



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**“ Tipificar los deslizamientos y valorar la susceptibilidad en sectores:  
Carmen del Guzho, Nulti, Universidad del Azuay (Gapal), Sinincay  
sector Pumayunga y Jadán del cantón Cuenca”.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO EN MINAS**

**Autor:**

**RICARDO ADOLFO RODAS TORAL**

**Directora:**

**Ing. JULIA MARGARITA MARTÍNEZ GAVILÁNES**

**CUENCA, ECUADOR**

**2019**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia y amigos por brindarme la motivación necesaria para culminar de manera exitosa el presente trabajo de titulación. Al equipo del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE), al Ing. Omar Delgado y al Ing. Edgar Toledo por ser el apoyo y la guía determinante para lograr las metas propuestas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
OBJETIVOS.....	4
General.....	4
Específicos.....	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
HIPÓTESIS.....	5
CAPÍTULO I CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS DE LOS MOVIMIENTOS DE MASA.....	6
1.1 Movimientos de masa.....	6
1.2 Clasificación de los movimientos de masa.....	10
1.3 Riesgo natural y sus características.....	19
1.4 Metodología para la evaluación de susceptibilidad.....	25
CAPÍTULO II CARACTERIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE MASA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.....	47
2.1 Tipificación del deslizamiento.....	47
2.2 Tipificación de sitios de interés.....	48
2.2.1 Carmen del Guzho.....	50

2.2.2 Nulti.....	55
2.2.3 Universidad del Azuay (Gapal).....	59
2.2.4 Sinincay sector Pumayunga .....	63
2.2.5 Vía a Jadán .....	67
2.3 Mapa de inventario .....	71
2.4 Delimitación del deslizamiento con ortofotografía levantada con dron .....	72
2.4.1 Carmen del Guzho.....	73
2.4.2 Universidad del Azuay (Gapal).....	74
2.4.3 Nulti.....	74
2.4.4 Sinincay sector Pumayunga .....	75
2.4.5 Jadán.....	75
2.5 Levantamiento topográfico con dron de los deslizamientos .....	76
2.5.1 Carmen del Guzho.....	78
2.5.2 Nulti.....	79
2.5.3 Universidad de Azuay (Gapal).....	79
2.5.4 Sinicay sector Pumayunga .....	80
2.5.5 Vía a Jadán .....	80
2.6 Levantamiento geológico de los movimientos de masa .....	81
2.6.1 Carmen del Guzho.....	81
2.6.2 Nulti.....	82
2.6.3 Universidad del Azuay (Gapal).....	83
2.6.4 Sinincay sector Pumayunga .....	84
2.6.5 Vía a Jadán .....	85
2.7 Método aplicado de evaluación a la susceptibilidad de los deslizamientos. ....	86
2.7.1 Factores desencadenantes.....	88
2.7.2 Factores detonantes .....	88
2.7.3 Evaluación de la susceptibilidad de un deslizamiento .....	91
2.7.4 Determinación de las variables .....	93
2.8 Aplicación de la metodología identificada en las zonas de estudio.....	107
2.8.1 Mapa de susceptibilidad del cantón Cuenca .....	108

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	109
3.1 Validación de la metodología para la tipificación de los deslizamientos y valoración de la susceptibilidad.....	109
3.2 Resultados obtenidos del método utilizado .....	110
3.2.1 Carmen del Guzho.....	112
3.2.2 Nulti.....	113
3.2.3 Universidad del Azuay (Gapal).....	113
3.2.4 Sinicay sector Pumayunga .....	114
3.2.5 Jadán.....	114
3.3 Discusión .....	115
3.3.1 Identificación de características para tipificar un deslizamiento .....	115
3.3.2 Interpretación de susceptibilidad en deslizamientos estudiados .....	116
CONCLUSIONES.....	117
RECOMENDACIONES .....	120
REFERENCIAS .....	121
ANEXOS.....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Causas de los movimientos del terreno.....	7
Tabla 1-2 Características empleadas en el reconocimiento del movimiento del terreno .	9
Tabla 1-3 Cuantificación de la susceptibilidad de la litología .....	29
Tabla 1-4 Susceptibilidad a la pendiente del terreno.....	42
Tabla 1-5 Factores que influyen en el grado de susceptibilidad.....	43
Tabla 2-1 Tipificación Carmen del Guzho .....	54
Tabla 2-2 Tipificación Nulti .....	58
Tabla 2-3 Tipificación Universidad del Azuay (Gapal) .....	62
Tabla 2-4 Tipificación Sinincay sector Pumayunga.....	66
Tabla 2-5 Tipificación Vía a Jadán.....	70
Tabla 2-6 Susceptibilidad con base en morfología.....	87
Tabla 2-7 Susceptibilidad criterios .....	88
Tabla 2-8 Características que pueden indicar un deslizamiento.....	91
Tabla 2-9 Pendientes Ayala y Olcina (2002).....	95
Tabla 2-10 Pendientes .....	96
Tabla 2-11 Pendientes .....	96
Tabla 2-12 Susceptibilidad pendientes .....	96
Tabla 2-13 Susceptibilidad a la litología .....	98
Tabla 2-14 Susceptibilidad de la litología .....	98
Tabla 2-15 Susceptibilidad de la cobertura .....	100
Tabla 2-16 Susceptibilidad cobertura del suelo.....	101
Tabla 2-17 Susceptibilidad textura .....	103
Tabla 2-18 Susceptibilidad textura .....	103

Tabla 2-19 Susceptibilidad de la textura .....	103
Tabla 2-20 Variables de la susceptibilidad.....	106
Tabla 2-21 Jerarquía de las variables .....	106
Tabla 2-22 Peso de las variables.....	107
Tabla 3-1 Porcentaje de susceptibilidad, Carmen del Guzho.....	118
Tabla 3-2 Porcentaje de susceptibilidad, UDA (Gapal) .....	118
Tabla 3-3 Porcentaje de susceptibilidad, Nulti.....	118
Tabla 3-4 Porcentaje de susceptibilidad, Sinincay .....	119
Tabla 3-5 Porcentaje de susceptibilidad. Jadán .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes de un deslizamiento .....	9
Figura 1.2 Caídas .....	11
Figura 1.3 Deslizamiento Rotacional .....	13
Figura 1.4 Deslizamiento traslacional .....	15
Figura 1.5 Desplazamiento lateral .....	16
Figura 1.6 Reptación .....	17
Figura 1.7 Corrientes .....	18
Figura 1.8 Movimientos complejos .....	19
Figura 2.1 Sitios de interés en la ciudad de Cuenca. ....	48
Figura 2.2 Carmen del Guzho. Cabecera del deslizamiento.....	51
Figura 2.3 Carmen del Guzho. Bermas en el talud.....	51
Figura 2.4 Carmen del Guzho. Sistema de drenaje en talud.....	52
Figura 2.5 Carmen del Guzho. Flanco derecho .....	52
Figura 2.6 Carmen del Guzho. Talud y berma superior .....	53
Figura 2.7 Carmen del Guzho. taludes y bermas.....	53
Figura 2.8 Perfil A-A` Carmen del Guzho .....	54
Figura 2.9 Perfil B-B` Carmen del Guzho.....	55
Figura 2.10 Nulti. Corte perpendicular en corona .....	56
Figura 2.11 Nulti. Grieta de corona .....	56
Figura 2.12 Nulti. Corona del deslizamiento.....	57
Figura 2.13 Nulti. Movimiento de material con escarpes en dirección de la corona .....	57
Figura 2.14 Nulti. Escarpes en el cuerpo del deslizamiento.....	57

Figura 2.15 Nulti. Límite izquierdo.....	58
Figura 2.16 Perfil A-A` Nulti .....	59
Figura 2.17 Perfil B-B` Nulti.....	59
Figura 2.18 Universidad del Azuay (Gapal). Abultamiento de aceras .....	60
Figura 2.19 Universidad del Azuay (Gapal). Inclinación del terreno. ....	61
Figura 2.20 Universidad del Azuay (Gapal). Separación de paredes movimiento hacia abajo. ....	61
Figura 2.21 Universidad del Azuay (Gapal). Fracturas en estructuras.....	61
Figura 2.22 Universidad del Azuay (Gapal). Fracturas y grietas en estructuras. ....	62
Figura 2.23 Universidad del Azuay (Gapal). Fisuras en edificio. ....	62
Figura 2.24 Perfil A-A` Universidad del Azuay (Gapal) .....	63
Figura 2.25 Perfil B-B` Universidad del Azuay (Gapal).....	63
Figura 2.26 Pumayunga. Corte vertical en la corona .....	64
Figura 2.27 Pumayunga. material movilizado desde la corona hacia abajo.....	64
Figura 2.28 Pumayunga. Dirección material .....	65
Figura 2.29 Pumayunga. Cortes en límites del deslizamiento.....	65
Figura 2.30 Pumayunga. Cortes verticales en límites .....	65
Figura 2.31 Pumayunga. Material deslizado desde la corona .....	66
Figura 2.32 Perfil A-A´ Sinicay sector Pumayunga.....	67
Figura 2.33 Perfil B-B` Sinincay sector Pumayunga .....	67
Figura 2.34 Jadán Escarpe principal.....	68
Figura 2.35 Jadán Zona de corona.....	68
Figura 2.36 Jadán hundimiento y desplazamiento en la vía .....	68
Figura 2.37 Jadán fisura en escarpe.....	69
Figura 2.38 Jadán Grietas en el material del cuerpo.....	69
Figura 2.39 Jadán material deslizado hacia abajo .....	69

Figura 2.40 Jadán grietas en el cuerpo .....	70
Figura 2.41 Perfil A-A` Jadán .....	71
Figura 2.42 Perfil B-B` Jadán.....	71
Figura 2.43 Mapa de inventario escala 1:450000.....	72
Figura 2.44 Ortofoto Carmen del Guzho.....	73
Figura 2.45 Ortofoto Universidad del Azuay (Gapal).....	74
Figura 2.46 Ortofoto Nulti.....	74
Figura 2.47 Ortofoto Sinincay sector Pumayunga .....	75
Figura 2.48 Jadán.....	75
Figura 2.49 Vuelo de dron en Sinicay sector Pumayunga.....	77
Figura 2.50 Vuelo dron en Carmen del Guzho .....	77
Figura 2.51 Levantamiento topográfico Carmen del Guzho .....	78
Figura 2.52 Levantamiento topográfico Nulti .....	79
Figura 2.53 Levantamiento topográfico Universidad del Azuay (Gapal) .....	79
Figura 2.54 Levantamiento topográfico Sinincay sector Pumayunga.....	80
Figura 2.55 Levantamiento topográfico Vía a Jadán.....	80
Figura 2.56 Geología Carmen del Guzho.....	81
Figura 2.57 Geología Nulti.....	82
Figura 2.58 Geología Universidad del Azuay (Gapal) .....	83
Figura 2.59 Geología Sinincay sector Pumayunga.....	84
Figura 2.60 Geología Vía a Jadán .....	85
Figura 2.61 Modelo digital del terreno cantón Cuenca .....	95
Figura 2.62 Modelo de pendientes cantón Cuenca.....	97
Figura 2.63 Litología cantón Cuenca .....	99
Figura 2.64 Cobertura del suelo cantón Cuenca.....	102

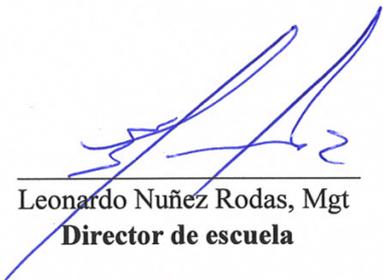
Figura 2.65 Textura cantón Cuenca.....	104
Figura 2.66 Susceptibilidad cantón Cuenca .....	108
Figura 3.1 Susceptibilidad Carmen del Guzho .....	112
Figura 3.2 Susceptibilidad Nulti.....	113
Figura 3.3 Susceptibilidad Universidad del Azuay (Gapal) .....	113
Figura 3.5 Susceptibilidad Sinincay sector Pumayunga.....	114
Figura 3.5 Susceptibilidad Jadán.....	114

**TIPIFICAR LOS DESLIZAMIENTOS Y VALORAR LA SUSCEPTIBILIDAD  
EN SECTORES: CARMEN DEL GUZHO, NULTI, UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY (GAPAL), SININCAY SECTOR PUMAYUNGA Y JADÁN DEL  
CANTÓN CUENCA.**

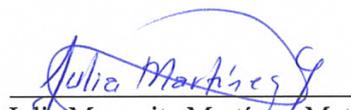
**RESUMEN**

Los movimientos de masa durante su periodo de actividad causan daños sobre el territorio, la infraestructura y en ocasiones sobre la salud de las personas. El presente trabajo de tesis aplica la tipificación y el análisis de la susceptibilidad de los movimientos de masa. Se basa en diferentes alternativas reconocidas internacionalmente, que han sido ajustadas a la realidad técnica y tecnológica local en los sitios de interés: Carmen del Guzho, Nulti, Universidad del Azuay (Gapal), Sinincay sector Pumayunga y Jadán en el cantón Cuenca.

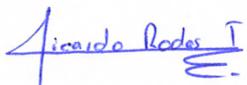
**Palabras clave:** Movimientos de masa, tipificación, susceptibilidad, deslizamientos, mapa.



Leonardo Nuñez Rodas, Mgt  
**Director de escuela**



Julia Margarita Martínez, Mgt  
**Directora de tesis**



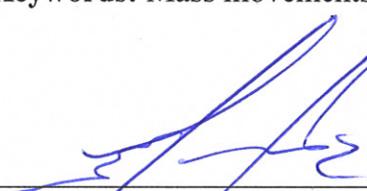
Ricardo Adolfo Rodas Toral  
**Autor**

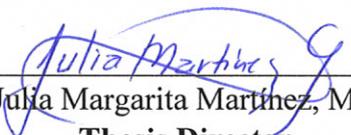
**TIPIFICATION OF LANDSLIDES AND ASSESSMENT OF  
SUSCEPTIBILITY IN CARMEN DEL GUZHO, NULTI, UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY (GAPAL), PUMAYUNGA (SININCAY) AND JADÁN SECTORS OF  
CUENCA.**

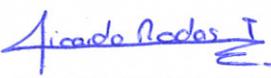
**ABSTRACT**

Mass movements cause damage to the territory, infrastructure and sometimes to the health of people during their activity. This thesis applied the typification and analysis of the susceptibility of mass movements based on different internationally recognized alternatives. Such alternatives were adjusted to the technical and technological reality of the sites of interest of Carmen del Guzho, Nulti, University of Azuay (Gapal), Pumayunga (Sinincay) and Jadán from Cuenca.

**Keywords:** Mass movements, typification, susceptibility, landslides, map.

  
Leonardo Nuñez Rodas, Mgt  
**Faculty Director**

  
Julia Margarita Martínez, Mgt  
**Thesis Director**

  
Ricardo Adolfo Rodas Toral  
**Author**



  
Translated by  
Ing. Paúl Arpi

Rodas Toral Ricardo Adolfo

Trabajo de Titulación

Ing. Julia Margarita Martínez Gavilanes

Diciembre, 2018

**TIPIFICAR LOS DESLIZAMIENTOS Y VALORAR LA SUSCEPTIBILIDAD  
EN SECTORES: CARMEN DEL GUZHO, NULTI, UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY (GAPAL), SININCA Y SECTOR PUMAYUNGA Y JADÁN DEL  
CANTÓN CUENCA.**

**INTRODUCCIÓN**

El ser humano y las fuerzas de la naturaleza, mantienen una estrecha relación ya que al igual que la persona, la naturaleza es dinámica, está sujeta a cambios constantes en sus procesos que la vuelve impredecible y generadora de graves consecuencias sobre la vida diaria de las poblaciones. Estos problemas que existen entre la naturaleza y la población mundial, son la puerta para que proyectos de estudio sobre estos procesos que nos afectan se lleven a cabo con el fin de intentar prevenir, medir y planificar, intentando reducir los daños.

A lo largo de su historia el ser humano ha sido vulnerable ante los desastres naturales, debido a características de la naturaleza que la vuelven impredecible y produciendo eventos capaces de causar graves daños, como problemas en la infraestructura, pérdidas económicas e impacto sobre la salud de la población. En la actualidad el mundo se encuentra más informado sobre los eventos naturales, ya sean inundaciones, sequías, deslizamientos, lo que ha incrementado la preocupación de la población, y han propiciado la realización de estudios más detallados sobre la ocurrencia de estos desastres naturales, con el fin de desarrollar una mejor planificación en las ciudades, planes de contingencia, etc. ante posibles eventos.

Como ha demostrado la historia, muchos de los problemas relacionados con desastres naturales son por múltiples causas de origen antrópico, entre las cuales se puede citar, el

aumento de asentamientos en zonas que históricamente han presentado un riesgo, los cambios en las redes de drenaje, desertificación, cambios en el uso del suelo, deforestación, etc. que aceleran y magnifican la ocurrencia de estos fenómenos.

Otras condiciones a considerar son las climáticas, geológicas, litológicas, etc. que dependiendo de sus características vuelven a una región más susceptible a sufrir cierto tipo de evento, un ejemplo es la ciudad de Cuenca, en las épocas donde existe mayor precipitación, sumado a las condiciones de los taludes (Pendientes, materiales sedimentarios y meteorizados, fracturación, etc.), zonas con presencia de fallas geológicas, redes de drenaje, entre otros factores, muestran una predisposición a generar deslizamientos, causando preocupación en la población.

Descritos los problemas principales que presentan los desastres naturales, es necesario entender qué son, y cuáles son las características que lo convierten en un riesgo. Un desastre según la Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres - UNISDR, (2016) es la “Disrupción grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad en cualquier escala debida a fenómenos peligrosos que interaccionan con las condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad, ocasionando uno o más de los siguientes: pérdidas e impactos humanos, materiales, económicos y ambientales.” De acuerdo a esta definición se puede entender que un desastre de carácter natural no es la ocurrencia de fenómenos naturales como huracanes, deslizamientos, terremotos, sino la afección que se puede llegar a generar sobre las comunidades y sobre las personas, sumando a factores detonantes, como una lluvia torrencial prolongada. Ante este tipo de eventos cada comunidad dependiendo de su capacidad de respuesta, acorde a sus condiciones políticas, sociales, económicas, técnicas, permitirán una evaluación y en ciertos casos disminución del riesgo, además de la velocidad de respuesta ante una catástrofe (Ayala y Olcina, 2002), que conlleva a superar un desastre natural, con ayuda externa ya sea local a nivel de país o internacional.

Los desastres naturales como en el caso de los deslizamientos de masa, pueden ocurrir de manera impredecible, y ser localizados, algunos con mayor capacidad de generar daños, dependiendo de las causas. Entonces para cada tipo de desastre la UNISDR, (2016) plantea las siguientes escalas de nivel de ocurrencia dentro del tema de deslizamientos.

- Desastre en pequeña escala: El efecto es sobre comunidades pequeñas y requerirán de la ayuda de fuentes externas, para sobrellevar los impactos.

- Desastre de evolución lenta: Son aquellos que surgen en el transcurso del tiempo y van adquiriendo características que pueden llegar a generar un evento de alto riesgo.

La susceptibilidad tiene como objetivo analizar los diferentes factores que intervienen de manera directa o indirecta sobre el territorio que pueden desencadenar desastres naturales como los fenómenos de movimientos de masa; organiza estos factores y los presenta de manera clara y concisa, a través de un valor que medirá su influencia al momento de suscitarse un evento. De esta manera se puede llegar a tener un mejor entendimiento sobre los procesos asociados a desastres, y generar planes de respuesta o contingencia por parte de organismos nacionales o internacionales.

Entre los problemas que generan los desastres naturales se tienen los relacionados con los movimientos de masa, los cuales han demostrado que por medio de una serie de factores desencadenes ya sean de carácter natural o antrópico, pueden llegar a ser muy destructivos, por lo que, la necesidad de contar con estudios acerca de estos desastres, ha llevado a que muchas ciencias como las de la tierra, aporten conocimientos sobre los procesos que están ocurriendo en el territorio y, con el apoyo de la tecnología como son los sistemas de información geográfica, contribuyen en la identificación de posibles amenazas.

Existen varias definiciones de movimientos de masa. Sharpe en 1938, lo define como “un movimiento perceptible ladera debajo de masa relativamente seca de tierra, roca o de una mezcla de ambas, a través de un mecanismo de deslizamiento o desprendimiento”. Ayala en el año 2000 y Varnes en 1978, los define como un “movimiento hacia abajo de los materiales que conforman una ladera ya sean naturales o artificiales”. Otros conceptos sobre los movimientos de masa (landslide), indican que son fenómenos, en los cuales una porción de material, ya sea tierra, rocas, escombros, etc., se mueven ladera abajo por acción de la gravedad y a partir de una superficie de cizalla o ruptura.

El presente trabajo aborda la temática relacionada con desastres naturales, riesgo, susceptibilidad y los fenómenos de movimientos de masa, a nivel general, para luego particularizar al conocimiento de los procesos que se están generando en ciertas zonas del cantón Cuenca.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los deslizamientos de tierra, constituyen un grave problema para las comunidades afectadas, ya que generan daños a la infraestructura, obstrucciones en las vías de conexión, pérdida de cultivos, e inclusive, daño a la salud de los habitantes.

La ciudad de Cuenca al encontrarse situada en el valle glaciar de la Cordillera de los Andes, sobre las formaciones geológicas Turi, Mangán, Yunguilla, con la presencia de materiales sedimentarios, conformados por materiales poco consolidados y propensos a rupturas. Además la ciudad tiene una morfología muy variada, con la presencia de laderas y taludes con pendientes suaves a moderadas, y con relación al clima, cuenta con temporadas de lluvias, que son detonadores de eventos catastróficos como los movimientos de masa.

Por lo que constituye una necesidad conocer a detalle estos procesos, por medio de su caracterización, ya que si se conoce el tipo de movimiento que se presenta, las estrategias de control, prevención y de contingencia pueden ser más efectivas. Otro factor que se suma al análisis es el de susceptibilidad, a través del cual se pueden establecer las condiciones que pueden desencadenar un proceso y a su vez conocer que tan propenso se encuentra un territorio a desencadenar un movimiento.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Caracterizar, tipificar y evaluar la susceptibilidad de los deslizamientos en los sectores Carmen del Guzho, Nulti, Universidad del Azuay (Gapal), Sinincay sector Pumayunga y Jadán, pertenecientes al cantón Cuenca.

### **Específicos**

- Identificar y caracterizar los deslizamientos de masa en las zonas de estudio.
- Evaluar la susceptibilidad de los deslizamientos, conforme a los recursos técnicos disponibles.
- Validar la metodología.
- Aplicar la metodología a las zonas mineras de Sinincay sector Pumayunga y Jadán.

## **JUSTIFICACIÓN**

Al no contar con información actualizada sobre los procesos de movimientos de masas y la valoración de su susceptibilidad en los sectores de Carmen del Guzho, Universidad del Azuay (Gapal), Nulti, Sinicay sector Pumayunga y Jadán, y siendo de vital importancia conocer el proceso que generan estos eventos por encontrarse en zonas de expansión urbana y productiva, como también en zonas de actividad minera, es necesario investigar acerca de esta problemática que afecta a la población, infraestructura y ambiente.

Lo que se pretende con el presente trabajo, es definir un conjunto de métodos sobre la base de la recopilación de datos en campo y procesamiento de información que incorporados a la realidad técnica como tecnológica, permitan conocer las características y condiciones que dominan estos procesos en relación a su ocurrencia; por lo que se plantea el estudio: Tipificar los deslizamientos y valorar la susceptibilidad en sectores: Carmen del Guzho, Nulti, Universidad del Azuay (Gapal), Sinincay sector Pumayunga y Jadán del cantón Cuenca

## **HIPÓTESIS**

La tipificación de un evento permite caracterizar y describir las condiciones de ocurrencia de un movimiento de masas, información con la que se podrá evaluar en otros espacios geográficos la similitud de estas condiciones con miras a identificar una posible ocurrencia de estos fenómenos.

Es decir, en combinación de metodologías y protocolos internacionalmente reconocidos y ajustadas a la realidad local se buscará llegar a una caracterización de la susceptibilidad de movimientos en masa de los sitios de estudio: Carmen del Guzho, Nulti, Universidad del Azuay (Gapal), y las zonas mineras de Sinincay sector Pumayunga y Jadán.

# CAPÍTULO I

## CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS DE LOS MOVIMIENTOS DE MASA

### 1.1 Movimientos de masa

Diferentes autores, presentan definiciones sobre los movimientos de masa, con ciertas similitudes. Según Highland y Bobrowsky, (2008), lo definen como: *“Movimiento descendente de suelo, rocas y materiales orgánicos bajo el efecto de la gravedad, y también la forma del terreno que resulta de ese movimiento”*. Varnes en 1978: expresa que es *“Un movimiento hacia abajo y hacia afuera de los materiales que forman una ladera bajo influencia de la gravedad”*. De manera resumida se puede expresar que un derrumbe se percibe como un movimiento o deslizamiento de una masa de material, la cual puede estar cohesionada o semi-cohesionada y tendrá límites definidos.

Los movimientos de masa ocurren usualmente en laderas o taludes ya sean naturales o antrópicos, por medio de la acción de la gravedad y cuando las fuerzas que mantienen su equilibrio se vuelvan menores a las fuerzas motoras, debido a la influencia de factores como saturación de agua, problemas geológicos, etc. Llegando a moverse en una dirección ladera abajo, acarreado todo material del que este compuesto el talud o ladera, como suelo, rocas, cobertura vegetal, etc.

Dentro de estas fuerzas que actúan y producen un movimiento de masa, se tienen dos factores que influyen directamente sobre estas, conocidos como internos y externos (Ayala, 2000).

- Externos: Generan un incremento de la tensión o esfuerzo, los cuales provocan cambios geométricos o de su masa, a causa de erosión, excavaciones antrópicas o vibraciones excesivas.
- Internos: Disminuyen la resistencia de los materiales, usualmente son provocados por fisuras e intemperismo.

Por otro lado, Cruden y Varnes, en 1966, establecen una serie de factores que pueden desencadenar algún tipo de movimiento de masa. Véase en Tabla 1-1.

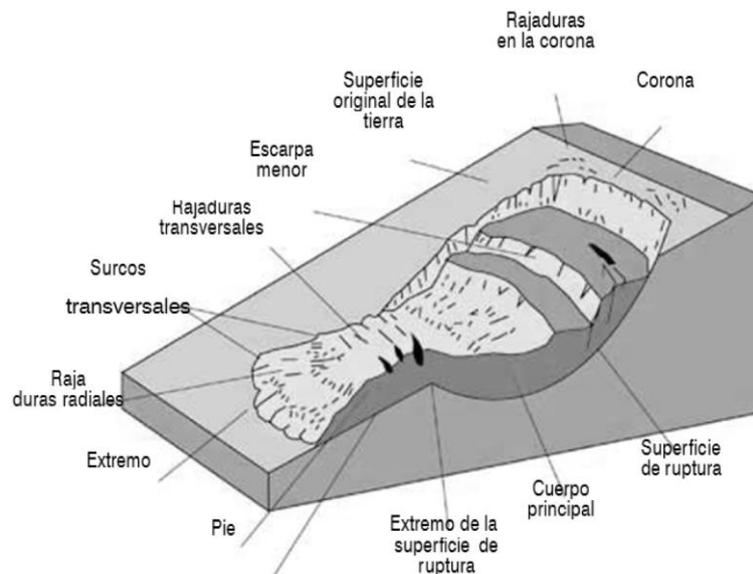
Tabla 1-1 Causas de los movimientos del terreno.

<b>Causas de los movimientos del terreno</b>			
<b>Por procesos físicos</b>	<b>De origen antrópico</b>	<b>De índole geológica</b>	<b>Morfológicas</b>
Precipitación intensa	Excavación de laderas o del pie de las laderas	Materiales débiles	Levantamientos tectónicos o volcánicos
Derretimiento rápido de nieve o hielo	Incremento de peso en las laderas	Materiales sensibles	Erosión glacial
Eventos de precipitación extraordinarios	Disecación de cuerpos de agua (presas)	Materiales intemperizados	Erosión fluvial al pie de las laderas
Actividad sísmica	Irrigación	Materiales sujetos a cizallamiento	Erosión marina al pie de los acantilados
Erupción volcánica	Actividad minera	Materiales con fisuras y diaclasas	Erosión glacial al pie de las laderas
Gelificación		Discontinuidades orientadas adversamente	Erosión en márgenes laterales
Expansión e hidratación de arcillas		Discontinuidades estructurales (fallas, contactos)	Erosión subterránea
		Permeabilidad constante; Materiales con diferente plasticidad.	Remoción de la vegetación (incendios y sequías)

Fuente: Cruden y Varnes (1966).

Previo a entrar en una clasificación de los movimientos de masa es importante conocer las partes que componen estos eventos que condicionan su forma, pudiendo tener una interpretación visual de las características superficiales. Cada tipo de movimiento de masa ya sea un deslizamiento, un fenómeno de reptación, etc. presentará características morfológicas diferentes y no todas poseerán las mismas, pero es necesario tener un entendimiento inicial de las más comunes si se da un evento de remoción de masas, como una introducción a estos rasgos que los definen así entre las más importantes tenemos:

- Corona o cabecera: Parte alta del talud o ladera, en donde se observa el lugar de corte del movimiento, generando el límite de éste, no suele mostrarse afección alguna hacia arriba del talud, a su vez sus bordes suelen presentar agrietamientos o rajaduras.
- Escarpe principal: Es el más visible, ya que en esta parte del deslizamiento se observa la ruptura o la porción de material que cedió. Se encuentra en la base de la corona, y suele mantener una pendiente pronunciada.
- Cuerpo principal: Es la zona en donde se observa la mayor cantidad de masa desplazada, usualmente muestra un abultamiento de material. Se encuentra en la base de escarpe principal y sobre la superficie de ruptura.
- Superficie de ruptura: Esta se encuentra en la cota más baja del cuerpo del material desplazado, por debajo de la superficie original del terreno.
- Flancos (derecho e izquierdo): Son los límites del deslizamiento, presentan estrías generadas por el movimiento de la masa de material desprendida.
- Zona de hundimiento: Se encuentra cercano a la superficie de ruptura, y al igual que ésta, ocupa una cota más baja que la superficie de terreno.
- Pie: Es el lugar de deposición del material, aquí se encuentra el material que se desplazó de la superficie de ruptura hacia abajo.
- Extremo: Es el lugar donde descansa el deslizamiento, y donde se puede observar los rodados que alcanzaron gran distancia en su trayectoria.



**Figura 1.1 Partes de un deslizamiento**

Fuente: Highland y Bobrowsky (2008).

Las causas mecánicas que este tipo de desastres naturales se susciten son muchas, pero entre las más importantes tenemos: 1) La mecánica de fallas de las pendientes, 2) Las propiedades y características de los tipos de fallas 3) Sobrecarga.

Los deslizamientos son procesos complejos, cada tipo mantiene ciertas características que los hacen identificables y por lo tanto catalogables. De igual manera funciona el periodo de actividad o inactividad en el cual se encuentra, esto se logra reconocer por medio de la morfología en superficie que estos presentan. De esta manera Brudsen (1986) y Crozier (1984), presentan una serie de características que determinan si un movimiento de masa se encuentra activo o inactivo. (Tabla 1.2).

**Tabla 1-2 Características empleadas en el reconocimiento del movimiento del terreno**

<b>Depósitos</b>
Crestas transversales en la corona
Crestas longitudinales en el cuerpo
Crestas concéntricas en el pie transversales a lo morfología
Fracturas transversales y radiales en el pie
Valles parcial o totalmente bloqueados
Desplazamiento de materiales.

<b>Movimientos activos</b>
<p>Los escarpes y fracturas tienen ejes abruptos y filosos. No hay presencia de rellenos</p> <p>Las unidades principales muestran fracturas secundarias y crestas de presión</p> <p>Las superficies muestran pulimento y estratificaciones de apariencia fresca</p> <p>Cambios en el drenaje</p> <p>No hay desarrollo de suelo, solamente crecimiento de vegetación</p> <p>Vegetación inclinada</p>
<b>Movimientos inactivos</b>
<p>Escarpes y fracturas intemperizadas, grietas rellenas</p> <p>Inexistencia de movimientos secundarios de crestas de presión</p> <p>Superficies intemperizadas y cubiertas de vegetación</p> <p>Drenaje integrado, con patrón irregular y depresiones sin relleno</p> <p>Buen desarrollo de la cubierta de suelo, ya sea por vegetación natural o cultivada</p> <p>Dificultad para distinguir límites y texturas a través de fotografías aéreas</p> <p>Nuevo crecimiento de árboles y crecimiento vertical de árboles</p>

Fuente: Brudsen (1986) y Crozier (1984).

## 1.2 Clasificación de los movimientos de masa

La clasificación de este tipo de movimientos de tierra se ve afectada por el entorno en donde se dé el evento (condiciones de vegetación, clima, humedad, agua superficial, nivel freático, litología, estructura, meteorización, etc.) y por las características del material presente en la zona de afección, a su vez es importante conocer que en la clasificación de estos movimientos cada uno deja una señal de identidad, una característica que muestra la mecánica interna del deslizamiento.

### 1.2.1 Caídas

Son movimiento de suelo o roca, en donde el material desciende principalmente por desprendimiento, rebotando o rodando, ésto se da en condiciones donde la pendiente supera los 50 grados y a lo largo de una superficie con deformaciones muy pequeñas en sus grietas de tracción, separando un bloque rocoso de un talud.

La zona donde ocurren estos eventos suelen tener características como:

- Laderas irregulares con material suelto.
- Bloques independientes creados por fracturas.
- Agrietamiento en el talud.

Los mecanismos activadores pueden ser:

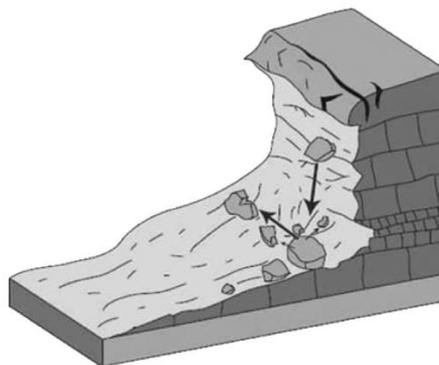
- Gravedad.
- Agua en las grietas.
- Vibración.
- Cambios bruscos de temperatura.

Los tipos de material desprendido varían desde rocas individuales, masas de suelo, hasta grandes bloques, dependiendo de la pendiente, la cual determinará por otro lado la velocidad de movimiento, si esta es mayor a  $76^\circ$  se produce una caída libre, si se encuentra entre los  $76^\circ$  y  $50^\circ$  se produce un impacto contra el talud, o una rodadura.

Al tratarse de porciones de roca o suelo que se desprenden a gran velocidad, el riesgo de daños sobre la salud de las personas aumenta, así como los problemas con la infraestructura debido al fuerte impacto de material en las bases de los taludes.

Los lugares de ocurrencia de este tipo de derrumbos son generalmente paredes, en donde, por su base fluyen ríos y arroyos de pendiente pronunciada o generadas por actividad humana como la construcción de carreteras, taludes artificiales, minería etc.

Con el fin de mantener un control de éstos, se recomienda el uso del inclinómetro, el cual registra los cambios en la inclinación de las laderas, cerca de grietas y regiones de mayor movimiento vertical.



**Figura 1.2 Caídas**  
Highland y Bobrowsky (2008).

## 1.2.2 Deslizamientos

Son movimientos de una masa de tierra o roca, en taludes en los que se han provocado superficies de ruptura y donde existe una deformación de cizalla. Generalmente este tipo de eventos se da en taludes que poseen una pendiente entre los 20 y 40 grados, (Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos – ICOG, 2008), este tipo de movimientos aumentan de volumen desde una zona de falla local.

Los deslizamientos se dividen en tres grandes grupos de características propias, por lo cual, su estudio puede ayudar a adoptar medidas de mitigación y control del riesgo.

### 1.2.2.1 Deslizamiento rotacional

Este tipo de deslizamientos se los reconoce por la forma en la que se da su ruptura, la cual es curvilínea y cóncava, es decir, es una curva hacia arriba, y su giro se da por la rotación en un eje que es paralelo al contorno de la ladera y se encuentra situado por encima del centro de gravedad de la masa, con una inclinación entre 20 y 40 grados (Highland y Bobrowsky, 2008).

En muchas ocasiones el deslizamiento se mueve como una masa relativamente cohesionada de izquierda a derecha con poca deformación interna, es decir, como un solo cuerpo en el cual no se generan cambios mayores durante su deslizamiento, (Highland y Bobrowsky, 2008).

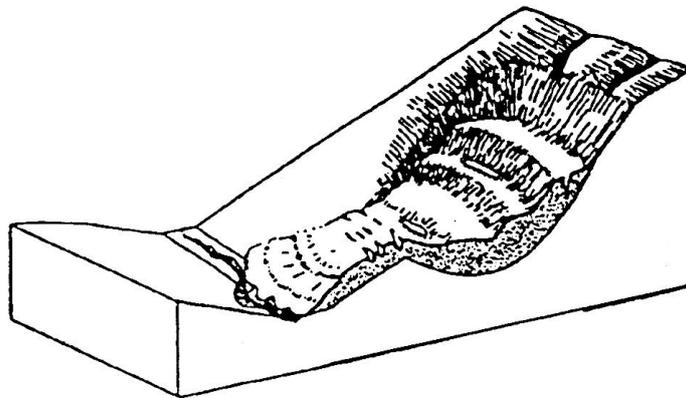
El material de cabecera del talud se mueve verticalmente hacia abajo presentando un corte con una pendiente fuerte, mientras que el material superior se ve desplazado o inclinado hacia atrás, elevándolo en dirección de la cabecera del talud, generando hundimientos; los cuales serán acumuladores de agua, lo que podría ocasionar que en un determinado momento se dé una reactivación del deslizamiento. Este tipo de evento es muy común en materiales homogéneos, con una misma composición y propiedades en todas sus partes (*ejemplo: rellenos de origen antrópico*), o también en macizos rocosos intensamente fracturados, llegando a producir velocidades de desplazamiento muy lentas (1.6m/año) y moderadas (13m/mes) dependiendo de la influencia de factores como: (ICOG , 2008).

- Grietas de tracción.
- Lluvias intensas.
- Aumento de los niveles de agua subterránea por mal drenaje.

- Encharcamientos.
- Erosión en la base de las laderas.
- Movimientos bruscos de la tierra (terremotos).

De esta manera la estabilización completa es prácticamente imposible debido a la gran cantidad de material que se moviliza, pero es controlable si se toman las medidas necesarias y en el tiempo correcto, entre unas de estas medidas tenemos: Mejorar el drenaje, evitando la acumulación de agua, mejorar las pendientes haciéndolas menos susceptibles a efectos de la gravedad, construcción de muros de contención, etc.

Al ser movimientos relativamente lentos de masa, no se les considera potencialmente mortales, pero no quiere decir que no generen daños, al ser grandes masas las que se mueven con el tiempo las estructuras (edificaciones, obras civiles, etc.) que se encuentren en la zona de influencia directa y alrededores pueden verse gravemente afectadas, llevando a grandes pérdidas económicas.



**Figura 1.3 Deslizamiento Rotacional**

Fuente: CERIG (2001).

### 1.2.2.2 Deslizamiento de traslación

Este tipo de movimiento es el más común en la superficie terrestre, se distingue porque la masa de suelo o roca puede moverse de dos maneras diferentes: hacia afuera o hacia abajo y hacia afuera, por una superficie de ruptura plana, y; a diferencia del rotacional, éste no se inclinará hacia atrás, sino que se moverá en la dirección de la ladera a una

misma velocidad, dependiendo de la pendiente de la superficie ruptura la cual cuando es uniforme, estos pueden alcanzar largas distancias, llegando en ciertas circunstancias a romperse, generando un flujo de material o corriente de escombros. La velocidad desempeña un papel importante debido a que mayor velocidad las condiciones de este cambian y su riesgo de causar daños aumenta. Este tipo de eventos pueden presentar diferentes velocidades desde lentas (1.6m/año), provocando daños leves a estructuras, hasta rápidas (1.8 m/hora) o muy rápidas (3m/min), pudiendo provocar daños a la salud de las personas. (Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos, 2008).

Este tipo de evento se desencadena en discontinuidades geológicas tales como fallas, juntas, o el contacto entre la roca y el suelo, mostrando grietas verticales y paralelas al talud, como en los bloques. Dependiendo del callamiento pueden ocupar espacios pequeños o grandes extensiones de terreno.

Factores que determinan la ocurrencia y severidad del evento:

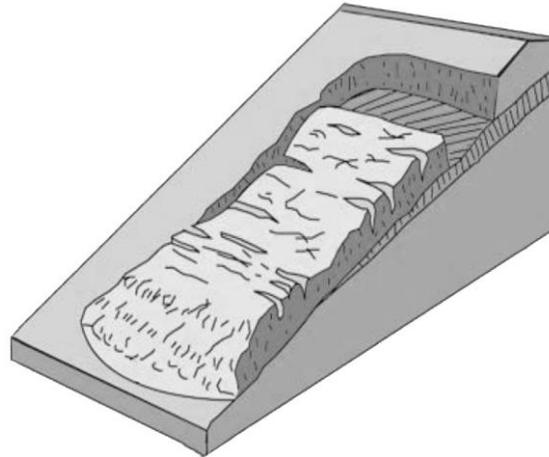
- Lluvias intensas.
- Aumento de los niveles de agua subterránea.
- Encharcamientos.
- Movimientos bruscos de la tierra (terremotos).

Los deslizamientos por traslación se subdividen en cuatro:

- Planos: El bloque de suelo o roca se mueve sin apenas trocearse, sobre superficies únicas en macizos rocosos.
- En cuña: La superficie de rotura está formada por dos planos que obligan a la masa rocosa contenida a desplazarse según la línea de intersección.
- Corrimientos: Deslizamientos en los que la masa desplazada se trocea en un movimiento descendente y resulta una acumulación caótica de bloques al pie de la ladera, (García Yagüe, 1966).
- Derrubios: Se dan en suelos no cohesivos constituidos por partículas gruesas, (Highland y Bobrowsky 2008), lo define como “*una rotación hacia adelante de una masa de suelo o roca bajo el centro de gravedad de la masa desplazada*”.

Una característica a tomar en cuenta es que, si ya ha ocurrido un deslizamiento, existe la posibilidad de que se vuelva a repetir, lo cual se puede detectar por nuevas grietas en la

cabecera del talud, las medidas de mitigación como manejar un buen drenaje, crear un sistema de terrazas óptimas, implementación de anclajes y colocación de muros de contención, ayudan a controlar el evento, pero al igual que en el rotacional su estabilización permanente es complicada.



**Figura 1. 4 Deslizamiento traslacional**  
Fuente: Highland y Bobrowsky (2008)

### 1.2.2.3 Deslizamientos laterales

Son deslizamientos que se presentan en cuencas sedimentarias en pendientes muy suaves, menores a 10 grados, o en terrenos esencialmente planos, se dan por la aparición de un suelo cohesivo o masas de roca combinado con el hundimiento vertical propio de estos terrenos en roca o material más blando en la capa inferior. El hundimiento es ocasionado usualmente por licuefacción o deformación plástica del material inferior el cual será más blando, (Highland y Bobrowsk, 2008). Dependiendo de cómo se dé el movimiento se presentan diferentes cambios en la morfología como bloques que se extienden, y la ampliación lateral. De esta manera la tierra firme se desliza o se fractura, moviéndose lentamente fuera del suelo estable sin que se muestren fracturas en ciertos casos.

Una característica que se debe tomar en cuenta es que, si la capa inferior es muy gruesa, el suelo de encima podría hundirse en ella, trasladarse, rotar, desintegrarse, licuarse o incluso fluir.

Según (Varnes 1978), estos eventos se dividen en dos grupos:

1. Fracturación del material compacto, por licuefacción del material más blando que se encuentra en una capa inferior, siendo los materiales más comunes, las arcillas, las cuales, a causa de un factor detonante (Lluvia, Sismicidad), se vuelve un líquido denso, moviendo bloques más densos en la capa superior.
2. Los movimientos que se dan, afectan a todo el bloque logrando que no sean visibles zonas de corte, o que estén bien definidas. Ocurre cuando una capa de arcillas húmedas y reblandecidas, se moldean y se aplanan lateralmente, provocando que la fracturación de la capa superior se divida en bloques que se hundan en la capa inferior.

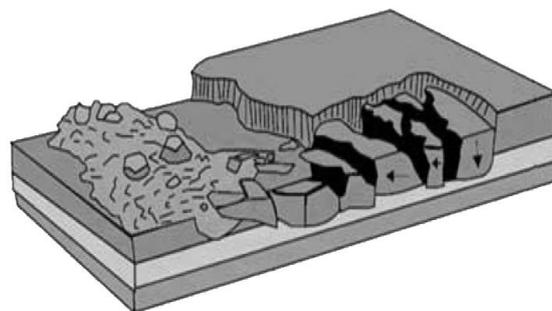
Este tipo de movimientos podemos encontrarlos en todas partes del mundo, donde exista una arcilla licuable, generalmente el movimiento es lento (1.6m/año) a moderado (13m/mes), mostrando al principio ciertos agrietamientos, pero puede llegar un momento en el que se propague muy rápidamente y logre ocupar grandes extensiones de terreno, (ICOG, 2008).

Existen ciertos factores que desencadenan este tipo de eventos como son:

- Licuefacción.
- Sobrecarga.
- Saturación de la capa inferior.

Deformación plástica.

Al tratarse de suelos muy sensibles a la licuefacción o deformación, lo recomendable es evitar cualquier tipo de obra civil o ingenieril, pero se puede minimizar el movimiento creando buenos sistemas de drenaje que ayuden a mantener la capa inferior seca.



**Figura 1.5 Desplazamiento lateral**  
Fuente: Highland y Bobrowsky (2008)

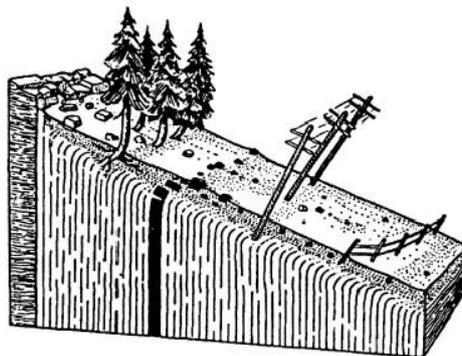
### 1.2.3 Reptación

Este es un movimiento de delgadas capas de suelo, por efecto de la gravedad con la ayuda de ciclos de hielo-deshielo o humectación-desección, generalmente es muy lento siendo muchas de las veces imposible de visualizarlo, por lo que no muestra superficies de corte, e inclusive la vegetación puede crecer mientras se estén dando estos eventos.

Las señales que presenta este tipo de evento, pueden hacerse visibles en periodos largos de tiempo.

Estos pueden darse de tres maneras:

- 1) Al helarse el suelo se expande, para contraerse durante la fase de deshielo, generando el desplazamiento según la pendiente de la ladera.
- 2) El desplazamiento es muy lento pero continuos a gran profundidad. Por lo que es importante en la deformación de laderas de alta montaña.
- 3) Se pueden dar movimientos, inicialmente muy lentos, los cuales se irán acelerando, los cuales preceden a la rotura de la ladera. Este tipo de reptación ha sido incluido dentro del grupo de deformaciones previas a la rotura.



**Figura 1.6 Reptación**  
Fuente: CERG (2001)

### 1.2.4 Corrientes

Son movimientos continuos de muy corta duración, sus masas desprendidas están muy próximas entre sí, y por lo general no se conservan, (Suárez, 2009). Las velocidades de la masa que se desplaza se asemejan a las de un líquido viscoso, debido a que

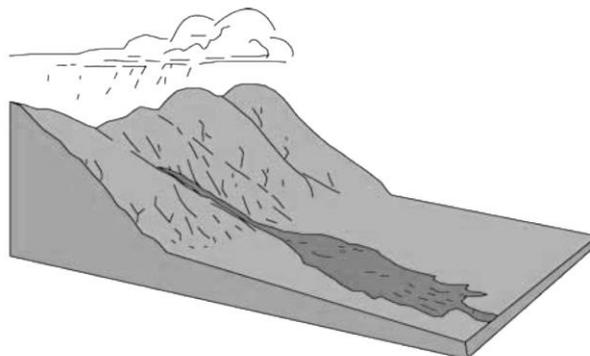
generalmente se encuentran en presencia de mucha agua (factor determinante que establece si es un derrumbe o una corriente), materia orgánica, hielo, etc. (Highland y Bobrowsky, 2008). Estos se producen en lugares donde existen acantilados, barrancos o taludes con pendientes muy pronunciadas mayores a 25 grados, en donde la cobertura vegetal ha sido prácticamente eliminada y solo ha quedado el horizonte A.

Presentan sedimentos y escombros en gran cantidad, y suelen estar muy delimitados a una zona específica la cual es larga y estrecha. Se debe recalcar que este tipo de movimientos de masa a diferencia de los anteriores suelen ser muy superficiales, depositando todo el material en las bases del talud, formando un abanico de escombros.

Debido a que son originados por precipitaciones extremadamente fuertes o prolongadas, la velocidad a la que ocurre es extremadamente elevada (5m/s), y el riesgo se vuelve muy alto, debido a que pueden arrastran grandes bloques de roca, árboles, etc., así mismo, por su inicio repentino y rápido no puede darse mayor respuesta ante el evento por lo que las medidas de prevención se vuelven más complicadas, sin embargo alejando los flujos de agua superficial de las estructuras por medio de la desviación, construyendo cuencas de arrastre para contener la corriente, y generando planes de evacuación en zonas propensas a este tipo de desastres, se podrían contribuir a salvar vidas, (Highland y Bobrowsky 2008).

Estos eventos pueden ser de diferentes tipos dependiendo del lugar donde se encuentren:

- Lahares volcánicos.
- Avalanchas.
- Corrientes de tierra.
- Corrientes de permafrost.



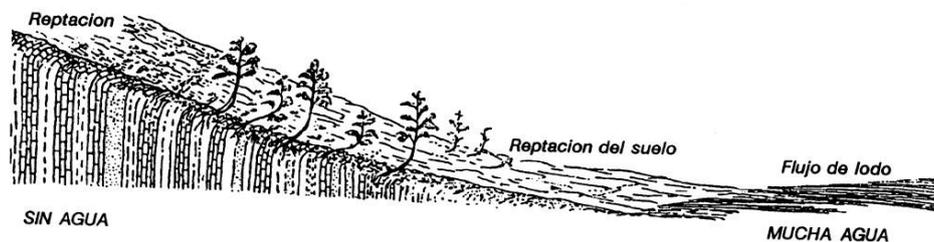
**Figura 1.7 Corrientes**

Fuente: Highland Bobrowsky (2008).

### 1.2.5 Movimientos complejos

Dentro de la ocurrencia de movimientos de masa los efectos de los factores expuestos en la Tabla 1 pueden ser variados ya que la actividad de un tipo de fenómeno de remoción de masas está ligado a ciertos factores ya sean físicos, antrópicos, geológicos, etc., pero una vez producido el fenómeno otros factores pueden intervenir en la masa de terreno previamente desplazado, generando de esta forma que otro tipo de movimiento se produzca, a este tipo de eventos se los conoce como movimientos complejos, los cuales son el resultante de la combinación de dos o más tipos de movimientos de masa.

Uno de los eventos naturales de este tipo y que se presenta con mayor frecuencia es el originado, a partir de un deslizamiento traslacional o rotacional, en el cual, la masa que se encuentra desplazada por efectos de una fuerte acumulación de agua y pendientes más fuertes se convierte en flujo, llevando ladera abajo gran cantidad de materiales. Por lo que una de sus características principales supone que los movimientos complejos suelen ocupar grandes extensiones de terreno, incluso ocupando laderas enteras.



**Figura 1.8 Movimientos complejos**

Fuente: CERG (2001).

### 1.3 Riesgo natural y sus características

El riesgo natural, se concibe como la pérdida esperada debido a la acción de un peligro natural (Ayala F., 2007), por otra parte, se puede entender como las afecciones al medio físico y al ser humano que se dan en un territorio en cada momento histórico, o la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de carácter extraordinario, (Ayala y Olcina, 2002). Las Naciones Unidas hablan de un "grado de pérdida previsto debido a un fenómeno natural

determinado en función tanto del peligro natural como de la vulnerabilidad" (Naciones Unidas, 1984: 1, en Scielo, 2000).

La naturaleza es sumamente variable en sus procesos, todos y cada uno de sus eventos suelen presentarse de forma inesperada. Ante lo cual el ser humano, sus comunidades, ciudades, países, continentes, ha buscado formas de analizar el entorno natural su comportamiento y cómo influye dentro de las actividades cotidianas de cada individuo.

La naturaleza y el hombre interactúan constantemente, todas las actividades que se realizan están sujetas por los fenómenos naturales, y en algún momento estos procesos llegan a causar desajustes entre la naturaleza y la humanidad, que, dependiendo del grado, se tornan en catástrofes, (Ayala y Olcina, 2002). Estos desajustes o desequilibrios de relación humano-naturaleza, son parte de lo que se conoce como riesgos naturales, y durante mucho tiempo se han estudiado todos los factores asociados, la población que en un determinado momento es afectada por este desequilibrio que se torna en problema, debido a que un determinado evento se ha suscitado de la peor manera posible.

Antiguamente en una civilización, o comunidad, la ocurrencia de una catástrofe y la presencia de un riesgo natural, solía ser atribuida a un castigo de una deidad propia de la mitología, por lo que durante mucho tiempo el estudio de los desastres naturales se mantenía de manera reservada y muy superficial, basándose en el hecho de que, al ser un acto divino, las causas debían ser ocultadas o no se percibían de manera correcta. Es así que durante el siglo XX se empieza a mostrar interés sobre los riesgos naturales y ya se desarrollan estudios científicos, que van desde la catástrofe en sí, sus secuelas, al riesgo y los procesos que la rigen.

Así, la historia ha mostrado el poder que posee la naturaleza y cómo ha afectado al ser humano desde sus albores, por lo que la prevención y mitigación se ha convertido en objetivos a cumplir y se los intenta lograr por medio de medidas entre las que se tienen: (Ayala y Olcina, 2002).

- La percepción del riesgo.
- Comportamientos del medio.
- Delimitación de vulnerabilidad física.
- Determinar el grado de acción de un evento.

Las pérdidas económicas, el grado de afección sobre la salud de los individuos, las secuelas sociales que acompañan la ocurrencia de una catástrofe natural, es el motivo primordial por el cual la ONU (Organización de las Naciones Unidas), declara el período comprendido entre 1990 y el 2000, como la década para la reducción de desastres naturales (Ayala, 2007). Promoviendo que nuevos estudios técnicos se lleven a cabo y ocupando un lugar más relevante dentro la sociedad.

Los riesgos naturales, se inician a partir de cualquier evento de carácter natural como lluvias intensas, erupciones volcánicas, terremotos, sequías, entre otros; que dependiendo del grado de severidad, influyen en mayor o menor intensidad en el territorio, considerándose como el escenario donde un riesgo natural se convierte en un desastre; por ende es necesario precisar, matizar, jerarquizar la posibilidad de que en un determinado lugar geográfico se suscite un evento, (Ayala y Olcina, 2002). Es de recalcar que el riesgo natural a más de depender de las condiciones cambiantes de la naturaleza, también es influido por la acción del ser humano, la sobreexplotación del territorio, la inadecuada ubicación de actividades o asentamientos en sitios susceptibles geográfica y topográficamente, y en donde son cambiadas sus condiciones físicas, acrecientan el riesgo y aceleran la ocurrencia de un desastre natural.

Las sociedades dependiendo de su nivel socioeconómico poseen una diferente percepción del riesgo, y mantiene variadas estrategias para afrontar un evento o disminuir la ocurrencia. Por ejemplo, en lugares donde se posee un nivel económico alto, al tener mejores posibilidades y conocimiento, se asume que existe una menor probabilidad de que se produzca un evento catastrófico, sin tomar en cuenta que el progreso irrespete las leyes de la naturaleza y sus procesos, y con el tiempo pueden llegar a causar graves problemas. En tanto que las sociedades con menores posibilidades económicas no poseen muchas de las veces medidas preventivas o de mitigación ante cualquier eventualidad, provocando que el riesgo aumente por la falta de capacidad de respuesta ante un posible evento. En estos lugares se tiene un poco más de respeto hacia la naturaleza, y consideración a sus leyes, pero como se mencionó anteriormente el nivel económico y de conocimiento al ser limitado, aumenta la probabilidad de asentamientos en lugares sensibles y sin ninguna medida técnica, como por ejemplo terrenos donde existe una susceptibilidad y peligrosidad media o alta ante un evento natural. Sumando estas características se puede llegar a la conclusión de que la percepción del riesgo naturales

está basado en el nivel socio económico, geográfico y cultural, debido a las diferentes condiciones de vida que se den en un determinado lugar, (Ayala y Olcina, 2002).

La evaluación del riesgo se refiere a la cuantificación del mismo, para ello es necesario determinar la probabilidad y consecuencias de la ocurrencia de un evento "X". (Rojas y Reyes, 2011), tomando en cuenta que se refiere a un método de estudio multidisciplinar, abarca ciertas ciencias que trabajarán en conjunto, con mayor o menor peso sobre el análisis, pero siempre aportado conocimiento y veracidad al riesgo estudiado, se detallan a continuación algunas de ellas:

- Geografía
- Ecología
- Geología
- Física
- Química
- Ciencias ingenieriles
- Tecnología
- Ciencias de la tierra
- Sociología

El estudio de riesgos naturales es una ciencia que, abarca tres ámbitos o enfoques direccionados a la relación con el ser humano, los cuales dependiendo a que elemento el riesgo natural afecte, y basándose en que el ser humano se va a ver afectado, tendrá un peso o relevancia. Según Ayala y Olcina (2002), son los siguientes:

- Enfoque naturaleza: Estudia como un cambio extraordinario de la naturaleza, producto de un evento grave o catastrófico, afecta al ser humano, basándose en que el ser humano desenvuelve sus actividades en este medio.
- Enfoque social: En esta parte se analiza al ser humano, y cómo éste reacciona ante cualquier desastre o peligro natural, es decir, cómo los individuos de cierto lugar geográfico aceptan un peligro de un evento natural con consecuencias extraordinarias.
- Enfoque territorial: Analiza al ser humano y su sensibilidad ante factores como el crecimiento rápido de la población, lo cual genera que se den asentamientos en lugares geográficos de alta peligrosidad, a su vez ningún paisaje ya sea urbano o natural, se escapa a los efectos de un desastre natural (Ayala y Olcina, 2002).

Entonces se analiza como el ser humano actúa sobre los lugares que presentan riesgos naturales extremos en el territorio.

### 1.3.1 Clasificación de los riesgos naturales

El riesgo natural, es un conjunto de eventos que determinarán la severidad que un desastre natural es capaz de alcanzaren un lugar geográfico y causar daños en la naturaleza, al ser humano, y la infraestructura, ante lo cual, la correcta clasificación de los fenómenos o eventos se vuelve una necesidad, con el fin de mantener conocimiento concreto sobre el tipo de nivel de peligro de un determinado fenómeno.

### 1.3.2 Criterios para la clasificación de riesgos naturales

Son siete los factores que miden el peligro y que se observan durante o después de un evento natural, éstos no estudian únicamente la parte de riesgo natural, sino pueden utilizarse para todo el conjunto de riesgos como los industriales, de tráfico, nucleares, etc.

No es necesario el uso de todos los criterios para el análisis de un peligro, lo más seguro es que uno de éstos responderá al campo de estudio del que se tiene interés, de esta manera, es necesario entender que al ser varios los factores que intervienen en el desarrollo de un evento extraordinario, cada uno puede dividirse en un número muy amplio y/o combinarse entre ellos, debido a que en la naturaleza las fuerzas que actúan, son generadoras de vida o destructoras, son el producto de una serie de eventos los cuales se manifiestan de manera causa-efecto. Ayala y Olcina (2002), los caracteriza de la siguiente manera:

- **Genéticos y tipológicos:** Se relacionan con el ambiente de localización, tomando diferentes génesis, es decir, cómo diferentes factores actúan o son parte del lugar y son desencadenantes de un evento, buscando un campo raíz de estudio que explique el suceso extraordinario. Para los deslizamientos, los criterios genéticos y tipológicos serían: mecanismos de ruptura, geometría de la zona, velocidad, medio geológico-topográfico, etc.
- **El vector de daño:** Se asocia con el medio que trasmite el daño, es decir es la parte o elemento del evento catastrófico que causa cambios notables en el medio asociado al lugar o población afectada.

- **La previsibilidad:** Parte de los estudios que se realizan sobre la ocurrencia de ciertos desastres naturales en el tiempo y territoriales, es decir puede existir lugares propensos a un desastre natural en determinadas épocas del año, así como existen lugares que, por localización territorial y forma, pueden ser propensos a sufrir algún impacto si las condiciones cambian.
- **Radio de acción:** Este comprende el área de afección que puede llegar a sufrir daños a causa de un evento natural, puede manifestarse de algunas formas ya que si se trata de un desastre natural local, su radio de acción se verá asociado a una zona limitada, pero si el alcance provoca que se den cambios en el vector de daño, éste puede magnificar el desastre,.
- **Nivel de actividad:** Como su nombre lo dice es una escala que muestra la actividad de un determinado elemento, es decir, en la condición que se encuentra. Usualmente para deslizamiento la clasificación de actividad se da de la siguiente manera: Activo, latente, estabilizado, inactivo.
- **Duración:** Corresponde al tiempo que el evento natural extraordinario ha actuado sobre el territorio, influyendo a su vez en el daño tanto al área como a sus habitantes, quien lo percibe como un daño patrimonial, que consiste en la pérdida económica o de bienes adquiridos por parte de la víctima o sus familiares.

### 1.3.3 Fase del análisis del riesgo

El riesgo empieza a ser objeto de estudio cuando se conoce que ciertos eventos extraordinarios pueden causar daños, por sensibilidad de la zona o de la población hacia estos. Según Ayala y Olcina, (2002). P64, expresan que “es una disciplina científico-técnica cuyo objetivo es la identificación y análisis de los factores de riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad) con vista a su evaluación y medidas de mitigación”.

Para una correcta identificación y análisis es necesario plantearse pasos o fases para llegar al objetivo propuesto, que, en este caso, es el análisis del riesgo, (Highland y Bobrowsky, 2008), proponen que estas fases sean divididas en 3 con sus respectivas subdivisiones las cuales son presentadas a continuación:

Fase 1: Análisis de factores de riesgo

- Análisis de peligrosidad
- Análisis de exposición
- Análisis de vulnerabilidad

Fase 2: Evaluación del riesgo

- Pérdidas esperables
- Comparación de criterios de admisibilidad

Fase 3: Medidas de mitigación

Por su puesto que dentro de toda contingencia que se pueda presentar, ya sea que afecte a la vida humana, bienes a preservar, bienes económicos o entorno natural, se puede determinar un criterio de admisibilidad, donde por medio de un análisis se puede establecer qué tan manejable es el riesgo, ya sea con o sin medidas de mitigación y dividir el riesgo en criterios de admisibilidad, es decir:

- No asumible
- Aceptable
- Tolerable

#### **1.4 Metodología para la evaluación de susceptibilidad**

La naturaleza es un conjunto cambiante de procesos y características que influyen de manera directa en el desarrollo del ser humano y el resto de organismos vivos en el planeta tierra, esto lo hace ya sea por medio del otorgamiento de los recursos necesarios para mantener la vida, o por el contrario, mostrando su inmenso poder destructivo, capaz de causar en poco tiempo cambios sobre el normal desarrollo de las actividades humanas, así como en la salud de los habitantes, daños a la infraestructura, pérdidas económicas, etc. A estos eventos se los conoce como desastres naturales, dentro de los cuales tenemos las inundaciones, terremotos, huracanes, y los deslizamientos, siendo estos últimos el tema principal del presente estudio.

Previo al análisis de susceptibilidad y riesgo de un deslizamiento es necesario conocer conceptos básicos sobre esta técnica de análisis, a continuación, se enlistan los más importantes:

**Riesgo:** Es la probabilidad de que un evento ocurra y la severidad de los daños que pueda causar, tanto a la vida humana, al ambiente o la infraestructura. Este se lo calcula por medio de la amenaza, vulnerabilidad y elementos en riesgo.

Suarez, (1996), subdivide al riesgo en diferentes niveles:

- Riesgo ambiental: Daños directos e indirectos al medio ambiente.
- Riesgo económico: El costo de las pérdidas económicas, directas e indirectas.
- Riesgo social: Lesiones múltiples o muertes de una sociedad como un todo.

**Amenaza:** Son las causas y la probabilidad que llevan a que se genere un evento con consecuencias indeseables, entonces la amenaza de un movimiento de masa se entiende que el producto de factores como su velocidad y volumen de masa desplazada, etc. y los daños que estos ocasionaron.

**Vulnerabilidad:** Se define como la posibilidad de que se genere un daño, provocando determinadas pérdidas ya sean económicas como humanas, en el caso de los movimientos de masa, esta se mide dentro del área de influencia de estos, y su afección a uno o un conjunto de elementos que se encuentren dentro de este.

**Susceptibilidad:** Se debe entender como susceptibilidad a la probabilidad de que un movimiento de masa pueda suscitarse en un determinado lugar de un territorio, por medio del análisis de las condiciones que lo rigen, pudiendo conocer si podrán o no provocar un deslizamiento de masa, es decir si son o no favorables para la ocurrencia de un fenómeno. Gracias a los sistemas de información geográfica, se pueden generar mapas de susceptibilidad de deslizamientos con el objetivo de conocer el nivel de las diferentes áreas de estudio, estudiando las condiciones que deben cumplirse para que un determinado tipo de deslizamiento se suscite, según Suarez (1996) entre estas condiciones no se deben tomar en cuenta factores detonantes como son la lluvia o un sismo.

**Movimientos de masa:** Son procesos dinámicos de masas de tierra, lodo, productos de la meteorización de suelos, cobertura vegetal, originados por diferentes factores que logran que se genere una desestabilización o pérdida del equilibrio natural de una ladera o talud. Al movilizar porciones de tierra y como se dijo anteriormente al ser proclives a ocasionar graves daños, se convierten en riesgos naturales y el estudio de la susceptibilidad se convierte en un tema necesario para logra un entendimiento más profundo sobre estos procesos con metas de lograr una mejor planificación sobre el desarrollo de las actividades humanas que se den cerca de estos lugares de riesgo.

En las últimas décadas se han desarrollado diferentes métodos para la evaluación de la susceptibilidad, donde las condiciones geológicas y geomorfológicas de los deslizamientos futuros deberían ser similares a las condiciones que condujeron a la inestabilidad de laderas. Por lo tanto, la representación de movimientos pasados y recientes, junto con la identificación y la inclusión de los factores condicionantes o iniciales de inestabilidad de laderas, son las claves en la predicción de futuros deslizamientos.

En cuanto a los términos de peligrosidad y susceptibilidad, diferentes autores señalan que la definición de peligrosidad incorpora los conceptos de localización espacial (¿dónde?), tiempo de recurrencia (¿cuándo?) y magnitud (¿cuánto?) como elementos cruciales en la predicción del comportamiento de futuros deslizamientos, (Highland y Bobrowsky, 2008).

A través del tiempo, ciudades, pueblos, comunidades, han sufrido los estragos que conlleva un movimiento de masa, debido a la capacidad destructiva que puede ser mayor o menor dependiendo del daño que pueda causar, sumando a la falta de conocimiento sobre las características de este, como su forma, velocidad, y probabilidad de ocurrencia, han llevado a que tomar decisiones sobre emplazamiento de obras civiles u obras de carácter ingenieril, debido al costo tanto monetario como de vidas humanas que puede cobrar un movimiento de masa en caso de que éste colapsara.

La susceptibilidad según (Rauld, R; Fock, A; Et al.; 2015), la definen como “Las zonas más favorables para la ocurrencia de un peligro dado, sin tomar en consideración los períodos de retorno.”, mientras que Suárez, 2009, indica que la susceptibilidad “expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno”. En el entorno relacionado al análisis de la susceptibilidad, se han desarrollado métodos en los cuales utilizando diferentes características, tanto del terreno, datos específicos del deslizamiento, factores que activen o reactiven estos procesos y sumado a un análisis técnico, logran un conocimiento más acertado o cercano a la realidad y sobre todo determinan la situación en la que se encuentran estos sitios, otorgándoles un nivel de susceptibilidad ya sea “Alta”, “Media”, “Baja” o “Nula”.

Se debe tomar en cuenta que la susceptibilidad indica la predisposición que puede tener una unidad de suelo o terreno, pero no implica el aspecto temporal del mismo, y a la vez no condiciona una ocurrencia o inestabilidad futura del lugar de estudio.

Gracias a los avances tecnológicos, en el tema de sistemas de información geográfica, se ha logrado que la cartografía de los procesos de movimientos de masa se pueda presentar de una manera más sencilla de entender y mostrando sus características por capas, en las cuales cada una atenderá una característica específica y la superposición de estas logrará generar un mejor entendimiento del proceso a estudiar y otorgarle un cierto nivel de susceptibilidad, de esta manera estos estudios a más de ser de carácter informativo, pueden involucrar cierto nivel de predicción ya que conociendo que en una zona específica, ocurren estos fenómenos implica que pueden seguir ocurriendo (ICOG 2008).

De esta manera se presenta un método destinado al estudio de la susceptibilidad de los deslizamientos, basándose en metodologías expuestas por diferentes autores y ajustándolo a la realidad técnica y tecnológica del cantón Cuenca.

### **1.3.1 Metodología**

Se debe tener como punto de partida que la información que ya ha sido levantada es importante, debido a que complementará el entendimiento de la situación actual y pasada del deslizamiento de masa a ser estudiado.

Dentro de la evaluación de la susceptibilidad se pueden analizar diferentes tipos de áreas para realizar el mapeo de los deslizamientos, según Suárez, 2009; estas áreas podrán ser:

- Áreas inventariadas
  - Áreas en donde se tiene información que ha ocurrido un deslizamiento.
  - Áreas en donde se conoce que se está generando un deslizamiento.
- Áreas en donde se requiera predecir la ocurrencia de un evento de movimientos de masa.

Para la presente metodología de la evaluación de susceptibilidad de los movimientos de masa, se estudia el primer caso, en donde se conocen las áreas que son afectas por un movimiento de tierra, ya que usualmente estos fenómenos son palpables y visibles tanto para técnicos como para grupos de personas que se encuentran cerca de estos y conviven con la constante incertidumbre y miedo del peligro que representan.

Las metodologías usadas y contrastadas para el presente trabajo incluyen la generada por el Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos (2008), Suárez (2009), las que se mantienen en uso dentro del Ecuador como es la desarrollada por la Secretaria de gestión de Riesgos (2017) y el Agencia Espacial del Ecuador (2014).

Otro método que es citado por los autores antes mencionados es el desarrollado por (Mora-Vharson, 1991), a pesar de usar factores como el sísmico, entre otros más complicados al momento de obtener la información, es de mucha ayuda para otorgar un peso a factores denominados intrínsecos, como el relieve y la litología que serán utilizados al momento de realizar el análisis de los sitios de interés.

Mora-Vharson, 1991, sostiene, como los distintos factores poseen una cuantificación o peso dentro del estudio, planteando ponderaciones, las que han sido tomadas en cuenta para la aplicación del método, como por ejemplo la litología donde se muestra un nivel de susceptibilidad que es explicada a continuación.

**Tabla 1-3 Susceptibilidad de los movimientos de masa por el criterio de litología.**

<b>Litología</b>	<b>Cuantificación</b>
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas. Características físicas mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno	Bajo
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas Calizas duras permeables Rocas intrusivas, calizas duras. Características físico mecánicas: resistencia al corte media a elevada	Moderado
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas, niveles freáticos relativamente altos	Medio
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.	Alto
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con los niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos altos	Muy alto

Fuente: Mora-Vharson (1991)

### **1.3.2 Recopilación y revisión de información existente**

La información que se tenga disponible sobre el lugar de interés deberá ser recolectada y organizada. El ICOG , (2008), propone que información debería ser tomada como una referencia para el inicio del estudio, entre los cuales tenemos los siguientes:

- Revisión de mapas disponibles, ya sean geológicos, topográficos, etc.
- Revisión de mapas que puedan tener información sobre procesos antiguos o activos.
- Revisión de mapas que puedan contener información sobre factores detonantes.
- Fotografías aéreas de las zonas propensas a deslizamientos.
- Búsqueda y revisión de informes geológicos, geotécnicos, publicaciones, etc.
- Recabar información sobre eventos que hayan ocurrido en el pasado como pueden ser noticias, encuestas a la población, archivos locales.

Toda la información debe estar correctamente estructurada y catalogada es decir mantener un orden en las capas de información, y un registro de cada dato tomado, con su respectiva hora, fecha y validez, (Suárez, 2009).

### **1.3.3 Inspecciones en campo**

Los deslizamientos de masa al suscitarse en laderas o taludes a excepción de algunos casos, requieren de trabajos en campo para levantamiento de la información en el área afectada. Esta fase se basa en la identificación de las características que posee el terreno, ciertos fenómenos o factores que puedan incidir en el desarrollo del evento, inspecciones visuales de la infraestructura, e información que nos ayude a lograr un mejor entendimiento de los procesos o movimientos.

Esta etapa es considerada como inicial, se parte con una interpretación del fenómeno de inestabilidad, pudiendo ya realizar un primer diagnóstico de las condiciones a las que puede encontrarse sujeto el deslizamiento y tomar futuras decisiones sobre los estudios que complementarán el análisis de susceptibilidad (ICOG, 2008).

Dentro de las inspecciones de campo un punto importante a tomar en cuenta son los trabajos geológicos, los cuales tienen como objetivo lo siguiente:

- Identificación en campo de procesos actuales y antiguos.
- Identificación de características estructurales: Escarpes, grietas, fracturas.
- Identificación de rasgos morfológicos y litológicos.
- Identificación de posibles productos de deslizamiento: Depósitos de material, bloques caídos.
- Inspección de edificaciones y vegetación que puedan presentar rasgos producto de un deslizamiento: Grietas en paredes y losas, trizaduras, postes de alumbrado trizados o virados, árboles doblados, crecimiento no uniforme de la vegetación.
- Inspección de los sistemas de drenaje.

### **1.3.4 Mapa de inventario**

Dentro de las fases previstas para el análisis de susceptibilidad de los movimientos en masa, y con la certeza de que en una determinada zona existen inconvenientes, es necesario un mejor entendimiento sobre los procesos, relacionados con movimientos de tierra, se procede entonces al desarrollo del mapa de inventario.

Los mapas de inventario son una representación espacial de eventos ya sean naturales o antrópicos que afecten o generen cambios en el territorio, estos muestran de manera descriptiva los datos relevantes sobre los movimientos de masa y permiten tener la localización espacial de los procesos o zonas afectadas, así como las características de los mismos (González Vallejo, 2002, tomado de Seller. et al.).

En los mapas de inventario deben constar los siguientes datos:

- Procesos antiguos o activos.
- Extensión de los procesos de movimientos de masa.
- Tipología.
- Rasgos más característicos.
- Topografía.
- Geología
- Red superficial de drenaje.
- Muestreos realizados.

Además de los datos asociados al deslizamiento y al terreno, el mapa de inventario debe representar dentro de su contenido los elementos relacionados con el proceso de

movimiento de masa, es decir los factores o rasgos morfológicos que consisten en el reconocimiento de las formas del terreno, cuyos principales rasgos pueden ser:

- Escarpes.
- Grietas o zanjas en la cabecera
- Grietas o zanjas en los bordes.
- Depósitos producto del movimiento de masas.
- Estrías del suelo en la cabecera o laterales.

Se debe tomar en cuenta que un mapa de inventario siempre debe estar normalizado a una escala específica. El ICOG, (2008), recomienda que la escala no sea menor a 1:10000, a su vez, si el mapa será utilizado con fines de planeamiento territorial por parte de municipios, u otras entidades, indica que las escalas se encuentren entre 1: 2000 y 1:5000.

Previo a la elaboración del mapa de inventario se debe incorporar cada deslizamiento con su respectiva identificación, es decir, deberá estar expuesto el tipo de deslizamiento que se está generando en la zona de interés, a través de la identificación de características propias que cada tipo de movimiento presenta y que diferentes autores han presentado a través del tiempo, entre ellas se puede citar la clasificación según Cruden y Varnes.

Adicionalmente dentro del mapa de inventario, si se tiene certeza acerca de las afecciones que presenta la zona en general y las condiciones en la que se encuentra la zona en relación a peligros naturales, se incorporará una aclaración de que la zona está afectada por deslizamientos, esta afección según (ICOG , 2008) podrá ser de la siguiente forma:

- Zona afectada por deslizamientos generalizados.
- Zona afectada por: Caídos o bloques.
- Zona afectada por: Flujos de material.
- Zona afectada por: Procesos de reptación.
- Zona afectada por: Procesos de licuefacción del suelo.

Durante la elaboración del mapa existen métodos que permitirán representar y mostrar los datos obtenidos y que deben incluir aspectos, sobre los cuales se tenga información. Entre los elementos que se debe realizar en la presentación del mapa se encuentra la leyenda explicativa, la cual deberá ser lo suficientemente concreta para evitar otros documentos o anexos para poder interpretarla (ICOG, 2008) y tendrá las siguientes características:

- Escala del mapa
- Fuentes de información
- Simbología que podrá llevar diferentes colores, números, letras
- Tipo de proceso
- Datos del movimiento de tierra
- Rasgos
- Topografía
- Geología
- Curvas de nivel
- Drenaje superficial
- Sondeos

Según Suárez (2009), una vez obtenidos todos los datos necesarios, el resultado final comprenderá la distribución espacial de los deslizamientos, en formato de mapa con sus respectivas capas que ayudarán al entendimiento del evento.

### **1.3.5 Objetivos del mapa de inventario y de susceptibilidad**

Los mapas han sido herramientas usadas por el ser humano como una representación o modelación de la realidad, por medio del uso de información recolectada y procesada como historia, morfología del terreno, uso del suelo, estadísticas de cambios ambientales, etc. manifestada por medio de la representación visual, logrando mostrar la realidad de la distribución del territorio de manera legible y sencilla para cualquier usuario.

Es importante conocer el objetivo del mapeo espacial, según Maass y Valdez, 2003. “Es generar el modelo que mejor se ajusta a la valoración de los fenómenos ambientales, logrando identificar las problemáticas ambientales e intentar generar modelos que den solución a estas. Por medio de la organización, presentación, comunicación y utilización de la información correlacionando los fenómenos espaciales y el territorio”.

Una vez conocida la generalidad del mapeo espacial, y tomando en cuenta que las elaboración de mapas de susceptibilidad de los deslizamientos requieren de levantamiento de información del terreno o área donde se vea una incidencia de estos procesos, se debe

tomar en cuenta que estos métodos de creación de mapas de inventario tienen como objetivos específicos los siguientes:

- Mostrar los procesos a una escala que permita visualizar sus dimensiones.
- Delimitación del área.
- Mostrar tipología del área.
- Logar una interpretación del evento.
- Mostar cada evento con una determinada importancia.

Para lograr estos objetivos en la elaboración de mapas de inventario y de susceptibilidad, se usan ciertas herramientas las cuales se presentarán de distinta manera durante el desarrollo del estudio, estas técnicas deberán ser sometidas previamente a un análisis sobre todo en cuanto a las condiciones técnicas y económicas destinadas al proyecto. A continuación, se muestran las ajustadas al estudio del presente trabajo:

- Mapeo geomorfológico: Esta herramienta tiene por objetivo levantar información sobre las formas que presenta el terreno en superficie, así como ciertos indicadores de deslizamiento, y poder relacionarlo con procesos históricos conocidos, si existe información sobre éstos, (Suárez, 2009).
- Interpretación de fotografías aéreas: Una vez realizado el análisis y una correlación entre los datos de campo y fotografías aéreas, se montará y digitalizará las áreas en donde conocemos que existe un deslizamiento de tierra. Para presente proyecto estas imágenes fueron obtenidas por medio de un vuelo de drone.
- Interpretación de sensores remotos: Esta herramienta se usa cuando se poseen datos de provenientes de satélites ópticos o de radar, la ventaja de estas imágenes son la muy buena calidad o alta resolución.
- Modelos digitales del terreno: Conocidos por sus siglas como MDT o MDE (Modelo digital de elevaciones), nos permitirá obtener datos topográficos del área de estudio, debido a que es una representación en falso de la topografía en tercera dimensión. Para la creación de este tipo de mapas se requiere de información sobre la altura o cotas del sitio, así como las curvas de nivel y perfiles, manteniendo una exactitud exigida para X y Y, (Wielemaker, 1993). Los modelos digitales del terreno como se mencionó, toman diferentes parámetros para la generación de altitudes, accidentes geográficos, etc. En algunos casos estos son basados en líneas, es decir en el que se usarán un conjunto de vértices que delimitarán la

posición de una curva, la cual de la misma forma estará asociada a las alturas. (Bosque, 2004).

- Revisión de información sobre mapas de inventario de deslizamientos ya existentes.
- Información de la comunidad: Dentro del estudio es necesario e importante el aporte que la comunidad cercana al movimiento de tierra puede ofrecer, por medio del lavamiento de información a los vecinos se podrá obtener información sobre la localización, fecha, magnitud, eventos antiguos, etc. (Suárez, 2009).

### **1.3.6 Los SIG como herramientas para generación de mapas de inventario y susceptibilidad**

En las últimas décadas los sistemas de información geográfica se han vuelto una herramienta muy utilizada para la representación y creación de datos digitales geográficos, ayudando en lo que ha ordenamiento territorial se refiere. El mapeo e identificación de ciertos riesgos que posee el territorio ayuda a los gestores y tomadores de decisiones a aumentar el nivel de confianza y acierto a la hora de tomar decisiones, y para la población contribuyen a tener un mayor conocimiento sobre los procesos potencialmente dañinos con los que conviven.

Dentro del análisis de riesgos, el mapeo de deslizamientos asociados a zonas que ya se conocen como sensibles es parte importante al momento de conocer más acerca de un determinado proceso. Los sistemas de información geográfica al ubicarse dentro del campo de estudios de la tierra, mantienen una afinidad directa con la organización de información que se posee, logrando generar un ingreso de los datos al SIG, los cuales consisten en mapas de movimientos de masa a partir de información, que Suarez (2009) expone:

- Datos provenientes de fotointerpretación.
- Levantamientos de información en campo.
- Tablas que contienen parámetros de esos deslizamientos.

Por su puesto que el levantamiento de información y el procesamiento e ingreso de esta a los sistemas de información geográfica conlleva a una serie de pasos, que autores como (Suarez, 2009) han determinado con el objetivo de organizar la entrada de datos, de esta

manera se presentan a continuación una serie de pasos que completan un proceso de mapeo de eventos naturales:

- Digitalizar los fenómenos de movimientos de masa, cada uno con su propia identificación e información sobre el tipo de deslizamiento, subtipo, actividad, profundidad, vegetación y si la unidad es un escarpe o un cuerpo de deslizamiento.
- Recodificar el mapa de deslizamientos, mostrando los parámetros para tipos y subtipos en mapas que muestran solamente un solo tipo o proceso. En esta técnica, el sistema de información geográfico es utilizado solamente para guardar la información y presentar los mapas en formas diferentes, por ejemplo, solo deslizamientos activos o solamente escarpes.

### **1.3.7 Evaluación de la susceptibilidad**

Previo a realizar la evaluación de la susceptibilidad se deben verificar el cumplimiento de ciertos puntos importantes que determinarán si es o no necesario realizar el análisis en una determinada área, éstas se dan con el objetivo de no gastar recursos en la evaluación de una zona donde no se esté generando algún evento relacionado con movimientos de masa, ayudando a evitar un estudio que pueda resultar infructífero (ICOG, 2008). Para realizar un estudio de evaluación de susceptibilidad se deberá tomar en cuenta que:

- Las características propias de este (Frecuencia, extensión, historia, etc.), deberán prever que se esté generando o pueda generarse nuevos movimientos a futuro.
- Conociendo las condiciones climáticas, naturales o antrópicas de la zona, determinar que estas puedan llegar a generar eventos de movimiento de tierra en el futuro. Tomando en cuenta que analizar estos factores el estudio entraría en la etapa de peligrosidad.  
ICOG, (2008).

Dentro de las condiciones citadas anteriormente como posibles desencadenantes se exponen a continuación las más importantes de cada grupo.

Naturales:

- Presencia de afloramientos de agua.
- Materiales blandos.

- Materiales arcillosos.
- Roca o material duro fracturado.
- Pendientes fuertes.

Climáticos:

- Lluvias fuertes.

Antrópicas

- Alteración de drenaje.
- Excavaciones.
- Cambios en las pendientes.
- Actividad minera excesiva

Dentro de la evaluación de la susceptibilidad influyen factores que marcaran el grado de esta, y análisis de estos factores puede darse de dos formas diferentes, por lo que Suarez, (2009), propone la forma teórica y la de en base de experiencia.

Dentro del presente proyecto de evaluación de susceptibilidad y al tratarse de la búsqueda de comparar diferentes metodologías desarrolladas basándose en la realidad de las condiciones que posee el cantón Cuenca, se busca ajustar una metodología para proyectos de susceptibilidad de los distintos eventos que se dentro de áreas comprometidas, uniendo distintos criterios de los diferentes autores.

### **1.3.7.1 Métodos de evaluación de Susceptibilidad**

Para la evaluación de la susceptibilidad se han comparado metodologías de distintos autores y entidades públicas, como son, el ICOG, (2008) Suarez, (2009), Instituto Espacial Ecuatoriano (2014), Secretaria de Gestión de Riesgos (2017). Los cuales muestran algunas diferencias al momento de realizar este análisis, por lo que una vez revisado, e interpretado los diferentes métodos se presenta una combinación de estos sumandos a ciertos conocimientos añadidos resultado de una revisión bibliográfica.

Con el objetivo de iniciar una evaluación de susceptibilidad es necesario según el Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos, (2008), prestar atención a dos premisas de donde parte el método:

- Contar con un mapa de inventario con los movimientos a ser estudiados.
- Mostar un análisis de los factores influyentes en los fenómenos de movimientos de masa.
- Características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno.

Según Suarez (2009) no existe un procedimiento estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad, sin embargo los pasos a seguir en el momento de generar un mapa, dependerá de los factores técnicos, tecnológicos y el nivel de conocimiento que se tenga sobre la zona, por supuesto que dentro de los niveles de susceptibilidad, las distintas metodologías citan a autores como Crozier, Cruden y Varnes, Sakar y Kahugo, para determinar ciertos criterios que han desarrollado en la correcta evaluación de la susceptibilidad.

Como se mencionó anteriormente existen dos tipos de análisis, los cuales se basan en diferentes métodos para generar un análisis de susceptibilidad, según Suarez (2009), el primero está basado en la experiencia y el segundo se apoya en la parte teórica.

El análisis por medio de la experiencia, la observación directa es la directriz del sistema, de esta forma se analizan una gran cantidad de movimientos de masa en una determinada zona y se busca encontrar una relación entre estos y la morfología del terreno. Por otra parte, el modelo teórico coincide en lograr generar mapas con los factores que afectan a la probabilidad de desencadenamiento, mostrando una relación que mantiene cada evento con determinado factor.

Dentro del proyecto se busca el análisis de los factores desencadenantes y su importancia dentro del marco de la ocurrencia, por medio de un mapa, de tal forma que se presente una realidad más ajustada de la susceptibilidad de determinado movimiento de masa, pero a su vez manteniendo un enfoque en la experiencia como por ejemplo una, relación entre la morfología y el evento de movimiento de masa.

#### **1.3.7.2 Proceso general**

Para la evaluación de susceptibilidad de los movimientos de masa, se usará una comparación de diferentes métodos realizados en España, Colombia y Ecuador, mostrando una descripción general de estos y llevando a cabo el estudio por medio de la generación de mapas de los factores que intervienen en el proceso, y otorgándole un peso

o grado de importancia de acuerdo a cuanto influencié tiene un factor sobre un determinado evento.

### **1.3.7.3 Factores**

El ICOG (2008), permite dividir los factores en dos grandes grupos para mantener un orden la información obtenida, la cual debe ser recolectada por medio de observaciones y mediciones directas en el lugar a ser estudiado.

Factores intrínsecos

1. Litología.
  - Rocas duras fracturadas.
  - Rocas blandas.
  - Productos de meteorización.
  - Suelos arcillosos.
2. Geología.
3. Propiedades físicas de los materiales.
4. Estructura de los materiales.
5. Fracturación.
6. Zonas hídricas.
  - Acuíferos o matinales.
  - Llanuras de inundación.
  - Canales de agua artificiales.
  - Zonas húmedas o pantanosas.

Factores externos: Generan modificaciones sobre la ladera y la desestabilizan, determinan en gran medida la magnitud del evento.

- Clima.
  - Fuertes precipitaciones
- Drenaje.
  - Cambios o alteraciones
  - Cercanía a zonas hídricas

- Cambios en las pendientes
  - Bajas
  - Medias
  - Altas.
- Actividad antrópica.

Además de todos los factores previamente señalados (Crozier 1986), propone una clasificación del grado de susceptibilidad basándose en la actividad del movimiento en una determinada zona, estos parámetros o características tendrán un peso en el valor de la susceptibilidad absoluta de un deslizamiento.

Estos criterios podrán ser obtenidos por medio de la observación y recolección de información en el sitio de interés, ya que en parte se basa en conocer los eventos antiguos o activos que ha tenido o tienen lugar en la zona, estas características como se mencionó no determinan la susceptibilidad absoluta si no tendrán un peso dentro del estudio.

- Susceptibilidad muy alta: Deslizamientos activos.
- Susceptibilidad alta: Alta frecuencia de actividad de movimientos de masa.
- Media: Evidencia de eventos de movimientos de masa pasados.
- Baja: No existe evidencia de procesos en el lugar, pero por medio del contraste de información de taludes cercanos pueda darse la posibilidad de un evento.

De la misma forma Sakar y Kahugo (2004), tomado de (Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos, 2008), dispone una serie de criterios que se enumeran a continuación con el objetivo de otorgar de igual manera un valor a la susceptibilidad.

- Susceptibilidad muy alta:
  - Zonas con fallamiento.
  - Suelo altamente meteorizado.
  - Suelo saturado.
- Susceptibilidad alta:
  - Fallamiento en ciertas zonas.
  - Suelos moderadamente meteorizados.
- Media:
  - Fallamiento en estrictas zonas.
  - Erosión intensa.
  - Suelo parcialmente saturado.

- Baja:
  - Algunas fisuras visibles.
  - Erosión parcial.
  - Suelos no saturados.

A estos criterios se le podrá asignar un valor de acuerdo a como se encuentre normada la evaluación de la susceptibilidad.

#### 1.3.7.4 Pendientes

Esta es uno de los factores más relevantes y puede ser estudiado de diferentes formas, como por ejemplo, la topografía toma en cuenta los desniveles del terreno, y nos permite generar una representación tridimensional de este, existen diferentes ciencias que se encargan de obtener información acerca de las pendientes, entre algunas de estas tenemos, la topografía, la agrimensura, la geodesia y la cartografía, cada una con diferencia que radican tanto en las porciones de superficie que estudian, entre otras.

Para conocer más sobre cada una de estas ciencias (Martínez 2003), ha dado una breve introducción sobre cada una de estas, y a continuación se presentan estos conceptos.

**Topografía:** Mide y representa una parte de la superficie terrestre lo suficientemente pequeña para ser considerada plana, tomando en cuenta dos planos, uno donde se representan los accidentes superficiales (planimetría) y otro plano donde se muestran las alturas (altimetría).

**Geodesia:** Usada en grandes extensiones, mediante el uso de modelos de la tierra como la esfera, el elipsoide y el geoide, según (Helmert, tomado de Martínez (2003), mide y cartografía la totalidad de la superficie terrestre, considerando la planimetría y altimetría.

**Cartografía:** Es una representación gráfica de la superficie, conocido mundialmente como mapa, por medio del uso de proyecciones o planos.

Desde el punto de vista trigonométrico, la pendiente se conoce como la tangente del ángulo que una recta forma con el plano de referencia, Martínez (2003). Ya en la práctica la pendiente de un terreno es utilizada para conocer los accidentes del terreno, mostrando las diferencias que existen entre sus cotas. Es decir, cada terreno tendrá condiciones únicas de topografía debido a sus procesos de formación y de erosión que actuó y actúa sobre este. Ayudando a determinar el grado de inclinación que mantiene el área estudiada,

pudiendo así conocer que tan susceptible es el terreno a sufrir algún tipo de deslizamiento, ya que mientras mayor sea la pendiente, el terreno será más proclive a sufrir un evento de movimiento de masa favoreciendo a que los componentes de la ladera puedan moverse hacia abajo.

Para la correcta elaboración de un mapa de susceptibilidad, se requiere un análisis previo de las pendientes que el terreno posee, y por medio de una clasificación sobre el nivel de susceptibilidad por pendientes, se puede ir formando una idea de la susceptibilidad general del terreno a movimiento de ladera.

La presente tabla muestra los niveles de susceptibilidad basándose en la pendiente

**Tabla 1-4 Susceptibilidad a la pendiente del terreno**

<b>Grado</b>	<b>Porcentaje de la pendiente</b>	<b>Pendiente en grados</b>
Alto	50% a 100% o >100%	26.6° a 45° grados
Medio	30% a 50%	16.7° a 26.6°
Bajo	0% a 30%	0° a 16.7°

Suárez J. (2009)

### **1.3.7.5 Clasificación del territorio**

En esta etapa de la evaluación de susceptibilidad se realiza la ponderación de los factores considerados y que mantienen condiciones de inestabilidad en las laderas.

De esta manera según el ICOG (2008), se deben seguir algunos pasos:

- 1.- Por medio de la observación e información recolectada en campo se establecerá de forma relativa la importancia de cada factor.
- 2.- Si determinados factores se encuentran dentro de una clase se otorgará un peso a dicha clase, mediante el análisis de su importancia e influencia.
- 3.- Así por medio del contraste de los diferentes mapas ya con un valor de influencia asignado se podrá clasificar o determinar un grado de susceptibilidad al que se le asignará un valor.

A modo de ejemplo se presenta un cuadro sobre las características que conllevaran a generar una valoración de la susceptibilidad del deslizamiento tomando en cuenta algunos de los factores mencionados anteriormente.

**Tabla 1-5 Factores que influyen en el grado de susceptibilidad**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Litología</b>	<b>Zonas hídricas</b>
Baja	Menores al 10%	Resistentes	Poco presencia de zonas hídricas
		Macizos competentes	
		Macizos no alterados	
Media	Entre el 10 y 30%	Resistencia media	Presencia de zonas hídrica
		Macizos alterados	
		Suelos duros	
Alta	Mayores al 30%	Materiales blandos	Presencia de zonas hídricas, sumado a filtración en el terreno
		Suelos y macizos alterados	
		Productos de meteorización	

El ICOG (2008), expresa, que en el contraste de mapas de los factores tanto externos como intrínsecos, y los mapas de inventario, debe mantenerse una relación entre la presencia de deslizamientos con la respectiva aparición de los factores que denotaran la susceptibilidad del movimiento de tierra. Por su puesto que esto no puede suceder en todos los casos; existirán casos de movimientos de masa en los cuales alguno o varios de estos factores no se vean presentes, cambiando de esta manera las características de la susceptibilidad es decir su nivel (Alto, Medio, Bajo).

#### **1.3.7.6 Factores que determinan el grado de susceptibilidad**

- Afección del movimiento de masa en la zona (%).
- Procesos son actuales o antiguos.
- Factores incidentes en la actividad de un deslizamiento.

### **1.3.7.7 Elaboración del mapa de susceptibilidad**

Manteniendo un conocimiento sobre las condiciones de susceptibilidad que un deslizamiento presenta en una determinada zona, no es posible tener una idea certera de que en el futuro se suscite un evento de movimiento de masa, debido a los distintos factores que influyen en las laderas, y como estos actúan indistintamente en la inestabilidad.

Con el total de los datos obtenidos, la elaboración del mapa partirá del uso de programas informáticos donde será ingresada la información y ordenada de tal manera que se logre disponer tanto de los movimientos de masa en determinados lugares, como los factores que ejercen un peso en su comportamiento. Entre los programas informáticos antes mencionados tenemos los conocidos como SIG (Sistemas de información geográfica).

### **1.3.7.8 Sistemas de información geográfica**

En las memorias de la XVI conferencia iberoamericana de información geográfica, en su presentación se habla que “Las nuevas tecnología de la información contribuyen a caracterizar, gestionar y administrar recursos naturales sobre un espacio geográfico” y dentro de esta rama se encuentran los conocidos como SIG (Sistemas de información geográfica) los cuales se han convertido en una de las formas más recocidas y utilizadas alrededor de mundo para ordenamiento y planificación territorial, minería, recursos naturales, entre otros usos que se les puede dar a estas herramientas.

Existen muchas definiciones sobre los sistemas de información geográfica Según Goodchile (2000), es una tecnología integradora que une varias disciplinas con el objetivo común del análisis, creación, transformación, visualización, de la información geográfica. La característica más importante, es que estos trabajan con mapas como muchos otros programas informáticos, con la diferencia que estos pueden generar al mismo tiempo operaciones de análisis espacial, por medio del uso de información o datos espaciales y datos propios del programa que ayudar al procesamiento, generando de esta mañanera nuevos mapas con base en una sola fuente de datos. (Ordoñez y Martínez 2003).

Para la preparación de los mapas de susceptibilidad el uso SIG es de gran ayuda, debido a que nos permitirá organizar la información y poder contrastar o comparar sus diferentes

niveles de datos con el objetivo de mostrar una correlación de los factores y como cada uno de estos genera un diferente peso sobre el valor general otorgado a la susceptibilidad.

Los SIG son usados para la generación de mapas que representen la realidad de un estudio, de forma que podamos visualizar los objetivos de estudio buscando que la interpretación de estos sea de forma muy simplificada y clara. Dentro del uso de estos para obtención de datos existen dos maneras por medio de la cuales podemos representar una realidad de un determinado estudio, estas son las conocidas como modelo vectorial o modelo raster. (Ordoñez y Martínez 2003).

- **Modelo raster:** Este método de análisis para la representación usa el contenido de los objetos, quedando sus límites implícitamente representados, la forma en la que se realiza este análisis es por medio de cuadricular el entorno geográfico, dotándolo de un sistema de coordenadas cartesianas y a cada celda generada asignarle un valor numérico correspondiente al atributo que vamos a registrar. A estas celdas referenciadas, generalmente cuadradas dentro de los programas de sistemas de información geográfica, se les conoce como pixel o picture element, tomando en cuenta que la longitud de los lados de estos cuadrados, se interpreta como resolución de la imagen que se obtiene.

Dependiendo del tamaño de pixel el detalle de la imagen generada cambiará, debido a que a menor tamaño de pixel la resolución será más alta, explicado de otra manera se puede entender que al tener un menor tamaño de pixel o cuadrícula, la imagen que se obtenga estará compuesta por un mayor número de píxeles, mostrándola una mayor cantidad de información, ampliando su nivel de detalle o resolución.

- **Modelo vectorial:** A diferencia del modelo raster, este usa las fronteras del objeto, es decir las líneas que lo componen las cuales están delimitadas por puntos, dentro de un sistema de coordenadas. Al utilizar líneas para el análisis de los objetos los productos resultantes serán puntos, líneas y polígonos.

Por su puesto que el uso de cualquiera de estos tipos de sistemas de información geográfica está determinado por el juicio del investigador o persona que use la herramienta, comparando las ventajas y desventajas, por otro lado, tenemos el tipo de datos que se tiene como base de información y como se pretende analizarla para obtener diferentes resultados. Entonces se puede entender que normas exactas, precisas o normalizadas para el uso de uno u otro tipo de SIG, no están dadas, aunque se tienen

recomendación de utilizar un tipo de SIG individualmente, tanto el raster como el vector pueden trabajar simultáneamente Ordoñez y Martínez (2003).

Como se ha mencionado los sistemas de información geográfica pueden ser de utilidad para diferentes análisis y nos mostraran información espacial de tal manera que esta pueda la mayor parte de las veces, ser fácilmente interpretada. Para el análisis de riesgos, (Ordoñez y Martínez 2003), propone una clasificación de ciertas funciones de distribución para los factores de riesgo.

Pendiente: Esta muestra las diferencias que existen entre las curvas de nivel obtenidas a partir del modelo digital del terreno (MDT).

Geología: Ciencia que tiene objeto el estudio de la tierra. Dentro de este campo tenemos tanto la composición como estructura de los diferentes sistemas que compone la corteza terrestre tanto en superficie como en el interior y los procesos dinámicos que se presentan, tomando en cuenta tanto lo ocurrido en el pasado como para conocer las características actuales.( Cárdenas, et.al.2014).

## CAPÍTULO II

### CARACTERIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE MASA DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

#### 2.1 Tipificación del deslizamiento

Dentro de la tipificación o identificación de un deslizamiento es necesario conocer que estos vienen a ser producto de las fuerzas gravitacionales e hidráulicas, (Suarez 2008), por supuesto que la identificación de estos se ha hecho posible gracias a estudios realizados por diferentes autores como Varnes en (1978) y posterior actualización Cruden y Varnes en (1996) que dentro del análisis de estos eventos es la clasificación más aceptada, Skempton y Hutchinson en (1969), Sharp en (1938), etc. Brindan información importante dentro de este tema sumamente sensible para diferentes zonas urbanas y rurales. Basado en que cada movimiento de masa posee diferentes características la tipificación de este se lo hace por medio de una serie de características que según los autores antes mencionados presenta cada tipo de deslizamiento y lo diferencia de otros.

Por su puesto estas características se identifican muchas veces de manera visual debido a que este tipo de eventos son muy palpables y su existencia genera sensibilidad a simple vista por los cambios morfológicos que ocasionan, los estudios que se llevan a cabo para la identificación de estos van desde el levantamiento del terreno y su geología, pasando por la recolección de datos de carácter visual sobre las características que estos presenten, llegando hasta estudios más extensos como levantamientos geotécnicos.

El análisis y tipificación de estos eventos es un tema necesario, por las graves consecuencias que este tipo de desastre natural provoca, como son daños ambientales, daños a la infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueos de ríos, etc. generando un volumen de daños total mayor que el producido por eventos como terremotos e inundaciones J. Suarez (2008). La correcta determinación del tipo de deslizamiento podría ayudar a los diferentes organismos como municipios, gobiernos provinciales a una toma de decisiones más acertadas sobre la planificación urbana y rural.

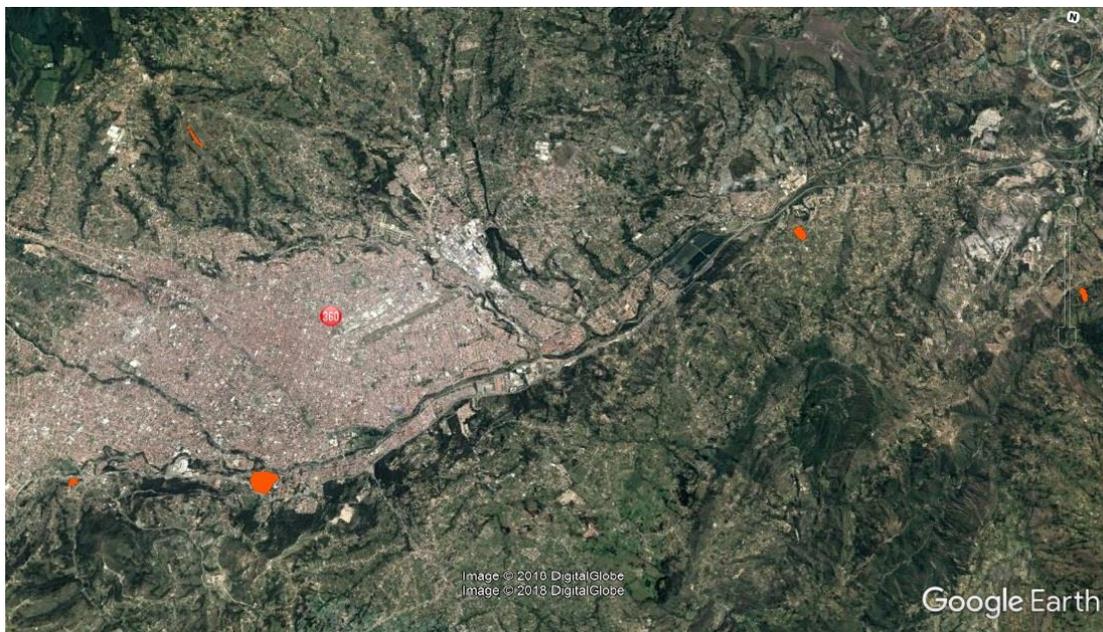
El fin del presente trabajo no tiene por objetivo determinar o desarrollar una nueva clasificación para los movimientos de masa presentes en el cantón Cuenca, que dependiendo de la morfología y geología de cada terreno podrá ir variando, sino tiene

como finalidad presentar una terminología o una serie de características, las cuales en conjunto permitirán tipificar un evento de remoción de masas, esclareciendo en cierto nivel los rasgos característicos que determinado proceso posee y puede ser efecto de interpretación en campo.

El diccionario de la real academia de la lengua española (2017), define la tipificación como el ajuste de varias cosas semejantes a un tipo o norma común, es decir tomar una serie de parámetros y por medio del agrupamiento de estos, transformarlos en una solo unidad, en este caso llegar a determinar los diferentes tipos de movimientos de masa.

A continuación, se presenta una serie de parámetros tomados de diferentes autores como es Cruden y Varnes (1996), Highland M.; Bobrowsky P.; (2008), Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos, (2008), Suarez (2009), entre otros que permiten conocer las características principales in situ que cada tipo de deslizamiento y gracias a estas su posible identificación y descripción.

## 2.2 Tipificación de sitios de interés



**Figura 2.1 Sitios de interés en la ciudad de Cuenca.**

Fuente: Google (s.f). Recuperado el 20 de noviembre, 2018.

El cantón Cuenca, se encuentra propenso a sufrir fenómenos inestabilidad de laderas, causando problemas con la población e infraestructura cercana a estos eventos naturales.

Ante un problema de índole natural es necesario conocer como este se comporta, sus características y su estado, obtenidos por medio del levantamiento de información en campo, con el fin de que esta primera información sirva como punto de referencia para estudios más exhaustivos.

La tipificación como se mencionó anteriormente nos permitirá ajustar una serie de características a un tipo de movimiento de masa específico, ya que cada uno de estos presentará características como, la morfología, el fallamiento, los materiales, etc. que ayudarán a presentar una clasificación más específica.

Debido a la naturaleza de estos eventos su clasificación puede ser realizada de diferentes maneras, y en base a la cantidad de información que se disponga. En el presente trabajo la tipificación está ajustado a información primaria obtenida en campo de manera visual, tomando en cuenta como se presenta la morfología, es decir cómo se encuentran las condiciones de forma del suelo in situ que ha sido afectado por un fenómeno de remoción de masas, así como las características geológicas superficiales que se aprecian, comenzando a tener una idea más acertada del tipo de fenómeno que estamos estudiando. Además de clasificar de la manera más adecuada estos fenómenos es necesario otorgar un estado de actividad, es decir en qué condiciones de estabilidad se encuentran al momento del levantamiento de información, tomando en cuenta que este factor puede cambiar de manera drástica en el tiempo, por factores de deterioro, los cuales modificarán las condiciones del talud o factores detonantes que provocan que el esfuerzo cortante aumente, provocando un movimiento del material por encima de la superficie de falla. Para el estado de actividad de los movimientos de masa se tomó como referencia el Estudio realizado por (WP/WLI1, 1993).

- Activo: Cuando el deslizamiento se está moviendo en la actualidad.
- Suspendido: Cuando el deslizamiento no se ha movido en la actualidad, pero sí en el último ciclo estacional.
- Inactivo: Cuando el último deslizamiento registrado es superior a un ciclo anual de estaciones. A su vez, un deslizamiento inactivo puede estar dormido cuando aún permanecen las condiciones que lo provocaron, o en caso contrario estar abandonado.
- Relicto: Cuando el deslizamiento se desarrolló en unas condiciones geomorfológicas y/o climáticas diferentes a las actuales, o estar estabilizado,

cuando el deslizamiento ha cesado como consecuencia de cualquier tipo de actuación artificial.

- **Reactivado:** Cualquier deslizamiento que vuelve a ser activo, tras estar un periodo inactivo.

Una vez levantada toda la información necesaria el proceso a seguir es contrastar los datos obtenidos con las características que cada movimiento, buscando obtener la tipificación de este. Para el presente trabajo se tomó en cuenta diferentes sitios del cantón Cuenca que se ven afectados por estos fenómenos, como son: Nulti, Carmen del Guzho, Gapal sector Universidad del Azuay, Vía a Jadán y Pumayunga.

A continuación, se presenta la tipificación por medio del análisis de las tablas (Ver anexo 1), y un registro fotográfico de los sitios de interés, donde se busca obtener la mayor cantidad de características acordes al tipo de movimiento de masa que ayudara a clasificar cada uno de estos.

### **2.2.1 Carmen del Guzho**

Carmen del Guzho de la parroquia Turi, se encuentra ubicado al noreste del cantón Cuenca, este sector ha sufrido graves problemas relacionados con movimientos de masa. En 1999 fuertes deslizamientos provocaron que un gran número de construcciones colapsaran, y porciones de terreno sufran daños. Uno de los movimientos de masas registrado se encuentra en el tramo perteneciente al control sur de la autopista Cuenca – Azogues. Este evento causó graves daños al talud y a la vía en cuestión, generando hundimientos y agrietamientos. Después de la visita de campo para levantamiento de información se visualiza que el talud ha sido intervenido ya que este presenta cunetas de coronación, sistemas de drenaje para la conducción de aguas, así como un sistema de taludes y bermas de estabilización. Por lo que a la fecha se puede considerar que el estado del movimiento es relicto, ya que su actividad a cesado por intervenciones artificiales, como estabilización de taludes.



**Figura 2.2 Carmen del Guzho. Cabecera del deslizamiento**



**Figura 2.3 Carmen del Guzho. Bermas en el talud**



**Figura 2.4 Carmen del Guzho. Sistema de drenaje en talud**



**Figura 2.5 Carmen del Guzho. Flanco derecho**



**Figura 2.6 Carmen del Guzho. Talud y berma superior**



**Figura 2.7 Carmen del Guzho. Taludes y bermas**

Como se muestra en la tabla, el deslizamiento de Carmen del Guzho es del tipo rotacional ya que cumple con las características que lo identifican, una parte importante acerca de este movimiento es que estuvo sujeto a trabajos de mitigación, lo que ha provocado que el agrietamiento, cuerpo del deslizamiento, corona, entre las otras características del deslizamiento sean diferentes a las originales

Tabla 2-1 Tipificación Carmen del Guzho

<b>Rotacional</b>	
<b>Pendiente</b>	Entre 20° y 40°
<b>Fallamiento</b>	Falla circular (Meteorizadas)
<b>Tipo de movimiento del material</b>	Tendencia a girar hacia la corona
	Eje paralelo al contorno de la ladera
<b>Tipo de material</b>	Materiales homogéneos (coluviones, arcillas)
<b>Rasgos morfológicos</b>	Parte superior presenta hundimiento
	Parte inferior se desliza
	Erosión en base de las laderas
	Corona se mueve semi vertical
	Corona se mueve hacia abajo respecto de la cabecera
<b>Factores visuales causantes de la inestabilidad</b>	Aumento de agua
	Meteorización

Fuente: Elaboración propia

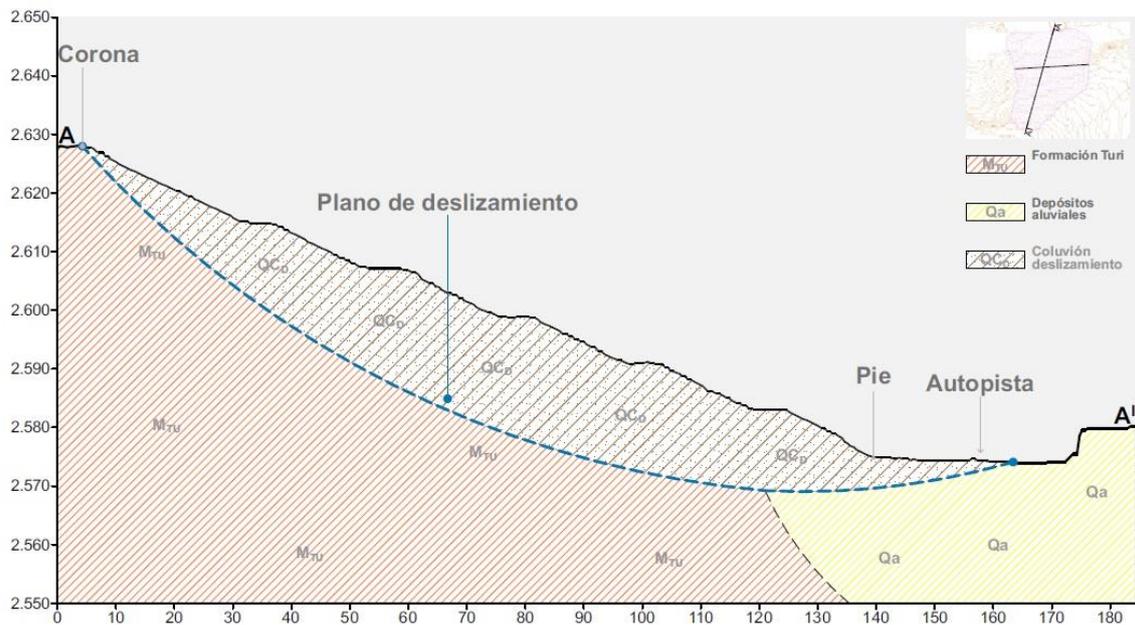
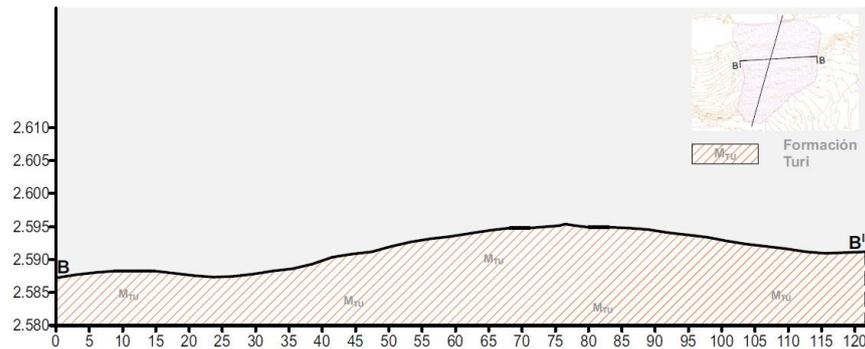


Figura 2.8 Perfil A-A` Carmen del Guzho

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.9 Perfil B-B' Carmen del Guzho**

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2 Nulti

Dentro de las zonas donde un número considerable de movimientos de masa se han suscitado, la parroquia de Nulti ubicada al noreste del cantón Cuenca, es uno de los sitios más sensibles, debido a que la ciudad de Cuenca mantiene su expansión urbana en este sector y este tipo de eventos naturales pueden ser perjudiciales para el normal desarrollo de actividades. El movimiento de masa que se estudia en este sector es de gran interés ya que se encuentra afectando a construcciones de tipo vivienda, así como a infraestructura civil, donde una de las vías que se encuentran en la zona cedió con el movimiento de tierra.

Durante el levantamiento de información en campo se tomó como referencia que al ser un movimiento relativamente nuevo cuya actividad fuerte data del año 2016, la morfología de este presenta sus condiciones iniciales, y existe un marcado corte perpendicular en la corona, así como fuertes escarpes y abultamientos de material con dirección hacia la corona. Una parte importante es que una gran cantidad de agua se ve presente el lugar por sobre todo en la parte central de este, que puede ser una señal de posibles movimientos futuros. Por el momento ningún trabajo de mitigación se ha realizado en el lugar de ocurrencia del movimiento de masa lo que ocasiona que el terreno se encuentre en constante movimiento.



**Figura 2.10 Nulti. Corte perpendicular en corona**



**Figura 2.11 Nulti. Grieta de corona**



**Figura 2.12 Nulti. Corona del deslizamiento**



**Figura 2.13 Nulti. Movimiento de material con escarpes en dirección de la corona**



**Figura 2.14 Nulti. Escarpes en el cuerpo del deslizamiento**



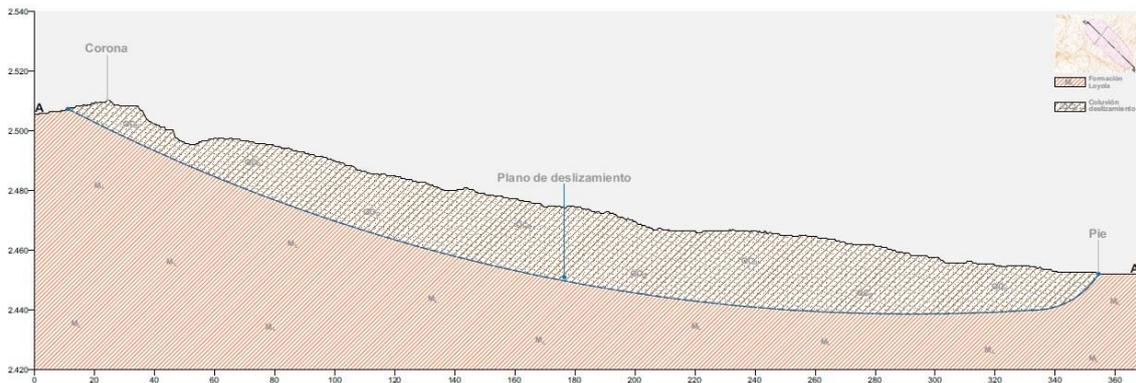
**Figura 2.15 Nulti. Límite izquierdo**

Una vez realizado el levantamiento de información en campo, es necesario comparar estos datos con las tablas presentadas anteriormente, donde diferentes autores han descrito las características que, por medio de la observación en campo, el fenómeno de remoción de masas se ha tipificado como un deslizamiento rotacional.

**Tabla 2-2 Tipificación Nulti**

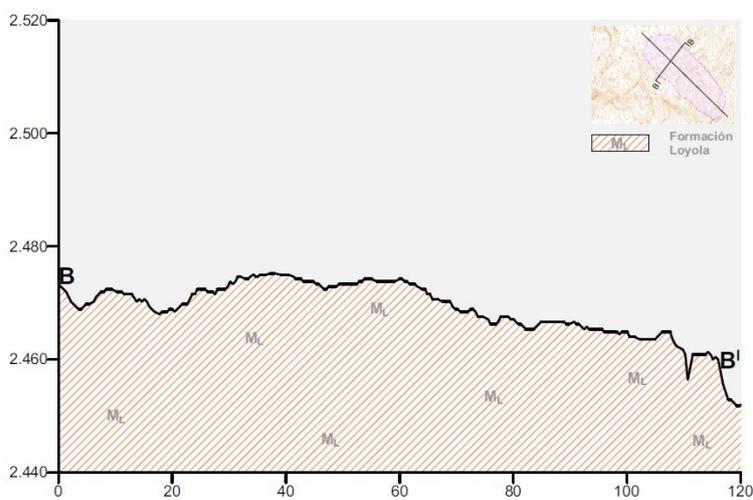
<b>Rotacional</b>	
Pendiente	Entre 20° y 40°
Fallamiento	Falla circular (Meteorizadas)
Tipo de movimiento del material	Curvilíneo o circular
	Giro encima del centro de gravedad
	Tendencia a girar hacia la corona
	Eje paralelo al contorno de la ladera
Velocidad	Lenta
Tipo de material	Masa cohesionada
	Materiales homogéneos (coluviones, arcillas)
	Materiales elásticos o semi elásticos
Fracturación	Agrietamiento cóncavo
Rasgos morfológicos	Parte superior presenta hundimiento
	Parte inferior se desliza
	Flujos en el pie
	Erosión en base de las laderas
	Corona se mueve semi vertical
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Escarpes, hundimientos en el cuerpo
	Aumento de agua
	Meteorización
	Sobrecarga

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.16 Perfil A-A' Nulti**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.17 Perfil B-B' Nulti**

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.3 Universidad del Azuay (Gapal)

La Universidad del Azuay se encuentra ubicada al sur del cantón Cuenca, durante un periodo largo de tiempo se ha visto afectada por un movimiento de masa, el cual ha provocado que las infraestructuras construidas sobre este terreno se vean afectadas, como es el caso de algunos edificios de la institución que presentan problemas de agrietamiento en paredes, pisos; otras infraestructuras como vías de acceso, camineras, etc.

han sufrido tanto levantamientos, como hundimientos provocando que los materiales presentes en estas obras sufran daños considerables.

La tipificación de un deslizamiento dentro de un área que consta con obras civiles casi en su totalidad, es más compleja, debido a que gran parte de los rasgos que pueden presentar los terrenos se encuentra cubierto por obra civil.

Sin embargo, ciertos lugares como las vías y áreas verdes presentan rasgos morfológicos y se puede inferir que la institución está sometida a un proceso conocido como deslizamiento rotacional ya que parte del cuerpo del deslizamiento rota en dirección hacia la corona, ubicada en la parte alta de la autopista Cuenca – Azogues, provocando abultamientos y escarpes, el corte de la corona es poco apreciable. Después de la visita de campo para levantamiento de información se deduce que el movimiento se encuentra en estado activo con una velocidad muy lenta.



**Figura 2.18 Universidad del Azuay (Gapal). Abultamiento de aceras**



**Figura 2.19** Universidad del Azuay (Gapal).  
Inclinación del terreno.



**Figura 2.20** Universidad del Azuay (Gapal).  
Separación de paredes por abultamiento del terreno y movimiento hacia abajo.



**Figura 2.21** Universidad del Azuay (Gapal). Fracturas en estructuras



**Figura 2.22** Universidad del Azuay (Gapal).  
Fracturas y grietas en estructuras.



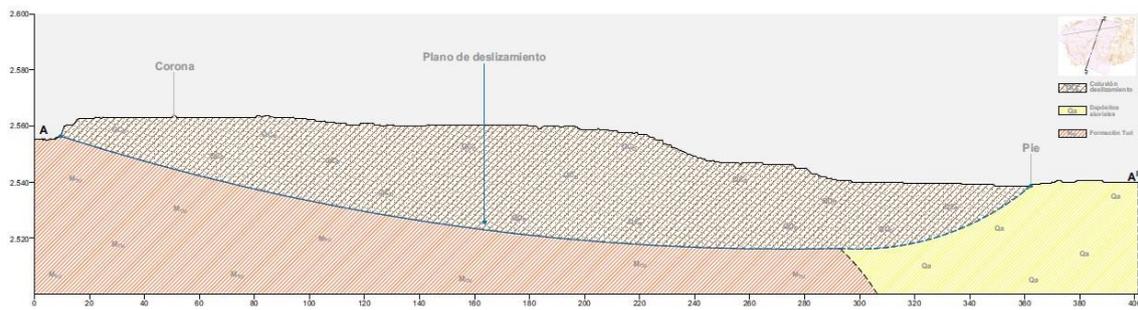
**Figura 2.23** Universidad del Azuay (Gapal).  
Fisuras en edificio.

Como se aprecia en la tabla el deslizamiento de la Universidad del Azuay (Gapal) es del tipo rotacional ya que cumple con las características de este tipo de deslizamiento. Determinar las características del suelo es más complicado, que, en zonas desprovisto de infraestructura, sin embargo, las características levantadas pudieron ser apreciadas en zonas donde las obras civiles han sufrido daños.

**Tabla 2-3** Tipificación Universidad del Azuay (Gapal)

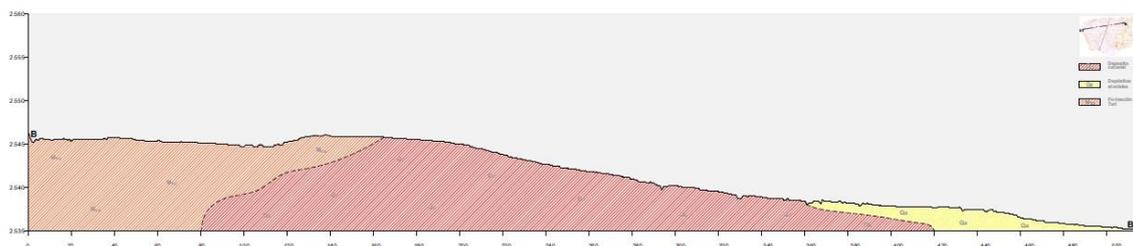
<b>Rotacional</b>	
Pendiente	Entre 20° y 40°
Fallamiento	Falla circular (Meteorizadas)
Velocidad	Muy lento 10mm/año
Tipo de movimiento del material	Tendencia a girar hacia la corona Eje paralelo al contorno de la ladera
Tipo de material	Materiales homogéneos (coluviones, arcillas)
Rasgos morfológicos	Parte superior presenta hundimiento
	Parte inferior se desliza
	Erosión en base de las laderas (río)
	Corona se mueve semi vertical
	Corona se mueve hacia abajo respecto de la cabecera
	Escarpes y material presenta inclinación hacia la corona
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Abultamientos del terreno en la base
	Aumento de agua
	Meteorización Sobrecarga

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.24 Perfil A-A` Universidad del Azuay (Gapal)**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.25 Perfil B-B` Universidad del Azuay (Gapal)**

Fuente: Elaboración propia

## 2.2.4 Sinincay sector Pumayunga

Pumayunga ubicada al norte del cantón Cuenca, es una zona provista de arcillas rojas usadas comúnmente para la elaboración de ladrillo entre otros productos, para la ciudad de Cuenca es un tema de especial interés, debido a que la expansión del casco urbano se encuentra dirigido a esa zona, por lo que todavía existe mucho terreno desprovisto de obra civil, siendo el caso de la zona de estudio, donde no se encuentran construcciones de gran proporción en las cercanías, únicamente por mitad del movimiento de tierras se encuentra una vía, en la cual se aprecia que esta sufrió un hundimiento y un desplazamiento ladera abajo.

Dentro del levantamiento de datos acerca de su forma y características, se debe tomar en cuenta que existe un gran desnivel entre el terreno aledaño que se encuentra en los límites de este fenómeno de alrededor de 3 metros, que puede ser producto de un hundimiento considerable del terreno, apreciando que la vegetación como árboles y arbustos han sufrido cambios durante su crecimiento, presentando troncos torcidos, se puede inferir que su velocidad es muy lenta. En los límites del movimiento se aprecian cortes perpendiculares por sobre todo en la corona, y mostrando en el pie una cierta acumulación de material, producto de que todo el cuerpo se mueve en dirección de la ladera.

Por todas estas características el tipo de deslizamiento más aproximando es el conocido como traslacional ya que la morfología del terreno muestra que el material ha viajado en dirección de la pendiente dejando límites o costados claramente marcados con cortes casi perpendiculares.



**Figura 2.26** Pumayunga. Corte vertical en la corona



**Figura 2.27** Pumayunga. material movilizado desde la corona hacia abajo



**Figura 2.28 Pumayunga. Dirección material**



**Figura 2.29 Pumayunga. Cortes en límites del deslizamiento con inclinación en la vegetación**



**Figura 2.30 Pumayunga. Cortes verticales en límites**



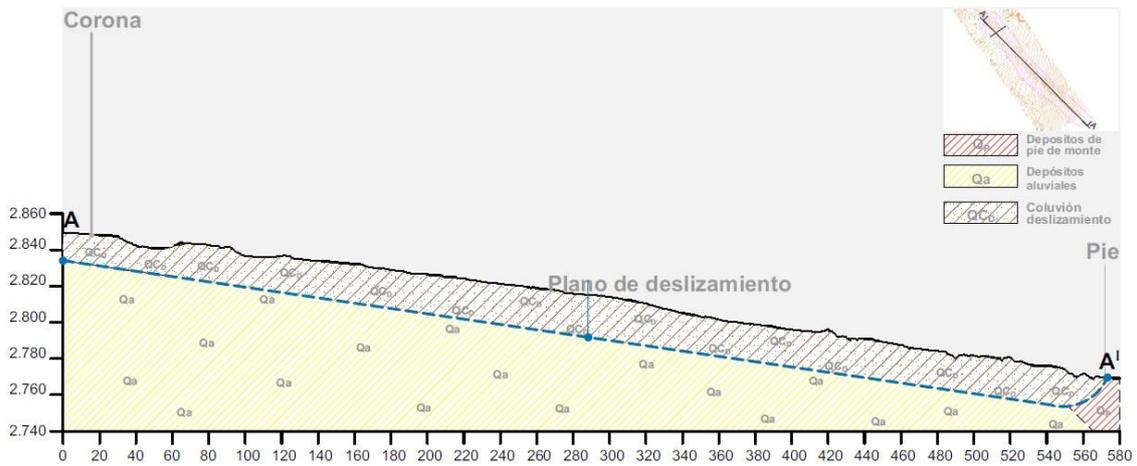
**Figura 2.31 Pumayunga. Material deslizado desde la corona**

En la siguiente tabla muestra las características encontradas de manera visual en Sinincay sector Pumayunga.

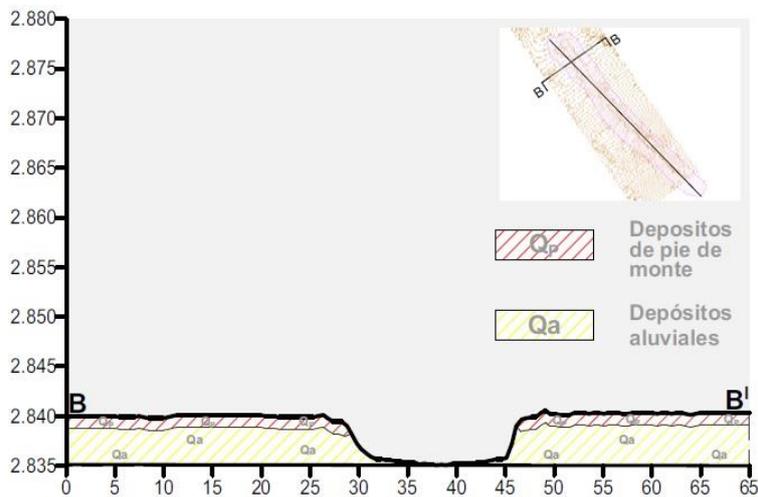
**Tabla 2-4 Tipificación Sinincay sector Pumayunga**

<b>Traslacional</b>	
Pendiente	Constantes
Fallamiento	Discontinuidades geológicas
	Planos estratificados
Tipo de movimiento del material	Hacia afuera y hacia abajo
	Distancias considerables (Pendiente)
Velocidad	Lenta
Tipo de material	No consolidados
	Suelos sueltos
	Blandos o coluviones
Fracturación	Vertical y paralelo al talud
Rasgos morfológicos	Protuberancias en la punta de la cabecera
	Superficie ruptura plana o ligeramente ondulada
	Poca o nula inclinación hacia atrás
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Aumento de agua
	Meteorización

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.32 Perfil A-A` Sinincay sector Pumayunga**  
 Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.33 Perfil B-B` Sinincay sector Pumayunga**  
 Fuente: Elaboración propia

### 2.2.5 Vía a Jadán

Dentro de las zonas mineras del cantón Cuenca la vía a Jadán, es una de las más importantes debido a la gran extracción de áridos y pétreos que encuentran presentes en el lugar. Esta zona se encuentra ubicada al noreste del Cantón Cuenca.

Como todos los movimientos de masa, este posee una importancia alta, debido a que, al encontrarse en una zona minera, la vía que afectada a es usada para el transporte de material hacia los diferentes cantones e industria y la presencia de un evento de esta magnitud cerca de concesiones mineras puede provocar problemas en la extracción normal de materiales. Este movimiento de tierra se encuentra en estado de actividad, y

afecta a un talud con una pendiente fuerte. Durante la visita en campo es se aprecia que en el lugar no se ha generado ninguna obra de mitigación del deslizamiento, por lo que en el talud se muestra un agrietamiento fuerte sobre todo bajo la corona, así como gran cantidad de material removido que ha bajado en dirección de la pendiente, producto del aumento de los esfuerzos de corte del material y acción de la gravedad. Jadán al ser un sector minero extractivo no presenta grandes obras civiles en la parte alta donde se encuentra este fenómeno por lo que las condiciones de la cobertura son de carácter natural, donde solo se percibe vegetación y suelo removidos. Sin embargo, la vía que se menciona y que por el momento corre riesgo de ceder, se encuentra en condiciones de daño fuerte perdiendo gran parte del pavimento y con un hundimiento considerable.



**Figura 2.34** Jadán Escarpe principal



**Figura 2.35** Jadán Zona de corona



**Figura 2.36** Jadán hundimiento y desplazamiento en la vía



**Figura 2.37 Jadán fisura en escarpe**



**Figura 2.38 Jadán Grietas en el material del cuerpo**



**Figura 2.39 Jadán material deslizado hacia abajo**



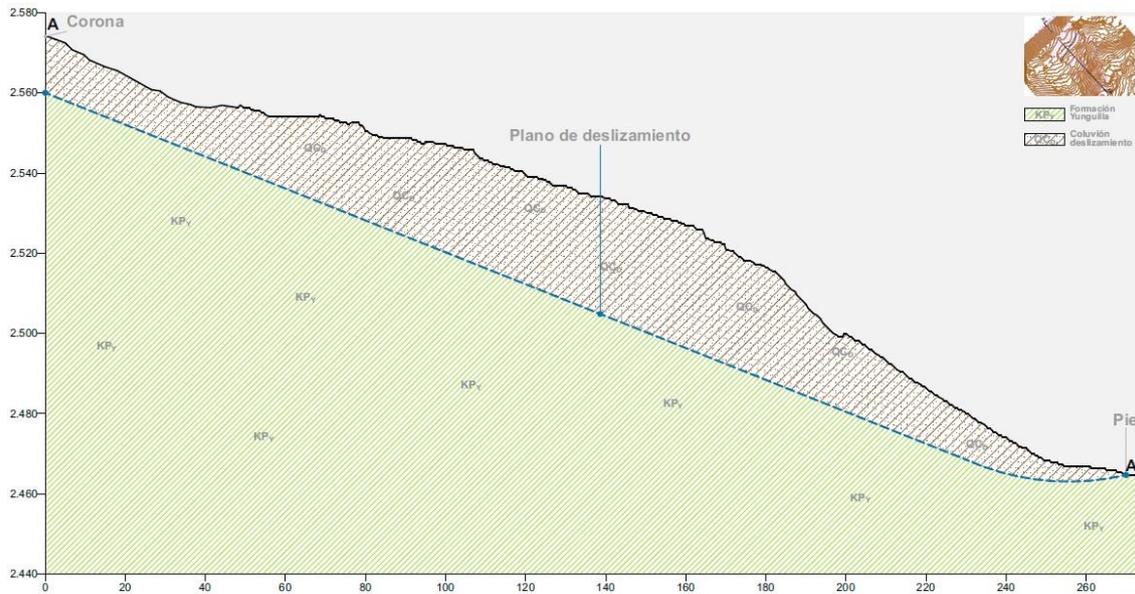
**Figura 2.40** Jadán grietas en el cuerpo

De acuerdo a las características que presenta el movimiento de masa estudiado y basándose en los autores previamente descritos, el fenómeno puede ser caracterizado como traslacional, debido a que muestra una corona con un corte vertical y un movimiento de material ladera abajo, con una gran deposición de material en el pie.

**Tabla 2-5** Tipificación Vía a Jadán

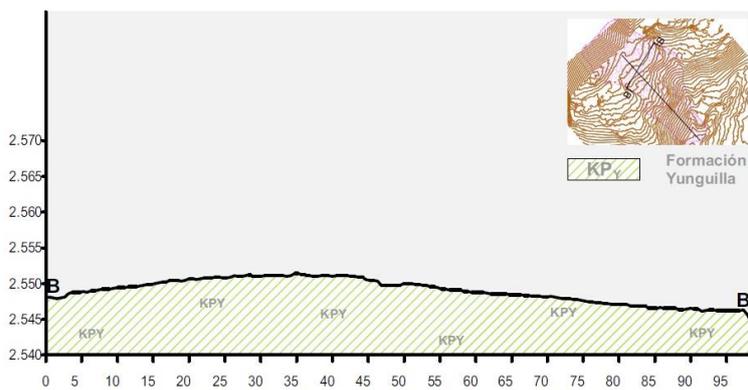
<b>Traslacional</b>	
Pendiente	Constantes
Fallamiento	Discontinuidades geológicas
	Planos estratificados
Tipo de movimiento del material	Hacia afuera y hacia abajo
	Distancias considerables (Pendiente)
Velocidad	Lenta
Tipo de material	No consolidados
	Suelos sueltos
	Blandos o coluviones
Fracturación	Vertical y paralelo al talud
Rasgos morfológicos	Protuberancias en la punta de la cabecera
	Superficie ruptura plana o ligeramente ondulada
	Poca o nula inclinación hacia atrás
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Aumento de agua
	Meteorización

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.41 Perfil A-A` Jadán**

Fuente: Elaboración propia



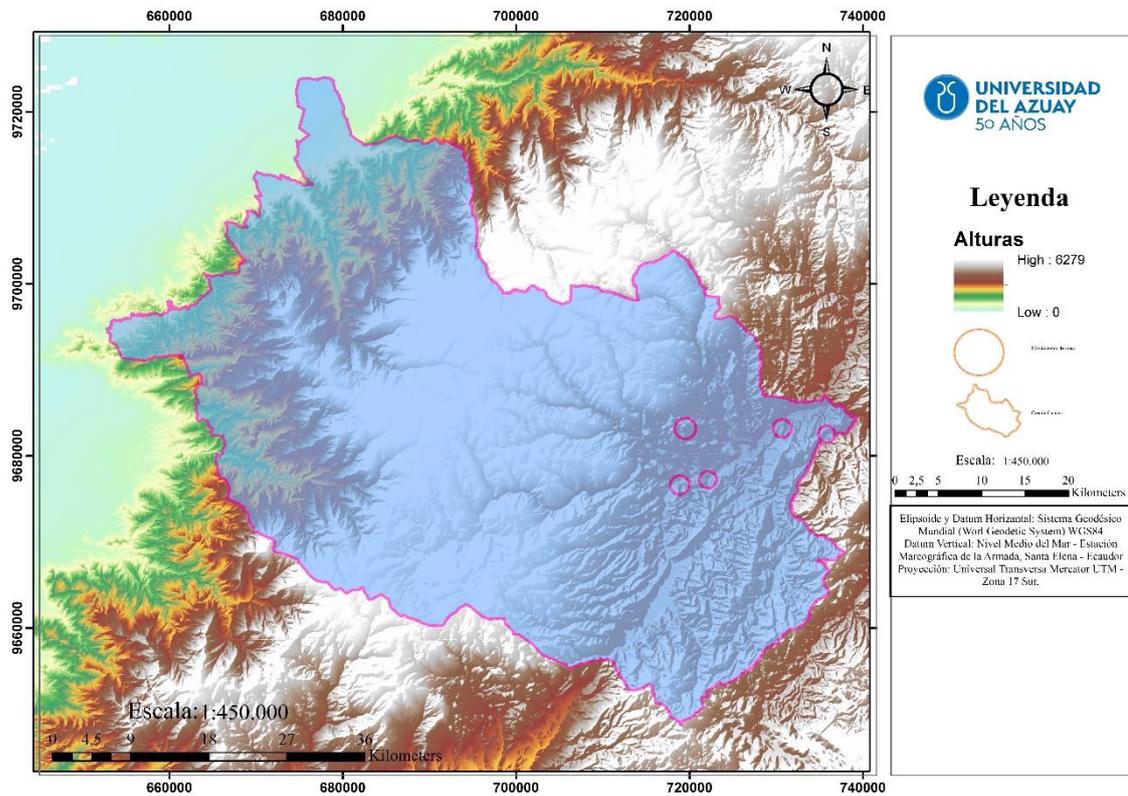
**Figura 2.42 Perfil B-B` Jadán**

Fuente: Elaboración propia

### 2.3 Mapa de inventario

Con el conocimiento de que un movimiento de masa tiene o ha tenido lugar en un determinado terreno, y obtenida si tipificación, es importante conocer la ubicación espacial. Gracias a los sistemas de información geográfica, los cuales nos permite ubicar cada uno de estos de manera georreferenciada, obteniendo una distribución de zonas inestables y movimientos de ladera de una región y representado en un mapa. Si la región donde se encuentran ubicados estos eventos naturales es muy extensa, se pueden expresar como puntos en el mapa, con el objetivo de que el técnico responsable pueda determinar su ubicación.

Por su puesto que esto puede mostrar algún error debido a que la escala del mapa permitirá representar grandes extensiones de terreno y un punto dentro de este puede encontrarse desplazado del lugar exacto, anqué el objetivo primordial es representar el lugar de ocurrencia, conociendo así ya las zonas de una determinada región donde pueden ocurrir estos movimientos de tierra.



**Figura 2.43 Mapa de inventario escala 1:450000**

Fuente: MDT30m, SIGTIERRAS, 2010.

A continuación, se presenta el mapa de inventario de movimiento de masa dentro del cantón Cuenca seleccionados para el estudio, estas zonas son Carmen del Guzho, Nulti, Universidad del Azuay (Gapal), Sinicay sector Pumayunga, Vía a Jadán. Todos ubicados en la zona urbana y rural de la Ciudad de Cuenca.

#### **2.4 Delimitación del deslizamiento con ortofotografía levantada con drone**

Una ortofoto es una representación fotográfica de la superficie del terreno, donde las deformaciones debidas al desplazamiento por relieve e inclinación de la cámara han sido corregidas, teniendo las mismas características métricas de un mapa. (Jáuregui, et.al. 2006). El levantamiento realizado proporciona ortofotos de las zonas de estudio con una

resolución de 40 metros, con una altura de vuelo de 120 metros, que nos permite visualizar elementos presentes en la zona con una calidad muy buena.

Para la obtención de estas imágenes, se procede a realizar un vuelo con dron (Inspire 2, con cámara de 20mp), durante el vuelo se obtienen imágenes que dependiendo del área de vuelo variará el número de capturas (80 para la Universidad del Azuay, 120 para Jadán, etc.), todas las imágenes obtenidas deben ser procesadas dentro de un programa informático, en el que se produce un solapamiento de estas, tomando en cuenta puntos georreferenciados, gracias a que el dron ya monta un GPS; durante el solapamiento de imágenes una ortofotos del plan de vuelo propuesto se crea, obteniendo como producto una sola imagen perteneciente al sitio de interés. Gracias a la obtención de esta imagen y por medio de la gran calidad que nos brinda la misma, fue posible delimitar los límites de los diferentes deslizamientos, debido a que estos se aprecian de manera clara y se encuentran bien definidos, visualizando en la mayoría de los sitios de interés la corona, límites derecho e izquierdo, cuerpo y pie.

A continuación, se muestra la ortografía de cada zona de estudio, con la delimitación del deslizamiento:

#### 2.4.1 Carmen del Guzho



**Figura 2.44** Ortofoto Carmen del Guzho

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.2 Universidad del Azuay (Gapal)



Figura 2.45 Ortofoto Universidad del Azuay (Gapal)  
Fuente: Elaboración propia

### 2.4.3 Nulti

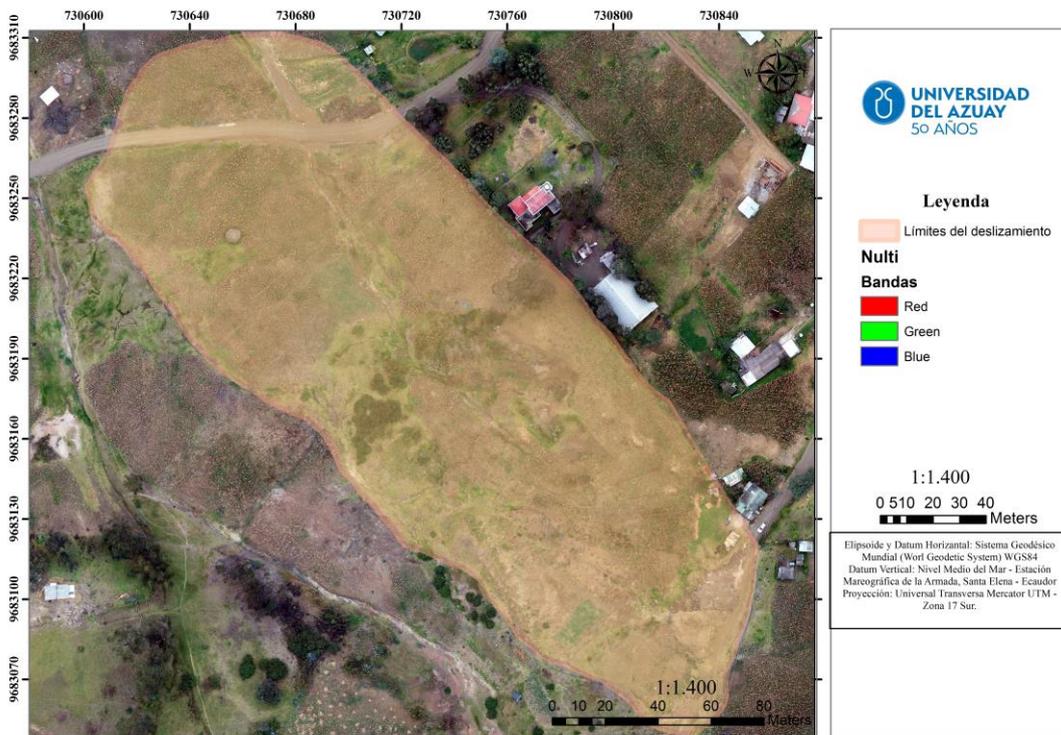


Figura 2.46 Ortofoto Nulti  
Fuente: Elaboración propia

### 2.4.4 Sinincay sector Pumayunga



Figura 2.47 Ortofoto Sinincay sector Pumayunga  
Fuente: Elaboración propia

### 2.4.5 Jadán



Figura 2.48 Ortofoto Jadán  
Fuente: Elaboración propia

## 2.5 Levantamiento topográfico con dron de los deslizamientos

La topografía es una técnica usada alrededor del mundo, esta no permite generar una representación plana de la realidad tridimensional de una porción de terreno un nivel alto de detalle, y al mismo tiempo obteniendo una proyección ortogonal en un plano XY. En este plano la topografía permite que se pueda colocar un punto de manera precisa y la sucesión de estos puntos mostrará la realidad de la superficie del terreno conocido como planimetría.

Un punto importante de la topografía y su estrecha relación con nuevos programas informáticos es que, por medio del uso de estos, resulta más sencillo la introducción de un valor Z el cual nos permitirá iniciar un levantar de altimetría.

Conforme la tecnología progresa, los métodos e instrumentos usados para el levantamiento topográfico se ven en constante desarrollo. Haciendo un poco de retrospectiva llegamos al uso del teodolito que es un instrumento óptico usado por mucho tiempo por diferentes profesionales de las ramas ingenieriles, el cual de manera general mide ángulos tanto horizontales como verticales y a su vez distancia y alturas. Posteriormente se desarrolla la estación total, la cual por medio de un distanciómetro y un microprocesador puede determinar altimetría, distancias y ángulos, usando prismas los cuales reciben una onda infrarroja que rebota y permite medir un punto, la ventaja del uso de estos equipos es que la información puede estar referenciada a un sistema único de coordenadas como el UTM / WGS84 17S, entre otros, elegidos por la experiencia o requerimientos del técnico.

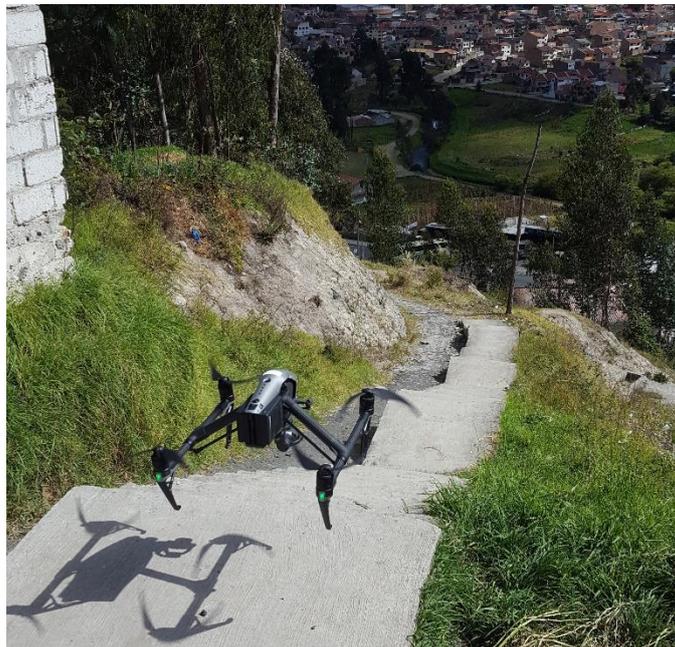
En los últimos tiempos con la aparición de métodos más sencillos para realizar fotogrametría, como es el uso de los drones, el levantamiento topográfico ha presentado cambios, debido a que ya no es absolutamente necesario portar equipos como estación total al campo, sino por medio de la obtención de un ortofotografía georeferenciada y gracias a programas informáticos, estas imágenes son sometidas a un solapamiento obteniendo un modelo digital del terreno, a partir del cual se puede procesar la planimetría y altimetría.

En el presente trabajo para el levantamiento topográfico, se usa la fotogrametría como método para tener una representación del terreno, en la cual se visitaron los diferentes sitios de interés, donde un análisis visual de la situación de los diferentes movimientos de

masa permite generar un plan de vuelo, delimitado un sistema de doble grilla (drone captura imágenes tanto a lo largo como a lo ancho del sitio de interés), obteniendo un número considerable de ortofotos las cuales posteriormente son procesadas en computadora, generando finalmente un modelo digital del terreno.



**Figura 2.49** Vuelo de drone en Pumayunga



**Figura 2.50** Vuelo drone en Carmen del Guzho

A continuación, se muestra la ortofotografía y el levantamiento topográfico realizado en las zonas de estudio, en el cual se obtiene las curvas de nivel del terreno y se delimita el deslizamiento de tierra a partir del modelo digital del terreno obtenido por el método antes descrito. Tomando en cuenta que el propósito del estudio es determinar una posible ocurrencia de un evento de movimiento de masa, para el levantamiento planimétrico, por medio del uso de programas informáticos, se filtró la información del MDT con el objetivo de obviar la mayor cantidad de estructuras civiles, árboles y vegetación.

### 2.5.1 Carmen del Guzho

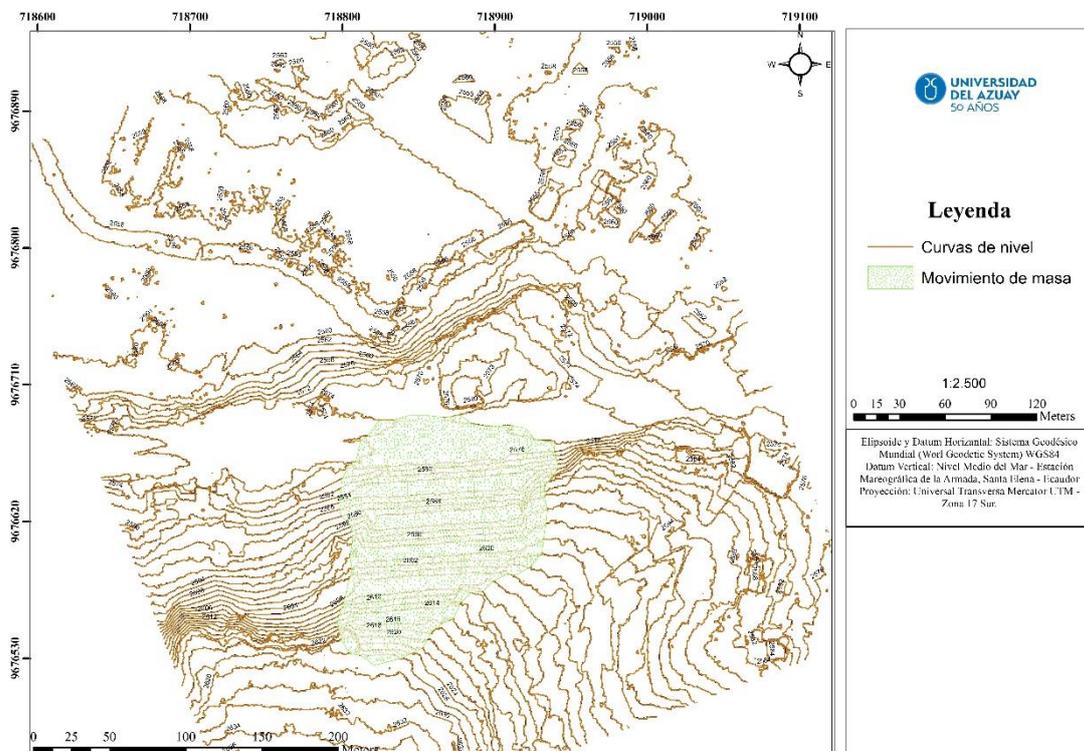


Figura 2.51 Levantamiento topográfico Carmen del Guzho

2.5.2 Nulti

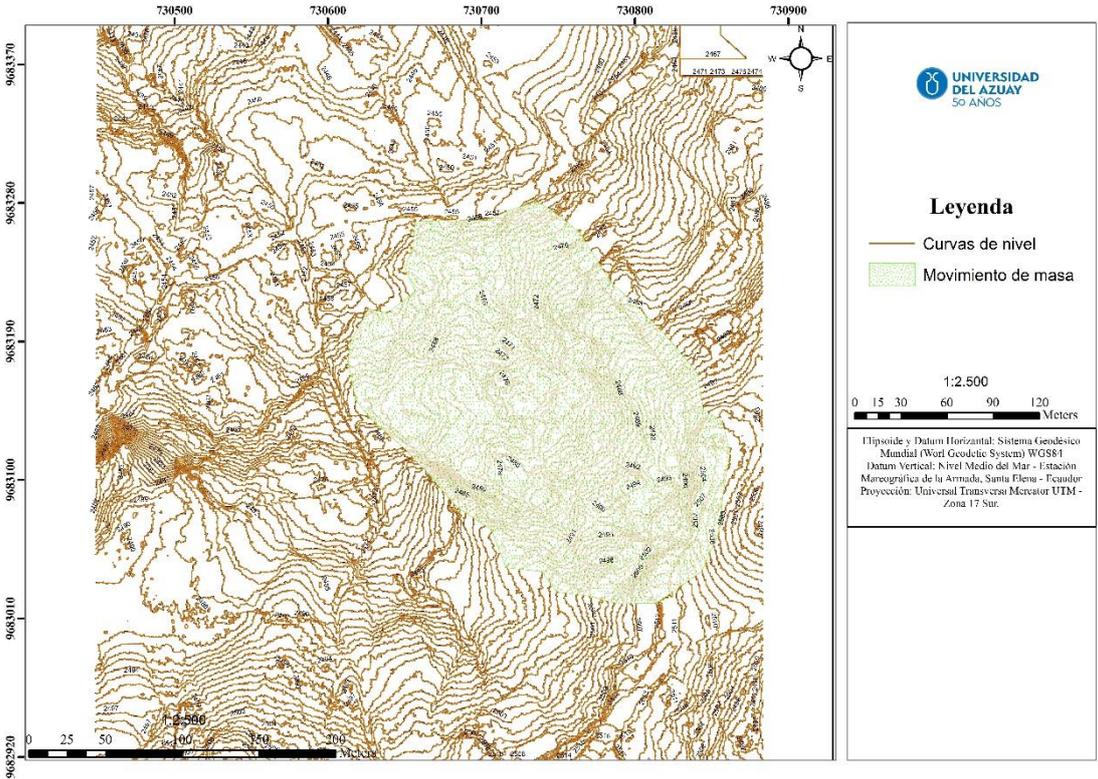


Figura 2.52 Levantamiento topográfico Nulti

2.5.3 Universidad de Azuay (Gapal)

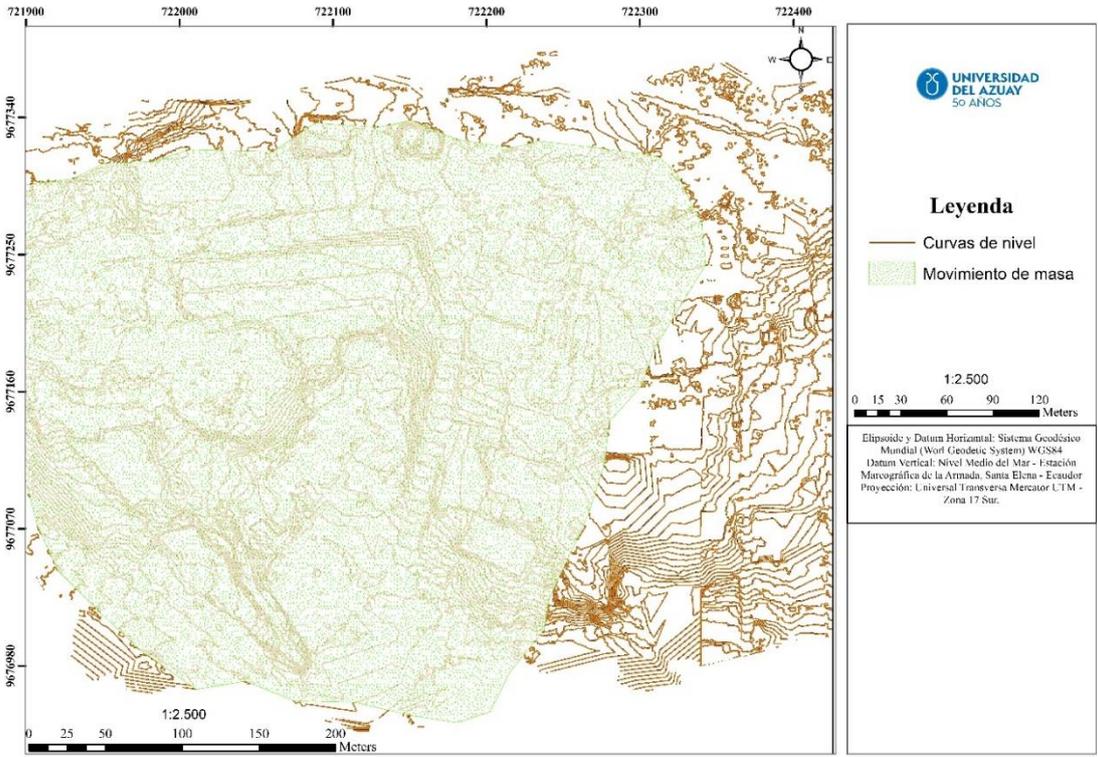


Figura 2.53 Levantamiento topográfico Universidad del Azuay (Gapal)

### 2.5.4 Sinicay sector Pumayunga

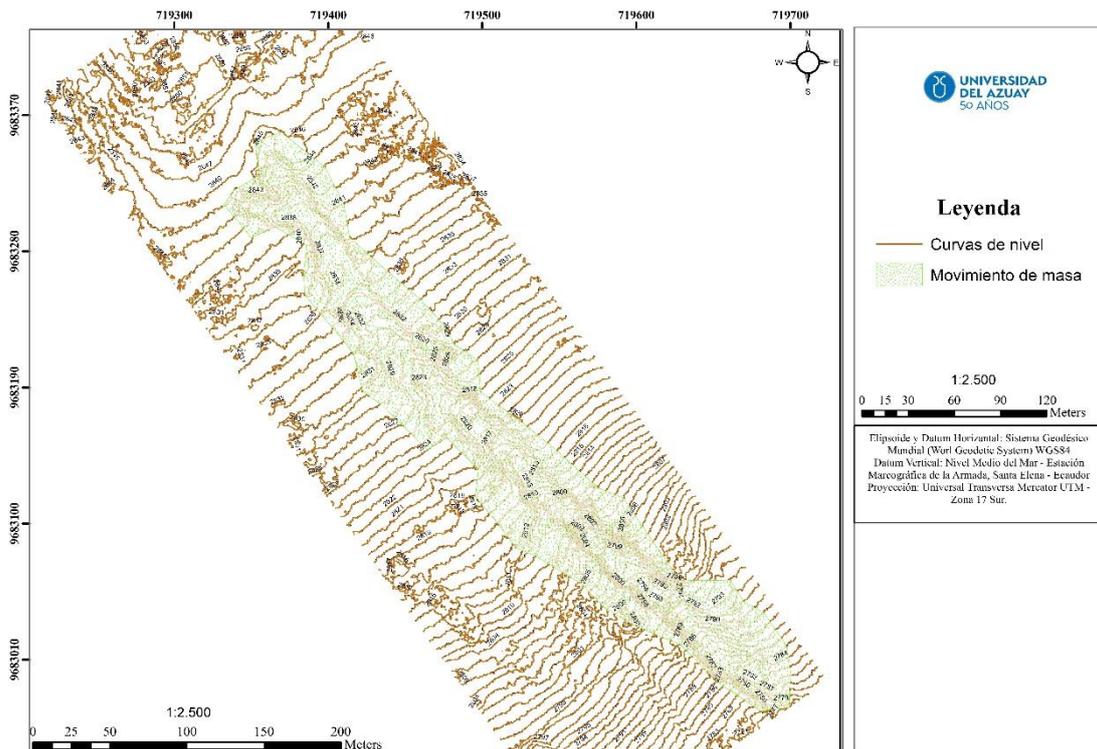


Figura 2.54 Levantamiento topográfico Sinicay sector Pumayunga

### 2.5.5 Vía a Jadán

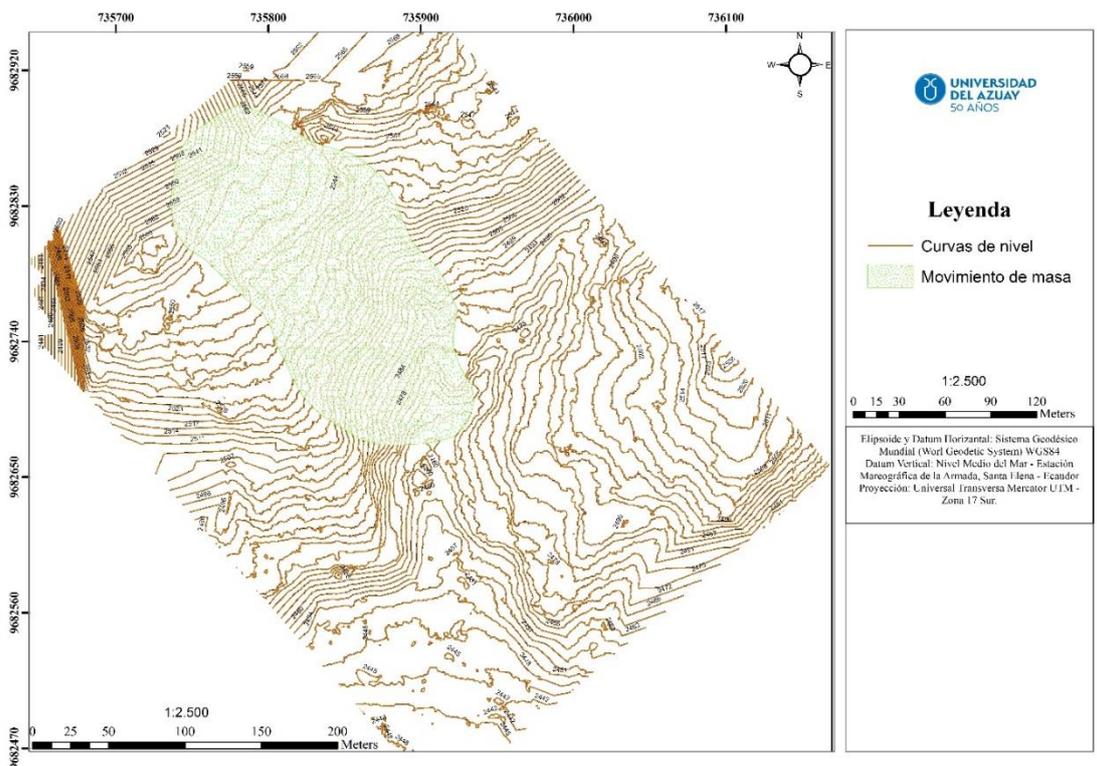
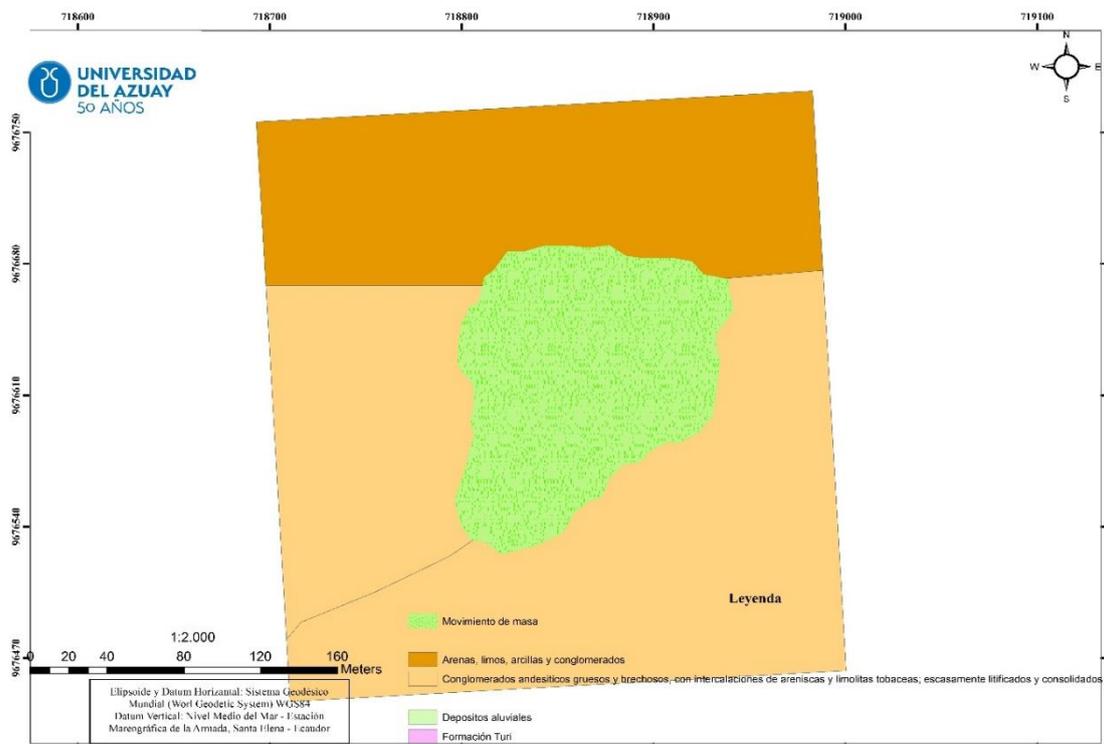


Figura 2.55 Levantamiento topográfico Vía a Jadán

## 2.6 Levantamiento geológico de los movimientos de masa

La geología de una determina zona corresponde a los materiales que la componen, gracias a diferentes estudios realizados por entidades del gobierno del Ecuador como es el caso del proyecto SigTierras, el cual en el año 2010 presento un mapa de geomorfología del Ecuador, en el cual por medio de prospección en campo equipos de investigadores y profesionales realizaron diferentes muestreos alrededor del país, obteniendo datos sobre las formaciones geológicas y materiales presentes. En el presente trabajo se utiliza el mapa de Geomorfología; SIGTierras; 2010 actualización a 2018.

### 2.6.1 Carmen del Guzho



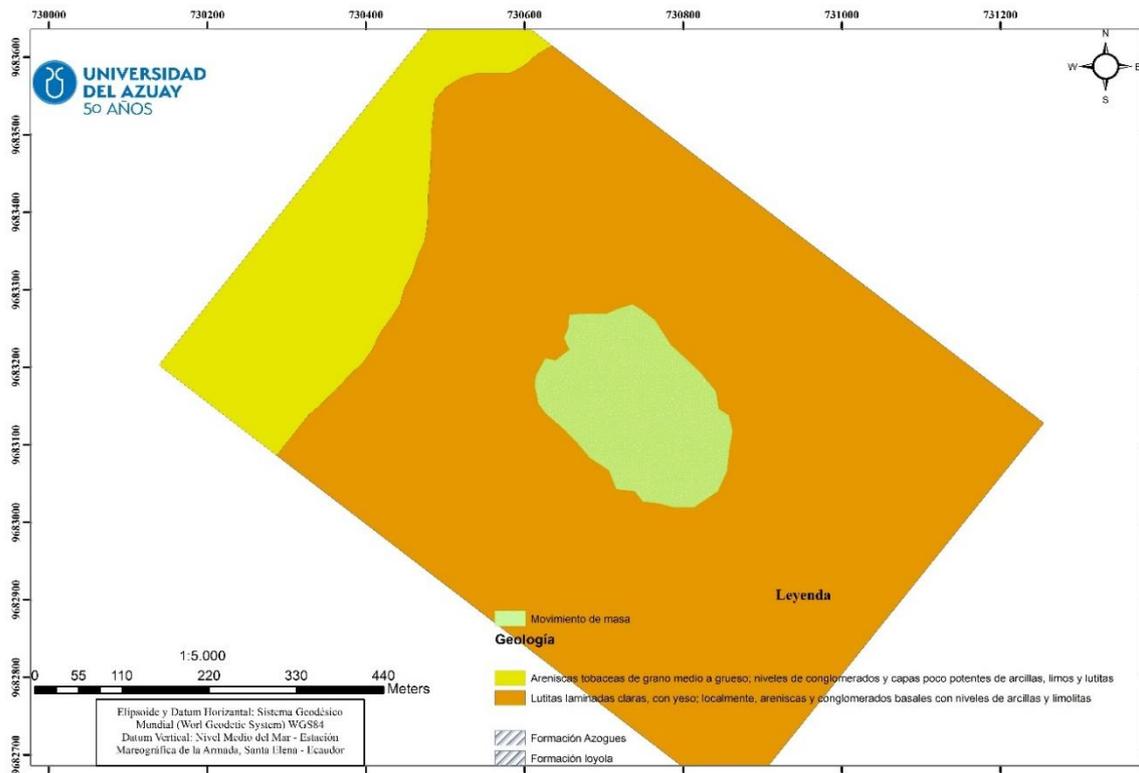
**Figura 2.56 Geología Carmen del Guzho**

Fuente: Geomorfología; SIGTierras; 2010 actualización a 2018.

### Geología

Pertenciente a la parroquia turi y siendo parte de la formación geológica turi, y de un deposito aluvial, el terreno de Carmen del Guzho cuenta con materiales como arenas, limos, arcillas, contrastado con capas de conglomerados andesíticos gruesos y brechosos poco consolidados con intercalaciones de areni

## 2.6.2 Nulti



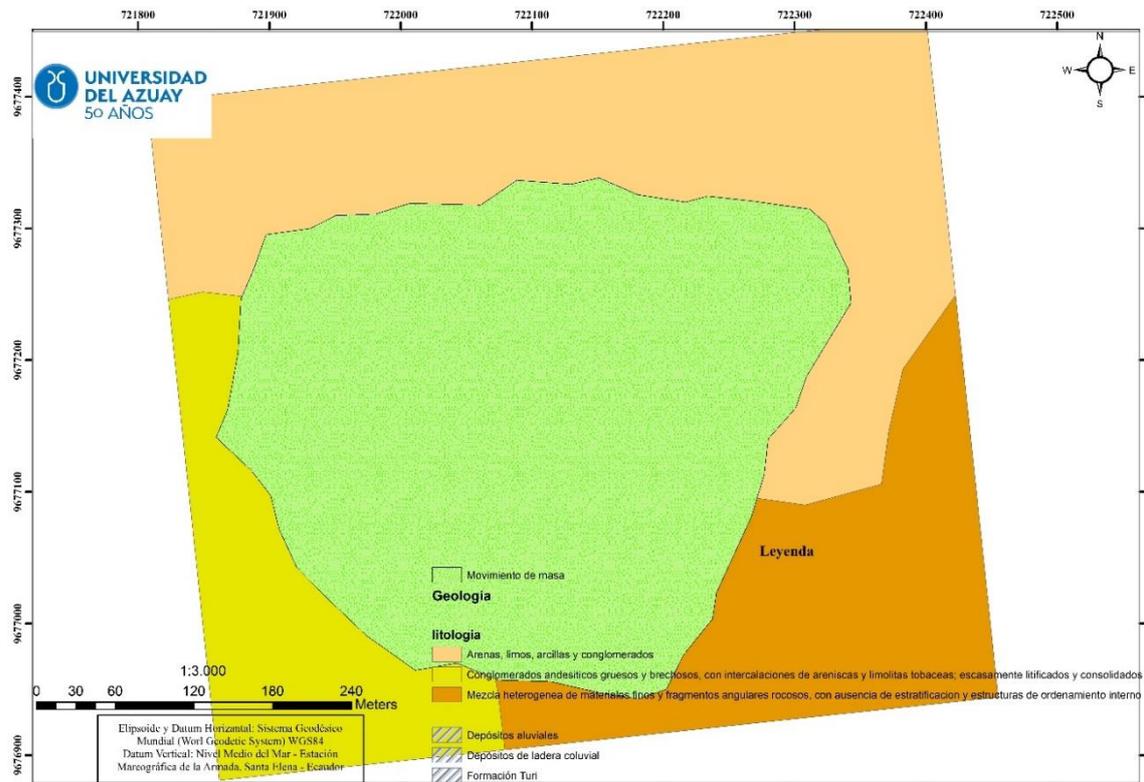
**Figura 2.57 Geología Nulti**

Fuente: Geomorfología; SIGTierras; 2010 actualización a 2018.

### Geología

Pertenciente a la parroquia Nulti el movimiento de masa activo en la zona se encuentra ubicado en la formación Azogues y la Loyola, con presencia de materiales como areniscas de grano medio con conglomerados y capas de arcillas, limos y Lutitas, además una fuerte presencia de lutitas claras, areniscas con conglomerados (capas de arcilla y limonitas)

### 2.6.3 Universidad del Azuay (Gapal)



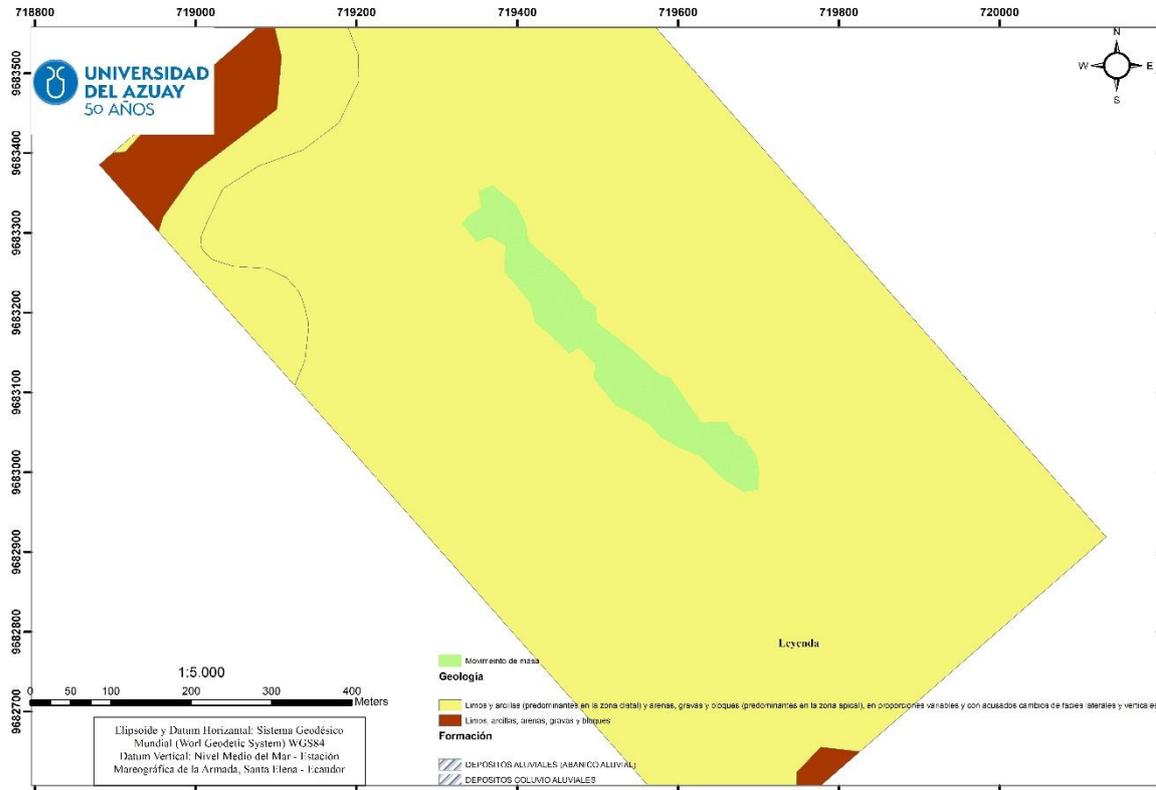
**Figura 2.58 Geología Universidad del Azuay (Gapal)**

Fuente: Geomorfología; SIGTierras; 2010 actualización a 2018.

### Geología

Ubicado en la parroquia Cuenca, este movimiento de masa se encuentra intersectado por la formación geológica turi, además de encontrarse materiales pertenecientes a depósitos aluviales y de ladera coluvial. Por lo que se puede apreciar una presencia de arenas, limos, arcillas, con conglomerados andesíticos gruesos con intercalaciones de areniscas y limonitas poco consolidados. Así como una presencia de materiales finos y fragmentos angulares dentro de una mezcla heterogénea con ausencia de estratificación.

### 2.6.4 Sinincay sector Pumayunga

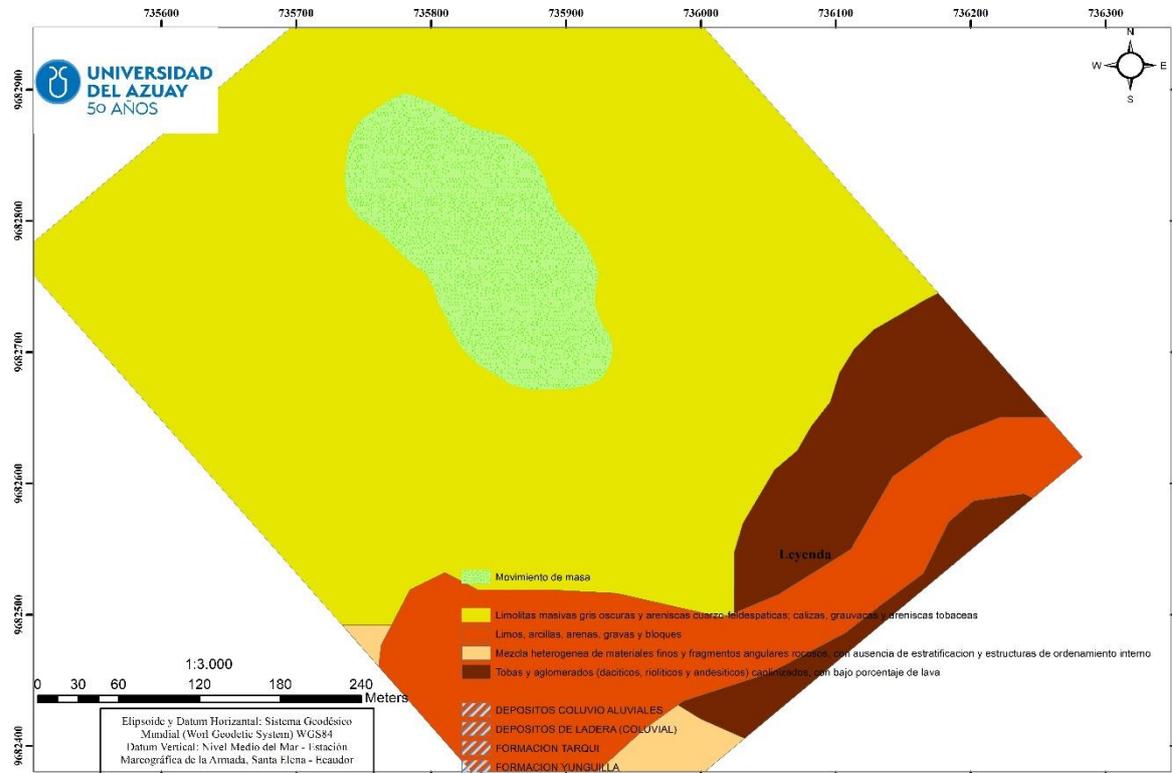


**Figura 2.59 Geología Sinincay sector Pumayunga**  
 Fuente: Geomorfología; SIGTierras; 2010 actualización a 2018.

### Geología

Pertenciente a la parroquia Sinincay, dentro de un depósito aluvial y coluvio aluviales, en la ubicación del movimiento de masa se puede encontrar una serie de materiales como limos, arcillas en la zona distal, así como arenas y bloques en la zona apical.

## 2.6.5 Vía a Jadán



**Figura 2.60 Geología Vía a Jadán**

Fuente: Geomorfología; SIGTierras; 2010 actualización a 2018.

## Geología

Ubicado en la parroquia Nulti del Cantón Cuenca, esta zona de carácter minero del cantón se encuentra ubicada sobre las formaciones geológicas Tarqui y Yunguilla, y con depósitos pertenecientes a un coluvio aluvial. En la zona se puede encontrar una serie de materiales como limonitas masivas y areniscas cuarzo feldespáticas, areniscas, gravucas, además de una presencia de limos, arcillas con materiales finos y fragmentos angulares en mezcla heterogénea, finalmente encontrando tobas y aglomerados dacíticos y andesíticos.

## **2.7 Método aplicado de evaluación a la susceptibilidad de los deslizamientos.**

“Una metodología es una sistematización de métodos o elementos que trabajaran de manera conjunta con el objetivo de construir conjeturas, respaldadas y sustentadas en un conocimiento ya desarrollado dentro un campo científico o de estudio Gómez”. (2006), por lo que es necesario plantear una serie de pasos y factores a analizar con el objetivo de obtener información más compleja con base en la ya disponible y desarrollando métodos estandarizados y probados que contribuyan a la sociedad y busquen el bien común. Basando en estas premisas plantear una metodología o un análisis de datos relacionados con los factores a los que se encuentran sujetos los movimientos de masa y generar una aproximación a su susceptibilidad, es uno de los objetivos a los que se refiere el presente trabajo.

Para el desarrollo de la susceptibilidad de los movimientos de masa se ha visto la necesidad de analizar las metodologías desarrolladas y usadas tanto en el Ecuador por sus organismos estatales (Instituto Espacial Ecuatoriano, Gestión de Riesgos del Ecuador), y metodologías internacionales como es la perteneciente a la cartografía de riesgos naturales de España y la proporcionada por Jaime Suarez, en Colombia.

Comparar estos conocimientos sobre la susceptibilidad de los movimientos de masa y buscar una metodología que facilite el análisis de este, ajustándola de cierta manera a la realidad técnica, tecnológica de la ciudad y al acceso de la información requerida, permite tener una idea más cercana a la realidad del territorio y el desencadenamiento de estos fenómenos.

Se ha extraído de diferentes fuentes el conocimiento y la teoría acerca de este tema, optando por el uso de factores que explican los diferentes autores y organismos, buscando mantener su apreciación del peso, magnitud o ponderación dentro del análisis. Los factores que se han seleccionado para el presente estudio son los correspondiente a pendientes del terreno, suelo, geología, geomorfología, uso y cobertura vegetal, los cuales han sido obtenido por diferentes fuentes de información que incluyen entidades gubernamentales, privadas y recolectados directamente en el campo.

Diferentes metodologías para la evaluación de la susceptibilidad se han desarrollado, entre estos autores tenemos a (Crozier 1986), quien propone una tabla donde se da un

orden numérico a la susceptibilidad de que se genere un movimiento de masa en base a la morfología del terreno explicado en la siguiente tabla:

**Tabla 2-6 Susceptibilidad con base en morfología**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Criterio</b>
Muy alta	Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos pueden ser continuos o estacionarios
Alta	Taludes sujetos con frecuencia a actividades de deslizamientos. La activación de los deslizamientos resulta cuando ocurren eventos con intervalos de recurrencia menor a cinco años
Media alta	Taludes con actividad de deslizamientos poco frecuente. La activación de deslizamientos ocurre en los eventos con intervalos de recurrencia mayores a cinco años.
Mediana	Taludes con antigua evidencia de actividad de deslizamientos, pero que no han presentado movimientos en los últimos cien años
Baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos, pero que se consideran probables que se desarrollen en el futuro
Muy baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos y que por análisis se considera muy improbable que se desarrollen nuevos

Fuente: Crozier 1986

En el transcurso del tiempo, dentro del análisis de susceptibilidad de movimientos de masa, muchos factores afectan a la susceptibilidad de estos fenómenos, entre los principales tenemos:

- Mecánica de suelos
- Talud crítico
- Vegetación
- Discontinuidades importantes
- Sistema de drenaje

Según (Sakar y Kanugo 2004), se requiere de estudios previos, aplicando la teoría acerca de estos procesos, para poder generar información confiable para determinar el grado de

susceptibilidad de un deslizamiento. Se muestra a continuación, criterios desarrollado por los autores para la susceptibilidad:

**Tabla 2-7 Susceptibilidad criterios**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Criterio</b>
Muy alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe una alta posibilidad de que ocurran
Alta	Laderas que tiene zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran
Moderada	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, donde no han ocurrido deslizamientos, pero no existe completa seguridad de que no ocurran
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos
Muy baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos

Fuente: Sakar y Kanugo 2004.

### **2.7.1 Factores desencadenantes**

Parte primordial de un deslizamiento es la geología que lo compone, sabiendo que cualquier material es propenso a propiciar la actividad de un deslizamiento, dependiendo de ciertas condiciones, que se pueden considerar externas para que se genera una ruptura de las fuerzas que lo rigen, es decir que las fuerzas externas que actuaran serán mayores la de resistencias de estos materiales.

### **2.7.2 Factores detonantes**

De acuerdo a esto se han catalogado los diferentes factores que pueden llegar a provocar un evento, y dentro de los principales factores tenemos:

## **Erosión**

La erosión es un fenómeno, que se da por la interacción de una determinada área con factores que cambian las condiciones de los materiales que se encuentran dispuestos tanto en su geología como geomorfología, estos factores según Romero M (2002) son la acción del agua, el viento, las variaciones de temperatura, la gravedad, los glaciares y las oscilaciones de los niveles de la base. Generalmente este es un proceso que puede tomar años, o puede ser extremadamente rápido como es el caso de una creciente de un río que genera cambios bruscos en las bases de los taludes de las laderas provocando un debilitamiento de estas.

Pero la erosión no solo es de carácter natural, el hombre y su actividad provoca grandes cambios en la topografía, litología, y cobertura vegetal de los terrenos, causando que estos se vean más propensos a sufrir debilitamientos de su estructura y provocado igualmente que la erosión natural actué de manera más significativa.

## **Desgaste**

Este es un factor producto directo de la erosión, como su nombre lo dice es una alteración o desgaste de una roca, durante periodos muy largos, de esta manera la roca inicialmente inalterada, por acción del agua y del viento principalmente empieza a sufrir un cambio en su resistencia, dureza, plasticidad, elasticidad, generando regolitos propensos al deslizamiento.

## **Precipitaciones**

La precipitación es un fenómeno de carácter natural que se da por las fases de evaporación y condensación del agua y cambio de corrientes, esta es la que se encarga de mantener una estabilidad en el ciclo hídrico de la tierra, pero durante tiempos de invierno se puede convertir en un problema, por el exceso de agua que puede generar en la superficie de la tierra.

Dentro del contexto de los deslizamientos, el agua se encuentra dentro de los principales desencadenantes, de esta manera las lluvias generan que las masas de material se vean afectadas y sus fuerzas de resistencia disminuyan, principalmente porque al aumentar de manera brusca la cantidad de agua en el terreno tanto de escorrentía superficial como nivel freático, una saturación es inevitable y genera un aumento de su peso y densidad.

Se debe tomar en cuenta que existen tipos de precipitaciones que generan que este evento se desencadene, ya que lluvias esporádicas y de corta duración no generaran grandes cambios en taludes y laderas, pero como se menciona anteriormente en épocas generalmente de invierno estas son un factor a tomar mucho en cuenta para el análisis de eventos de masa.

Así las principales precipitaciones que promueven la ocurrencia de un deslizamiento son:

- Precipitaciones con altos volúmenes de agua durante tiempos muy cortos.
- Precipitaciones con bajos volúmenes de agua durante tiempos muy prolongados.

### **Sismicidad**

Dentro de los factores que provocan un movimiento de masa, los sismos son evento naturales no controlables ni predecibles por el hombre, que se genere un debilitamiento de los taludes o laderas que ya poseen características o están propensos a deslizamientos, esto debido a vibraciones bruscas que estos generan según Highland y Bobrowsky P. (2008), los sismo hacen que se rompan las fuerzas de inercia de los materiales, pueden provocar una licuefacción de los materiales creando superficies deslizantes, durante el sismo los materiales pueden volverse a acomodar y dilatar, se puede generar un fallamiento agrietando la roca.

### **Actividad antrópica**

El ser humano conforme aumenta su población, se ve en la necesidad de buscar nuevos lugares donde asentarse o en otras palabras construir nuevos pueblos, ciudades o en su caso expandir el casco urbano, de por la falta de terreno sano es decir con condiciones estables y favorables para la construcción, cada vez más existen más asentamientos cercanos a lugares donde las condiciones topográficas son menos favorables.

Debido a lo anteriormente señalado la actividad antrópica en el territorio se ha convertido en otro desencadenante, Highland y Bobrowsky (2008), entre los factores que genera el ser humano se encuentran los siguientes:

- Perturbaciones o cambios en los sistemas de drenaje.
- Desestabilización de las pendientes.
- Eliminación de la cobertura vegetal.
- Aumento excesivo de las pendientes.
- Saturación del suelo por agua.

### 2.7.3 Evaluación de la susceptibilidad de un deslizamiento

Un deslizamiento es producto de una serie de factores desencadenantes; para lograr una correcta evaluación de la susceptibilidad, debemos basarnos en ciertos métodos desarrollados. Estos métodos como todos los análisis deben constar de dos etapas las cuales pueden funcionar también por separado, según el Highland y Bobrowsky (2008), son la de observación directa y el uso de herramientas tecnológicas.

La observación directa es la primera a tomar en cuenta, debido a que nos permite constatar la actividad de algún problema relacionado a un movimiento de masas, como su nombre lo dice esta se debe realizar directamente en el campo y puede ser sujeto de verificación de cualquier persona, pero siempre es recomendable que un técnico en el área la realice y emita sus conclusiones. El manual de la USGS ha planteado una serie de parámetros que pueden ser observables in situ los cuales se exponen a continuación.

**Tabla 2-8 Características que pueden indicar un deslizamiento**

<b>Características que pueden indicar un deslizamiento</b>
Manantiales, filtraciones y suelos húmedos o saturados en las zonas anteriormente secas en o debajo de laderas.
Grietas en la tierra; grietas en la nieve, el hielo, la tierra o la roca o en la cima de las laderas
El suelo se aleja de los cimientos.
Las aceras o losas se alejan de las estructuras si están cerca de una pendiente.
Cercas torcidas que antes estaban rectas o configuradas de otra manera
Carreteras o caminos hundidos o sumidos
Protuberancias poco usuales o cambios de elevación del suelo, los pavimentos, caminos, o aceras.
Inclinación de postes telefónicos, árboles, muros de contención, cercas.
Inclinación excesiva o grietas en pisos de concreto y cimientos.
Rotura de las tuberías de agua y de otros servicios subterráneos.
Rápido aumento o disminución de los niveles de agua corriente, posiblemente acompañado de aumento de la turbidez.
Las puertas y ventanas se atascan y hay espacios abiertos visibles, lo que indica las paredes y marcos se están moviendo y deformando.
Chirridos, chasquidos o crepitaciones de una casa, edificio o arboledas

Fuente: Highland y Bobrowsky (2008).

Como siguiente paso se encuentra el análisis con herramientas tecnológicas, en esta etapa de evaluación es completamente necesaria la intervención de uno o más expertos en el

área ya que de esta parte la comprensión de la situación actual de un deslizamiento o conocer si se puede dar un posible evento. Para llevar a cabo esto es necesario conocer ciertos aspectos que nos arrojen información confiable y que pueda ser utilizada para interpretar la peligrosidad de estos eventos, es decir aspectos que pueden ocasionar una inestabilidad en el talud o ladera.

Para adentrarnos en este tema es necesario conocer como primera instancia la historia detrás de un evento en específico, así los registros geológicos, geomorfológicos, hidrológicos nos van a dar una pauta de cómo se generó el inicio de un deslizamiento y nos permitirá evaluar cómo se podría comenzar un nuevo problema.

Según Highland y Bobrowsky (2008), se debe seguir una serie de pasos para llegar a sacar conclusiones la susceptibilidad de un movimiento de masa, por lo que a continuación se enlistan los pasos a seguir, tomando en cuenta que dependiendo de la situación técnica y tecnológica del sitio de estudio no siempre se podrán llevar a cabo todos.

1. Análisis de mapas: Esta parte de la evaluación se basa en obtener toda la información que se tenga disponible sobre el área de estudio, generalmente los más comunes suelen ser los geológicos, cartográficos y de riego que se encuentren disponibles.
2. Reconocimiento aéreo
3. Reconocimiento de campo
4. Perforación
5. Instrumentación
6. Estudios geofísicos
7. Análisis computarizados de deslizamientos

Lo que se busca por ende es presentar una metodología que pretenda ser aplicada en sitios del cantón Cuenca , a escala 1:25.000, ayudando a obtener una idea más cercana y acertada del niveles de susceptibilidad que diferentes zonas como son , Carmen de Guzho, Nulti, Vía a Jadán, Pumayunga, y Gapal , de tal forma que los tomadores de decisiones a nivel local puedan realizar un adecuado ordenamiento territorial y establecer políticas apropiadas en el ámbito de la gestión de riesgos, y por sobre todo contribuyendo con la población, salvaguardando su integridad.

El mapeo de la susceptibilidad de los movimientos de masa, cobra importancia dentro del análisis de estos fenómenos aportando conocimiento certero de que tan propenso es el territorio a presentar algún tipo de inestabilidad y por lo tanto que un volumen de material empiece a moverse. Para un correcto mapeo es necesario utilizar ciertas herramientas tecnológicas, como los sistemas de información geográfica que serán indispensables durante el proceso de sistematización de la información, Secretaria de gestión de riesgos. (2017). Tomado en cuenta que estos pueden ser utilizados en diversas áreas científicas relacionadas con la tierra pues nos permitirán almacenar, manipular y actualizar la información y posteriormente bajo un cierto nivel de experticia del profesional trabajando con la adquisición de datos y asignación de la información a ser utilizada, se podrá realizar un correcto análisis y visualización de los resultados contando con una base de datos geográficamente referenciada.

#### **2.7.4 Determinación de las variables**

La determinación de una variable o grupo de variables dentro de un estudio, corresponde a un proceso de búsqueda y segmentación, el cual nace del resultado de una necesidad que adquiere un grado de importancia en razón de un problema específico, y requiere del levantamiento de información nueva o adentrarse en la información que ya se encuentra desarrollada, pero se desea explorar alternativas de su uso, determinando de esta forma los alcances y limitaciones enmarcados por las características de la información fuente. Vieira y Ortiz y Ramírez (2009)

Dentro del presente trabajo se busca que el uso de las variables contrastara con la información que se tiene a disposición de diferentes fuentes especialmente levantada por entidades nacionales y obtenida por medio de trabajos en campo y el procesamiento de estos datos. Secretaria de gestión de riesgos. (2017), comenta que para la determinación y uso de las principales variables a ser tomadas en cuenta para el estudio deben mantener una correspondencia temática y características, que permitan determinar de manera adecuada la amenaza por movimientos en masa y requiere que se considere el orden de importancia que presentan dentro del estudio, tanto para el análisis y procesamiento.

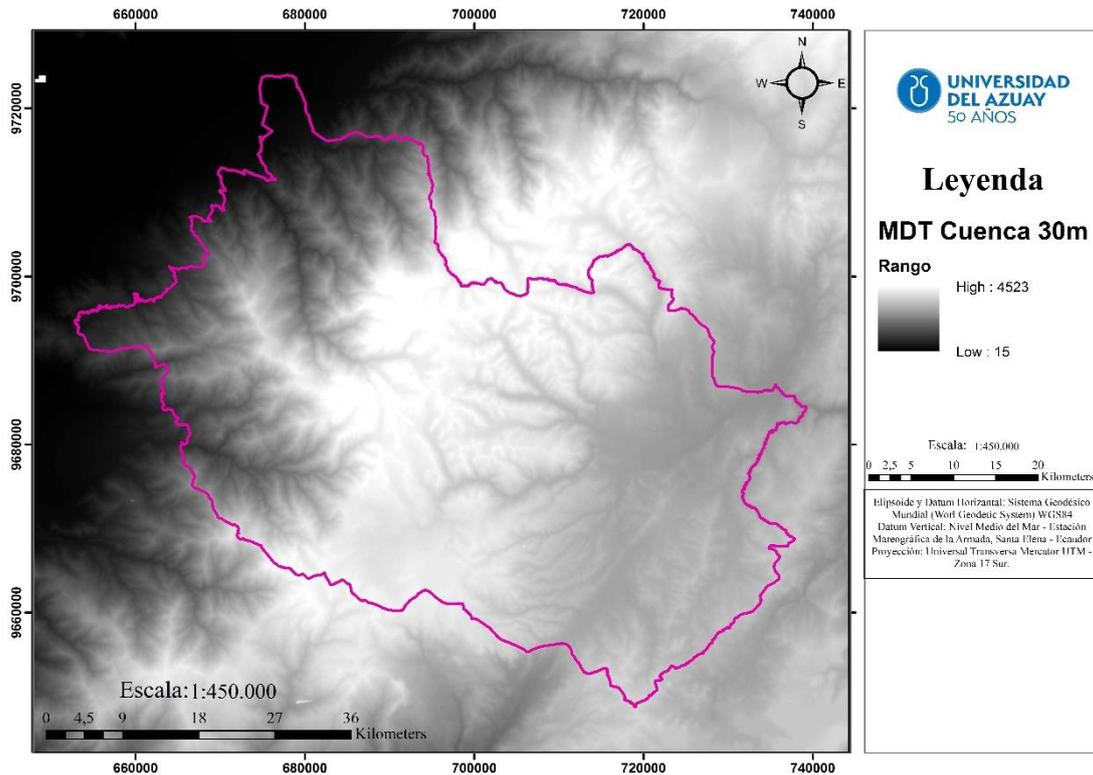
A continuación, se explica cada variable a ser utilizada dentro del estudio de susceptibilidad, las cuales fueran seleccionadas dentro del contexto de la realidad técnica y tecnológica que mantiene el cantón Cuenca.

#### **2.7.4.1 Modelo digital del terreno**

Disponer de un Modelo Digital de Terreno es fundamental como punto de partida, pues este constituye una pieza de información fundamental para el estudio de susceptibilidad debido a que se pueden obtener subproductos necesarios para el análisis.

Un modelo digital del terreno son representaciones de variables cuantitativas con información sobre la superficie terrestre o una porción de terreno, los cuales son creados dentro de un formato un modelo matricial o mejor conocido como modelo raster, por lo que cada elemento con información presente en un MDT, corresponde a un pixel o grid imaginario, que representa una superficie en tres dimensiones correspondiente a un plano ortogonal en (X e Y ) sumando a un dato de altura Z, teniendo como producto una representación espacial cuyas líneas mantendrán una forma ondulada. Bosque (2004). Esta información es de gran utilidad al momento de realizar estudios relacionados con fenómenos geomorfológicos, debido a proporciona una descripción de la superficie terrestre especialmente de manera topográfica y permite realizar diferentes interpretaciones y análisis de los datos representados, tanto para estudios geodésicos, geofísicos o ingenieriles Huerta (2002).

Dentro del presente trabajo se utilizará un modelo digital del terreno, producto de un levantamiento de fotogrametría con drone, el cual es un proceso que mediante el uso de un mosaico de ortofotos que van desde las 500 hasta las 680 fotos para un área determinada capturadas por el drone, en nuestro caso el modelo Dji Inspire II, con una cámara de alta resolución Zenmuse X4s de 20mp, por medio del uso de programas informáticos estas ortofotos individuales se superponen basándose en puntos en terreno georreferenciados, de esta forma el producto es en un mosaico georreferenciado que contiene información sobre el terreno y a partir del cual se obtiene un modelo digital del terreno el cual como se mencionó anteriormente nos será de utilidad para el presente estudio.



**Figura 2.61 Modelo digital del terreno cantón Cuenca**  
 Fuente: Modelo digital del terreno de 30 metros; SIGTierras; 2010.

### 2.7.4.2 Pendientes

Dentro del análisis de susceptibilidad, las pendientes del terreno obtenidas por medio el modelo digital del terreno, adquieren suma importancia debido a que es un factor desencadenante e influyente, pues el desnivel que existe entre la corona y el pie, sumado a la acción de la gravedad que actuará sobre los materiales aumentará la probabilidad de ocurrencia de un movimiento de masas. Para obtener un modelo de pendientes ajustado a la realidad de los deslizamientos es necesario clasificarlas en rangos que nos ayuden a generar nuestro mapa de susceptibilidad, por esto diferentes autores para proponen diferentes clasificaciones, como en el caso del Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos, (2008). donde la metodología propone una clasificación de 3 niveles

**Tabla 2-9 Pendientes Ayala y Olcina (2002)**

Nivel de la pendiente	Grados
Pendientes bajas	<10°
Pendientes medias	10°- 30°
Pendientes altas	>30°

Fuente: Ayala y Olcina (2002)

Suarez (2009), en su libro, propone que las pendientes deben ser clasificadas en 5 niveles, los cuales tendrán un determinado grado de acuerdo al grado en porcentaje que el terreno presente, a continuación, se muestra esta clasificación.

**Tabla 2-10 Pendientes**

<b>Clasificación</b>	<b>Pendiente en porcentaje</b>	<b>Pendiente en grados</b>
Muy baja	0 a 5 %	0 - 3°
Baja	15 a 30 %	9° - 17°
Mediana	30 a 50 %	17° - 27°
Alta	50 a 100%	27° - 45°
Muy alta	Más del 100%	Más de 45°

Fuente: Jaime Suarez (2009)

Finalmente, dentro de las metodologías presentadas por diferentes autores y organismos, Secretaria de gestión de riesgos (2017), propone una clasificación más acorde con las características del suelo nacional, mostrando rangos que son presentados a continuación.

**Tabla 2-11 Pendientes**

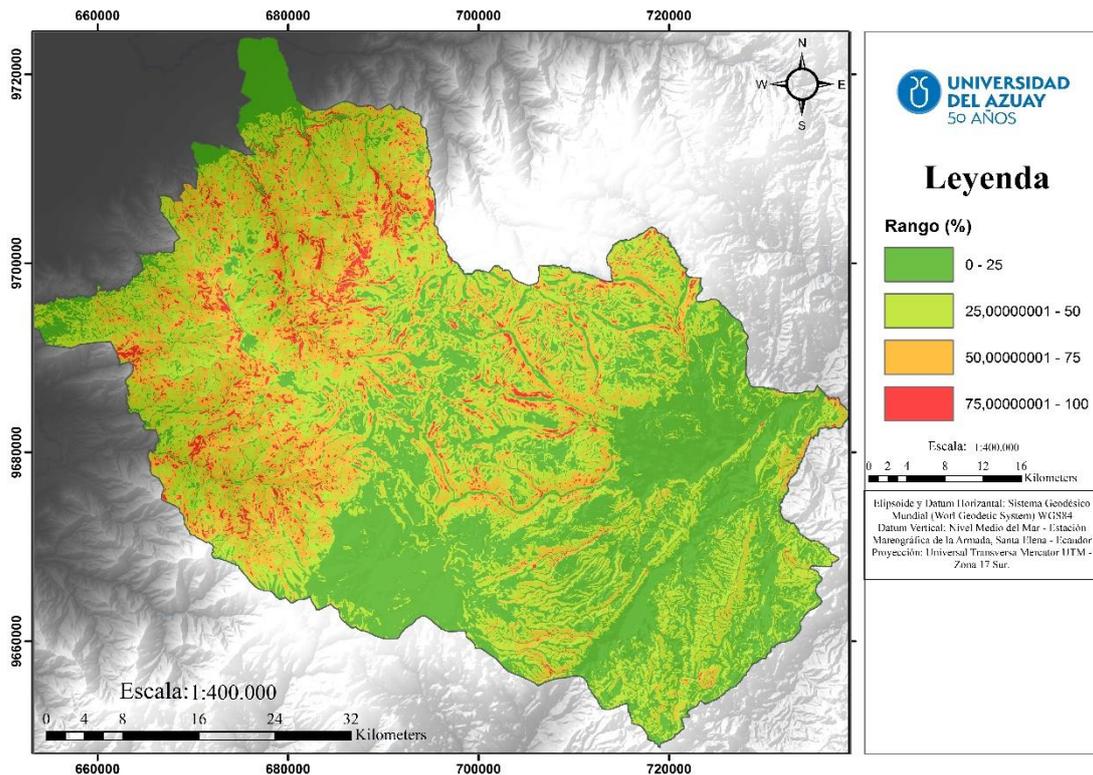
<b>Clase</b>	<b>Rango</b>	<b>Rango</b>
Media	12 – 25 %	7° - 14°
Media a fuerte	25 – 40 %	14° - 22°
Fuerte	40 – 70 %	22° - 35°
Muy fuerte	70 – 100 %	35° - 45°
Escarpada	> a 100 %	> 45°

Fuente: Secretaria de gestión de riesgos (2017).

Mediante el análisis de los diferentes planteamientos realizados por diferentes metodologías utilizadas alrededor del mundo, y en busca de una clasificación para las pendientes del terreno, se busca plantear una clasificación que ayudara a generar el análisis de susceptibilidad de los movimientos de masa que se espera estudiar en el siguiente trabajo.

**Tabla 2-12 Susceptibilidad pendientes**

<b>Pendiente</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Grados</b>
Baja	0 – 25 %	0 - 14°
Media	25 – 50 %	14° - 27°
Alta	50 – 75 %	27° - 37°
Muy alta	75 – 100 % o superior	37° - 45° o superior



**Figura 2.62 Modelo de pendientes cantón Cuenca**

Fuente: Modelo digital del terreno, 30 metro, SIGTierras, 2010

### 2.7.4.3 Geología

La geología es un factor de gran interés dentro de un análisis de susceptibilidad, esta se encuentra expresada de acuerdo a la litología que cada formación presenta en el territorio, es decir cada formación geológica estará compuesta de diferentes materiales los cuales determinaran dependiendo de su tipo, un cierto nivel de susceptibilidad, debido a que muchas de sus características mecánicas como la plasticidad, elasticidad, entre otras, mantienen una relación directa con la ocurrencia de estos fenómenos y sobre todo cuando existe presencia de agua.

Mediante el análisis de las diferentes metodologías se mantuvo el uso de los niveles otorgados a la litología planteados por Secretaria de gestión de riesgos (2017), donde estos valores se representan entre 1 y 5, siendo 1 el tipo de material que menos influencia tiene sobre la susceptibilidad y 5 el que mayor influencia presenta el más, cabe recalcar que la metodología planteada Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos, (2008), muestra ya un nivel de susceptibilidad dado por la litología en el cual se presenta en el siguiente

cuadro resumen y ha sido tomando en cuenta dentro del presente estudio sobre el análisis de la litología dentro de la susceptibilidad.

**Tabla 2-13 Susceptibilidad a la litología**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Litología</b>
Baja	Litologías resistentes, no alterados
Media	Suelos duros
Alta	Suelos blandos
Muy alta	Suelos litologías muy desfavorables

Fuente: Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos, (2008)

**Tabla 2-14 Susceptibilidad de la litología**

<b>Litología</b>	<b>Nivel</b>
Abanico aluvial	5
Arcillas abigarradas, Lutitas	5
Arcilla roja, Areniscas finas	5
Arcillas	5
Arcillas abigarradas, Areniscas arcillosas	5
Arcillas, Limonitas, Areniscas	5
Arcillas, Lutitas, Tobáceas, Yeso	5
Arcillas, Lutitas, Tobáceas, Yeso, Areniscas Finas	5
Arcillolita roja, Limonita, Areniscas	5
Arcillolitas, Limonitas, Areniscas, Conglomerados	5
Arenas de erosión glaciár	5
Aglomerado Volcánico, Arenas, Ceniza, Toba	5
Arenisca conglomerática, Arenisca	4
Arcillas bentónicas, Toba, Areniscas, Conglomerados.	4
Brechas, Tobas metamorforizadas	4
Aglomerado, Toba	
Arenisca conglomerática, Lutitas, Conglomerados	4
Andesita, Brecha, Aglomerado	3
Andesita piroxénicas, Basalto, Lahar	3
Arenisca, Conglomerado de cuarzo, Arcilla roja	3
Areniscas finas, Conglomerados, Arcillas, Lignitos	3
Brechas, Tobas andesitas, Riolitas	3
Conglomerado de base	3
Aluviones modernos	3
Aglomerado, Lava, Dacita	2
Granito, Cuarzo, Diorita, Tonalita	2
Andesita porfidítica	2
Andesita piroxénica	2
Andesita anfibolítica, Riodacita	1

Andesita piroxénica, Basalto	1
Areniscas, Lignitos	1
Caliza, Lutitas negras, Areniscas calcáreas	1
Andesita basáltica	1

Fuente: Secretaria de gestión de riesgos (2017)

Esta clasificación de la litología utilizada, posee una susceptibilidad respectiva al nivel o factor otorgado a cada material o grupo de materiales que pueden estar presentes en un determinado terreno, siendo así:

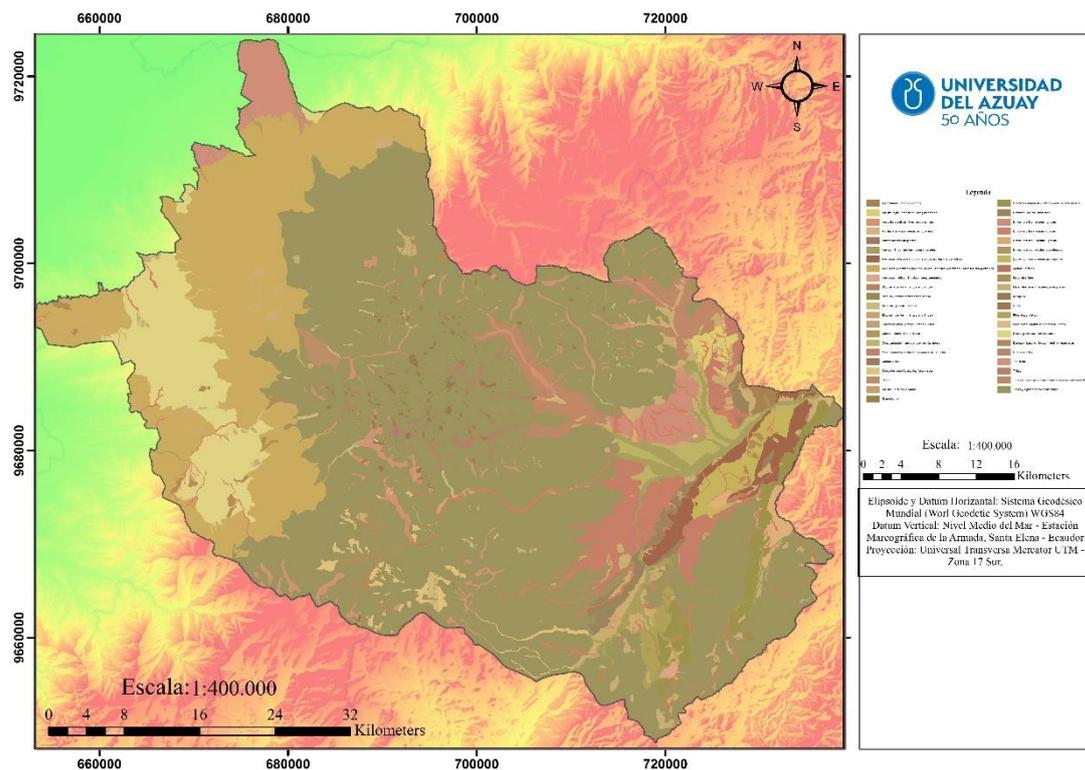
Susceptibilidad muy alta = 5

Susceptibilidad alta = 4

Susceptibilidad media = 3

Susceptibilidad Baja = 2

Susceptibilidad muy baja = 1



**Figura 2.63 Litología cantón Cuenca**

Fuente: Geomorfología; SIGTierras; 2010 actualización a 2018.

#### 2.7.4.4 Cobertura del suelo

Como punto de partida dentro del uso de la variable de la cobertura es necesario acotar que el proyecto SIGTierras, iniciativa del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en colaboración conjunta con el Instituto Espacial Ecuatoriano generaron insumos cartográficos del territorio nacional, mostrando un mapa donde se presentan las diferentes características relacionadas con la cubierta biofísica dentro de la cual podemos encontrar tanto elementos naturales como la vegetación, el agua, etc. Y antrópicos como es el caso de los cultivos o estructuras urbanas.

Un tema importante es como la variable cobertura influye en la susceptibilidad de los movimientos en masa, existen diferentes autores que escriben sobre esta relación, argumentando que la intervención de cobertura del suelo afecta a la infiltración y el arraigamiento de las raíces por ejemplo, Dai y Lee (2002), expresan que esta afecta en las propiedades hidrológicas y mecánicas por otra parte Gómez y Kauzoghu (2005), proponen que esta mejora la estabilidad por ayudar al suelo con una mayor cohesión, fortaleciendo la matriz del suelo y aumentando su potencial métrico a través de la evapotranspiración y la intercepción Pineda, Martinez-Casanovas & Viloría, (2016).

Según Suarez (2009), el uso de la cobertura dentro de los análisis se debe hacer otorgándole un peso dentro de los factores o variables a tomar en cuenta, sin embargo, el Instituto Espacial Ecuatoriano dentro del proyecto *“Tecnología espacial y geofísica en la gestión de riegos geodinámicos externos para la prevención y mitigación de inundaciones y crecidas torrenciales”*, que busca generar procesos para analizar de manera integral riesgos geodinámicas externos permitiendo pronosticar y reducir desastres naturales provocados por inestabilidad de laderas, plantea ya una ponderación para la cobertura y uso del suelo, siendo la calificación de 1 la que menos influencia tiene sobre la susceptibilidad y 5 la más influencia presenta, dicha ponderación se muestra en la siguiente tabla

**Tabla 2-15 Susceptibilidad de la cobertura**

<b>Descripción de cobertura</b>	<b>Ponderación</b>
Bosque nativo	1
Cuerpo de Agua	2
Cultivo	5
Infraestructura antrópica	4
Erial / Sin Cobertura Vegetal	5

Mosaico Agropecuario	4
Pastizal	5
Vegetación Arbustiva	3
Vegetación Herbácea	3

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (2014)

Tomando en cuenta lo expuesto por el Instituto Espacial Ecuatoriano, se toma como fuente de información primaria al mapa de cobertura y uso del suelo del proyecto SIGTierras año 2010, con actualización al año 2018, en su categoría cobertura del suelo se muestra la siguiente tabla con las ponderaciones para el análisis de la susceptibilidad.

**Tabla 2-16 Susceptibilidad cobertura del suelo**

<b>Cobertura</b>	<b>Nivel</b>
Cuerpo de agua	2
Vegetación arbustiva	3
Plantación forestal	3
Vegetación herbácea	3
Área poblada	4
Infraestructura antrópica	4
Pastizal	5
Cultivo	5

Fuente: Elaboración propia

Esta clasificación de la cobertura, posee un nivel de susceptibilidad respectiva con el nivel o factor otorgado a cada tipo de cobertura, por lo que se entiende que la susceptibilidad estará presentada de la siguiente manera:

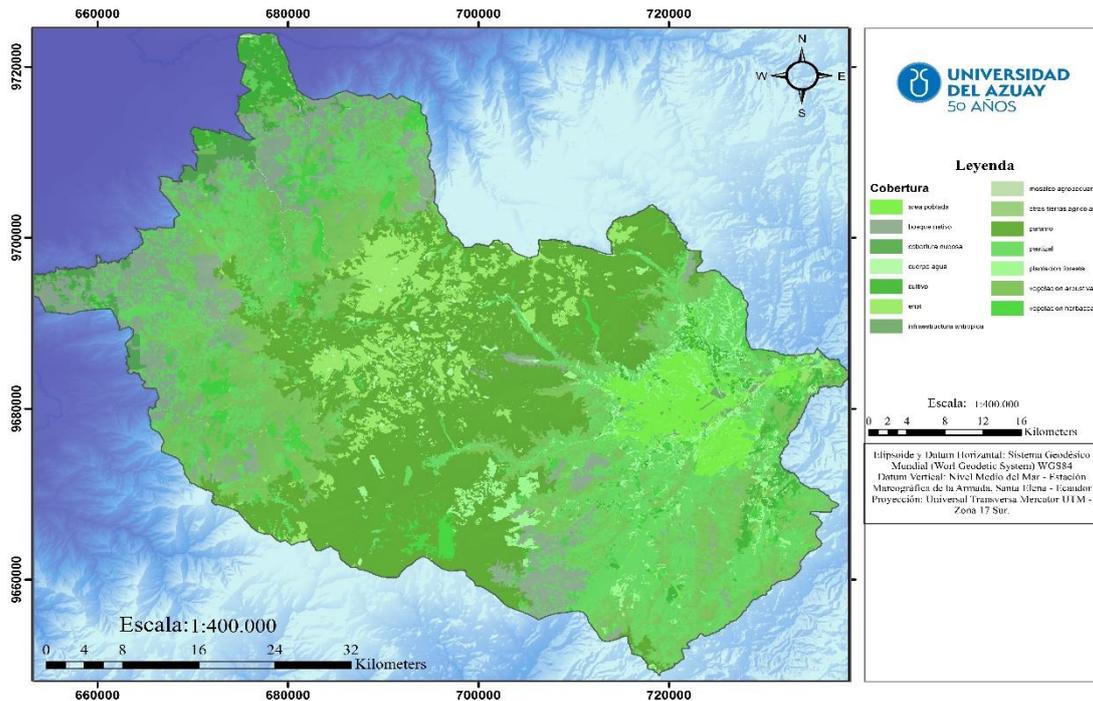
Susceptibilidad muy alta = 5

Susceptibilidad alta = 4

Susceptibilidad media = 3

Susceptibilidad Baja = 2

Susceptibilidad muy baja = 1



**Figura 2.64 Cobertura del suelo cantón Cuenca**

Fuente: Cobertura y uso del suelo, SIGTierras, 2010 actualización 2018.

#### 2.7.4.5 Geopedología del suelo

Se debe entender como textura del suelo, al predominio de partículas de un mismo tamaño en la parte mineral del suelo, que determinan las propiedades físicas de este, Jiménez, Morales, Et.al. (2006), estas propiedades son la textura, compactación, densidad, porosidad, que en conjunto determinan que tan propenso está el suelo, para en presencia de algún factor detonante este disminuya la resistencia al corte, provocando un movimiento de masas.

Dentro de las consideraciones para el análisis de susceptibilidad la textura del suelo es citada por diferentes autores y entidades como una de las variables a ser utilizadas dentro del estudio, diferentes ponderaciones han sido desarrolladas, y dentro del presente estudio se utilizan las publicadas por, Gestión de Riesgos del Ecuador, y por el Instituto Espacial Ecuatoriano.

Para el presente estudio se obtuvo los datos de textura del suelo a partir del mapa completo de Geopedología del SIGTierras. Donde por medio del uso de los sistemas de información geográfica se pudo obtener la clasificación correspondiente al cantón Cuenca y para la cual fue levantada una tabla con la textura presente en el lugar, con su respectiva ponderación.

Tabla 2-17 Susceptibilidad textura

Descripción textura	Ponderación
Arcillo limoso	5
Arcilloso	5
Areno-francoso	4
Franco	2
Franco-arenoso	4
Franco-limoso	2
Franco arcillo limoso	3
Franco arcilloso	4
Franco arcilloso-arenoso	4
Franco arcilloso-limoso	3
No aplicable	1

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (2014)

Tabla 2-18 Susceptibilidad textura

Descripción	Ponderación
Arenoso (fina, media, gruesa)	1
Arenoso franco	1
Franco arenoso (fino a grueso)	2
Limoso	2
Franco	3
Franco limoso	3
Franco arcillo - arenoso	3
Franco arcillo limoso	3
Arcillo limoso	4
Arcillo arenoso	4
Franco arcilloso (<35% de arcilla)	4
Franco arcilloso (>35%)	4
Arcilloso	5
Arcilloso (>60%)	5

Fuente: Gestión de riesgos del Ecuador (2017)

Tabla 2-19 Susceptibilidad de la textura

Textura	Nivel
Arcilla pesada	5
Arcillo-arenoso	5
Arcillo-limoso	5
Arcilloso	5
Franco	2

Franco-arcillo-arenoso	3
Franco-arcillo-limoso	3
Franco-arcilloso	4
Franco-arenoso	4
Franco-limoso	2
No aplicable	1

Fuente: Elaboración propia

Esta clasificación de la textura, posee un nivel de susceptibilidad respectiva con el nivel o factor otorgado a cada tipo de suelo, por lo que se entiende que la susceptibilidad estará presentada de la siguiente manera:

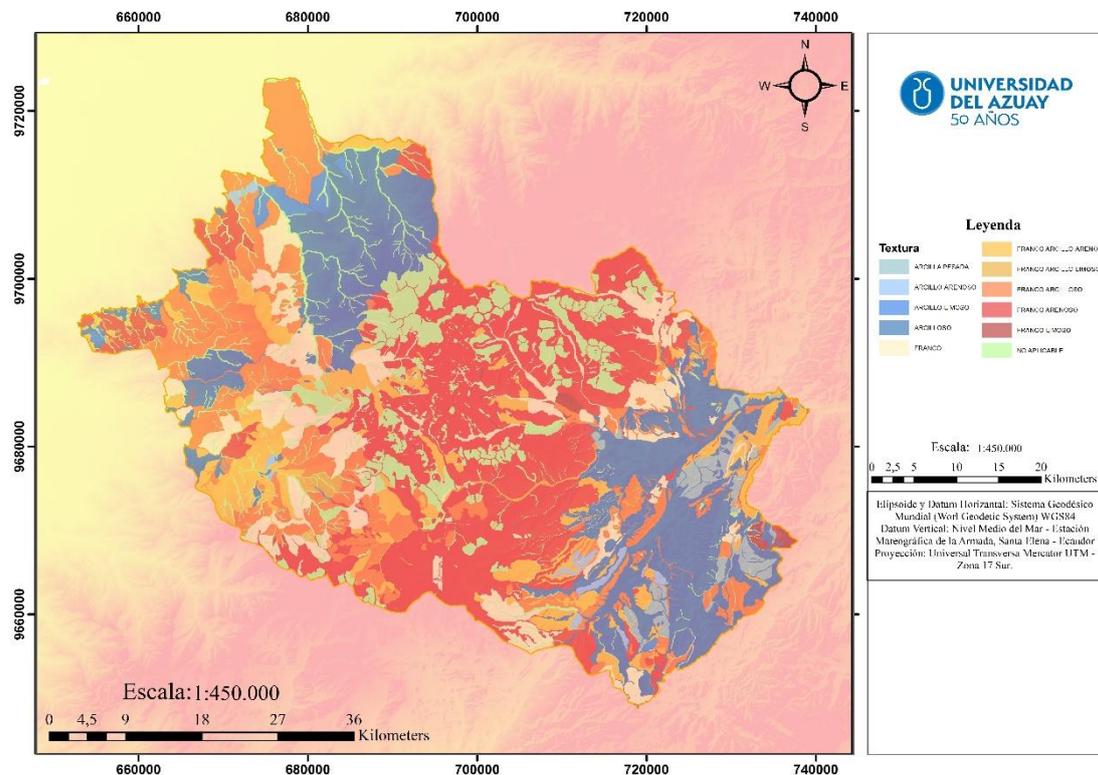
Susceptibilidad muy alta = 5

Susceptibilidad alta = 4

Susceptibilidad media = 3

Susceptibilidad Baja = 2

Susceptibilidad muy baja = 1



**Figura 2.65 Textura cantón Cuenca**  
Fuente: Geopedología, SIGTierras, 2010 actualización a 2018

#### 2.7.4.6 Jerarquización de las variables

Una vez definidas las variables o factores a ser utilizados dentro del análisis de susceptibilidad de los movimientos en masa, es necesario otorgar un nivel jerárquico, es decir determinar cómo influye cada factor en el nivel de susceptibilidad en una determinada zona de estudio, con el objetivo que dentro del programa informático utilizado, pueda reconocer a que factor debe otorgarle mayor importancia y a cual una menor.

No siempre es obvio, jerarquizar estas variables o determinar cuáles son los más importantes dentro del estudio, debido a que la experticia no es la suficiente para alcanzar este objetivo López, c. Mahecha, Acevedo, I. Hoyos, J. (2008). Por lo que es necesario recurrir a diferentes métodos o estudios por medio de los cuales se pueda de manera correcta ponderar la variable dentro del análisis de la susceptibilidad, esto quiere decir que conociendo que el 100% corresponde a la susceptibilidad total, debemos determinar qué porcentaje corresponde a cada factor dentro del procesamiento de la información.

Atendiendo a este requerimiento y haciendo hincapié a que en el Ecuador se han desarrollado en diferentes instituciones estatales metodologías muy similares a la del presente estudio y las cuales fueron determinantes al momento de generar la metodología, es importante recurrir nuevamente a estas para lograr que la jerarquización de los factores o variables usadas en el presente estudio eliminen de mejor manera la subjetividad y brinden el nivel de confianza necesario.

El Instituto Espacial Ecuatoriano (2014), en su proyecto *“Tecnología espacial y geofísica en la gestión de riegos geodinámicos externos para la prevención y mitigación de inundaciones y crecidas torrenciales”*, propone ya una jerarquización de las variables basada en el método de la ponderación preferencial de los criterios de Thomas Saaty, donde por se obtiene un peso destinado a cada variable o valor j-ésimo, siendo 1 el de mayor importancia y subiendo en la escala de importancia (2,3,4...), donde la suma de estos pesos tiene que ser igual a 1, siendo igual al 100% o totalidad de la susceptibilidad..

Tabla 2.20 Variables de la susceptibilidad

N° de Variable	Descripción	Jerarquía
1	Pendientes	1
2	Litología	2
3	Textura	3
4	Cobertura del suelo	4
Total = 4		Total = 10

Una vez otorgada una jerarquía a los factores que serán utilizados dentro del estudio, es necesario darles un peso o el porcentaje que será aplicado en el estudio, como se mencionó anteriormente este deberá ser igual al 100%, para esto es necesario el uso de una fórmula matemática la cual al ser aplicada a cada variable del estudio, arrojará un valor correspondiente, este valor deberá ser colocado dentro de los programas informáticos donde será procesada la información con el objetivo de que cada elemento o capa representado tenga una diferente categoría y permita al programa relacionar la variable con su importancia y generar un mapa que no esté propenso a ningún tipo de subjetividad.

La fórmula dentro del análisis matemático para la determinación del peso que será utilizada en el presente estudio será la siguiente

$$\text{Peso} = \frac{N - O_i + 1}{\sum(N - O_i + 1)}$$

Donde N corresponde al número de variables, mientras que  $O_i$  va ser representando por el nivel de jerarquía otorgado a cada variable en la tabla anterior y N es el número de variables-

Tabla 2-21 Jerarquía de las variables

Descripción	Jerarquía
Pendientes	1
Litología	2
Cobertura del suelo	4
Textura	3
Número de variables	4
Sumatoria jerarquía	10

Tabla 2-22 Peso de las variables

			<b>Peso de la variable</b>
N variable	$(N - O_i + 1)$	$(N - 0_i + 1)$	$(N - O_i + 1) / \Sigma(N - 0_i + 1)$
<b>Pendiente</b>	4	4	0,4000
<b>Litología</b>	3	3	0,3000
<b>Textura</b>	2	2	0,2000
<b>Cobertura</b>	1	1	0,1000
	<b>Sumatoria (<math>\Sigma</math>)</b>	<b>10</b>	<b>1,0000</b>

Como se puede apreciar en la tabla el peso de la variable dentro del análisis de susceptibilidad corresponde al nivel de jerarquía que se le otorga, de esta manera por medio de programas informáticos como son los SIG (Sistemas de información geográfica), cada capa de información correspondiente a cada variable o factor determinado para su uso dentro de la metodología será procesada con su determinado peso, de manera que el mapa obtenido contenga toda la información presente y evalúe el nivel de susceptibilidad que cada movimiento de masa de las zonas de estudio (Nulti, Carmen del Guzho, Subida a Jadán, Gapal Universidad del Azuay, Pumayunga) posee de acuerdo a las ponderaciones y jerarquías propuestas en el documento.

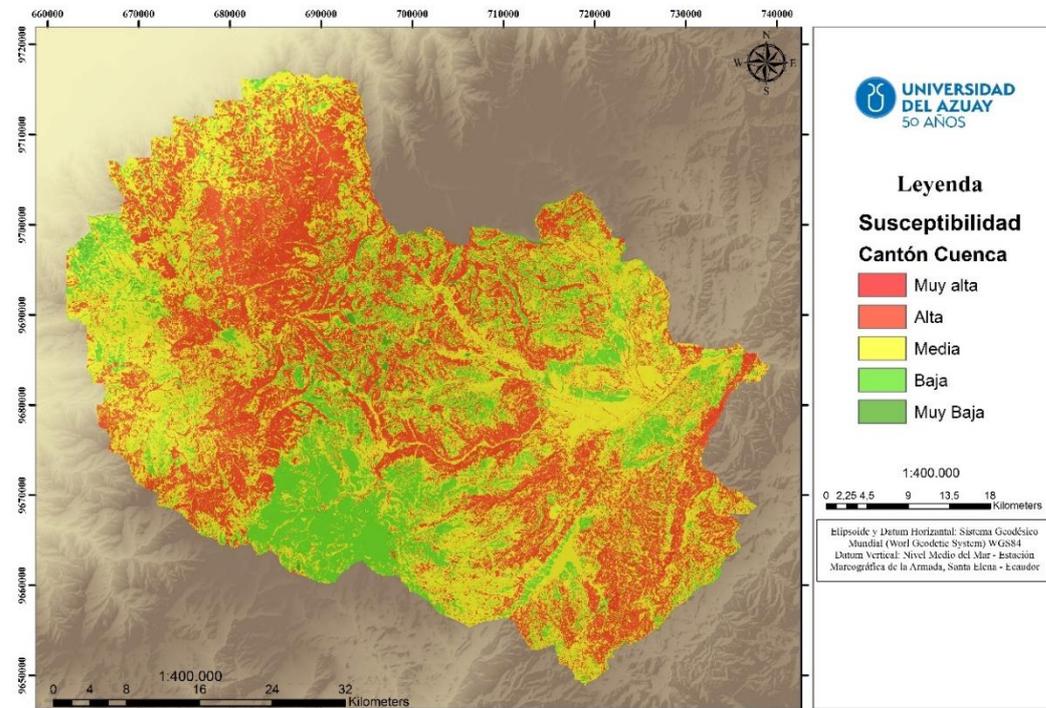
## 2.8 Aplicación de la metodología identificada en las zonas de estudio

Una vez que se han determinado todas las variables a utilizar dentro del estudio de susceptibilidad, el uso de programas de información geográfica, se convierte en una herramienta sumamente útil al momento de procesar la información. Dentro de las muchas herramientas que estos ofrecen en el presente estudio se procedió a usar la técnica de la superposición ponderada donde se define el problema, el modelo general es subdividido y se identifican las capas de entrada. Una dificultad que requiere el ingreso de esta información es que las capas de información ingresadas deben ser en formato raster, con el objetivo de poder otorgar un determinado peso a cada elemento dentro de la capa, en el caso del presente estudio, con valores entre 1 y 5 siendo 1 la menos importancia y 5 el de mayor importancia.

Una vez realizado el cálculo de las variables y elementos en los programas de información geográfico, el resulta será un mapa de susceptibilidad donde se ver zonificadas las diferentes partes del territorio a ser estudiado, mostrando una escala en 5 niveles correspondientes a susceptibilidad “Muy Alta”, “Alta”, “Media”, “Baja”, “Muy Baja”.

Dicho mapa se muestra a continuación tomando como referencia al cantón Cuenca. Y donde esta variara dependiendo de la influencia de los factores tomando en cuenta que los más importante son pendientes y litología.

### 2.8.1 Mapa de susceptibilidad del cantón Cuenca



**Figura 2.66 Susceptibilidad cantón Cuenca**

Fuente: Elaboración propia

Para la zonificación de la susceptibilidad en las zonas de estudio propuestas, que tiene como fin comparar la información obtenida en el mapa de susceptibilidad del cantón Cuenca, se realizó un proceso en el cual, sobre el mapa obtenido se superponen los movimientos constatados en campo, Carmen del Guzho, Nulti, Universidad del Azuay (Gapal), Jadán y Sinicay sector Pumayunga y se determina el nivel de susceptibilidad a los movimientos de masa en dichos lugares.

Se debe tomar en cuenta que la ocurrencia de un movimiento no está sujeta únicamente a las variables estudiadas, es por esto que la final del mapa no es determinar zonas con problemas de eventos de remoción de masa, sino la probabilidad de que en una parte del territorio, sumando a otras características como el cambio de redes de drenaje, minería intensiva y de forma anti técnica como es la mala conformación de taludes, excavaciones sin sostenimiento eficiente, extracción de material en la base de los taludes, etc. nivel freático, factores detonantes, como la sismicidad, precipitación, entre otros influyan en que una porción de tierra susceptible provoque que un fenómeno de remoción de masas tenga lugar.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **3.1 Validación de la metodología para la tipificación de los deslizamientos y valoración de la susceptibilidad**

Para la validación metodológica, se consideraron los siguientes pasos:

1. Recopilación y validación de la información: Para el presente estudio la información se obtuvo de distintas fuentes como del proyecto “Prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute” (PRECUPA), del cual se obtuvo la delimitación de ciertas zonas donde se identificaron la ocurrencia de deslizamientos. Otras fuentes de información que sirvieron como base para los estudios de tipificación, fueron las desarrolladas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y por el Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos de España; en tanto que para la susceptibilidad se acudió a metodologías utilizadas por el Instituto Espacial Ecuatoriano y Gestión de Riesgos del Ecuador.
2. Identificación de las zonas de ocurrencia de deslizamientos: Estas zonas fueron determinadas en base a diferentes criterios como la afección a la infraestructura vial relevante de la ciudad del Cuenca, como es el caso en Carmen del Guzho en el tramo sur de la autopista Cuenca-Azogues. Por interés institucional otro punto de investigación fue la Universidad del Azuay. En la zona de Nulti se realizó la selección del área, debido a que se encuentra en un área de expansión urbana y a su temporalidad reciente. Para el caso de las zonas de Jadán y Sinincay, se consideraron por ser áreas de explotación minera en las que se realiza extracción de áridos y pétreos.
3. Determinación y aplicación de las metodologías: En el presente estudio dentro de la tipificación de los movimientos de masa, se consideraron las siguientes características inherentes a cada tipo de fenómeno: pendiente, fallamiento, tipo de movimientos del material, velocidad, tipo de material, fracturación, rasgos

morfológicos y factores visuales causantes de la inestabilidad; en tanto que para la susceptibilidad se tomaron en cuenta características como son la pendiente, la litología, la textura y cobertura del suelo.

4. Trabajo de campo: La aplicación metodológica a nivel de campo tuvo varios momentos:
  - Verificación en terreno de la ocurrencia del movimiento de masa.
  - Caracterización visual de los elementos propios de un determinado deslizamiento (corona, zona de ruptura, pie, flancos, zona de hundimiento, cuerpo principal, extremo).
  - Vuelo con dron de la zona identificada.
  - Obtención de la Ortofoto y modelo digital del terreno.
  
5. Caracterización del área de deslizamiento: Esta fase comprende el análisis de la información obtenida, con la que se obtiene el resultado de la investigación compuesto por: la delimitación del deslizamiento con sus características más representativas con las que se reconoce un determinado evento, los perfiles longitudinal y transversal, información que permite comprobar la ocurrencia de los eventos.

Finalmente, la metodología propuesta ha permitido comprobar que zonas en que las características morfológicas del terreno, sumado a ciertos procesos antrópicos y naturales, así como un determinado nivel de susceptibilidad del territorio, son propensos a generar la ocurrencia de un movimiento de masa.

### **3.2 Resultados obtenidos del método utilizado**

Posterior al análisis de capas de datos en programas informáticos, se ha obtenido un mapa de susceptibilidad del Cantón Cuenca, en el cual se muestra la probabilidad de ocurrencia de un evento de remoción de masa en diferentes espacios de territorio. Por su puesto esto no quiere decir que todas las zonas donde se exprese una susceptibilidad alta o media son zonas con actividad de algún movimientos de masa, al contrario pueden existir o no existir eventos en estos lugares, o al contrario, en zonas donde se aprecie una susceptibilidad medio o baja, pueden suscitarse eventos de remoción de masas, debido a

que ciertos factores, pueden incidir en la ocurrencia, como es la sobrecarga en los taludes, cambio de redes de drenaje, cambio de cobertura del suelo, actividad minera sin restricciones y desordenada etc. Los cuales dependiendo de su intensidad pueden ocasionar que diferentes tipos de movimientos de masa se activen.

Obtenido el mapa de susceptibilidad de los movimientos de masa, se ha realizado un contraste con el mapa de inventario donde constan las zonas de interés del presente estudio, que presentan diferentes niveles de susceptibilidad.

Carmen del Guzho, con un área de influencia de 1,67 hectáreas, muestra una susceptibilidad alta y media dado que las condiciones de pendiente, litología, etc. hace que el talud se vuelva propenso a que ocurra un evento de remoción de masas.

Nulti, presentando un área de aproximadamente 3 hectáreas, posee una susceptibilidad variada, desde baja cerca de la corona, pasando por media en el cuerpo del movimiento y alta en el pie, sobre todo regulada la incidencia de la pendiente del terreno donde esta es baja entre 0 y 25 por ciento.

El sector de la Universidad del Azuay (Gapal), que presenta un área de deslizamiento de 15,3 hectáreas, muestra una susceptibilidad igualmente variada, desde baja, pasando por media y llegando a alta en el pie del talud esto se da por la superposición de la información litológica donde materiales con menor y mayor peso se encuentran en el sitio de estudio.

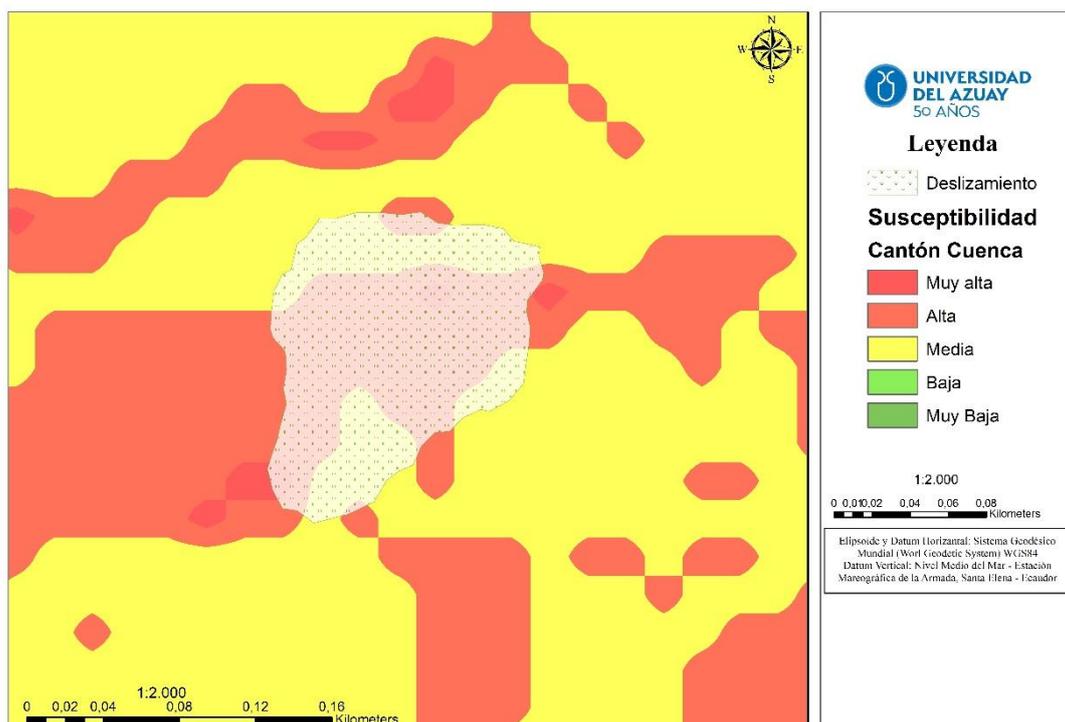
Sinincay sector Pumayunga con una superficie de 3,5 hectáreas, muestra una susceptibilidad media, este sector atribuido a la extracción de arcillas para la industria ladrillera de la ciudad, se ve propenso a esto tipo de eventos. En la zona de estudio esta susceptibilidad se encuentra marcada como media debido a la pendiente la cual es baja, pero el involucramiento de la litología y textura del suelo, siendo arcillosa y por una acumulación de agua en la cabecera, provoca que una porción de terreno se deslice.

En la vía a Jadán por otro lado, donde el sitio presenta un deslizamiento de 2,48 hectáreas y siendo una de las zonas extractivas de áridos y pétreos del cantón, muestra finalmente una susceptibilidad alta debido a la fuerte inclinación que presenta el talud en el sector y sumando a una textura del material franco-arenoso-arcilloso la cual tiene un peso elevado en la ponderación.

Cada porción de terreno del estudio, en contraste con el mapa obtenido arrojó diferentes niveles de la susceptibilidad, la diferencia radica en que estas zonas han sido escogidas, debido a que actualmente se conoce que existe un movimiento de masas, y puede servir como validación de que dependiendo de la susceptibilidad obtenida y bajo la acción de otros factores pueda suscitarse un movimiento de masas, siendo las causas de la activación desconocidas, estos y otros sitios del cantón deberían estar sujetos a un nuevo estudio con mayor profundidad en la recolección de datos.

A continuación, se muestra los resultados del mapa de inventario y susceptibilidad contrastados, donde se obtiene una idea del nivel de susceptibilidad que el terreno en estas zonas.

### 3.2.1 Carmen del Guzho



**Figura 3.1** Susceptibilidad Carmen del Guzho

### 3.2.2 Nulti

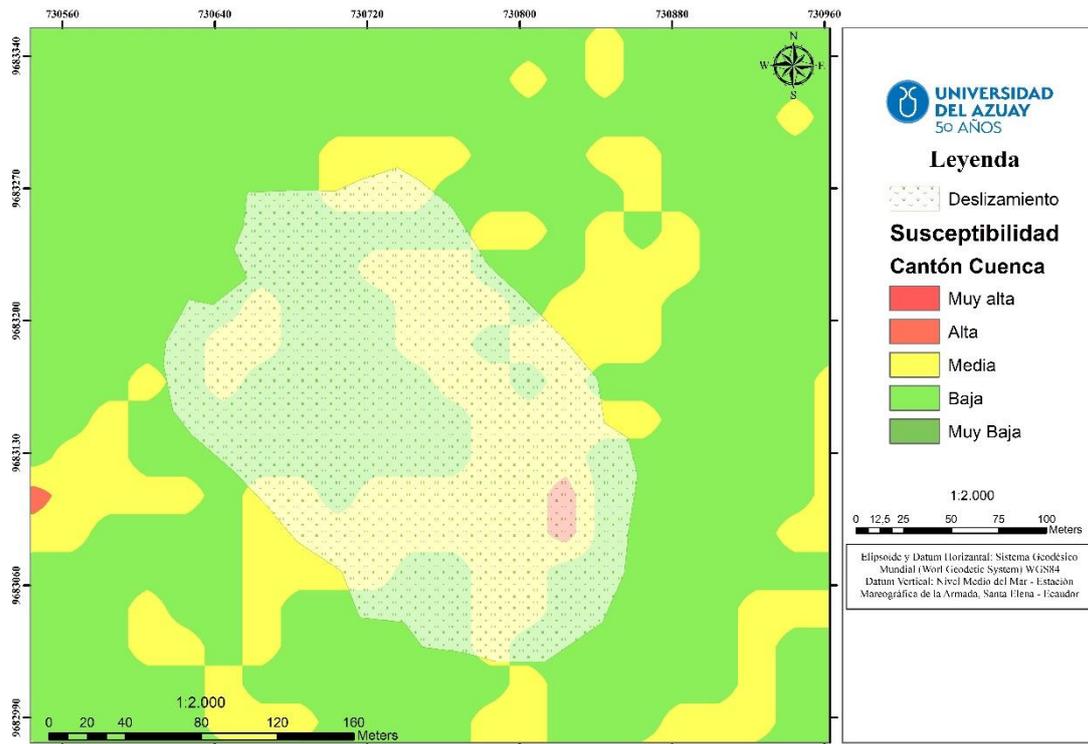


Figura 3.2 Susceptibilidad Nulti

### 3.2.3 Universidad del Azuay (Gapal)

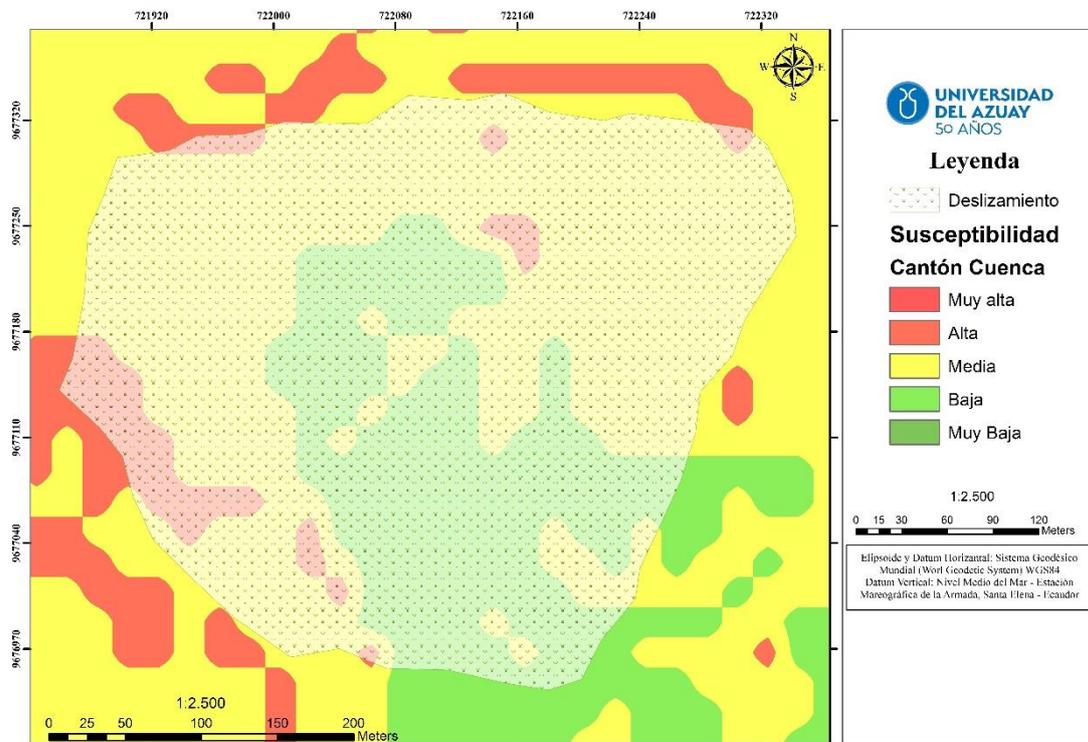


Figura 3.3 Susceptibilidad Universidad del Azuay (Gapal)

### 3.2.4 Sinicay sector Pumayunga

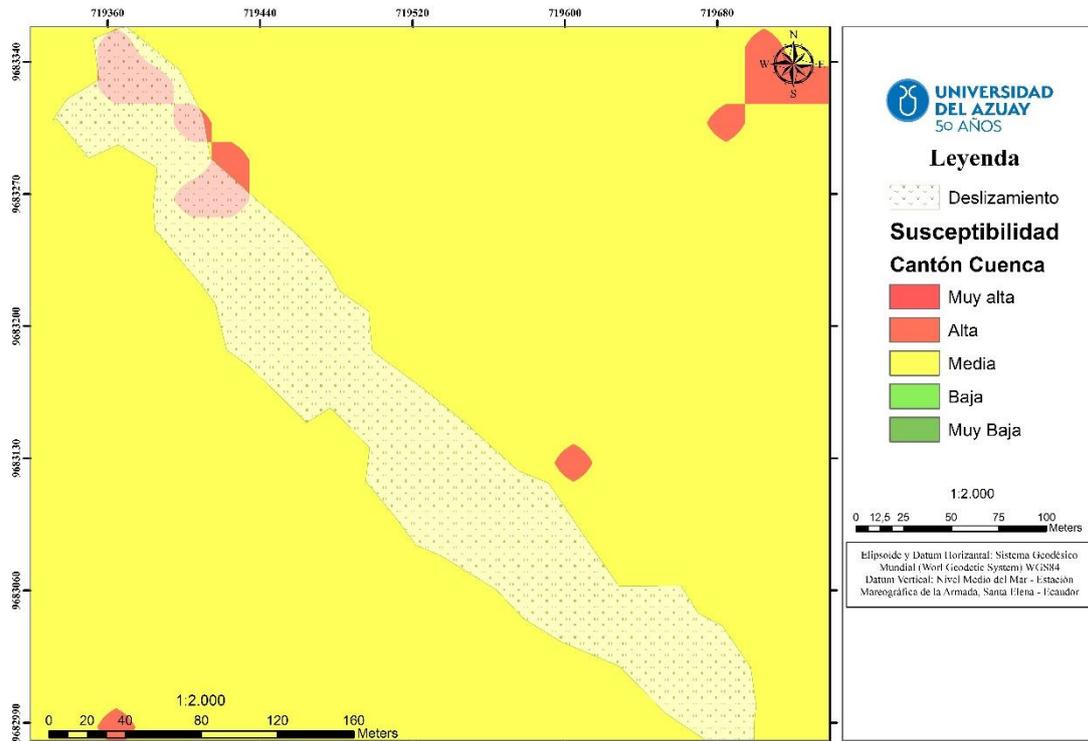


Figura 3.4 Susceptibilidad Sinicay sector Pumayunga

### 3.2.5 Jadán

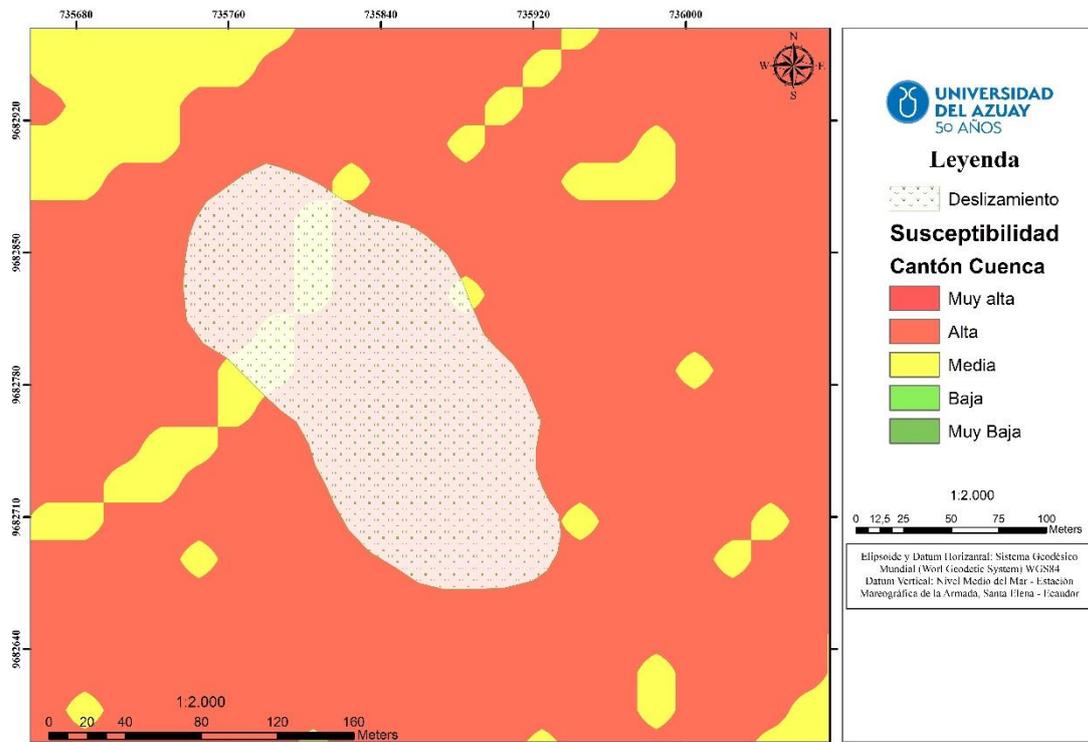


Figura 3.5 Susceptibilidad Jadán

### **3.3 Discusión**

#### **3.3.1 Identificación de características para tipificar un deslizamiento**

En el presente trabajo una serie de autores fueron citados para levantar la información necesaria, con el objetivo de interpretar y conocer las diferentes características ya sean rasgos morfológicos, textura del terreno, inclinación y forma del talud; que permiten que un movimiento en masa sea identificado. Todas estas características entre los diferentes autores y metodologías se asemejan, debido a que cada movimiento de masa como se ha explicado en el desarrollo del presente trabajo posee rasgos o características únicas que lo caracterizan, desde las caídas, pasando por los tipos de deslizamientos, y llegando a los flujos. Gracias a esto, se consigue que las zonas de interés escogidas sean tipificadas de la manera más cercana a la realidad posible, tomando en cuenta que para una mejor probabilidad de acierto en el tipo de evento de remoción de masas se puede realizar estudios más profundos como perforación, análisis de muestras de material, monitoreo de velocidad en el tiempo, entre otras.

Cabe recalcar que la tipificación dentro del presente estudio se ha realizado tomando en cuenta la teoría que se tiene sobre cada tipo de fenómeno y contrastada con diferentes visitas a campo donde por medio de la observación se han determinado estas características mostradas en las tablas 6 hasta la 15 en Anexo 1. En la cuales se aprecia una serie de características entre las que tenemos, tipo de material, rasgos morfológicos, factores desencadenes de la inestabilidad, entre otros, factores que nos ayudan a comprender de manera más certera que un determinado tipo de movimiento de masa está ocurriendo.

La identificación de estas características presentadas en el párrafo anterior no son producto de la experticia del técnico, estas nacen estudios realizados en el tiempo donde expertos en el área, bajo la constante preocupación de la ocurrencia de estos fenómenos, han levantado datos sobre cada tipo de movimiento detectado, desde lo más básico que son los materiales que lo conforman hasta la fracturación presente en los taludes.

En las tablas publicadas en el presente trabajo se ha buscado levantar la mayor cantidad de características relevantes sobre la ocurrencia de cada tipo de movimiento de masa, usando a diferentes autores como es el caso del Highland y Bobrowsky (2008), Ilustre

Colegio de Ingenieros Geólogos (2008), Cruden y Varnes (1996), etc. Obteniendo de esta manera información que ayude de manera clara a que un técnico o profesional por medio de inspecciones en campo puedan determinar de manera inicial el tipo de evento de remoción de masa al que se enfrentan, pudiendo tomar mejores decisiones, al momento de realizar estudios más profundos en las diferentes zonas.

### **3.3.2 Interpretación de susceptibilidad en deslizamientos estudiados**

La susceptibilidad nos ayudará a dar una clasificación del terreno, esta puede ser usada para diferentes temas de estudio, desde problemas relacionado con las comunidades, unidades productivas, y riesgos naturales como inundaciones, vientos fuertes, y en el caso del presente estudio movimientos de masa. El mapa obtenido muestra la susceptibilidad del cantón Cuenca a estos fenómenos, aumentando en lugares donde los factores que inciden en esta son de mayor intensidad o peso.

Este mapa nos ayuda a comprender los diferentes tipos de terrenos o porción de tierra que existen en el cantón y como sus condiciones pueden incidir en la ocurrencia de un fenómeno de remoción de masas. Diferentes metodologías se usan para generar este mapa ya sea en países como España, Colombia, Ecuador entre otros, alrededor del mundo, y muchas coinciden el uso de diferentes factores para la evaluación de esta, pero todas llegando a la obtención de un mapa donde en su territorio se vea plasmado la información preliminar sobre la ocurrencia de un determinado fenómeno.

Una de las formas más confiables para la verificación de esta información es el levantamiento en campo de las zonas que el mapa ha mostrado que son susceptibles estos eventos, con el objetivo de determinar en qué porciones de terreno existen o han existido estos fenómenos naturales. Por lo que en el trabajo se correlaciona con el mapa de inventario para conocer los lugares donde se considera que son propensos a la ocurrencia de estos y contrastar con información verificada que en la actualidad se mantienen activos o mitigados estos problemas relacionados con el movimiento de masas.

## CONCLUSIONES

Los movimientos de masa son eventos naturales, producto de la acción de fuerzas que origina que una masa de terreno la cual puede ocupar desde un pequeño hasta un gran volumen, se desplacen ladera abajo. Esto quiere decir que dependiendo de las condiciones a las que se vea sometido el terreno la ocurrencia de estos puede tener consecuencias negativas para diferentes elementos como la infraestructura civil, vivienda, o incluso sobre la salud de los habitantes. Con el objetivo de poder mitigar estos daños, diversos estudios se han realizado buscando catalogar, determinar características, zonificar, y estudiar el terreno donde estos tienen lugar, pudiendo así determinar medidas para mitigar, disminuir, controlar, los daños que estos pueden provocar.

El cantón Cuenca en su historia se ha visto propenso a la ocurrencia de estos fenómenos de remoción de masa, esto por una serie de condiciones que aumentan la probabilidad de ocurrencia, como son las pendientes empinadas, la presencia de materiales producto de sedimentación, intemperismo o meteorización, que en combinación con agentes detonantes como la precipitación, actividad minera intensiva propia del cantón ya que es rico en materiales de construcción, áridos y pétreos, consiguen que movimientos de masa de volumen considerable se activen y provoquen daños considerables.

Dentro de los estudios antes mencionados tenemos la determinación de la susceptibilidad y tipificación de los movimientos de masa, que cumplen diferentes objetivos, pero trabajan en conjunto para lograr un objetivo común, el cual es conocer la realidad de territorio sobre estos fenómenos naturales. En el presente trabajo se inició por levantar información para la tipificación de cinco deslizamientos activos del cantón determinado que los principales tipos de movimientos de masa, como son, el deslizamiento rotacional, siendo el caso de Carenen del Guzho, Universidad del Azuay (Gapal) y Nulti, y el deslizamiento traslacional, siendo el caso de Jadán y Sinincay sector Pumayunga. Consiguiendo que cada uno de estos movimientos de masa esté debidamente caracterizado, y obteniendo un mapa de inventario donde se encuentran ubicados estos espacialmente.

Como segundo punto por medio del solapamiento de diferentes capas de información recolectada de diferentes entidades del Ecuador como es el Uso y Cobertura del Suelo, la Geomorfología, etc. Se procedió a levantar un mapa de susceptibilidad de los movimientos de masa, el cual muestra una zonificación de zonas con una probabilidad de

ocurrencia de estos eventos en una escala baja, media, alta o muy alta dentro del territorio. Y por medio del uso del mapa de inventario contrastar esta información de susceptibilidad con la ocurrencia de fenómenos ya conocidos, como es el caso de las zonas de estudio.

Entre los resultados obtenidos como se muestra en las ilustraciones 66, 67, 68, 69 y 70, en cada sitio de estudio, se presentan diferentes niveles de susceptibilidad, que ocupan un determinado porcentaje del territorio, el cual nos permite conocer como la interacción de la información, sobre todo la pendiente y la litología actuado con un 30% y 20% de jerarquía sobre el estudio respectivamente, condiciona la susceptibilidad, arrojando los siguientes datos:

### **Carmen del Guzho**

**Tabla 3-1 Porcentaje de susceptibilidad, Carmen del Guzho**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Número de píxeles</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>
Media	16	6400	35,6
Alta	27	10800	60,0
Muy Alta	2	800	4,4

Fuente: Elaboración propia

### **Universidad del Azuay (Gapal)**

**Tabla 3-2 Porcentaje de susceptibilidad, UDA (Gapal)**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Número de píxeles</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>
Baja	110	44000	32,2
Media	205	82000	59,9
Alta	27	10800	7,9

Fuente: Elaboración propia

### **Nulti**

**Tabla 3-3 Porcentaje de susceptibilidad, Nulti**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Número de píxeles</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>
Baja	55	22000	55
Media	43	17200	43
Alta	2	800	2

Fuente: Elaboración propia

## Sinincay sector Pumayunga

**Tabla 3-4 Porcentaje de susceptibilidad, Sinincay**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Número de píxeles</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>
Media	54	21600	90
Alta	6	2400	10

Fuente: Elaboración propia

## Jadán

**Tabla 3-5 Porcentaje de susceptibilidad. Jadán**

<b>Susceptibilidad</b>	<b>Número de píxeles</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>
Media	6	2400	9,8
Alta	55	22000	90,2

Fuente: Elaboración propia

## **RECOMENDACIONES**

Por medio del presente trabajo se ha mejorado el entendimiento acerca de zonas de movimientos de masa dentro del cantón Cuenca, tomando en cuenta que estos fenómenos afectan de manera directa al territorio, por lo que es necesario tomar acciones que reduzcan o logren mitigar los efectos de estos.

Para la zona de Carmen del Guzho, debido a que ya se han efectuado labores de estabilización del talud, se recomienda realizar trabajos de mantenimiento de los taludes y bermas, así como limpieza de las redes de drenaje y cunetas de coronación.

Dentro del deslizamiento que afecta a la Universidad del Azuay, siendo una zona con gran cantidad de infraestructura civil, se recomienda ejecutar un correcto sistema de redes de drenaje que logre conducir el agua en dirección al río Yanuncay.

En la zona de Nulti, se recomienda la construcción de bermas y optimizar el sistema de drenaje de aguas, y reduciendo la sobrecarga del suelo con infraestructura civil lo que permite reducir la afección actual.

Para las zonas mineras de Sinincay sector Pumayunga y Jadán, se recomienda tener un monitoreo periódico, que ayude a tomar medidas de prevención en el caso de que estos fenómenos afecten de manera significativa a la vialidad de estos sectores, punto crucial al momento del transporte de material y comunicación con las minas.

Finalmente es necesario que entidades públicas y privadas tomen como punto de partida esta fuente de información con el objetivo de tomar decisiones, en cuanto a medidas de mitigación, planes para prevención de desastres, capacitación a la población en caso de ocurrencia y mejoras en los planes de ordenamiento territorial.

## REFERENCIAS

Alcántara Ayala, Irasema. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas*, (41), 7-25. Recuperado en 13 de noviembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112000000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000100002&lng=es&tlng=es).

Ayala F.; Olcina J.; (2002). *Riesgos Naturales*. Barcelona, España: Ariel S.A.

Ayala, F. (2007). *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: impacto, predicción y mitigación*. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

Cárdenas, M. Giner, J. Gonzales, J. Pozo M. (2014). *Geología*. España: Ediciones Parraninfo S.A.

Delgado, M. Barredo, J. (2005). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio*. España: Ra-Ma.

G, Wielemaker. (1993). *Un sistema de información de suelos y tierras para la zona de Costa Rica*. Wagennigen. Holanda: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Córdoba, Argentina: Brujas.

Highland M.; Bobrowsky P.; (2008). *Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Estados Unidos, Reston, Virginia: Circular 1325 del Sistema Geológico de los EUA.

Huerta L.; (2002). *Los sistemas de información geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y el medio ambiente*. España: Instituto geológico y minero de España, Gobierno de España.

Ilustre Colegio de Ingenieros Geólogos, (2008). *Riesgos naturales: Guía metodológica para la elaboración de cartografías en España*. España: Ministerio de vivienda, Gobierno de España.

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2014). *PROYECTO “TECNOLOGIA ESPACIAL Y GEOFÍSICA EN LA GESTIÓN DE RIEGOS GEODINÁMICOS EXTERNOS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE INUNDACIONES Y CRECIDAS TORRENCIALES”*. Quito, Ecuador: Ministerio de Defensa.

Jáuregui, M. Jáuregui, L. Chacón, L. Vílchez, J. (2006). *La estereo-ortofoto digital en la elaboración de mapas temáticos*. Revista Geográfica Venezolana, 47 (1), 103-110.

J, Seller. R, Tomás. J, Delgado. A, Cuenca. *ELABORACIÓN DE UN MAPA DE INVENTARIO DE INESTABILIDADES DE LOS TALUDES DEL POLÍGONO INDUSTRIAL SANTIAGO PAYÁ (ALCOY, ALICANTE)*. España: Universidad de Alicante.

Jiménez, A. M. Morales, M, Bojorquez, J. Garcia, N. Garcia, J. (2006). *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Nayarit, México: Universidad autónoma de Nayarit.

López, c. Mahecha, Acevedo, I. Hoyos, J. (2008). *Análisis jerárquico de variables de operación de una torre de destilación de crudo usando datos de planta, modelos de simulación y diseño de experimentos*, Revista ION, Bucaramanga (Colombia), 21(1):

Maass, S. Valdez, M. (2003). *Principios básicos de cartografía y cartografía automatizada*. México: Universidad Autónoma del estado de México. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

Martínez, F. (2003). *Topografía práctica para la construcción*. Barcelona, España: CEAC técnico.

Mora, S. Vahrson, W. (1991). *Método para clasificar la amenaza por deslizamientos en áreas tropicales con alta sismicidad*. Costa Rica.

Ordoñez, C. Martínez R. (2003). *Sistemas de información geográfica: aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales*. Barcelona, España: Ra-MA

Pineda, M. Martínez-Casanovas, J. Viloria, J. (2016). *Relación entre los cambios de cobertura vegetal y la ocurrencia de deslizamientos de tierra en la serranía de interior, Venezuela*. *Interciencia*, 41 (3), 190-197.

Rojas O, Reyes C. (2011). *Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales*. *Revista Universitaria de Geografía*, 20(1), 83-116. Recuperado en 13 de noviembre de 2018, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-42652011000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652011000100005&lng=es&tlng=es).

Secretaría de gestión de riesgos. (2017). *Análisis de amenaza ante movimientos en masa*. Ecuador. Código: SGR-DAR-MM01

Suárez J; (2009). *Deslizamientos: Análisis geotécnico Volumen I*. Colombia: Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos.

UNISDR. (2016). *Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres*. Ginebra, Suiza: Naciones Unidas.

Varnes, DJ, (1978). *Los tipos y procesos de movimiento de la pendiente*, en Schuster, RL, y Krizek, RJ, eds, *Landslides— Analysis and control (Deslizamientos de tierra: Análisis y control)*: Transportation Research Board Informe Especial 176, National Research Council, Washington, DC.

Vieira, J. Ortiz, L. Ramirez, S. (2009). *Introducción a la Minería de datos*. Rio de Janeiro, Brasil: e-papers

## ANEXOS

### Anexo 1. Tipificación de movimientos en masa

<b>Caídas</b>	
Pendiente	Entre 45 y 75 grados
	Mayores a 75 grados
Fallamiento	No posee desplazamiento de corte
Tipo de movimiento del material	Caída o rodadura
Velocidad	Extremadamente rápida
	Rápida
Tipo de material	Roca poco alterada, con fragmento pétreos
	Pedazos de tierra compuestos de suelo o masas blandas
Fracturación	Planar adversa
	Fracturas unidas
Rasgos morfológicos	Erosión en base por ríos y quebradas
Tamaño del detrito	Cascajo: Menores a 20mm
	Guijarros: Entre 20 y 200 mm
	Bloques: Mayor a 200mm
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Impacto
	Meteorización
	Excavación
	Licuefacción
	Aumento de agua
	Sobrecarga

<b>Derribos</b>	
Pendiente	Mayores a 50 grados
Fallamiento	
Tipo de movimiento del material	Eje bajo centro de gravedad
	Rotación hacia delante
Velocidad	Extremadamente lenta
	Rápida
	Extremadamente rápida
Tipo de material	Masa de suelo o roca
	Grueso
	Grano fino
Fracturación	Agrietamiento
Rasgos morfológicos	Erosión en base por ríos y quebradas
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Impacto
	Meteorización
	Excavación
	Licuefacción
	Aumento de agua
	Sobrecarga

<b>Rotacional</b>	
Pendiente	Entre 20 y 40 grados
Fallamiento	Falla no circular (Tropicales)
	Falla circular (Meteorizadas)
Tipo de movimiento del material	Curvilíneo o circular
	Giro encima del centro de gravedad
	Tendencia a girar hacia la corona
	Eje paralelo al contorno de la ladera
Velocidad	Extremadamente lento
	Lenta
	Rápida
Tipo de material	Masa cohesionada
	Materiales homogéneos (coluviones, arcillas)
	Materiales elásticos o semi elásticos
Fracturación	Agrietamiento concéntrico
	Agrietamiento cóncavo
Rasgos morfológicos	Parte superior presenta hundimiento
	Parte inferior se desliza
	Flujos en el pie
	Erosión en base de las laderas
	Corona se mueve semi vertical
	Escarpes, hundimientos en el cuerpo
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Impacto
	Meteorización
	Excavación
	Licuefacción
	Aumento de agua
	Sobrecarga

<b>Translacional</b>	
Pendiente	Constantes
Fallamiento	Contacto roca-suelo
	Discontinuidades geológicas
	(fallas, diaclasas, planos estratificados)
Tipo de movimiento del material	Hacia afuera
	Hacia afuera y hacia abajo
	Distancias considerables (Pendiente)
Velocidad	Lenta
	Rápido
	Extremadamente rápido
Tipo de material	No consolidados
	Suelos sueltos
	Blandos o coluviones
	Detritos o escombros producto de meteorización
Fracturación	Expansión de grietas de cabecera
	Vertical y paralelo al talud
Rasgos morfológicos	Protuberancias en la punta de la cabecera
	Superficie ruptura plana o ligeramente ondulada
	Poca o nula inclinación hacia atrás
	Masa deformada
	Rompimiento de la masa en unidades
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Impacto
	Meteorización
	Excavación
	Licuefacción
	Aumento de agua
	Sobrecarga

<b>Lateral</b>	
Pendiente	Menores a 10 grados
Fallamiento	Mecanismo progresivo
	Rotaciones, traslaciones o flujos
Tipo de movimiento del material	Licuefacción del suelo subyacente
	Deformación plástica de la capa inferior
	Retrogresión
	Translacional
Velocidad	Lenta
	Moderada
Tipo de material	Suelos plásticos
	Arcillas, limos
	Suelos cohesivos
	Arenas
Fracturación	Corte y tensión
Rasgos morfológicos	Presencia de capas suelo duro en la superficie
	Movimiento de un bloque no muestra superficie de ruptura
	Capas duras: Se hunden, ruedan o trasladan
	Bloque fracturado puede hacer visible superficie de ruptura
	Bloques Horst
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Impacto
	Meteorización
	Excavación
	Licuefacción
	Aumento de agua
	Sobrecarga

<b>Reptación</b>	
Pendiente	Bajas a moderadas
Fallamiento	
Tipo de movimiento del material	Delgadas capas de suelo
Velocidad	Extremadamente lento
Tipo de material	Baja cohesión
	Regolitos de grano fino
Fracturación	
Rasgos morfológicos	No muestra superficies de corte
	Vegetación adquiere forma del movimiento
	Rugosidad en el suelo
	Ondulación
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Impacto
	Meteorización
	Excavación
	Licuefacción
	Aumento de agua
	Sobrecarga

<b>Corrientes de escombros</b>	
Pendiente	Mayores a 25 grados
Fallamiento	
Tipo de movimiento del material	Zonas largas y estrechas
	Se deposita en la base
Velocidad	Extremadamente rápida
Tipo de material	Limos
	Arenas
	Sedimentos
	Escombros
Fracturación	
Rasgos morfológicos	Delgados
	Aguados
	Densos
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Impacto
	Meteorización
	Excavación
	Licuefacción
	Aumento de agua
	Sobrecarga

<b>Corrientes de tierra lenta (Arrastre)</b>	
Pendiente	
Fallamiento	Tensión cortante interna causa deformación No existe fallamiento
Tipo de movimiento del material	Movimiento constante
Velocidad	Lenta
Tipo de material	Tierra de grano fino
Fracturación	
Rasgos morfológicos	Da forma a la pendiente Puede o no haber deformación superficial Crestas pequeñas en superficie
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Impacto Meteorización Excavación Licuefacción Aumento de agua Sobrecarga

<b>Avalanchas de escombros</b>	
Pendiente	Pendiente abierta
	Pendiente empinada
Fallamiento	
Tipo de movimiento del material	
Velocidad	Rápida
	Extremadamente rápida
Tipo de material	
Fracturación	Derrumbe de talud inestable
	Desintegración del lecho de roca
Rasgos morfológicos	Escombros fragmentados
	Transporte por varios kilómetros
Factores visuales causantes de la inestabilidad	Impacto
	Meteorización
	Excavación
	Licuefacción
	Aumento de agua
	Sobrecarga