



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Uso de técnicas de sistema de posicionamiento global en monitoreo de
movimientos de laderas

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Ruiz Calvache, Valeria Stefanía

DIRECTOR: Zárate Torres, Belizario Amador, M.Sc

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>

2017

APROBACIÓN DE LA DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

M.Sc

Belizario Amador Zárate Torres

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “Uso de técnicas de sistema de posicionamiento global en monitoreo de movimientos de laderas”, realizado por **Valeria Stefanía Ruiz Calvache**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, agosto de 2017

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, **Valeria Stefanía Ruiz Calvache** declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Uso de técnicas de sistema de posicionamiento global en monitoreo de movimientos de laderas, de la Titulación 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).....

Autor: Valeria Stefanía Ruiz Calvache

Cédula: 1104806995

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. A mi Padre que a pesar de nuestra distancia física con sus consejos ha sabido guiarme y ser un gran ejemplo de superación y valioso apoyo. A mi Madre por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su apoyo incondicional, consejos y comprensión.

A mis queridas hermanas por compartir momentos significativos conmigo, por su cariño y amor brindado en todo momento.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A todos mis amigos y amigas, por ofrecerme su amistad y compañerismo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por entregarme las herramientas necesarias para lograr un desarrollo profesional, a través de oportunidades y milagros constantes en mi vida.

A Belizario Zárate, M.Sc director de mi trabajo de fin de titulación, le expreso mis sinceros agradecimientos por su valiosa guía y asesoramiento para la culminación del presente proyecto.

A mis queridos Padres Franklin y Patricia, por brindarme un apoyo incondicional y enseñarme que con responsabilidad y perseverancia todo se puede alcanzar. Agradezco también la confianza y el apoyo brindado que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos

A mis hermanas Isabel y Sofía que con su amor me han enseñado a salir adelante. Gracias por su paciencia, gracias por preocuparse por su hermana mayor, por compartir sus vidas, pero sobre todo, por estar en otro momento tan Importante en mi vida.

A Kelvin que durante estos años de carrera ha sabido apoyarme para continuar y nunca renunciar, gracias por su amor incondicional y por su ayuda en mi proyecto.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO 1.....	5
ESTADO DEL ARTE.....	5
1.1 Movimientos de laderas.....	6
1.2 Tipos de movimientos y velocidades de desplazamientos.....	6
1.3 Técnicas de control superficial.....	8
1.3.1 GPS.....	9
1.3.2 Inclínómetros.....	9
1.3.3 Nivel Electrónico.....	9
1.3.4 Taquímetro.....	10
1.4 Precipitación como factor desencadenante y su relación con el suelo.....	10
CAPÍTULO 2.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
2.1 Ubicación.....	12
2.2 Ámbito geológico.....	12
2.3 Materiales.....	13
2.3 Metodología.....	13
2.3.1 Muestreo de suelos.....	13
2.3.2 Monitoreo con GPS TRIMBLE.....	14
2.3.3. Registro pluviométrico.....	15
CAPITULO 3.....	16
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	16
3.1 Caracterización geotécnica.....	17
3.2 Análisis de datos GPS Diferencial.....	18

3.3 Umbrales de precipitación versus movimiento superficial.....	22
CONCLUSIONES.....	27
RECOMENDACIONES.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidad de los movimientos (Adaptado de Cruden, Varnes-1996).....	8
Tabla 2. Periodos de monitoreo.....	15
Tabla 3 Clasificación S.U.C.S.....	17
Tabla 4. Resultados ensayo de corte directo.	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.....	12
Figura 2. Punto de la red de control.....	13
Figura 3. Toma de Muestras Alteradas para la Clasificación de Suelos	14
Figura 4. Comportamiento coordenada Norte.....	18
Figura 5. Desplazamientos acumulados coordenada Norte.....	19
Figura 6. Comportamiento coordenada Este.....	19
Figura 7. Desplazamientos acumulados coordenada Este.....	20
Figura 8. Comportamiento coordenada Z o elevación.....	21
Figura 9. Desplazamientos acumulados coordenada z o elevación.....	21
Figura 10. Desplazamientos vs precipitación coordenada Este.....	23
Figura 11. Desplazamientos vs precipitación coordenada Z o elevación.....	24
Figura 12. Desplazamientos vs precipitación coordenada Norte.....	25

RESUMEN

La finalidad del presente trabajo fue el uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en movimiento de laderas, el cual fue realizado en el Sur Occidente de la Ciudad de Loja, ladera que actualmente se encuentra en estado activo con grandes desplazamientos.

Para la investigación se estableció una red de control compuesta por 17 puntos ubicados aleatoriamente en el cuerpo de la ladera. El monitoreo se lo realizó durante un período de 6 meses (Diciembre 2016-Junio 2017), con un total de 10 mediciones, para el cual se utilizó un GPS marca Trimble R6, con el cual se obtuvo los datos de desplazamientos en cada punto para el análisis del mismo y su relación con la precipitación.

PALABRAS CLAVES: Movimientos de masa, precipitación, desplazamientos, monitoreo, suelo, agrietamiento.

ABSTRACT

The main purpose of this research was the use of the Global Positioning System (GPS) in slope movement, which was carried out in the South West of the city of Loja, slope that is currently in active state with high displacements.

For the investigation a control network was established which is composed of 17 points randomly located in the body of the slope. The monitoring was carried out during a period of 6 months (December 2016-June 2017), with a total of 10 measurements, in order to take measure a GPS Trimble R6 was used, with which the data of displacements in each point for the analysis of the same and its relation with precipitation.

Key words: Mass movements, precipitation, displacements, monitoring, soil, cracking.

INTRODUCCION

Los Fenómenos de movimientos de tierra es uno de los problemas más representativos que afectan a la humanidad, el Ecuador se encuentra atravesado de Norte a Sur por la cordillera de los Andes lo cual lo hace susceptible a amenazas características de zonas montañosas, y sumados a los procesos de desarrollo humano han convertido al territorio en una zona vulnerable a graves desastres (Abril, 2011).

Se denomina deslizamiento a la rotura y al desprendimiento del suelo situado en el pie de un talud, que origina movimientos verticales y horizontales plasmados en esfuerzos, bajo influencia de la gravedad. Dicha dinámica se genera inevitablemente por agentes condicionantes como: factores litológicos, estructurales, climáticos, hidrológicos, topográficos y la vegetación; y factores desencadenantes naturales y antrópicos como: erupciones volcánicas, sismos, precipitación, explotación de recursos naturales, urbanización excesiva y deforestación de taludes (Matteis, 2003).

Actualmente en la Ciudad de Loja se ha producido un incremento en la población significativo, como consecuencia, el asentamiento y construcción de infraestructuras en sectores de alto riesgo. Esto se produce debido a la falta de información técnica y el desconocimiento de las consecuencias que ello implica lo cual genera un problema de gran interés para el control de áreas sometidas a amenazas, en donde se puedan demostrar el comportamiento de un suelo y el grado de peligro a largo plazo en zonas de riesgo, y evitar que se produzca de esta manera pérdidas humanas, daños materiales, pérdidas de infraestructuras, entre otros problemas socioeconómicos.

Hoy en día es necesario el control de los movimientos de laderas con el fin de detectar y prevenir posibles desastres. Muchos de estos monitoreos se llevan a cabo mediante diferentes técnicas y tipos de instrumentación.

En la mayoría de los proyectos de monitoreo, el factor de elección del equipo y la técnica de control es el económico, por esta razón gran parte de los programas de monitoreo de laderas comprenden equipos como el inclinómetro, que se leen discretamente en intervalos infrecuentes.

Los Inclinómetros permiten leer el ángulo de inclinación del terreno a cualquier superficie de cizallamiento, información necesaria para la evaluación de la estabilidad y el diseño de remediación. Sin embargo, dicho modo de monitoreo proporciona resoluciones espaciales y temporales relativamente bajas, por lo general insuficiente para proporcionar una alerta de inestabilidad (Uhlemann et al., 2016).

Con los avances recientes del Sistema de Posición Global (GPS) y la informática, la tecnología de GPS diferencial ahora puede ser usada para la observación de movimientos de ladera en forma remota (Bellone, Dabove, Manzano, & Taglioretti, 2016).

El GPS es diseñado para monitorear en cualquier condición meteorológica, y navegación en cualquier parte del mundo. El sistema de monitoreo GPS diferencial (Differential Global Positioning System) brinda una mejor precisión con respecto al GPS convencional, consta de tres segmentos: el segmento espacial (constelación de satélites), el segmento de control (instalaciones de tierra), y el equipo de usuario. La precisión obtenible del GPS es sub-centimétrica en el post-procesado y centimétrica en tiempo real (DeLoach, 1989).

El objetivo principal de esta investigación está enfocado en el monitoreo temporal de una ladera ubicada en el cantón Loja, barrio San José de Panamá, que presenta evidencias superficiales de actividad (grietas, escarpes, etc.) para lo cual se empleó un GPS doble frecuencia marca Trimble R6 cuyas mediciones se las realizó en una red de control superficial compuesta por 17 puntos distribuidos espacialmente en el cuerpo de la ladera, durante 6 meses con un total de 10 monitoreos. Así mismo se desarrolló un control de la precipitación en la zona de influencia mediante una estación meteorológica a fin de establecer el comportamiento del desplazamiento de la ladera ante la precipitación.

OBJETIVOS

GENERAL

- Utilizar la técnica de posicionamiento global para determinar la dinámica de movimientos de ladera.

ESPECÍFICOS

- Implementación de la red de control GPS al movimiento de ladera.
- Definir las campañas de medición en la red de monitoreo.
- Realizar la caracterización geotécnica del movimiento de ladera y establecer la relación entre dinámica y precipitación.

CAPÍTULO 1
ESTADO DEL ARTE

1. Movimientos de laderas

Los movimientos de laderas son desprendimientos de rocas, tierra o distintos materiales, que tienden a seguir movimientos como: caídas, deslizamientos, dispersión o flujo los cuales son originados por la fuerza de gravedad, que envuelve una extensa variedad de procesos, que se pueden producir por variaciones ambientales o actividad humana (Savvaïdis, 2003). Este fenómeno natural constituye uno de los peligros más representativos para la humanidad en varias partes del mundo, es por ello la necesidad del conocimiento del estado de la actividad de la ladera para de esta manera evitar posibles desastres (Ferretti et al., 2005).

La mayor parte de los desprendimientos suelen suceder en pendientes de gran magnitud, o también pueden acontecer en superficies de bajo relieve en conexión a excavaciones de afluentes o la influencia de la mano del hombre en construcciones ingenieriles (Savvaïdis, 2003). Estos movimientos pueden generarse en superficies relativamente pequeñas; sin embargo, debido a la frecuencia que adquieren pueden ocasionar grandes catástrofes.

1.2 Tipos de movimientos y velocidades de desplazamientos

La clasificación de los movimientos de laderas se fundamenta en las características cinemáticas que se basan principalmente en el mecanismo de rotura y propagación. Para el estudio de su mecanismo es necesario el análisis de observaciones geomorfológicas, geométricas y los datos de desplazamientos y profundidad de la superficie expuesta al deslizamiento (Jordi Corominas, 2009).

En la actualidad la clasificación de Varnes (1978) es la más representativa, la cual se basa en los siguientes tipos de movimientos básicos:

Deslizamientos: Un deslizamiento es un movimiento rápido de la aglomeración de material sobre una o más superficies de rotura, que no se encuentran saturadas de humedad. La velocidad de movimiento suele ser variable e involucran volúmenes de suelos periódicamente grandes (Chinchilla, 1992). Se dividen según su movimiento:

Deslizamientos rotacionales: Se generan cuando la superficie de rotura es cóncava y se produce en materiales homogéneos muy fragmentados, en una inclinación contrapendiente de la cabecera (Navarro Vidal, 2012).

Deslizamientos translacionales: La superficie es un plano de inclinación es básicamente constante, se origina en materiales heterogéneos con extensiones bien determinadas (Vallejo, 2002).

Flujos: Son movimientos espacialmente continuos de masas de material sin cohesión, que se desplazan como un fluido viscoso al sobrepasar su límite líquido, y se trasladan sin un plano establecido de ruptura (Abril, 2011). La velocidad de movimiento es rápida y continuamente es relacionado con las tormentas, es decir fenómenos estacionales, donde el agua es el principal factor de este proceso (Vallejo, 2002).

Desprendimientos o caídas: Movimientos rápidos en caída libre de cualquier tamaño de roca o tierra en forma de bloques aislados o material masivo. Este proceso acontece principalmente en acantilados rocosos o laderas de gran pendiente en el que la roca está fracturada (Tambo, 2011). Su transporte se presenta como rodamiento y casi no presenta signos anunciantes de su desprendimiento, son originados por sismos, vibraciones de maquinaria, explosiones, etc. La velocidad de movimiento es alta, alcanza aproximadamente los 40 metros por segundo (Abril, 2011).

Movimientos complejos: Son movimientos producidos por dos o más tipos de movimientos básicos, debido a una larga evolución de la ladera. Se denominan deslizamientos permanentes ocasionados por esfuerzos residuales después a la fase de rompimiento, alcanzan generalmente gran tamaño, afectando a veces a la superficie completa (Navarro Vidal, 2012). Generalmente se trata de deslizamientos de duración milenaria de gran tamaño y de evolución lenta, con periódicos eventos de aumento de velocidad. Pueden cubrir áreas de varios kilómetros cuadrados, involucrando grandes cantidades de masas en movimiento con gran profundidad (Tambo, 2011).

Derivas o extensiones laterales: Movimientos de masas térreas ocasionadas en pendientes suaves, que dan como resultado deslizamientos horizontales casi despreciables. No son muy comunes y se produce en las capas superiores (Navarro Vidal, 2012),

Las laderas inactivas son masas que se encuentran en equilibrio en donde el movimiento es mínimo. Este tipo de ladera se encuentra en ecosistemas que poseen una gran cantidad de árboles que protegen el suelo de la erosión y no presencian la actividad humana en la superficie que desestabilicen la superficie terrestre.

Tabla 1. Velocidad de los movimientos (Adaptado de Cruden, Varnes-1996)

Tipo	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Desplazamiento	Poder Destructor
7	Extremadamente rápido	5×10^3	5 m/seg	Catástrofe de violencia mayor; edificios destruido, muertes, escape improbable
6	Muy rápida	5×10^1	3 m/min	Algunas pérdidas de vidas; velocidad alta para escape
5	Rápida	5×10^{-1}	1.8 m/hora	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderada	5×10^{-3}	13 m/mes	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.
3	Lenta	5×10^{-5}	1.6 m/año	Construcciones remediales pueden llevarse a cabo durante el movimiento.
2	Muy Lenta	5×10^{-7}	16 mm/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento
1	Extremadamente Lenta	-----	-----	Imperceptibles sin instrumentos, construcción posible con precauciones.

Fuente: (Vallejo, 2002)

Elaboración: El autor

1.3 Técnicas de control superficial

En el estudio del control superficial de taludes expuestos a amenazas geológicas, es necesario el monitoreo continuo del terreno para controlar la evolución del deslizamiento y establecer el origen del fenómeno base (Gili, 2003).

En la actualidad se ha incrementado la demanda de nuevas técnicas de monitoreo en movimientos de laderas debido a continuos catastróficos sucesos. Los métodos de medida de deformaciones permiten estimar magnitudes de las velocidades de desplazamiento con el fin de conocer el comportamiento en el tiempo y espacio y establecer un análisis de estabilidad (R. Tomás, Delgado, & López, 2005).

1.3.1 GPS

El GPS (Global Positioning System) es un método de posicionamiento global, radionavegación y medida de tiempo con el uso de satélites basado en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos elaborado para brindar capacidad de posicionamiento mundial continua (Oliva, 2015). Los satélites del sistema están constituidos de información tridimensional en una constelación de 18 satélites en seis orbitas a una altitud de 20.000 kilómetros aproximadamente, durante las 24 horas del día, como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos estáticos o en movimiento que pueden estar ubicados en cualquier fragmento de la superficie terrestre (Campos Puebla, 2013).

1.3.2 Inclínómetros

Los Inclínómetros son instrumentos que tienen como objetivo medir con precisión desplazamientos horizontales como verticales, proporcionando curvas cuya modulación demuestra la posición de los planos (Obando, 2009). Este equipo es apto para todo tipo de terreno desde suelos duros, firmes o blandos, la medición se realiza por medio de una tubería de plástico, aluminio o fibra de vidrio, ajustada al terreno, está compuesta de cuatro ranuras opuestas en ángulos rectos, donde se desliza el equipo apoyado en una sonda con el fin de obtener la información de los dos ejes. El inclinómetro consta de tres partes: La unidad de lectura (equipo digital almacenador de datos), sonda (cuerpo metálico) y el cable de control de la profundidad del sensor (Castillo Cevallos, 2008).

1.3.3 Nivel Electrónico

Los niveles automáticos tienen como principio la nivelación óptica, su objetivo es la medición de distancias verticales de puntos referenciados. La medición se realiza mediante una línea de vista por medio de lentes de un telescopio, usando la gravedad como línea de referencia en la visual horizontal hacia el retículo señalado, con un código de barras compuesta por una escala análoga absoluta. Este elemento puede ser utilizado con colectores de datos con programas instalados internamente, con una memoria que permite almacenar la altura del instrumento, alturas y las vistas adelante y atrás del proceso (Vila Ortega, Jiménez Cleves, & Garzón Barrero, 2012).

1.3.4 Taquímetro

El taquímetro es un equipo topográfico que permite medir la orientación deseada en base a dos medidas angulares, horizontales y verticales, a través de un anteojo que permite observar el punto a evaluar y su distancia. Actualmente existen taquímetros

electrónicos denominados estaciones totales, los cuales funcionan de manera electrónica, mediante un instrumento auxiliar llamado prisma a través de un rayo infrarrojo, que se regresa a la estación mide el tiempo que tarda calculando la distancia del mismo (Almagro Gorbea et al., 2010).

1.4 Precipitación como factor desencadenante y su relación con el suelo

El agua es conocido como el factor más importante en la inestabilidad de las laderas, durante una precipitación intensa ésta se filtra causando grietas o fisuras en la superficie de la misma, debido a la reducción del esfuerzo cortante del material mediante el aumento de presión en los poros del mismo (Abril, 2011).

Gran parte de los deslizamientos están vinculados por actividad hidrológica, es por eso la necesidad de conocer dicha información para pronosticar la ocurrencia tanto de deslizamientos, flujos o avalanchas. La saturación del substrato geológico puede producirse por diferentes vías: lluvias extremas, intensas y periodos de precipitación prolongados. La relación entre el factor de precipitación y la pérdida del suelo varían según las características de la zona como las propiedades del suelo, intensidad de las lluvias, topografía, vegetación, permeabilidad y otros factores presentes en el área considerada. La erosividad causada por la precipitación es el resultado de la suma de las energías de todas las partículas de agua. En cada ladera se generan fluctuaciones en los niveles freáticos, que inciden sobre la degradación del suelo, (Mendonza López, Domínguez Morales, Noriega Rioja, & Guevara Ortiz, 2002).

CAPITULO 2
MATERIALES Y METODOS

2.1 Área de estudio

La zona de estudio se encuentra situada en el Barrio “San José de Panamá”, sector el Plateado al oeste la Ciudad de Loja, cuenta con un área de estudio de 5.30 ha (Figura 1). Se accede por la vía a Catamayo hasta la intersección por la Carretera Vía Lateral de Paso, vía que actualmente se encuentra con una capa de rodadura de hormigón armado.

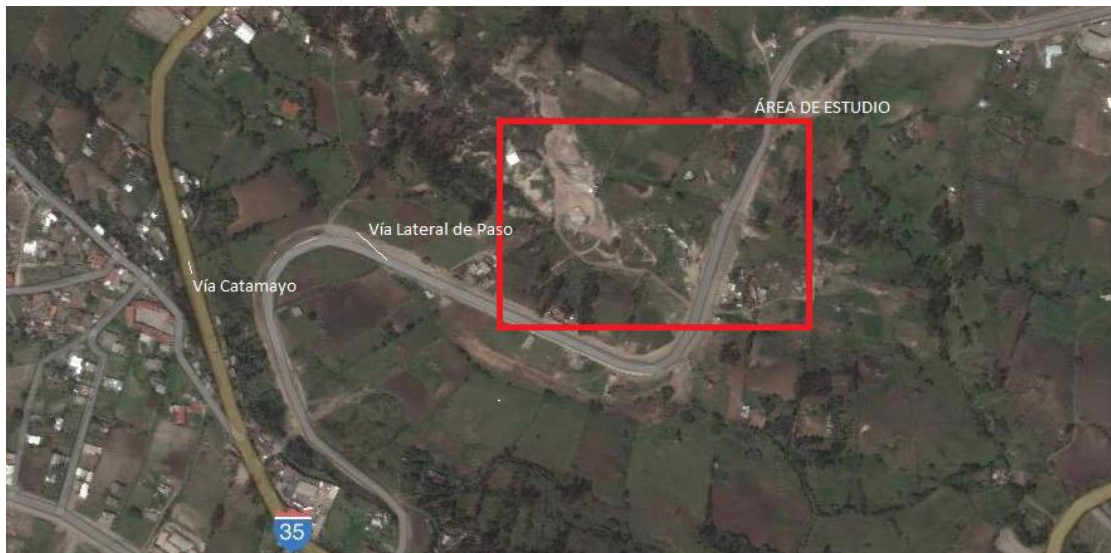


Figura1. Ubicación de la zona de estudio

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

2.2 Ámbito Geológico

2.2.1 Geología Regional

Formación Trigal: De edad Miocena Media, ésta formación se presenta a lo largo del noroccidente de la Cuenca de Loja. Está conformado por areniscas de grano grueso con capas finas de conglomerados compuestos por clastos de rocas metamórficas y capas menores de limonitas (Tamay Granda, 2010). En la base de la secuencia sedimentaria aflora una arcilla café y posee varias vetas de yeso, su potencia varia de 50m a 150m hacia el contacto con la formación La Banda, el cual está oculto por material coluvial que contiene cantos rodados de rocas metamórficas derivadas del cerro Villonaco al oeste de la Cuenca (Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, 2015).

2.2 Materiales

Para el monitoreo de la zona de estudio se utilizó el equipo GPS doble frecuencia marca Timbre R6, posee un rango de precisión de 3 mm + 0.5 ppm y 5 mm + 0.5 ppm para mediciones horizontales y verticales respectivamente. Las mediciones se realizan en una red de control compuesta de 17 puntos fijados in situ en zonas donde se aprecian escarpes y grietas, en su centro se colocó una varilla de acero corrugado de 60 cm de longitud y 14 mm de diámetro como se lo indica en la Figura 2. En su centro se realizó una perforación de diámetro de 2 mm que sirvió de guía para colocar el bastón de la antena GPS.



Figura 2. Punto de la red de control

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

Para la medición de la precipitación se empleó una estación pluviométrica Ambient Weather que permite registrar datos pluviométricos, humedad, dirección y velocidad del viento.

2.3 Metodología

2.3.1 Muestreo de suelos

Para el análisis de la clasificación del suelo en el área de estudio es necesario obtener las muestras representativas de la ladera para determinar las propiedades físicas y mecánicas que presentan su inestabilidad, tales como: granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg y corte directo, para lo cual se extrajo muestras tanto de la corona como del pie de la ladera.

El proceso del muestreo se realizó de forma manual con posteadora, la cual da como resultado muestras alteradas. En los sondeos primero se retiró la capa vegetal superficial y se introdujo la pala de postear con movimientos de rotación, donde una vez llena se retiró y depositó el material directamente en fundas plásticas para mantener el contenido de humedad natural (Figura 3). Finalmente el material es transportado al laboratorio de Suelos y Rocas de la Universidad Técnica Particular de Loja para realizar los procesos para los ensayos correspondientes.



Figura 3. Toma de Muestras Alteradas para la Clasi

ficación de Suelos.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

2.3.2 Monitoreo con GPS TRIMBLE R6

El monitoreo de desplazamientos se llevó a cabo mediante el método de posicionamiento global el cual consiste en la navegación y posicionamiento de satélites, para el cual se utilizó el equipo GPS marca Trimble R6 en un modo “*Fast static*”.

El monitoreo se lo realizó en un periodo de 6 meses con un total de 10 mediciones, en los 17 puntos de control dispersos en el área de estudio (Tabla 2). Los puntos de la red de control se midieron en un tiempo de 6 minutos cada uno, con una máscara de elevación de 10° y un tiempo de registro de 1 s. El procesamiento de los datos obtenidos de cada medición se realizó mediante el Software Trimble Business Center Versión 2.2, dentro de los parámetros considerados para el post procesamiento son: Sistemas de coordenadas: UTM, zona 17 South, transformación de datum; WGS 1984 (González, 2010). Como estación base se empleó los datos continuos de la estación

GNSS de la Red SIRGAS LJEC, perteneciente al Instituto Geográfico Militar y que se halla ubicada en el Campus de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Tabla 2. Periodos de monitoreo

Monitoreo #	Periodo de Monitoreo
1	22 DE DICIEMBRE 2016
2	12 DE ENERO 2017
3	21 DE ENERO 2017
4	01 DE FEBRERO 2017
5	24 DE FEBRERO 2017
6	21 DE Marzo 2017
7	10 DE ABRIL 2017
8	3 DE MAYO 2017
9	17 DE MAYO 2017
10	05 DE JUNIO 2017

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

2.3.3. Registro pluviométrico

Los datos se relacionan con los valores obtenidos de la estación pluviométrica implantada en la zona de estudio, para establecer una relación de la dinámica de movimiento con la precipitación.

CAPITULO 3
ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Caracterización geotécnica

Se realizó los ensayos de laboratorio correspondiente para la clasificación S.U.C.S y el ensayo de corte directo con el objetivo de determinar las características que presenta el área de estudio. A continuación se presentan los ensayos realizados:

Clasificación S.U.C.S

Este ensayo se desarrolló con el objetivo de conocer las propiedades que presenta el suelo de donde se obtuvo las muestras en una profundidad de 1.5 metros, a partir de este ensayo se clasificó tanto la corona como el pie del talud mediante el límite líquido (LL), límite plástico (LP), índice plástico (IP), granulometría y contenido de humedad (W), tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación S.U.C.S

Talud	Ubicación	Profundidad (m)	W Promedio %	LL %	LP %	Clasificación SUCS	Descripción
Corona del Talud	Corona 1	1.5	14.07	38	23	SC	Arena arcillosa
	Corona 2	1.5	20.64	44	23	SC	Arena arcillosa
Pie del Talud	Pie 1	1.5	27.19	58	21	CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad
	Pie 2	1.5	36.62	108	35	CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad

Elaboración: El autor

Ensayo Corte Directo

Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia al esfuerzo cortante que posee el suelo en el cual se determina: la cohesión aportada por la fracción del suelo y el ángulo de rozamiento interno entre las partículas granulares. Con los datos obtenidos se obtiene la gráfica de distribución de esfuerzos cortantes vs la deformación, para determinadas cargas aplicadas, en este caso se aplicó 2, 4 y 8 kg, los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados ensayo de corte directo.

Sección	Muestra	Cohesión Kg/cm ²	Fricción ϕ
Corona del Talud	Corona 1	0.36	31.15
	Corona 2	0.33	9.42
Pie del Talud	Pie 1	0.32	18.78
	Pie 2	0.46	56.43

Elaboración: El autor

3.2 Análisis de datos GPS Diferencial

Realizado el post proceso de los datos de las campanas de medición en la zona de estudio se efectuó un análisis de los desplazamientos en las tres coordenadas para todos los puntos de control superficial. En la Figura 4 se puede notar el comportamiento de la coordenada Norte en cada periodo de monitoreo, donde se puede apreciar que los puntos que tienen mayor desplazamiento son T2, T6, T7 y T8, cuyo rango de desplazamiento es mayor a 2 m.

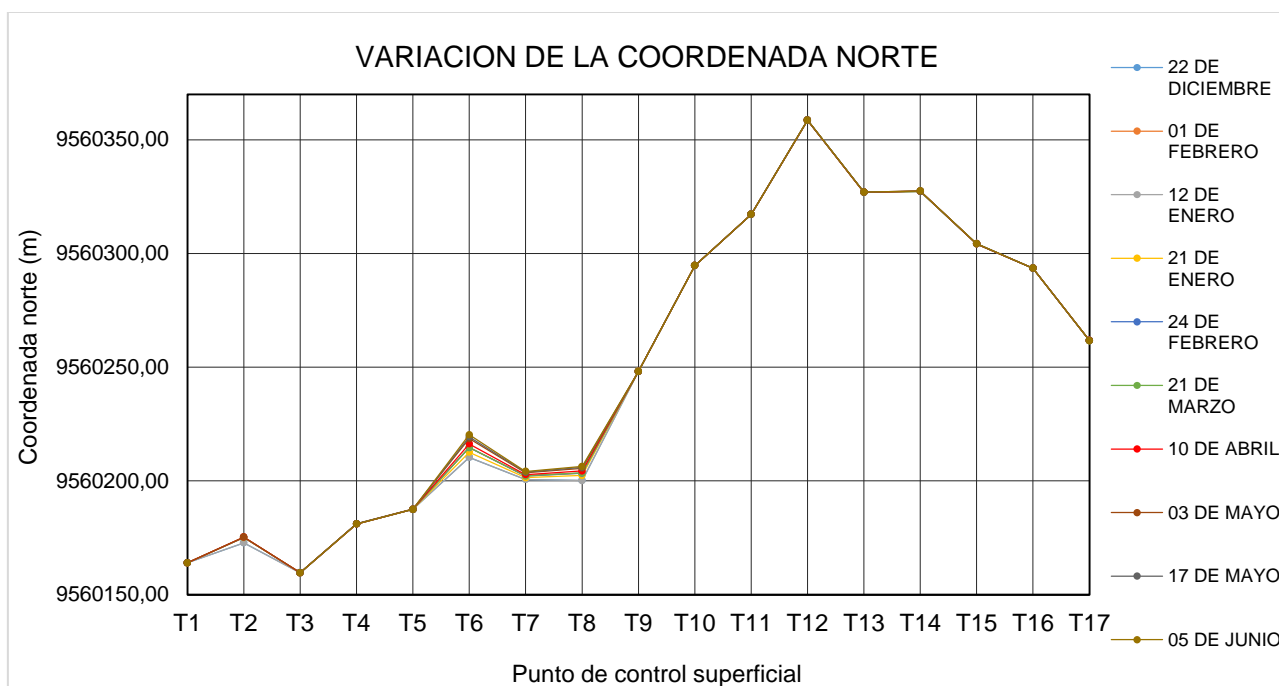


Figura 4. Variación de la coordenada Norte

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Realizando un análisis de los desplazamientos acumulados en cada punto, se puede estimar la variación temporal de los puntos medidos, notándose claramente el grado de movimiento de cada uno de ellos como se indica en la Figura 5. Cabe mencionar que el punto T2 solo fue medido siete veces ya que al realizar la octava medición, este punto desapareció por causas del movimiento del suelo.

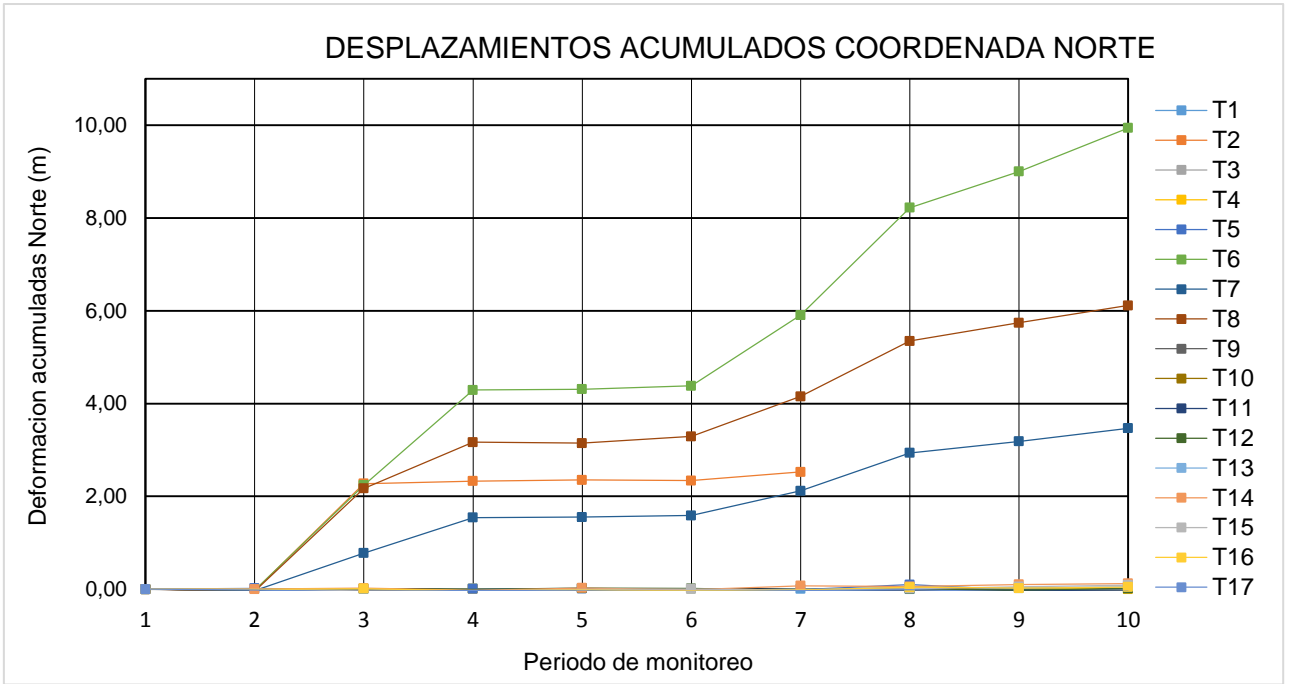


Figura 5. Desplazamientos acumulados coordenada Norte
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

La Figura 6 muestra el comportamiento de la coordenada Este para todos los puntos de control, en ella se puede determinar que existe mayor desplazamiento en los puntos que tuvieron variación en la coordenada norte, esto es, T2, T6, T7 y T8.

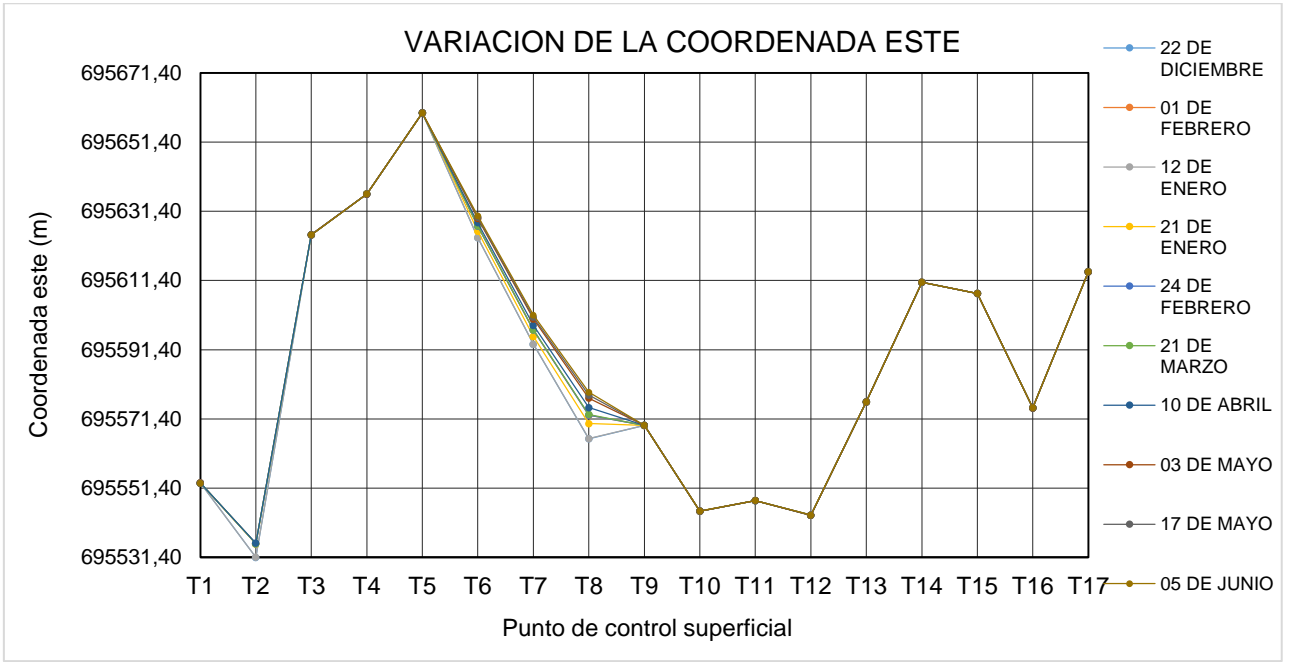


Figura 6. Comportamiento coordenada Este
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

La variación acumulada de las coordenadas Este de cada punto superficial se puede apreciar en la Figura 7.

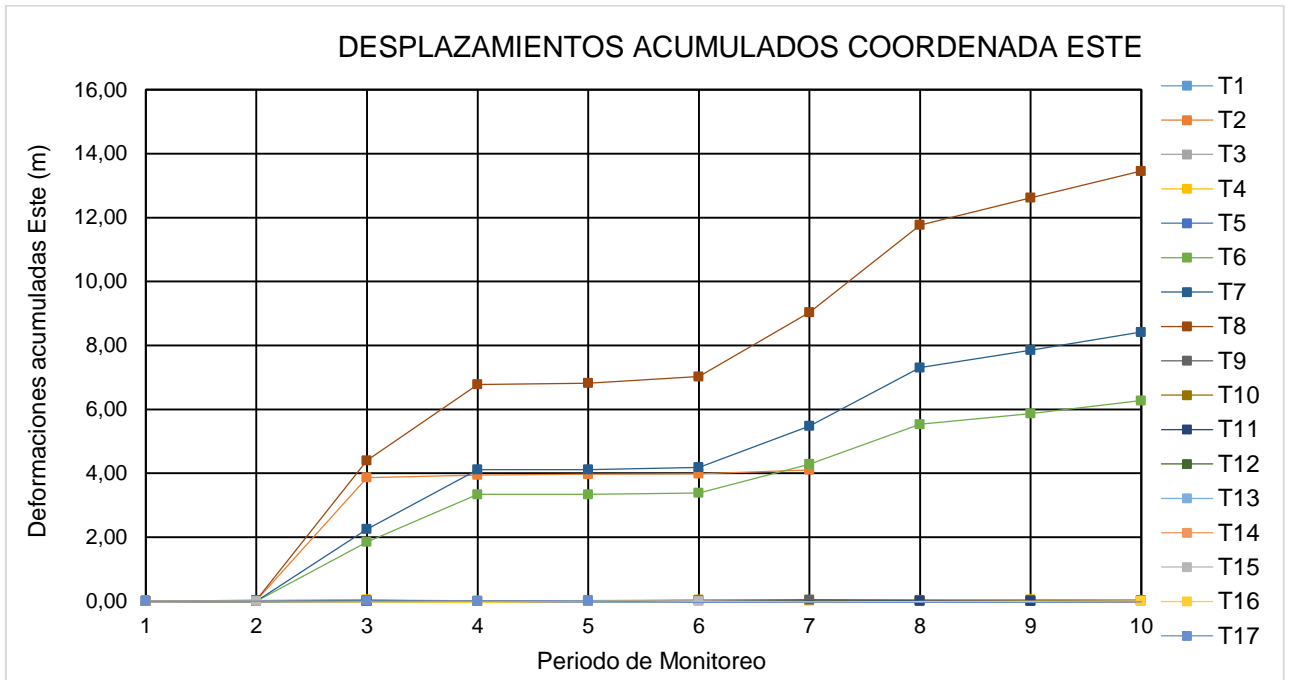


Figura 7. Desplazamientos acumulados coordenada Este

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

El comportamiento de la coordenada z o elevación (Figura 8) es descendente. Se pudo establecer un descenso del terreno superior a los 5 m en el punto T2 que fue posteriormente eliminado por acción del movimiento. En el cuerpo del deslizamiento en promedio, los puntos descienden en promedio 1.30 m. Los demás puntos presentan variaciones centimétricas, tanto de ascenso como de descenso, dependiendo de su ubicación en el cuerpo del movimiento (Figura 9).

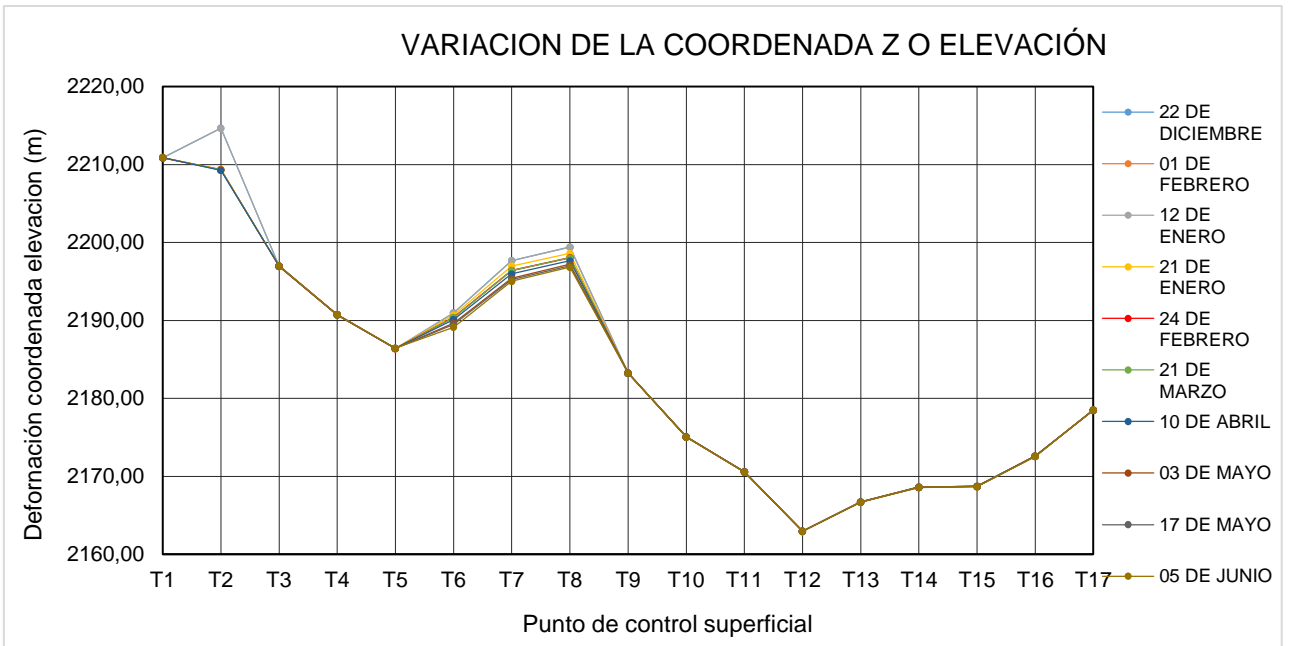


Figura 8. Comportamiento coordenada Z o elevación
Fuente: El autor
Elaboración: El autor

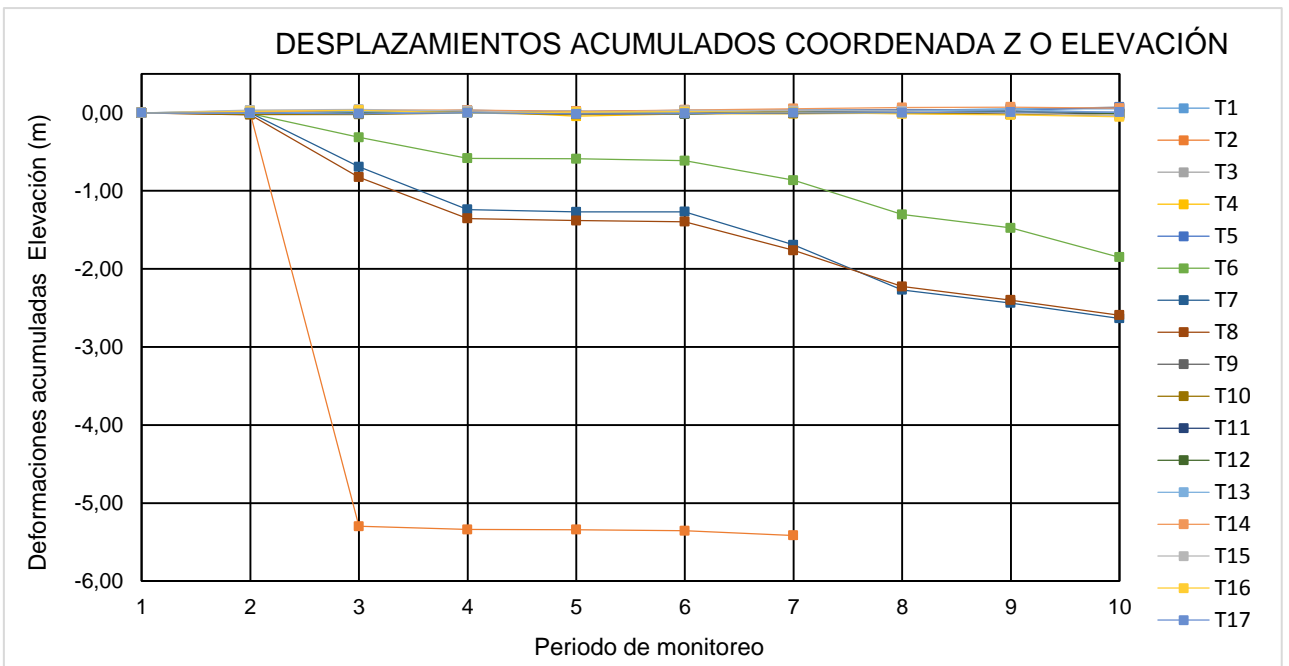


Figura 9. Desplazamientos acumulados coordenada z o elevación
Fuente: El autor
Elaboración: El autor

3.3 Umbrales de precipitación versus movimiento superficial.

Reichenbatch et al., (1998) definieron el término umbral como los niveles mínimos y máximo de la cantidad de precipitación a partir del cual se produce un deslizamiento (Aristizábal et al., 2011). Investigaciones realizadas en Hong Kong y Hawái establecieron que los umbrales mínimos y máximos para que se produzcan deslizamientos rotacionales se hallan entre 70 mm y entre 250 y 300 mm en 24 horas respectivamente (J Corominas, 2006). Según (Ávila, 2012) en las zonas centro y Sur de Chile se presentan umbrales de precipitaciones diarias máximas que varían entre los 60 y 240mm en la zona de mayor riesgo de ocurrencia.

El periodo de monitoreo establecido en el presente trabajo fue de 165 días, en los cuales se efectuaron controles horizontales y verticales con tecnología DGPS. Analizando las Figuras 10,11 y 12 se puede establecer que los cambios de coordenadas se producen cuando existe un crecimiento de las precipitaciones de 24 horas acumuladas entre periodos de monitoreo (Tabla 5), los cuales oscilan en un promedio de 60.6mm, y una precipitación máxima y mínima acumulada de 119mm y 28mm respectivamente. Realizando un análisis mensual de las precipitaciones en el periodo de monitoreo se determinó que la media mensual es de 190.88 mm/mes. (Irigaray & Palenzuela, 2013) en un estudio a movimientos en la cordillera Bética (España) determinaron que la reactivación de dos movimientos de ladera ocurrían cuando los umbrales de precipitación se encontraban entre 157 a 236 mm/mes, con ello se comprueba que la precipitación mensual dada en la zona de estudio es el principal factor activador del movimiento.

Tabla 5. Precipitaciones 24 horas acumuladas entre periodos de medición

RANGO DE MONITOREO ACUMULADO (días)		PREC. ACUMULADA DIARIA ENTRE PERIODOS DE MEDICION (mm)
0	21	55.1
21	30	45.0
30	41	28.0
41	65	75.2
65	90	79.8
90	110	119.0
110	133	60.9
133	147	50.1
147	165	32.1

Elaboración: El autor

Al analizar esta información con las características del suelo, se comprueba que los suelos de sector son arenas arcillosas de baja permeabilidad localizadas en el estrato superficial superior de la ladera, los cuales al permitir la infiltración se reduce la presión de poros en los estratos inferiores provocando el debilitamiento del suelo

produciendo reactivaciones de roturas existentes en donde tiene gran importancia la precipitación ascendente (J Corominas, 2006). En la parte inferior de la ladera se presentan arcillas orgánicas de alta plasticidad en donde debido a sus granos muy finos sus fuerzas electroestáticas en la superficie cobran relevancia, y debido a la humedad del suelo se presenta agrietamiento en el mismo (Suárez Díaz, 2002)

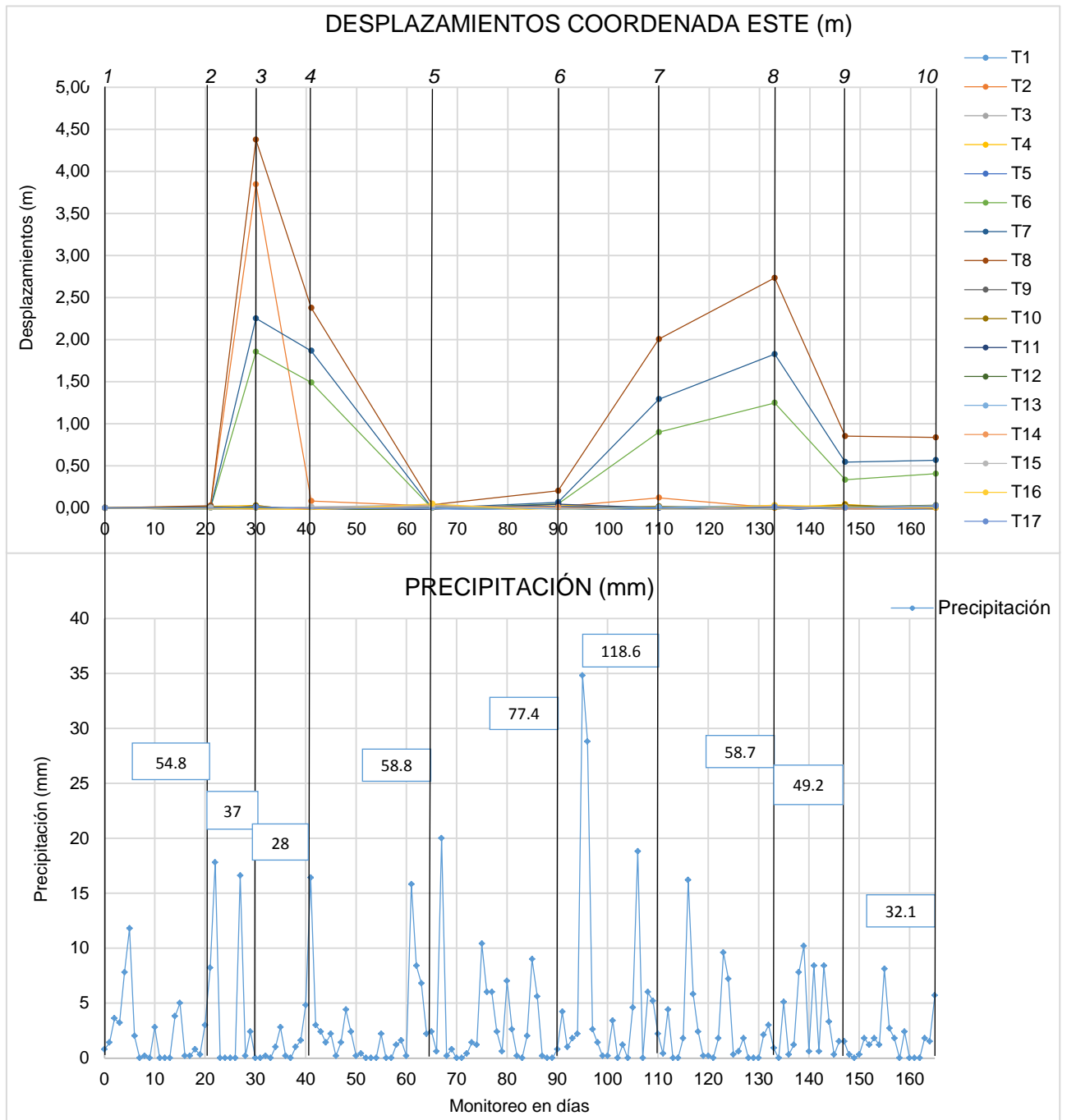


Figura 10. Desplazamientos vs precipitación coordenada Este

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En la Figura 10 se muestra el comportamiento de los desplazamientos de la coordenada Este ante la precipitación en cada monitoreo, en donde se puede observar un incremento de movimiento y su susceptibilidad al movimiento en el periodo correspondiente al 21 de Enero del 2017, el cual presento una precipitación acumulada diaria de 55.1mm en donde los puntos críticos T2, T6, T7, T8 alcanzaron movimientos superiores a los 1.50 metros. El siguiente periodo significativo se generó en el sexto y séptimo monitoreo.

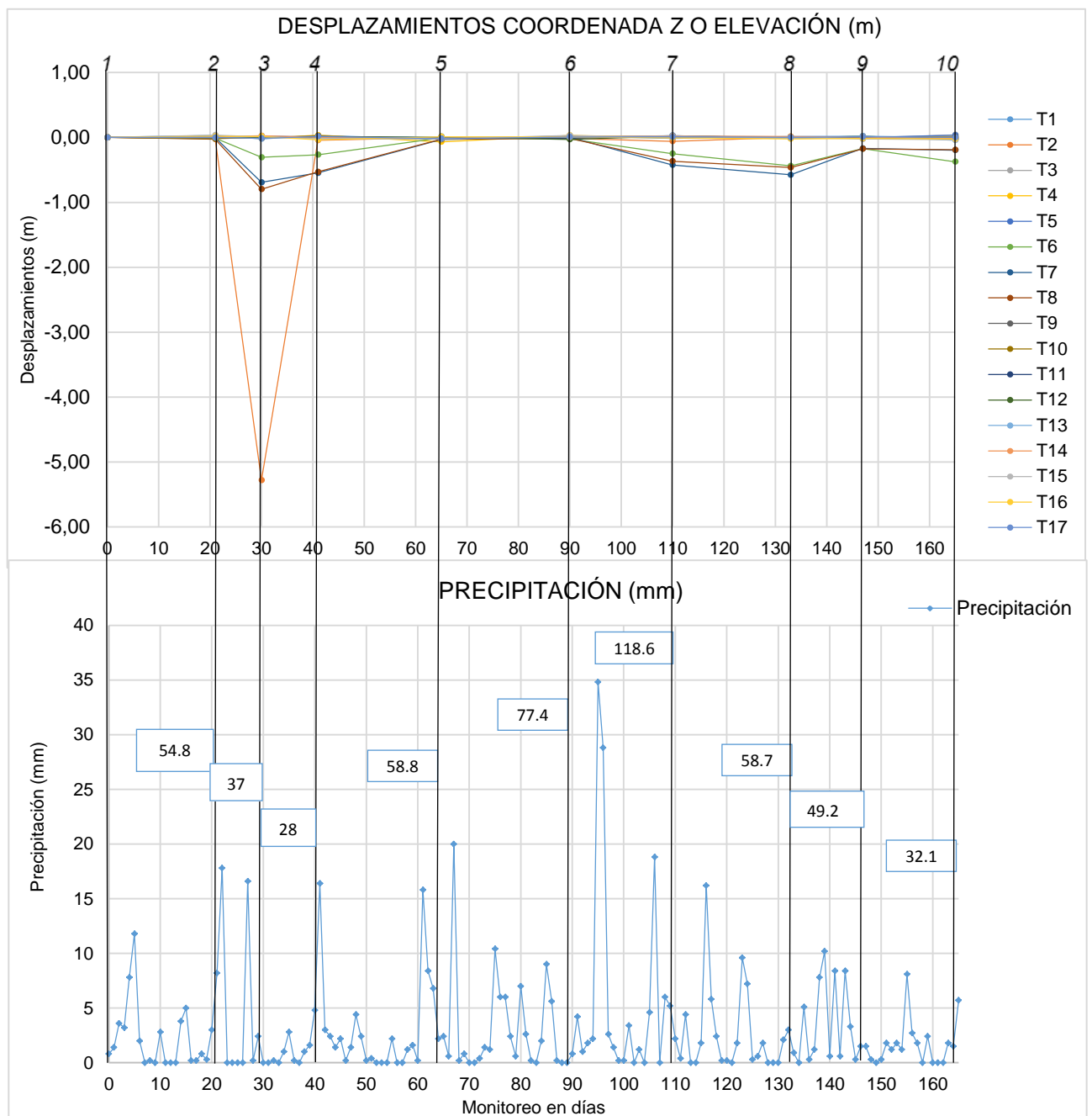


Figura 11. Desplazamientos vs precipitación coordenada Z o elevación
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

En la Figura 11 se muestra el comportamiento de los desplazamientos de la coordenada z o elevación versus la precipitación, de igual manera se muestra un incremento de deslizamientos en el tercer periodo y seguidamente a partir del sexto monitoreo.

En la Figura 12 se puede observar el comportamiento de los desplazamientos de la coordenada Norte y su precipitación diaria.

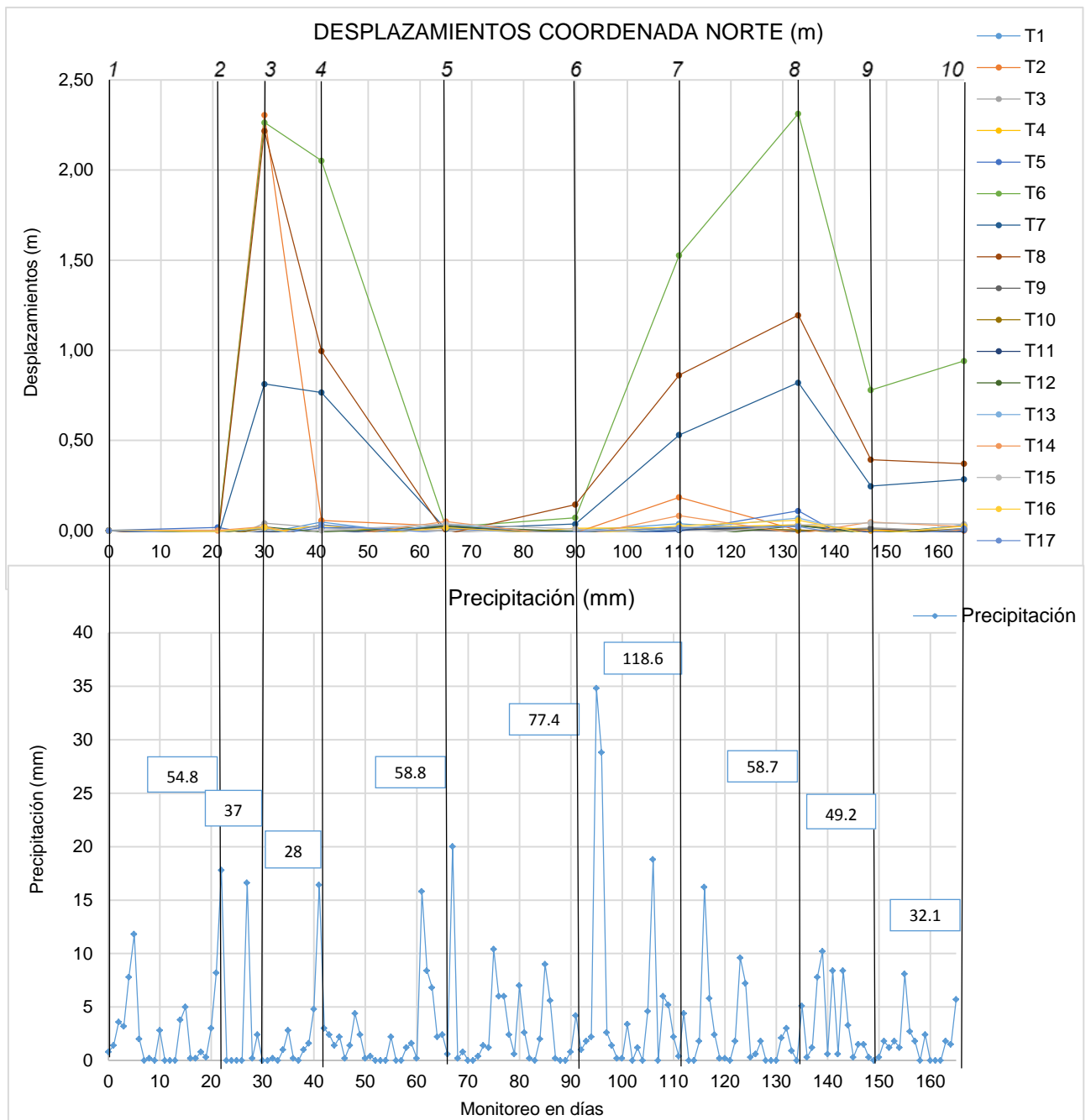


Figura 12. Desplazamientos vs precipitación coordenada Norte
 Fuente: El autor
 Elaboración: El autor

CONCLUSIONES

Según el estudio geotécnico realizado mediante la clasificación SUCS se determinó que la zona de estudio se encuentra conformada de arena arcillosa en la corona y arcilla orgánica de alta plasticidad en el pie del talud, en donde se presentan valores promedios de cohesión de 0.34 kg/cm^2 y 0.39 kg/cm^2 y ángulos de fricción 20.3° y 37.6° respectivamente.

Las arcillas poseen características alta plasticidad lo cual es una de las razones por lo que el aumento de la presión tiene un efecto en las partículas, dando lugar a fuerzas de atracción debido a la tensión superficial del agua, de esta manera facilita el movimiento de las partículas en la ladera, se los considera suelos expansivos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la zona de estudio se determinó que se presenta un deslizamiento de tipo rotacional activo cubriendo una área de 5 hectáreas, en donde se presentan evidencias de grietas y escarpes de gran magnitud.

El monitoreo con el equipo GPS Trimble R6 en el modo "*Fast Static*", es un método que presenta una precisión milimétrica confiable para medir desplazamientos, evidenciando con los datos obtenidos una correlación correcta de los mismos, con una línea base de 5km con respecto a la estación base implantada en la UTPL correspondiente a la red SIRGAS, con un tiempo de permanencia del equipo móvil en cada punto de la red de control de 6 minutos, siendo esta una metodología eficiente para el control de áreas susceptibles a deslizamientos.

Los desplazamientos de mayor magnitud ocurrieron en cuatro puntos críticos correspondientes a T2, T6, T7 Y T8 en todas las coordenadas. Siendo en la coordenada Norte el punto con más deslizamiento el punto T8 con un desplazamiento de 13.46m, en la coordenada Este el punto T6 con un deslizamiento de 9.94m y en la coordenada z el punto T2 con un movimiento descendente de -5.41m.

Los deslizamientos más significativos corresponden a las épocas en donde se presentan mayores precipitaciones diarias entre periodos, siendo éste el factor directo que afecta a la inestabilidad de la zona, el cual ocurre en el sexto y séptimo monitoreo en donde se presentan precipitaciones acumuladas de 119mm, valor de gran magnitud que puede generar grandes movimientos. De igual forma la precipitación media mensual se halla entre 190.88 mm/mes que constituye el factor activador del movimiento.

Este análisis es un aporte de información técnica para la ciudad de Loja en donde se muestran valores reales de movimientos y su relación directa con la precipitación en área de estudio según el tipo de suelo del mismo, de esta manera permite la reducción de la vulnerabilidad y una prevención temprana de desastres por deslizamientos de masas.

RECOMENDACIONES

Con dicho análisis en el Barrio “San José de Panamá” en la ciudad de Loja se debe tomar en cuenta que la zona presenta deslizamientos en estado activo, por tanto se puede considerar una zona de riesgo para asentamientos de la población, en donde no es posible realizar algún tipo de edificación.

De la misma manera es recomendable implantar un sistema que permita conocer las velocidades de desplazamientos estimadas para poder predecir posibles futuros daños catastróficos, y así tomar las precauciones necesarias para controlar o reducir estos deslizamientos, y evitar más daños a infraestructuras.

Se recomienda realizar limpiezas en la vía para evitar acumulación de material deslizado, el cual representa peligros en el tránsito de vehículos, siendo otro factor de impacto para la población.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A. L. (2011). Estudio e implementación de un modelo para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocha, 1–153. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/739>
- Almagro Gorbea, A., & López Hernández, G. (2010). Sistemas topográficos para mediciones en arquitectura, 1–39. Recuperado de: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/29543/1/ManualCALCO.pdf>
- Aristizábal, E., González, T., Montoya, J. D., Vélez, J. I., Martínez, H., & Guerra, A. (2011). Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el Valle de Aburrá, Colombia, 95–111. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n15/n15a09.pdf>
- Ávila, K. (2012). Análisis del comportamiento de eventos extremos de precipitación en la zona Centro y Sur de Chile Continental. Recuperado de: http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/31769/1/masteraigua_1112_KarlaAvila.pdf
- Bellone, T., Dabove, P., Manzano, A. M., & Taglioretti, C. (2016). Real-time monitoring for fast deformations using GNSS low-cost receivers, 5705. Recuperado de: <http://doi.org/10.1080/19475705.2014.966867>. Taylor & Francis.
- Campos Puebla, J. (2013). Diseño innovador de sensor para laderas que para obtener el título de : Ingeniero Mecatrónico presenta : Juan José Campos Puebla.
- Castillo Cevallos, J. (2008). Análisis temporal y espacial del deslizamiento Reinaldo Espinosa utilizando instrumental electrónico (piezómetro, inclinómetro). Tesis de Grado. Escuela de Geología y Minas. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Chinchilla, R. (1992). Fundamentos Sobre Deslizamientos. *Transportation Research*. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf15.pdf>
- Corominas, J. (2006). el clima y sus consecuencias sobre la actividad de los movimientos de ladera en España, 89–113. Recuperado de: http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol20_3_4/Corominas.pdf

- Corominas, J. (2009). Tipos de rotura en laderas y taludes, (1989), 1–17. Recuperado de: <http://www2.etcg.upc.edu/asg/Talussos/pdfs/ClasificacionDeslizamientos.pdf>
- Deloach, B. S. R. (1989). Continuous deformation monitoring with GPSa. *Manager*, 115(1), 93–110. ASCE.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., Casagli, N., Farina, P., & Young, B. (2005). Permanent Scatterers technology: a powerful state of the art tool for historic and future monitoring of landslides and other terrain instability phenomena. International Conference on Landslide Risk Management, 18th Annual Vancouver Geotechnical Society Symposium, 1–9. Recuperado de: http://treuropa.com/uploads/2005_Permanent_Scatterers_technology_powerful_state_of_the_art_tool_for_historic_and_future_monitoring_landslides.pdf
- Gili, J. (2003). Instrumentación Para Control De Movimientos De Ladera : Sistema Gps Y Otros. Operatividad De La Instrumentación En Aguas Subterráneas, Suelos Contaminados Y Riesgos Geológicos, 246. Madrid. Recuperado de: http://www.igme.es/igme/publica/libros2_TH/lib106/pdf/lib106/in_7b.pdf
- González, J. (2010). Monitorización de deslizamientos de ladera mediante estación total y gps diferencial. aplicación al deslizamiento del km. 35+000 de la vía Loja-Cuenca (Ecuador). Máster Oficial en Ingeniería. Universidad de Granada-España.
- Irigaray, C., & Palenzuela, J. . (2013). Análisis de la actividad de movimientos de ladera mediante láser escáner terrestre en el suroeste de la Cordillera Bética, (January). ResearchGate.
- Matteis, Á. F. de. (2003). Geología y Geotecnia Tema: Estabilidad de taludes. Recuperado de: <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>
- Mendonza López, M. J., Domínguez Morales, L., Noriega Rioja, I., & Guevara Ortiz, E. (2002). Monitoreo de Laderas con Fines de Evaluación y Alertamiento. México, p. 77. Recuperado de: http://srala.org/wp-content/uploads/2015/11/MonitoreoLaderasEvaluacionAlertamiento_CENAPRED_Mexico2002.pdf
- Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos. (2015). Ecuador. Mapa geológico de Loja.

- Navarro Vidal, J. (2012). Susceptibilidad Y Amenaza De Movimientos De Ladera Mediante S.I.G. En El Municipio De Berlín, El Salvador. Recuperado de: http://eprints.ucm.es/19876/1/TFM_JNV_FINALCUT.pdf. Universidad Complutense de Madrid.
- Obando, T. (2009). Sistemas de Monitoreo y control de la Estabilidad de Taludes Rocosos y Suelos, 9. Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/sistemas-control-taludes-rocosos-suelos/sistemas-control-taludes-rocosos-suelos.pdf>. Universidad de Andalucía-España.
- Oliva, A. (2015). Instrumentación y control de taludes y laderas. Recuperado de: http://www.academia.edu/12130540/Instrumentaci%C3%B3n_y_control_de_taludes_y_laderas
- R. Tomás, J., Delgado, J., & López, S. (2005). Técnicas de ingeniería cartográfica empleadas en estructuras características y análisis comparativo, 3(1). Recuperado de: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/21684/1/T5.pdf>
- Savvaïdis, P. (2003). Existing landslide monitoring systems and techniques. From Stars to Earth and Culture, 242–258. Recuperado de: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Existing+Landslide+Monitoring+Systems+and+Techniques#0>
- Suárez Díaz, J. (2002). Lluvias, Presión de Poros y sus Efectos, 233–274. Libro deslizamientos. Capitulo 6 Efecto del Agua.
- Tamay Granda, J. (2010). Mapa geológico preliminar de la hoya de Loja. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Tambo, W. S. (2011). Estudio del peligro de deslizamiento del norte de la ciudad de L0oja, Provincia de Loja. Ecuador. Recuperado de: <http://www.minedu.gob.pe/normatividad/reglamentos/ROFHuascaran.php>
- Uhlemann, S., Smith, A., Chambers, J., Dixon, N., Dijkstra, T., Haslam, E., ... Mackay, J. (2016). Assessment of ground-based monitoring techniques applied to landslide investigations. *Geomorphology*, 253, 438–451. Recuperado de: <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.027>
- Vallejo, D. (2002). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente de Rules, Granada, 15–27. Recuperado de:

https://ontergisblog.files.wordpress.com/2017/04/dea_j-jimenez.pdf

Vila Ortega, J. J., Jiménez Cleves, G., & Garzón Barrero, J. (2012). Monitoreo y Control Topográfico de Obras. Facultad de Ingeniería. Universidad del Quindío.

ANEXOS

DAÑOS GENERADOS POR LOS DESLIZAMIENTOS

PARTE INFERIOR DEL TALUD

Antes



Después



PARTE SUPERIOR DEL TALUD

Antes



Después



PARTE SUPERIOR DEL TALUD

Antes



Después





UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE LA RED DE CONTROL

