10,9	0	17,7	0	17,5	0	18,3	0	45,6	0	1710,4	4	1	Muy bajo
1988	314,1	1	430,1	1	162,1	0	345,7	1	147,1	0	18,3	0	10,6	0	11,4	0	25,0	0	24,4	0	19,2	0	1720,5	3	1	Muy bajo
1989	348,3	1	627,0	2	900,8	1	243,9	0	96,9	0	25,9	0	4,7	0	0,0	0	26,9	0	74,2	0	6,5	0	2439,4	4	1	Muy bajo
1990	172,3	0	334,1	1	220,6	0	424,6	1	82,7	0	16,9	0	0,0	0	0,0	0	18,9	0	18,9	0	19,8	0	1521,2	2	1	Muy bajo
1991	190,4	0	365,6	1	270,2	1	213,8	0	69,4	0	28,9	0	7,9	0	6,4	0	31,1	0	104,2	0	62,2	0	1544,2	2	1	Muy bajo
1992	363,7	1	264,3	1	550,5	2	670,7	2	215,4	0	38,8	0	24,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	46,4	0	2262,3	6	2	bajo
1993	213,9	0	502,9	1	416,6	1	614,4	2	244,8	0	6,2	0	0,0	0	0,0	0	84,0	0	117,9	0	309,6	1	2510,3	5	2	bajo
1994	449,4	1	610,0	2	366,5	1	346,2	1	128,2	0	23,7	0	0,0	0	0,0	0	135,3	0	0,0	0	266,2	1	2325,5	6	2	bajo
1995	284,3	1	310,0	1	238,4	0	494,1	1	281,4	1	227,9	0	93,0	0	28,2	0	0,0	0	25,2	0	6,4	0	2190,2	4	1	Muy bajo
1996	450,4	1	374,2	1	510,6	1	267,2	1	233,1	0	48,0	0	0,0	0	29,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	2416,5	5	2	bajo
1999	428,8	1	518,5	1	788,3	2	410,2	1	202,0	0	0,0	0	0,0	0	6,5	0	117,2	0	135,3	0	118,7	1	3016,3	6	2	bajo
2000	239,6	0	443,8	1	655,7	2	651,6	2	22,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	38,5	0	31,8	0	23,4	0	2282,0	5	2	bajo
2001	363,3	1	271,1	1	374,1	1	284,3	1	109,0	0	5,7	0	31,7	0	1,2	0	20,6	0	26,2	0	65,3	0	1692,1	4	1	Muy bajo
2002	150,9	0	364,1	1	514,1	1	292,7	1	173,6	0	15,5	0	8,7	0	0,0	0	18,5	0	56,7	0	61,7	0	1817,3	3	1	Muy bajo
2003	330,3	1	264,4	1	201,0	0	217,5	0	98,1	0	44,9	0	4,1	0	8,3	0	10,8	0	97,7	0	26,0	0	1361,4	2	1	Muy bajo

B.3 REGISTROS DE LA ESTACIÓN PALLATANGA:

CODI		M391		COORDENADAS										X		726000,45		Y		9778864,5								
NOM		PALLATANGA		ALTURA										160														
AÑO	ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		OCTUBRE		DICIEMBRE		SUMA	HUMEDAD DEL TERRENO							
	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	suma	valora	DESCRIPCION				
1985	126,2	0	99,2	0	162,3	0	94,5	0	22,1	0	14,0	0	1,0	0	14,3	0	13,5	0	15,2	0	95,1	0	672,9	0	1	muy bajo		
1986	277,1	1	186,1	0	114,0	0	248,4	1	67,0	0	2,8	0	1,0	0	6,5	0	13,7	0	31,4	0	23,3	0	1070,8	2	1	muy bajo		
1987	185,4	0	142,2	0	182,5	0	167,7	1	149,8	0	1,9	0	17,0	0	11,0	0	28,3	0	7,9	0	41,8	0	954,4	1	1	bajo		
1988	165,0	0	298,1	1	32,4	0	250,2	2	71,0	0	23,0	0	4,5	0	0,5	0	35,3	0	44,0	0	74,7	0	1092,0	3	1	bajo		
1989																												
1990	57,0	0	225,2	0	83,5	0	137,9	1	59,5	0	19,7	0	0,5	0	6,9	0	3,0	0	36,1	0	9,0	0	87,3	0	725,6	1	1	muy bajo
1991	127,0	0	156,1	0	156,3	0	102,7	1	82,6	0	26,5	0	10,0	0	0,0	0	7,8	0	4,6	0	37,6	0	768,1	1	1	muy bajo		
1992	149,7	0	172,4	0	258,4	1	190,1	1	148,9	0	9,9	0	1,5	0	0,0	0	6,5	0	7,5	0	18,0	0	998,4	2	1	bajo		
1993	258,4	1	253,5	1	295,2	1	236,4	1	63,4	0	12,0	0	7,5	0	3,0	0	23,5	0	18,1	0	32,3	0	1386,0	4	1	bajo		
1994	223,5	0	176,2	0	187,9	0	233,9	1	76,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	14,0	0	0,0	0	4,0	0	1064,9	1	1	bajo		
1995	94,9	0	143,7	0	161,6	0	187,0	1	75,0	0	8,0	0	7,4	0	2,3	0	18,0	0	5,0	0	30,0	0	767,5	1	1	muy bajo		
1996	204,1	0	259,2	1	205,0	0	111,5	1	71,5	0	16,0	0	0,0	0	0,0	0	4,2	0	30,0	0	7,6	0	968,1	2	1	bajo		
1999	118,7	0	345,7	1	212,7	0	167,7	1	128,4	0	42,7	0	12,0	0	6,2	0	59,5	0	47,1	0	12,3	0	93,3	0	1246,3	2	1	bajo
2000	0,0	0	182,5	0	247,6	0	209,5	1	135,8	0	27,9	0	0,0	0	1,5	0	40,6	0	12,3	0	10,1	0	936,2	1	1	muy bajo		
2001	159,3	0	184,6	0	277,3	1	180,6	1	67,6	0	5,4	0	0,0	0	0,0	0	23,8	0	17,5	0	34,8	0	1009,3	2	1	bajo		
2002	66,5	0	144,8	0	247,2	0	241,5	1	61,2	0	10,6	0	0,0	0	0,0	0	1,3	0	58,1	0	28,8	0	932,9	1	1	muy bajo		
2003	149,8	0	182,1	0	180,0	0	226,6	1	50,9	0	59,3	0	3,8	0	0,3	0	5,6	0	14,5	0	21,5	0	943,9	1	1	muy bajo		

B.4 REGISTROS DE LA ESTACIÓN CHIMBO DJ PANGOR:

CODI	M402	COORDENADAS														X	721733,5	Y	9785072,4									
NOM	CHIMBO DJ PANGOR	ALTURA														1480												
AÑO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		OCTUBRE		DICIEMBRE		SUMA	HUMEDAD DEL TERRENO						
	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	pe	precipita	suma	valora	DESCRIPCION				
1985	103,9	0	7,4	0	90,1	0	30,9	0	55,3	0	19,0	0	5,3	0	7,5	0	5,3	0	0,5	0	4,6	0	72,4	0	402,2	0	1	muy bajo
1986	79,6	0	42,9	0	59,2	0	152,6	0	24,2	0	21,1	0	4,1	0	25,8	0	24,0	0	20,6	0	3,3	0	32,7	0	490,1	0	1	muy bajo
1987	128,1	0	67,2	0	50,8	0	24,6	0	25,6	0	3,3	0	17,5	0	12,4	0	4,2	0	11,8	0	2,6	0	4,5	0	352,6	0	1	muy bajo
1988																												
1989	16,0	0	17,4	0	115,7	0	9,4	0	4,5	0	15,0	0	39,9	0	1,9	0	2,4	0	4,9	0	0,8	0	1,0	0	228,9	0	1	muy bajo
1990	3,5	0	15,0	0	9,1	0	102,8	0	31,1	0	10,7	0	0,0	0	1,9	0	0,1	0	10,3	0	6,3	0	8,7	0	199,5	0	1	muy bajo
1991	23,9	0	80,2	0	203,9	0	68,7	0	81,8	0	19,0	0	23,2	0	5,7	0	37,8	0	3,4	0	44,7	0	47,0	0	639,3	0	1	muy bajo
1992	107,7	0	86,6	0	222,2	0	179,9	0	118,9	0	1,0	0	0,8	0	3,6	0	11,7	0	18,9	0	11,5	0	18,5	0	781,3	0	1	muy bajo
1993	100,9	0	259,7	1	230,0	0	191,3	0	72,4	0	10,7	0	8,0	0	9,5	0	11,8	0	3,8	0	64,4	0	92,2	0	1054,7	1	1	bajo
1994	105,7	0	80,7	0	90,8	0	173,2	0	75,0	0	1,8	0	3,2	0	0,8	0	25,5	0	34,9	0	14,3	0	75,6	0	681,5	0	1	muy bajo
1995	109,3	0	131,2	0	60,7	0	152,6	0	76,6	0	25,0	0	18,8	0	1,2	0	12,1	0	38,8	0	50,2	0	68,4	0	744,9	0	1	muy bajo
1996	100,0	0	141,9	0	63,3	0	138,7	0	29,9	0	0,8	0	5,0	0	8,1	0	5,0	0	31,8	0	3,6	0	47,9	0	576,0	0	1	muy bajo
1999	109,2	0	205,4	0	511,5	1	426,9	1	104,6	0	31,9	0	41,5	0	2,6	0	60,6	0	61,6	0	15,9	0	177,4	0	1749,1	2	1	bajo
2000	182,2	0	243,9	0	260,7	1	299,8	1	266,5	1	32,2	0	7,1	0	0,0	0	56,1	0	0,8	0	61,8	0	78,3	0	1489,4	3	1	bajo
2001	3,6	0	0,0	0	228,6	0	177,3	0	40,0	0	4,7	0	2,7	0	0,0	0	12,2	0	0,0	0	73,4	0	158,2	0	700,7	0	1	muy bajo
2002	68,4	0	274,6	1	302,4	1	292,4	1	160,5	0	25,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	160,1	0	211,4	0	151,4	0	1646,2	3	1	medio
2003	74,6	0	125,1	0	183,5	0	179,4	0	68,6	0	67,0	0	6,4	0	0,0	0	2,5	0	19,6	0	9,6	0	54,9	0	791,2	0	1	muy bajo

ANEXO C
FOTOS



Foto. C.1. Movimiento en masa por fracturamiento y pendientes fuertes.



Foto. C.2. Movimiento en masa por meteorización y construcción de la vía.



Foto. C.3. Movimiento en masa por fracturamiento y construcción de la vía.



Foto. C.4. Cobertura Vegetal de la microcuenca del río San Antonio.



Foto. C.5. Asentamientos humanos dispersos de la microcuenca del río San Antonio.



Foto. C.6. Pendientes y Cobertura vegetal de la microcuenca del río San Antonio.



Foto. C.7. Talud.



Foto. C.8. Dimensión de un movimiento en masa.



Foto. C.9. Vegetación y talud.



Foto. C.10. Vegetación de la microcuenca del río San Antonio.



Foto. C.11. Estero Roncador en la zona de Rosa de Oro, cantón Daule.



Foto. C.12. Área de afectación de las inundaciones, área de desborde del cauce.

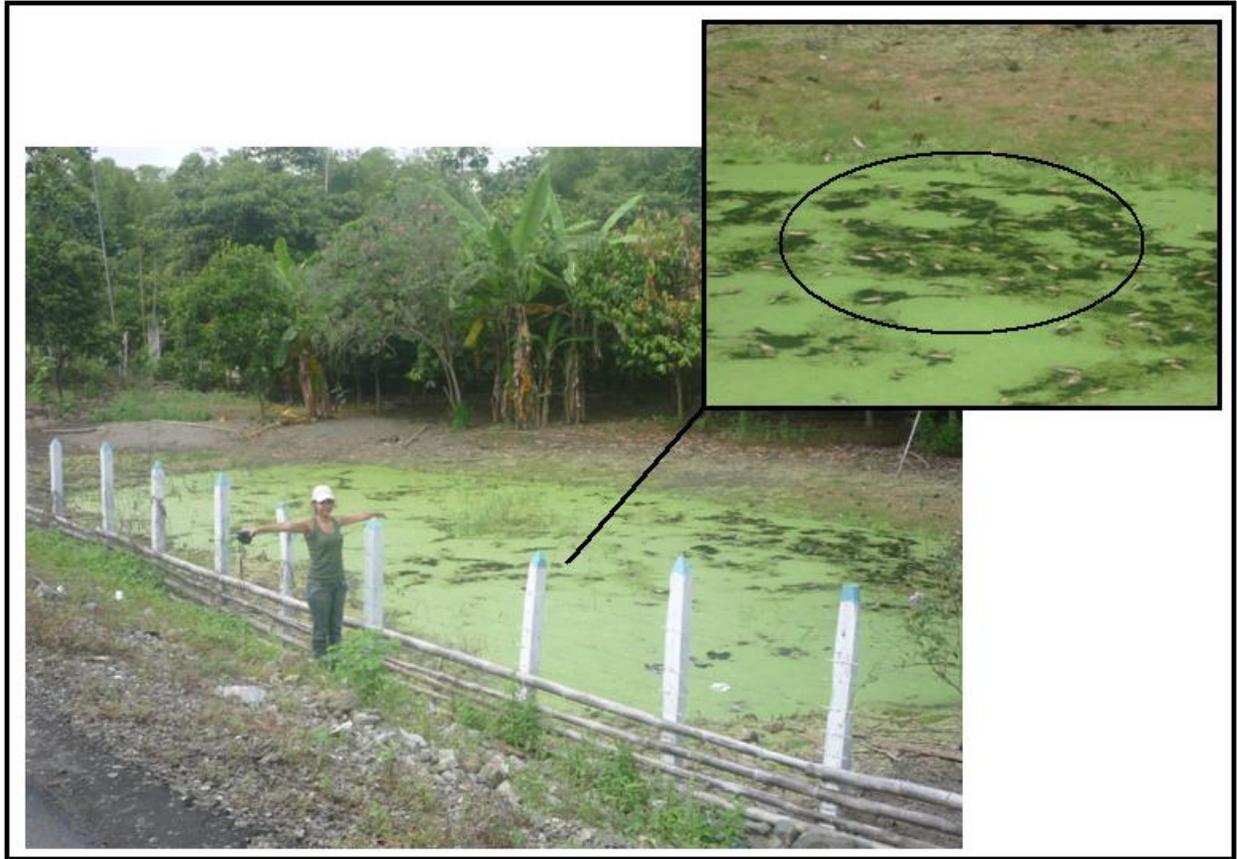


Foto. C.13. Zona de anegación, peces muertos.



Foto. C.14. estero Roncador.



Foto. C.15 Colonos de la zona.



Foto. C.16. Escuela localizada en la llanura de inundación.



Foto. C.17. Viviendas localizadas en la llanura de inundación.



Foto. C.18 Zona agrícola a orillas del estero Roncador.



Foto. C.19. Zonas anegables.



Foto. C.20. Viviendas afectadas en las inundaciones.



Foto. C.21. Viviendas afectadas, con zonas de anegamiento, posible poco de enfermedades.



Foto. C.22. Caballos pastando en zona de anegación.

ANEXO D

CAUDAL

D.1 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL

D.2 ESTIMACIÓN DE CAUDALES A PARTIR DE PERFILES TRAZADOS

D.1 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL

Se realizó el cálculo de caudal de acuerdo al método racional, aplicando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{CIA}{3,6} \quad (4.1)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de precipitación (mm/h)

A = Área de aporte (km²)

El *área de aporte* corresponde a la superficie de la microcuenca del estero Roncador.

La *intensidad de precipitación* fue calculada de acuerdo a los siguientes pasos:

- Se realizó un ajuste de los datos de intensidades (para todo el año y para la época lluviosa) mediante el modelo de Pearson III.

Para todo el año: Se consideró los datos de intensidad diaria mensual, con una serie de 17 años de la estación M-051 Babahoyo.

Datos de intensidades diarias, período anual.

Datos de intensidad diarias de la estación meteorológica Babahoyo (mm/día)		
I (1989) = 32.60	I (1995) = 32.11	I (2001) = 37.16
I (1990) = 34.01	I (1996) = 22.90	I (2002) = 35.18
I (1991) = 28.27	I (1997) = 69.74	I (2003) = 32.58
I (1992) = 57.40	I (1998) = 63.88	I (2004) = 20.72
I (1993) = 34.89	I (1999) = 40.07	I (2005) = 29.24
I (1994) = 45.43	I (2000) = 35.85	

Nota: Los valores de intensidades mensuales fueron obtenidos a partir de los valores de precipitaciones máximas mensuales diarias.

Fuente: CLIRSEN

Valores de intensidades para diferentes períodos de retorno

Nº	T (años)	P (por ciento)	I (mm/día)
1	1.05	95.2	22
2	1.11	90.1	25
3	1.25	80	28
4	2	50	35
5	5	20	47
6	10	10	56
7	25	4	68

T = Tiempo de retorno, P = Probabilidad, I = Intensidad.

Fuente: <http://ponce.sdsu.edu/enlineapearson.php>

Para la época lluviosa: Se consideró los datos de intensidades (meses de Enero a Mayo) con una serie de 17 años de la estación M-051 Babahoyo.

Datos de intensidades diarias, época lluviosa.

Datos de intensidades diarias de la estación meteorológica Babahoyo		
I (1989) = 73.64	I (1995) = 65.96	I (2001) = 88
I (1990) = 65.08	I (1996) = 47.44	I (2002) = 73.24
I (1991) = 58.24	I (1997) = 80.9	I (2003) = 67.4
I (1992) = 116.78	I (1998) = 124.94	I (2004) = 61.08
I (1993) = 72.66	I (1999) = 88.28	I (2005) = 38.8
I (1994) = 85.24	I (2000) = 77.24	

Nota: Los valores de intensidades mensuales fueron obtenidos a partir de los valores de precipitaciones máximas mensuales.

Fuente: CLIRSEN

Valores de intensidades (época lluviosa) para diferentes períodos de retorno.

Nº	T (años)	P (por ciento)	I (mm/día)
1	1.05	95.2	45
2	1.11	90.1	50
3	1.25	80	57
4	2	50	73
5	5	20	93
6	10	10	104
7	25	4	118

T = Tiempo de retorno, P = Probabilidad, I = Intensidad

Fuente: <http://ponce.sdsu.edu/enlineapearson.php>

El coeficiente de escorrentía está en función de la pendiente, uso del suelo y tipos de suelos (texturas).

Valores del coeficiente de escorrentía.

Topografía y vegetación	Textura del suelo		
	Tierra franca arenosa	Arcilla y limo	Arcilla compacta
Bosques			
Llano, 0-5% de pendiente	0,10	0,30	0,40
Ondulado, 5-10% de pendiente	0,25	0,35	0,50
Montañoso, 10-30% de pendiente	0,30	0,50	0,60
Pastizales			
Llanos	0,10	0,30	0,40
Ondulados	0,16	0,36	0,55
Montañosos	0,22	0,42	0,60
Tierras cultivadas			
Llanas	0,30	0,50	0,60
Onduladas	0,40	0,60	0,70
Montañosas	0,52	0,72	0,82
Zonas urbanas	30% de la superficie impermeable	50% de la superficie impermeable	70% de la superficie impermeable
Llanas	0,40	0,55	0,65
Onduladas	0,50	0,65	0,80

Fuente: Schwab, 1981.

Los datos obtenidos son:

Tabla. 4.25. Datos obtenidos.

A	68,43	km ²
I_{año}	22	mm/día
	0,91	mm/h
I_{lluviosa}	45	mm/día
	1,90	mm/h
C	0,45	

Elaboración: Autoras

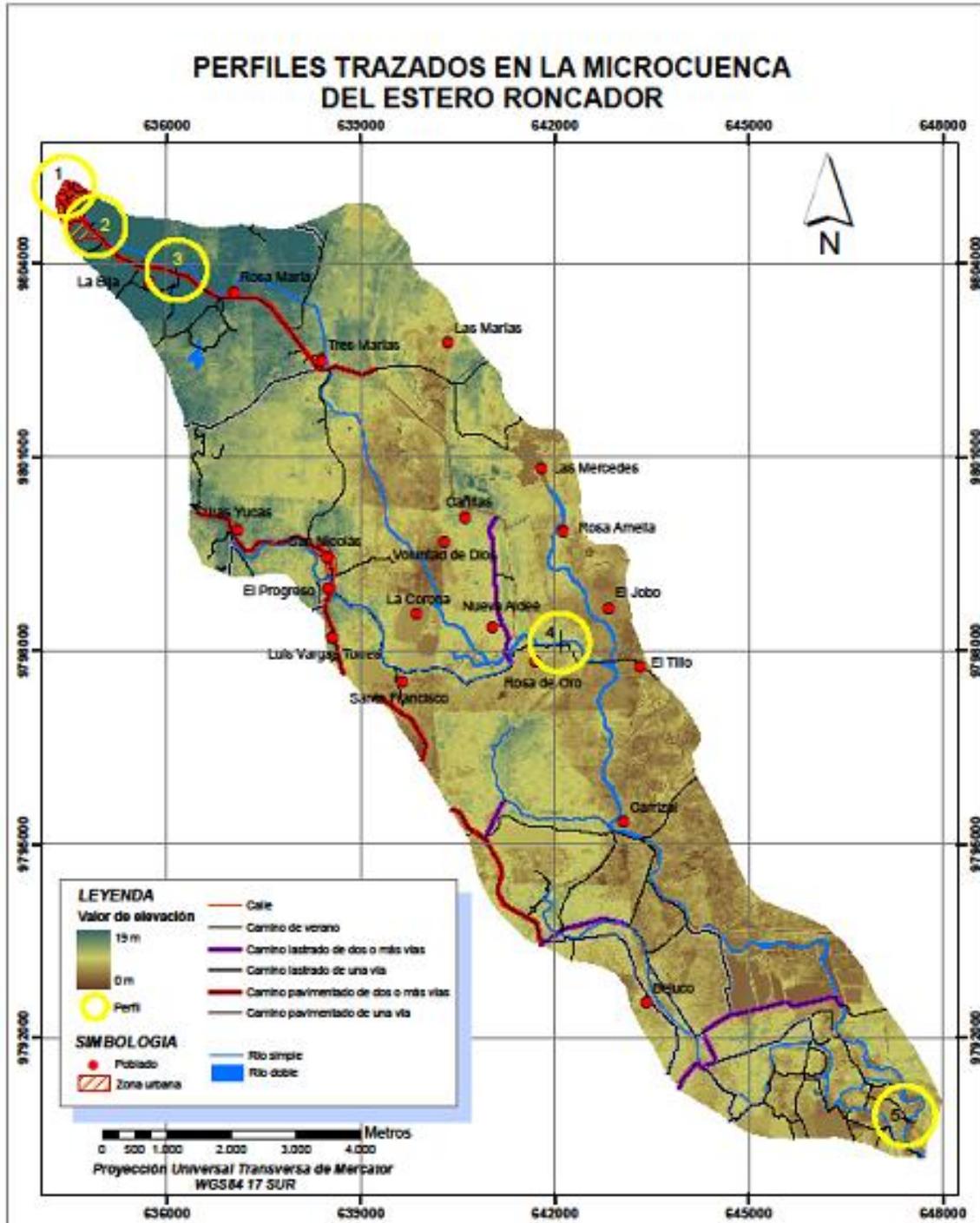
Resolviendo la ecuación (4.1), se obtuvo:

Tabla. 4.26. Valores de caudales para un período de retorno de un año.

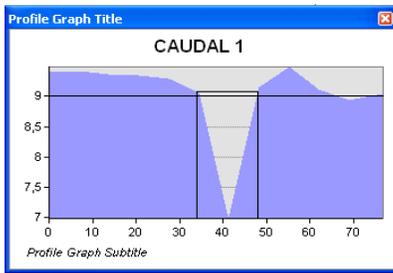
T = 1 año	Caudal (m ³ /s)	Probabilidad
Todo el año	7,84	95,20%
Época lluviosa	16,04	95,20%

Elaboración: Autoras

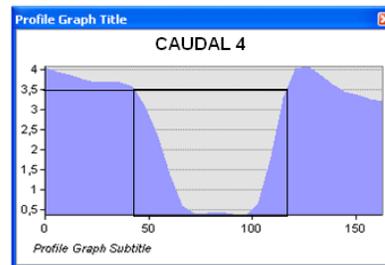
D.2 ESTIMACIÓN DE CAUDALES A PARTIR DE PERFILES TRAZADOS



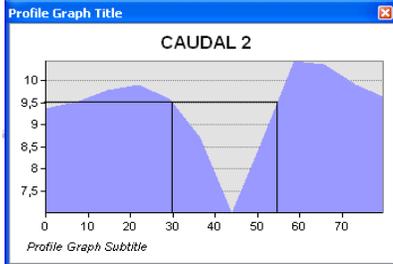
Ubicación de perfiles trazados.
Elaboración: Autoras.



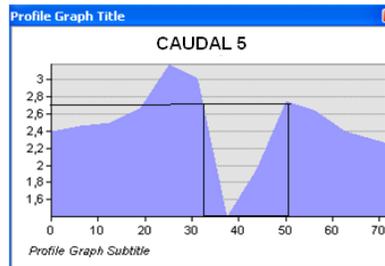
H=9m
D=17m



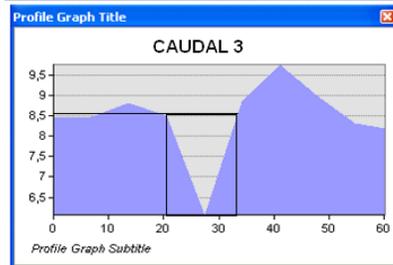
H=3,5m
D=70m



H=9,5m
D=25m



H=2,7m
D=18m



H=8,5m
D=12m

**Perfiles trazados.
Elaboración: Autoras.**

El caudal se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q = A \cdot V \quad (4.2)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

A = Área de la sección transversal (m²)

V = Velocidad (m/s)

Se tomó como *velocidad* el valor de 0,4 m/s, debido al tipo de suelo existente en el área del estero Roncador (Franco limoso, franco arcilloso, franco arenoso) utilizando la siguiente tabla:

Velocidad máxima en el agua.

NATURALEZA DE LA SUPERFICIE	MÁXIMA VELOCIDAD ADMISIBLE (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0,20 - 0,60
Arena arcillosa dura, margas duras	0,60 - 0,90
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0,60 - 1,20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1,20 - 1,50
Hierba	1,20 - 1,80
Conglomerados, pizarras duras, rocas blandas	1,40 - 2,40
Mampostería, rocas duras	3,00 - 4,50
Hormigón	4,50 - 6,00

Fuente: http://web.usal.es/~javisan/hidro/Complementos/Inst5_2_IC.pdf

Resolviendo la ecuación (4.2), se obtuvo:

Tabla. 4.27. Caudales de acuerdo a cada perfil trazado.

Perfil	Área (m ²)	V (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	76,5	0,4	30,6
2	118,75	0,4	47,5
3	51	0,4	20,4
4	122,5	0,4	49,0
5	24,3	0,4	9,7

Elaboración: Autoras.

ANEXO E

MAPAS

E.1 Microcuenca del río San Antonio

1. Mapa de Orientación
2. Mapa de Pendientes
3. Mapa de Cobertura vegetal y uso del suelo
4. Mapa Geológico
5. Mapa de Humedad
6. Mapa de Concentración de flujo de agua
7. Mapa de Afectación vial
8. Mapa de Isoyetas
9. Mapa de Sismicidad
10. Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa (modelo F)
11. Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa (modelo B)

E.2 Microcuenca del estero Roncador

1. Modelo digital de elevaciones
2. Mapa de Pendientes
3. Mapa de Cobertura vegetal y uso del suelo
4. Mapa de Suelos
5. Mapa de Concentración de flujo de agua
6. Mapa de Isoyetas
7. Mapa de Amenaza por Inundaciones (modelo A)
8. Mapa de Amenaza por Inundaciones (modelo D)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, Fernán, *Componente Geológico y Zonificación de Amenazas por Inundación y Deslizamientos. Subcuenca Río Molino-Pubus. Municipio de Popayán*, Departamento del Cauca. Montoya, Colombia, 1999.
- AUGUSTO, Oswaldo, *Identificação estratigráfica na investigação geotécnica e geoambiental*. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.
- AYALA, F., CARCEDO, J. y CANTOS, O., *Riesgos naturales*. Barcelona, editorial Ariez, Colombia, 2002.
- BELTRAN, Guillermo, *Anotaciones de clase "Manejo de cuencas hidrográficas"*, Universidad Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2009.
- CARDONA, Omar. *Conceptos y definiciones de relevancia en la Gestión del Riesgo*. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2002.
- CASTRO, Celia, *Determinación de la peligrosidad sísmica del Ecuador en base a curvas de isoaceleración*, Sangolquí, julio de 2009.
- CEPREDENAC, *Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central*, PNUD, 2008.
- CHIRIBOGA G, VINOCUNA I., *Generación de una herramienta SIG para la administración de Peligros por inundaciones de los cantones BABA y VINCES, y Propuesta de medidas de prevención y mitigación*, Sangolquí, 2005.
- CIIFEN - INAMHI - INOCAR, *Información climática de amenazas hidrometeorológicas en las provincias costeras del Ecuador*, Guayaquil, 26 de octubre de 2007.
- COROMINAS, J. Y GARCIA, A., *Terminología de los movimientos de laderas*. IV Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables, Granada 1997.

- CRISTANCHO, *Análisis y modelamiento de datos espaciales en formato raster*, 2003.
- FELICÍSIMO, *Modelos digitales del terreno*, Oviedo España, 1994.
- GOBIERNO DEL ECUADOR, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, *Estudio sobre la vulnerabilidad del sector agropecuario a los riesgos naturales*, Quito, febrero de 1991.
- GUTIÉRREZ, Israel, *Plan de manejo de la microcuenca del río Tena*, Sangolquí enero, 2009.
- HANSEN Y FRANK, *Aproximación al Mapa de Susceptibilidad y Amenazas por Deslizamientos de la Ciudad de Trujillo*, Venezuela, 1991.
- HARMON, J. and ANDERSON, S., *The Design and Implementation of Geographic Information System*, Editorial, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003.
- HUNGR, *Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas*, México, 1997.
- IGAC, *Conceptos Básicos De Sistemas de Información Geográfica y Aplicaciones En Latinoamérica*, 1995.
- INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES, *Proyecto MET-ALARN INETER/COSUDE- INUNDACIONES FLUVIALES*, Managua Nicaragua, agosto 2005.
- LAVELL, Ángel, *La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*, Tomo 2, edición 2, editorial HondrasW., Honduras, 2009.
- LANSEN Y PARK, *Implicaciones del Cambio Climático, para Puerto Rico (la cuenca del Caribe)*, 1997.
- LEOPOLD et. al, *Inundaciones y clasificaciones según la peligrosidad*, 1984.

- MATAIX, Carmen, Factores Ambientales: Funciones y uso de la vegetación en la estabilización de laderas, Colombia, 2005.
- MEDINA, Iván, *Anotaciones de clase "Sistemas de Información Geográfica I"*, Universidad Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2007.
- MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL UNIDAD TECNICA DE DESASTRES DE SALVADOR, *Plan de Emergencia en Caso de Inundaciones y Deslizamiento*, San Salvador, mayo 2006.
- MORA, Rolando, *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, provincia de San José: Costa Rica*, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, junio 2004.
- MORA, R., VAHRSON, W. Y MORA, S., *Mapa de Amenaza de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), 1992.
- OROZCO, Elfego, *Zonificación de Amenazas Naturales en la cuenca del río Samalá y Análisis de vulnerabilidad y riesgo en la población de San Sebastián Retalhuleu*, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 1998.
- PACHAY, Iván, *Reporte técnico*. Centro agrícola cantonal de Quevedo, 2006.
- RIZZO, Pablo, CORPACONTROL, 2000.
- SALAZAR, Luis, *Modelaje de la amenaza por deslizamiento mediante el programa - ilwis -, y la implementación de un sistema de información geográfico (SIG), utilizando el método Mora & Varhson, 1991*, Universidad de Costa Rica, mayo del 2007.
- SANTACANA, *Peligros geológicos superficiales asociados al nevado Huaytapallana en la subcuenca del río Shullcas*, Perú, 2001.
- SANTAMACA, Núria, *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos mediante el uso de sistemas de información*

geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, marzo 2001.

- SANCHEZ Y BATISTA., *Terrenos propensos a deslizarse*, Barcelona, 2005.
- SECRETARÍA DE PROVENTION CONSORTIUM, *Recopilación y utilización de información sobre amenazas naturales*, Suiza, 2007.
- SILVA, Gustavo, *Control de inundaciones*, Bogotá Colombia, 23 de julio de 2003.
- SUAREZ, Jaime, *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*, Tomo 1, edición, editorial, Colombia, 2009.
- TOULKERIDIS, T., *Desastres Naturales en el Ecuador*, CGVG-Universidad San Francisco de Quito, 2008.
- VARGAS, Germán, *Guía técnica para la zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza por Movimientos en masa*, Editorial GTZ-Secretaria del Medio Ambiente, Villavicencio Colombia, diciembre 1999.
- ZUIDAM, Van, *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento*, Costa Rica, 1986.
- Movimientos en masa, <http://revistaurbanismo.uchile.cl/index.html>, abril 2010.
- Inundaciones, <http://www.edufuturo.com/>, mayo 2010.
- Fenómeno del Niño, <http://www.inamhi.gov.ec/>, mayo 2010.
- Imágenes Aster, <http://www.teledet.com.uy/insurance.htm>, mayo 2010.
- Fenómeno del Niño, <http://www.inocar.mil.ec/>, mayo 2010.
- Llanuras de inundación y su relación con el desarrollo regional, <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/ch13.htm#a>, mayo 2010.