



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TECNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN CIVIL

“Determinación de la erosión en taludes carreteros ante la presencia de lluvia mediante fotografía digital”

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTORA: Granda Prado, Shirley del Cisne

DIRECTOR: Zárate Torres, Belizario Amador, Mgs

LOJA - ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Mgs.

Belizario Amador Zárate Torres

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Determinación de la erosión en taludes carreteros ante la presencia de lluvia mediante fotografía digital realizado por Granda Prado Shirley del Cisne, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, marzo de 2017

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Granda Prado Shirley del Cisne declaro ser autora del presente trabajo de titulación: Determinación de la erosión en taludes carreteros ante la presencia de lluvia mediante fotografía digital, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo Belizario Amador Zárate Torres director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f.....

Granda Prado Shirley del Cisne

1104732399

DEDICATORIA

"Cuando Dios te permita llegar a la cima, no lo hace para que te quedes ahí, lo hace para que desde lo alto puedas ver cuál será tu siguiente meta y conquistarla"

Autor desconocido

A Dios por su ayuda incondicional, por darme fuerzas para levantarme y luchar por mis metas, por cada derrota que me ayudo a ser fuerte, pero sobre todo por no abandonarme cuando más lo he necesitado.

A mi madre, Norma, por ser mi mayor admiración y pilar fundamental, por demostrarme que a pesar de lo difícil que puede llegar a ser la vida, si luchas puedes lograr todo lo que te propongas. Gracias por enseñarme con el ejemplo todos los valores y la formación personal que poseo, por cada consejo, paciencia, amistad y sobre todo amor.

Shirley Granda Prado

AGRADECIMIENTO

Mi sincera admiración y agradecimiento a mi director de trabajo de fin de titulación M.Sc. Ing. Belizario Zárate Torres, por su paciencia, consejos y tutela no solo durante el desarrollo del presente proyecto, sino también por su labor como docente y guía durante la mayor parte de mi formación como profesional.

A mis padres, Norma y Hugo, por todo el esfuerzo que realizan día a día, por sus consejos, apoyo y lucha junto a mis tíos Elva y Francisco, que han sido como mis segundos padres en mi formación como persona de bien. A Juan Miguel por su cariño sincero y desinteresado, por formar parte de mi vida y familia siendo una persona importante e imprescindible para todos.

A mis amigos y compañeros que han contribuido a mi formación y han avanzado junto a mí en mi etapa universitaria, agradecerles por formar una parte muy importante y esencial en mi vida.

Shirley Granda Prado

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|------|
| CARATULA | 1 |
| APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | ii |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| RESUMEN | 12 |
| ABSTRACT | 13 |
| INTRODUCCION | 14 |
| GENERALIDADES | 16 |
| 1.1. Preámbulo | 17 |
| 1.2. Justificación | 17 |
| 1.3. Objetivos: | 18 |
| 1.3.1. General | 18 |
| 1.3.2. Específicos | 18 |
| ESTADO DEL ARTE | 19 |
| 2.1. Talud | 20 |
| 2.1.1. Definición de talud | 20 |
| 2.1.2. Clasificación general de talud | 20 |
| 2.1.3. Factores que influyen en la estabilidad de un talud | 21 |
| 2.2. Erosión | 22 |
| 2.2.1. Principales tipos de erosión: | 22 |
| 2.2.2. Factores que intervienen en la erosión pluvial | 24 |
| 2.2.3. Control de erosión en taludes | 25 |
| 2.3. Cálculo de erosión | 26 |
| 2.3.1. Métodos directos | 26 |
| 2.3.2. Métodos indirectos | 26 |
| 2.3.2.1. Método de Universal Soil Loss Equation (USLE) | 26 |
| 2.3.2.2. Uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS) | 27 |

| | |
|---|----|
| ÁREA DE ESTUDIO | 28 |
| 3.1 Geología | 29 |
| 3.2 Clima | 30 |
| 3.3 Ubicación geográfica | 30 |
| 1.3.3. Localización de la zona de estudio..... | 30 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 32 |
| 4.1 Materiales: | 33 |
| 4.1.1 Estación total Sokkia 610..... | 33 |
| 4.1.2 Prisma topográfico | 33 |
| 4.1.3 Cámara digital Samsung WB210..... | 34 |
| 4.1.4 Dianas: | 35 |
| 4.2 Metodología: | 36 |
| 4.2.1 Periodos de medición | 37 |
| 4.2.2 Tipos de suelos constituyentes de los taludes | 37 |
| 4.2.3 Obtención de imágenes..... | 38 |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 40 |
| 5.1 Modelado 3D con software SfM: | 41 |
| 5.2 Determinación de zonas de pérdida y ganancia de material por proceso erosivo 41 | |
| CONCLUSIONES | 59 |
| RECOMENDACIONES | 60 |
| BIBLIOGRAFÍA | 61 |
| ANEXOS | 63 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Talud artificial y sus partes | 20 |
| Figura 2: Talud natural y sus partes..... | 21 |
| Figura 3: Erosión por salpicadura y erosión laminar | 23 |
| Figura 4: Mapa geológico preliminar de la hoya de Loja | 29 |
| Figura 5: Ubicación de talud N.1..... | 31 |
| Figura 6: Ubicación de talud N.2..... | 31 |
| Figura 7: Estación total Sokkia..... | 33 |
| Figura 8: Prisma circular | 34 |
| Figura 9: Cámara digital..... | 34 |
| Figura 10: Diana | 35 |
| Figura 11: Talud con puntos referenciados..... | 36 |
| Figura 12: Método para obtener fotografías en “talud UTPL” | 38 |
| Figura 13: Método para obtener fotografías en “talud Vía Zamora” | 39 |
| Figura 14: Modelo 3D del “Talud UTPL” y “Talud Vía Zamora” realizado en un SfM. | 41 |
| Figura 15: MDE del primer periodo en SIG..... | 42 |
| Figura 16: Análisis de la superposición del primer periodo en SIG | 43 |
| Figura 17: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el primer periodo en SIG | 44 |
| Figura 18: MDE del segundo periodo en SIG..... | 45 |
| Figura 19: Análisis de la superposición del segundo periodo en SIG | 46 |
| Figura 20: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el segundo periodo en SIG | 47 |
| Figura 21: MDE del tercer periodo en SIG..... | 48 |
| Figura 22: Análisis de la superposición del tercer periodo en SIG..... | 48 |
| Figura 23: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el segundo periodo en SIG | 49 |
| Figura 24: MDE del cuarto periodo en SIG | 50 |
| Figura 25: Análisis de la superposición del cuarto periodo en SIG..... | 50 |
| Figura 26: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el cuarto periodo en SIG..... | 51 |
| Figura 27: MDE del quinto periodo en SIG | 52 |
| Figura 28: Análisis de la superposición del quinto periodo en SIG | 52 |
| Figura 29: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el quinto periodo en SIG | 53 |
| Figura 30: MDE del quinto periodo en SIG | 54 |
| Figura 31: Análisis de la superposición del quinto periodo en SIG | 55 |
| Figura 32: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el primer periodo en SIG | 56 |
| Figura 33: “Talud UTPL” estado inicial (29-ago-2016) y estado final (17-ene-2017)..... | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Coordenadas de talud N.1 y talud N. 2 | 36 |
| Tabla 2: Mediciones realizadas en talud N.1 y talud N. 2..... | 37 |
| Tabla 3: Propiedades físicas del Talud N.1 | 37 |
| Tabla 4: Propiedades físicas del Talud N.2 | 38 |
| Tabla 5: Valores de erosión del primer periodo Talud N.1 | 44 |
| Tabla 6: Valores de erosión del segundo periodo Talud N.1 | 47 |
| Tabla 7: Valores de erosión del tercer periodo Talud N.1 | 49 |
| Tabla 8: Valores de erosión del cuarto periodo Talud N.1 | 51 |
| Tabla 9: Valores de erosión del quinto periodo Talud N.1..... | 53 |
| Tabla 10: Valores de erosión del primer periodo Talud N.2..... | 56 |
| Tabla 11: Valores totales de erosión del Talud N.1 | 57 |

RESUMEN

El trabajo de investigación se basa en determinar la erosión que se produce por efecto pluvial en dos taludes carreteros emplazados en el barrio San Cayetano, por medio de la obtención de fotografías con una cámara digital convencional.

Para llevar a cabo dicho objetivo se ha realizado las capturas mediante dos métodos que consisten en un barrido fotográfico desde un solo punto y en la variación longitudinal de las capturas desde 3 puntos, a fin de comparar los resultados obtenidos en cada uno y determinar cual constituye el método más acertado considerando que se debe crear una nube de puntos de la superficie que abarque todas las zonas que constituyen el análisis.

La nube de puntos se creó mediante un SfM (Structure from Motion) que permite extraer el modelo digital de elevación del talud en cada periodo de tiempo que se pretende analizar, para finalmente superponer el modelo inicial y final del intervalo en un Sistema de Información Geográfica. La determinación de la cantidad de erosión se la puede conocer por medio del análisis volumétrico de material que se ha perdido en el transcurso de tiempo. Del análisis final se estableció que el método de barrido longitudinal es el más adecuado para medir volumétricamente la cantidad de material ganado o perdido por erosión.

Palabras claves: erosión, talud, SIG, cámara fotográfica, SfM

ABSTRACT

The project is based on determining the erosion that occurs due to pluvial effect in two road slopes located in the neighborhood San Cayetano, by means of obtaining photographs with a conventional digital camera.

In order to carry out this objective, the catches have been made by two methods consisting of a single-point photographic sweep and the longitudinal variation of the catches from 3 points, in order to compare the results obtained in each one and determine what constitutes The most correct method considering that a cloud of points of the surface must be created that covers all the zones that constitute the analysis.

The cloud of points was created by means of a SfM (Structure from Motion) that allows to extract the digital model of elevation of the slope in each period of time that it is tried to analyze, to finally superimpose the initial and final model of the interval in a Geographic Information System. The determination of the amount of erosion can be known through the volumetric analysis of material that has been lost in the course of time. From the final analysis it was established that the longitudinal scanning method is the most suitable for volumetrically measuring the amount of material gained or lost by erosion.

Keywords: erosion, slope, GIS, digital camera, SfM

INTRODUCCION

La erosión es un proceso natural que se produce en vías de transporte terrestre, alcanzando valores significativos y daños que requieren atención, sin embargo este fenómeno no ha sido objeto de estudio como sucede en el campo agroforestal (Jonte, 2002).

El principal inconveniente que presentan los procesos para determinar el grado de erosión consiste en encontrar una técnica de medición que abarque simultáneamente diversos aspectos necesarios como fiabilidad, precisión, bajo coste, factibilidad y facilidad de instalación (Gordon & Lichti, 2007). Debido a esta problemática, se plantea la utilización de un medio tecnológico como lo es una cámara digital para realizar la toma de imágenes para luego procesar y obtener, como lo realiza una medición fotogramétrica terrestre, una nube de puntos que permita obtener el modelo digital del terreno de taludes carreteros (Ramos, Marchamalo, Rojas, & Martínez, 2015). Dado que la erosión se produce sobre superficies que no tienen vegetación o poseen una cobertura vegetal están expuestas directamente a efectos que producen los cambios climáticos en el medio como es la precipitación (Environmental, Arias, & Kuroiwa, 2007; (Dermisis & Papanicolaou, 2011).

Para el proceso planteado se debe tomar en cuenta las limitaciones por visibilidad que surgen en el campo, lo que obliga a realizar capturas fotográficas parciales desde varios puntos, para posteriormente unificarlas mediante un software SfM (Structure from Motion), usando un sistema de coordenadas arbitrarias (Ramos et al., 2015). Para la unión se considera mantener constante la distancia focal de la cámara para poder realizar un solapamiento (traslape) de imágenes, 60% en la horizontal y del 80% en la vertical (Toscano et al., 2011). Con el fin de obtener una representación real de toda la nube de puntos que conforman la superficie del talud, se crean modelos 3D (Engineering & Eng, 2013), basados en dicha nube que se caracteriza por ser propia y única de cada superficie, lo que implica que se la debe tratar con análisis de superficies, mas no con análisis punto a punto como en la topografía clásica (Ramos et al., 2015).

Con el avance tecnológico presente en la actualidad, se pretende aprovechar este aspecto relacionándolo con cada rama científica como geología, geomorfología, civil, forestal, arqueología, hidrología y arquitectura, entre otros (Ruíz, Garro, & Soto, 2014), y poder obtener una representación exacta de la realidad en el menor tiempo posible, para lo cual se ha desarrollado métodos innovadores que incluyen la utilización de cámaras digitales o laser escáner de superficie (Kuznetsova, Kuznetsova, & Rakova, 2015) y de esta manera determinar los aspectos necesarios para el desarrollo de un proyecto, aumentando la exactitud en la

obtención de medidas cuantitativas (Walters, Jaselskis, Zhang, Mueller, & Kaewmorachoen, 2008).

La erosión que se desea determinar sobre los taludes carreteros se denomina erosión hídrica ya que es causada por el contacto directo entre el fenómeno de precipitación y la superficie expuesta (Falconi, 2013) siendo esta por salpicadura cuando se produce el desprendimiento de partículas debido al impacto entre lluvia-superficie, y laminar aquella que se produce por el transporte de material que supone la presencia del flujo de agua superficial que ocasiona la escorrentía (Dermisis & Papanicolaou, 2011).

El objetivo principal que se desea alcanzar utilizando esta metodología, consiste en a partir de imágenes fotográficas, generar modelos tridimensionales reales de una superficie de terreno. Estos modelos tridimensionales permitirán medir el grado de erosión que presentan los taludes carreteros emplazados en la Ciudad de Loja, durante una variación de tiempo, tomando en cuenta que en la ciudad existe una variación constante de precipitación, así como también el tipo de suelo superficial que se encuentra expuesto al fenómeno pluvial.

Para cumplir con los objetivos propuestos, se ha planteado ejecutar un proceso práctico que consiste en realizar la implantación de puntos referenciados mediante dianas para facilitar su localización en las imágenes fotografías captadas con el uso de cámaras digitales convencionales (Toscano et al., 2011). De esta manera determinar un sistema de coordenadas arbitrarias de cada punto, que servirá para obtener la geometría real del talud. Posteriormente se genera la nube de puntos correspondiente a la superficie de terreno sobre el talud que se pretende analizar, obteniendo los modelos tridimensionales mediante programas SfM.

El procesamiento y obtención de la variación temporal de la geometría del talud por efecto de la exposición a lluvia, se alcanzará mediante la superposición de los modelos obtenidos, con el uso de un sistema de información geográfico.

Los capítulos que se pretende desarrollar, se han planteado de la siguiente manera: Capítulo I: generalidades del estudio, Capítulo II, estado del arte, capítulo III descripción de la metodología y materiales utilizados en el desarrollo del proyecto, capítulo IV análisis de resultados obtenidos mediante la superposición de los modelos generados y finalmente capítulo V conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1. Preámbulo

El principal objetivo que debe plantearse un Ingeniero Civil es implementar alternativas viables que se puedan utilizar con el fin de preservar las obras construidas que se encuentran expuestas a fenómenos externos, para que de esta manera cumplan con su funcionamiento esperado, durante el tiempo de retorno proyectado.

Un talud artificial es una de las innumerables obras civiles creadas, se construye en la parte lateral de una vía, como principal forma para estabilizar una masa volumétrica de suelo, e impedir que fenómenos externos afecten su forma inicial y previamente calculada en su análisis, provocando deslizamientos o fallas que afecten la seguridad de las personas y produzcan demanda económica imprevista.

La ciudad de Loja por pertenecer a la región sierra ecuatoriana, posee un terreno con relieve montañoso, debido a lo cual existe presencia inevitable de precipitación pluvial en un rango mínimo de dos veces por semana. Por lo que se considera necesario tomar en cuenta el efecto erosivo que produce dicha precipitación sobre los taludes construidos en el entorno, especialmente de suelos arcillosos o limosos, ya que son los más propensos a sufrir dicho desgaste.

1.2. Justificación

En la actualidad las técnicas fotográficas se están empleando en el campo de la ingeniería civil para generar modelos tridimensionales de elementos o estructuras para medir o evaluar su comportamiento en el tiempo. Al igual que los sistemas laser escáner o LIDAR, las técnicas fotográficas generan una imagen digital la misma que puede ser referenciada a un sistema de coordenadas arbitrarias y con ello establecer mediciones directas en el modelo 3D generado. Al no disponer de laser escáner se puede realizar por medio de una cámara digital una nube de puntos que puede ser comparado con el tiempo y medir la variación espacial o temporal del objeto de estudio.

Con el presente estudio se pretende establecer una metodología que permita obtener el grado de erosión de taludes carreteros, mediante la captura de imágenes fotográficas con la

ayuda de una cámara digital convencional, para posteriormente realizar la generación de modelos 3D del sitio para su procesamiento y obtención de la variación temporal de la geometría del talud por efecto de la exposición a lluvias.

1.3. Objetivos:

1.3.1. General

- Generar mediante imágenes fotográficas modelos tridimensionales que midan el grado de erosión de taludes carreteros.

1.3.2. Específicos

- Generar modelos 3D de los taludes objeto de estudio mediante la captura de imágenes fotográficas con cámaras digitales convencionales.
- Determinar las propiedades de los suelos de los taludes carreteros.
- Establecer el grado de erosión de los taludes por efectos de la lluvia.

CAPÍTULO II
ESTADO DEL ARTE

2.1. Talud

2.1.1. Definición de talud

Superficie de terreno inclinada con respecto a un plano horizontal, que se forma como medio para estabilizar un volumen de terreno, brindando seguridad a las personas y a la obra civil construida (Seca & Envigado, 2014 ; Del Rio Llanos, 2013).

2.1.2. Clasificación general de talud

- Talud artificial: Su creación es producto de un movimiento de masa que realiza el hombre, respecto a su estado original por medio de instrumentos mecánicos (Ramirez & Sanchez, 2014).

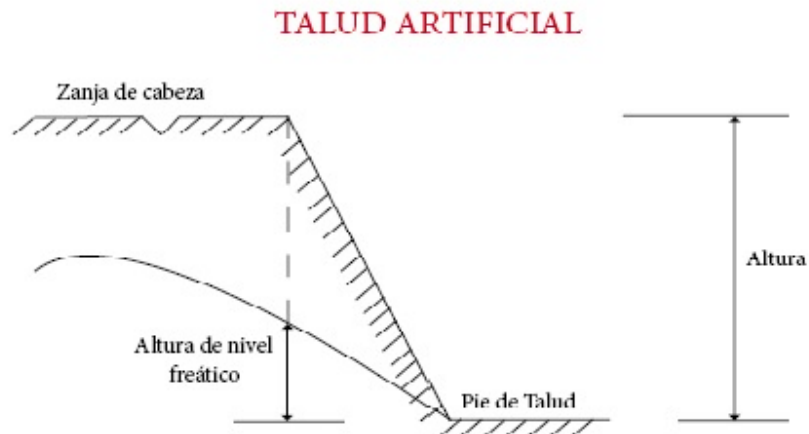


Figura 1: Talud artificial y sus partes
Fuente: <http://es.slideshare.net/lrveen/taludes>
Elaboración: Autor

- Talud natural: Se conoce como talud natural cuando es creado a raíz de fenómenos naturales, sin presencia humana (Ramirez & Sanchez, 2014).

TALUD NATURAL

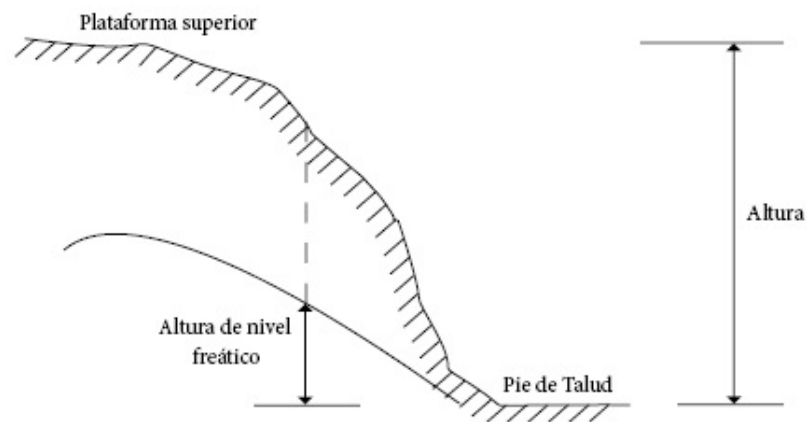


Figura 2: Talud natural y sus partes
Fuente: <http://es.slideshare.net/Irveen/taludes>
Elaboración: Autor

2.1.3. Factores que influyen en la estabilidad de un talud

- a) Agua Subterránea: Este fenómeno provoca la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante que puede afectar la pendiente (Parra & Melo, 2015).
- b) Sismo: Un sismo supone la presencia de fuerzas dinámicas, que se adicionarán a las fuerzas estáticas que normalmente actúan sobre un talud, provocando la inestabilidad de la pendiente (Parra & Melo, 2015).
- c) Erosión: La erosión provoca el cambio de la geometría física del talud original, obteniendo un talud diferente debido a que los esfuerzos analizados varían significativamente (Escobar & Orduña, 2014).
- d) Cargas externas: La aplicación de cargas sobre la corona deben ser tomadas en cuenta durante la evaluación de estabilidad del talud, ya que pueden provocar el aumento de fuerzas actuantes en el suelo (Escobar & Orduña, 2014).

- e) Excavaciones: Realizar una excavación sobre la superficie al pie del talud supone la reducción del esfuerzo total que actúa en el talud, generando un aumento negativo en la presión de poro (Escobar & Orduña, 2014).

2.2. Erosión

Se denomina erosión al proceso irreversible de desprendimiento, transporte y depósito que sufren las partículas orgánicas y minerales que componen el suelo o las rocas, ocasionado por fenómenos externos presentes inevitablemente en el medio ambiente como son el agua, viento, pendiente, adversidades climáticas (vendavales, huracanes, tornados, avalanchas, glaciares), olas del mar, fenómenos sísmicos y volcánicos, actividades del hombre (agricultura), etc. (Marconi, 2011).

En el ámbito agroforestal se considera de vital importancia su estudio debido a que provoca la pérdida de materias orgánicas y nutrientes que disminuye su productividad (Hernández, 2011), sin embargo en Ingeniería Civil se debe considerar su presencia en las obras de construcción y vías de transporte terrestre (Jonte, 2002), para conocer la cantidad de suelo que se puede perder a partir de un uso y manejo dados, tomando en cuenta que pueden alterar las condiciones físicas que suponen el futuro deterioro de la estructura, impidiendo que cumpla con el periodo de vida útil esperado.

2.2.1. Principales tipos de erosión:

2.2.1.1. Erosión según fenómenos ambientales:

2.2.1.1.1. Erosión hídrica

Se conoce como erosión hídrica al desgaste que sufre una superficie de terreno, causado por las partículas de agua al caer en el suelo durante un fenómeno pluvial (lluvia). (Marconi 2011).

Durante este proceso se distinguen cuatro clases:

- Por salpicadura: Cuando se produce el desprendimiento de partículas debido al impacto entre las gotas de lluvia y la superficie (Dermisis & Papanicolaou, 2011; Hernández 2011).
- Laminar: Aquella que se produce con la eliminación de una capa delgada uniforme de suelo, ocasionada por el arrastre de material que supone la presencia del flujo de agua que ocasiona la escorrentía superficial durante este proceso de precipitación (Dermisis & Papanicolaou, 2011; Hernandez 2011).

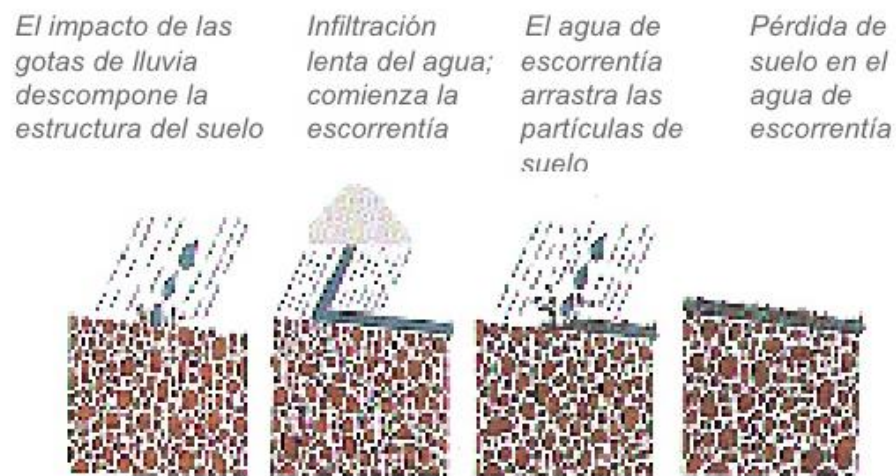


Figura 3: Erosión por salpicadura y erosión laminar
 Fuente: <http://www.slideshare.net/MyFert2010/erosion-hidrica>

- En surcos: Consiste en la formación de numerosos canales de pocos centímetros de profundidad y es habitual en terrenos labrados con pendiente (Imeson & Curfs, n.d.; Hernández, 2011).
- En cárcavas: Es un proceso en el cual se acumula agua en un área de terreno, creando canales con una profundidad considerable (Imeson & Curfs, n.d.).

2.2.1.1.2. Erosión eólica

Se llama erosión eólica al transporte de partículas de material granular o cohesivo, debido principalmente a efectos producidos por la intensidad del viento (Imeson & Curfs, n.d.), ya que la fuerza que ejerce sobre la superficie de suelo expuesta, provoca fácilmente su movimiento si

no están unidas entre sí por materia orgánica, raíces o arcilla (Marconi 2011; Imeson & Curfs, n.d.).

2.2.1.2. Erosión según condiciones del medio:

2.2.1.2.1. Erosión real

Se denomina erosión real o actual a la cantidad de material erosionado que se puede medir directamente sobre la superficie de terreno (Jonte, 2002) y supone tomar en consideración las condiciones reales por las que atraviesa la superficie de terreno, en el momento en el que se realiza el estudio (Lozano & Parras, 2011).

2.2.1.2.2. Erosión potencial

Se conoce como erosión potencial cuando mediante modelos empíricos se calcula la erosión que sufrirá una superficie de terreno expuesta a una serie de parámetros físicos presentes en el medio (Jonte, 2002), suponiendo valores hipotéticos en base a una situación potencial desfavorable por la que podría atravesar (Lozano & Parras, 2011).

2.2.2. Factores que intervienen en la erosión pluvial

- a) **Clima:** Factores tales como viento, temperatura y precipitación intervienen significativamente, ya que son las principales causas de que se produzca el desprendimiento y transporte de material (Falconí, 2013).
- b) **Características físicas del suelo:** Entre las propiedades que pueden afectar el suelo se encuentra la textura que ésta determina la velocidad con la que se infiltra el agua en las partículas, es decir la velocidad con la que se satura el suelo y provoca el escurrimiento superficial, de este modo la estructura del suelo también interviene en el grado de infiltración (Falconí, 2013).
- c) **Topografía:** El grado de inclinación y la longitud de la pendiente son las características naturales que afectan el grado de erosión (Falconí, 2013).

- d) Vegetación: La vegetación actúa de forma positiva, construyendo una barrera entre la superficie y los fenómenos climáticos, ya que disminuye la escorrentía y la humedad del suelo, mejora la cohesión y porosidad de las raíces, e impide el movimiento del suelo (Falconí, 2013).

2.2.3. Control de erosión en taludes

2.2.3.1. Aspectos fundamentales

La superficie de terreno de un talud requiere la realización de prácticas de conservación del suelo que se encuentra expuesto a erosión de forma inevitable, desde su etapa de construcción, considerando esta medida como una fuente a utilizar a largo (Imeson & Curfs, n.d.), y que cumpla la función de salvaguardar la estructura construida y las propiedades iniciales con las que fue analizado para su estabilidad (Alca, 2008).

Desde el inicio de la construcción de un talud carretero, es fundamental tomar en cuenta métodos que pueden ser empleados sobre los diferentes problemas como las aguas de lluvia, el control de la escorrentía superficial y el nivel freático que se encuentra presente y que afecta los diferentes estratos del terreno. Además se debe proteger la superficie del terreno expuesta a los agentes ambientales, con vegetación como principal recurso debido a su bajo costo, fácil alcance y repercusión con el medio ambiente, prestando la debida atención en el sistema que se llevara a cabo para el establecimiento de la cobertura vegetal. En ocasiones se recomienda utilizar materiales no orgánicos como medio para complementar la protección con vegetación (Alca, 2008).

2.2.3.2. Actividades para la conservación del suelo

- Modificar el perfil topográfico del terreno por medio de terrazas que no cambian la pendiente media pero si disminuyen la longitud de escorrentía con el fin de disminuir la velocidad del agua (Alca, 2008).
- El área y el tiempo de exposición de la superficie, a la lluvia, debe ser el mínimo posible, sembrando especies de rápida germinación y crecimiento. Utilizar agua

para mantener húmedas las áreas expuestas a la acción de viento, para evitar la erosión eólica mientras sucede el proceso de revegetalización (Falconi, 2013).

- Ubicar drenajes temporales en los taludes, antes de la construcción de los definitivos, para evitar la formación de cárcavas, ya que mediante este sistema se disminuye posibles movimientos ocasionados por agua (Parra & Melo, 2015).
- Colocar recubrimiento con concreto, mampostería, piedras o productos sintéticos soportadas por estacas, que cumplan la función de atrapar los sedimentos e impedir la infiltración (Parra & Melo, 2015).
- Inclusión de barreras de pasto, piedra o ramas como sistemas diversos de fácil acceso y bajo costo que puedan ser utilizados para que impidan el paso de partículas sedimentadas en la superficie (Parra & Melo, 2015).

2.3. Cálculo de erosión

La erosión sobre superficies expuestas se la puede calcular mediante métodos directos e indirectos (Moreno, Luis, Prieto, & Castellón, 2003).

2.3.1. Métodos directos

Se basan en emplear modelos experimentales que permitan medir la erosión directamente sobre la superficie expuesta a este fenómeno. Su aplicación permite obtener valores mucho más precisos a diferencia de los métodos indirectos, sin embargo demandan tiempo, costo y trabajo (Moreno et al., 2003).

2.3.2. Métodos indirectos

Los métodos indirectos son aquellos que permiten determinar el grado de erosión mediante cálculos realizados utilizando principalmente las características físicas del medio como son el tipo de suelo, pendiente, uso de suelo y vegetación (Moreno et al., 2003).

2.3.2.1. Método de Universal Soil Loss Equation (USLE)

Se considera el método indirecto de cálculo de la erosión más usado y de fácil aplicación (Biology, 2016), ya que se utiliza para estimar la pérdida de suelo debida a la erosión laminar y en regueros (Arroba & Romana, n.d.), por lo tanto la cantidad de material erosionado en barrancos profundos podría ser más alta que la calculada con USLE (Ahmad & Hagos, 2016).

La ecuación universal de pérdida de suelo presenta la siguiente estructura:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde cada uno de los parámetros de la ecuación representa lo siguiente:

- **A**, tasa de pérdida de suelo por unidad de superficie.
- **R**, índice de erosión pluvial.
- **K**, parámetro de erosionabilidad del suelo o erodabilidad.
- **L**, parámetro de longitud potencial de reguero.
- **S**, parámetro de pendiente del reguero.
- **C**, parámetro de naturaleza de la superficie cultivada.
- **P**, parámetro de prácticas de conservación.

2.3.2.2. Uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS)

La aplicación de los SIG como método indirecto de cálculo de erosión ha aumentado significativamente en la última década debido a la disponibilidad y alcance de datos digitales, así como también la facilidad de adaptarse al uso de un software que permite manejar grandes bases de datos (Ahmad & Hagos, 2016).

Los SIG han sido de gran utilidad para monitorear cambios en el mapa de cobertura del suelo en escalas locales, regionales y globales (Ahmad & Hagos, 2016). Se ha demostrado que este constituye un método económico de modelado de la erosión, constituyendo una herramienta útil teniendo en cuenta que las imágenes de satélite proporcionan una estimación de la vegetación, uso y cobertura del suelo (Ozsoy, Aksoy, & Dirim, 2012). Además permite obtener las características físicas que posee el terreno que se pretende evaluar como son pendiente,

longitud, área para posteriormente aplicarlas en el método USLE, cuando no se posee fácil acceso a ellas (Toscano et al., 2011).

CAPÍTULO III

ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Geología

El Ecuador a pesar de ocupar tan solo el 0,19% de la superficie terrestre, posee una gran diversidad geológica debido a que forma parte del sistema global de dorsales, del cinturón circumpacífico y de una estructura transcontinental, paralela a la línea Ecuador y al eje amazónico (Paladines A. & Soto J.).

Particularmente en la Cuenca de Loja, se puede presenciar al este, rocas metamórficas con morfología bastante rugosa, mientras que el oeste presenta una topografía más suave de riolitas pliocénicas sobre formaciones micénicas (Vera, R.).

Estratigrafía:

El talud que se pretende evaluar se encuentra ubicado en la formación San Cayetano, la misma que se encuentra dividida en tres miembros. El inferior que contiene areniscas, conglomerado y carbón. El intermedio está formado por lutitas, diatomita y piroclastos horizontales, siendo similar al miembro superior (Tamay, 2004)

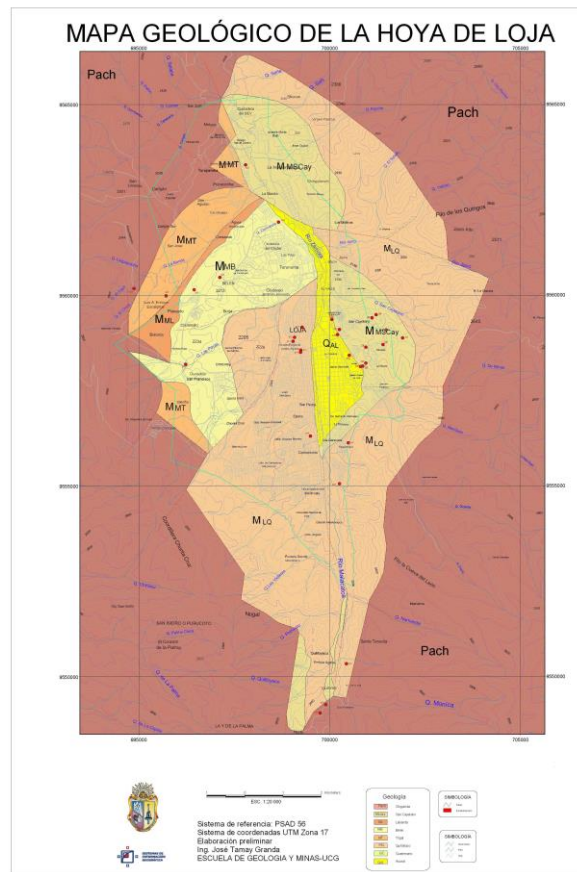


Figura 4: Mapa geológico preliminar de la hoya de Loja

Fuente: Escuela de Geología y Minas-UCG

3.2 Clima

Loja se encuentra ubicada en el Sur del Ecuador por lo que las condiciones climáticas son diferentes a las del Norte del país debido a la baja altura de la “Cordillera Oriental” (Temme, 2009). Presenta un clima templado bastante impredecible ya que no se diferencia con claridad las estaciones climáticas del año, sin embargo se puede apreciar que los meses de febrero a abril son los más lluviosos, en junio y julio se debe afrontar constantes vientos y pequeñas lloviznas, mientras que de septiembre a diciembre se puede considerar la temporada más seca que llega acompañada de temperaturas medias.

3.3 Ubicación geográfica

La ciudad de Loja, ubicada al sur del Ecuador es la capital de la provincia y cantón Loja con una población aproximada de 214.855 habitantes. Debido a su desarrollo y ubicación geográfica se la consideró sede administrativa de la Región Sur o Zona 7, que está constituida por las provincias que limitan su cantón como son El Oro y Zamora Chinchipe.

1.3.3. Localización de la zona de estudio

TALUD N.1:

El talud que cumple con las características necesarias para ser evaluado, aplicando la metodología que se pretende desarrollar en el presente proyecto, se encuentra ubicado al noroeste de la Ciudad de Loja, en los predios correspondientes a la Universidad Técnica Particular, colindante al edificio “PRENDO”, cuyas coordenadas son 3°59'14.2"S 79°11'48.4"W.

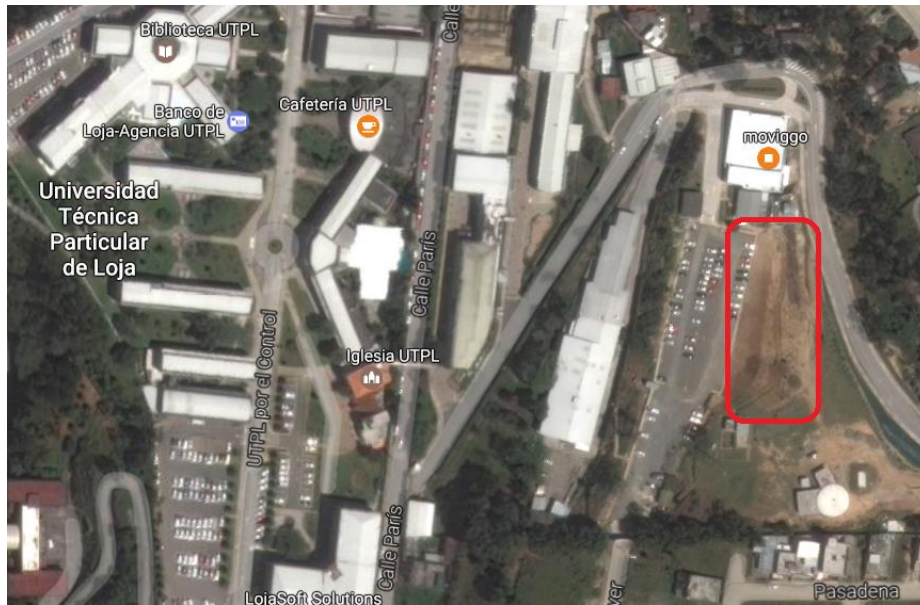


Figura 5: Ubicación de talud N.1

Fuente: Google Maps

TALUD N.2:

El segundo talud que cumple con características como falta de control de conservación del suelo y preferencia suelo arcilloso, se encuentra ubicado al noroeste de la Ciudad de Loja, en la calle Paris y vía Zamora, con coordenadas 3°59'08.6"S 79°11'47.8"W.

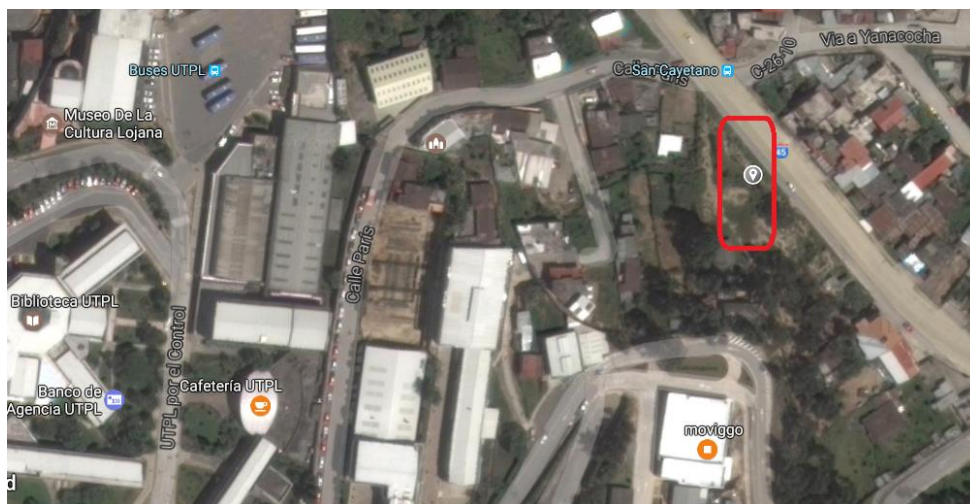


Figura 6: Ubicación de talud N.2

Fuente: Google Maps

CAPÍTULO IV
MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales:

4.1.1 Estación total Sokkia 610

Para el presente estudio se empleó una estación total Sokkia 610 para determinar las coordenadas espaciales de los puntos de referencia ya que puede realizar la medición electrónica de distancias de 2700 metros con 1 prisma en condiciones favorables con una resolución de 1 décima de milímetro. Tiene una precisión angular de 6", memoria interna de 10000, aumento de lente 26x, plomada óptica y teclado alfanumérico.



Figura 7: Estación total Sokkia

Fuente: http://www.abreco.com.mx/estaciones_topografia/sokkia_set610ks.htm

4.1.2 Prisma topográfico

Instrumento metálico universal CST-Berger, que se usa en topografía como medio para receptor las mediciones realizadas con estación ya que es compatible con cualquier marca. Tiene 58mm de diámetro y una desviación típica de rayo <5 segundos.



Figura 8: Prisma circular

Fuente: <http://www.appareil.biz/producto/prisma-cst-63-1010v-con-soporte-y-placa/>

4.1.3 Cámara digital Samsung WB210

La cámara digital que se utilizó para realizar las capturas fotografías del talud es una cámara Samsung WB210, con una pantalla táctil de 3,5", una resolución de 14 mega pixeles, memoria SD de 12 GB, resolución máxima de 4320 x 3240 y zoom óptico de 12x. La distancia focal f de la cámara es de 21 mm.



Figura 9: Cámara digital

Fuente: <http://es.specsen.com/digital-cameras-samsung/samsung-wb210/>

4.1.4 Dianas:

Se fabricó 15 dianas de polietileno se forma cuadrada y 10 cm de lado, pintadas de color blanco y negro para poder ser identificadas en el terreno y se ubicaron en diferentes puntos del talud para referenciarlos y medir sus coordenadas. Estos puntos son necesarios para orientar el modelo en el software.

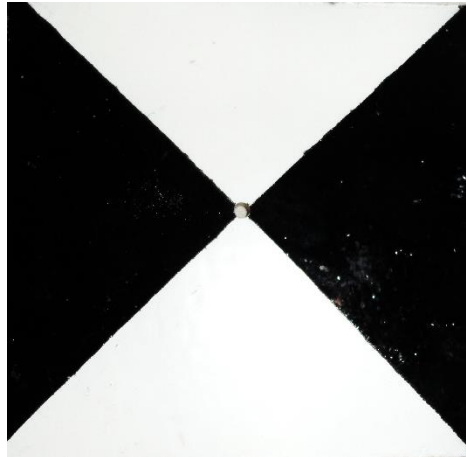


Figura 10: Diana

Elaboración: Autor

4.2 Metodología:

Para el presente estudio se seleccionaron dos taludes ubicados en la ciudad de Loja y que se hallen expuestos a la intemperie y con o poca cobertura vegetal. A ellos se les instaló en su cara expuesta dianas (Figura 11) a fin de poder ajustar y definir la posición espacial del talud respecto a un sistema de coordenadas arbitrario. En la Tabla 3 se detalla las coordenadas obtenidas para los dos taludes.

Tabla 1: Coordenadas de talud N.1 y talud N. 2

| Coordenadas de puntos en talud N.1 | | | |
|------------------------------------|----------|----------|---------|
| Puntos | x | y | z |
| 1 | 1009,770 | 1001,200 | 999,9 |
| 2 | 1006,570 | 1005,420 | 1002,15 |
| 3 | 1013,440 | 1004,760 | 1000,76 |
| 4 | 1017,510 | 1006,810 | 1000,8 |
| 5 | 1021,830 | 1009,370 | 1000,95 |
| 6 | 1021,700 | 1013,590 | 1002,66 |
| 7 | 1025,490 | 1010,050 | 1003,13 |
| 8 | 1029,460 | 1008,690 | 1004,27 |
| 9 | 1028,170 | 1002,070 | 1000,55 |

| Coordenadas de puntos en talud N.2 | | | |
|------------------------------------|----------|----------|---------|
| Puntos | x | y | z |
| 1 | 996,310 | 1002,920 | 999,070 |
| 2 | 998,030 | 1001,750 | 998,670 |
| 3 | 998,770 | 1003,880 | 998,380 |
| 4 | 998,880 | 1005,320 | 999,210 |
| 5 | 999,700 | 1001,810 | 999,170 |
| 6 | 1000,620 | 1005,700 | 998,170 |

Elaboración: Autor



Figura 11: Talud con puntos referenciados

Elaboración: Autor

4.2.1 Periodos de medición

Se establecieron dos periodos de medición para el talud 1 y para el talud 2, para lo cual se realizaron las mediciones que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: Mediciones realizadas en talud N.1 y talud N. 2

| TALUD N.1 | | TALUD N.2 | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 29-ago-16 | 1 | 9-nov-16 |
| 2 | 26-sep-16 | 2 | 20-dic-16 |
| 3 | 7-oct-16 | | |
| 4 | 22-nov-16 | | |
| 5 | 20-dic-16 | | |
| 6 | 17-ene-17 | | |

Elaboración: Autor

4.2.2 Tipos de suelos constituyentes de los taludes

En la Tabla 3 y Tabla 4 se presentan los resultados de la clasificación de suelos correspondientes a los taludes 1 y 2 y definidos como suelos arcillosos.

TALUD N.1:

Tabla 3: Propiedades físicas del Talud N.1

| GRANULOMETRÍA | |
|-----------------------|-------|
| Grava | 0,00 |
| Arena | 27,73 |
| Finos | 72,27 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD | 16,36 |
| LÍMITE LÍQUIDO | 51 |
| LÍMITE PLÁSTICO | 26 |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | 25 |
| CLASIFICACIÓN | |
| SUCS : | CH |
| AASHTO: | A-7-6 |
| SUELO ARCILLOSO | |

Elaboración: Autor

TALUD N.2:

Tabla 4: Propiedades físicas del Talud N.2

| GRANULOMETRÍA | |
|-----------------------|-------|
| Grava | 0,00 |
| Arena | 38,16 |
| Finos | 61,84 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD | 12,94 |
| LÍMITE LÍQUIDO | 61 |
| LÍMITE PLÁSTICO | 31 |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | 30 |

| CLASIFICACIÓN | |
|------------------------|-------|
| SUCS : | OH |
| AASHTO: | A-7-5 |
| SUELO ARCILLOSO | |

Elaboración: Autor

4.2.3 Obtención de imágenes

TALUD N.1:

Las fotografías fueron obtenidas mediante un barrido horizontal a partir de un punto fijo y la altura de la cámara constante se las realizó mediante un barrido desde un punto medio de todo el talud y a una altura variable. Se efectuó un solapamiento de las imágenes fotográficas de 60% en la horizontal y del 80% en la vertical para abarcar toda la superficie del talud tal como se muestra en la Figura 12.

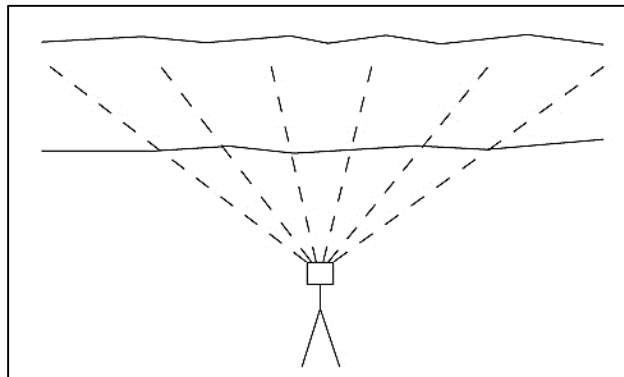


Figura 12: Método para obtener fotografías en "talud UTPL".

Elaboración: Autor

TALUD N.2:

Para este talud las imágenes fueron registradas a partir de tres puntos longitudinales con coordenadas previamente determinadas por medio de taquimetría. El espaciamiento longitudinal fue de 3.75 m y una altura constante de la cámara de 1.30 m, considerando el traslape de 60% en la horizontal y del 80% en la vertical entre fotografías como se muestra en la Figura 13.

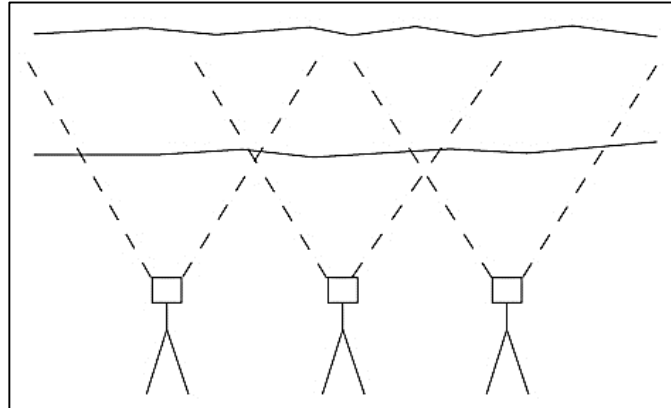


Figura 13: Método para obtener fotografías en "talud Vía Zamora"

Elaboración: Autor

CAPITULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Modelado 3D con software SfM:

Con las imágenes previamente filtradas por su calidad en forma manual se introdujeron en un software SfM que permitió generar la imagen compuesta del talud así como el modelo digital del terreno. Dado que la posición x e y no es objeto de análisis, las imágenes se reorientaron para disponer únicamente de la posición z para poder efectuar mediciones de la pérdida o ganancia de material producto de la erosión. La Figura 14 muestra los modelos generados aplicando el software SfM en la obtención de los modelos, obsérvese la posición donde se capturaron las imágenes.

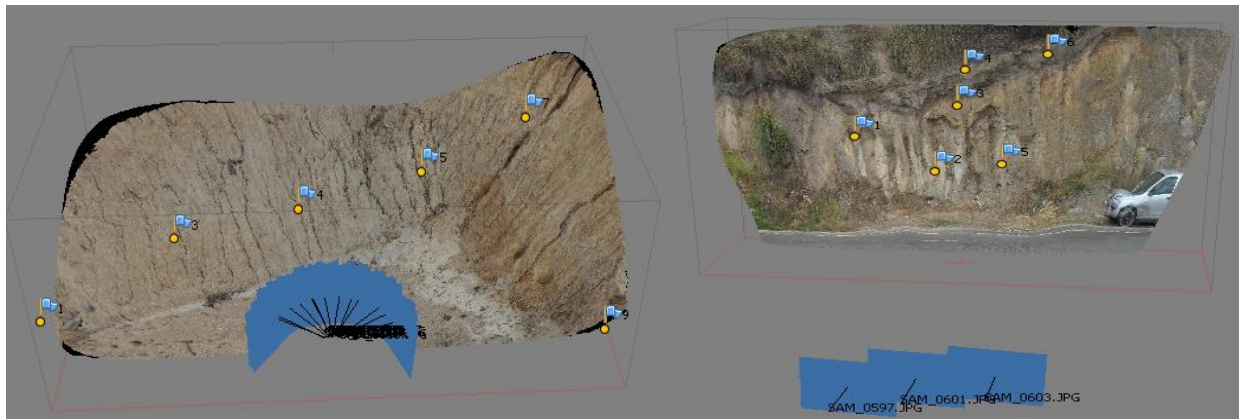


Figura 14: Modelo 3D del “Talud UTPL” y “Talud Vía Zamora” realizado en un SfM.

Elaboración: Autor

5.2 Determinación de zonas de pérdida y ganancia de material por proceso erosivo

Una vez realizados todos los modelos 3D de la superficie de talud en los tiempos de medición previamente detallados, se obtuvo los correspondientes Modelos Digitales de Elevación con el mismo SfM de tal manera que se los puede superponer en un software de sistemas de información geográfica para identificar y analizar las zonas del terreno en las que existe una variación de la nube de puntos respecto al modelo anterior y de esta manera determinar la cantidad de material erosionado durante el periodo de tiempo en el que fueron realizados los dos modelos empleados en el análisis.

TALUD N.1:

- Período 29 agosto – 26 septiembre

La Figura 15 está formada por los dos Modelos Digitales de Elevación del primer periodo, los mismos que han sido editados para que sus límites coincidan y no se tome en cuenta valores extrapolados en el análisis.

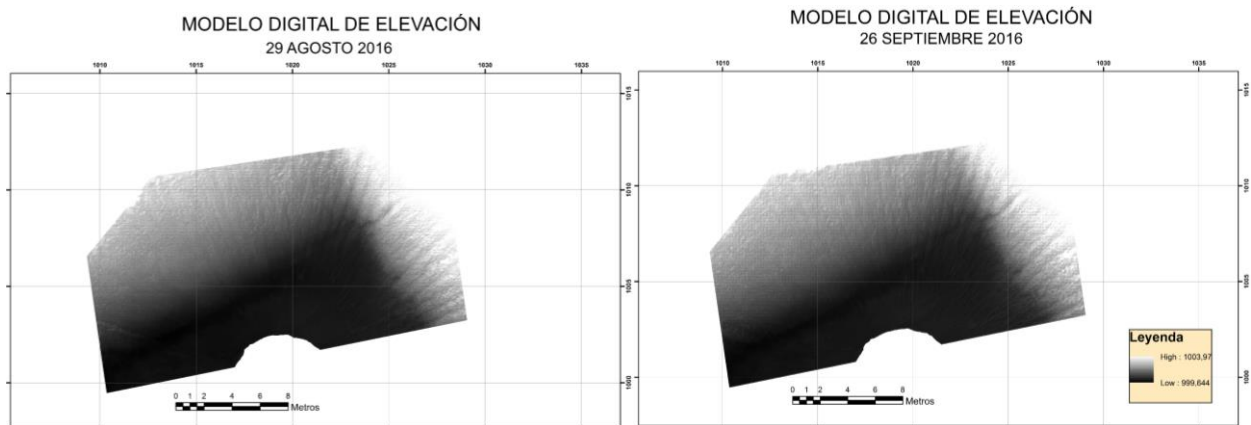


Figura 15: MDE del primer periodo en SIG
Elaboración: Autor

Con la superposición de los dos modelos en SIG se puede analizar las zonas que han variado su cota respecto a su estado original esto es su coordenada z, y para ello se ha clasificado en 5 categorías las cuales son: Acumulación alta, acumulación moderada, estado normal (neutro), erosión moderada y erosión alta tal como se muestra en la Figura 16.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN PERÍODO 29 AGOSTO - 26 SEPTIEMBRE 2016

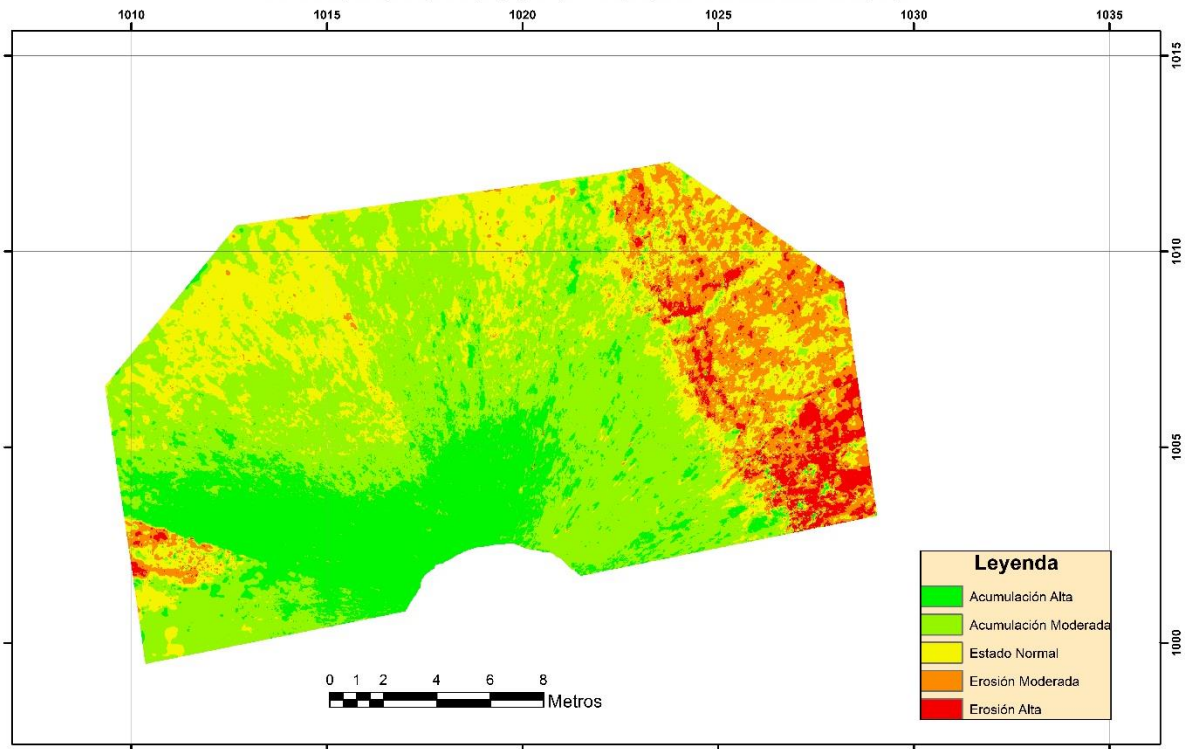


Figura 16: Análisis de la superposición del primer periodo en SIG
Elaboración: Autor

El valor numérico que expresa la cantidad de material sólido que se ha desprendido de la superficie de terreno se lo puede determinar calculando el volumen de material que carece el segundo modelo respecto al primero. La Figura 17 representa el cálculo volumétrico donde el color azul es toda la zona superficial en la que el primer modelo ha perdido material, mientras que el color rojo es la zona donde se ha acumulado material, es decir que mediante el segundo modelo se ha determinado un aumento de volumen en el modelo de referencia, Tabla 5.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN PERÍODO 29 AGOSTO - 26 SEPTIEMBRE 2016

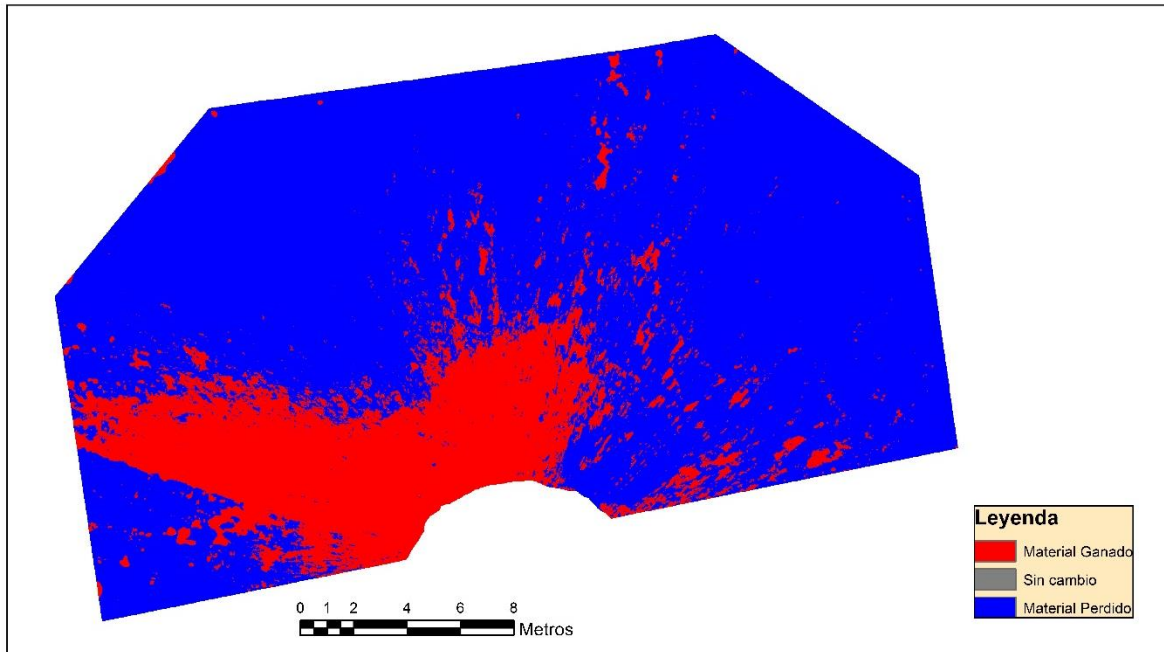


Figura 17: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el primer periodo en SIG
Elaboración: Autor

Tabla 5: Valores de erosión del primer periodo Talud N.1

| Fecha | Material Perdido, m ³ | Material Ganado, m ³ |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|
| ago-29 | 7,20 | 0,67 |
| sep-26 | | |

Elaboración: Autor

– Período 26 septiembre – 07 octubre

Para el análisis del segundo periodo (Figura 18) se utiliza como modelo de referencia o modelo base el MDE que se consideró como “modelo final” en el primer periodo de análisis, es decir, el realizado el 26 de septiembre de 2016 para superponerlo con un nuevo MDE.

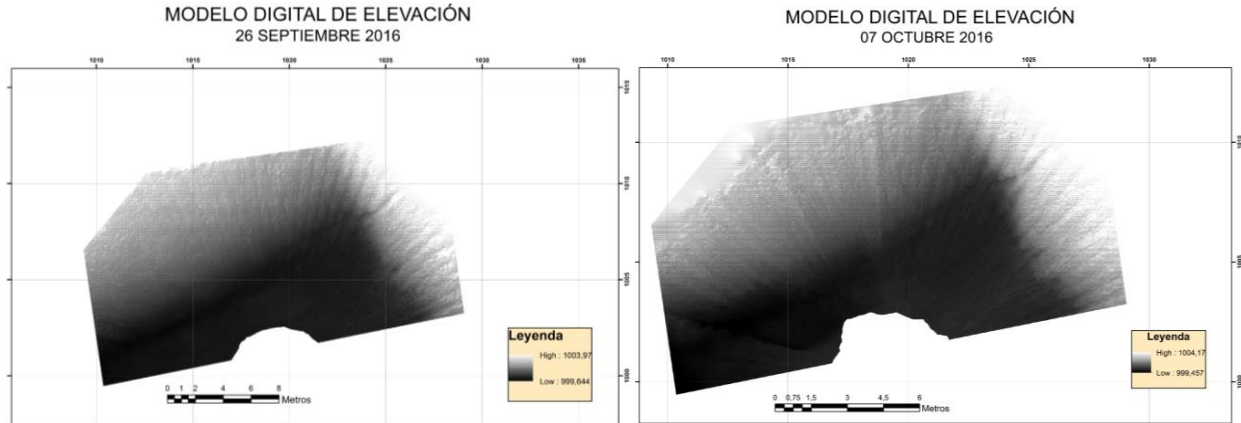


Figura 18: MDE del segundo periodo en SIG
Elaboración: Autor

Para representar la variación superficial que sufre el talud se utilizó la misma clasificación que en el primer periodo, Figura 19.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN PERÍODO 26 SEPTIEMBRE - 07 OCTUBRE 2016

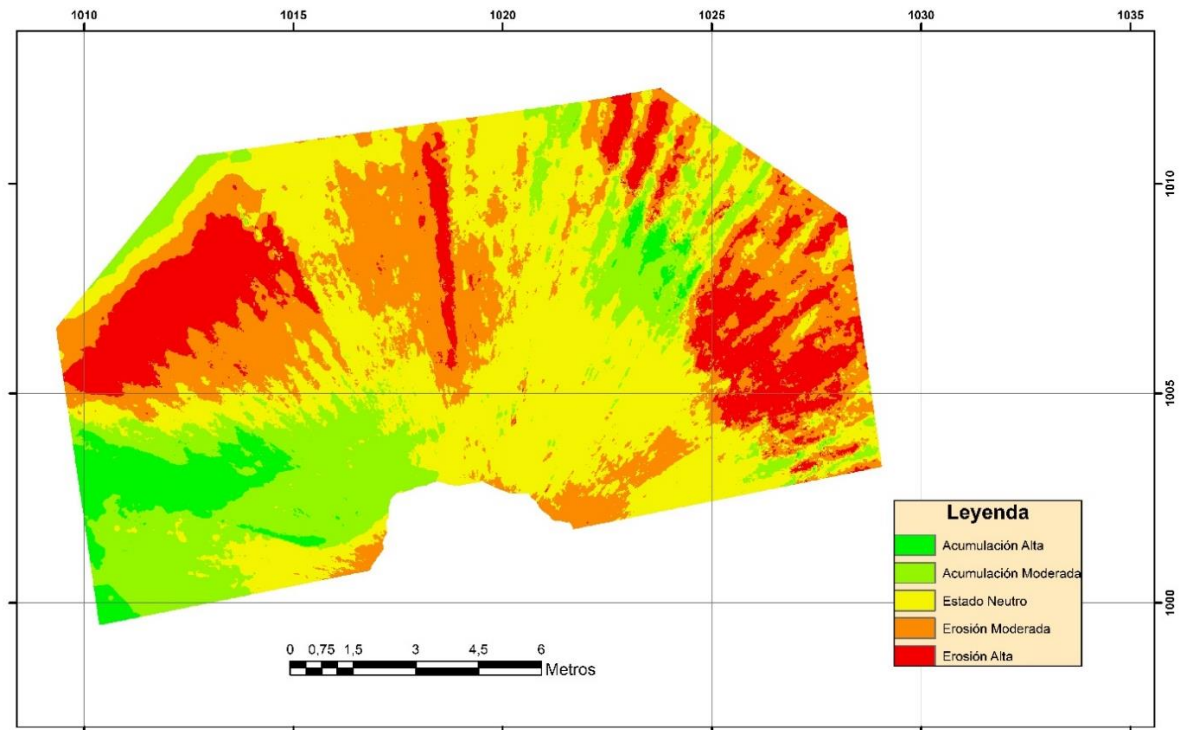


Figura 19: Análisis de la superposición del segundo periodo en SIG
Elaboración: Autor

Para diferenciar las zonas de erosión y acumulación de material se utilizó los mismos colores rojo y azul, siendo la erosión predominante como se puede observar en la Figura 19, tomando en cuenta que el segundo periodo es de 11 días, por lo que se prevé que existe un movimiento considerable de la superficie del MDE al momento de orientar el modelo. La captura de fotografías mediante un barrido puede suponer la formación de márgenes y vértices que no existen en realidad para crear superficies con contornos suaves y continuos (Pozuelo et al., 2013), otra posible causa es el error que produce el SfM al momento de generar el curvado en la creación de la nube de puntos (Toscano et al., 2011). Los valores de erosión obtenidos se pueden encontrar en la Tabla 6.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN
PERÍODO 26 SEPTIEMBRE - 07 OCTUBRE 2016

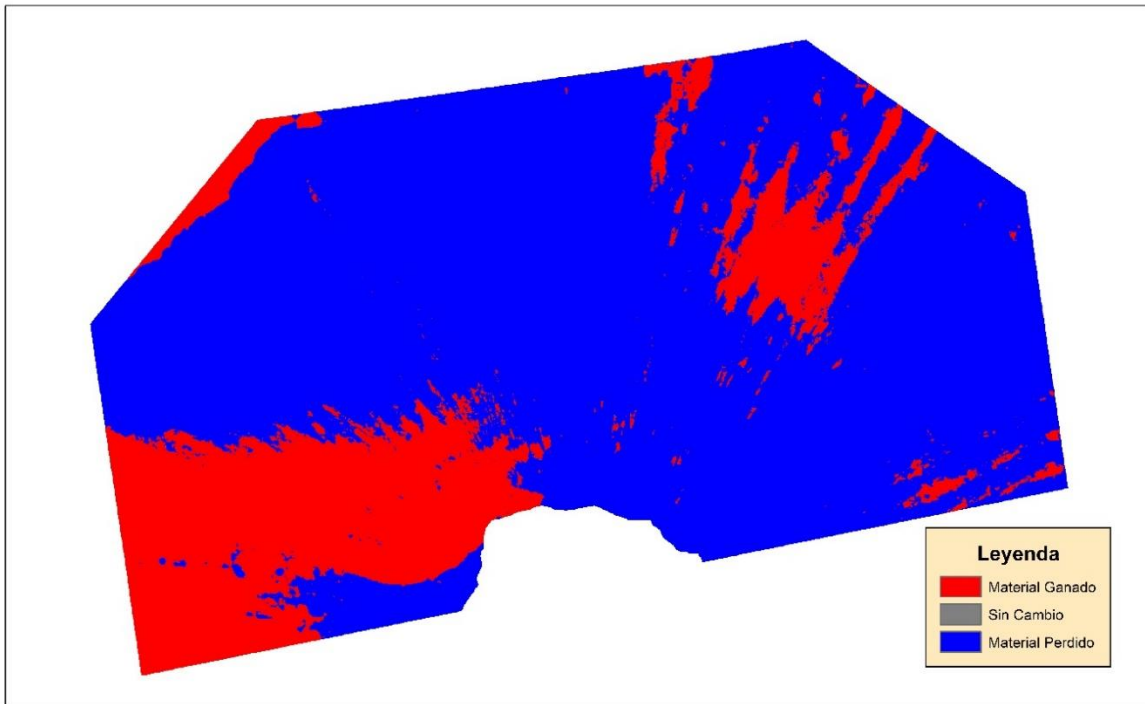


Figura 20: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el segundo periodo en SIG
Elaboración: Autor

Tabla 6: Valores de erosión del segundo periodo Talud N.1

| Fecha | Material Perdido, m ³ | Material Ganado, m ³ |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|
| sep-26 | 18,54 | 3,20 |
| oct-07 | | |

Elaboración: Autor

– Período 07 octubre – 22 noviembre

El tercer periodo (Figura 21) se formó utilizando el MDE del 7 de octubre del 2016 como primer modelo a ser superpuesto dentro de esta sección temporal.

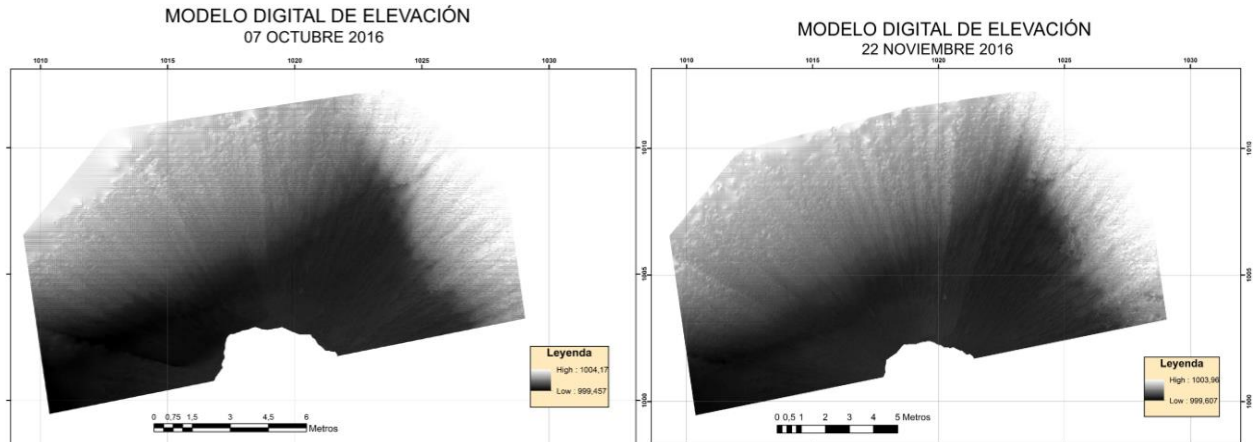


Figura 21: MDE del tercer periodo en SIG
Elaboración: Autor

Tomando como criterio la misma gama de colores para representar la variación que sufre el talud en la superficie, Figura 22.

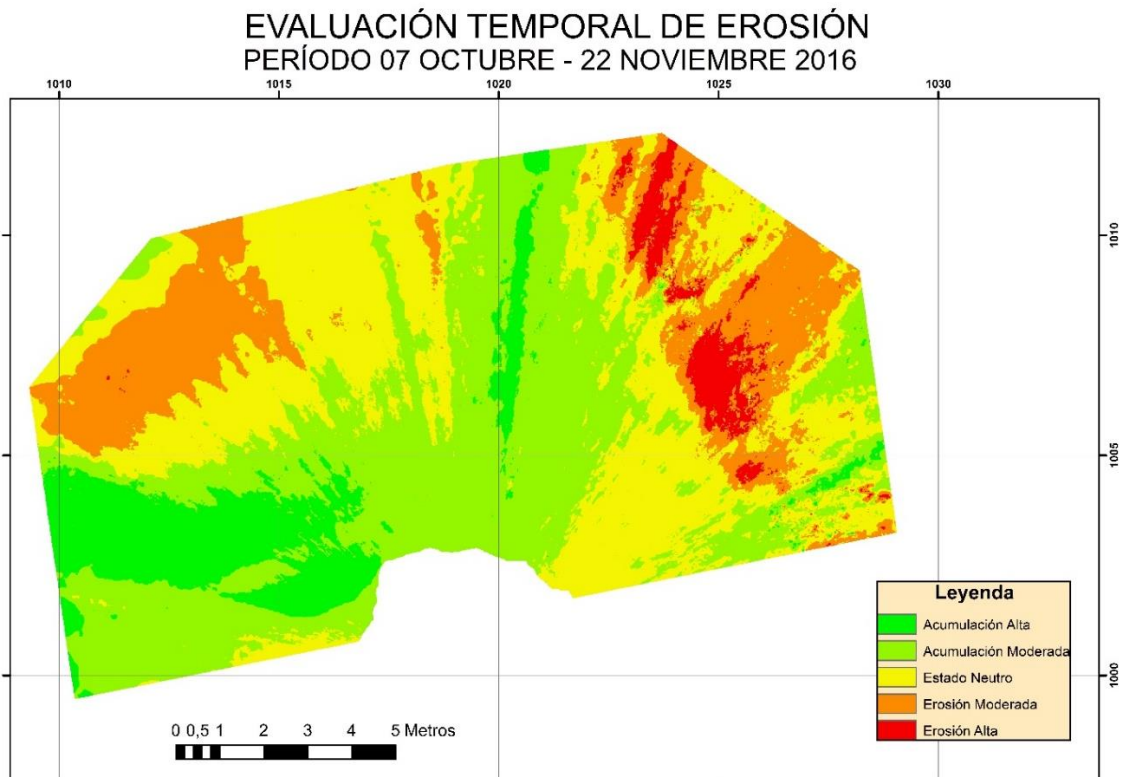


Figura 22: Análisis de la superposición del tercer periodo en SIG
Elaboración: Autor

Para representar la acumulación y erosión que sufre el talud durante un periodo de tiempo de 46 días, se utilizó los dos colores de los periodos anteriores, Figura 23. Los valores de erosión obtenidos se pueden encontrar en la Tabla 7.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN PERÍODO 07 OCTUBRE - 22 NOVIEMBRE 2016

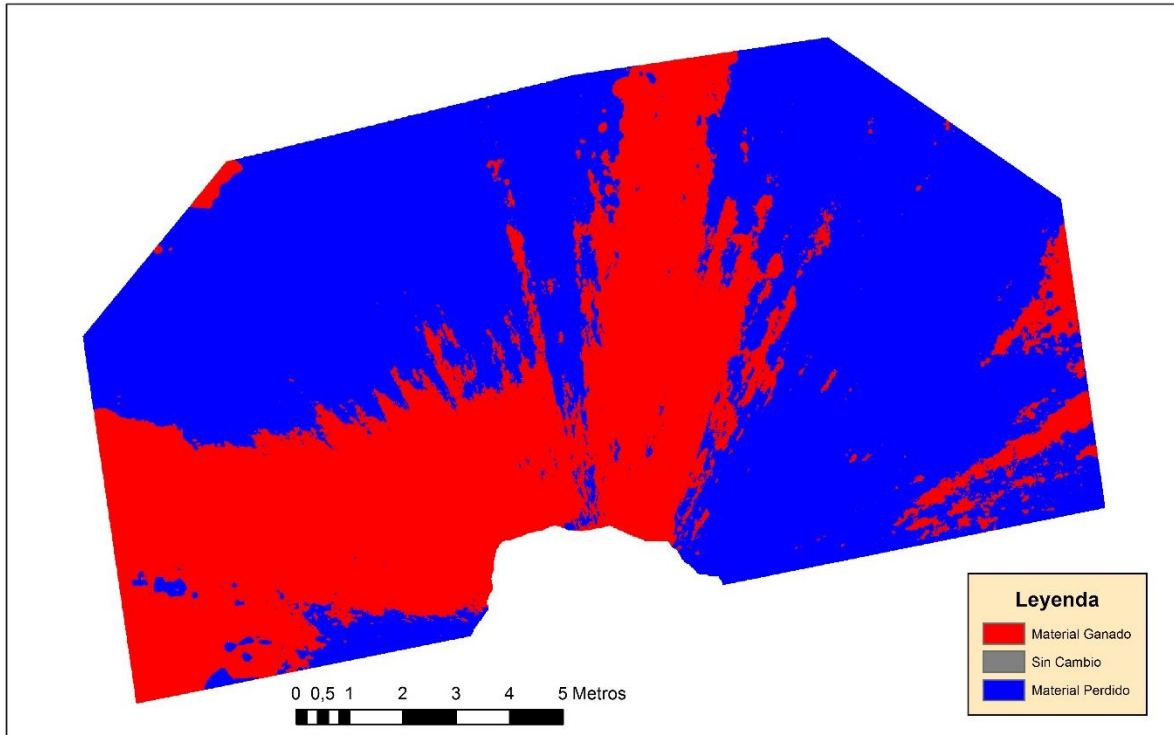


Figura 23: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el segundo periodo en SIG
Elaboración: Autor

Tabla 7: Valores de erosión del tercer periodo Talud N.1

| Fecha | Material Perdido, m ³ | Material Ganado, m ³ |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|
| oct-07 | 11,26 | 7,85 |
| nov-22 | | |

Elaboración: Autor

– Período 22 noviembre – 20 diciembre

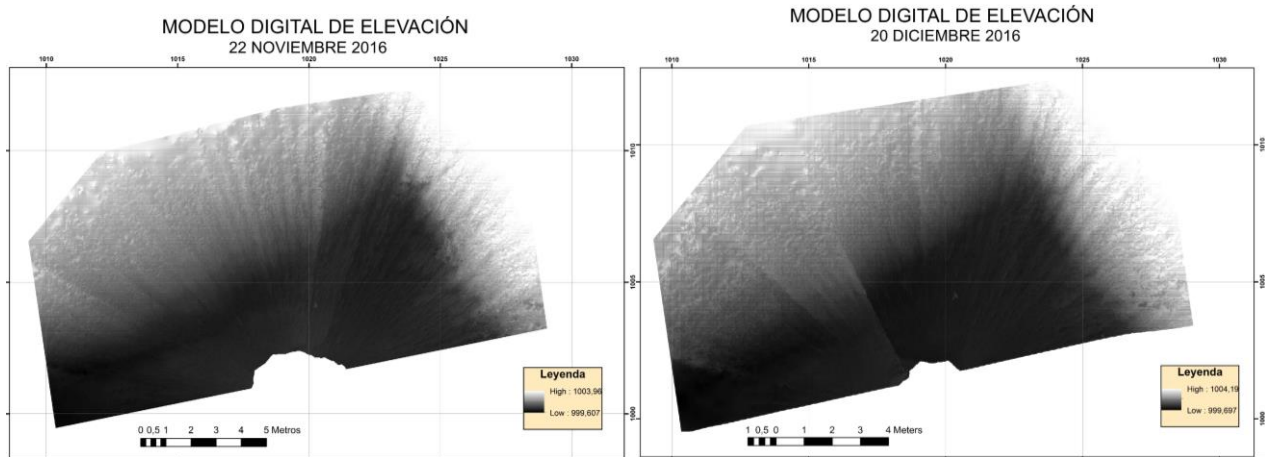


Figura 24: MDE del cuarto periodo en SIG
Elaboración: Autor

En el cuarto periodo de análisis (Figura 24) se utiliza como modelo base el MDE que se consideró como “modelo 2” en el tercer análisis para clasificar la variación superficial, Figura 25.

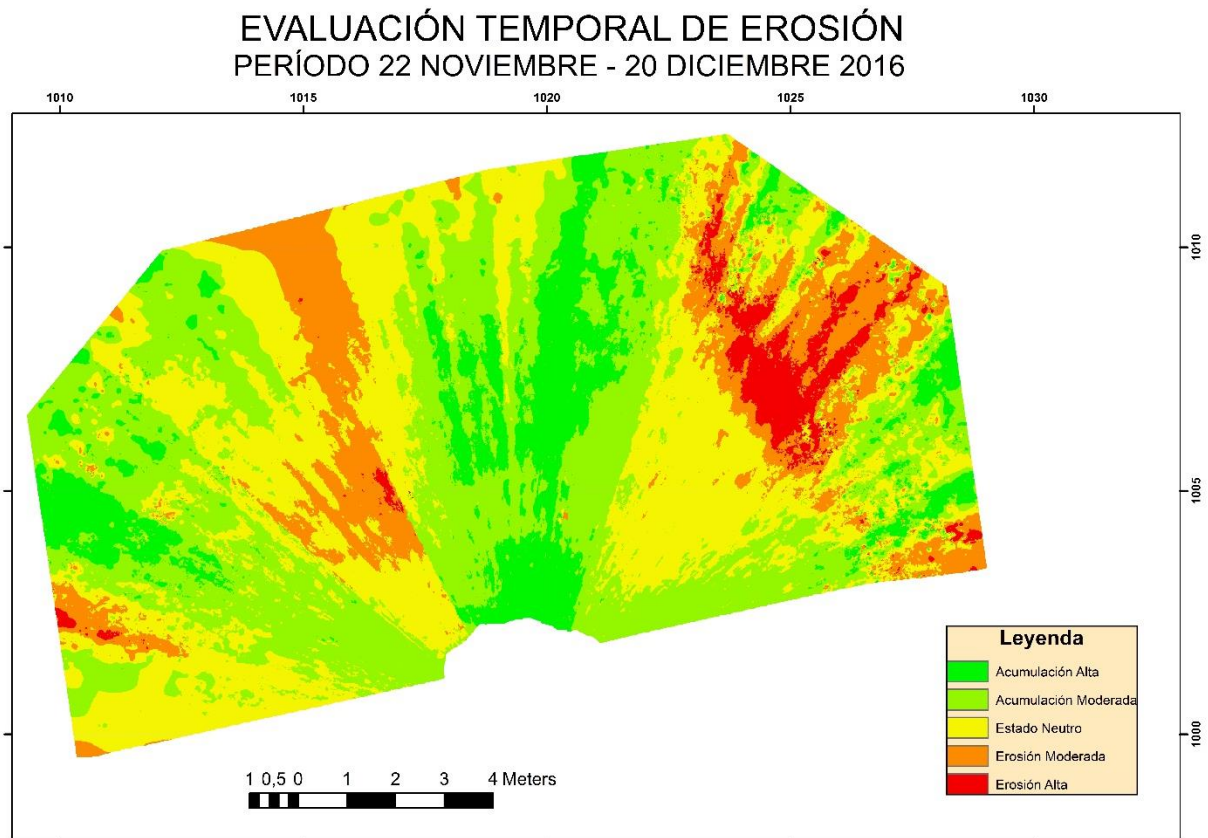


Figura 25: Análisis de la superposición del cuarto periodo en SIG
Elaboración: Autor

Los valores de erosión obtenidos Tabla 8 del periodo de análisis de 28 días se representan utilizando los colores rojo y azul para diferenciar entre la acumulación y erosión Figura 26.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN PERÍODO 22 NOVIEMBRE - 20 DICIEMBRE 2016

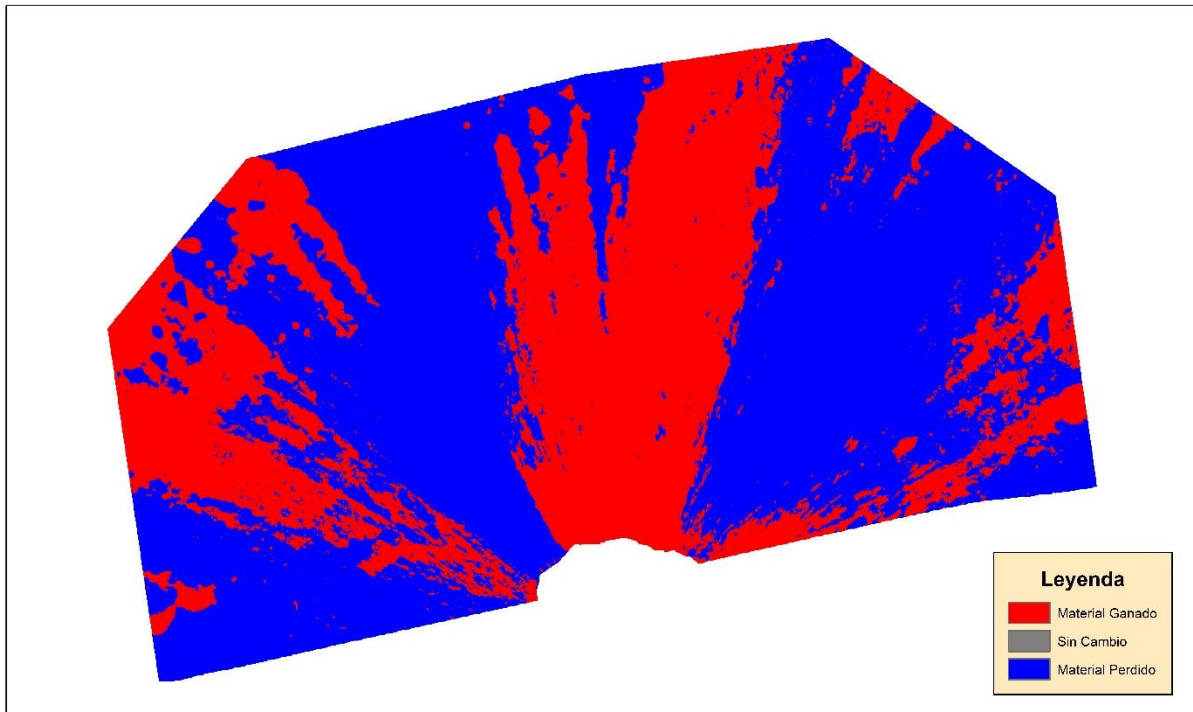


Figura 26: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el cuarto periodo en SIG
Elaboración: Autor

Tabla 8: Valores de erosión del cuarto periodo Talud N.1

| Fecha | Material Perdido, m ³ | Material Ganado, m ³ |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|
| nov-22 | 7,38 | 3,08 |
| dic-20 | | |

Elaboración: Autor

– Período 20 diciembre – 17 enero

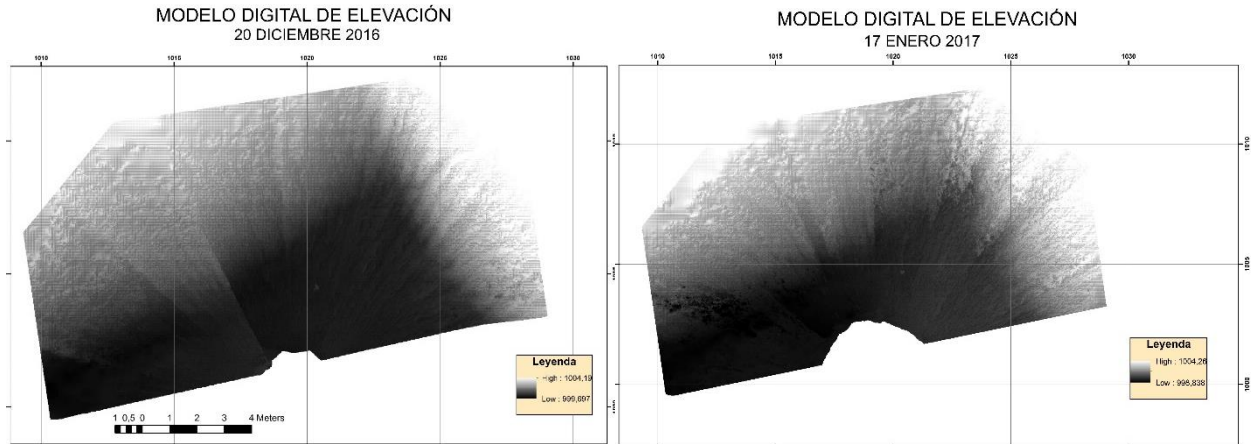


Figura 27: MDE del quinto periodo en SIG
Elaboración: Autor

En el último periodo de tiempo (Figura 27) se tomó como criterio la misma clasificación para analizar como varía superficialmente el talud, Figura 28.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN PERÍODO 20 DICIEMBRE 2016 - 17 ENERO 2017

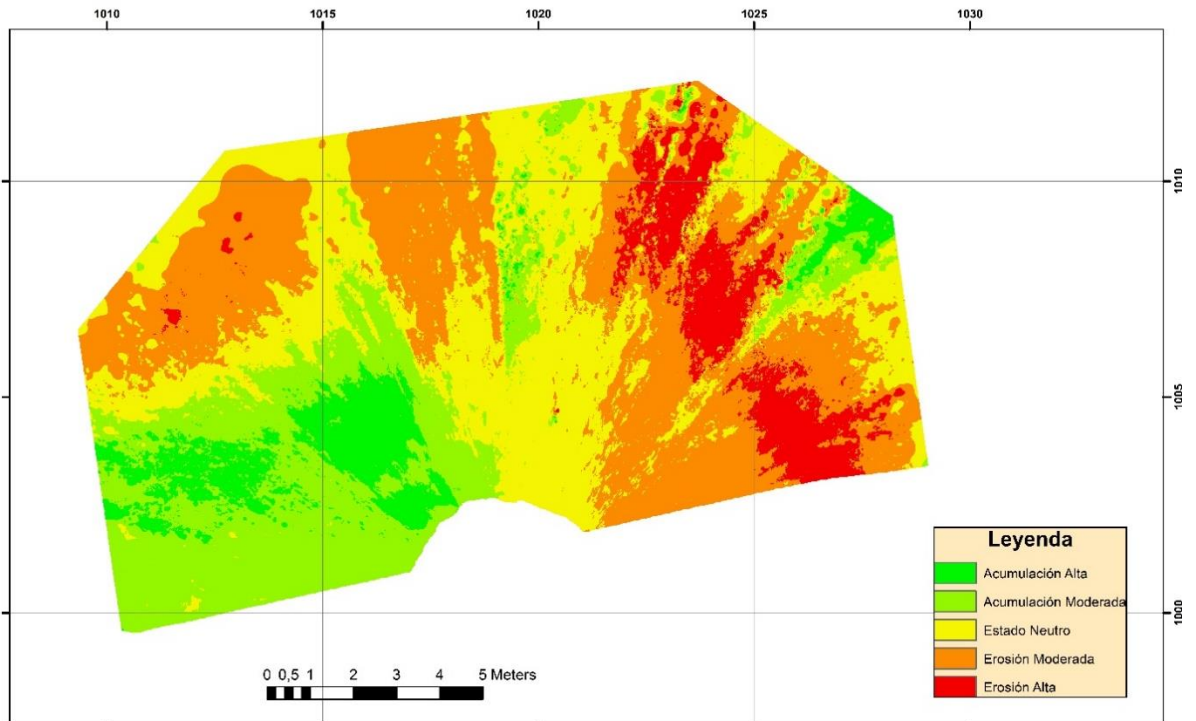


Figura 28: Análisis de la superposición del quinto periodo en SIG
Elaboración: Autor

El quinto periodo de análisis es de 28 días, para lo cual se utilizó los colores rojo y azul para representar la acumulación y erosión Figura 26 de los valores obtenidos Tabla 9.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN PERÍODO 20 DICIEMBRE 2016 - 17 ENERO 2017

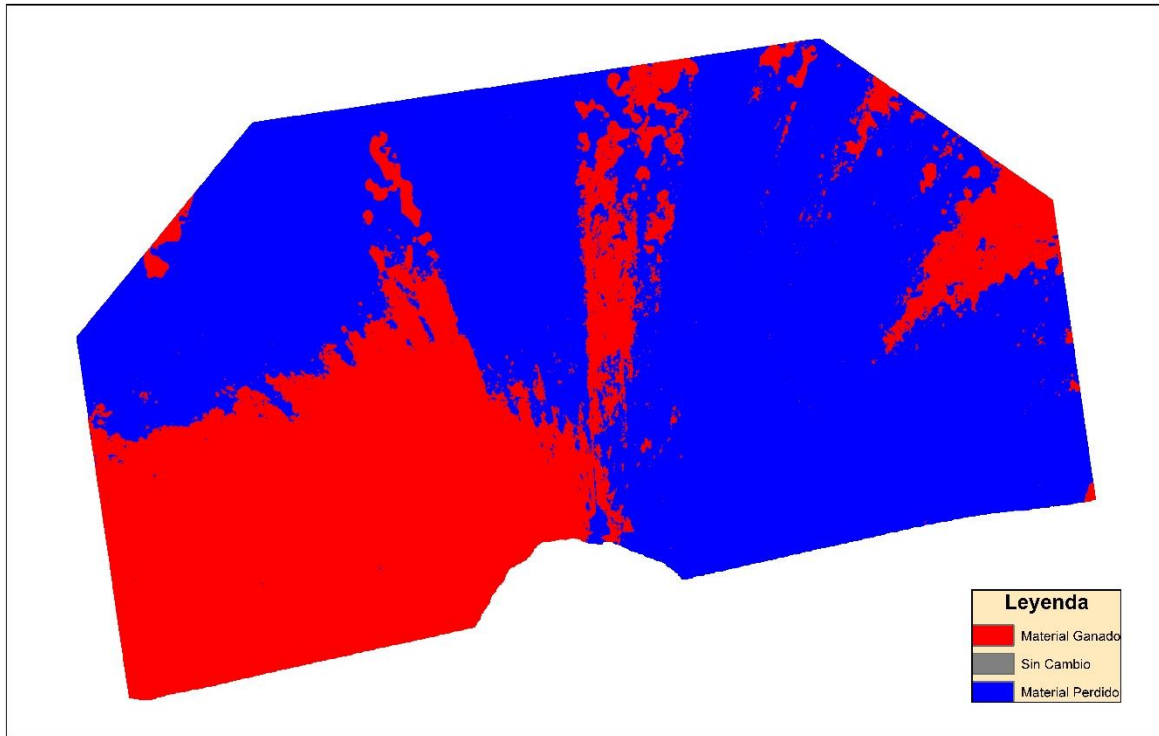


Figura 29: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el quinto periodo en SIG
Elaboración: Autor

Tabla 9: Valores de erosión del quinto periodo Talud N.1

| Fecha | Material Perdido, m ³ | Material Ganado, m ³ |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|
| dic-20 | 24,47 | 10,60 |
| ene-17 | | |

Elaboración: Autor

Es importante destacar que al realizar el cálculo de los volúmenes en base a los modelos digitales de elevación se puede apreciar volúmenes demasiado elevados tanto de material perdido como de material ganado. Esto no corresponde a errores en la generación de los modelos digitales del terreno ya que los mismos tuvieron errores de precisión en el orden de 0.02 m a 0.04 m.

TALUD N.2:

- Período 9 noviembre - 20 diciembre

En el Talud 2 (Figura 30) se aplicó la técnica detallada en el punto 4.2.3 Captura de imágenes cuyos resultados de detallan a continuación:

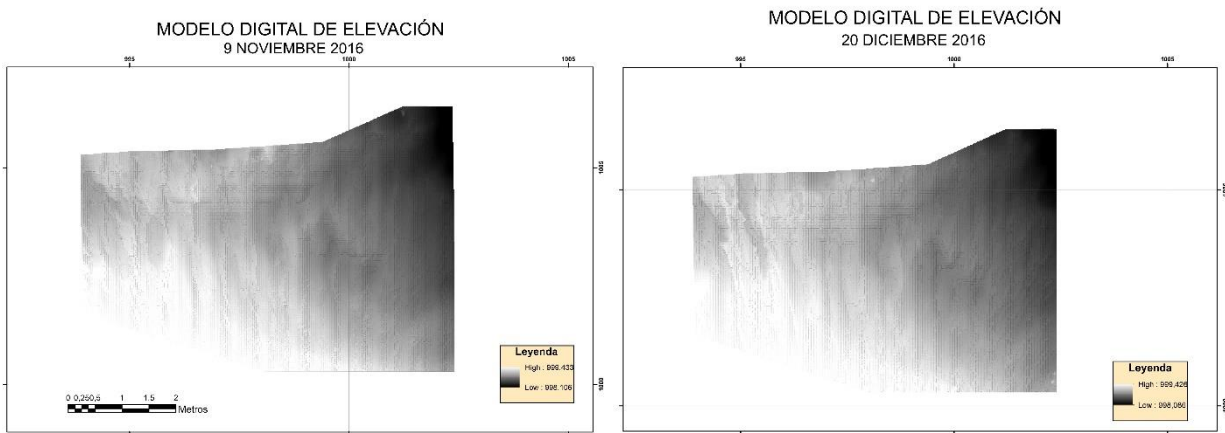


Figura 30: MDE del quinto periodo en SIG
Elaboración: Autor

Los MDE que se considera para el primer análisis en el segundo talud se los puede observar en la Figura 30, concluyendo que al realizar las capturas fotográficas desde diferentes puntos permite al programa realizar todas las combinaciones posibles en un mismo espacio (Kuznetsova et al., 2015), para generar la nube de puntos más real y con la mayor información de datos, por lo que en el análisis temporal de la erosión producida Figura 31 se puede considerar que los resultados obtenidos son una representación más aceptable que la que se produjo en el primer talud.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN
PERÍODO 9 NOVIEMBRE - 20 DICIEMBRE 2016

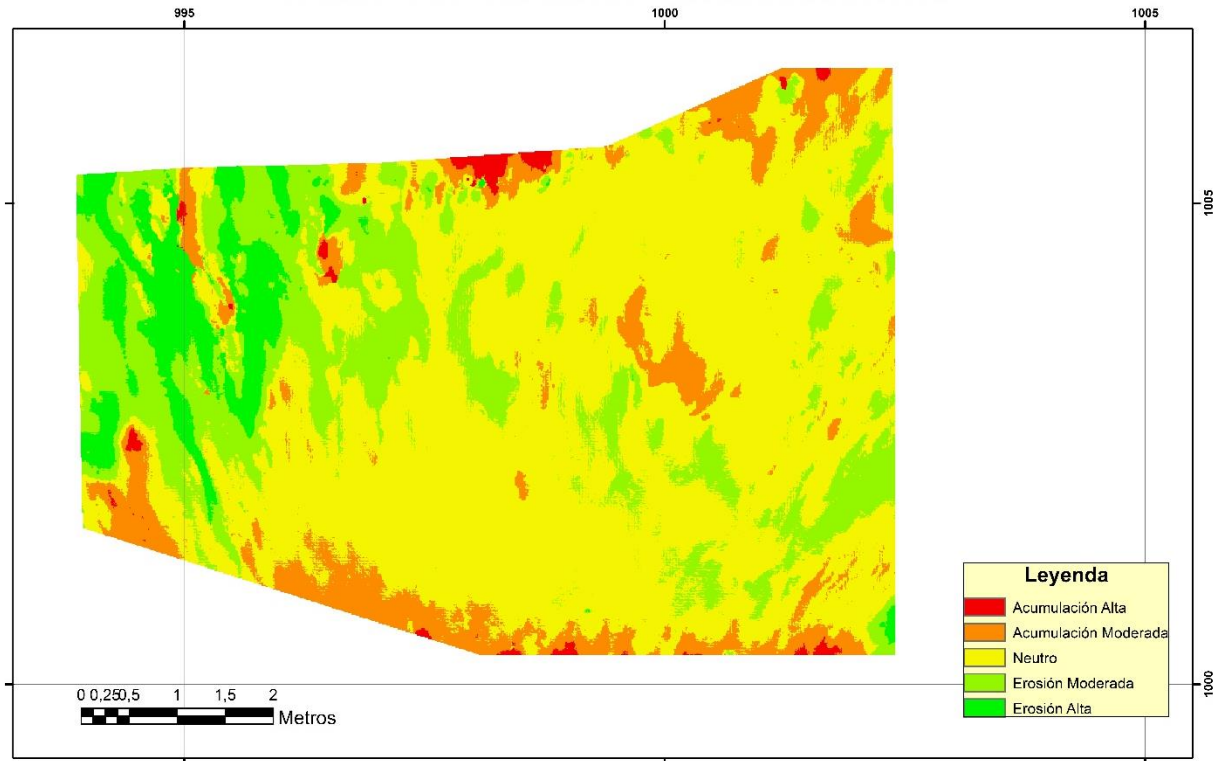


Figura 31: Análisis de la superposición del quinto periodo en SIG
Elaboración: Autor

En la Figura 32 se puede observar la variación volumétrica respecto a erosión y acumulación que sufre el talud, siendo esta más real a simple vista que la variación obtenida mediante la aplicación de la metodología aplicada en el Talud N.1. Para ello se tomó en cuenta la clasificación considerada para el presente estudio Figura 32 y las cantidades determinadas se las puede encontrar en la Tabla 10.

EVALUACIÓN TEMPORAL DE EROSIÓN PERÍODO 9 NOVIEMBRE - 20 DICIEMBRE 2016

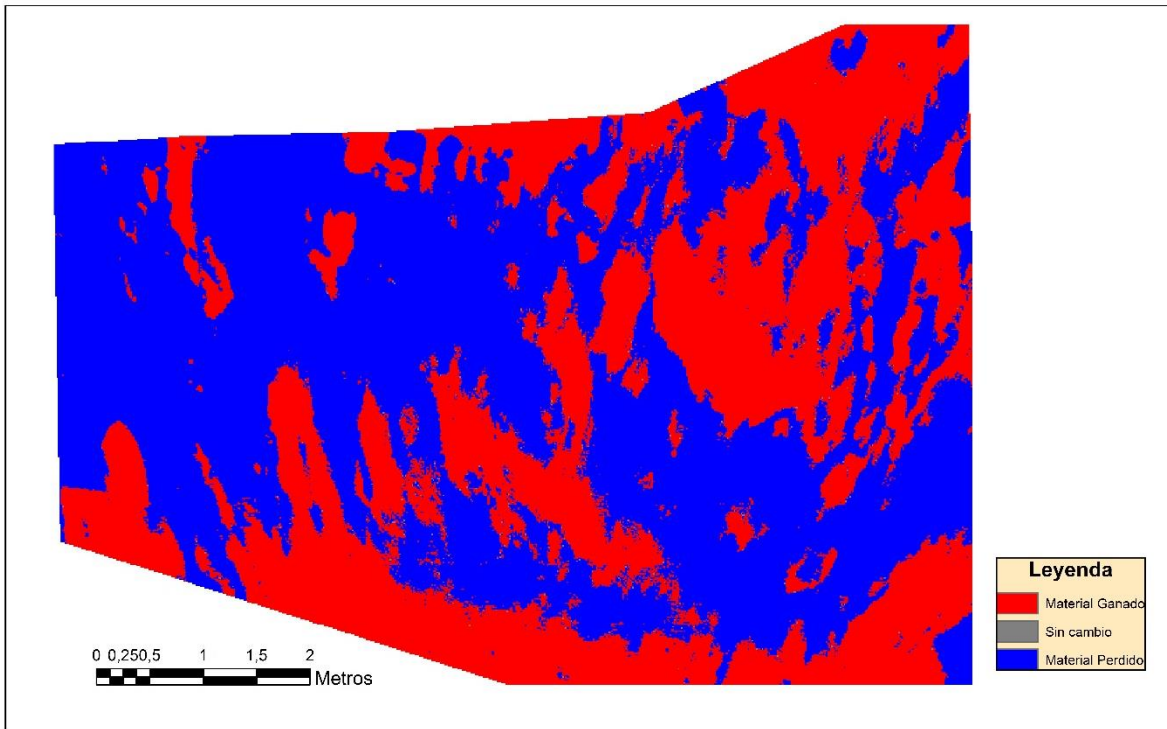


Figura 32: Análisis volumétrico de la cantidad de material en el primer periodo en SIG
Elaboración: Autor

Tabla 10: Valores de erosión del primer periodo Talud N.2

| Fecha | Material Perdido, m ³ | Material Ganado, m ³ |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|
| dic-20 | 0,49329 | -0,05528 |
| ene-17 | | |

Elaboración: Autor

En la Tabla 11, el total de material erosionado durante un periodo de 144 días en el “Talud N.1” es 68.85 m³ y el total de material acumulado es 25.39 m³, considerándose estas como cantidades excesivas dado el tamaño volumétrico que tiene el talud y la inspección visual realizada. Respecto al talud 2, con la metodología empleada se pudo determinar valores más confiables debido a que se ajustan a la realidad. Visualmente los cambios de volúmenes son bajos en relación a la técnica empleado en el talud 1.

Al comparar las dos metodologías empleadas para capturar las fotografías, se puede concluir que un barrido fotográfico desde un solo punto de vista puede generar modelos 3D

distorsionados de la realidad a pesar de que se utilice un sistema de coordenadas para orientar el modelo, a diferencia de un barrido longitudinal que es más exacto.

Tabla 11: Valores totales de erosión del Talud N.1

| Fecha | Material Perdido, m ³ | Material Ganado, m ³ |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|
| ago-29 | 7,20 | 0,67 |
| sep-26 | | |
| sep-26 | 18,54 | 3,20 |
| oct-07 | | |
| oct-07 | 11,26 | 7,85 |
| nov-22 | | |
| nov-22 | 7,38 | 3,08 |
| dic-20 | | |
| dic-20 | 24,47 | 10,60 |
| ene-17 | | |
| TOTAL | 68,85 | 25,39 |

Elaboración: Autor

Los taludes que se utilizó para el presente estudio no poseen ninguno de los diferentes métodos de control de erosión que se puede emplear, como normalmente se suele hacer al finalizar la construcción de un nuevo talud. Debido a esto, existe una cantidad significativa de material erosionado que se la pudo constatar tanto numérica como visualmente, Figura 33 y Figura 34.



Figura 33: “Talud N.1” estado inicial (29-ago-2016) y estado final (17-ene-2017)

Elaboración: Autor



Figure 34: "Talud N.2" estado inicial (9-nov-2016) y estado final (20-dic-2016)

Elaboración: Autor

CONCLUSIONES

- En base al estudio realizado se puede concluir que la erosión laminar, surcos y salpicadura se pueden evaluar con la metodología aplicada debido a que se producen superficialmente y pueden ser evaluados con simple vista.
- La erosión por cárcavas no es posible calcular en el presente estudio debido a que por medio de fotografías no se puede determinar la profundidad erosionada de la zona.
- Los modelos digitales de elevación se generaron con un error de precisión del orden de 0.02 m a 0.04 m en el talud 1 y para el talud 2 de 0.40 m.
- La captura de fotografías mediante un barrido desde un solo punto puede variar la geometría del talud respecto a la original, obteniendo Modelos Digitales de Elevación diferentes en cada análisis por lo que al superponerlos las cantidades de erosión son elevadas, 68.85 m³, respecto a los modelos que se obtienen mediante capturas realizadas en una variación longitudinal, 0.49 m³, considerándose estos como valores aceptables.
- Para un análisis de erosión en una superficie es necesario evaluar la superficie expuesta, para ello se georreferenció todos los modelos a un sistema de coordenadas arbitrarias.

RECOMENDACIONES

- Aplicar la metodología del presente proyecto en taludes carreteros poco expuestos al tránsito diario de personas para evitar posibles manipulaciones de las dianas colocadas sobre el talud, ya que estas constituyen una parte muy importante para la correcta obtención de la cantidad de erosión.
- Colocar la debida señalización alrededor del talud con el fin evitar que posibles factores externos alteren su superficie y de esta manera considerar únicamente los efectos producidos por precipitación al evaluar el grado de erosión que se ha producido en un determinado período.
- Considerar algún proceso de conservación de suelo en la construcción de cualquier talud carretero para evitar el posible deterioro de la estructura que se puede producir de forma inevitable adelantando el período de vida útil esperado, sobre todo si el tipo de suelo es limo o arcilla debido a su capacidad de erodabilidad.
- Tomar en consideración la importancia de realizar el solapamiento (traslape) de las capturas fotográficas para la correcta obtención de toda la nube de puntos, caso contrario se pueden despreciar zonas en el análisis.
- Para el análisis de erosión de taludes o superficies expuestas a este proceso natural se debe en lo posible analizar únicamente el área de erosión, para ello se debe limitar el modelo digital al área de interés, logrando eliminar efectos por el cambio de vegetación.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad, S., & Hagos, H. (2016). Geoderma Regional Estimation of soil erosion using USLE and GIS in Awassa Catchment , Rift. *GEODRS*, 7(2), 159–166.
<http://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.03.005>
- Alca, J. M. (2008). CAPÍTULO 4 EROSIÓN : EVALUACIÓN DEL RIESGO EROSIVO Y, 125–146.
- Arroba, D. H., & Romana, M. G. (n.d.). Una propuesta de umbrales para valorar la erosión en taludes de obras lineales, 1–27.
- Bío-bío, U. D. E. L. (2013). “ DIAGNÓ STICO DE TALUDES URBANOS , EN BASE A CATASTRO DE CARÁCTER VISUAL , PARA LA COMUNA DE CHIGUAYANTE .”
- Biology, E. (2016). Determination of soil erosion in a steep hill slope with different land-use types : A case study in Mertesdorf (Ruwertal / Germany), (May 2007).
- Dermisis, D. C., & Papanicolaou, A. N. T. (2011). Determining the effects of rainfall-runoff on soil surface roughness and erosion processes via a laser scanner, 850–857.
- Engineering, F., & Eng, E. (2013). 3D LiDAR Scans for Bridge Damage Evaluation Shen-En Chen, 487–495. <http://doi.org/10.1061/9780784412640.052>
- Escobar, D., & Orduña, L. (2014). Viabilidad de la Implementación del Pasto Vetiver para la estabilización de Taludes en Colombia.
- Falconi, C. (2013). Métodos para Controlar la Erosión Hídrica y Eólica.
- Gordon, S. J., & Lichti, D. D. (2007). Modeling Terrestrial Laser Scanner Data for Precise Structural Deformation Measurement, 133(2), 72–80.
- Imeson, A., & Curfs, M. (n.d.). La Erosión del Suelo.
- Investigador, D., & Cayetano, C. S. (n.d.). Mapa geológico preliminar de la hoya de loja.
- Jonte, M. A. (2002). EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN POTENCIAL Y REAL EN DESMONTES DE INFRAESTRUCTURA, 124, 119–124.
- Kuznetsova, I., Kuznetsova, D., & Rakova, X. (2015). The Use of Surface Laser Scanning for Creation of a Three- Dimensional Digital Model of Monument. *Procedia Engineering*, 100, 1625–1633. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.536>

- Latinoamericana, T. (2011). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319955004>.
- Moreno, M. P., Luis, J., Prieto, P., & Castellón, A. E. E. (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica A comparison of methods in estimating soil water erosion, (821), 23–36.
- Ozsoy, G., Aksoy, E., & Dirim, M. S. (2012). Determination of Soil Erosion Risk in the Mustafakemalpasa River Basin , Turkey , Using the Revised Universal Soil Loss Equation , Geographic Information System , and Remote Sensing, 679–694.
<http://doi.org/10.1007/s00267-012-9904-8>
- Parra, T., & Melo, Y. (2015). Estalibización de Taludes de la Vía de Red Terciaria de la vereda La Unión.
- Pozuelo, F. B., Amparo, M., Andrés, N., Marimón, J. R., Pedralbes, D., & España, B. (2013). PARA EL LEVANTAMIENTO Y MODELADO DE MONUMENTOS MEDIEVALES MASIVE DATA CAPTURE TECHNIQUES Introducción, 62–73.
<http://doi.org/10.4995/ega.2013.1525>
- Ramos, L., Marchamalo, M., Rejas, J. G., & Martínez, R. (2015). Aplicación del Láser Escáner Terrestre (TLS) a la modelización de estructuras : precisión , exactitud y diseño de la adquisición de datos en casos reales, 67(538).
- Ruíz, P., Garro, J. F., & Soto, G. J. (2014). El uso de imágenes lidar en Costa Rica: Casos de estudio aplicados en geología, ingeniería, y arqueología. *Revista Geológica de América Central*, 51(1), 7–31. <http://doi.org/10.15517/rgac.v51i1.16849>
- Seca, L., & Envigado, D. (2014). Introducción, 109–121.
- Tamay, J. (2004). Mapa Geológico Preliminar de la Hoya de Loja
- Toscano, F., Pérez, J., Yepes, J., Martín, M., Marchesini, S., & Leyva, S. (2011). CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN EN UN TALUD DE TAGANANA MEDIANTE FOTOGAMETRÍA TERRESTRE (TENERIFE), 205–206.
- Walters, R., Jaselskis, E., Zhang, J., Mueller, K., & Kaewmorachoen, M. (2008). Using Scanning Lasers to Determine the Thickness of Concrete Pavement. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(8), 583–591.
[http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:8\(583\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:8(583))

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS UTPL

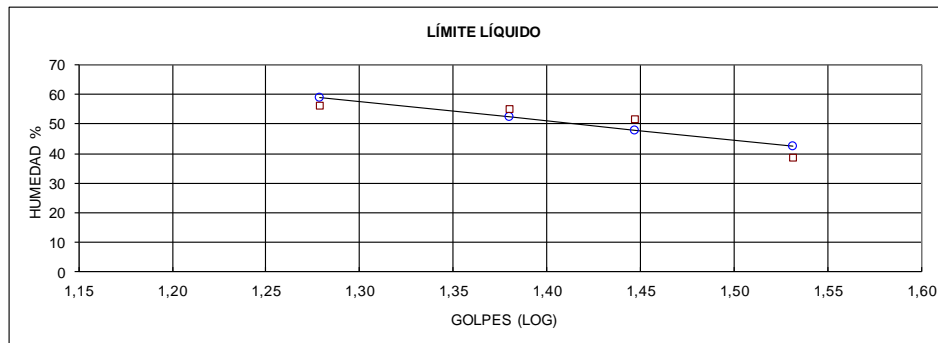
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-DGM-IC-08-2016

PROYECTO : Determinación de la erosión en taludes carreteros ante la presencia de lluvia mediante fotografía digital movimientos de laderas.

| | | |
|----------------------|---|--|
| OBRA: | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 |
| LOCALIZACIÓN: | Frente a PRENDHO (UTPL) | CALICATA: 2 |
| SOLICITADO: | DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN | MUESTRA: 2 |
| REALIZADO: | Shirley del Cisne Granda Prado | PROFUNDIDAD 0,8 |
| FECHA: | 02-08-2016 | |

| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
|--------------------------|----------|-----------|-----------|--|-------|-----------|
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 247,94 | 223,70 | 56,27 | 14,48 | 16,36 |
| | | 198,04 | 176,08 | 59,45 | 18,83 | |
| | | 218,20 | 196,27 | 57,31 | 15,78 | |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 19 | 78,44 | 74,25 | 66,78 | 56,09 | 51,15 |
| | 24 | 77,28 | 72,41 | 63,55 | 54,97 | |
| | 28 | 64,68 | 60,55 | 52,57 | 51,75 | |
| | 34 | 68,60 | 65,61 | 57,90 | 38,78 | |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 61,66 | 61,62 | 61,42 | 20,00 | 25,62 |
| | | 60,93 | 60,88 | 60,72 | 31,25 | |
| 4.- GRANULOMETRÍA | | | | 5.- CLASIFICACIÓN | | |
| PESO IN= | | 100,72 | (H/S) | S | | |
| PESO INICIAL DE CÁLCULO: | | | | 100,72 | GRAVA | 0 |
| | | | | | ARENA | 28 |
| | | | | | FINOS | 72 |
| TAMIZ | PESO RT. | % RET | % PASA | | | |
| 2" | 0,00 | 0 | 100 | LL = 51,00 | | |
| 1" | 0,00 | 0 | 100 | LP = 26,00 | | |
| 3/4" | 0,00 | 0 | 100 | IP = 25,00 | | |
| 1/2" | 0,00 | 0 | 100 | CLASIFICACIÓN SUCS : CH AASHTO: A-7-6 IG(86): 18 IG(45): 16 | | |
| 3/8" | 0,00 | 0 | 100 | | | |
| No. 4 | 0,00 | 0 | 100 | | | |
| No. 10 | 4,89 | 5 | 95 | | | |
| No. 40 | 5,38 | 5 | 90 | | | |
| No. 200 | 17,66 | 18 | 72 | | | |



CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelo Arcilloso (A-7-6)

Observaciones: La toma de muestras es realizada por el profesional en formación y llevada al laboratorio de la UTPL.

M. Sc. Belizario Zárate Torres
DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN

Shirley del Cisne Granda Prado
TESISTA



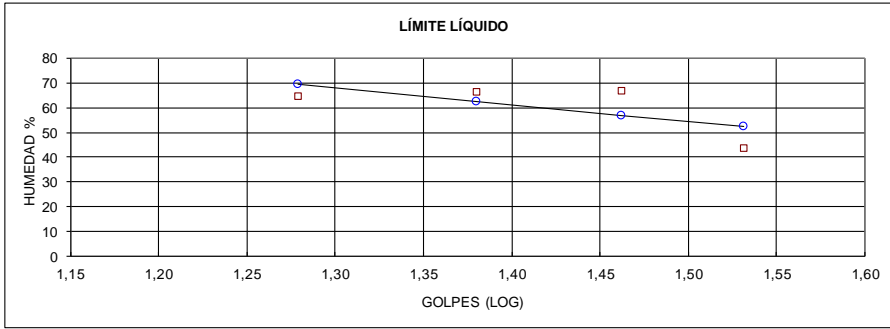
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS UTPL
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

INF-LAB-DGM-IC-08-2016

PROYECTO : Determinación de la erosión en taludes carreteros ante la presencia de lluvia mediante fotografía digital
OBRA:
LOCALIZACIÓN: Vía Zamora **NORMA:** ASTM D 4318, AASHTO T-27
SOLICITADO: DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN **CALICATA:** 1
REALIZADO: Shirley del Cisne Granda Prado **MUESTRA:** 1
FECHA: 02-08-2016 **PROFUNDIDAD:** 1.5 m

| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
|----------------------|--------|-----------|-----------|---------|-------|-----------|
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 127,29 | 118,79 | 56,81 | 13,71 | 12,94 |
| | | 146,29 | 137,81 | 70,78 | 12,65 | |
| | | 136,77 | 129,65 | 72,50 | 12,46 | |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 19 | 73,21 | 69,31 | 63,28 | 64,68 | 61,40 |
| | 24 | 72,59 | 67,75 | 60,46 | 66,39 | |
| | 29 | 72,21 | 68,13 | 62,01 | 66,67 | |
| | 34 | 78,32 | 74,92 | 67,13 | 43,65 | |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 49,67 | 49,62 | 49,51 | 45,45 | 31,06 |
| | | 55,08 | 55,04 | 54,80 | 16,67 | |

| 4.- GRANULOMETRÍA | | | | 5.- CLASIFICACIÓN | |
|--------------------------|----------|-------|--------|--|-------|
| PESO IN= | 33,54 | (H/S) | S | GRAVA | 0 |
| PESO INICIAL DE CÁLCULO: | | | 33,54 | ARENA | 38 |
| | | | | FINOS | 62 |
| TAMIZ | PESO RT. | % RET | % PASA | LL = | 61,00 |
| 2" | 0,00 | 0 | 100 | LP = | 31,00 |
| 1" | 0,00 | 0 | 100 | IP = | 30,00 |
| 3/4" | 0,00 | 0 | 100 | CLASIFICACIÓN SUCS : OH AASHTO: A-7-5 IG(86): 18 IG(45): 16 | |
| 1/2" | 0,00 | 0 | 100 | | |
| 3/8" | 0,00 | 0 | 100 | | |
| No. 4 | 0,00 | 0 | 100 | | |
| No. 10 | 1,32 | 4 | 96 | | |
| No. 40 | 1,67 | 5 | 91 | | |
| No. 200 | 9,81 | 29 | 62 | | |



CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelo Arcilloso (A-7-5)

Observaciones: La toma de muestras es realizada por el profesional en formación y llevada al laboratorio de la UTPL.

M. Sc. Belizario Zárate Torres
DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN

Shirley del Cisne Granda Prado
TESISTA