



Universidad Nacional de Loja

En los tesoros de la sabiduría, está la glorificación de la vida.

*ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y
LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES*

*CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL
Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL*

TEMA:

“ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DE
MASA MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA EN LA PARROQUIA URBANA SAN JOSÉ,
CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA”

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA
AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

AUTOR:

- OSCAR ADRIÁN ESTRELLA LIMA

DIRECTOR:

- ING. WALTER SIMÓN TAMBO ENCALADA MG, SC.

LOJA – ECUADOR

2016



II. CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por el señor egresado: OSCAR ADRIÁN ESTRELLA LIMA con C.I.; 1103848790, en su proceso de investigación denominado: "ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DE MASA MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA PARROQUIA URBANA SAN JOSÉ, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA", previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa.

Loja, 11 de Octubre del 2016

Ing. Walter Simón Tambo Encalada Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS



III. AUTORÍA

Yo, **OSCAR ADRIÁN ESTRELLA LIMA**, declaro ser autor del proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula: 1103848790

Fecha: 24 de Octubre de 2016



IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN DEL TEXTO COMPLETO

Yo, **OSCAR ADRIÁN ESTRELLA LIMA**, declaro ser el autor de la tesis titulada: **"ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DE MASA MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA PARROQUIA URBANA SAN JOSÉ, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA"**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinte y cuatro días del mes de octubre del dos mil dieciséis.

Firma: 

Autor: Oscar Adrián Estrella Lima

Cédula: 11103848790

Dirección: Loja (Los Molinos de la UTPL. Manuel de Falla y Francisco Rodas 21-30)

Correo electrónico: oscares91@hotmail.es

Teléfono: 072615079

Celular: 0983341699

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

Ing. Carlomagno Nixon Chamba Tacuri, Mg. Sc.

Ing. José Rubén Jaramillo Espinoza, Mg. Sc.



V. DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, quien me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado.

De igual forma, a mi madre Beatriz Lima Cevallos por ser el pilar fundamental en mi vida y por ser quien me ha formado con grandes hábitos y valores, lo cual me ha permitido salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi padre Bolívar Hernán Estrella Macas quien a pesar de la distancia a sabido demostrarme su cariño e inculcar en mi la paciencia y el discernimiento, cualidades que me han servido para avanzar en este largo trayecto universitario.

A mi hermana Adriana Elizabeth quien siempre ha estado junto a mí brindándome su apoyo incondicional.

A mi familia en general, quien gracias a sus consejos y oraciones me han brindado su apoyo y cariño incondicional en buenos y malos momentos.

El Autor



VI. AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y la paciencia concedidas a lo largo de toda mi carrera universitaria. A mis padres Bolívar y Beatriz por su constancia al educarme y cultivar en mi valores como la honestidad, sencillez, humildad y constancia que me han servido para avanzar sin desmayar.

A la Universidad Nacional de Loja, al Área de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables y a los docentes de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial por inculcar con sabiduría sus conocimientos a los largo de estos años y permitir superarme profesionalmente.

A mi director de tesis Ing. Walter Tambo Encalada, quien ha sido paciente a lo largo del desarrollo del presente proyecto y me ha brindado su apoyo en el cumplimiento de mis responsabilidades.

A la Ing. Carolina Cabrera quien me apoyó constantemente en la realización del presente proyecto.

A mis primos Pablo y Diego quienes me han acompañado a lo largo de mi carrera y gracias a su apoyo he sabido sobrellevar muchas adversidades que se me han presentado durante mi etapa universitaria. Así mismo agradezco a todas las personas que estuvieron conmigo y que por el vaivén normal de la vida se han alejado pero cuando me acompañaron siempre demostraron su cariño incondicional.

Por último agradezco al personal del GAD Catamayo que me brindaron la facilidad de acceder a información propia y los permisos necesarios para las labores de campo.

El Autor



VII. TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| II. CERTIFICACIÓN | II |
| III. AUTORÍA..... | III |
| IV. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN DEL TEXTO COMPLETO | IV |
| V. DEDICATORIA | V |
| VI. AGRADECIMIENTO..... | VI |
| 1. TÍTULO | 1 |
| 2. RESUMEN..... | 2 |
| ABSTRACT | 3 |
| 3. INTRODUCCIÓN | 4 |
| OBJETIVOS..... | 6 |
| GENERAL..... | 6 |
| ESPECÍFICOS..... | 6 |
| 4. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 7 |
| 4.1. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DE MASA | 7 |
| 4.2. MOVIMIENTOS DE MASA | 7 |
| 4.2.1. CLASIFICACIÓN..... | 8 |
| 4.2.2. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES | 11 |
| 4.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA..... | 12 |
| 4.3.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS EN SIG | 13 |
| 4.3.2. INTEGRACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS CON LOS SIG | 15 |
| 4.4. ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD | 16 |
| 4.5. TOPOGRAFÍA | 16 |
| 4.6. GEOLOGÍA..... | 17 |
| 4.7. GEOMORFOLOGÍA..... | 17 |
| 4.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 18 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS | 19 |
| 5.1. Materiales..... | 19 |
| 5.1. Metodología | 19 |



| | | |
|--------|---|----|
| 5.1.1. | Factores Condicionantes de la Inestabilidad | 20 |
| 5.1.2. | Topografía del Terreno | 20 |
| 5.1.3. | Uso Actual del Suelo | 24 |
| 5.1.4. | Levantamiento Geológico..... | 25 |
| 5.1.5. | Levantamiento Geomorfológico..... | 28 |
| 5.1.6. | Mapa de Isoyetas | 31 |
| 5.1.7. | Determinación de la susceptibilidad a movimientos de masa | 32 |
| 6. | RESULTADOS | 35 |
| 6.1. | Descripción Biofísica del área de estudio | 35 |
| 6.1.1. | Ubicación y Acceso | 35 |
| 6.2. | Análisis de Susceptibilidad en el Sector de Estudio | 37 |
| 6.2.1. | Topografía | 37 |
| 6.2.2. | Pendientes | 37 |
| 6.2.3. | Uso Actual de Suelo | 38 |
| 6.2.4. | Geología | 40 |
| 6.2.5. | Geomorfología..... | 52 |
| 6.2.6. | Isoyetas | 54 |
| 6.2.7. | Determinación de la susceptibilidad a movimientos de masa | 55 |
| 7. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 60 |
| 8. | CONCLUSIONES | 62 |
| 9. | RECOMENDACIONES | 64 |
| 10. | BIBLIOGRAFÍA..... | 65 |
| | ANEXOS..... | 71 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.- Clasificación de las pendientes | 23 |
| Tabla 2.- Valoración según Cobertura Vegetal y Uso Actual de Suelo | 24 |
| Tabla 3.- Parámetros para asignar rangos según el tipo de material | 27 |
| Tabla 4.- Tabla para determinar la geomorfología | 29 |
| Tabla 5.- Asignación de pesos según el rango de precipitación | 31 |
| Tabla 6.- Asignación de peso por el método de suma de rangos..... | 33 |
| Tabla 7.- Asignación de Pesos a Subvariables | 34 |
| Tabla 8.- Coordenadas de ubicación del Sector de estudio | 35 |
| Tabla 9.- Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente..... | 37 |
| Tabla 10.- Cobertura y uso actual del suelo | 39 |
| Tabla 11.- Litología de la parroquia San José | 48 |
| Tabla 12.- Inventario de deslizamientos | 52 |
| Tabla 13.- Geomorfología del área de estudio..... | 52 |
| Tabla 14.-. Isoyetas..... | 54 |
| Tabla 15.- Asignación de pesos en base al Método de suma de rangos. | 55 |
| Tabla 16.- Pesos asignado a la variable de Geología..... | 56 |
| Tabla 17.- Pesos asignados a la variable geomorfología..... | 56 |
| Tabla 18.- Pesos asignados a la variable de pendiente. | 56 |
| Tabla 19.- Pesos asignados a la variable de Uso actual del suelo | 56 |
| Tabla 20.- Pesos asignados a la variable Isoyetas | 56 |
| Tabla 21.- Asignación de pesos en base al Método de suma de rangos. | 57 |
| Tabla 22.- Categorías susceptibilidad a deslizamientos. | 57 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.- Esquema de deslizamiento rotacional (A) y traslacional (B) | 8 |
| Figura 2.- Esquema de un desprendimiento en donde se define sus zonas | 10 |
| Figura 3.- Expansiones laterales..... | 10 |
| Figura 4.- Estratos temáticos de un Sistema de Información Geográfica | 16 |
| Figura 5.- Materiales de campo y oficina..... | 19 |
| Figura 6.- Modelo TIN | 21 |
| Figura 7.- Mapa Topográfico Final | 22 |
| Figura 8.- Generación de pendientes | 23 |
| Figura 9.- Generación del mapa geológico..... | 26 |
| Figura 10.- Ortofoto del área de estudio..... | 28 |
| Figura 11.- Modelo TIN en 3D del Area de estudio..... | 29 |
| Figura 12.- Generación del Mapa de Isoyetas | 32 |
| Figura 13.- Explicación de la herramienta "SUMA PONDERADA"..... | 33 |
| Figura 14.- Ubicación de la Zona de Estudio | 36 |
| Figura 15.- Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente. | 38 |
| Figura 16.- Gráfica sobre Cobertura y Uso Actual del Suelo..... | 39 |
| Figura 17.- Geología Regional según Steinmann y Hungerbuhler de Catamayo..... | 41 |
| Figura 18.- Afloramiento de areniscas tobáceas con estratificación | 44 |
| Figura 19.- Afloramiento de areniscas intercalaciones de arcilla y conglomerados. | 44 |
| Figura 20.- Afloramiento de Lutitas intercaladas con paquetes de Areniscas y Arcilla | 45 |
| Figura 21.- Afloramiento de conglomerados con base areno-arcilloso..... | 45 |
| Figura 22.- Calicata de arcillas de tonalidades oscuras..... | 46 |
| Figura 23.- Afloramiento de Arcillas claras | 46 |
| Figura 24.- Afloramiento de Aglomerados volcánicos estratificados por capas de arcilla y un paquete de tobas..... | 47 |
| Figura 25.- Zona de contacto entre las Formación Loma Blanca y Gonzanamá | 47 |
| Figura 26.- Gráfica. De litología de la parroquia San José | 48 |
| Figura 27.- Columna Estratigráfica del área de estudio (Anexo 8)..... | 50 |
| Figura 28.- Gráfica de Geomorfología del área de estudio | 53 |
| Figura 29.- Gráfica de Isoyetas | 55 |
| Figura 30.- Gráfica de Susceptibilidad a Movimientos de Masa | 58 |



1. TÍTULO

“ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DE MASA MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA PARROQUIA URBANA SAN JOSÉ, CANTÓN CATAMAYO, PROVINCIA DE LOJA”



2. RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene la finalidad de identificar y caracterizar las zonas susceptibles a deslizamientos en la Parroquia San José, cantón Catamayo, Provincia de Loja.

Para llevar a cabo este estudio se realizó varios trabajos sobre las 521,90 Ha que abarca la parroquia, tanto de campo, oficina y laboratorio, como son levantamiento topográfico, geológico, geomorfológico, uso actual del suelo y recopilación de información de las estaciones meteorológicas para la generación de isoyetas, dicha información fue procesada mediante el uso de softwares (AutoCAD, ArcGis 10.1. ArcView 3.2), lo que permitió obtener el modelamiento para el cálculo de la susceptibilidad a movimientos de masa.

Con la finalidad de hacer una comparación se realizó el cálculo de las zonas susceptibles a movimientos de masa, mediante el método de Suma de Rangos, que se basa en la asignación de pesos para las variables del mapa de susceptibilidad, el mismo que considera los factores que influyen en la inestabilidad mediante asignación de pesos o criterios de experto (Carrara et al., 1995; Castellanos, 2001; Castellanos, 2008), agrupando a las variables de la siguiente manera: Geología (0.33), Geomorfología (0.27), Pendientes (0.20), Uso de Suelo (0.13), Isoyetas (0,07).

Como resultado final, la susceptibilidad a deslizamientos en la zona de estudio por el método de Suma de Rangos, se determinó que del total de la superficie de la zona de estudio, el 28,39% corresponde a susceptibilidad muy baja, el 20,61% a baja susceptibilidad, el 24,97% a media susceptibilidad, el 17,74% a alta susceptibilidad y el 8,29% a susceptibilidad muy alta. Estos resultados se pueden corroborar tanto en oficina mediante la comparación con el mapa de Inventario de deslizamientos y en campo inspeccionando la zona de estudio, ya que se conoce y se puede evidenciar estas categorías.

Lo que se pretende con los resultados obtenidos, es que sean aplicados como una base en la toma de decisiones en los procesos de planificación, principalmente en los que respecta a la construcción de viviendas.



ABSTRACT

The following investigation thesis aims to identify and characterize the susceptibility join to slip areas from the Parish of San Jose, Catamayo canton, from the Province of Loja.

In order to carry out this study we released several works, both on the field at about 521, 90. This includes the Parish, the office and laboratory, as topographical, geological surveys, the actual use of ground and the collection of information from the meteorological stations. This information was processed using Software's like (ArcGis 10.1., Ilwis 3.7 and ArcView 3.2), this allowed us to obtain the modeling for the calculation of the susceptibility join to slip areas.

In order to make a comparison we released the calculation of susceptibility join to slip areas using the Sum of Ranks method, this is based on the assignment of weights, for the variables from the map of susceptibility, the same that considers the factors that influence the instability with weight assignation or expert criteria (Carrara et al., 1995; Castellanos 2001; Castellanos, 2008), by gathering the variables like Geology (0,33), Geomorphology (0,27), Pending (0,20), use of ground (0,13), Isohyet (0,07).

As a final result, the susceptibility join to slip on the studied areas with the method of Sum of Ranks, it was determined that the total of the surface from the studied zone, was 28,39% belonging to a low half susceptibility, 20,61% a low susceptibility, 24,97 % half susceptibility and 17,74% with a higher susceptibility and 8,29 higher susceptibility. This results could also be verified within the office using the inventory of landslides, map comparison and on the supervised field from the studied zone, we can get to know them and evidence this categories.

Now with the results that have been obtained, is that they should be applied with a base on making decisions on the planning processes, mainly on the ones that belong to house constructions.



3. INTRODUCCIÓN

La susceptibilidad a deslizamientos es la característica inherente que presenta o puede presentar un accidente geográfico (talud o ladera), debido a las características intrínsecas, físicas y geomorfológicas que posee, considerando a un deslizamiento como un riesgo geológico de origen natural o inducido que debe tenerse en cuenta en la planificación del territorio.

Los estudios de zonas susceptibles a deslizamientos, permiten zonificar zonas propensas a sufrir algún tipo de movimientos de masa, ocasionados por los procesos geodinámicos; con el objetivo de prevenir y mitigar los riesgos geológicos.

El presente proyecto de tesis está encaminado a determinar las zonas susceptibles a deslizamientos, de la Parroquia san José, cantón Catamayo, Provincia Loja, la zona de estudio tiene un área de 521,90 hectáreas y abarca los barrios Santo Domingo y San José".

Mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se llevó a cabo el desarrollo del proyecto en donde se logró obtener datos a detalle y con exactitud de la zona de estudio, es así que se identificó las siguientes características La cota mayor es de 1392 m s.n.m., al Este del área de estudio y la cota más baja 1150 m.s.n.m., al Oeste del área de estudio, las pendientes predominantes son bajas y representan 234,83 hectáreas, es decir el 45,29%, se encuentra sobre dos formaciones geológicas, la Formación Loma Blanca con litología de tipo tobas blanquecinas con paquetes de arena arcillosa, láminas de yeso y carbonatos y los aglomerados de la Formación Gonzanamá.

Geomorfológicamente se determinó Glacis de esparcimiento que tienen una pendiente entre 0° - 5° y desnivel relativo de hasta 5 metros, Glacis de acumulación con pendientes que van de 5° - 15° con desnivel de 5 a 10 metros, Superficie de cuesta con pendientes entre 15° - 35° , con desnivel relativo de 20 metros, Superficie de cuesta destruida con pendientes entre 35° - 55° , con desnivel mayor a 20 metros.

El uso actual de suelo que predomina en la zona de estudio se destina a cobertura agropecuaria, ocupando 388,78 hectáreas, es decir 74,47% que están siendo usadas actualmente por cultivos de caña de azúcar, pasto natural y pasto natural en áreas en proceso de erosión, esta cobertura tiene un total de 388,78 hectáreas; y en menor



superficie se encuentra la cobertura antrópica, usada como zona urbana en la que se considere a vías y edificaciones y abarca un área de 133,12 hectáreas, es decir 25,50%.

Respecto a las precipitaciones el rango de 0 – 100 mm/año es el predominante, abarcando un 47,17% del total del área, las mayores precipitaciones representan un porcentaje del 22,32% lo que representa 116,42 ha

Con el análisis final de la susceptibilidad por el método de Suma de Rangos da como resultado que en la zona que ocupa mayor porcentaje es la de muy baja susceptibilidad con un 28,39%.

En la actualidad se han propuesto normas vigentes en el Ecuador, con el fin de la zonificación y ordenamiento del territorio, lo que han conllevado a que se hagan más indispensables los estudios de susceptibilidad a deslizamientos.

El análisis de susceptibilidad tiene como objetivo conocer y/o estimar el potencial de afectación de movimiento de masa en un área determinada. Este tipo de estudio contribuye a orientar la ubicación de infraestructuras, líneas vitales y edificaciones esenciales, en áreas seguras. Siguiendo estas afirmaciones se pretende en la medida de lo posible, llamar la atención de las instituciones públicas y privadas así como de personas interesadas en este tipo de estudios, seguirlos y tomarlos en cuenta, de manera tal que los responsables en la toma de decisiones puedan establecer mecanismos y estrategias de planificación y ordenación del territorio óptimos para un buen desarrollo de la región.



OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar rangos de susceptibilidad a movimientos en masa aplicando un método semi-cuantitativo que considera la suma de factores condicionantes desarrollados por sistemas de información geográfica (ArcGis 10.1), en la parroquia urbana San José, en el cantón Catamayo, Provincia de Loja.

ESPECÍFICOS

- Generar la cartografía básica geológica, pendientes, geomorfológicas, cobertura vegetal y uso actual del suelo a partir de las características litológicas, comportamiento de los materiales, ortofotos, aprovechamiento de los espacios físicos y las isoyetas a partir de registros anuales de estaciones meteorológicas de la parroquia San José del Cantón Catamayo en la Provincia de Loja.
- Determinar en campo la litología a partir de la identificación del tipo de material y el comportamiento del mismo, con la finalidad de obtener la cartografía Geológica.
- Verificar en el sector de estudio los datos obtenidos mediante fotointerpretación para así elaborar de forma correcta la cartografía Geomorfológica y de Uso Actual de Suelo Final.
- Elaborar el Mapa de Susceptibilidad a Movimientos de Masa mediante el método de Suma de Rangos en donde se procederá a la asignación de pesos a cada una de las variables obtenidas (cartografía generada).



4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1.SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DE MASA

La "susceptibilidad a movimientos de masa", es el grado en el cual un área puede ser afectada por futuros movimientos; es decir una estimación del lugar donde podría ocurrir éstos movimientos (Guzzetti, 1999).

Según Ayala C. (2002), la susceptibilidad es la propensión o tendencia de una zona a ser afectada por movimientos de ladera por desestabilización, determinada a través de un análisis comparativo de factores condicionantes y/o desencadenantes.

Desde un punto de vista matemático Chung and Fabbri, (2003); Guzzetti (2005), definen a la susceptibilidad como la posibilidad de ocurrencia espacial (geográfica) de fallas, dado un conjunto de condiciones geo-ambientales.

Establecidos cada uno de los conceptos de los autores, se procede a definir un concepto general, mencionando así a la susceptibilidad a movimientos de masa como la favorabilidad del ambiente físico y de los elementos inherentes de las masas de terreno y superficie como la geología, pendiente, geomorfología, usos del suelo, etc., a la ocurrencia de deslizamientos.

4.2.MOVIMIENTOS DE MASA

Se entiende como movimiento de ladera el movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente (Cruden, 1991). Se incluye cualquier tipo de movimiento en masa (se excluye por tanto la erosión), excepto la subsidencia y el hundimiento kárstico (Fernández, 2001).

Otra definición que se manifiesta en términos análogos es la aportada por Corominas y García Yagüe (1997) definiendo movimientos de ladera como los movimientos del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad. Los hundimientos de cavidades o de materiales están excluidos de estos movimientos (Varnes, 1978).

4.2.1. CLASIFICACIÓN

Los movimientos de ladera se pueden clasificar en función del mecanismo de rotura y de la propagación del movimiento empleando criterios morfológicos. Estos movimientos de ladera dependerán del tipo de movimiento y de la naturaleza de los materiales inestables, es decir, en la clasificación suelo-roca de estos. Así, se diferencian cuatro tipos de movimientos de ladera potenciales: Deslizamientos, Flujos, Desprendimientos y Expansiones laterales (Corominas, 1989; Ferrer, 1995 y González y Ferrer, 1997).

- **Deslizamientos**

(Tomado de Copons y Tallada, 2009). Un deslizamiento es el movimiento de una porción de terreno a través de una superficie de rotura neta con la preservación general de la estructura interna original.

Se puede diferenciar dos tipos de deslizamientos:

- Deslizamientos rotacionales: La superficie de rotura es circular, a modo de cuchara
- Deslizamientos traslacionales: La superficie de rotura es totalmente plana.

Los deslizamientos son especialmente frecuentes en laderas inclinadas, entre 20 y 50 grados, y con formaciones geológicas poco resistentes y cohesivas (lutitas arcillosas, margas, etc.). También son frecuentes en laderas formadas por rocas estratificadas con intercalaciones de capas delgadas de arcillas o lignitos. Es también la inestabilidad más frecuente en terraplenes antrópicos.

Las velocidades son desde extremadamente lentas (menos de un centímetro por año) hasta moderadamente rápidas (varios metros por día). Suelen causar importante daños materiales en urbanizaciones y tramos de la red viaria, pero su efecto mortal suele ser bajo.

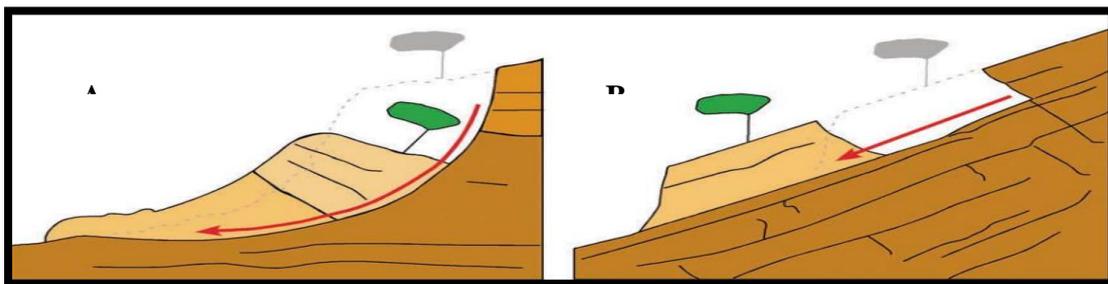


Figura 1.- Esquema de deslizamiento rotacional (A) y traslacional (B)
Fuente: Copons y Tallada. MOVIMIENTOS DE LADERA. (2009).



- **Flujos**

(Corominas y Yagüe 1997; Highland y Bobrowsky, 2008) Un flujo es un movimiento continuo, similar a un líquido viscoso, que no preserva la estructura interna original del material desplazado sino que adopta la morfología de la vertiente por la que discurre. Existen diferentes tipos de flujos:

- Coladas fangosas: Se da en materiales finos y cohesivos como son los limos y las arcillas. Se generan en vertientes moderadamente inclinadas, entre 20 y 50 grados, y sus velocidades son relativamente rápidas siendo normalmente del orden de metros/día hasta kilómetros/hora. Sus dimensiones son muy variables desde metros cuadrados hasta varios kilómetros cuadrados
- Corrientes de derrubios: La corriente de derrubios habitualmente es un flujo “turbulento” formado por un material fangoso con bloques rocosos. Se canaliza por el torrente (zona de trayecto) desplazándose a velocidades muy rápidas e incrementa su volumen por erosión del material situado en el lecho.
- Reptación superficial: La reptación superficial es la inestabilidad de la parte más superficial del terreno (de decímetros a pocos metros de grosor) y que se desplaza mediante velocidades muy lentas (del orden de mm/año a dm/año). Es el tipo de movimiento de ladera más habitual y puede afectar a toda una vertiente.

- **Desprendimientos**

Un desprendimiento (rockfall en inglés) es una masa rocosa, o de tierra, que se separa de una vertiente casi vertical y cae libremente a través del aire.

La masa inestabilizada impacta en el terreno fragmentándose en porciones más pequeñas que siguen una trayectoria particular.

Los volúmenes de los desprendimientos son variables, desde las frecuentes caídas de bloques de pocos metros cúbicos, hasta la caída de grandes partes de una montaña que se manifiestan en casos muy excepcionales (Copons, 2007).

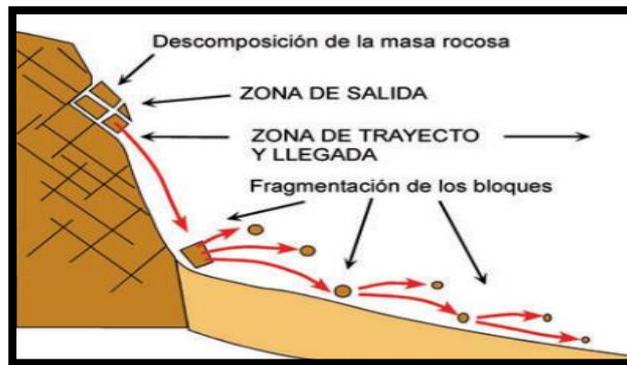


Figura 2.- Esquema de un desprendimiento en donde se define sus zonas
Fuente: Coppons, 2007

- **Expansión Lateral**

Varnes (1978), distinguió dos tipos de extensiones laterales:

- **La fracturación**

Extensión de material compacto (tanto suelo como roca), debido a la licuefacción del material subyacente.

Según Hutchinson (1988), el movimiento progresa retrogresivamente con gran rapidez considerando a esta modalidad como una variante de los deslizamientos traslacionales.

- **Los movimientos**

Afectan al conjunto de formación sin que se identifiquen zonas basales de cizalla o flujo plástico, o por lo menos, sin que estén bien definidas. Suelen afectar a litologías blandas y deformables que se encuentran por debajo de niveles potentes de materiales resistentes y densos.

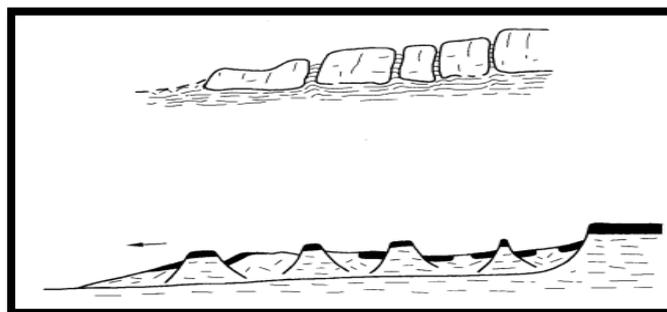


Figura 3.- Expansiones laterales.
(A): por fluencia y extrusión del material.
(B): por licuefacción (arcillas rápidas)
Fuente: Corominas y García Yagüe (1997)



4.2.2. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

Los procesos de remoción en masa, se producen por un incremento de las fuerzas desestabilizadoras y/o por una reducción en la resistencia de los materiales implicados.

Los factores que controlan los movimientos de ladera en general son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno (Seisdedos Santos, 2009).

Los factores condicionantes o pasivos, son aquellos que dependen de la naturaleza, estructura y forma del terreno, tales como: las condiciones topográficas, litológicas, hidrogeológicas, los estados tenso-deformacionales, el grado de alteración o meteorización de los materiales y cobertura vegetal.

Los factores desencadenantes o activos, son considerados acciones externas, que provocan inestabilidad y desencadenan movimientos en masa al modificar las condiciones preexistentes. Estos son: precipitaciones, sismicidad, terremotos y vibraciones, erosión, agrietamiento por resequedad del suelo, factores antrópicos (Seisdedos Santos, 2009; Herrera, 2011).

Los factores que desencadenan los deslizamientos están relacionados con las variaciones que se producen de las propiedades intrínsecas del terreno. Por tanto, siguiendo lo recogido en Torrijo (2003), los factores que influyen en los deslizamientos y en su formación son:

- Litología y propiedades resistentes del material.
- Estructura geológica.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Morfología de la zona.

Estos factores pueden resumirse y detallarse en NATURALES Y ANTRÓPICOS:

Factores naturales:

- Meteorización
- Erosión
- Orientación con respecto a la estructura geológica



- Pendientes elevadas de un área
- Climatología
- Agua:
 - Erosión por cauces fluviales
 - Aumento del nivel freático.
- Sismicidad (Gutiérrez, 2008)
- Vegetación

Factores antrópicos

- Excavaciones por minería y obra civil
- Voladuras
- Sobrecargas en laderas
- Cambios del nivel freático o nivel de saturación en embalses, regadíos, canales

4.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Una definición clásica es la de Tomlin (1990), para quien un SIG es un elemento que permite “analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre”. El mismo autor argumenta, no obstante, que esta es una definición muy amplia, y habitualmente se emplea otra más concreta. En palabras habituales, un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos.

En una línea similar, Star (1990), define un SIG como un “sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas”. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos. En cierto modo, un SIG es un mapa de orden superior.

Con lo anterior, una definición más precisa es decir que un SIG es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (Korte, 2001).



4.3.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS EN SIG

4.3.1.1. Método Heurístico

Según van Westen, (1997) es el más subjetivo de todos ya que un especialista es el que decide el tipo ó grado de riesgo para una zona en cuestión, utilizando la asignación directa o indirecta.

Así, dos tipos de análisis heurísticos pueden distinguirse:

- El análisis geomorfológico
- La combinación cualitativa de mapas.

En el primero, conocido también como método de cartografía directa, el grado de susceptibilidad del terreno es determinado directamente en el campo en base al conocimiento y experiencia del investigador. Los criterios aplicados son, por lo tanto, difíciles de definir, ya que varían según el sitio estudiado (Segura, 2009).

En el segundo, se busca superar el problema de los “criterios ocultos” del análisis geomorfológico. En éste método, el científico usa su criterio experto para asignar pesos (valores que representan un determinado grado de importancia) a una serie de mapas parámetro (mapas de factores condicionantes que se consideran relacionados con la ocurrencia de movimientos de laderas). Tales factores se suman de acuerdo con éstos pesos, dando como resultado valores de susceptibilidad que pueden ser agrupados en categorías ó clases.

Según Ambalagan, 1992; Brabb, 1972; Nilsen, 1979; son métodos conocidos como indirectos, los resultados de los cuales se pueden extrapolar a zonas sin deslizamientos con una combinación de factor similar.

4.3.1.2. Método Determinístico

El método determinístico, tiene como base a los modelos hidrológicos y de estabilidad que consideran la información detallada de las pendientes fundadas en la mecánica de suelos. Éste método busca eliminar la subjetividad cuantificando los grados de riesgo en valores absolutos, como por ejemplo a través del factor de seguridad (Safety Factor) (Barredo, 2000).



Una gran ventaja de éste método es el alto grado de simplificación, principalmente para mapeos de escala media y regional, debido a la gran variabilidad de los parámetros geotécnicos. De ésta forma, el desempeño del método depende totalmente de la calidad y cantidad de los datos colectados (van Westen et al., 1997; Fernández et al., 2001; Dai, 2002).

Según Dai And Lee (2002), éste tipo de abordaje debe ser empleado cuando las condiciones del terreno son relativamente uniformes y la tipología de los procesos de remoción en masa es bien conocida y fácilmente analizable.

4.3.1.3.Método Estadístico

Según Carrara, (1995) y van Westen et al., (1997), el método estadístico tiene como principio la búsqueda de relaciones entre los factores condicionantes de inestabilidad (tales como litología, cobertura vegetal, uso del suelo, pendientes, etc.) y la distribución de los procesos de remoción en masa antiguos y recientes de un paisaje. A partir de la combinación estadística de éstos factores se determinan los grados de riesgo asumiendo que los factores que causan inestabilidad para determinadas áreas serán los mismos que podrían generar movimientos futuros (Dai et al., 2002).

Esta técnica, se divide en dos análisis estadísticos principales:

- Análisis Multivariado (considera para cada unidad, polígono ó píxel, la presencia ó ausencia de movimientos de laderas generándose una matriz de datos que es analizada en un soporte estadístico mediante regresión múltiple, análisis discriminante, etc.)
- Análisis Bivariado (considera el peso de cada clase y de cada parámetro de análisis utilizando técnicas de inferencia como por ejemplo, Lógica difusa ó Fuzzy e Inferencia Bayesiana).

Según Carrara et al., (1995); van Westen et al., (1997) y Dai and Lee (2002) la confiabilidad del método depende de la calidad y cantidad de los datos.



4.3.2. INTEGRACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS CON LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Se han realizado varias definiciones en torno a los Sistemas de Información Geográfica - en adelante SIG o GIS, en siglas inglesas- (Cebrián y Mark, 1986; Burrough, 1988; Bracken y Webster, 1990; NCGIA, 1990). De manera simple un Sistema de Información Geográfica se puede contemplar como un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización en todos los mapas incluidos en el sistema de información (Bosque, 1992). Así es posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona. Un S.I.G. se puede considerar esencialmente como una tecnología (un sistema de hardware y software) aplicada a la resolución de problemas territoriales (Bosque, 1992).

En un S.I.G., como programa de ordenador con unas capacidades específicas, se pueden encontrar las siguientes funciones (Bosque, 1992):

- Funciones para la entrada de información
- Funciones para la salida/representación gráfica y cartográfica de la información
- Funciones de gestión de la información espacial y
- Funciones analíticas.

Un S.I.G. puede contener varios modelos de datos de los objetos geográficos: el modelo vectorial, el modelo raster, el jerárquico-recursivo, etc., todos ellos válidos para los mapas planos formados por puntos, líneas y polígonos. Cada modelo está mejor preparado para realizar unas determinadas tareas (Bosque, 1992). También existen modelos de datos espaciales para realizar mapas tridimensionales o de volúmenes (como por ejemplo, el modelo basado en una red de triángulos irregulares).

Visto así, un S.I.G. es una herramienta perfectamente aplicable para realizar el análisis y la posterior cartografía de la susceptibilidad, de la peligrosidad y/o del riesgo a deslizamientos.

El desarrollo de los SIG ha incrementado enormemente la disponibilidad de las técnicas de evaluación de susceptibilidad a deslizamientos y su aplicación (van Westen (1994).

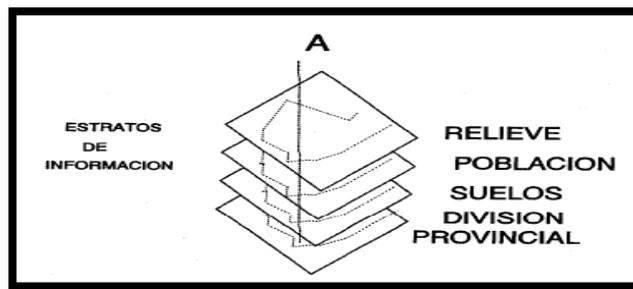


Figura 4.- Estratos temáticos de un Sistema de Información Geográfica
Fuente: (Bosque, 1992).

4.4.ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD

Según Torrijo et al., 2003, se consideran que se puede establecer o zonificar áreas con alta susceptibilidad mediante la combinación de variables como:

- Pendientes de laderas y taludes
- Alturas de talud
- Litología
- Estabilidad natural
- Parámetros hidrológicos e hidrogeológicos
- Formaciones superficiales
- Grado de meteorización

4.5.TOPOGRAFÍA

Norman Thomas en 1920 definía la Topografía como: "el arte de determinar la posición relativa de los distintos detalles de porciones de la superficie terrestre".¹

Higgins en 1943 señalaba: "La Topografía puede describirse como el arte de realizar medidas sobre la superficie terrestre con el propósito de elaborar mapas, planos o determinar una superficie".²

Aranha Domingues (1979) entiende por Topografía: "el conjunto de principios, métodos, instrumentos y procedimientos utilizados para la determinación del entorno, dimensiones y posición relativa de una porción limitada de la superficie terrestre, del fondo de los

¹ THOMAS, N.W. (1958): pág.1.

² HIGGINS, A.L. (1957): pág. 1.



mares y del interior de las minas. También compete a la topografía el replanteo de proyectos".³

Buckner (1983) la define como: "La ciencia y el arte de realizar las mediciones necesarias para determinar la posición relativa de puntos sobre, en, o debajo de la superficie terrestre, así como para situar puntos en una posición concreta".⁴

4.6.GEOLOGÍA

Meléndez y Fuster (1991) definen la Geología como "la ciencia que estudia la Tierra, su composición, su estructura y los fenómenos de toda índole que en ella tienen lugar incluyendo su pasado, mediante los documentos que de ellos han quedado en las rocas".⁵

Rojas Caballero y Paredes Ángeles, en su libro Compendio de Geología General (2008) definen a la Geología como la Ciencia de la Tierra que estudia el origen, composición, estructura y los fenómenos que se han producido en ella desde su génesis hasta la actualidad. Una definición científica diría que es la combinación matemática, física, química y biológica del estudio de la Tierra tal como hoy existe, y los procesos y estados a través de los cuales ha evolucionado.⁶

Otra definición menciona a la Geología como la Ciencia que concierne a la tierra y las rocas de la que está constituida, los procesos que las formaron durante el tiempo geológico y el modelado de la superficie en el pasado y en el presente.⁷

4.7.GEOMORFOLOGÍA

Es la ciencia que tiene como objeto el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado a describir, entender su génesis y entender su actual comportamiento. Además la geomorfología tiene vinculaciones con otras ciencias tales como la climatología, la hidrografía, la pedología, la glaciología, entre otras y se encuentra relacionada tanto a la

³ ARANHA DOMINGUEZ, F.A. (1979): pág.1

⁴ BUCKNER, R.B. (1983): pág. 2.

⁵ Meléndez B. y J. M. Fuster. (1991). Geología. Madrid, Editorial Paraninfo.

⁶ Rojas D., Paredes J, (2008). Compendio de Geología General. Pag 14

⁷ F.G.H. BTYTH — M.H. FFREITAS, (1995). "GEOLOGÍA PARA INGENIEROS".



geografía física como a la geografía humana (por causa de los riesgos naturales y la relación hombre medio) y a la geografía.⁸

Escobar, (2013), en su Manual de Geología para Ingenieros enuncia a la geomorfología como "La ciencia que estudia las formas de la Tierra. Se especializa en la parte estructural y climática, incorporando técnicas estadísticas sedimentológicas, en laboratorio y sobre todo, pierde su aislamiento para convertirse en una ciencia que atiende múltiples factores e inserta el estudio del relieve al conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física.

4.8.GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Belousov, (1974), en su libro "Geología Estructural", manifiesta que "La geología estructural es una parte de la Geotectónica, es decir de esa asignatura geológica que estudia las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionadas con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tienen lugar.

⁸ Ordoñez Ezequiel, (1950). "BOLETÍN DE LA ASOCIACIÓN MEXICANA DE GEÓLOGOS PETROLEROS".

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

Para la realización de la presente tesis se dispuso de los siguientes materiales:

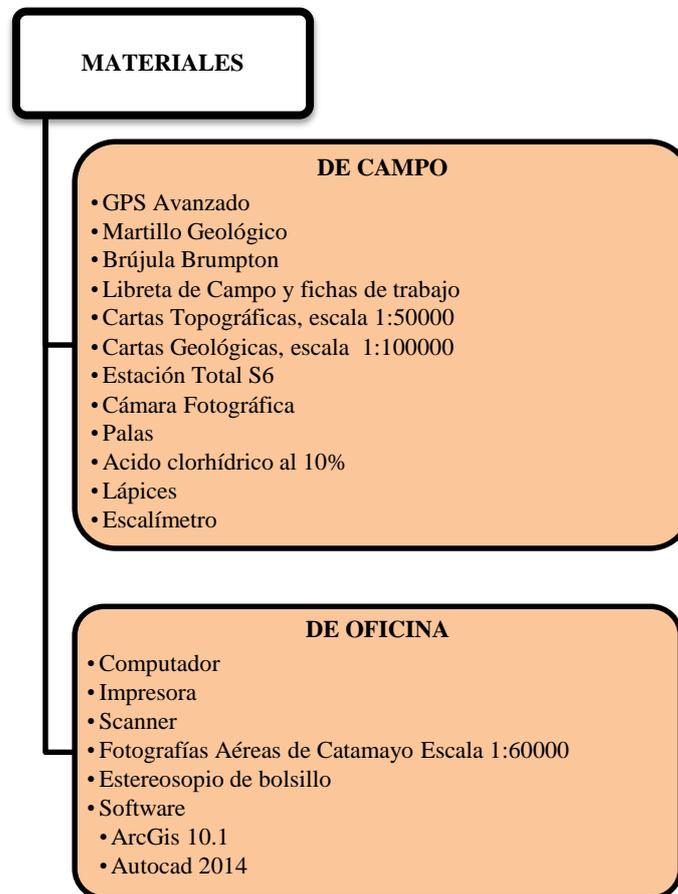


Figura 5.- Materiales de campo y oficina
Fuente: El Autor (2016)

5.2. Metodología

Para determinar la susceptibilidad de la Parroquia San José en el Cantón Catamayo con una extensión aproximada de 521.90 hectáreas, se aplicó el Método Semicuantitativo < Suma de Rangos. Para obtener información del área de estudio se empleó los Sistemas de Información Geográfica. La parroquia comprende a los barrios; Santo Domingo y San José.

Para la evaluación de la susceptibilidad se generó una base de datos mediante variables cartográficas que permitieron determinar los factores del terreno condicionantes de la inestabilidad.



Para ello se utilizaron técnicas tradicionales, como la fotointerpretación y el reconocimiento directo de campo, junto con otras de tratamiento digital de imágenes de satélite y su interpretación según (Hervás y Rosin, 2001); así mismo de imágenes de sombreado del relieve a partir de modelos de elevación del terreno (MDE) de alta resolución para determinar el relieve del área de estudio.

5.2.1. Factores Condicionantes de la Inestabilidad

Como factores que influyen para la inestabilidad en la zona de estudio, se tomó en cuenta las siguientes variables:

- Topografía del Terreno escala 1:10000
- Pendiente del Terreno, escala 1:10000
- Uso Actual de Suelo, escala 1:10000
- Geología (Tipo de Material), escala 1:10000
- Geomorfología (Inventario de Deslizamientos), escala 1:10000
- Isoyetas, escala 1:10000, con registros de los últimos 10 años

5.2.2. Topografía del Terreno

a. Método de campo

Consiste en reconocer el sector de estudio, a través de la observación directa, con el objeto de delimitar y planificar las actividades a realizar.

Se solicitó información topográfica al GAD Catamayo debido a mutua conveniencia del presente proyecto, esto conllevó al acceso a los puntos del levantamiento topográfico en una tabla Excel de la parroquia San José y mediante la opción de convertirlos a formato delimitado por comas compatible con Excel se obtuvo coordenadas en tres dimensiones (X, Y, Z)

Con estos datos se procedió a la digitalización de la información en ArcGis 10.1 representando las viviendas, vías, quebradas, afloramientos, etc.

Finalmente se genera el mapa topográfico mediante la obtención de un Modelo de elevación Digital para generar curvas de nivel cada metro en donde a estas se les aplicó el suavizado respectivo. Al final se obtuvo el mapa topográfico a escala 1:10 000, con el Datum WGS84, Zona 17 Sur, la que nos servirá como base para la ejecución del proyecto.

b. Método de oficina

Primeramente se procede a importar los datos Excel de la estación total, los mismos que fueron obtenidos en el campo, hacia el programa ArcGIS 10.1

Para generar las curvas de nivel se aplica las siguientes herramientas:

- **ArcToolbox - 3D Análisis - Crear TIN de entidades**, (como se muestra en la figura 6)
- **ArcToolbox - 3D Análisis - Superficie triangulada - Curvas de nivel de superficie**, (como se muestra en la figura 7),
- **Herramientas de cartografía – generalización – suavizar línea**, para obtener un terminado estético en el mapa topográfico.

Las curvas secundarias serán cada 1m y las principales cada 5m. Posterior al trabajo en Oficina se procedió a la validación y corroboración de los datos mediante visita técnica al sector de estudio y el uso de GPS y de la estación Total S6.

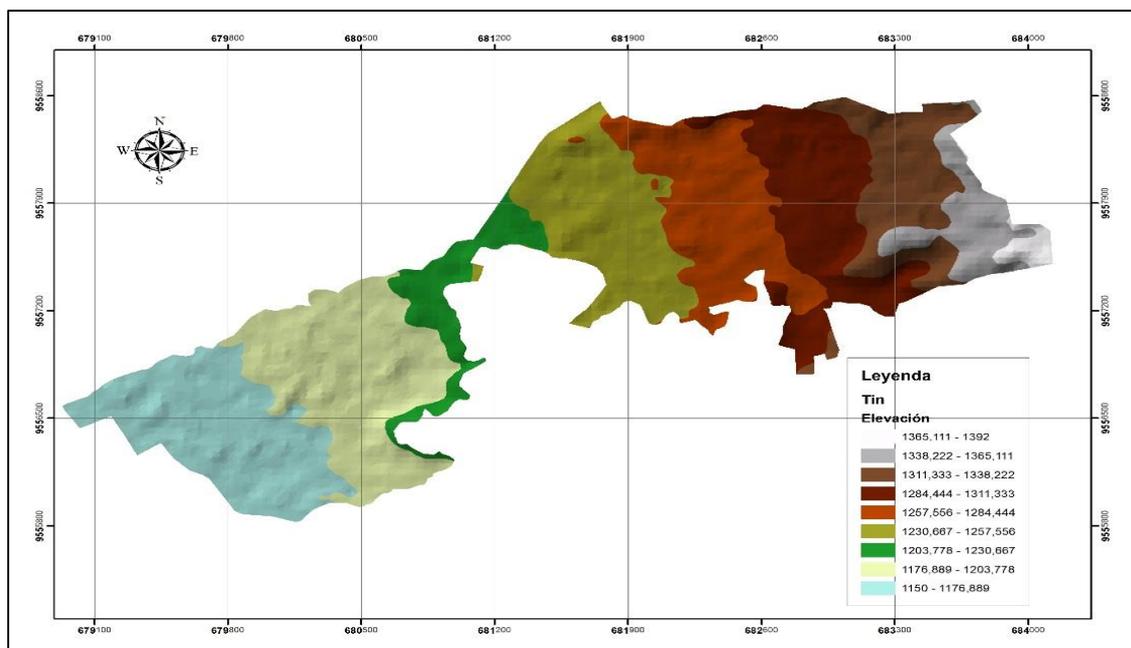


Figura 6.- Modelo TIN
Fuente: El Autor (2016)

Seguidamente se procedió a crear los Shapefiles respectivos en el Sistema de coordenadas UTM WGS-1984 - Zona 17S, digitalizando: vías de primer y segundo orden, infraestructuras, manzanas, cultivos, postes, pozos, rejillas, SEV y el respectivo perfil topográfico.

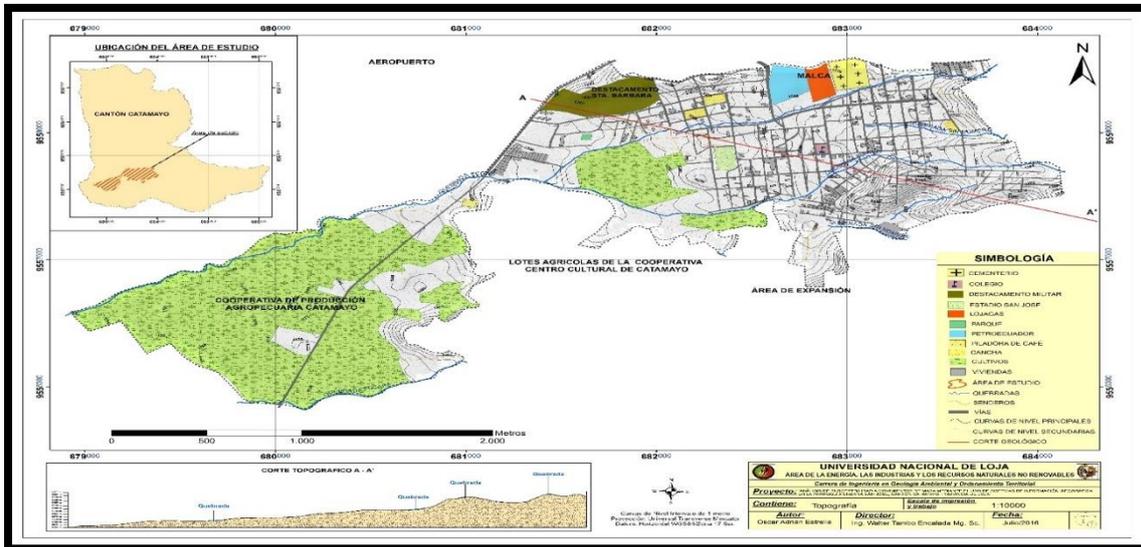


Figura 7.- Mapa Topográfico Final
Fuente: El Autor (2016)

5.2.3. Pendiente del Terreno

Para elaborar el mapa de pendientes, se utiliza el programa ArcGIS 10.1, partiendo del modelo de elevación, aplicando las siguientes herramientas.

- ArcToolbox - 3D Análisis - Conversión desde TIN a Raster, a este raster se le aplica la herramienta - Conversión - Superficie de Raster - Pendiente. , (como se muestra en la figura 8)
- Herramientas de Spatial Analyst - reclasificación - de Modelo "Raster a Polígono" - Conversión → desde Raster a Polígono para una mejor edición; finalmente se utiliza la herramienta "Disolver" para agrupar las categorías y aplicar los colores respectivos.

El Mapa de Pendientes se determinó en base a la clasificación propuesta por Demek, 1972.

Tabla 1.- Clasificación de las pendientes

| TÉRMINO DE LA PENDIENTE | CATEGORÍA (GRADOS) | GRADIENTE EN % |
|-------------------------|--------------------|----------------|
| Muy baja | 0-5 | 3.5-8.7 |
| Baja | >5-15 | 8.7-26.8 |
| Media | >15-35 | 26.8-70 |
| Alta | >35-55 | 70-143 |
| Muy alta | >55-90 | 143-∞ |

Fuente: Demek, J. (ED). 1972. MANUAL DE MAPAS DE MORFOLOGIA A DETALLE.

Cada rango de pendientes se categorizó, de acuerdo a la proporción existente entre el área ocupada por los movimientos en masa y el área ocupada por cada rango de pendientes. En base a esto, se asignó un valor discreto de susceptibilidad, el cual luego se consideró en la evaluación de susceptibilidad final.

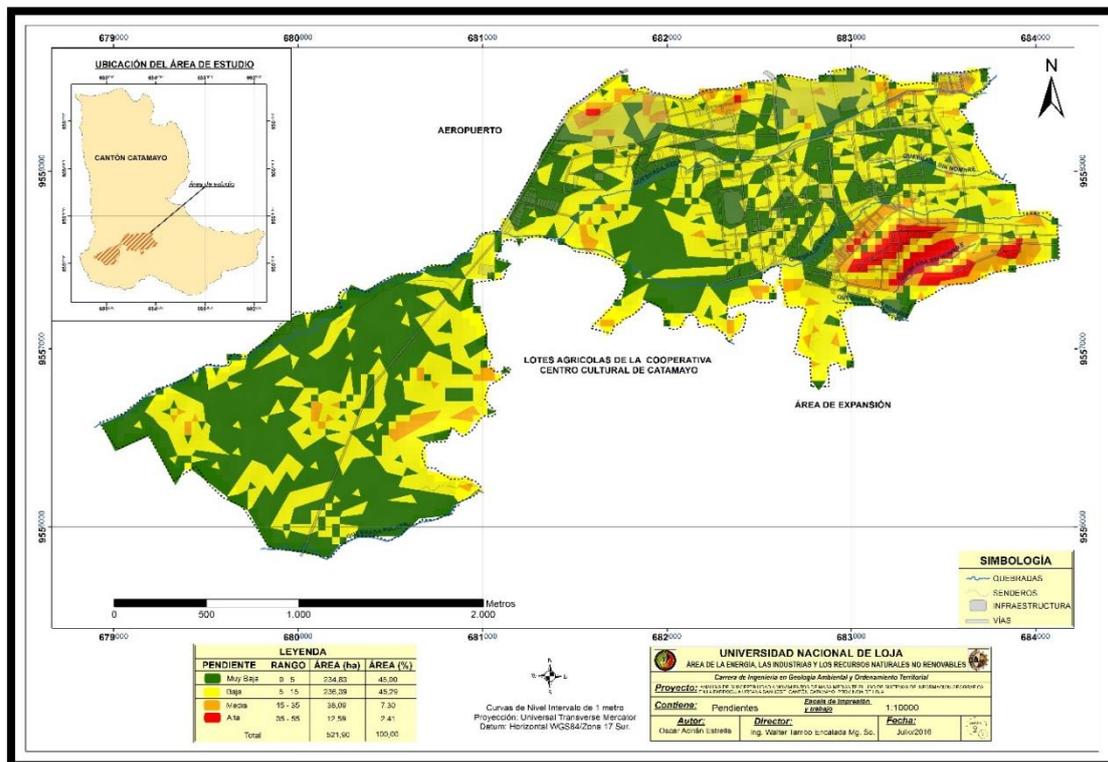


Figura 8.- Generación de pendientes

Fuente: El Autor (2016)



5.2.4. Uso Actual del Suelo

El procesamiento digital de las imágenes se basó en la metodología propuesta por Arenas T. J (2004)⁹ que se fundamenta en procesos de segmentación y clasificación por regiones. Para determinar la Cobertura Vegetal y Uso Actual del suelo se empleó el software ArcGis 10.1, en el que se segmentó por polígonos y se determinó los diferentes usos del suelo representándolos con tramados diferentes.

Según el Uso Actual del Suelo se valoró a cada uno de éstos de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2.- Valoración según Cobertura Vegetal y Uso Actual de Suelo

| NIVEL | W |
|----------------------------|---|
| Bosque nativo | 1 |
| Vegetación arbustiva | 2 |
| Vegetación herbácea | |
| Páramos | 3 |
| Pasto cultivado | |
| Plantación forestal | |
| Cultivos anuales | 4 |
| Cultivos permanentes | |
| Cultivos semipermanentes | |
| Mosaico agropecuario | |
| Área sin cobertura vegetal | 5 |
| Artificial | |
| Glaciares | |
| Infraestructura | |
| Natural | |
| Zonas pobladas | |

Fuente: SNGR (2014)

Los pesos (W) fueron asignados entre un rango de 1 a 5.

La menor susceptibilidad a movimientos de masa vendrá categorizada por el menor valor y por tanto el máximo valor del rango se asignó a la zona de mayor susceptibilidad a movimientos de masa. (Ver **Tabla 7**)

⁹ Cabrera, E., G. Galindo & D.M. Vargas. 2011. Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia,



5.2.5. Levantamiento Geológico

a. Método de campo

La geología de la zona de estudio se obtuvo a partir de información de dominio público como es el INFOPLÁN, la misma que se viene utilizando a nivel nacional desde el año 2013. Ésta sirvió únicamente como referencia del tipo de material existente en el sector de estudio.

Tomando como base el mapa topográfico escala 1:10 000 se procedió a realizar la descripción geológica, a través de una observación directa del sector de estudio en afloramientos naturales y artificiales (ver **Anexo 11**); en vías, para identificar los principales rasgos litológicos, para lo cual se utilizó insumos como: martillo geológico, brújula, GPS, navaja, ácido clorhídrico al 10%, lupa, distanciómetro. Esta información se describió en fichas técnicas.

Así también para conocer el tipo de material y su composición, se obtuvieron muestras del material estableciendo puntos en el terreno para la elaboración de una malla de muestreos sobre la zona de estudio y mediante visitas, se ubicó dichos puntos planificados previamente y se procederá al muestreo. A su vez se realizará un inventario de afloramientos con su respectiva descripción lito estratigráfica y sus coordenadas. De la misma manera se procederá a la excavación de calicatas que permita determinar con mayor precisión la litología en el área de estudio.

En esta parte del estudio se realizó una determinación de la influencia que tendrían las fallas geológicas sobre el terreno.

b. Método de oficina

Una vez realizada las actividades de campo del primer objetivo se procesó la información para cada uno de los factores que intervienen en el análisis final de susceptibilidad a deslizamientos a través del programa ArcGIS 10.1.

La información obtenida se representó en el mapa utilizando el software antes mencionado, donde posteriormente se sumó el criterio del autor y los resultados de análisis de laboratorio para determinar el área más susceptible.

Tomando como base el mapa topográfico realizado y los puntos de afloramientos obtenidos en el campo se procedió a crear shapefiles de tipo polígono, para cada formación geológica. A la vez se definió los contactos litológicos, las medidas estructurales como rumbo y buzamientos de cada una de las capas.

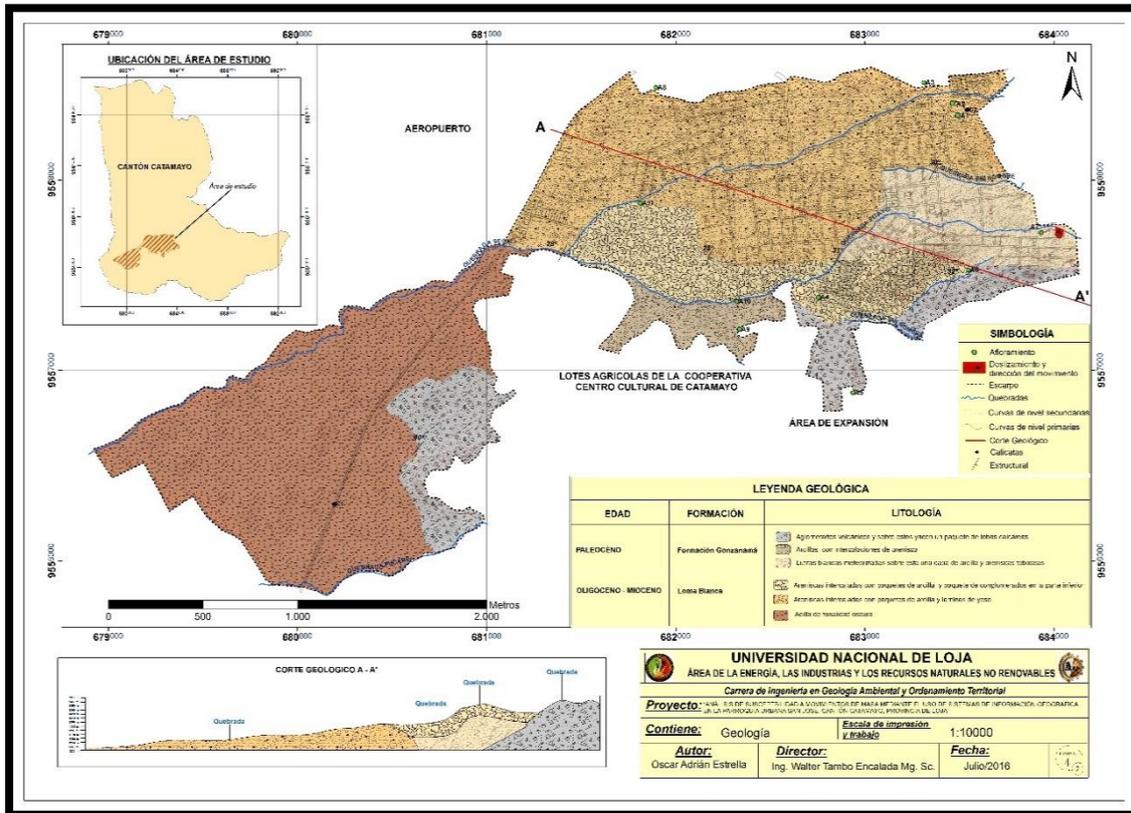


Figura 9.- Generación del mapa geológico
 Fuente: El Autor (2016)

Al igual que los otros factores condicionantes de movimientos de masa, cada tipo litológico se categorizó, de acuerdo a la influencia de cada litología encontrada en la zona de estudio para la generación de movimientos de masa, asignando un valor discreto de susceptibilidad.

La asignación de pesos establecida en el rango de 1 -5 se categorizó similar a la variable previa.



| LITOLOGÍA | W | LITOLOGÍA | W | |
|---|--------------------------------------|--|---|---|
| Rocas ultrabásicas | 1 | "Melange" ofiolítico | | |
| Rocas ultrabásicas y básicas | | Abanico volcánico, lahares | | |
| Calizas, lodolitas | 3 | Arcillas, tobas, areniscas, conglomerados | 3 | |
| Calizas, lutitas | | Arenas, conglomerados, arcillas | | |
| Calizas, lutitas metamorfozadas con metavolcánicas | | Complejo máfico-ultramáfico tipo "Alaskan Pipe " | | |
| Calizas, lutitas no metamorfozadas | | Arcillas marinas de estuario | | |
| Calizas, lutitas, areniscas | | Arcillas, arenas | | |
| Calizas, lutitas, volcanoclastos | | Arcillas, areniscas, lavas | | |
| Conglomerados, areniscas tobáceas, lutitas | | Arcillas, areniscas, lignito | | |
| Conglomerados, areniscas, lutitas | | Arcillas, lutitas, tobáceas, yeso | | |
| Conglomerados, areniscas, lutitas rojas | | Arenas, conglomerados, arcillas | | |
| Conglomerados, areniscas, volcanoclastos | | Areniscas tobáceas | | |
| Conglomerados, tobas, brechas | | Areniscas tobáceas, conglomerados, diatomitas | | |
| Coquinas, areniscas, lodolitas | | Capas rojas, lutitas, rocas volcánicas | | |
| Escombros de avalanchas | | Complejo de migmatitas | | |
| Esquistos negros | | Lutitas blancas | | |
| Esquistos pelíticos y grafiticos, paragneis | | Lutitas chocolates | | 4 |
| Esquistos verdes y negros | | Lutitas rojas, yeso | | |
| Esquistos verdes, negros, azul es y eclogitas | Lutitas silíceas | | | |
| Esquistos y gneises semipelíticos | Lutitas, arcillas, arenas | | | |
| Esquistos, metalavas, metagrauwacas | Lutitas, areniscas | | | |
| Flujos de lava y piroclastos andesíticos a riolíticos | Lutitas, areniscas, conglomerados | | | |
| Gabro, diorita | Lutitas, calizas negras, areniscas | | | |
| Gabro, riolita | Lutitas, calizas, lavas, piroclastos | | | |
| Gneis migmatítico | Lutitas, calizas, volcanoclastos | | | |
| Granito | Lutitas, capas rojas | | | |
| Granito gneisico Per-alumínico | Lutitas, cherts, areniscas | | | |
| Granito gneís coper-alumínico | Lutitas, grauwas | | | |
| Granodiorita | Lutitas, grauwas, gravas | | | |
| Granodiorita, diorita no deformadas | Lutitas, grauwas, piroclastos | | | |
| Granodiorita, diorita, granito gneisico | Lutitas, limolitas | | | |
| Granodiorita, diorita, granito gneisicos | Serpentinita | 5 | | |
| Granodiorita, diorita, granito gneísicos | Abanico aluvial mayor | | | |
| Granodiorita, diorita, pórfido | Andesitas a riolitas, piroclastos | | | |
| Grauwacas, lutitas | Anfibolitas basálticas | | | |
| Lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos | Anfobolitas basálticas | | | |
| Lavas andesíticas y basálticas, piroclastos | Areniscas y cuarcitas | | | |
| Lavas andesíticas, a riolíticas, piroclastos | Areniscas, conglomerados | | | |
| Lavas andesíticas, piroclastos, lutitas | Areniscas, limolitas, lutitas | | | |
| Lavas andesíticas, tobas, volcanoclastos | Areniscas, lutitas, tobas | | | |
| Lavas basálticas, tobas, brechas | Mármol , Pizarras | | | |
| Lavas y piroclastos calco-alcalinos, capas rojas | Pegmatitas | | | |
| Limolitas calcáreas | | | | |
| Mantos basálticos | | | | |
| Metagrauwacas, metalavas | | | | |
| Metagrauwacas, pizarras | | | | |

Tabla 3.- Parámetros para asignar rangos según el tipo de material
Fuente: SNGR (2014)

5.2.5.1. Inventario de Deslizamientos

De la misma forma se realizó un inventario de movimientos de masa. La finalidad de este proceso fue establecer una relación entre los tipos de mecanismos de movimientos en masa, la recurrencia, los factores detonantes, la influencia de la cobertura y el uso, la pendiente del terreno y las demás causas que estén asociadas a la inestabilidad de las laderas en el área de estudio. El inventario de movimientos en masa se generó a partir del levantamiento en campo de procesos de inestabilidad, usando el formato, adoptado por el Proyecto Multinacional Andino Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA) (2007) y ajustado por el SGC con base en la experiencia de los últimos años. Los conceptos relacionados con este tema están descritos en la publicación del PMA-GCA (2007). En base al mapa de procesos de remoción en masa obtenida, se asignaron valores discretos de susceptibilidad (en base a la presencia/ausencia de tales procesos), que luego se incorporaron en la evaluación de susceptibilidad final.

5.2.6. Levantamiento Geomorfológico

El Mapa Geomorfológico de la Parroquia en estudio se lo realizó en base de Ortofotos escala 1:5000 empleando para correlacionar la información de la recopilación de información en campo a través de la observación directa, curvas de nivel generadas a 5 metros, obtenidas mediante el levantamiento topográfico, los porcentajes de pendientes a escala 1: 10 000, siendo así los parámetros principales para poder divisar y dibujar éstas geoformas, seguidamente se procede a dibujar las geoformas a través de la generación de shapefiles en el ArcGIS 10.1 creando campos de: Unidad Genética, Unidad Morfológica, Forma de Relieve, Litología y Pendiente. **Ver Anexo 5.**

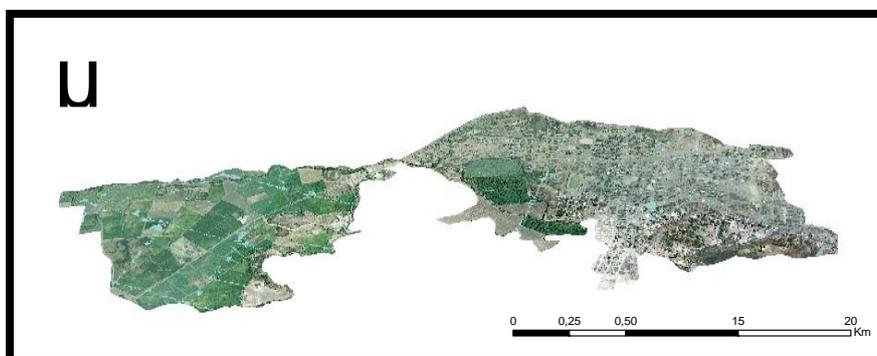


Figura 10.- Ortofoto del área de estudio
Fuente: El Autor (2016)

A continuación, se procede a generar un modelo de elevación TIN en el programa ArcGIS 10.1 una vez creada esta capa se la añade al programa ArcScene que tiene la característica de una visión en 3D (figura 11) y así poder delimitar las geoformas del área de estudio.

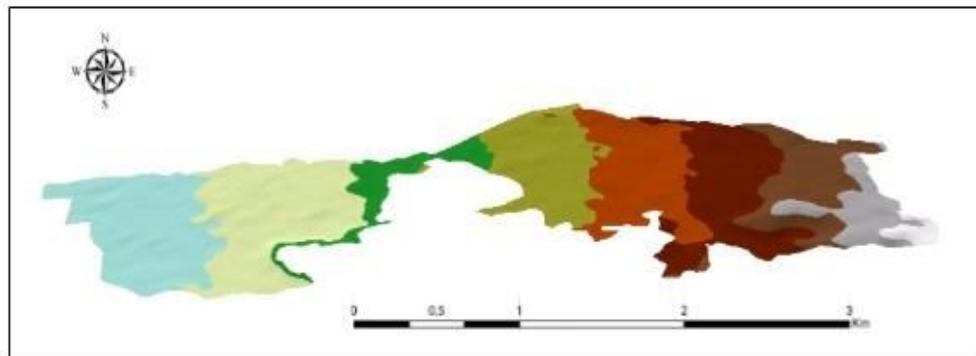


Figura 11.- Modelo TIN en 3D del Area de estudio.
Fuente: El Autor (2016)

Para dar los nombres y la clasificación a cada una de las geoformas se necesitó la disposición de la siguiente información:

Tabla 4.- Tabla para determinar la geomorfología

| CÓDIGO | ORIGEN | UNIDAD GEOMORFOLÓGICA | DESCRIPCIÓN |
|--------|-----------------------------------|-------------------------|--|
| Tm | Deposicional o Acumulativo | Terraza media | Superficie plana limitada por un escarpe, ubicada por encima de la terraza baja; corresponde a un antiguo nivel de sedimentación del río. Presenta pendientes bajas debido a que ha sido ya modelado por los agentes erosivos. |
| Co | Denudativo | Colovio aluvial antiguo | Formado por la acción de la depositación de materiales aluviales sumado a los aportes gravitacionales laterales de las formas colinadas que lo rodean, muestra cierto grado de disección, cubierto con vegetación más desarrollada, que indica un mayor nivel de madurez o antigüedad. |
| R3 | Tectónico Erosivo | Relieve Colinado bajo | Constituyen elevaciones con desniveles relativos que llegan a los 25m |
| R5 | Tectónico Erosivo | Relieve Colinado alto | Constituyen elevaciones que llegan a los 200 m de desnivel relativo. |

Fuente: CLIRSEN.2012

Estos datos serán utilizados para la descripción geomorfología de la zona de estudio ya que dichos datos se emplearon para la geomorfología del cantón Catamayo basados en fotos codificadas y ligadas a los tipos de geoformas con su respectivo punto GPS. Toda esta información de campo fue ingresada en el Sistema de Administración de



Geoinformación (SAG), software desarrollado en el CLIRSEN, que permite almacenar toda la información geomorfológica adquirida.

Las unidades morfológicas definidas en el mapa tienen en cuenta una estructura jerárquica, dada su importancia como factor de definición de las características externas modelada por la geomorfología y el clima, son factores que influyen en la formación de los suelos y en las características de la vegetación.

Se refiere a las formas del relieve según su origen de formación, el cual puede corresponder a cinco categorías determinadas dentro del cantón Catamayo:

- **Denudativo:** incluye un grupo de procesos de desgaste de la superficie terrestre. En este contexto, las principales formas del relieve identificable son los coluvio aluvial reciente, coluvio aluvial antiguo y coluvión reciente y antiguo, formas originadas por la acción de la gravedad y procesos erosivos por cambios de temperatura y acción del viento.
- **Deposicional:** se refiere a formas originadas por el depósito de material transportado por agentes erosivos como el agua, el viento, que constituyen medios de acarreo ya que es una zona donde las lluvias son permanentes durante el año, y los drenajes de agua existentes en la zona de Catamayo transportan sedimentos a las zonas bajas.
- **Estructural:** obedece a un patrón organizado del buzamiento de los estratos y al plegamiento de rocas sedimentarias consolidadas y vulcano-sedimentario que se encuentran en el cantón Catamayo.
- **Tectónico erosivo:** corresponde a levantamientos tectónicos que generan formas montañosas y colinadas de diversa altura y pendientes, y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en grado variable por los procesos erosivos. Estos -tipos de geoformas están presentes en los cambios de unidades geológicas correspondientes a rocas volcánicas y rocas metamórficas.
- **Volcánico erosivo:** agrupa todo el paisaje geomorfológico determinado por el vulcanismo, que han sufrido en diversos grados los efectos de la denudación pero que conservan los rasgos definidos de sus formas iniciales.



5.2.7. Mapa de Isoyetas

Como variable que considere a las precipitaciones, factor importante para que se produzcan movimientos de masa, se empleó un mapa de Isoyetas. Para el mismo se recogieron registros de estaciones meteorológicas cercanas al sector de estudio.

La distancia respecto a la parroquia se la determinó en base al número de estaciones que se identificaron. La información se tomó del Infoplán (2003). Se verificó datos con el INAMHI y se empleó los registros de las estaciones meteorológicas cercanas actualizadas.

Para la obtención de esta variable se empleó los registros de precipitación anual existentes en las estaciones meteorológicas que se encuentran ubicadas en las provincias: Loja, El Oro y Zamora Chinchipe de los últimos 10 años. Las estaciones utilizadas para el efecto se detallan en la tabla que se encuentra en el **Anexo 12**.

Se utilizó el software ArcGis, ArcToolbooks, la herramienta Raster interpolation, splin, en la cual se ingresa los valores promedios de precipitación anual.

La valoración para esta variable se la realizó en base a los siguientes rangos:

Tabla 5.- Asignación de pesos según el rango de precipitación

| No. | PRECIPITACION ACUMULADA (mm/año) | W (peso) |
|-----|----------------------------------|----------|
| 1 | 0 - 100 | 1 |
| 2 | 100 - 200 | 2 |
| 3 | 200 -300 | 3 |
| 4 | 300 - 400 | 4 |
| 5 | > 400 | 5 |

Fuente: SNGR (2014)

entrada. ModelBuilder también se puede considerar un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo.

Se utilizó la herramienta de Suma Ponderada, esta herramienta ofrece la posibilidad de ponderar y combinar varias entradas para crear un análisis integrado, como se muestra en la figura 13.

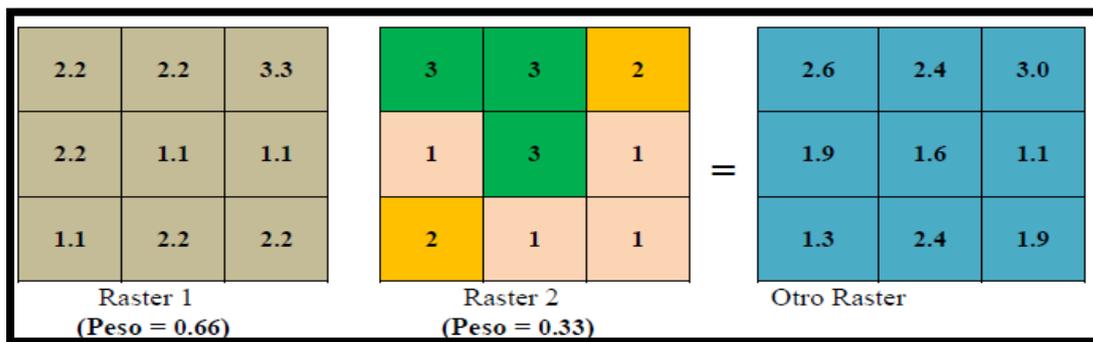


Figura 13.- Explicación de la herramienta "SUMA PONDERADA"
Fuente: El Autor (2016)

En la figura 13, los valores de las celdas se multiplican por su factor de peso, y los resultados se suman para crear el ráster de salida. Por ejemplo, considere la celda superior izquierda.

| |
|-----|
| 2.2 |
|-----|

| |
|---|
| 3 |
|---|

Los valores para las dos entradas se convierten en $(2,2 * 0,66) = 1,65$ y $(3 * 0,33) = 0,99$. La suma de **1.65** y **0.99** es de **2.6**.

Se designan los pesos a cada mapa mediante la Suma Ponderada, tomando en cuenta el número de criterios que son establecidos por Janssen y Van Herwijnen (1994).

Tabla 6.- Asignación de peso por el método de suma de rangos.

| NÚMERO DE CRITERIO | PESOS DE CRITERIO USANDO EL MÉTODO DE SUMA DE RANGO | | | | | | |
|--------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| | # | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 |
| 2 | | 0.66 | 0.33 | | | | |
| 3 | | 0.50 | 0.33 | 0.17 | | | |
| 4 | | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | | |
| 5 | | 0.33 | 0.27 | 0.20 | 0.13 | 0.07 | |
| 6 | | 0.29 | 0.24 | 0.19 | 0.14 | 0.10 | 0.05 |

Fuente: Elaborado por el autor a partir de Janssen y Van Herwijnen (1994).Janssen y Van Herwijnen (1994).



Los pesos de criterio se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$wk = \frac{n + 1 - k}{\sum_{i=1}^n (n + 1 - i)}$$

Donde:

wk = *Peso total*

n = *Número de criterios*

k = *Peso de criterio*

i = *constante*

Una vez realizada la combinación de mapas, se lo reclasificó en cinco categorías de acuerdo a los criterios propuestos en la siguiente tabla:

Tabla 7.- Asignación de Pesos a Subvariables

| PESO | DESCRIPCIÓN |
|-------------|---|
| 1 | Condiciones biofísicas MUY BAJAS para que se produzcan deslizamientos |
| 2 | Condiciones biofísicas MENOS FAVORABLES para que se produzcan deslizamientos |
| 3 | Condiciones biofísicas DESFAVORABLES para que se produzcan deslizamientos |
| 4 | Condiciones biofísicas SEVERAS para que se produzcan deslizamientos |
| 5 | Condiciones biofísicas MUY SEVERAS para que se produzcan deslizamientos |

Fuente: Ing. Walter Tambo (2016)



6. RESULTADOS

6.1. Descripción Biofísica del área de estudio

6.1.1. Ubicación y Acceso

El cantón Catamayo se encuentra ubicado al Nor-Occidente de la provincia de Loja, a 38 km de la capital provincial, al sur del Ecuador, en el hemisferio Sur occidental. Limita al Norte con los cantones de Loja, Chaguarpamba y parte de El Oro; al Sur con el cantón Gonzanamá y Loja, al este con el cantón Loja y al Oeste con los cantones Chaguarpamba, Olmedo y Paltas. Por su ubicación geográfica se ha convertido en una ciudad de paso hacia varios lugares de Ecuador, además de poseer el Aeropuerto Ciudad de Catamayo, medio con el que comunica a Loja con el resto del País.

El acceso a la ciudad de Catamayo se lo puede realizar por vía terrestre mediante Cooperativas de Transporte, las cuales se pueden tomar desde los distintos terminales que existen en las Provincias del Ecuador. También se puede llegar por vía aérea, desde los aeropuertos de Quito y Guayaquil, hasta el Aeropuerto de Catamayo.

El área de estudio se encuentra ubicada en el cantón Catamayo provincia de Loja, al sur del Aeropuerto, comprende la superficie de la parroquia urbana San José de la ciudad de Catamayo. El área de estudio se encuentra limitada por las siguientes coordenadas UTM, las mismas que fueron obtenidas con el Datum WGS84, zona 17S.

Tabla 8.- Coordenadas de ubicación del Sector de estudio

| PUNTO | NORTE (m) | ESTE (m) | COTA (m) |
|-------|-----------|------------|----------|
| 1 | 681755,29 | 9558566,87 | 1243 |
| 2 | 683731,46 | 9558575,89 | 1342 |
| 3 | 684130,52 | 9557505,59 | 1392 |
| 4 | 682782,33 | 9556786,24 | 1312 |
| 5 | 680179,60 | 9555830,33 | 1172 |
| 6 | 678924,90 | 9556589,44 | 1150 |

Fuente: El autor (2016)

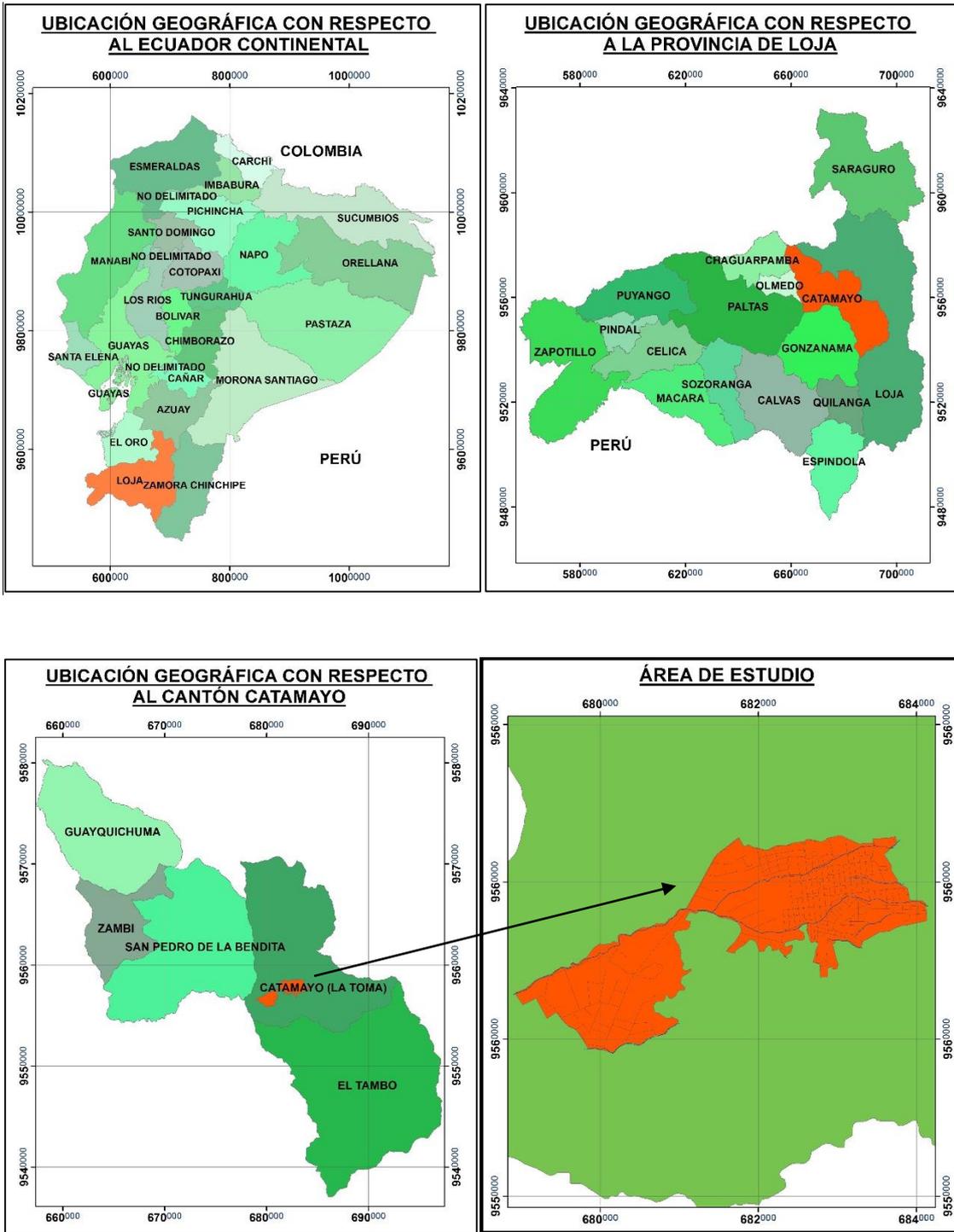


Figura 14.- Ubicación de la Zona de Estudio
Fuente: PDYOT del cantón Catamayo 2014 – 2019



6.2. Análisis de Susceptibilidad en el Sector de Estudio

6.2.1. Topografía

El levantamiento topográfico comprendió un área de 521,90 hectáreas, correspondientes a la superficie total de la parroquia urbana San José del cantón Catamayo.

En el mapa final se encuentran representadas las viviendas, vías, senderos, quebradas, y sectores relevantes, a una escala de 1:10000, con curvas de nivel secundarias cada 1 metro y principales cada 5 metros, la información para la generación del mapa topográfico del sector fue otorgada por el Municipio del cantón Catamayo, misma que se presenta georeferenciada con el Datum WGS84 zona 17Sur.

La cota mayor es de 1392 m s.n.m., al Este del área de estudio y la cota más baja 1150 m.s.n.m., al Oeste del área de estudio, en los sembríos de caña de azúcar. (**Anexo 1**).

6.2.2. Pendientes

Mediante el modelo de elevación digital generado a partir de las curvas de nivel se generó las pendientes en base a la clasificación propuesta por Demek, J. (ED). 1972. Manual de Mapas de Morfología a detalle, y se obtuvo 4 rangos que se indican a continuación:

Tabla 9.- Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente.

| PENDIENTE | RANGO (°) | ÁREA (ha) | ÁREA (%) |
|--------------|-----------|--------------|------------|
| Muy Baja | 0 - 5 | 234,83 | 45 |
| Baja | 5 -15 | 236,39 | 45,29 |
| Media | 15 - 35 | 38,09 | 7,3 |
| Alta | 35 - 55 | 12,59 | 2,41 |
| TOTAL | | 521,9 | 100 |

Elaboración: El Autor

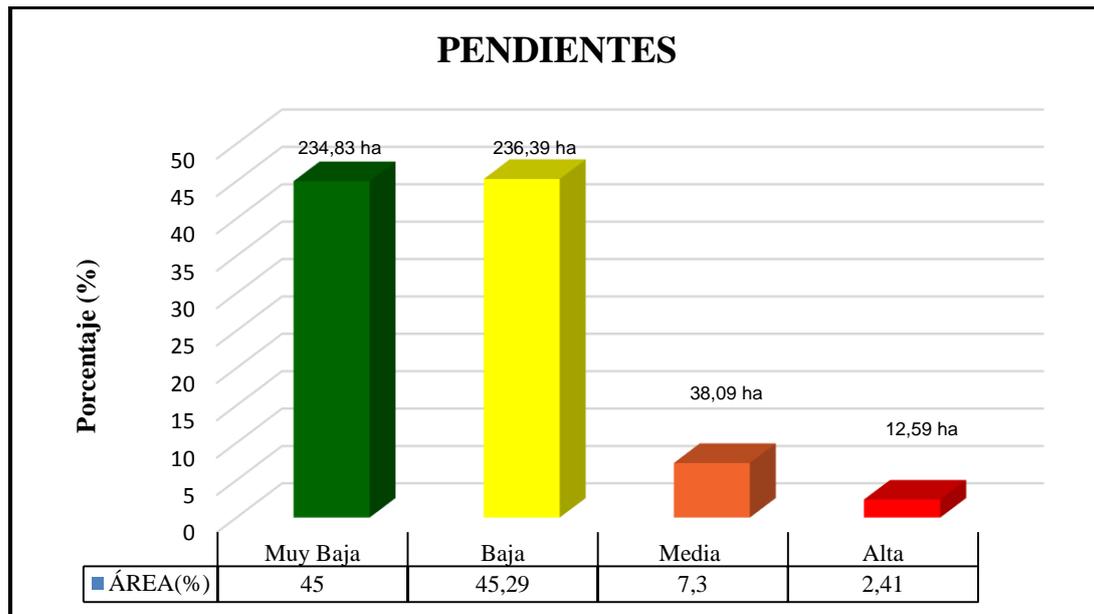


Figura 15.- Área y porcentaje que ocupan las superficies de pendiente.

Elaboración: El Autor

Se puede evidenciar que en el sector de estudio las pendientes predominantes son bajas y representan 234,83 hectáreas, es decir el 45,29%; mientras que las pendientes con menor área son las altas, que representan 12,59 hectáreas, es decir 2,41%, cabe mencionar que existe infraestructura, principalmente vías en este tipo de pendiente.

Con los valores obtenidos de cada rango, y reclasificados en 4 categorías, se presenta el mapa de pendientes que se observa en el **Anexo 2**.

6.2.3. Uso Actual de Suelo

Para definir la Cobertura y Uso actual de suelo, se tomó como base el levantamiento topográfico a escala 1: 10000 y la orto fotografía a escala 1:5000, otorgada por SIG TIERRAS (Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica). Como resultado se obtuvo el Mapa de Cobertura y Uso Actual de Suelo a escala 1:10000 en donde se describen cultivos, pastos y zonas urbanas, características que necesitan un análisis para asignar pesos en el cálculo de la susceptibilidad, considerándolo como un factor condicionante.

La parroquia San José, está representada en su mayoría por cobertura agropecuaria, ocupando 388,78 hectáreas, es decir 74,47% que están siendo usadas actualmente por



cultivos de caña de azúcar, pasto natural y pasto natural en áreas en proceso de erosión esta cobertura tiene un total de 388,78 hectáreas; y en menor superficie se encuentra la cobertura antrópica, usada como zona urbana y abarca un área de 133,12 hectáreas, es decir 25,50%.

Tabla 10.- Cobertura y uso actual del suelo

| COBERTURA Y USO ACTUAL DEL SUELO | | | | |
|----------------------------------|-----------|--|--------------|------------|
| COBERTURA | USO | DESCRIPCIÓN | ÁREA (ha) | ÁREA (%) |
| Antrópico | Antrópico | Zona Urbana | 133,12 | 25,5 |
| Agropecuario | Agrícola | Caña de azúcar | 229,07 | 43,88 |
| Agropecuario | Pecuario | Pasto natural | 80,79 | 15,48 |
| Agropecuario | Pecuario | Pasto natural en áreas en proceso de erosión | 78,92 | 15,11 |
| TOTAL | | | 521,9 | 100 |

Elaboración: El Autor (2016)

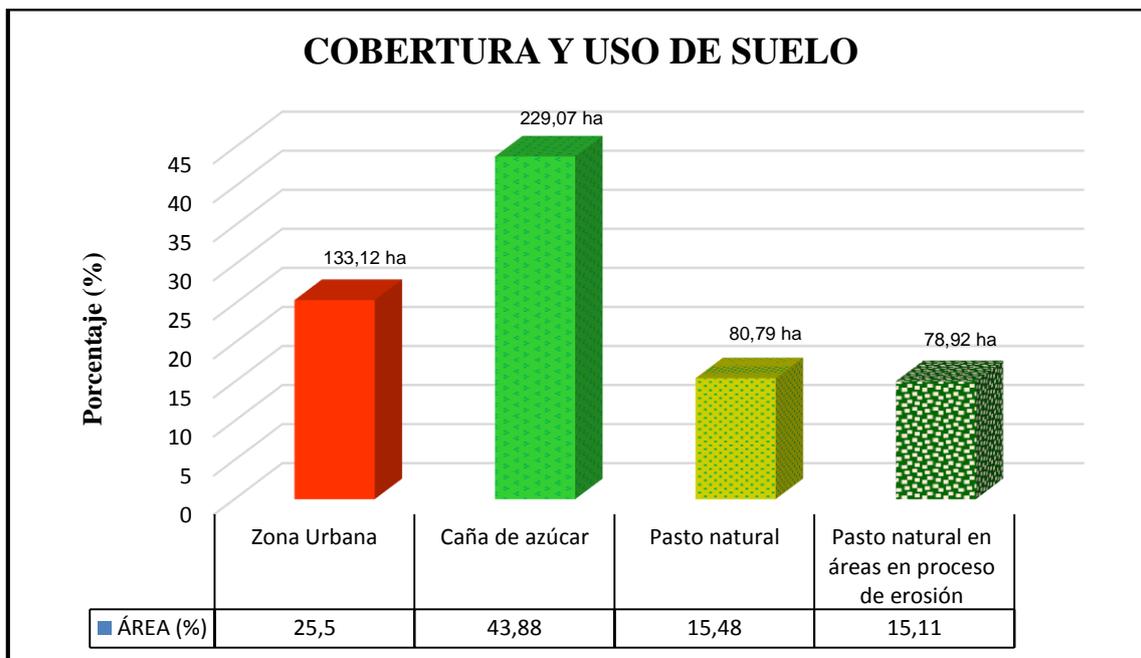


Figura 16.- Gráfica sobre Cobertura y Uso Actual del Suelo

Elaboración: El Autor (2016)

Como resultado se presenta el mapa de Cobertura y Uso de Suelos del sector de estudio en el **Anexo 3**.



6.2.4. Geología

6.2.4.1. Geología Regional¹⁰

Dentro de la geología regional se enfatiza que la cuenca Catamayo se encuentra dentro del graben Catamayo - Cariamanga - Huancabamba. Es importante destacar que rocas de la Formación Loma Blanca de edad Oligoceno – Mioceno, son las que predominan en el área de estudio.

Hacia el Sur Este se extienden las rocas de la Formación Loma Blanca y al Este rocas metamórficas de la Formación Chiguinda. Además una gran extensión de material volcánico - sedimentarios cubre el centro de la cuenca Catamayo, característicos de la Formación Gonzanamá.

Regionalmente la Formación Saraguro es la continuación de la Formación Sacapalca, estas dos Formaciones son características para la evolución orogénica de todo el cinturón de los Andes Centrales.

Estos grandes cinturones vulcanogénicos que asoman en Ecuador, Perú y Chile, en la actualidad se los reconoce más por la edad que tienen, es decir se lo denomina cinturón volcánico neogénico, debido a que termina su evolución en el Neógeno, y comienzos del paleoceno con la depositación del vulcanismo regional del grupo Saraguro.

La evolución geodinámica de la cuenca Catamayo guarda rasgos similares o parecidos a las cuencas Miocénicas del sur del Ecuador como Loja, Malacatos Vilcabamba, Nabón, Girón, entre otros, que presentan facies costeras marinas y sedimentarias continentales de edad Mioceno Medio a tardío.

¹⁰ Estudio geológico-estructural e inventario de deslizamientos del área 1 de la cuenca de Catamayo. Álvaro Sánchez Romero

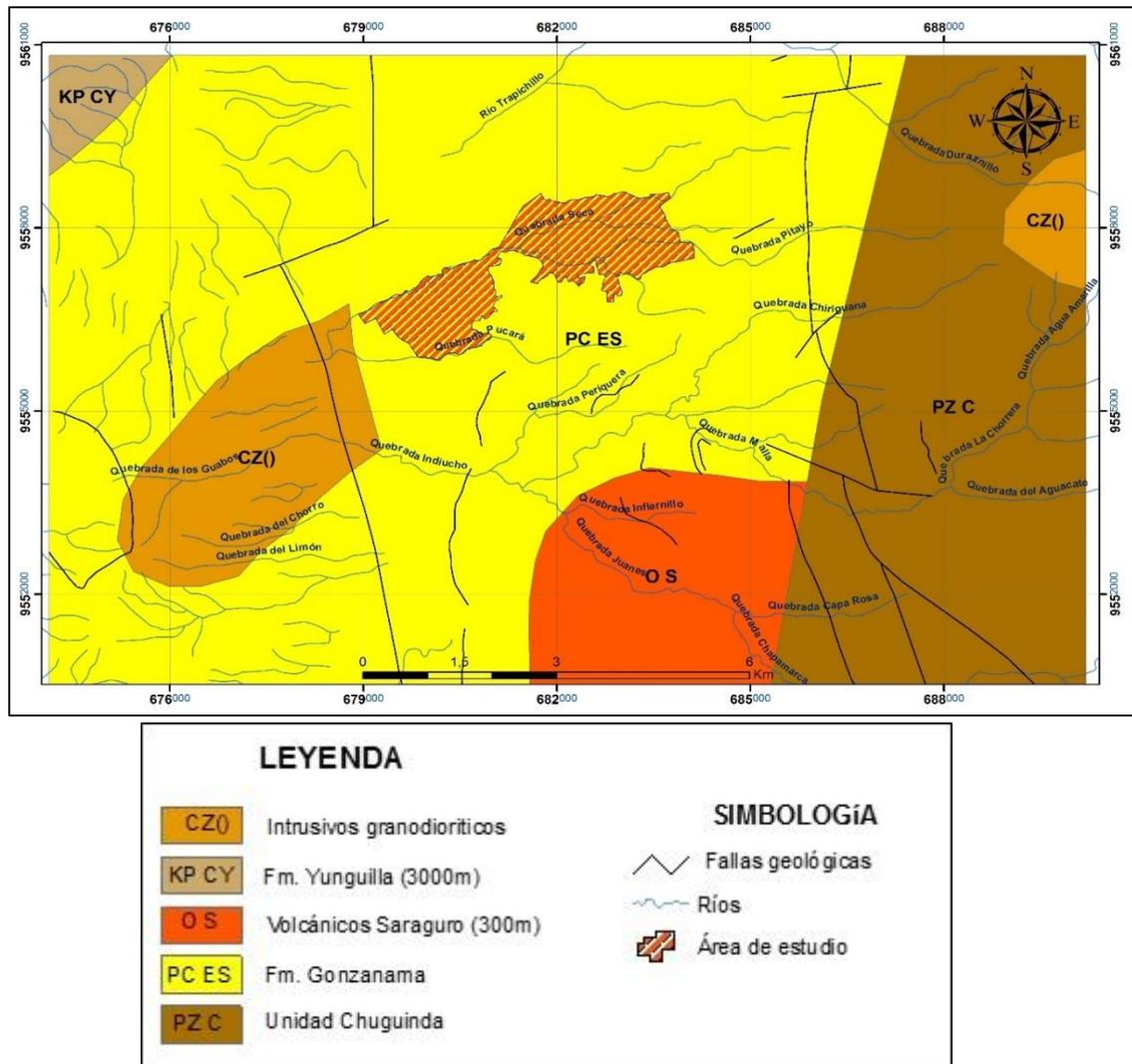


Figura 17.- Geología Regional según Steinmann y Hungerbuhler de cuenca de Catamayo
Elaboración: El Autor

La unidad geológica que se destaca dentro del área de estudio corresponde a la formación Loma Blanca, la misma que podemos describirla de la siguiente manera:

Formación Loma Blanca.- (Oligoceno-Mioceno) Se le conoce con este nombre para hacer mención al cerro Loma Blanca, esta formación aparece en el extremo Sur de la cuenca Catamayo, básicamente contempla la parte basal en un aglomerado, y luego por una secuencia de tobas blancas de grano medio con estratificación, cuyas capas tienen un ángulo de inclinación de aproximadamente 124 grados, en dirección SE.

Las rocas de esta formación están envueltas en una matriz limosa, los clastos, principalmente tobas abigarradas conservan tamaños que van desde milimétricos a centimétricos. La formación esta sobrepuesta por una secuencia de tobas aglomeráticas,



tobas y flujos piroclásticos, cuyo ambiente de depositación es de tipo continental. Es preciso indicar que la Formación Loma Blanca descansa discordantemente sobre la formación Gonzanamá. Según Kennerley (J.B), 1973 esta formación tiene un espesor de más de 1500m, aún su edad es desconocida, sin embargo Kennerley le asigna una edad equivalente a la formación Saraguro (oligoceno-mioceno inferior).

Formación Gonzanamá.- (Paleoceno) es de edad paleocénica y descansa discordante sobre la formación Sacapalca, consiste básicamente de rocas de origen volcánico sedimentarios como arcillas de color café oscuro, lutitas de color gris, areniscas tobáceas y tobas. Se cree que esta formación tiene un espesor de aproximadamente 1000 metros.

En la cuenca de Catamayo esta formación ocupa el centro de la cuenca, la cual en su mayoría está cubierta por un aluvión.

Unidad Sacapalca.- (Paleógeno) Estudios recientes indican que tiene un ancho de aproximadamente 25 kilómetros, que se extiende desde el Norte de Catacocha hacia el Sur Occidente hasta los límites con el Perú, y una rama de esta formación se prolonga en sentido NE hasta Chuquiribamba entre Catamayo y Saraguro (Kennerley 1973) dentro de esta formación, la litología que se presenta corresponde a lavas andesíticas, rocas de tipo piroclásticos. Las lavas se presentan resistentes a la erosión y se ubican en las partes más altas de la cuenca Catamayo, mientras que las rocas de tipo piroclásticos corresponden a tobas andesíticas, tobas aglomeráticas y aglomerados subordinados. Las lavas son pórfidos andesíticos de color café o gris, con un gran contenido de minerales máficos observándose en algunos casos enstatita, hornblenda, augita. Estas rocas se diferencian de las andesitas de la formación Celica por su color. En Catamayo a esta unidad se le incluye estratos no definidos del paleoceno que son intruídos por el Plutón de San Lucas de 39,1 +/- 3 Ma (Steinmann 1999) y el intrusivo de El Tingo de 21,2 +/- 2,6 Ma (Hungerbuhler 1997).

Esta Unidad según Pratt (1997), representa depósitos en un ambiente terrestre de volcanes andesíticos y por flujos de escombros.

En la cuenca Catamayo la formación Sacapalca se encuentra intruída por rocas granodioritas en el sector de El Tingo, y por una estructura riolítica característica para



esta formación, como es el neck de Guayabal. Destacamos además otras formaciones en geología regional como la formación Loma Blanca y formación Gonzanamá.

Depósitos cuaternarios.- Corresponde a materiales que han sido depositados a los márgenes del río Catamayo, estos depósitos por lo general forman terrazas amplias sobre las cuales se depositan limos arenas y gravas.

6.2.4.2. Geología Local

El área de estudio está representada por 521.90 Ha (5.219 km²) que corresponde a la parroquia urbana San José, del cantón Catamayo, provincia de Loja, en la misma que se realizó el levantamiento geológico a través de tres visitas al sector en donde se realizó la descripción de afloramientos en fichas técnicas, en donde se pudo evidenciar que la zona está compuesta por la lito estratigrafía que se detalla a continuación:

- **Litoestratigrafía**

Después de haber realizado los recorridos de campo en el área de estudio y la descripción de cada uno de los afloramientos existentes, se realizó el mapa geológico; ubicando y definiendo en el mismo las diferentes unidades lito estratigráficas; donde se destacan las rocas volcánico - sedimentarias y los depósitos cuaternarios.

Rocas Volcánico-sedimentarias.- Las rocas que representan a este grupo tienen una secuencia volcanoclástica es decir son rocas de rotura como consecuencia de la actividad volcánica que se transportaron por aire y flujos piroclásticos de diversa densidad. Este tipo de rocas se diferencian de las rocas volcánicas debido a que se pueden depositar sobre extensas áreas alejadas de la fuente volcánica que los originó, en razón de que el transporte por aire, flujos piroclásticos, agua y flujos de lodo es de mayor velocidad que el flujo de los materiales fundidos.

Areniscas tobáceas.- Este tipo de roca se las puede encontrar en el sector del Cementerio General de la ciudad de Catamayo, tienen una matriz arenosa, mantienen un espesor promedio de 0,60 m. Debido al contenido de carbonatos y minerales silíceos aparecen compactas. En el afloramiento estas rocas están estratificadas con paquetes intercalados de arcilla.

En la parroquia San José se observa una secuencia de depositación con estratificación inclinada en donde la litología corresponde a lutitas, areniscas, arcillas y en la parte inferior del afloramiento se encuentra un depósito de tipo coluvial debido al contenido de carbonatos y minerales silíceos aparecen compactas. Este tipo de roca pertenece a la formación Loma Blanca.

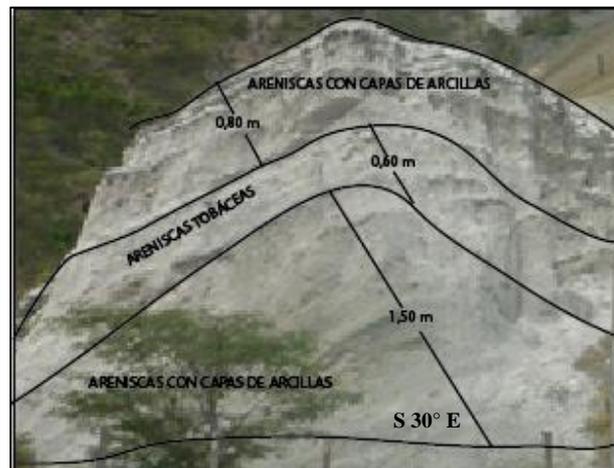


Figura 18.- Afloramiento de areniscas tobáceas con estratificación
Elaboración: El Autor

Las areniscas tobáceas aparecen en forma masiva en muchos sectores, siendo estas de grano medio con intercalaciones de arcilla, con un buzamiento de S30°E; y en los flancos de las quebradas que atraviesan esta formación se encuentran depósitos de conglomerados con base areno-arcilloso con clastos que varían entre 2 – 5 cm.

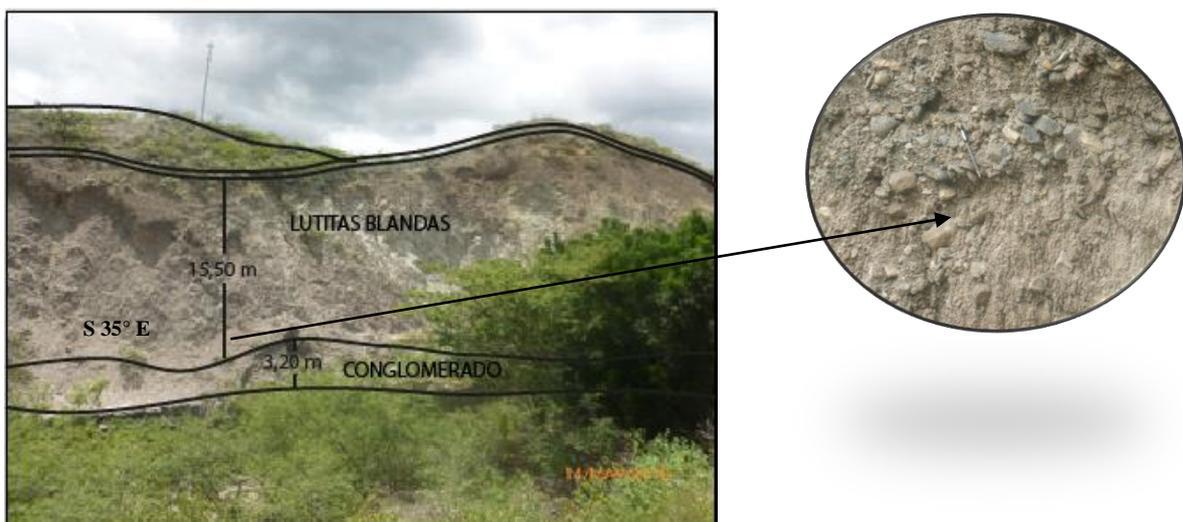


Figura 19.- Afloramiento de areniscas con intercalaciones de arcilla y capa de conglomerados.
Elaboración: El Autor

Arcilla.- Presenta varias litologías intercaladas y sobrepuestas entre ellas, en la parte superior se encuentran a las lutitas blandas meteorizadas y fracturadas que se encuentran buzando S35°E, sobre esta una capa de arcilla y areniscas tobáceas, luego en el estrato de lutitas las fracturas que esta posee se encuentran rellenas de yeso de forma laminar.

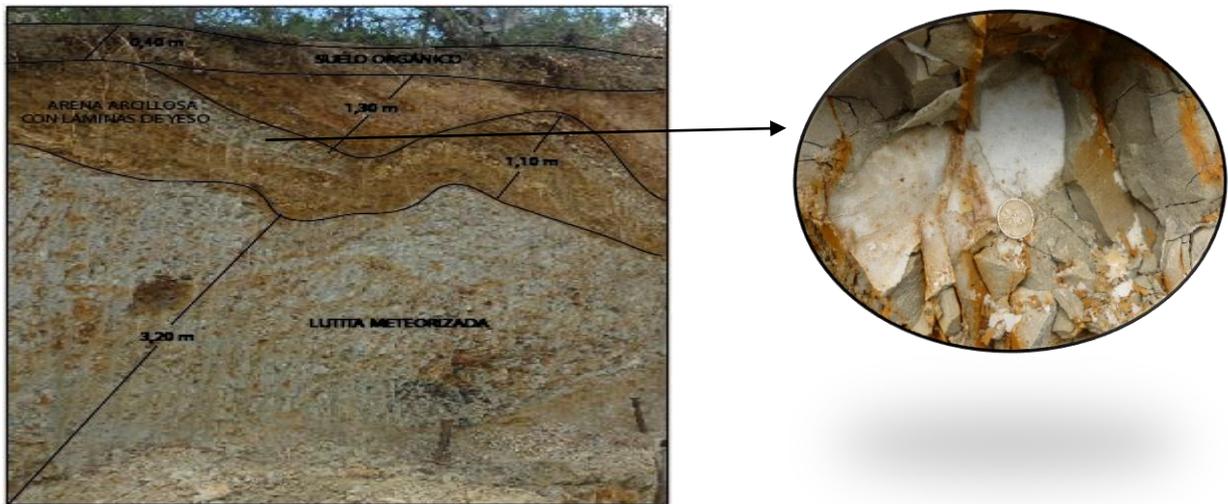


Figura 20.- Afloramiento de Lutitas intercaladas con paquetes de Areniscas y Arcilla
Elaboración: El Autor

En los flancos de las quebradas Pitayo y sin nombre, existen capas de arenisca arcillosa de tonalidad blanquecina que se encuentra buzando al S40°E, con presencia de microconglomerados <1” y conglomerados > 10 cm, aproximadamente.



Figura 21.- Afloramiento de conglomerados con base areno-arcilloso
Elaboración: El autor

Arcillas de tonalidad oscura.- Este tipo de litología se extiende a las terrazas medias, consiste de arcillas blandas con alto contenido de illita, su color es café oscuro. Estas áreas en la actualidad están intervenidas por el urbanismo y la actividad agrícola de la zona. La potencia de las arcillas varía desde uno hasta más de diez metros de espesor. En

otros sectores, estas arcillas aparecen agrietadas con aberturas de hasta 10 milímetros, en diferente dirección, producto del alto contenido de minerales de montmorillonita, las cuales al contacto con el agua se vuelven sumamente expansivas, este fenómeno es visible por ejemplo en el sector de los Lotes Agrícolas de la cooperativa Centro Cultural de Catamayo y la vía Catamayo a Cariamanga.



Figura 22.- Calicata de arcillas de tonalidades oscuras
Fuente: El Autor (2016)

Arcillas claras.- Existe un afloramiento de depósitos sedimentarios con intercalaciones de arcillas claras y areniscas tobáceas de grano fino, el buzamiento de esta capa es de S40°E; los mismos que han sido afectados por la actividad erosiva, por lo que no aparecen tan potentes como los coluvios del sector de San José. Esta litología pertenece a la Formación Gonzanamá de edad Paleoceno.

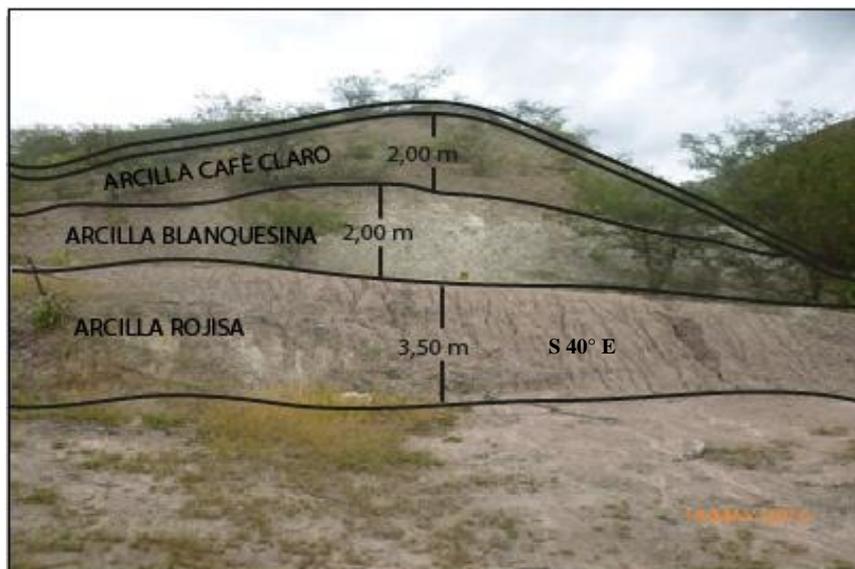


Figura 23.- Afloramiento de Arcillas claras
Elaboración: El Autor

Aglomerados volcánicos.- En el sector Sur – Este de la zona de estudio se encuentran depósitos de aglomerados volcánicos con clastos angulares de diferente tamaño y el cemento que los une es de origen volcánico, los aglomerados aparecen meteorizados y en algunos casos estos están estratificados por una capa de arcilla y un paquete de tobas de color blanquecino, estos tienen un buzamiento de S27°E. Este tipo de roca pertenece a la formación Gonzanamá.

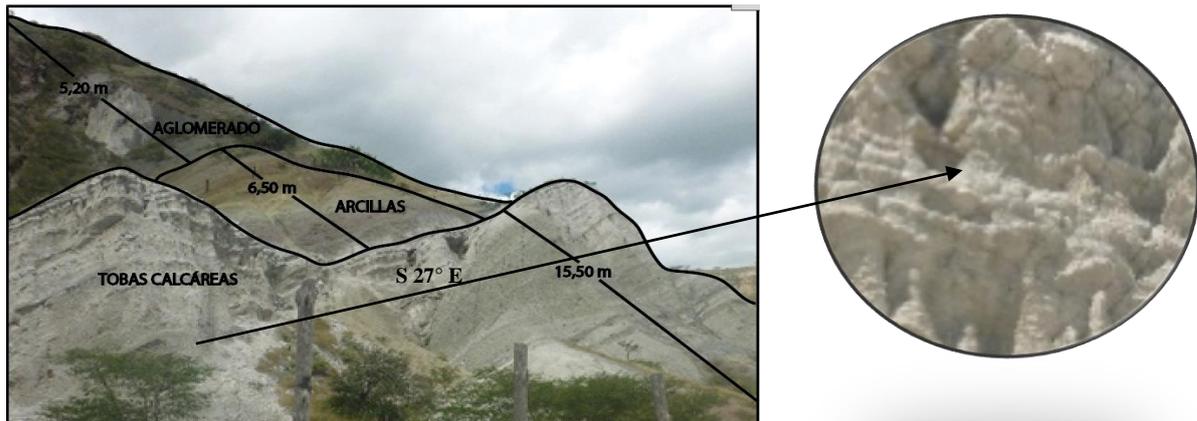


Figura 24.- Afloramiento de Aglomerados volcánicos estratificados por capas de arcilla y un paquete de tobas
Elaboración: El Autor

Cabe señalar que esta litología está separada por un contacto que divide las rocas de tipo areniscas tobáceas, arcillas y lutitas de la Formación Loma Blanca con los aglomerados de la Formación Gonzanamá (ver figura 21), con una dirección N27°E, buzando S34°E.

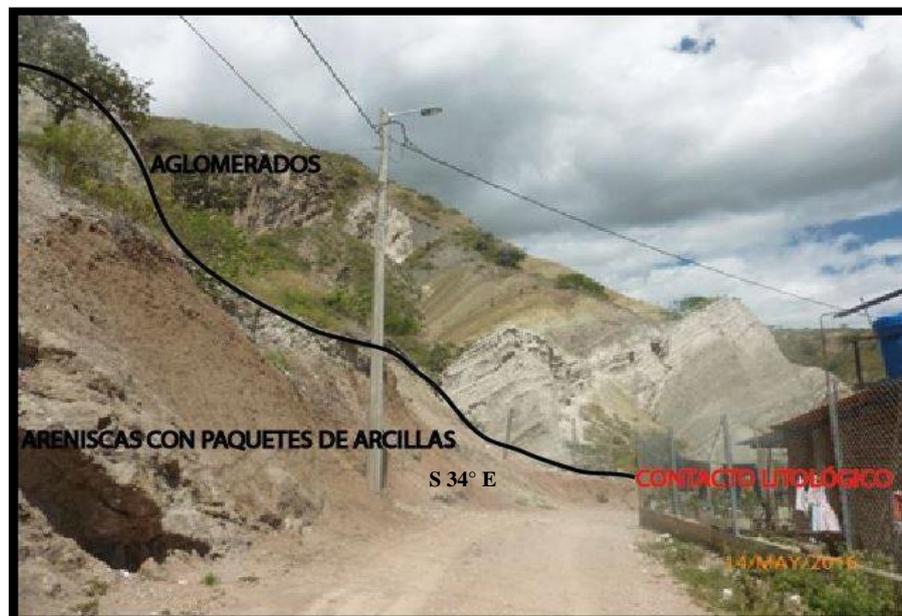


Figura 25.- Zona de contacto entre las Formación Loma Blanca y Gonzanamá
Elaboración: El Autor

Un resumen de la litología de la parroquia San José, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 11.- Litología de la parroquia San José

| GEOLOGÍA | | | |
|--------------|--|--------------|------------|
| FORMACIÓN | LITOLOGÍA | ÁREA (ha) | ÁREA (%) |
| Loma Blanca | Areniscas intercaladas con paquetes de arcilla y paquete de conglomerados en la parte inferior | 59,47 | 11,39 |
| | Areniscas intercaladas con paquetes de arcilla y láminas de yeso | 172,37 | 33,03 |
| | Arcilla de tonalidad oscura | 177,1 | 33,93 |
| Gonzanamá | Aglomerados volcánicos y sobre estos yacen un paquete de tobas calcáreas | 53,43 | 10,24 |
| | Arcillas con intercalaciones de arenisca | 18,09 | 3,47 |
| | Lutitas blandas meteorizadas sobre esta una capa de arcilla y areniscas tobáceas | 41,44 | 7,94 |
| TOTAL | | 521,9 | 100 |

Elaboración: El Autor

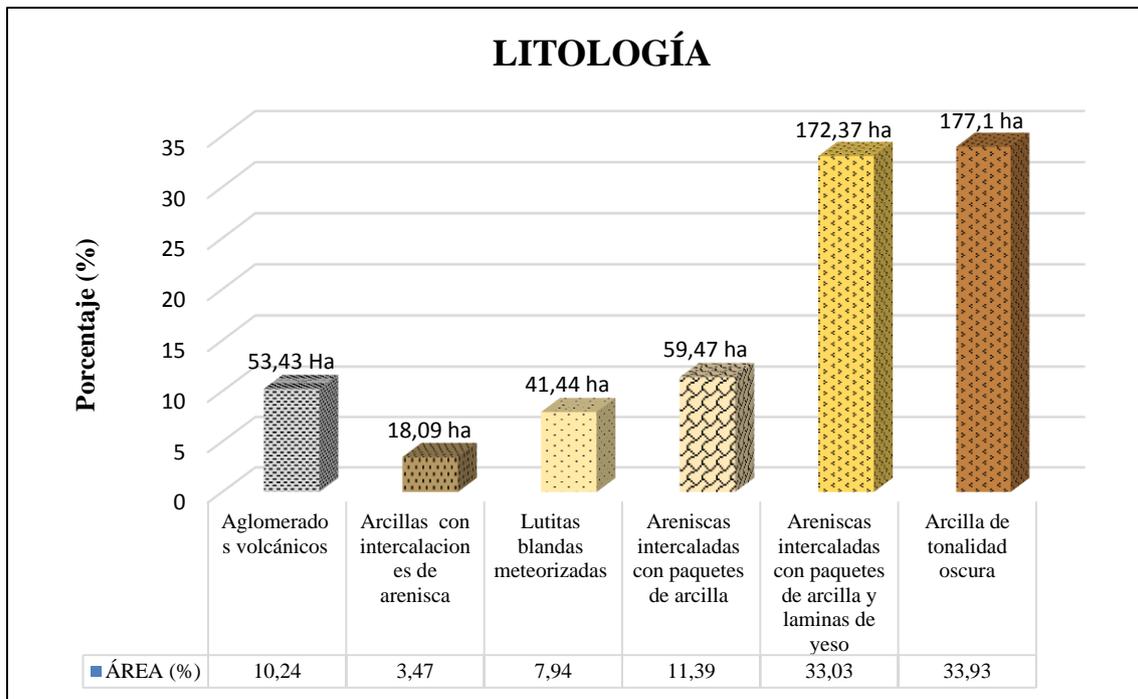


Figura 26.- Gráfica. De litología de la parroquia San José

Elaboración: El Autor (2016)

• Análisis e interpretación geológica

En lo que respecta a la serie sedimentaria de la cuenca Catamayo ésta se formó en un ambiente continental lacustre por trasgresión y regresión del mar depositándose estas facies tipo costeras como es el caso de la Formación Loma Blanca la cual yace sobre la formación Gonzanamá. En este caso también se corrobora los enunciados de Hungerbuhler y Kennerley descritos anteriormente en otras publicaciones.



Según la información de datos geológicos encontrados en el área de estudio y descritos en el mapa, podemos decir que la cuenca Catamayo tuvo varias secuencias de depositación, por un lado los depósitos que se formaron mediante los procesos de sedimentación y por otro la depositación mediante flujos de rocas piroclásticas.

En la zona de estudio se encuentran dos tipos de formaciones la Loma Blanca y la Gonzanamá. En la primera existe litología de tipo tobas blanquecinas con paquetes de arena arcillosa, láminas de yeso y carbonatos lo que demuestra una vez más la acción de transgresión del mar en la cuenca. La zona de estudio presenta rasgos de estratificación con una dirección de N27°E, buzando los estratos S34°E.

La parte más baja del sector de estudio en los Lotes Agrícolas de la cooperativa Centro Cultural de Catamayo se deposita rocas de tipo arcillas oscuras aparecen agrietadas con aberturas de hasta 10 milímetros, que están en suelos ocupados para la agricultura específicamente cultivo de caña.

Hacia el flanco Este de la zona de estudio se encuentran los depósitos volcano-sedimentarios como los aglomerados volcánicos con paquetes de arcillas y areniscas, corresponden a la Formación Gonzanamá conservan una dirección N45°, buzando las capas S23°E. **Ver Anexo 4**

- **Columna Estratigráfica**

Material volcano sedimentario con capas de 400m de aglomerados volcánicos sobre los cuales yace un paquete de tobas calcáreas, de textura compactada y clasificación buena, material de tipo lutitas blandas meteorizadas con una potencia de 525 m sobre esta una capa de arcillas y areniscas tobáceas, material de tipo areniscas intercaladas con paquetes de arcilla y lamina de yeso con potencia de 1600 m con textura detrítica y clasificación mala y material de tipo areniscas intercaladas con paquetes de arcillas y paquetes de conglomerados en la parte inferior con una potencia de 256 m con textura detrítica y clasificación mala.



6.2.4.3. Inventario de Deslizamientos

El inventario de movimientos en masa se realizó con la finalidad de establecer una relación entre los tipos de mecanismos de movimientos en masa, la recurrencia, los factores detonantes, la influencia de la cobertura y el uso, la pendiente del terreno y las demás causas que estén asociadas a la inestabilidad de las laderas en el área de estudio.

Los factores condicionantes que favorecen la ocurrencia de los deslizamientos en el área de estudio se dan básicamente por la meteorización de los materiales, estos sedimentos no consolidados inestables pierden su cohesión, facilitando la tarea a los factores desencadenantes como son las lluvias en épocas de invierno y a factores antrópicos como la excavación o cortes que modifican la topografía original especialmente cuando se realiza la apertura de vías, el mantenimiento inadecuado de los sistemas de drenaje y la deforestación.

Es así que en la zona de estudio se evidencio la ocurrencia de cuatro deslizamientos, los mismos que por su geomorfología se encuentran en glacia de acumulación y superficie de cuesta destruida, con pendientes que van desde 15 a 55°, tres de los deslizamientos se encuentran en áreas en proceso de erosión, y el restante en uso de suelo antrópico, lo que conlleva a que una zona medianamente susceptible a deslizamientos y la misma composición del material que en su totalidad son material vulcano-sedimentario con textura compactada.

Se realizó el análisis para establecer el tipo de deslizamiento, mediante la relación D_r/L_r se determinó que los cuatro deslizamientos son de tipo traslacional ya que sus valores son menores a 0.1 (Skempton y Hutchinson 1969). Los detalles de los deslizamientos se encuentran en las fichas técnicas (**Anexo 10**).

Se obtuvo el mapa de inventario de deslizamientos que se encuentra en el **Anexo. 5**.



Tabla 12.- Inventario de deslizamientos

| No. | COORDENADAS UTM | TIPO | ÁREA DE AFECTACIÓN (HA) | GEOMETRÍA | | | DR/LR | VOL (M ³) |
|-----|----------------------------|--------------|-------------------------|------------|-------|------------------|-------|-----------------------|
| | | | | Largo (Lr) | Ancho | Profundidad (Dr) | | |
| D1 | X: 683996 Y: 9557749 | Traslacional | 0.05 | 20m | 12m | 2m | 0.1 | 480 |
| D2 | X: 683.608 Y: 9.558.225 | Traslacional | 0.08 | 30m | 15m | 3m | 0.1 | 1350 |
| D3 | X: 682305 Y: 9557087 | Traslacional | 0.14 | 60m | 30m | 4m | 0.07 | 7200 |
| D4 | X: 682684 Y: 9557254 | Traslacional | 0.26 | 70m | 30m | 6 | 0.08 | 12600 |

Fuente: El Autor (2016)

6.2.5. Geomorfología

Para realizar el levantamiento geomorfológico, se utilizó la metodología aplicada por CLIRSEN 2012, utilizando el mapa de sombras, el cual permitió definir claramente las geoformas del área de estudio.

Las geoformas se calcularon en función al desnivel relativo y las curvas de nivel generadas a 5 metros, obtenidas mediante el levantamiento topográfico; así como también se consideró los porcentajes del mapa de pendientes a escala 1: 10.000, siendo así los parámetros principales para poder divisar y dibujar éstas geoformas, Finalmente se presenta el mapa geomorfológico a escala 1:10.000 (**ver Anexo 6**), en el que se identifican las siguiente unidades geomorfológicas:

Tabla 13.- Geomorfología del área de estudio

| GEOMORFOLOGÍA | | | | | |
|--------------------------------|---------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| FORMA DEL RELIEVE | SÍMBOLO | ORIGEN | PENDIENTE (°) | ÁREA (ha) | ÁREA (%) |
| Superficie de cuesta destruida | Scd | Estructural | 35-55 | 51,59 | 9,88 |
| Superficie de cuesta | C1 | Estructural | 15-35 | 25,97 | 4,97 |
| Glacis de acumulación | Ot | Deposicional | 5-15 | 286,97 | 54,97 |
| Glacis de esparcimiento | Ges | Deposicional | 0-5 | 157,37 | 30,14 |
| TOTAL | | | | 521,90 | 100,00 |

Elaboración: El Autor a partir de CLIRSEN (2012)

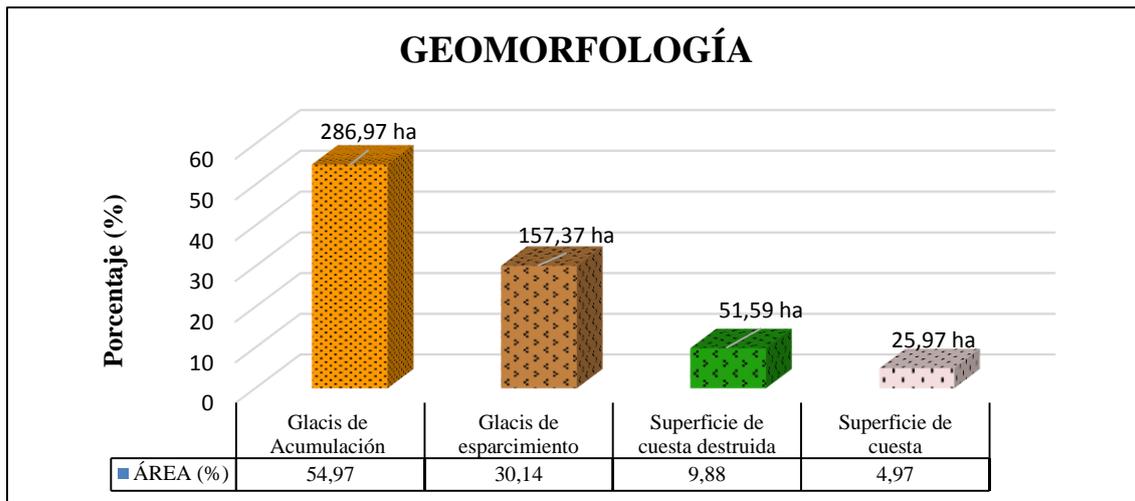


Figura 28.- Gráfica de Geomorfología del área de estudio

Elaboración: El Autor

6.2.5.1. Descripción de las Unidades Geomorfológicas

- **Origen: Depositional**

- **Glacis de esparcimiento (Ges)**

Depósitos de fondos de cuenca, que se han originado por el esparcimiento de los glacis de acumulación por fenómenos de pendiente y de sistema fluvial en el área de estudio, estas geoformas son utilizadas para cultivos anuales en su gran mayoría de caña de azúcar. Estos glacis tienen una pendiente hasta $0^\circ - 5^\circ$ y desnivel relativo de hasta 5 metros. Ocupan una extensión superficial de 157,37 hectáreas, lo que corresponde al 30,14%

- **Glacis de acumulación (Ot)**

Depósitos sedimentarios que se originan por la acumulación de destrucción de los relieves circundantes, su morfología es plana con pendientes que van de $5^\circ - 15^\circ$ con desnivel de 5 a 10 metros. En el área de estudio, geoformas son ocupadas por la expansión de la zona urbana. La litología es de material suelto y fragmentos menores desprendidos por la erosión pluvial y eólica con el posterior arrastre mediante saltación de partículas o por incidencia de la gravedad, estas partículas están conformadas por material volcano-sedimentario y metamórfico, emplazados en una matriz limo-arcillosa. Ocupan una superficie de 26,97 hectáreas, que equivale al 54,97%.



- **Origen: Estructural**

- **Superficie de cuesta (C1)**

Ladera estructural de una cuesta, la cual está formada por series de estratos de buzamiento medio, formada como consecuencia de la degradación parcial de los paquetes sedimentarios, está relacionada directamente con los planos de estratificación y buzamiento de los estratos de lutitas y limonitas de los relieves de fondos de cuenca (Formación Loma Blanca). La pendiente está entre 15° - 35°, con desnivel relativo de 20 metros, presenta erosión hídrica concentrada en surcos, cubierta por vegetación arbórea, herbácea y arbustiva. Estas unidades ocupan una superficie de 25,97 hectáreas, que representa el 4,97%.

- **Superficie de cuesta destruida (Ot)**

Ladera estructural de una cuesta, formada como consecuencia de la degradación parcial de los estratos sedimentarios que ha sufrido erosión, formando valles en V, con erosión hídrica en barrancos, tiene cobertura vegetal herbácea y arbustiva, la pendiente está entre 35° - 55°, con desnivel mayor a 20 metros, ocupa una extensión de 51,59 hectáreas, que corresponden al 9,88% del área de estudio. **Ver Anexo 6**

6.2.6. Isoyetas

Las precipitaciones son el principal factor desencadenante para que se produzcan los movimientos de masa, dichas precipitaciones están representadas en un mapa de Isoyetas que se las ha determinado utilizando los valores de precipitación media anual de las estaciones más cercanas al sector de estudio, se clasificó en 3 categorías, siendo la del rango de 0 – 100 mm/año la más predominante, abarcando un 47,17% del total del área, las mayores precipitaciones representan un porcentaje del 22,32% lo que representa 116,42 ha y se encuentra en algunos sectores del área de estudio principalmente en la zona urbana. **Ver Anexo 7.** Los datos obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 14.-. Isoyetas

| ISOYETAS | | |
|------------------------------|--------------|------------|
| PRECIPITACIÓN MEDIA (mm/año) | ÁREA (ha) | ÁREA (%) |
| 0 – 100 | 246,25 | 47,17 |
| 100 – 200 | 159,23 | 30,51 |
| 200 – 300 | 116,42 | 22,32 |
| TOTAL | 521,9 | 100 |

Elaboración: El Autor

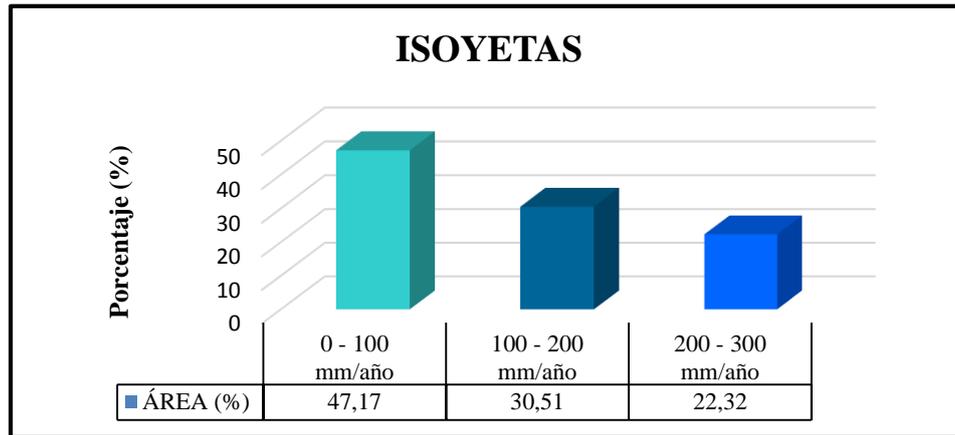


Figura 29.- Gráfica de Isoyetas
Elaboración: El Autor (2016)

6.2.7. Determinación de la susceptibilidad a movimientos de masa

Como resultado de la combinación de las variables: geomorfología del terreno, las características de los geomateriales, la pendiente de los terrenos, el uso del suelo y las precipitaciones se obtuvo la zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa, del área de estudio, el método utilizado es el de suma de rangos, para el cual se utilizó los criterios establecidos por Janssen y Van Herwijnen (1994). **Ver Anexo 8.**

Tabla 15.- Asignación de pesos en base al Método de suma de rangos.

| NÚMERO DE CRITERIO | PESOS DE CRITERIO USANDO EL MÉTODO DE SUMA DE RANGO | | | | | |
|--------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Nro. | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 |
| 2 | 0.66 | 0.33 | | | | |
| 3 | 0.50 | 0.33 | 0.17 | | | |
| 4 | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | | |
| 5 | 0.33 | 0.27 | 0.20 | 0.13 | 0.07 | |
| 6 | 0.29 | 0.24 | 0.19 | 0.14 | 0.10 | 0.05 |

Elaboración: El Autor a partir de Janssen y Van Herwijnen (1994)

$$wk = \frac{n + 1 - k}{\sum_{i=1}^n (n + 1 - i)}$$

Cabe indicar que cada una de las variables está compuesta por subvariables, a las cuales se les asigna un peso de 1 a 5, en base a las condiciones del área de estudio, que en este caso se le asigno como indica el detalle de las siguientes tablas:



Tabla 16.- Pesos asignado a la variable de Geología.

| GEOLOGÍA | PESO |
|--|-------------|
| Aglomerados volcánicos y sobre estos yacen un paquete de tobas calcáreas | 3 |
| Arcillas con intercalaciones de arenisca | 2 |
| Lutitas blandas meteorizadas sobre esta una capa de arcilla y areniscas tobáceas | 4 |
| Areniscas intercaladas con paquetes de arcilla y paquete de conglomerados en la parte inferior | 2 |
| Areniscas intercaladas con paquetes de arcilla y láminas de yeso | 2 |
| Arcilla de tonalidad oscura | 1 |

Elaboración: El Autor

Tabla 17.- Pesos asignados a la variable geomorfología

| GEOMORFOLOGÍA | PESO |
|--------------------------------|-------------|
| Superficie de cuesta destruida | 4 |
| Superficie de cuesta | 3 |
| Glacis de acumulación | 2 |
| Glacis de esparcimiento | 1 |

Elaboración: El Autor

Tabla 18.- Pesos asignados a la variable de pendiente.

| PENDIENTE | RANGO (°) | PESO |
|------------------|------------------|-------------|
| Muy Baja | 0 - 5 | 1 |
| Baja | 5 - 10 | 2 |
| Media | 10 - 35 | 4 |
| Alta | 35 - 55 | 5 |

Elaboración: El Autor

Tabla 19.- Pesos asignados a la variable de Uso actual del suelo

| USO ACTUAL DEL SUELO | DESCRIPCIÓN | PESO |
|-----------------------------|--|-------------|
| Antrópico | Zona Urbana | 1 |
| Agrícola | Caña de azúcar | 1 |
| Pecuario | Pasto natural | 2 |
| Pecuario | Pasto natural en áreas en proceso de erosión | 3 |

Elaboración: El Autor

Tabla 20.- Pesos asignados a la variable Isoyetas

| ISOYETAS (mm/año) | PESO |
|------------------------------|-------------|
| 0 - 100 | 1 |
| 100 - 200 | 2 |
| 200 - 300 | 3 |

Elaboración: El Autor



Los pesos han sido asignados en base a las características físicas observadas en el área de estudio mediante las visitas de campo, en las cuales se ha podido establecer el orden de relevancia de los factores que intervienen en el presente análisis; los pesos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 21.- Asignación de pesos en base al Método de suma de rangos.

| VARIABLE | PESO |
|----------------------------------|------|
| Geología | 0,33 |
| Geomorfología | 0,27 |
| Pendientes | 0,20 |
| Cobertura y uso actual del suelo | 0,13 |
| Isoyetas | 0,07 |

Elaboración: El Autor

Para asignar los pesos en el área de estudio se consideró las características físicas del sector, es así que se identificó que la variable más influyente es la geología, pues el tipo de roca por la que está conformada en su mayoría son depósitos Volcano-sedimentarios, mismos que actúan como un factor disparador de inestabilidad del terreno tomando en cuenta las geoformas existentes en la zona de estudio y que ocupan un segundo lugar, las pendientes no son tan pronunciadas, la cobertura vegetal no tiene mayor influencia en la inestabilidad del terreno debido a que la mayoría son destinados a cultivos y las isoyetas afectan únicamente en épocas de invierno, por lo que están ubicadas en último lugar.

El mapa de susceptibilidad (**Anexo 9**) se obtuvo por medio de una ponderación de los factores, la herramienta utilizada es la Suma Ponderada, donde se ingresan los formatos Ráster de cada una de los variables, para combinarlas y obtener un análisis completo, el mismo que es reclasificado en 5 categorías que se describen a continuación:

Tabla 22.- Categorías susceptibilidad a deslizamientos.

| CATEGORÍA | ÁREA (ha) | ÁREA (%) |
|--------------------------|--------------|------------|
| Muy Baja Susceptibilidad | 148,15 | 28,39 |
| Baja Susceptibilidad | 107,53 | 20,61 |
| Mediana Susceptibilidad | 130,36 | 24,97 |
| Alta Susceptibilidad | 92,58 | 17,74 |
| Muy alta Susceptibilidad | 43,28 | 8,29 |
| TOTAL | 521,9 | 100 |

Elaboración: El Autor

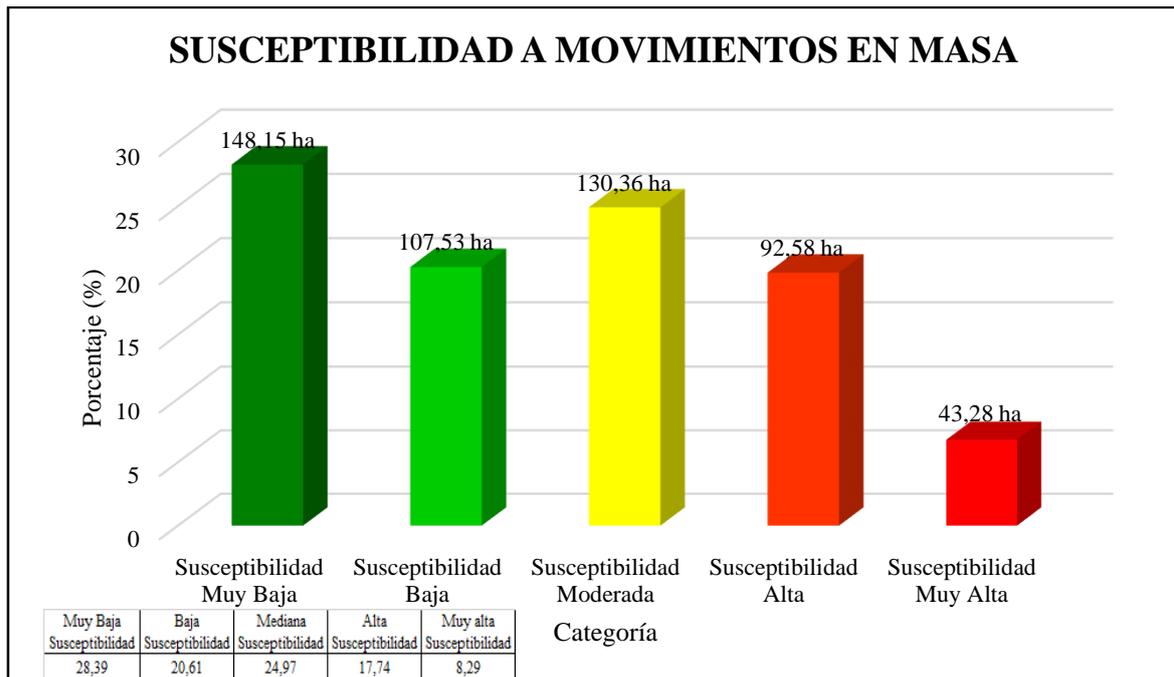


Figura 30.- Gráfica de Susceptibilidad a Movimientos de Masa
Elaboración: El autor

- **Susceptibilidad Muy Baja**

Esta categoría constituye la mayoría del territorio del área de estudio, ocupando el 28,39%, que representa 148,15 hectáreas, donde predominan terrenos con pendientes muy bajas a bajas, el principal uso de suelo es agrícola, con cultivos de caña de azúcar en su totalidad, y conformado por arcillas de tonalidad oscura.

- **Susceptibilidad Baja**

La susceptibilidad baja ocupa un área de 107,53 hectáreas, o sea el 20,61%; la litología predominante está conformada por aglomerados volcánicos y tobas calcáreas. El uso actual del suelo es el agropecuario, inmersos sobre relieves de origen deposicional.

- **Susceptibilidad Moderada**

Esta categoría ocupa un porcentaje considerable, es decir un 24,97% ocupando 130,36 hectáreas, en terrenos de uso antrópico y pastos naturales en áreas en proceso de erosión. La litología predominante son areniscas intercaladas con paquetes de arcillas y láminas de yeso.



- **Susceptibilidad Alta**

De las 521,90 hectáreas, 92,58 hectáreas representan la categoría de susceptibilidad muy alta, la litología predominante son las areniscas y los aglomerados volcánicos sobre los cuales yace un paquete de tobas calcáreas, las pendientes van de medias a altas, se encuentran sobre superficies de cuesta destruida y el uso de suelo actual principal es antrópico principalmente viviendas, lotes de terreno, vías y el pecuario.

- **Susceptibilidad Muy Alta**

Esta categoría es la menos representativa, ocupa un 8,29% lo que representa 43,28 hectáreas, sin embargo dentro de esta área la mayoría es de uso antrópico, donde se encuentra la zona urbana (viviendas, vías, lotizaciones) de la parroquia San José, la litología presente está conformada por utitas blandas meteorizadas sobre las cuales se encuentra una capa de arcilla y areniscas tobáceas.

El mapa de Susceptibilidad a movimientos en masa, de la parroquia San José, se presenta a escala 1:10000 (**Ver Anexo 9**).



7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El sector de estudio se encuentra ubicado en la cuenca Catamayo, la misma que descansa sobre el graben Catamayo – Cariamanga – Huancabamba. Las rocas de la formación Loma Blanca son las predominantes las mismas que son de la época oligocénica - miocénica, aquí se contemplan dos tipos de rocas, un conglomerado basal y una secuencia de tobas blancas de grano medio con estratificación.

El método empleado se basa en diferentes procesos, como base el levantamiento topográfico a una escala 1:10.000, para luego continuar con la caracterización geológica, geomorfológica, de pendientes, de uso actual del suelo e isoyetas del área de estudio, con las cuales se realizó el análisis de Susceptibilidad a deslizamientos mediante la suma de Rangos considerado un Método Semicuantitativo.

La metodología utilizada para generar la presente información topográfica, geológica, geomorfológica y de susceptibilidad se constituye como una herramienta de gran ayuda debido a que se fundamentó en base a la explotación máxima de la información cartográfica y bibliográfica de la zona de estudio; de acuerdo al uso adecuado de las fotografías aéreas que lo componen, las visitas de campo para la toma y corroboración de datos y el mapeo final de cada una de estas características.

Para el estudio geológico se recorrió toda el área de estudio describiendo afloramientos y rocas relevantes, así mismo detallando estructuras como diaclasas y diaclasamientos. La zona se encuentra conformada por material vulcano sedimentario con capas de 400 metros de aglomerados volcánicos sobre los que yacen tobas calcáreas de textura compacta, así mismo existen lutitas blandas meteorizadas con potencia de 525 metros y sobre la misma una capa de arcillas y areniscas tobáceas así como areniscas intercaladas con paquetes de arcilla y láminas de yeso con potencias de 1600 metros de textura detrítica. En la parte basal con una potencia de 256 metros se presentan areniscas intercaladas con paquetes de arcillas y conglomerados de textura detrítica.

Se considera como óptima a la corroboración en campo realizada ya que la mayoría de datos obtenidos en GIS no se encuentra distantes de las condiciones reales de la zona de estudio. Esto se concluye debido a que se identificó que la geología ha sufrido cambios menores producto de los efectos erosivos, esto se refleja; en la geomorfología del sector,



debido a que demuestra que es característico de unidades genéticas de origen Depositional y estructural. Por lo cual, dentro de este análisis resultó imprescindible un criterio técnico sobre la génesis, tipo y metamorfismo de los materiales que se encuentran sobre la corteza terrestre.

Según Álvaro Sánchez Romero, en la tesis denominada "Estudio geológico-estructural e inventario de deslizamientos del área 1 de la cuenca de Catamayo.", indica que pese a la existencia de meteorización y exceso de lluvias en temporada invernal, en el área de estudio no se han generado grandes movimientos recientes en la cuenca de Catamayo, por lo indicado podemos decir que la cuenca es una zona estable. Contrastando lo antes mencionado con el presente estudio se afirma categóricamente que la zona posee superficies con muy baja susceptibilidad a deslizamientos.

Así también Sánchez, A. en su tesis afirma que los factores condicionantes que favorecen la ocurrencia de los movimientos en el área de estudio están atribuidos básicamente a la meteorización o descomposición de los materiales rocosos, estos sedimentos no consolidados inestables pierden su cohesión, facilitando la tarea a los factores desencadenantes. Lo que en este trabajo se reafirma ya que en la zona de Susceptibilidad muy Alta a movimientos de masa se evidencia la presencia de lutitas blandas meteorizadas sobre las cuales se encuentra una capa de arcilla y areniscas tobáceas siendo esta litología la más influyente para que se produzcan los deslizamientos cuando existe presencia de lluvias.

Al comparar el método aplicado en el presente estudio con el mapa de inventario de deslizamientos se determina que existe similitud en los resultados obtenidos, considerando a la presente metodología como confiable, ya que los deslizamientos y las zonas de alta y muy alta susceptibilidad presentadas en el mapa final coinciden en la ubicación de la mayor cantidad de movimientos de masa. La aplicabilidad del método depende de las condiciones técnicas disponibles ya que se emplea cuando se tiene experiencia en el sector de estudio y se conoce la influencia que tendrá cada una de las variables presentes en la zona, ya que el criterio técnico y la práctica afianzan la validez de los resultados.



8. CONCLUSIONES

- El área de estudio está representada por 521.90 Ha (5.219 km²) que corresponde a los barrios Santo Domingo y San José pertenecientes a la parroquia urbana San José, del cantón Catamayo, provincia de Loja.
- En la topografía de la zona de estudio se encuentran representadas las viviendas, vías, senderos, quebradas, y sectores relevantes, a una escala de 1:10000, con curvas de nivel secundarias cada 1 metro y principales cada 5 metros, la cota mayor es de 1392 m s.n.m., al Este y la cota más baja 1150 m.s.n.m., al Oeste.
- Las pendientes predominantes son bajas y representan 234,83 hectáreas, es decir el 45,29%; mientras que las pendientes con menor área son las altas, que representan 12,59 hectárea, es decir 2,41%.
- El uso Actual del Suelo se representa generalmente por cobertura agropecuaria, ocupando 388,78 hectáreas, de las cuales 229 hectáreas son cultivos de caña de azúcar, 80,79 hectáreas de pasto natural y 78.92 hectáreas de pasto natural en áreas en proceso de erosión. En menor superficie se encuentra la cobertura antrópica, usada como zona urbana y abarca un área de 133,12 hectáreas.
- Mediante la determinación den campo y en base a información bibliográfica, en la zona de estudio se detallaron dos tipos de formaciones geológicas; la Loma Blanca con arcillas de tonalidad oscura en su mayoría cubriendo un total de 177,1 hta y la Formación Gonzanamá en la que en su mayoría existe aglomerados volcánicos sobre los que yacen un paquete de tobas calcáreas con 53,43 hta.
- En la zona de estudio se evidenció la ocurrencia de cuatro deslizamientos, los mismos que por la geomorfología generada se encuentran en glaciais de acumulación con pendientes de 0° - 5° y superficie de cuesta destruida con pendientes que van desde 35 a 55°, tres de los deslizamientos se encuentran en áreas en proceso de erosión y el restante en uso de suelo antrópico, lo que conlleva a que sea una zona medianamente susceptible a deslizamientos.



- Mediante la relación D_r/L_r se determinó que los cuatro deslizamientos son de tipo traslacional ya que sus valores son menores a 0.1 según lo propuesto por Skempton y Hutchinson en 1969.
- Mediante el Método de Suma de Rangos se obtuvo la zonificación de la susceptibilidad a movimientos de masa, considerando las variables a las que se les asignó distintos valores de acuerdo a su relevancia o influencia para la generación de movimientos de masa, siendo así: geología (0,33), geomorfología (0,27), la pendiente de los terrenos (0,20), el uso Actual del suelo (0,13) y las precipitaciones (0,13).
- El mapa resultante el método suma de rangos determinó que la mayoría de la zona de estudio presenta Muy Baja Susceptibilidad a Movimientos de Masa en un área de 148,15 Ha. que representa al 28,39%, Baja Susceptibilidad en 107,53 Ha. correspondientes al 20,61%, Mediana Susceptibilidad un total de 130,36 Ha. que es el 24,97%, Alta Susceptibilidad en 92,58 Ha. equivalentes al 17,74% y Muy Alta Susceptibilidad en 43,28 Ha representado el 8,29%.
- En la zona de susceptibilidad Alta a movimientos de masa se localizan 3 deslizamientos y en la zona de susceptibilidad Muy Alta se evidencia la ocurrencia de 1 de los 4 deslizamientos mencionados en el mapa de inventario de deslizamientos, apoyando así el método empleado en la presente tesis y aportando a su validez.
- Las áreas categorizadas como susceptibles a deslizamientos en este análisis, refleja la potencialidad de iniciarse un proceso de deslizamiento en los sectores así evaluados, pero no indican la distancia que el material deslizado puede recorrer o donde se depositará. Por lo tanto se supone existe una amenaza adicional en las áreas de vías y zonas de depósitos superficiales con altas pendientes y altamente afectados por la erosión.



9. RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta la mayor cantidad de variables que puedan intervenir en los movimientos de masa como mapas en donde se identifiquen zonas erosión, sismicidad y actividades humanas con la finalidad de que los resultados presenten una mejor fiabilidad a la generada en el presente trabajo.
- El trabajo de campo el cual consta del levantamiento de información en la zona de estudio como: topografía, geología, geomorfología y caracterización de deslizamientos se deben realizar de forma minuciosa, ya que estos se utilizarán para el modelamiento y el análisis final.
- Aplicar la metodología utilizada en este trabajo de tesis, adaptándolo a áreas de estudio similar, puede contribuir en el grado de reducción de situaciones de desastre como resultado de amenazas geológicas (movimientos en masa) en el país.
- Emplear la presente metodología en futuros análisis de susceptibilidad, e incorporar nuevos métodos de cálculo de susceptibilidad con la finalidad de anticiparse al suceso de un desastre y así evitar pérdidas socio - económicas.
- En las zonas de alta susceptibilidad a movimientos de masa, lugar en el que se evidenciaron los movimientos de masa inventariados en el presente trabajo, se recomienda realizar medidas de estabilización como descabezamiento de talud, terraceo, impermeabilización de materiales y construcción de drenajes para evitar así la influencia de aguas de escorrentía superficial, lo cual ha provocado los deslizamientos en los límites del barrio Santo Domingo.
- Analizar los datos expuestos en la presente tesis así como de futuros estudios en la zona de estudio para una correcta generación de base de datos que se puedan incluir en planes de ordenamiento territorial del cantón Catamayo.



10. BIBLIOGRAFÍA

- **Ambalagan, R. 1992.** Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology* (32): 269-277.
- **Aranha Domingues, F.A. (1979):** Topografía e Astronomía de Posição para Engenheiros e Arquitectos. Editora Mc Graw-Hill. Sao Paulo.
- **Ayala Carcedo y Corominas (2002).** Jordi. "Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG" Madrid – España, Instituto Geológico y Minero de España.
- **Ayala Carcedo y Olcina Jorge (Coord.) 2002.** "Riesgos Naturales", Barcelona - España, Editorial Ariel.
- **Barredo, J.I.; A. Benavidez; J. Hervhl AND C. J. Van Westen. 2000.** Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International J. Appl. Earth Observ. Geoinform.* 2 (1): 9–23
- **Belousov, V.V. (1974).** Geología estructural. Moscú: Editorial Mir.
- **Bosque Sendra, J., (1992).** Sistemas de Información Geográfica, Rialp, S.A.
- **Brabb, E., Y Harrods, B. (1989).** Landslides. Extend and Economic Significance. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- **Buckner, R.B. (1983):** Surveying measurements and their Analysis. Third Printing, May 1991. Landmark Enterprises, Rancho Cordova, California. USA.
- **Carrara, A., Cardnali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (1995).** GIS technology in mapping landslide hazard. En: CARRARA, A., GUZZETTI, F. (Eds) Netherlands, Pág. 135-175



- **Chung, C. and A. Fabbri. 2003.** Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards* 30: 451–472.

- **Copons Llorens, R. y Tallada Masquef, A. (2009).** Movimientos de ladera. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra* (17.3), 284-294.

- **Corominas, D; García-Yagüé, A. (1997).** Terminología de los movimientos de laderas. En: IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. Granada, España, págs. 1051 – 1072

- **Cruden, D M (1991).** A simple definition of a landslide. *Bulletin International Association for Engineering Geology*, 43: 27–29.

- **Cruden, M, Varnes, J. (1996).** Landslide Types and Processes. En: Turner, A.K. y Schuster, R.L., 1996: *Landslides: Investigation and Mitigation*. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C. 675 p.p.

- **Dai, F. C. and C. F. Lee. 2002.** Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* 42 (3-4): 213-228.

- **Dai, F. C.; C. F. Lee and Y. Ngai. 2002.** Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology* 64, (1): 65-87.

- **Demek, J., (Ed), (1972),** Manual of detailed geomorphological mapping, International Geographical Union, Commission on Geomorphological Survey and Mapping, Prague, 344 p.

- **Escobar Duque (2013).** Manual de Geología para Ingenieros. *Geomorfología*. 720 pp.



- **F.G.H. Btyth — M.H. Ffreitas. (1995).** “Geología para Ingenieros”. Séptima Edición.

- **Fernandes, N. F.; R. F. Guimarães; R. A. Gomes; B. Vieira; D. Montgomery and H. Greenberg. 2001.** Condicionantes geomorfológicos dos escorregamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 2, (1): 51-71

- **Ferrer, M. (1997).** Algunos deslizamientos históricos en España (1600-1950) *Actas del IV Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables*. Granada, 741-746.

- **González de Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. (2002).** *Ingeniería Geológica*. Pearson Educacion. 744 pp.

- **Gutiérrez, F.; Guerrero, J. y Lucha, P. (2008).** Quantitative sinkhole hazard assessment. A case study from the Ebro Valley evaporite alluvial karst (NE Spain). *Natural Hazards*, 45, pp. 211-233.

- **Guzzetti, F.; A. Carrara; M. Cardinalli; P. Raichenbach. 1999.** Landslide hazards evaluation: a review of current techniques and their applications in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31:181-216.

- **Guzzetti, F.; P. Reichenbach; M. Cardinalli; M. Galli; F. Ardizzone. 2005.** Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72:272-299.

- **Hervás, J. y Rosin, P.L. (2001).** "Tratamiento digital de imágenes de teledetección en el espectro óptico para el reconocimiento y control de deslizamientos". V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Madrid. En prensa.

- **Higgins, A.L. (1957):** *Elementary Surveying*. 7ª Impression, Longmans, Green & Co. London.



- **Highland, L.M., y Bobrowsky, Peter, 2008**, Manual de derrumbes. Guía para entender todo sobre los derrumbes: Reston, Virginia, Circular 1325 del Sistema Geológico de los EUA, 129 p.
- **Hungerbuhler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Eguez A., Hammer 2001**. "Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador".
- **Kennerley, J.B. 1973**. Geology of Loja Province. Southern Ecuador. Inst. Geol. Sci., London, Overseas Division, Report. No. 23.
- **Korte G (2001)**, "The GIS Book (5th Ed. Rev.)" Autodesk Press.
- **Meléndez B. y Fuster J.M, (1991)**. "Geología. Geología general". Editorial Paraninfo. Madrid.
- **Nilsen, T.H., Wright, R.H., Vlastic, T.C., Spangle, W.E., & associates, city and regional planners (1979)**. Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region, California. U.S. Geological Survey Professional Paper 944: 96p.
- **Ordoñez Ezequiel, (1950)**. "Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros".
- **Pratt, W., Figueroa, J. y Flores, B. (1997)**. MAPA GEOLÓGICO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL ENTRE 3° - 4° S, ESCALA 1:200000. British Geological Survey y Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero Metalúrgica. Ministerio de Energía y Minas, Quito-Ecuador.
- **Rojas, D.R y Paredes, J. (2008)**. Compendio de Geología General. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.



- **Segura, G., 2009:** Análisis mediante aplicaciones SIG de la susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba como factor de riesgo del poliducto de RECOPE.- 74 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic.]

- **Seisdedos Santos, J. 2009.** Los grandes paleo-desplazamientos de Güimar y la Oratava (Tenerife): análisis geológico, mecanismos de inestabilidad y modelización geomecánica. Tesis de Doctorado. Facultad De Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 202 pp.

- **Star J and Estes J (1990),** "Geographic Information Systems: An Introduction" Prentice-Hall.

- **Steinmann, M., Hungerbühler, D. & Winkler, W. (1999).** Neogene Tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission-track approach. Tectonophysics 307, 255 – 276 pp.

- **Thomas, N.W. (1958):** Surveying. 4ª Edición, Edward Arnold LTD. London

- **Tomlin C (1990),** "Geographic information systems and cartographic modelling." Prentice Hall.

- **Torrijo, F.J. (2003).** Taludes y excavaciones en suelos. Apuntes del Master en Geotecnología. Universidad de Barcelona, 42 pp.

- **VAN WESTEN, C.J., Rengers, N., Terlien, M.T.J., and Soeters, R. 1997.** Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. Geologisches Rundschau. pp 404-414

- **Van Westen, C. (1994),** “Aplicación del Sistema de Información Geográfica para la zonificación del peligro de deslizamiento”



- **Varnes, J.(1978)**, Slope movement types and processes, in Schuster, R.L., and Krizek,R.J., eds., Landslides: analysis and control: Washington, D.C., National Academy of Sciences, Transportation Research Board Special Report 176, p. 12-33.



ANEXOS



Anexo 1

Mapa Topográfico



ANEXO 2

Mapa de Pendientes



ANEXO 3

Mapa de Cobertura Vegetal y Uso Actual del Suelo



ANEXO 4

Mapa Geológico



ANEXO 5

Inventario de Deslizamientos



ANEXO 6

Mapa Geomorfológico



ANEXO 7

Mapa de Isoyetas



ANEXO 8

Formula de Janssen y Van Herwijnen (1994) para el método de Suma de Rangos

$$wk = \frac{n + 1 - k}{\sum_{i=1}^n (n + 1 - i)}$$

| NÚMERO DE CRITERIO | PESOS DE CRITERIO USANDO EL MÉTODO DE SUMA DE RANGO | | | | | |
|--------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Nro. | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 | W6 |
| 2 | 0.66 | 0.33 | | | | |
| 3 | 0.50 | 0.33 | 0.17 | | | |
| 4 | 0.40 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | | |
| 5 | 0.33 | 0.27 | 0.20 | 0.13 | 0.07 | |
| 6 | 0.29 | 0.24 | 0.19 | 0.14 | 0.10 | 0.05 |



ANEXO 9

Mapa de Susceptibilidad



ANEXO 10

Fichas de Deslizamientos



DATOS GENERALES

| REGISTO FOTOGRÁFICO | | | |
|---------------------|-------------------------|-------------------|---|
| | MOVIMIENTO N.- 1 | | |
| | COORDENADAS | X: 683996 | DIRECCIÓN: 55°SE |
| | | Y: 9557749 | ÁNGULO (inclinación de la ladera en grados): 45° |
| | FOTO N.- | | FORMA DE LA LADERA: recta () Cónca () Convexa () |
| | ALTITUD: | 1359 | USO DEL TERRENO: Arbustos y árboles () No vegetada () Pastos () Cultivos () Residencial (X) Vía Presente () |
| | FECHA: | 14/05/2016 | |

CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO

| | | | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------|
| TIPO: | Deslizamiento (X) | flujo () | Caídas () | Reptación () | Erosión () |
| LONGITUD (Distancia Promedio desde el escarpe hasta la base): | 18 | | | | |
| ANCHO (promedio de la zona): | 12 m | | | | |
| TIPO DE FALLA: | Indeterminada () | Rotacional () | Traslacional (X) | Completa () | Múltiple () |
| MECANISMO: | Evento sencillo y rápido () | Evento sencillo y lento (X) | Evento múltiple y rápido () | Evento múltiple y lento () | |
| SECUENCIA DE REPETICIÓN: | | | | | |
| ACTIVIDAD: | Inactivo () | Latente (X) | Activo () | Actividad localizada () | |
| ESTADO DEL ESCARPE: | No es aplicable (X) | Escarpe evidente () | Escarpe vago () | | |
| FORMA DEL ESCARPE: | No aplicable (X) | Semicircular () | Elongado () | Alargado () | |
| AREA DEL ESCARPE: | No aplicable (X) | Pequeña (<200 m ²) () | Mediana (200 – 500 m ²) () | Grande (>500 m ²) () | |
| VEGETACIÓN DEL ESCARPE: | No Aplicable (X) | No vegetada () | Vegetación escasa () | Arbustos () | |
| FORMA DE LA MASA DESPLAZADA: | No aplicable () | Longitud = ancho () | Longitud > ancho (X) | Longitud < ancho () | |
| ESTADO DE LA MASA DESPLAZADA: | Masa intacta () | Masa desintegrada (X) | Masa en forma de flujo () | No Presente () | |
| HUMEDAD DE LA MASA DESPLAZADA: | No Presenta zonas Húmedas () | Zonas de alta Humedad () | Zonas Inundadas () | Zonas Húmedas (X) | |
| VEGETACIÓN DE LA MASA DESPLAZADA: | No Aplicable () | No vegetada (X) | Vegetación escasa () | arbustos () | Árboles () |
| SUPERFICIE DE FALLA: | Cubierta orgánica () | Suelo depositado () | Suelo residual (X) | Relleno () | |
| CAUSA PROBABLE: | Desconocida () | Erosión concentrada () | Deforestación () | Exceso de agua () | cargas de construcción (X) |
| FACTOR DISPARADOR: | Desconocido () | Lluvias (X) | Construcciones () | Apertura de vía () | |
| DAÑO: | No visible (X) | Carreteras () | Residencias () | Áreas de pasto () | Residencias () |
| ESTABILIZACIÓN: | No Visible (X) | Muros () | Canales () | Drenes () | Otros () |



DATOS GENERALES

| REGISTO FOTOGRÁFICO | | | |
|---------------------|-------------------------|--------------|--|
| | MOVIMIENTO N.- 2 | | |
| | COORDENADAS | X: 683.608 | DIRECCIÓN: 120°SE |
| | | Y: 9.558.225 | ÁNGULO (inclinación de la ladera en grados): 65° |
| | FOTO N.- | | FORMA DE LA LADERA: recta () Cónca () Convexa () |
| | ALTITUD: | 1352 | USO DEL TERRENO: Arbustos y árboles (X) No vegetada () Pastos () Cultivos () Residencial () Vía Presente () |
| | FECHA: | 14/05/2016 | |

CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO

| | |
|--|--|
| TIPO: | Deslizamiento () flujo (X) Caídas () Reptación () Erosión () |
| LONGITUD (Distancia Promedio desde el escarpe hasta la base): | 40 m |
| ANCHO (promedio de la zona): | 70 m |
| TIPO DE FALLA: | Indeterminada () Rotacional () Traslacional () Completa () Múltiple () |
| MECANISMO: | Evento sencillo y rápido () Evento sencillo y lento (X) Evento múltiple y rápido () Evento múltiple y lento () |
| SECUENCIA DE REPETICIÓN: | |
| ACTIVIDAD: | Inactivo () Latente (X) Activo () Actividad localizada () |
| ESTADO DEL ESCARPE: | No es aplicable (X) Escarpe evidente () Escarpe vago () |
| FORMA DEL ESCARPE: | No aplicable (X) Semicircular () Elongado () Alargado () |
| AREA DEL ESCARPE: | No aplicable (X) Pequeña (<200 m ²) () Mediana (200 – 500 m ²) () Grande (>500 m ²) () |
| VEGETACIÓN DEL ESCARPE: | No Aplicable () No vegetada () Vegetación escasa () Arbustos (X) |
| FORMA DE LA MASA DESPLAZADA: | No aplicable () Longitud = ancho () Longitud > ancho (X) Longitud < ancho () |
| ESTADO DE LA MASA DESPLAZADA: | Masa intacta () Masa desintegrada (X) Masa en forma de flujo () () No Presente () |
| HUMEDAD DE LA MASA DESPLAZADA: | No Presenta zonas Húmedas () Zonas de alta Humedad () Zonas Inundadas () Zonas Húmedas (X) |
| VEGETACIÓN DE LA MASA DESPLAZADA: | No Aplicable () No vegetada (X) Vegetación escasa () arbustos () Árboles () |
| SUPERFICIE DE FALLA: | Cubierta orgánica () Suelo depositado () Suelo residual (X) Relleno () |
| CAUSA PROBABLE: | Desconocida () Erosión concentrada (X) Deforestación () Exceso de agua () () cargas de construcción () Discontinuidades () |
| FACTOR DISPARADOR: | Desconocido () Lluvias (X) Construcciones () Apertura de vía () |
| DAÑO: | No visible (X) Carreteras () Residencias () Áreas de pasto () Residencias () |
| ESTABILIZACIÓN: | No Visible (X) Muros () Canales () Drenes () Otros () |



DATOS GENERALES

| REGISTO FOTOGRÁFICO | | |
|---------------------|-------------------------|--|
| | MOVIMIENTO N.- 3 | |
| | COORDENADAS | X: 682305 Y: 9557087 |
| | FOTO N.- | |
| | ALTITUD: | 1291 |
| | FECHA: | 14/05/2016 |
| | | DIRECCIÓN: 34°SE ÁNGULO (inclinación de la ladera en grados): 40° FORMA DE LA LADERA: recta () Cónca () Convexa () USO DEL TERRENO: Arbustos y árboles (X) No vegetada () Pastos () Cultivos () Residencial () Vía Presente () |

CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO

| | |
|--|---|
| TIPO: | Deslizamiento (X) flujo () Caídas () Reptación () Erosión () |
| LONGITUD (Distancia Promedio desde el escarpe hasta la base): | 10 m |
| ANCHO (promedio de la zona): | 20 m |
| TIPO DE FALLA: | Indeterminada () Rotacional () Traslacional (X) Completa () Múltiple () |
| MECANISMO: | Evento sencillo y rápido () Evento sencillo y lento (X) Evento múltiple y rápido () Evento múltiple y lento () |
| SECUENCIA DE REPETICIÓN: | |
| ACTIVIDAD: | Inactivo () Latente () Activo (X) Actividad localizada () |
| ESTADO DEL ESCARPE: | No es aplicable (X) Escarpe evidente () Escarpe vago () |
| FORMA DEL ESCARPE: | No aplicable (X) Semicircular () Elongado () Alargado () |
| AREA DEL ESCARPE: | No aplicable (X) Pequeña (<200 m ²) () Mediana (200 – 500 m ²) () Grande (>500 m ²) () |
| VEGETACIÓN DEL ESCARPE: | No Aplicable () No vegetada () Vegetación escasa () Arbustos (X) |
| FORMA DE LA MASA DESPLAZADA: | No aplicable () Longitud = ancho () Longitud > ancho (X) Longitud < ancho () |
| ESTADO DE LA MASA DESPLAZADA: | Masa intacta () Masa desintegrada (X) Masa en forma de flujo () No Presente () |
| HUMEDAD DE LA MASA DESPLAZADA: | No Presenta zonas Húmedas () Zonas de alta Humedad () Zonas Inundadas () Zonas Húmedas (X) |
| VEGETACIÓN DE LA MASA DESPLAZADA: | No Aplicable () No vegetada (X) Vegetación escasa () arbustos () Árboles () |
| SUPERFICIE DE FALLA: | Cubierta orgánica () Suelo depositado () Suelo residual (X) Relleno () |
| CAUSA PROBABLE: | Desconocida () Erosión concentrada (X) Deforestación () Exceso de agua () cargas de construcción () Discontinuidades () |
| FACTOR DISPARADOR: | Desconocido () Lluvias (X) Construcciones () Apertura de vía () |
| DAÑO: | No visible (X) Carreteras () Residencias () Áreas de pasto () Residencias () |
| ESTABILIZACIÓN: | No Visible (X) Muros () Canales () Drenes () Otros () |



DATOS GENERALES

| REGISTO FOTOGRÁFICO | | | |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| | MOVIMIENTO N.- 4 | | |
| | COORDENADAS | X: 682684 Y: 9557254 | DIRECCIÓN: 55°SW ÁNGULO (inclinación de la ladera en grados): 30° |
| | FOTO N.- | | FORMA DE LA LADERA: recta () Cónca () Convexa () |
| | ALTITUD: | 1291 | USO DEL TERRENO: Arbustos y árboles (<input checked="" type="checkbox"/>) No vegetada () Pastos () Cultivos () Residencial () Vía Presente () |
| | FECHA: | 14/05/2016 | |

CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO

| | |
|--|--|
| TIPO: | Deslizamiento (<input checked="" type="checkbox"/>) flujo () Caídas () Reptación () Erosión () |
| LONGITUD (Distancia Promedio desde el escarpe hasta la base): | 40 m |
| ANCHO (promedio de la zona): | 60 m |
| TIPO DE FALLA: | Indeterminada () Rotacional () Traslacional (<input checked="" type="checkbox"/>) Completa () Múltiple () |
| MECANISMO: | Evento sencillo y rápido () Evento sencillo y lento (<input checked="" type="checkbox"/>) Evento múltiple y rápido () Evento múltiple y lento () |
| SECUENCIA DE REPETICIÓN: | |
| ACTIVIDAD: | Inactivo () Latente () Activo (<input checked="" type="checkbox"/>) Actividad localizada () |
| ESTADO DEL ESCARPE: | No es aplicable (<input checked="" type="checkbox"/>) Escarpe evidente () Escarpe vago () |
| FORMA DEL ESCARPE: | No aplicable (<input checked="" type="checkbox"/>) Semicircular () Elongado () Alargado () |
| AREA DEL ESCARPE: | No aplicable (<input checked="" type="checkbox"/>) Pequeña (<200 m ²) () Mediana (200 – 500 m ²) () Grande (>500 m ²) () |
| VEGETACIÓN DEL ESCARPE: | No Aplicable () No vegetada () Vegetación escasa () Arbustos (<input checked="" type="checkbox"/>) |
| FORMA DE LA MASA DESPLAZADA: | No aplicable () Longitud = ancho () Longitud > ancho (<input checked="" type="checkbox"/>) Longitud < ancho () |
| ESTADO DE LA MASA DESPLAZADA: | Masa intacta () Masa desintegrada (<input checked="" type="checkbox"/>) Masa en forma de flujo () No Presente () |
| HUMEDAD DE LA MASA DESPLAZADA: | No Presenta zonas Húmedas () Zonas de alta Humedad () Zonas Inundadas () Zonas Húmedas (<input checked="" type="checkbox"/>) |
| VEGETACIÓN DE LA MASA DESPLAZADA: | No Aplicable () No vegetada (<input checked="" type="checkbox"/>) Vegetación escasa () arbustos () Árboles () |
| SUPERFICIE DE FALLA: | Cubierta orgánica () Suelo depositado () Suelo residual (<input checked="" type="checkbox"/>) Relleno () |
| CAUSA PROBABLE: | Desconocida () Erosión concentrada (<input checked="" type="checkbox"/>) Deforestación () Exceso de agua () cargas de construcción () Discontinuidades () |
| FACTOR DISPARADOR: | Desconocido () Lluvias (<input checked="" type="checkbox"/>) Construcciones () Apertura de vía () |
| DAÑO: | No visible (<input checked="" type="checkbox"/>) Carreteras () Residencias () Áreas de pasto () Residencias () |
| ESTABILIZACIÓN: | No Visible (<input checked="" type="checkbox"/>) Muros () Canales () Drenes () Otros () |



ANEXO 11

Fichas de Descripción de Afloramientos



DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

| | |
|---|---|
|  | <p>DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA</p> <p>Capa de materia orgánica con presencia de arbustos de espesor de 0.50 cm.</p> <p>Capa de arcilla arenosa de 1m aproximadamente con presencia de óxidos de hierro, no se evidencia humedad.</p> <p>Capa de arcilla arenosa con espesor de 7.20 m de color blanquecina amarillenta.</p> |
| | <p>AFLORAMIENTO N°: 1</p> <p>FECHA: 14 - 05 - 2016</p> <p>COORDENADAS: X: 683541 Y: 9558367 Z: 1328m</p> <p>DIMENSIONES (h): 10.70 m</p> <p>RELIEVE: Llano <input type="checkbox"/> Bajo <input checked="" type="checkbox"/> De Colinas <input type="checkbox"/> Montañoso <input type="checkbox"/></p> <p>VEGETACIÓN: Exuberante <input type="checkbox"/> Escasa <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>FORMACIÓN: Loma Blanca</p> <p>AFLORAMIENTO: Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/></p> |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLÓGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|-----------------|-------------------|--|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.50 | 1 | Suelo orgánico | | X | | |
| 1 | 2 | Arcilla arenosa con óxidos de Fe | 20° SW | | | X |
| 9.20 | 3 | Arcillas arenosas blanquecina | 16° SW | X | | |

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

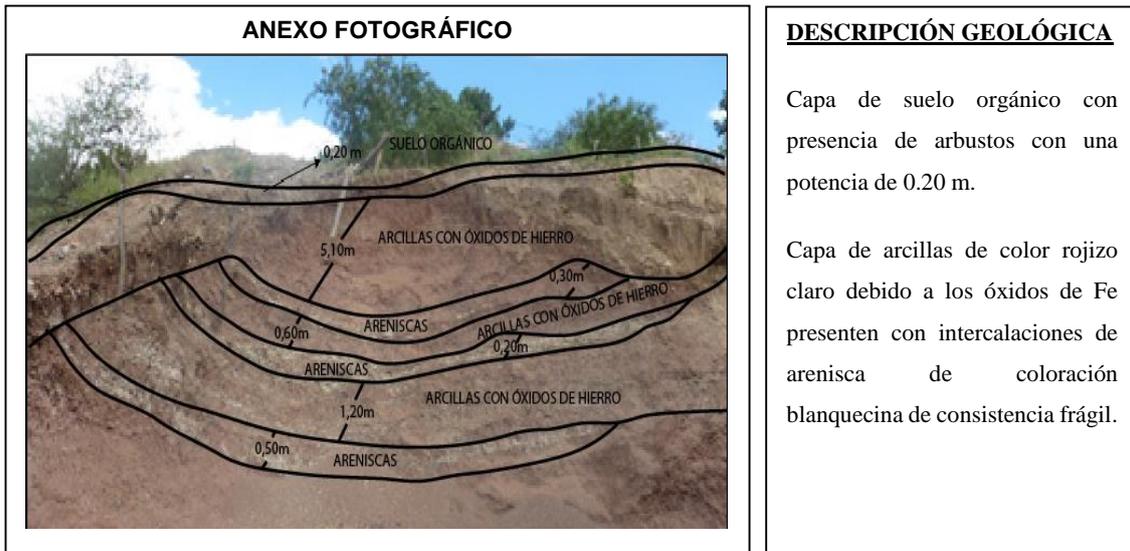
| ANEXO FOTOGRÁFICO | <u>DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA</u> |
|---|--|
|  | <p>Capa de suelo orgánico con presencia de arbustos de 0.40 m de color café oscuro.</p> <p>Capa de Arena arcillosa meteorizada de color blanquecina con una potencia de 1.30 m.</p> <p>Capa de arena arcillosa con láminas de yeso altamente meteorizada con una potencia de 1.10 m.</p> <p>Capa de lutita meteorizada de consistencia muy frágil en la cual se encuentran láminas de cuarzo dispuesta de una forma laminar con una potencia de 3.20 m</p> |

| | | |
|---|--|--|
| AFLORAMIENTO N°: 2 | | |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 | | |
| COORDENADAS: X: 683542 | Y: 9558368 | Z: 1328m |
| IDIMENSIONES (h): 7.30 m | | |
| RELIEVE: Llano <input type="checkbox"/> | Bajo <input checked="" type="checkbox"/> | De Colinas <input type="checkbox"/> Montañoso <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: Exuberante <input type="checkbox"/> | Escasa <input checked="" type="checkbox"/> | |
| FORMACIÓN: Loma Blanca | | |
| AFLORAMIENTO: Artificial <input checked="" type="checkbox"/> | Natural <input type="checkbox"/> | |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLÓGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|-----------------|-------------------|--|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.40 m | 1 | Suelo orgánico | | X | | |
| 1.30 m | 2 | Arena arcillosa | 15° SE | X | | |
| 1.10 m | 3 | Arena arcillosa con láminas de yeso | 10 ° SE | | X | |
| 1.30 m | 4 | Arena arcillosa | 13 ° SE | | X | |
| 3.20 m | 5 | Lutita meteorizada | 26° SE | | X | |

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:



| | | | |
|---|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| AFLORAMIENTO N°: 3 | | | |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 | | | |
| COORDENADAS: X: 683313 | Y: 9558511 | Z: 1333m | |
| DIMENSIONES (h): 8.10 m | | | |
| RELIEVE: Llano <input checked="" type="checkbox"/> | Bajo <input type="checkbox"/> | De Colinas <input type="checkbox"/> | Montañoso <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: Exuberante <input type="checkbox"/> | Escasa <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| FORMACIÓN: Loma Blanca | | | |
| AFLORAMIENTO: Artificial <input checked="" type="checkbox"/> | Natural <input type="checkbox"/> | | |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLOGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|--------------|----------------|---------------------------|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.20 m | 1 | Suelo orgánico | | | | X |
| 5.10 m | 2 | Arcillas con óxidos de Fe | 30° SE | | | X |
| 0.30 m | 3 | Areniscas | 14° SE | | X | |
| 0.60 m | 4 | Arcillas con óxidos de Fe | 14° SE | | | X |
| 0.20 m | 5 | Areniscas | 12° SE | | X | |
| 1.20 m | 6 | Arcillas con óxidos de Fe | 13° SE | | | X |
| 0.50 m | 7 | Areniscas | 10° SE | | X | |

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

| ANEXO FOTOGRÁFICO | DESCRIPCIÓN <u>GEOLÓGICA</u> |
|-------------------|--|
| | <p>Capa de suelo orgánico con presencia de arbustos con una potencia de 0.50 m de coloración café claro.</p> <p>Capa de conglomerado con clastos que varían de 5 a 20 cm, con matriz arena-arcillas de coloración café oscuro con presencia de grietas de 10 cm aproximadamente.</p> |

| | | | |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| AFLORAMIENTO N°: 4 | | | |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 | | | |
| COORDENADAS: X: 682714 | | Y: 9557465 Z: 1284m | |
| IDIMENSIONES (h): 16 m | | | |
| RELIEVE: Llano | <input type="checkbox"/> | Bajo | <input checked="" type="checkbox"/> |
| De Colinas | <input type="checkbox"/> | Montañoso | <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: Exuberante | <input type="checkbox"/> | Escasa | <input checked="" type="checkbox"/> |
| FORMACIÓN: Loma Blanca | | | |
| AFLORAMIENTO: Artificial | <input type="checkbox"/> | Natural | <input checked="" type="checkbox"/> |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLÓGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|-----------------|-------------------|---------------------------------------|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.50 m | 1 | Suelo orgánico | | | X | |
| 8.40 m | 2 | Conglomerado con matriz arcillosa | 15° | | X | |
| 7.10 m | 3 | Conglomerado con matriz arena-arcilla | 18° | | | X |

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

| ANEXO FOTOGRÁFICO | <u>DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA</u> |
|-------------------|--|
| | <p>El afloramiento corresponde a roca piroclásticas, en la parte superior se ubican los aglomerados volcánicos con una potencia de 11 m y sobre estos yacen un paquete de arcillas de tonalidades entre amarilla y lila con una potencia de 6.50 m y otra capa de tobas calcáreas, las cuales se encuentran estratificadas y afectadas por actividad erosiva fluvial con una potencia de 5.50 m.</p> |

| | | |
|---|------------|----------|
| AFLORAMIENTO N°: 5 | | |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 | | |
| COORDENADAS: X: 682937 | Y: 9556883 | Z: 1311m |
| DIMENSIONES (h): 23 m | | |
| RELIEVE: Llano <input type="checkbox"/> Bajo <input type="checkbox"/> De Colinas <input type="checkbox"/> Montañoso <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| VEGETACIÓN: Exuberante <input type="checkbox"/> Escasa <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| FORMACIÓN: Gonzanama | | |
| AFLORAMIENTO: Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> | | |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLOGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|--------------|----------------|------------|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 11 m | 1 | Aglomerado | 18° SE | | X | |
| 6.50 m | 2 | Arcillas | 22° SE | | X | |
| 15.50 m | 3 | Tobas | 30° SE | | X | |



DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

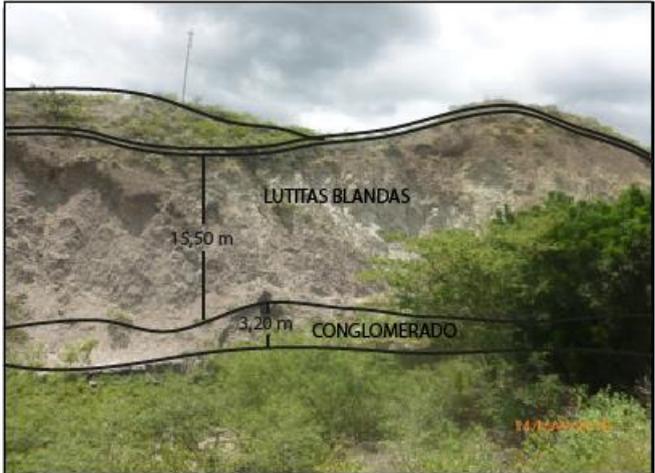
| ANEXO FOTOGRÁFICO | <u>DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA</u> |
|-------------------|---|
| | <p>Capa de suelo orgánico con presencia de arbustos de coloración café oscura con una potencia de 0.20 cm</p> <p>Capa de lutita de coloración rojiza blanquecina meteorizada con una potencia de 34.50 m y cárcavas que permiten una zona de drenaje con una apertura de 20 cm.</p> <p>Capa de arcillas de coloración café oscuro con presencia de material orgánico con una potencia de 15.40 m.</p> |

| | | | |
|--|-------------------------------|--|------------------------------------|
| AFLORAMIENTO N°: 6 | | | |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 | | | |
| COORDENADAS: X: 683547 | Y: 9557527 | Z: 1327 m | |
| IDIMENSIONES (h): 50.10 m | | | |
| RELIEVE: Llano <input type="checkbox"/> | Bajo <input type="checkbox"/> | De Colinas <input checked="" type="checkbox"/> | Montañoso <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: Exuberante <input type="checkbox"/> Escasa <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| FORMACIÓN: Gonzanama | | | |
| AFLORAMIENTO: Artificial <input type="checkbox"/> Natural <input checked="" type="checkbox"/> | | | |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLOGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|-----------------|-------------------|---------------------|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.20 m | 1 | Suelo orgánico | | X | | |
| 34.50 m | 2 | Lutitas meteorizada | 20° SW | | | X |
| 15.40 m | 3 | Arcillas | 32° SW | | X | |

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

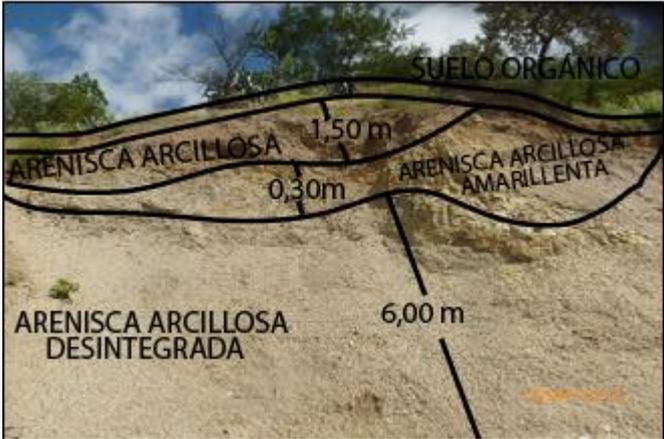
| ANEXO FOTOGRÁFICO | <u>DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA</u> |
|---|---|
|  | <p>Capa de Suelo orgánico con presencia de arbustos de coloración café oscura con una potencia de 0.20 m.</p> <p>Capa de Lutitas blandas meteorizadas sobre esta una capa de arcilla y areniscas tobaceas de coloración blanquecina, con una potencia de 15.50 m.</p> <p>Capa de conglomerado con matriz arcillosa con clastos que van desde los 5 a 10 cm.</p> |

| | | | |
|---|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| AFLORAMIENTO N°: 7 | | | |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 | | | |
| COORDENADAS: X: 683932 | Y: 9557723 | Z: 1366m | |
| IDIMENSIONES (h): 28.90 m | | | |
| RELIEVE: Llano <input type="checkbox"/> | Bajo <input checked="" type="checkbox"/> | De Colinas <input type="checkbox"/> | Montañoso <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: Exuberante <input type="checkbox"/> | Escasa <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| FORMACIÓN: Gonzanama | | | |
| AFLORAMIENTO: Artificial <input checked="" type="checkbox"/> | Natural <input type="checkbox"/> | | |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLOGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|-----------------|-------------------|------------------------------|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.20 m | 1 | Suelo orgánico | | X | | |
| 15.50 m | 2 | Lutitas-Arcilla- Arenisca | 50° SE | | X | |
| 3.20 m | 3 | Conglomerado | 10° | | X | |

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

| ANEXO FOTOGRÁFICO | <u>DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA</u> |
|---|--|
|  | <p>Capa de suelo orgánico con presencia de arbusto de tonalidad café oscura con una potencia de 0.20 m</p> <p>Capa de Areniscas intercaladas con paquetes de arcilla de grano grueso de tonalidad que varían de amarillenta y blanquecina con una masa desintegrada debido al efecto de humedad.</p> |

| | | | |
|---|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| AFLORAMIENTO N°: 8 | | | |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 | | | |
| COORDENADAS: X: 681895 | Y: 9558485 | Z: 1272 m | |
| 1DIMENSIONES (h): 8 m | | | |
| RELIEVE: Llano <input type="checkbox"/> | Bajo <input checked="" type="checkbox"/> | De Colinas <input type="checkbox"/> | Montañoso <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: Exuberante <input type="checkbox"/> | Escasa <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| FORMACIÓN: Gonzanama | | | |
| AFLORAMIENTO: Artificial <input checked="" type="checkbox"/> | Natural <input type="checkbox"/> | | |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLOGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|-----------------|-------------------|--|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.20 m | 1 | Suelo orgánico | | X | | |
| 1.50 m | 2 | Areniscas arcillosa de grano grueso | 10° SE | X | | |
| 0.30 m | 3 | Areniscas arcillosa de tonalidad amarillenta | 12° SE | X | | |
| 6 m | 4 | Areniscas arcillosa desintegrada | 20° SE | | X | |

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

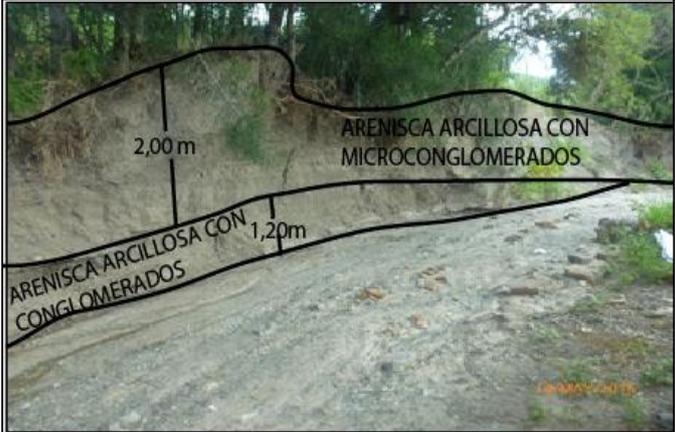
| ANEXO FOTOGRÁFICO | DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA |
|---|---|
|  | <p>Capa de suelo orgánico con presencia de arbusto de tonalidad café oscura con una potencia de 0.50 m.</p> <p>Capa de arcillas de diferentes tonalidades con grietas de 5 cm aproximadamente con un alto grado de meteorización.</p> |

| | | | |
|-------------------------------|--|--|--|
| AFLORAMIENTO N°: 9 | | | |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 | | | |
| COORDENADAS: X: | 682337 | Y: | 9557216 |
| Z: | 1262 m | | |
| IDIMENSIONES (h): 12 m | | | |
| RELIEVE: | Llano <input type="checkbox"/> | Bajo <input checked="" type="checkbox"/> | De Colinas <input type="checkbox"/> Montañoso <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: | Exuberante <input type="checkbox"/> | Escasa <input checked="" type="checkbox"/> | |
| FORMACIÓN: Gonzanama | | | |
| AFLORAMIENTO: | Artificial <input checked="" type="checkbox"/> | Natural | <input type="checkbox"/> |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLOGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|-----------------|-------------------|------------------------|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.50 m | 1 | Suelo Orgánico | | X | | |
| 2.00 m | 2 | Arcilla café claro | 19° SE | | X | |
| 2,00 m | 3 | Arcilla blanquecina | 16° SE | | X | |
| 3,50 m | 4 | Arcilla rojiza claro | 12° SE | | | X |

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

| ANEXO FOTOGRÁFICO | <u>DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA</u> |
|---|---|
|  | <p>Capa de suelo orgánico con presencia de arbusto de tonalidad café oscura con una potencia de 0.10 m.</p> <p>Capas de arenisca arcillosa de tonalidad blanquecina con presencia de micro-conglomerados <1'' y conglomerados > 10 cm, contacto entre la formación Loma Blanca y gonzanama existente en la quebrada Pitayo.</p> |

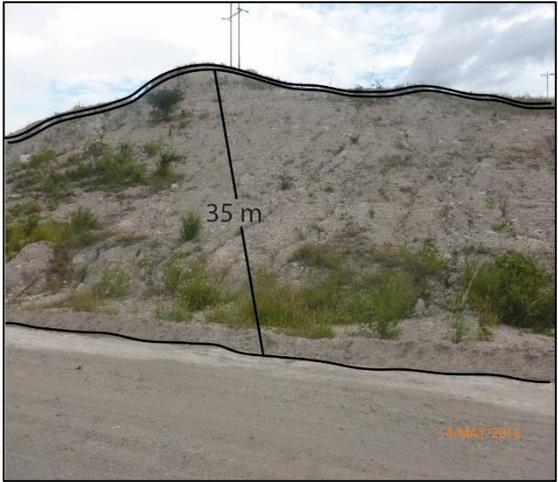
| | | |
|---|---|--|
| AFLORAMIENTO N°: 10 | | |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 | | |
| COORDENADAS: X: 682322 | Y: 9557362 | Z: 1265 m |
| IDIMENSIONES (h): 3.30 m | | |
| RELIEVE: Llano <input type="checkbox"/> | Bajo <input checked="" type="checkbox"/> | De Colinas <input type="checkbox"/> Montañoso <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: Exuberante <input checked="" type="checkbox"/> | Escasa <input type="checkbox"/> | |
| FORMACIÓN: Loma Blanca – Gonzanama | | |
| AFLORAMIENTO: Artificial <input type="checkbox"/> | Natural <input checked="" type="checkbox"/> | |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLÓGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|-----------------|-------------------|--|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.10 m | 1 | Suelo Orgánico | | X | | |
| 2 m | 2 | Arenisca arcillosa con micro-conglomerados | 18° SE | | X | |
| 1.20 m | 3 | Arenisca arcillosa con conglomerados | 15° SE | | X | |



DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

| ANEXO FOTOGRÁFICO | DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA |
|---|---|
|  | <p>Capa de suelo orgánico con presencia de arbusto de tonalidad café claro con una potencia de 0.20 m.</p> <p>Aglomerados aparecen meteorizados y en algunos casos estos están estratificados por una capa de arcilla y un paquete de tobas de color blanquecina.</p> |

| | | | |
|------------------------|--|--|--|
| AFLORAMIENTO N°: 11 | | | |
| FECHA: 14 - 05 - 2016 | | | |
| COORDENADAS: X: | 681158 | Y: | 9557533 |
| | | Z: | 1264m |
| DIMENSIONES (h): m | | | |
| RELIEVE: | Llano <input type="checkbox"/> | Bajo <input checked="" type="checkbox"/> | De Colinas <input type="checkbox"/> Montañoso <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: | Exuberante <input type="checkbox"/> | Escasa <input checked="" type="checkbox"/> | |
| FORMACIÓN: Loma Blanca | | | |
| AFLORAMIENTO: | Artificial <input checked="" type="checkbox"/> | Natural | <input type="checkbox"/> |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLOGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|--------------|----------------|-------------------|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.20 m | 1 | Suelo Orgánico | | X | | |
| 35 m | 2 | Areniscas Tobácea | 30° SW | | X | |



DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS:

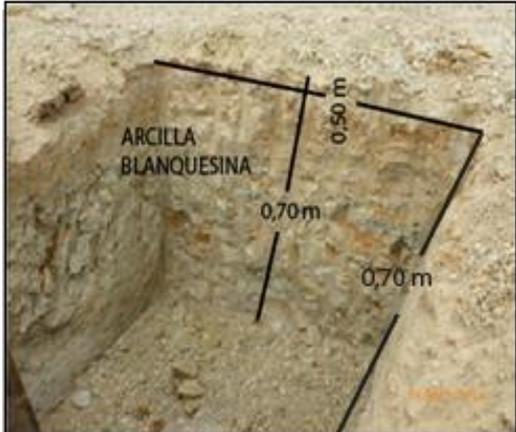
| ANEXO FOTOGRÁFICO | DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA |
|-------------------|--|
| | <p>Capa de suelo orgánico con presencia de arbusto de tonalidad café oscura con una potencia de 0.20 m.</p> <p>Capa de micro-conglomerado con clastos menores a 1” de coloración gris oscuro y conglomerados de 5 – 10 cm, con una base de arcilla de coloración café claro.</p> |

| |
|--|
| AFLORAMIENTO N°: 12 |
| FECHA: 14 – 05 – 2016 |
| COORDENADAS: X: 679785 Y: 9556997 Z: 1184 m |
| IDIMENSIONES (h): m |
| RELIEVE: Llano <input type="checkbox"/> Bajo <input checked="" type="checkbox"/> De Colinas <input type="checkbox"/> Montañoso <input type="checkbox"/> |
| VEGETACIÓN: Exuberante <input type="checkbox"/> Escasa <input checked="" type="checkbox"/> |
| FORMACIÓN: Loma Blanca |
| AFLORAMIENTO: Artificial <input type="checkbox"/> Natural <input checked="" type="checkbox"/> |

PERFIL LITOLÓGICO DE LOS AFLORAMIENTOS:

| POTENCIA (m) | N° DE ESTRATOS | LITOLOGÍA | ORIENTACIÓN | METEORIZACIÓN | | |
|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|---------------|-------|------|
| | | | | Bajo | Medio | Alto |
| 0.20 m | 1 | Suelo Orgánico | | X | | |
| 0.60 m | 2 | Micro-conglomerado | N.N | | X | |
| 0.45 m | 3 | Conglomerado | N.N | | X | |
| 0.30 m | 4 | Arcilla | 30° SE | | X | |
| 0.50 m | 5 | Conglomerado | N.N | | X | |

CARACTERIZACIÓN DE CALICATAS

| CALICATA NRO. 1 | | | |
|---|-----------|---|-----------|
| UBICACIÓN | X: 683542 | Y: 9558368 | Z: 1328 m |
| TIPO DE EXCAVACIÓN: | Manual | | |
| DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA | | | |
|  | | <p>La calicata realizada se encuentra ubicada al noreste del área de estudio, fue excavada manualmente, con dimensiones de 0,70 metros de profundidad por 0,50 metros de ancho y 0,70 metros de largo.</p> <p>Se puede evidenciar la presencia predominante de capas de material arcilloso compacto de color blanquecino amarillento afectado por óxidos de hierro y sin apariencia de humedad, entre las cuales se encuentran capas intermedias de areniscas arcillosas de color grisáceo claro.</p> | |

| CALICATA NRO. 2 | | | |
|---|-----------|---|-----------|
| UBICACIÓN | X: 068354 | Y: 9558368 | Z: 1328 m |
| TIPO DE EXCAVACIÓN: | Manual | | |
| DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA | | | |
|  | | <p>La calicata realizada se encuentra ubicada al suroeste del área de estudio, fue excavada manualmente, con dimensiones de 0,60 metros de profundidad por 3,5 metros de largo y 0,30 metros de ancho.</p> <p>Se puede evidenciar la presencia predominante de capas de material arcilloso compacto alto contenido de illita, su color es café oscuro, producto del alto contenido de minerales de montmorillonita, las cuales al contacto con el agua se vuelven sumamente expansivas.</p> | |



ANEXO 12

Estaciones Meteorológicas



| ESTACIONES METEOROLÓGICAS | | | | | | |
|---------------------------|--------|-----------|--------------------|---------------|------------|------------|
| NÚMERO | CÓDIGO | PROVINCIA | ESTACIÓN | PREC (mm/año) | X | Y |
| 1 | M0033 | LOJA | LA ARGELIA | 79,3 | 699718,672 | 9553624,72 |
| 2 | M0060 | | LA TOMA | 29,8 | 680588,216 | 9557924,32 |
| 3 | M0142 | | SARAGURO | 66,3 | 696174,942 | 9600571,42 |
| 4 | M0143 | | MALACATOS | 56,7 | 691901,472 | 9533766,6 |
| 5 | M0145 | | QUINARA | 74,9 | 694961,013 | 9522946,54 |
| 6 | M0146 | | CARIAMANGA | 117,7 | 660420,644 | 9520869,13 |
| 7 | M0147 | | YANGANA | 97,0 | 702563,781 | 9516938,14 |
| 8 | M0148 | | CELICA | 99,0 | 616397,914 | 9546215,86 |
| 9 | M0149 | | GONZANAMA | 116,7 | 674134,146 | 9532237,66 |
| 10 | M0150 | | AMALUZA | 75,2 | 674113,296 | 9493043,39 |
| 11 | M0151 | | ZAPOTILLO | 73,6 | 695714,26 | 9515357,07 |
| 12 | M0432 | | SAN LUCAS | 106,6 | 692537,661 | 9476719,65 |
| 13 | M0433 | | EL LUCERO | 85,0 | 692845,865 | 9476718,88 |
| 14 | M0434 | | SOZORANGA | 105,4 | 634400,442 | 9521866,78 |
| 15 | M0435 | | ALAMOR | 118,5 | 718974,721 | 9555546,37 |
| 16 | M0437 | | SAUCILLO | 72,8 | 699934,665 | 9526590,61 |
| 17 | M0438 | | JIMBURA | 112,8 | 670280,817 | 9488259,96 |
| 18 | M0439 | | SABIANGO | 100,7 | 632020,186 | 9517847,33 |
| 19 | M0515 | | CATACUCHA | 77,7 | 650484,077 | 9551570,21 |
| 20 | M0543 | | CAJANUMA | 92,2 | 699245,091 | 9548741,31 |
| 21 | M0544 | | COLAISACA | 103,9 | 645038,639 | 9522739,83 |
| 22 | M0765 | | SABANILLA | 64,8 | 598566,999 | 9539635,12 |
| 23 | M0040 | EL ORO | PASAJE | 90,3 | 636779,106 | 9632732,03 |
| 24 | M0180 | | ZARUMA | 120,6 | 654219,069 | 9591030,89 |
| 25 | M0185 | | MACHALA UTM | 127,8 | 640760,431 | 9657265,61 |
| 26 | M0292 | | GRANAJA SANTA INES | 55,3 | 622060,333 | 9636526,68 |
| 27 | M0773 | | PIÑAS | 103,6 | 644071,21 | 9593503,23 |
| 28 | M0502 | ZAMORA | EL PANGUI | 141,7 | 758220,763 | 9564908,03 |
| 29 | M0503 | | SAN FRANCISCO | 176,3 | 714083,235 | 9561610,3 |
| 30 | M0506 | | PAQUISHA | 238,1 | 767172,336 | 9598595,38 |



ANEXO 13

Registro Fotográfico



