



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Variación temporal y espacial del contenido de humedad como factor desencadenante a un movimiento de masa.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Pucha Aguinsaca, Pablo Andrés

DIRECTOR: Zárate Torres, Belizario Amador, M.Sc

LOJA-ECUADOR

2016



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>

2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

M.Sc

Belizario Amador Zárate Torres

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **“Variación temporal y espacial del contenido de humedad como factor desencadenante a un movimiento de masa”**, realizado por **Pablo Andrés Pucha Aguinaca**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, agosto de 2016

f).....

M.Sc Belizario Amador Zárate Torres

DIRECTOR DE TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, **Pucha Aguinaca Pablo Andrés** declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Variación temporal y espacial del contenido de humedad como factor desencadenante a un movimiento de masa, 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: Pucha Aguinaca Pablo Andrés

Cédula: 1104678915

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor, por los ejemplos de perseverancia y constancia que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante, su sacrificio y apoyo incondicional en toda mi vida académica, ya que sin su guía no hubiera sido posible culminar uno de mis sueños más preciados.

A mis queridas hermanas, por ser mi gran compañía, por su cariño y cuidado; han sabido brindarme su apoyo moral, confianza y cariño sincero para conseguir mis metas.

A todos mis amigos y amigas por creer y confiar en mí, en ofrecerme su amistad y compañerismo que siempre han estado a mi lado animándome.

Pablo Andrés Pucha Aguiñaca

AGRADECIMIENTO

A mi director de proyecto de fin de titulación Belizario Zárate, M.Sc le expreso mis sinceros sentimientos de respeto y admiración, por su generoso asesoramiento y colaboración para la culminación del presente proyecto.

A mis queridos padres, Segundo y Olivia, por brindarme absoluta confianza en mis decisiones, por darme una buena educación, por enseñarme que con responsabilidad y perseverancia todo se puede alcanzar. Con su esfuerzo, amor y sacrificio supieron guiarme y apoyarme en todos los momentos de mi vida, siendo mi ejemplo de principios y valores morales.

A mis queridas hermanas, Sandra, Ximena y Karina, por ser mi apoyo en los malos momentos y en todas las actividades realizadas en mi carrera.

A mis queridos abuelitos quienes me supieron guiar y apoyar incondicionalmente desde mi infancia.

A toda mi familia que siempre ha sido lo más importante en mi vida.

A todos los profesores, que durante estos 5 años de carrera me dieron todas las herramientas para ser un gran profesional.

A mis compañeros, amigos y a quienes directa o indirectamente me ayudaron a culminar mi investigación.

Pablo Andrés Pucha Aguiñaca

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------------|
| 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 TABLAS..... | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | x |
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| CAPÍTULO I..... | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 6 |
| 1.1 Introducción..... | 7 |
| 1.2 Ladera..... | 8 |
| 1.2.1 Tipos de Ladera..... | 8 |
| 1.3 Deslizamientos de Ladera..... | 8 |
| 1.4 Nomenclatura de las partes de un deslizamiento..... | 9 |
| 1.5 Clasificación de los movimientos de ladera..... | 11 |
| 1.6 Causas de los movimientos de ladera (masa)..... | 12 |
| 1.6.1 Factores desencadenantes (Activación del movimiento)..... | 13 |
| 1.6.2 Factores condicionantes..... | 13 |
| 1.7 Relación entre los movimientos de ladera y el clima..... | 15 |
| 1.8 La Precipitación en los movimientos de masa..... | 15 |
| 1.8.1 Relación entre el flujo de agua dentro del deslizamiento y la rotura..... | 16 |
| 1.8.2 Deslizamientos relacionados con aguas subterráneas..... | 17 |
| 1.9 Saturación del suelo..... | 17 |
| 1.9.1 Flujo saturado..... | 17 |
| 1.9.2 La presión de poros..... | 17 |
| 1.9.3 Deslizamientos inmediatos por saturación..... | 17 |
| 1.9.4 Formación de corrientes de agua a lo largo de superficies internas..... | 17 |
| 1.10 La Humedad del Suelo..... | 18 |
| 1.11 Variación del contenido de humedad del suelo..... | 18 |
| 1.11.1 Variación espacio temporal del contenido de humedad del suelo en movimientos de ladera..... | 18 |
| 1.11.2 Topografía..... | 20 |
| 1.11.3 Propiedades del Suelo..... | 20 |
| 1.11.3.1 Arcillas..... | 20 |
| 1.11.3.2 Plasticidad en las arcillas..... | 21 |
| 1.11.4 Vegetación..... | 21 |
| CAPÍTULO II..... | 23 |
| ÁREA DE ESTUDIO | 23 |
| 2.1 Localización de la zona de estudio (Ubicación Geográfica)..... | 24 |
| 2.2 Topografía..... | 25 |
| 2.3 Hidrografía..... | 26 |
| 2.4 Clima..... | 27 |
| 2.5 Vegetación..... | 28 |
| 2.6 Geología..... | 28 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO III..... | 30 |
| DATOS/EQUIPOS..... | 30 |
| 3.1 Reconocimiento e Identificación de la zona de estudio..... | 31 |
| 3.1.1 Dron - Phantom 2..... | 31 |
| 3.2 Levantamiento topográfico..... | 32 |
| 3.2.1 GPS doble frecuencia Trimble R6..... | 32 |
| 3.2.2 Receptor Trimble R6 L2C..... | 32 |
| 3.2.3 Controlador TSC2 Trimble..... | 32 |
| 3.3 Ubicación de los pozos de prueba..... | 33 |
| 3.3.1 GPS Explorist 600 Magellan..... | 33 |
| 3.4 Perforación de los pozos de prueba y colocación de tubos de acceso..... | 34 |
| 3.5 Medición de la Humedad (Extracción de muestras)..... | 34 |
| 3.6 Clasificación del Suelo..... | 35 |
| 3.7 Determinación de la Precipitación..... | 35 |
| 3.7.1 Registros Pluviométricos (INAMHI)..... | 35 |
| 3.7.2 Pluviómetro Digital - Estación climática WS-2095 Ambient Weather..... | 36 |
| 3.8 Procesamiento y análisis de información obtenida..... | 39 |
| 3.8.1 AutoCAD Civil 3D (versión estudiantil)..... | 39 |
| 3.8.2 Sistema de Información Geográfica (SIG)..... | 39 |
| CAPÍTULO IV..... | 40 |
| METODOLOGÍA..... | 40 |
| 4.1 Diseño de Investigación..... | 41 |
| 4.2 Reconocimiento e Identificación del sitio..... | 41 |
| 4.2.1 Evaluación visual de la infraestructura afectada por los movimientos de masa..... | 43 |
| 4.3 Levantamiento topográfico..... | 44 |
| 4.4 Ubicación de la Red de Pozos de Muestreo..... | 44 |
| 4.5 Perforación para los pozos de muestreo..... | 45 |
| 4.5.1 Tubos de acceso..... | 48 |
| 4.6 Medición de la Humedad del Suelo (Diseño Experimental)..... | 49 |
| 4.6.1 Método Gravimétrico (Secado al Horno)..... | 49 |
| 4.6.2 Clasificación del Suelo..... | 51 |
| 4.7 Análisis de Precipitación en la zona de estudio..... | 54 |
| 4.8 Procesamiento de la información obtenida..... | 56 |
| 4.8.1 Procesamiento de muestreos de humedad..... | 57 |
| 4.8.2 Modelación de datos obtenidos..... | 58 |
| 4.8.2.1 <i>Modelo Digital del Terreno (MDT)</i> | 59 |
| 4.8.2.2 <i>Modelo Digital de Elevaciones (MDE)</i> | 59 |
| 4.8.2.3 <i>Mapa de Pendientes</i> | 60 |
| 4.8.2.4 <i>Mapa de Distribución espacial de pozos de prueba</i> | 61 |
| 4.9 Generación de Modelos Digitales de Humedad (Mapas de Variación de Humedad)..... | 62 |
| 4.9.1 Kriging..... | 62 |
| 4.9.1.1 <i>Kriging Simple</i> | 63 |
| 4.9.1.2 <i>Kriging Universal</i> | 63 |
| 4.9.1.3 <i>Kriging Ordinario</i> | 63 |
| RESULTADOS..... | 69 |
| DISCUSIÓN..... | 88 |
| CONCLUSIONES..... | 90 |
| RECOMENDACIONES..... | 91 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 92 |
| ANEXOS..... | 97 |
| A.1. Resultados de ensayos de clasificación de Suelos..... | 98 |

| | |
|--|-----|
| A.2. Resultados de Ensayos de contenido de humedad. | 110 |
| A.3. Análisis de resultados de arcillas de baja, media y alta plasticidad. | 116 |
| A.4. Análisis de resultados de pendientes con arcillas de baja, media y alta plasticidad. | 120 |
| A.5. Fotografías del deterioro de la vía que se encuentra limitando la zona de estudio. | 126 |
| A.6. Plano Topográfico de la zona de estudio. | 126 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Nomenclatura y definición de las partes de un movimiento de ladera. | 10 |
| Tabla 2. Tipos de Movimiento de ladera, Clasificación general. | 12 |
| Tabla 3. Factores que influyen en la inestabilidad de una ladera. | 14 |
| Tabla 4. Clasificación utilizada para identificar el tipo de relieve de la zona de estudio..... | 25 |
| Tabla 5. Especificaciones del Dron. | 31 |
| Tabla 6. Infraestructuras afectas por los movimientos de masa. | 43 |
| Tabla 7. Coordenadas de Pozos de muestreo del sitio del proyecto. | 44 |
| Tabla 8. Profundidades de Pozos de muestreo..... | 47 |
| Tabla 9. Fechas de muestreos de humedad en el año 2016..... | 51 |
| Tabla 10. Clasificación S.U.C.S..... | 53 |
| Tabla 11. Precipitación diaria de todos los meses de evaluación..... | 54 |
| Tabla 12. Precipitación acumulada hasta cada uno de los muestreos (mm)..... | 56 |
| Tabla 13. Precipitación acumulada de 5 y 20 días hasta cada uno de los períodos de muestreo (mm) | 56 |
| Tabla 14. Características de la zona de estudio..... | 57 |
| Tabla 15. Resumen del número de mediciones de humedad en la zona de estudio. | 57 |
| Tabla 16. Porcentajes de humedad obtenidos en cada muestreo. | 58 |
| Tabla 17. Análisis estadístico básico de la variabilidad de la humedad..... | 58 |
| Tabla 18. Variación de la Precipitación acumulada de 5 días (mm). | 69 |
| Tabla 19. Variación de la Precipitación acumulada de 20 días (mm). | 69 |
| Tabla 20. Variación de Humedad entre el Período 1 y 2. | 70 |
| Tabla 21. Variación de Humedad entre el Período 2 y 3. | 71 |
| Tabla 22. Variación de Humedad entre el Período 3 y 4. | 72 |
| Tabla 23. Variación de Humedad entre el Período 4 y 5. | 73 |
| Tabla 24. Variación de Humedad entre el Período 5 y 6. | 74 |
| Tabla 25. Variables Analizadas..... | 80 |
| Tabla 26. Resumen de Resultados 1. | 84 |
| Tabla 27. Resumen de Resultados 2. | 84 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Tipos de ladera..... | 8 |
| Figura 2. Esquema de un deslizamiento rotacional y partes del mismo..... | 9 |
| Figura 3. Clasificación de los Movimientos de Ladera..... | 11 |
| Figura 4. Ubicación geográfica de la zona de estudio..... | 24 |
| Figura 5. Modelo Digital del terreno (topografía) de la zona de estudio..... | 26 |
| Figura 6. Red fluvial del área urbana de Loja..... | 27 |
| Figura 7. Vegetación del área de estudio..... | 28 |
| Figura 8. Ubicación de la zona de estudio en el mapa geológico de Loja..... | 29 |
| Figura 9. Dron Phantom 2..... | 31 |
| Figura 10. Receptor Trimble R6 (Móvil)..... | 32 |
| Figura 11. Controladora TSC2 Trimble..... | 33 |
| Figura 12. Tubos de acceso..... | 34 |
| Figura 13. Precipitaciones del mes de Enero al mes de Abril..... | 36 |
| Figura 14. Estación Pluviométrica Digital..... | 37 |
| Figura 15. Pluviómetro Digital..... | 37 |
| Figura 16. Consola Digital..... | 37 |
| Figura 17. Software Easyweather para procesamiento de precipitación..... | 38 |
| Figura 18. Precipitación del mes de Mayo a Junio..... | 38 |
| Figura 19. Reconocimiento de la zona de estudio..... | 41 |
| Figura 20. Reconocimiento de la zona de estudio con fotografías aéreas..... | 42 |
| Figura 21. Reconocimiento de la zona de estudio con dron..... | 42 |
| Figura 22. Mapa de distribución espacial de pozos..... | 45 |
| Figura 23. Herramientas de mano: (a) posteadora, (b) barrena helicoidal..... | 46 |
| Figura 24. Perforación para pozos de muestreo..... | 46 |
| Figura 25. Extracción de muestras para el caso de estudio..... | 47 |
| Figura 26. Instalación de tubos de acceso..... | 48 |
| Figura 27. Tubos de acceso..... | 48 |
| Figura 28. Muestras para determinación de la humedad..... | 49 |
| Figura 29. Muestras para humedad del suelo secadas en horno..... | 50 |
| Figura 30. Obtención de los pesos de cada muestreo..... | 50 |
| Figura 31. Realización de límites de Atterberg..... | 52 |
| Figura 32. Carta de Plasticidad con los resultados de cada pozo de prueba..... | 53 |
| Figura 33. Precipitación diaria de los meses de evaluación..... | 55 |
| Figura 34. Modelo digital de elevaciones de la zona de estudio..... | 60 |
| Figura 35. Mapa de Pendientes del sitio de evaluación..... | 61 |
| Figura 36. Ingreso de datos preliminares para la predicción Kriging..... | 64 |
| Figura 37. Ingreso de datos de humedad en cada pozo de prueba..... | 65 |
| Figura 38. Variables estadísticas determinadas para el método de interpolación..... | 65 |
| Figura 39. Opción Kriging Ordinario con sus características..... | 66 |
| Figura 40. Semivariograma con cada uno de sus parámetros..... | 66 |
| Figura 41. Parámetros de vecindad del modelo de predicción..... | 67 |
| Figura 42. Validación del método..... | 67 |
| Figura 43. Generación del Mapa rectangular de Kriging Ordinario..... | 68 |
| Figura 44. Mapa de variación de humedad (Período 1)..... | 75 |
| Figura 45. Mapa de variación de humedad (Período 2)..... | 75 |

| | |
|--|-----|
| Figura 46. Mapa de variación de humedad (Período 3). | 76 |
| Figura 47. Mapa de variación de humedad (Período 4). | 76 |
| Figura 48. Mapa de variación de humedad (Período 5). | 77 |
| Figura 49. Mapa de variación de humedad (Período 6). | 77 |
| Figura 50. Variación temporal de la humedad en los pozos de prueba 1,2,3. | 78 |
| Figura 51. Variación temporal de la humedad en los pozos de prueba 4,5,6. | 78 |
| Figura 52. Variación temporal de la humedad en los pozos de prueba 7,8,9. | 79 |
| Figura 53. Variación temporal de la humedad en los pozos de prueba 10,11,12. | 79 |
| Figura 54. Variación de la humedad en los pozos de prueba (Período 1-6)..... | 86 |
| Figura 55. Variación temporal de la humedad en cada pozo..... | 86 |
| Figura 56. Variación espacio temporal de la humedad en los pozos de prueba..... | 87 |
| Figura 57. Arcillas de Baja Plasticidad con variación de humedad (1-2;3-4). | 116 |
| Figura 58. Arcillas de Plasticidad Media con variación de humedad (1-2;3-4)..... | 117 |
| Figura 59. Arcillas de Alta Plasticidad con variación de humedad (1-2;3-4). | 117 |
| Figura 60. Arcillas de Baja plasticidad con variación de humedad (5-6)..... | 118 |
| Figura 61. Arcillas de Plasticidad Media con variación de humedad (4-5;5-6)..... | 119 |
| Figura 62. Arcillas de Alta Plasticidad con variación de humedad (2-3;4-5;5-6). | 119 |
| Figura 63. Pendiente Rango 1-Áreas llanas (1-2). | 120 |
| Figura 64. Pendiente Rango 1-Áreas llanas (1-2). | 121 |
| Figura 65. Pendiente Rango 1-Áreas llanas (3-4). | 122 |
| Figura 66. Pendiente Rango 3 (1-2)..... | 122 |
| Figura 67. Pendiente Rango 3 (3-4)..... | 123 |
| Figura 68. Pendiente Rango 1 (2-3;4-5)..... | 124 |
| Figura 69. Pendiente Rango 1 (5-6)..... | 124 |
| Figura 70. Pendiente Rango 3 (5-6)..... | 125 |
| Figura 71. Hundimientos en vía que limita la zona de estudio..... | 126 |
| Figura 72. Abultamientos en vía. | 126 |
| Figura 73. Movimientos de masa por procesos de variación de humedad. | 126 |

RESUMEN

La finalidad de esta investigación fue determinar la variación espacio temporal de la humedad del suelo y su efecto en la ocurrencia de los movimientos de masa o deslizamientos de ladera en el Sector Sur Occidente de la ciudad de Loja.

Se estableció una red de pozos de prueba dispuestos espacialmente en la zona de estudio para obtener la clasificación del suelo y la distribución de humedades en el tiempo de evaluación (Febrero-Junio del 2016). Se generaron modelos digitales y mapas de variación de humedad del sitio, mediante técnicas geoestadísticas de predicción kriging, para observar y analizar las características principales de la variación de humedad generada.

En esta investigación se determinó que la mayor parte del sitio se encuentra gobernado por suelos arcillosos y limos a diferentes profundidades. Los suelos arcillosos presentaron mayor capacidad de conectividad con la retención de agua proveniente de precipitaciones constantes, obtenido de la variación de humedad analizada. A mayor plasticidad se tiene que acumulan más agua, lo que podría desencadenar los deslizamientos. La investigación no considera todos los factores que podrían estar ocasionando estos movimientos, al ser una investigación específica.

PALABRAS CLAVES: Movimientos de masa, humedad, temporal, espacial, precipitación, suelo, topografía, kriging.

ABSTRACT

The aim of this research was to determine the temporal variation space soil moisture and its effect on the occurrence of mass movements or landslides in the South West Sector of the city of Loja.

Networks of test wells were established spatially arranged in the study area for soil classification and distribution of moisture in the evaluation time (February-June 2016). Digital models and maps moisture variation site, using geostatistical techniques of prediction kriging, to observe and analyze the main features of the variation of humidity generated.

In this investigation it was determined that most of the site is governed by clay soils and silts at different depths. Clayey soils had higher capacity retention connectivity with water from rainfall constant, obtained from the humidity variation analyzed. A greater plasticity has to accumulate more water, which could trigger landslides. The research does not consider all the factors that could be causing these movements, being a specific investigation.

KEYWORDS: landslides, humidity, temporal, spatial, precipitation, soil, topography, kriging.

INTRODUCCIÓN

La dinámica de nuestro planeta que se presenta a lo largo del tiempo trae consigo diferentes cambios en la estructura de los suelos de manera superficial como interna. Los fenómenos geológicos que se dan en este ámbito pueden dar grandes riesgos a los seres humanos que se encuentran en los sitios donde se suscitan (Echavarría, 1995).

Los movimientos de masa se encuentran dentro de estos fenómenos, los cuales implican procesos continuos de evolución del suelo, ocasionando eventos catastróficos de gran impacto en todo el mundo relacionados con grandes pérdidas económicas y miles de muertes humanas, sin embargo muy pocas personas son conscientes de su importancia. Estos fenómenos son el tercer riesgo natural por el número de víctimas, después de los terremotos y las inundaciones (Ayala, 2002).

Según Ayala (2002) la catástrofe natural ocasionada por movimientos de ladera con un mayor número de víctimas se produjo en 1920 en Kansú (Haiyuan, China), donde un deslizamiento provocó la muerte de unas 100.000 personas.

Los movimientos de masa son definidos como movimientos o desplazamientos gravitacionales de masas (terreno) de suelo y roca descendentes de laderas (escarpes) y taludes (Varnes, 1978; Echavarría, 1995; Corominas y García Yagüe, 1997). Para que exista un movimiento de masa es necesaria la presencia de un conjunto de factores que ocasionan la inestabilidad de suelo en el transcurso del tiempo.

Copons y Tallada (2009) en su investigación sobre movimientos de ladera indican que existen factores intrínsecos, externos y desencadenantes. Entre los intrínsecos se encuentran los existentes en la propia ladera como son las características del substrato geológico y la pendiente.

Entre los factores externos se encuentran la climatología, la densidad de vegetación y los usos del suelo por parte del ser humano (deforestación desmedida). Finalmente los factores desencadenantes son aquellos encargados de activar o detonar finalmente el movimiento de masa. Existen diferentes factores desencadenantes, pero los más relevantes son las condiciones meteorológicas como el caso del agua (precipitación y humedad), los terremotos, los procesos erosivos y las acciones antrópicas (Copons y Tallada, 2009).

Esta investigación se centra en la precipitación y la variación de humedad (agua) como factores desencadenantes de los movimientos de masa en relación al tipo de suelo y la topografía de la zona de estudio.

En el estudio de estos movimientos complejos, el comportamiento de suelos de alta plasticidad expansivos sometidos a altas presiones de poros de agua se considera importante al momento de la ocurrencia de los movimientos de masa.

Los suelos de estas características experimentan hinchazón y contracción periódica durante los períodos húmedos y secos alternativos. Tales movimientos de contracción e hinchamiento cíclicos pueden ser considerados críticos en la estabilidad de un talud natural. El contenido de humedad se puede considerar como un mecanismo de disparo de deslizamientos de tierra en las laderas compuestas de materiales expansivos de alta plasticidad (Azañón *et al.*, 2010; Yilmaz y Karacan, 2002).

A causa de las características geológicas, geográficas y climáticas del Ecuador con relación a la morfología, sismicidad, fenómeno del niño, tipo de material y precipitación, los movimientos de masa siempre han existido en nuestro país.

En los últimos años la destrucción y deterioro de viviendas e infraestructuras viales por movimientos de masa han sido de particular importancia, generando impactos negativos en el ámbito socio-económico en Ecuador como en otras partes del mundo.

Entre las diferentes zonas del país que de manera recurrente suelen ser afectadas por la inestabilidad de laderas debido a la precipitación y el comportamiento que se da internamente en los suelos se encuentra la región Sierra y Oriente.

A nivel mundial, la relación de la lluvia con los deslizamientos se ha investigado desde varios puntos de vista y su incidencia en los movimientos de masa es notable; sin embargo, aún existen vacíos sobre el entendimiento de esta relación problemática (Crozier, 2010).

La precipitación, la humedad y el agua subterránea constituyen factores importantes en la mayor parte de los procesos de movimientos de masa; los tipos de movimiento en masa están controlados por el modo cómo se encuentra y circula el agua en el suelo, conjuntamente con otros factores antrópicos y naturales (Salazar, 2011). Por esta razón este estudio consistió en el análisis de la variabilidad de humedad en relación a la precipitación, que conjuntamente desencadenan estos movimientos.

Dada la importancia que cada día adquieren y las amenazas que normalmente ocasionan los movimientos en masa en los suelos donde las condiciones de topografía y las lluvias fuertes los hacen más susceptibles, es necesario conocer los mecanismos de inicio de estos eventos, con el fin de contribuir a su comprensión y mitigación.

Mediante el presente proyecto se determinó la variación espacial y temporal del contenido de humedad del suelo en un movimiento de masa y su relación con la precipitación que se

suscitó en el área escogida de estudio, caracterizando el tipo de suelo y la topografía (pendiente).

Para el análisis de la variabilidad de la humedad se determinó la precipitación del sitio, mediante registros pluviométricos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y empleando una estación climática WS-2095 Ambient Weather (Pluviómetro digital). La variación espacio temporal de la humedad depende de algunas variables como: la precipitación, topografía del sitio, tipo de suelo, profundidad, como se mencionó anteriormente. Todo este conjunto de factores influyen a la ocurrencia de los deslizamientos.

Para desarrollar los objetivos propuestos en esta investigación primeramente se definió la zona de estudio, realizando un reconocimiento al sitio afectado. Se realizó el levantamiento topográfico para analizar la zona de estudio en cuanto a pendientes, elevaciones y curvaturas del suelo. Con la topografía procesada se realizó el diseño experimental para establecer la variación espacial y temporal del contenido de humedad del suelo en un movimiento de ladera. Se utilizó un registro de los días en que se tomaron las muestras según las precipitaciones que se dieron en el tiempo de evaluación. La recolección de datos de campo y trabajo en laboratorio se basó en tomar muestras de suelo para determinar su contenido de humedad mediante el método gravimétrico.

Para alcanzar el principal objetivo se estableció una red de puntos dispuestos espacialmente en la zona de estudio con el fin de medir la humedad espacio-temporal a diferentes profundidades. La determinación del contenido de humedad consistió en la toma de muestras representativas para cada uno de los puntos de muestreo cuya humedad se ha obtenido en laboratorio para su análisis.

Se generaron mapas de predicción Kriging en un S.I.G de las humedades obtenidas en cada período de análisis para indicar el cambio del contenido de humedad del suelo en relación al tiempo, demostrando de esta manera que la variación del contenido de humedad espacial y temporal conjuntamente con la precipitación, topografía, tipo de suelo y profundidad, influyen en la activación de los movimientos de ladera ya que que producen la inminente saturación del suelo y ocasionan la disminución de su resistencia provocando su deslizamiento.

La presente investigación contribuye al conocimiento de los procesos de falla con técnicas in situ y procesamiento en laboratorio, con miras en la variación de la humedad espacial y temporal. Se implementa esta metodología con el fin de entender uno de los procesos que podrían estar ocasionando los movimientos de masa.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción.

Los procesos geológicos y climáticos que afectan a la superficie terrestre crean el relieve y definen la morfología de las laderas que va modificándose a lo largo del tiempo, razón por la cual las laderas adoptan pendientes naturales cercanas al equilibrio.

Los movimientos de masa pueden entenderse como los ajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones (González *et al.*, 2002). Estos deslizamientos son fenómenos que se estudian tanto superficialmente como internamente en el suelo.

Para reducir los impactos que producen los deslizamientos es importante identificar y caracterizar las zonas donde se podrían suscitar los mismos, para la prevención temprana de peligros a pequeña y gran escala.

Estos estudios tienen la finalidad de caracterizar las zonas donde son producidos y así dar estimaciones y pronósticos de prevención de peligro. Sin embargo, el estudio de dichos movimientos involucra grandes variables como la precipitación, humedad, tiempo de análisis, área afectada, topografía, tipo de suelo, vegetación, entre otras, que hacen a estas investigaciones complejas.

Los movimientos de ladera presentan relación con la humedad que se da internamente en los suelos, por esta razón el realizar estudios en los cuales se involucre metodologías enfocadas en variaciones temporales y espaciales del contenido de humedad para conocer el comportamiento que se da en estos cuerpos de deslizamiento es de gran ayuda.

Existen varias herramientas que ayudan a la caracterización y pronóstico de estos sucesos como son los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G), cartografía, relaciones con la precipitación, y el estudio superficial e interno de los suelos como ya se mencionó anteriormente.

Gracias a estas herramientas se pueden obtener relevantes análisis del comportamiento del cuerpo de deslizamiento, mediante mapas característicos modelados en dichos softwares, en este caso mapas de contenidos de humedad.

El presente capítulo pretende introducir los conceptos básicos que enmarcan a los movimientos de masa, así como los fundamentos que se presentan entorno al estudio de la variación espacio temporal del contenido de humedad, como factor desencadenante a los deslizamientos.

1.2 Ladera.

El diccionario de la Real Academia Española (RAE) indica que una ladera es un declive lateral de una montaña, cuya pendiente es el ángulo que forma con la horizontal.

En la literatura científica se denomina a una ladera a la conformación que se dio naturalmente y un talud cuando su origen fue por proceso artificial. Una ladera es una masa de tierra que no es plana y que posee pendiente o cambios de elevaciones significativas.

1.2.1 Tipos de Ladera.

Las laderas pueden ser consideradas homogéneas y heterogéneas (Figura 1).

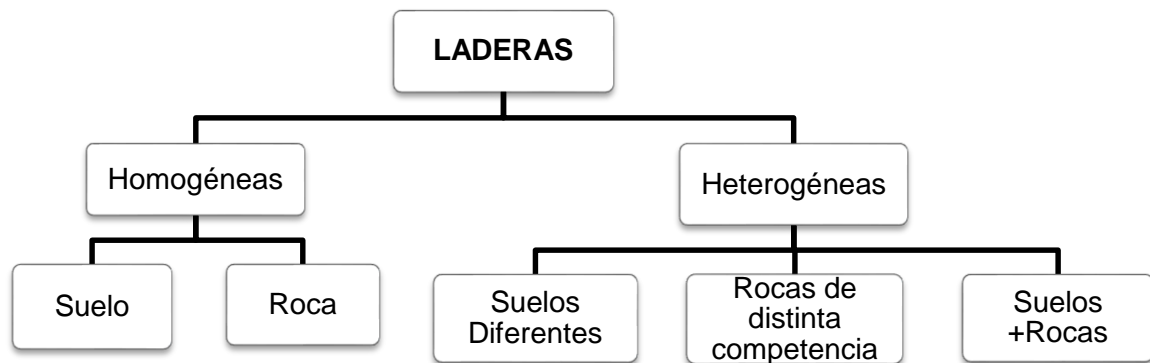


Figura 1. Tipos de ladera.

Fuente: Elaboración Propia de Procesos de Ladera-Geología. Ramón, J.

1.3 Deslizamientos de Ladera

Los deslizamientos de ladera también llamados movimientos de ladera o movimientos de masa, son movimientos de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente (Varnes, 1978). La masa tiende a desplazarse en conjunto comportándose como un solo cuerpo (unidad).

Si el material deslizado no llega a detenerse al pie de la ladera por efecto de su pendiente, la masa puede seguir en movimiento y desarrollar velocidades muy altas.

Corominas y García-Yagüe (1997) indican que los movimientos de ladera son desplazamientos que afectan a los materiales en escarpes. Los desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas en sentido descendente por efecto de la gravedad.

Las definiciones, actividades y tipos de movimientos de ladera son definidos por la Commission of Landslides que es parte de la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG).

Las áreas más propensas a la inestabilidad de laderas, en general, se encuentran los sitios montañosos y escarpados, zonas de relieve con procesos erosivos y de meteorización intensos, laderas de valles fluviales, zonas con materiales blandos y sueltos, con macizos rocosos arcillosos, esquistosos y alterables, zonas sísmicas y zonas de precipitación elevada y constante (González *et al.*, 2002).

1.4 Nomenclatura de las partes de un deslizamiento.

La Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG, 1990), desarrolló la nomenclatura de los elementos morfológicos y morfométricos de un movimiento de ladera. Suárez (2003) presenta una figura donde presenta un deslizamiento típico con sus respectivas partes y describe cada una de sus definiciones (Figura 2).

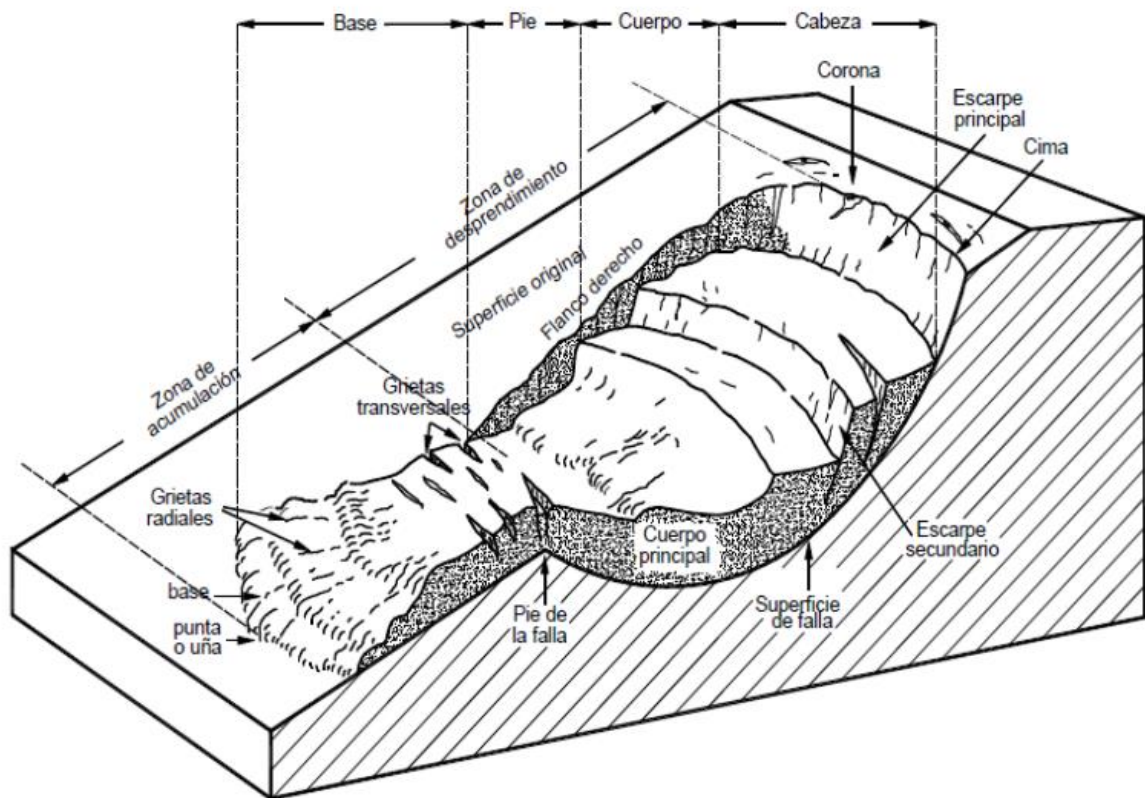


Figura 2. Esquema de un deslizamiento rotacional y partes del mismo
 Fuente: Nomenclatura y clasificación de los movimientos (Suárez, J. 2003).

Los movimientos de ladera se encuentran conformados por distintas partes que se indican a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Nomenclatura y definición de las partes de un movimiento de ladera.

| Nomenclatura | Definición |
|---|---|
| Cabeza | El sitio de cambio brusco de pendiente o parte superior del material que se mueve. |
| Cima | El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal. |
| Corona | La masa de material que está ubicado en el sitio adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza. |
| Escarpe principal | Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. |
| Escarpe secundario | Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios |
| Superficie de falla | Área que se encuentra por debajo del movimiento. Delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de esta superficie no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima se desplaza. |
| Pie de la superficie de falla | La línea de interceptación entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno. |
| Base | El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla. |
| Punta o uña | El punto de la base que se ubica más lejano de la cima. |
| Cuerpo principal del deslizamiento | Parte de material desplazado que se encuentra encima de la superficie de falla. |
| Superficie original del terreno | La superficie que existía en condiciones iniciales o antes de que se presentara el movimiento. |
| Costado o flanco | Un lado del movimiento, perfil lateral. Se diferencia el flanco derecho y el izquierdo. |
| Derecha e izquierda | Si se emplean términos como derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie. Sin embargo para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste). |

Fuente: Nomenclatura y clasificación de los movimientos. Suárez, J. 2003.

1.5 Clasificación de los movimientos de masa.

Según Soeters, R. y Van Western, C. (1996) los procesos de movimientos de masa o inestabilidad de laderas son producto de las condiciones locales geomorfológicas, hidrológicas, geológicas, y climáticas que se dan en estas zonas. Estas condiciones involucran procesos geodinámicos, vegetación, usos de suelo y actividades humanas.

En la literatura científica existen varias clasificaciones de los movimientos de ladera que involucran el tipo de material, mecanismo de movimiento, tipo de rotura, el grado de deformación del material y el grado de saturación, en donde también se involucran aspectos como el contenido de agua del terreno (Tabla 2).

La clasificación utilizada para esta investigación se basa en las publicadas anteriormente por Varnes, D. 1958; Hutchinson, J. 1988; Ayala, F. 1987, Corominas y García-Yagüe, 1997. Se consideran las siguientes clases de movimientos de ladera: caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, extensiones laterales y movimientos complejos (Figura 3).

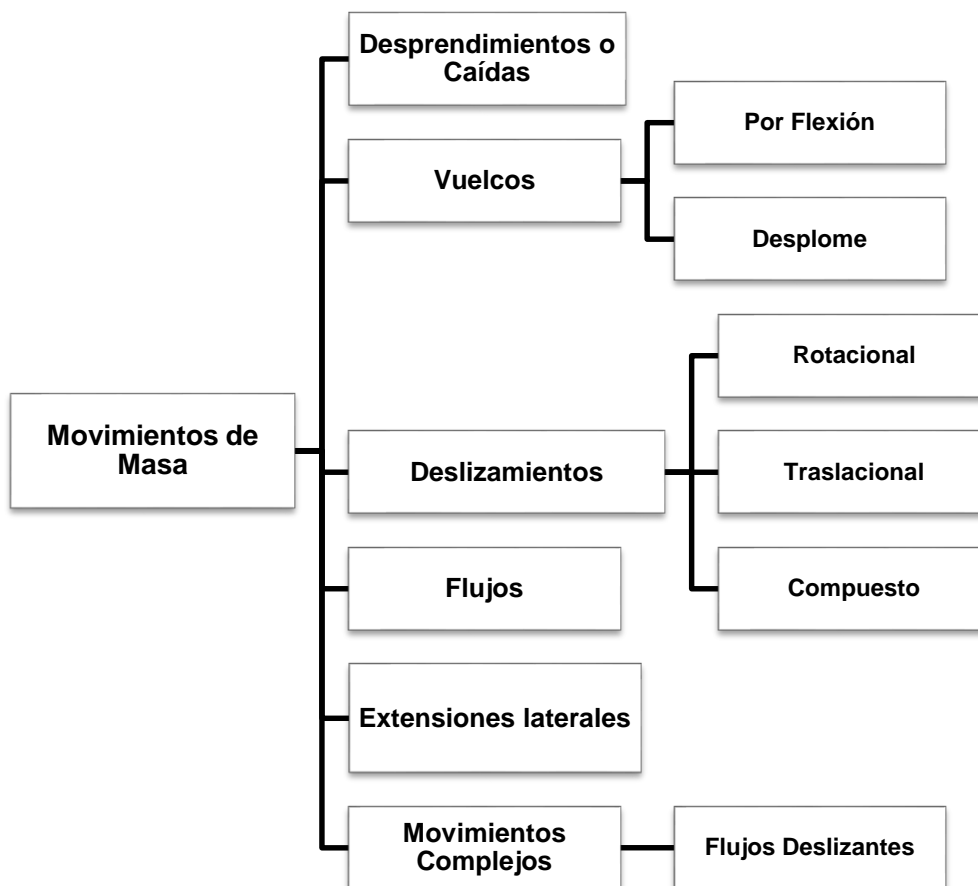


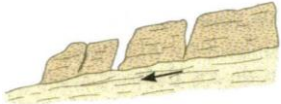
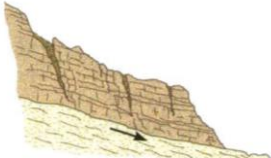

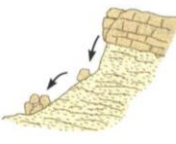

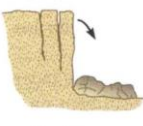
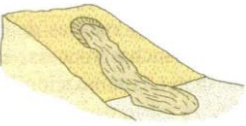

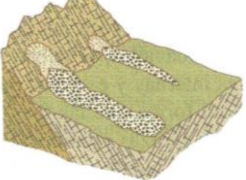
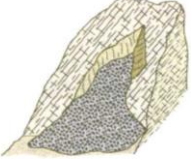

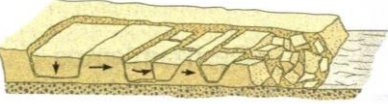
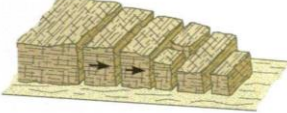


Figura 3. Clasificación de los Movimientos de Ladera
Fuente: Clasificación de Movimientos de ladera. Varnes, D. 1958; Hutchinson, J. 1988; Ayala, F. 1987; Corominas y García Yagüe, 1997.

Tabla 2. Tipos de Movimiento de ladera, Clasificación general.

| TIPOS DE MOVIMIENTO DE LADERA | | |
|--------------------------------------|---|--|
| Deslizamientos Rotacionales |  Suelos |  Rocas |
| Deslizamientos Traslacionales |  Suelos |  Rocas |
| Caídas o Desprendimientos |  Rocas |  Suelos |
| Vuelcos |  Rocas |  Suelos |
| Flujos |  Suelos |  Derrubios |
| | |  Bloques rocosos |
| Avalanchas |  Rocas |  Derrubios |
| Desplazamientos Laterales |  Suelos |  Bloques rocosos |

Fuente: Ingeniería Geológica. González *et al.*, 2002.

1.6 Causas de los movimientos de ladera (masa).

Los movimientos de masa dependen del conjunto de acciones de varios factores diferentes (Cooke y Doornkamp, 1974; Crozier, 1984; Chacón *et al.*, 1993). Los procesos de remoción en masa o movimientos de masa ocurren debido a factores importantes. De tipo externo (factores externos) y de tipo interno (factores internos), (Terzaghi, 1950; Selby, 1993).

Los factores externos son aquellos que producen un incremento en los esfuerzos, pero no en la resistencia al corte. Se puede hacer notorio en los cambios de tipo externo los cambios geométricos que sufren las laderas, y los cambios en el régimen hidrológico.

Las causas internas son las que producen una disminución en la resistencia de los materiales, sin cambiar los esfuerzos por movimientos progresivos por procesos de intemperismo y erosión. Por esta razón se manifiesta que los procesos de movimientos de masa son aquellos que se suscitan en una ladera por la influencia directa de la gravedad (Alcántara, 2000).

Crozier, M.J. (1986) y Cuanalo, O. *et al.*, (2005) manifiestan desde otra perspectiva que en los movimientos de ladera se consideran factores condicionantes que controlan la ladera en el espacio (factores internos) y factores detonantes o desencadenantes que controlan la actividad en el tiempo (factores externos). La inestabilidad de las masas ocurre debido a la combinación de estos factores, los cuales contribuyen en diferente grado a su desequilibrio.

1.6.1 Factores desencadenantes (Activación del movimiento).

Los factores desencadenantes son los responsables de ocasionar la rotura de forma casi inmediata (inician el movimiento), mediante el aumento rápido de las tensiones o reduciendo la resistencia del material de la ladera modificando rápidamente las condiciones de estabilidad (Corominas, 2006).

Dentro de estos factores se encuentra la precipitación (intensa o acumulada), como el más importante, que da como resultado el aumento del contenido de agua (humedad) y la presión intersticial del suelo (presión en los poros) para afectar su resistencia y saturar el suelo. Es importante además de conocer los mecanismos y tipos de movimiento, también los factores que causan y controlan este tipo de procesos en espacios determinados (Jiménez, 2005).

1.6.2 Factores condicionantes.

Jiménez, J. (2005) indica en su investigación que los factores determinantes o condicionantes son los encargados de condicionar la estabilidad de una ladera sin que ésta se inicie.

La geología, la topografía, las características del material, las condiciones ambientales del sitio en estudio y la cobertura vegetal, actúan como factores condicionantes para suscitar un movimiento de masa. Los factores condicionantes dependen de la naturaleza de los materiales (litología, textura, discontinuidades) o de la morfología del terreno (pendiente,

orientación, altitud, curvatura). En la Tabla 3 se detalla más sobre los factores antes mencionados.

Tabla 3. Factores que influyen en la inestabilidad de una ladera.

| Agentes | Descripción | Características |
|---|--|--|
| Condicionantes (dependen de las características de la ladera) | Morfología y Topografía | El relieve tiene influencia en la estabilidad, a mayor pendiente y altura aumenta el efecto gravitacional. |
| | Geología y características de los suelos superficiales | El tipo de roca, grado de alteración y meteorización, presencia de grietas, fracturas, fallas, planos estratigráficos, porosidad, permeabilidad, propiedades físicas y mecánicas (resistencia y deformación), y estado de esfuerzos. |
| | Condiciones hidrogeológicas | El agua que se encuentra en el interior del terreno reduce la resistencia cortante al aumentar la presión intersticial, además incrementa el peso volumétrico del terreno con el consiguiente aumento en los esfuerzos actuantes. |
| | Vegetación | La vegetación (raíces) fija los suelos superficiales a los estratos de roca más resistentes que se encuentran a mayor profundidad, absorben el agua contenida en el suelo y atenúan la erosión superficial al mitigar el impacto de las gotas de lluvia y reducir la velocidad de escurrimiento. |
| Desencadenantes (factores externos responsables de la inestabilidad) | Lluvias | Su influencia depende de la intensidad, duración y distribución de la lluvia; puede ocasionar la rotura de capilaridad, además afecta directamente en factores condicionantes como la meteorización y el nivel de agua subterránea. |
| | Terremotos | Las vibraciones sísmicas originan fluctuaciones en el estado de esfuerzos en el interior del terreno, produciendo todo tipo de movimientos (caídas, deslizamientos, flujos, avalanchas, etcétera), en donde se toma en cuenta la magnitud del sismo y la distancia al epicentro. |
| | Vulcanismo | Las erupciones volcánicas pueden producir deslizamientos, avalanchas de derrubios y flujos rápidos de gran magnitud y velocidad en las laderas de los conos volcánicos. |
| | Congelación y deshielo | Factores climáticos que afectan principalmente a regiones frías; este fenómeno produce expansiones, contracciones e infiltración de agua en fisuras y grietas. |
| | Erosión y socavación | Incluye la acción erosiva de ríos y oleaje. Produce los siguientes efectos: -Socavación del material en el pie de la ladera que modifica el estado tensional y aumenta las fuerzas cortantes actuantes. -El deslizamiento puede embalsar un río y después romper súbitamente. |
| | Actividad humana | Tiene efecto en la estabilidad al cambiar la geometría de la ladera por excavaciones, construcción de caminos (vías) y presas, sobrecargas debido a estructuras, terraplenes o rellenos; además, estas obras en general cambian las condiciones hidrogeológicas al alterar el drenaje superficial, el nivel freático y el flujo natural de escurrimiento. También se incluye la deforestación como una de las actividades humanas que más influencia negativa tiene en la estabilidad de una ladera. |

Fuente: Inestabilidad de laderas. Cuanalo, O. *et al.*, 2011.

1.7 Relación entre los movimientos de ladera y el clima.

El clima es el factor con mayor influencia en la estabilidad de las laderas. La relación entre el clima y la inestabilidad de laderas es compleja debido a la gran variedad de mecanismos de rotura (Corominas, 2006). El clima es un factor desencadenante de los movimientos de ladera de gran importancia según las referencias existentes en la literatura científica.

González (2005) menciona que las condiciones climáticas son diferentes en toda área geográfica, donde se ven suscitados los movimientos de ladera. Los cambios en el clima se hacen notorios en la frecuencia e intensidad de los deslizamientos, los mismos que producen evolución a los relieves, generando las diferentes tipologías de movimientos.

Desde el punto de vista del análisis de la inestabilidad de laderas, el clima es el factor principal de las condiciones inestables para la ruptura de una masa. La precipitación y la fusión de nieve con la temperatura son los parámetros climáticos que más intervienen en los movimientos de masas, ya que condicionan su variación espacial y desencadenan el movimiento (González, 2005).

1.8 La Precipitación en los movimientos de masa.

Gostelow (1991) e Iritano *et al.*, (1998) indican que la lluvia puede actuar de dos formas diferentes en la estabilidad de las laderas:

Eventos de lluvia muy intensos que ocasionan la reducción de la resistencia al cortante por disminución de la cohesión aparente produciendo movimientos inicialmente superficiales.

Eventos de lluvia de larga duración que causan aumento de presión en los poros sobre una superficie de falla potencial generando movimientos de masa mucho más profundos.

La precipitación actúa generalmente en los movimientos de ladera porque aporta agua al sistema, lo que conlleva principalmente a la saturación del material situado en la ladera. Las tensiones internas del material sufren cambios debido al incremento de la presión de agua en los poros a consecuencia de la saturación de los materiales (González, 2005).

La infiltración del agua de lluvia en la ladera aumenta las presiones en los poros y en las fisuras del terreno, reduciendo su resistencia. El ritmo de infiltración lo regula la pendiente topográfica, el recubrimiento vegetal, la permeabilidad del terreno y el grado de saturación. (Corominas, 2006)

Los movimientos de masa más característicos de lluvias en todos los lugares del planeta son las roturas de pequeñas dimensiones, es decir los deslizamientos traslacionales y corrientes de derrubios, los mismos que son ocasionados por lluvias intensas y de corta

duración. El control a través de drenajes subterráneos es uno de los sistemas más adecuados para la estabilización de los mismos (Suárez, 2002).

La precipitación es la causa más frecuente de la reactivación de los deslizamientos que se han dado anteriormente y de la aceleración de los que ya se encuentran activos. Los deslizamientos de medio tamaño suelen ser frecuentes en materiales arcillosos de baja permeabilidad. Estos deslizamientos por lo general son reactivaciones de roturas ya existentes, en donde han influido en gran medida las lluvias antecedentes (Corominas, 2006).

En la ciudad de Loja, los meses del año en los que se presentan las mayores lluvias son de febrero a octubre. Los deslizamientos están más propensos a ocurrir en esta época del año, ya sea con lluvias muy largas o de menor duración.

Cuando las lluvias son muy intensas puede llegarse incluso, a la saturación completa del talud durante la lluvia. Al infiltrarse el agua de escorrentía se origina inicialmente un frente húmedo que avanza en sentido vertical, el cual satura los suelos a su paso, eliminando la succión o cohesión aparente que producía el estado de no-saturación (Suárez, 2002).

Es necesario para conocer la relación de la lluvia con los deslizamientos, la intensidad de la lluvia en una hora, la lluvia de 24 horas y la lluvia antecedente por períodos hasta de tres meses (Suárez, 2002).

1.8.1 Relación entre el flujo de agua dentro del deslizamiento y la rotura.

El flujo o cantidad de agua que se infiltra al suelo se encuentra en función de las propiedades del suelo, duración e intensidad de las precipitaciones, morfología de la cuenca de aporte, permeabilidad, transmisividad, topografía, vegetación y otras características de la ladera; las características hidráulicas y la succión son propiedades dominantes del suelo; mientras la intensidad de la lluvia y su duración son condiciones externas que inciden en la saturación del suelo o estados de desequilibrio que pueden dar lugar a movimientos de masas (Crosta, 1998; González *et al.*, 2002; Wang & Shibata, 2007; Rahardjo *et al.*, 2007; Aristizábal *et al.*, 2010).

La relación entre la cantidad de agua infiltrada y la que fluye de la ladera regula los cambios en la presión del agua subterránea. Cuando la presión intersticial aumenta hasta un nivel crítico ocurre la rotura (Corominas, 2006).

El agua infiltrada proviene principalmente de las precipitaciones, del deshielo y de la escorrentía superficial y subterránea. La tasa de infiltración está influenciada por la

pendiente de la superficie de la ladera, la cobertura vegetal y por la permeabilidad de los materiales (González, 2005). La infiltración del agua de lluvia produce flujos subsuperficiales y subterráneos en las laderas, además ocasiona el aumento del contenido de agua de la zona no saturada y la elevación del nivel freático.

1.8.2 Deslizamientos relacionados con aguas subterráneas.

El agua lluvia, aguas subterráneas, incluso la existencia de cuerpos de agua (canales, lagunas), tiene gran incidencia en la ocurrencia de los deslizamientos de tierra, debido a las infiltraciones que desencadenan la inestabilidad, siendo mayor si el régimen del agua del suelo es alterado por irrigación, remoción de la vegetación o inundación parcial.

1.9 Saturación del suelo.

La saturación del suelo se presenta debido a la relación del volumen de agua en los espacios vacíos entre el volumen de vacíos (Das, 2010). Este fenómeno origina cambios en las propiedades del suelo, cambiando las características resistentes y las componentes estabilizadoras.

1.9.1 Flujo saturado.

Formaciones permeables, juntas o fallas son las que permiten la conducción de las aguas internas o subterráneas. Las estructuras geológicas que facilitan la ocurrencia de deslizamientos son los materiales impermeables que no facilitan la circulación del agua interna, haciendo así que el agua se acumule (Suárez, 2002).

1.9.2 La presión de poros.

La presión de poros es la presión interna del agua de saturación. Depende de la localización de los niveles freáticos, y las características geológicas del sitio. Un incremento en la presión de poros positiva o una disminución de la presión negativa, equivale a una reducción de resistencia al cortante y de la estabilidad. (Suárez, 2002).

1.9.3 Deslizamientos inmediatos por saturación.

Estos ocurren durante o inmediatamente después de una lluvia y están relacionados con la eliminación de la succión al producirse la saturación por acción del frente húmedo de infiltración (Suárez, 2002).

1.9.4 Formación de corrientes de agua a lo largo de superficies internas.

El agua lluvia se infiltra en el suelo hasta encontrar una superficie impermeable o semi impermeable y es ahí donde se forman las corrientes de agua paralelas a la superficie que se conducen a través de las discontinuidades o poros (Suárez, 2002).

1.10 La Humedad del Suelo.

La humedad del suelo depende primordialmente de la presencia o ausencia de vegetación, de las características y textura del suelo en conjunto con el efecto de la topografía del lugar, en donde el suelo puede perder o conservar el agua (Fitzjohn *et al.*, 1998).

Suelos con alta porosidad presentan una mayor capacidad para mantener y almacenar agua, y por lo tanto retrasan la infiltración en el sub suelo y en el aumento en la presión de poros para ayudar a la estabilidad de la ladera. Sin embargo valores altos de porosidad tienden a aumentar el contenido de agua de la masa desplazada, lo que produce finalmente movimientos más rápidos y que recorren mayores distancias (Mukhlinsin, Kosugi, Satofuka y Mizuyama, 2006).

En suelos de baja permeabilidad la precipitación antecedente causa la reducción de la succión del suelo, lo que conlleva a una mayor permeabilidad a la infiltración en el suelo y finalmente la resistencia al cortante se reduce y consecuentemente, el factor de seguridad también se reduce durante la lluvia (Hengxing, Chenghu, Lee, Wang, y Faquan, 2003).

1.11 Variación del contenido de humedad del suelo.

Hawke y McConchie (2003) han investigado el estudio de las variaciones cambios espacio temporales del contenido de humedad del suelo sobre algunos procesos que tienen relación con la inestabilidad de laderas.

La predicción de falla de las laderas no sólo depende de condiciones climáticas y variables topográficas, sino también de las características del suelo y de los cambios en la magnitud y dirección de las fuerzas dentro de la ladera que resultan de las variaciones en el contenido de agua del suelo (Hawke *et al.*, 2003).

La gran variabilidad en los contenidos de humedad del suelo, tanto a nivel espacial como temporal (Williams *et al.*, 2003) interviene en los movimientos de ladera de manera interna.

1.11.1 Variación espacio temporal del contenido de humedad del suelo en movimientos de ladera.

La variabilidad espacio temporal del contenido de humedad del suelo ha sido analizada por algunos autores (Gómez, 2000; Albertson y Montaldo, 2003; Hawke y McConchie 2003; Williams *et al.*, 2003; Penna *et al.*, 2009; Pandey & Pandey, 2010). Manifiestan que el

contenido de humedad presenta una gran variabilidad espacial especialmente en cuencas pequeñas, en donde no es constante, y puede conllevar a tener errores en procesos de estimación y modelización.

La variabilidad espacial de la humedad se produce por consecuencia de la combinación de factores tales como son: las variaciones en las propiedades del suelo, la topografía, el tipo de cubierta vegetal o a la variación espacial de las condiciones meteorológicas-climáticas del sitio en estudio (Famiglietti, Rudnicki, y Rodell, 1998).

El conocimiento sobre la humedad del suelo y su variabilidad espacio-temporal, que se ve afectado por la heterogeneidad de diferentes características, tales como la textura del suelo, la vegetación, la topografía y las condiciones meteorológicas, es de gran importancia para procesos de movimientos de masa.

Los deslizamientos profundos en los suelos se encuentran relacionados con las condiciones climáticas a largo plazo, con regímenes de precipitación y las condiciones de humedad suficientes para modificar de forma sustancial los niveles freáticos y el contenido de agua en el terreno; el mecanismo principal que contribuye a la inestabilidad es la elevación del nivel freático por la infiltración neta del agua (González *et al.*, 2002).

El agua es el principal factor (agente) desencadenante de la pérdida de resistencia de los suelos principalmente de los suelos arcillosos. En suelos arcillosos pueden alcanzarse sobrepresiones cuando existen vías de agua preferenciales (grietas) que facilitan la concentración de agua subterránea y la elevación de la presión de agua en los poros (Corominas y Alonso, 1990).

Según McConchie (1992) la causa más común de falla de pendientes es por la variación rápida del contenido de agua. La presencia y circulación de agua en los materiales es responsable en gran medida de la meteorización de los mismos, teniendo efecto en su debilitamiento y originando así la rotura.

En materiales con baja permeabilidad, la entrada y salida del agua es lenta, por esta razón la rotura podrá ocurrir si dichos materiales se encuentran en un estado de presaturación. El estado presaturado reduce la succión del suelo y predispone al incremento de la presión en los poros, que aumentaría fácilmente con un pequeño aporte de agua adicional (Sandersen *et al.*, 1996; Wieczorek, 1987).

Este estado puede alcanzarse durante un lapso de tiempo variable, anterior a la ocurrencia del movimiento (por ejemplo a partir de precipitación antecedente). Una vez iniciado el

movimiento, puede seguir moviéndose lentamente durante meses o años si las presiones no se liberan fácilmente.

1.11.2 Topografía.

Variaciones en la pendiente, orientación, curvatura, elevación y área vertiente afectan a la distribución de la humedad del suelo cerca de su superficie (Gómez, 2000). Las pendientes ascendentes y las condiciones topográficas locales tienen influencia en el contenido de humedad del suelo.

Nyberg (1996) señaló que la pendiente del terreno afecta al contenido de agua en el suelo. A mayores pendientes se tiene menores contenidos de humedad que en áreas más llanas, puesto que la inclinación de la pendiente afecta a la infiltración, drenaje y escorrentía.

La curvatura del suelo es un indicador de la concavidad o convexidad del terreno que determina la acumulación de flujos de agua en algunas zonas e influye en la distribución del contenido de humedad (Nyberg, 1996).

En la literatura científica se encuentra que el contenido de humedad es inversamente proporcional a la elevación relativa y a su vez que está correlacionado con varios factores que pueden influir en la distribución de agua en el suelo como son la cuenca vertiente o el contenido de arcilla (Gómez, 2000).

1.11.3 Propiedades del Suelo.

La variación de las propiedades del suelo afecta a la distribución del contenido de humedad mediante las variaciones en la textura, materia orgánica y estructura, propiedades que controlan el movimiento del flujo del agua.

Uno de los factores principales de las propiedades del suelo es la textura, que afecta y controla la humedad del suelo de manera más significativa (Gómez, 2000). El tipo de suelo juega un rol importante para determinar el comportamiento de los movimientos de masa debido a la composición que puede tener como es el caso de las arcillas

1.11.3.1 Arcillas.

Las arcillas son consideradas como un mineral natural complejo conformado principalmente por una mezcla de aluminio-silicatos cristalinos, a los que se denominan minerales arcillosos, y de otros silicatos y minerales de hierro, calcio, titanio (Bernal *et al.*, 2003).

Entre los minerales que pueden componer una arcilla se destacan los siguientes: esmectitas, illita, caolinita, halloysita, atapulgita, alofana y montmorillonita (Das, 2001).

Azañón *et al.*, (2010) en su investigación sobre las arcillas de alta plasticidad en deslizamientos menciona que las arcillas compuestas por minerales como la esmectita, en general, son bastante resistentes en condiciones secas, pero pierden rápidamente su fuerza en condiciones húmedas. Por lo tanto, las capas de arcilla de esmectita con alto contenido de agua pueden tener las propiedades de un lubricante, que, a su vez puede ser crítica para la estabilidad de un talud.

1.11.3.2 Plasticidad en las arcillas.

Las arcillas cuando entran en contacto con una cantidad limitada de agua originan una masa cohesiva que puede ser moldeada con facilidad. Esta propiedad que es característica de los minerales arcillosos se denomina plasticidad. En conclusión se puede indicar que el término plasticidad se utiliza indistintamente para designar un comportamiento de las arcillas, dependiente de la humedad (Ginés *et al.*, 1997).

Las arcillas que poseen alta plasticidad presentan un alto potencial de hinchamiento (expansión), que puede inducir de manera significativa a la sobrepresión reduciendo aún más las propiedades del terreno como es el caso de las arcillas con esmectita. Este factor se puede considerar como uno de los principales para los deslizamientos durante o después de los períodos de lluvia. Por lo tanto, la presencia de estas arcillas debe tenerse en cuenta en la evaluación del peligro de los deslizamientos (Azañón *et al.*, 2010).

1.11.4 Vegetación.

La cubierta vegetal se considera como uno de los factores que más influencia tiene sobre el contenido de humedad del suelo, el mismo que varía con el tipo de vegetación, densidad y época del año (Famiglietti *et al.*, 1998).

El contenido de humedad es afectado por la vegetación por los siguientes parámetros:

- La intercepción de la cubierta vegetal,
- El efecto del sombreado sobre los procesos de evaporación.

La cubierta vegetal actúa de manera indirecta cambiando las propiedades del suelo en su capacidad de infiltración y recolección de agua.

La finalidad de este proyecto es el estudio de la variación espacio-temporal del contenido de humedad como factor desencadenante a un movimiento de masa, por tanto se han

considerado los factores determinantes y detonantes. Al ser una investigación específica se emplearon sólo algunas variables como: precipitación, humedad, topografía, altitud, tipo de suelo y profundidad.

Los hallazgos de esta investigación pueden proporcionar directrices para investigaciones futuras sobre movimientos de masa.

CAPÍTULO II
ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Localización de la zona de estudio (Ubicación Geográfica).

La zona de estudio geográficamente está ubicada en la provincia y cantón de Loja, en la región sur occidente del Ecuador, entre los rangos de coordenadas UTM 696000 E a 697200 E y 9555000 N a 9555600 N, comprende un área de aproximadamente 15 hectáreas (Figura 4).

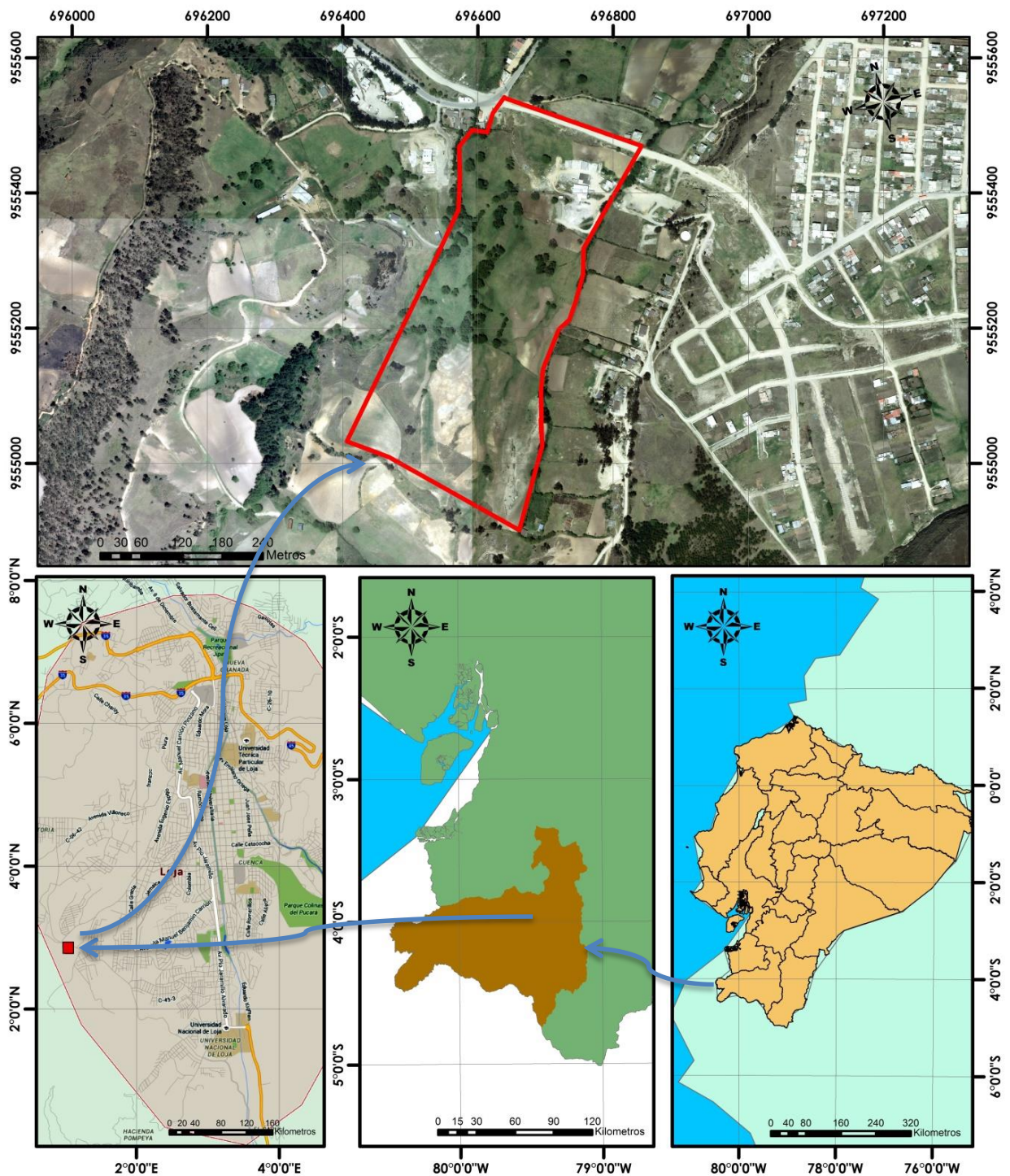


Figura 4. Ubicación geográfica de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración Propia

La ciudad de Loja dispone de algunas vías terrestre de accesos principales como: la vía Loja-Catamayo, vía Loja-Vilcabamba, vía Loja-Cuenca y la vía Loja-Zamora. Entre las vías de segundo orden se encuentra la nueva vía de Integración barrial Ángel Felicísimo Rojas, por donde se puede ingresar a la zona de estudio, ubicada cerca del redondel donde se une con la Avenida Eugenio Espejo (Barrio Chontacruz), para lo cual se emplea un tiempo aproximado de 15 minutos desde el centro de la ciudad en recorrido vehicular.

2.2 Topografía.

El relieve de la zona de estudio presenta pendientes bajas, muy bajas y medianas, es decir presenta pendientes variables según la Tabla 4 de deslizamientos del análisis geotécnico de la zonificación de susceptibilidad Amenaza Riesgo (Suárez, 2003).

Tabla 4. Clasificación utilizada para identificar el tipo de relieve de la zona de estudio.

| Clasificación | Pendiente (ángulo de inclinación) |
|----------------------|--|
| Muy baja | 0 a 15% (0 a 8.5 grados) |
| Baja | 15 a 30% (8.5 a 16.7 grados) |
| Mediana | 30 a 50% (16.7 A 26.6 grados) |
| Alta | 50 a 100 % (26.6 a 45 grados) |
| Muy alta | Más del 100% (más de 45 grados) |

Fuente: Zonificación de Susceptibilidad Amenaza y Riesgo. Suárez, J. 2003.

El área es afectada de manera significativa por procesos gravitacionales y deslizamientos de materiales debido a las precipitaciones que se dan en este sitio.

La cuenca de Loja se encuentra ubicada en la cordillera Oriental de los Andes con orientación Norte-Sur aproximadamente. Sus elevaciones se hallan desde los 2070 m hasta los 3370 m sobre el nivel del mar (Guartán, 2010).

Las altitudes que se suscitan en la zona de estudio varían desde los 2307 m a 2398 m (Figura 5).

Las pendientes del sitio de investigación varían desde el 7% hasta el 49% según el mapa de pendientes generado a partir del levantamiento topográfico realizado a este lugar.

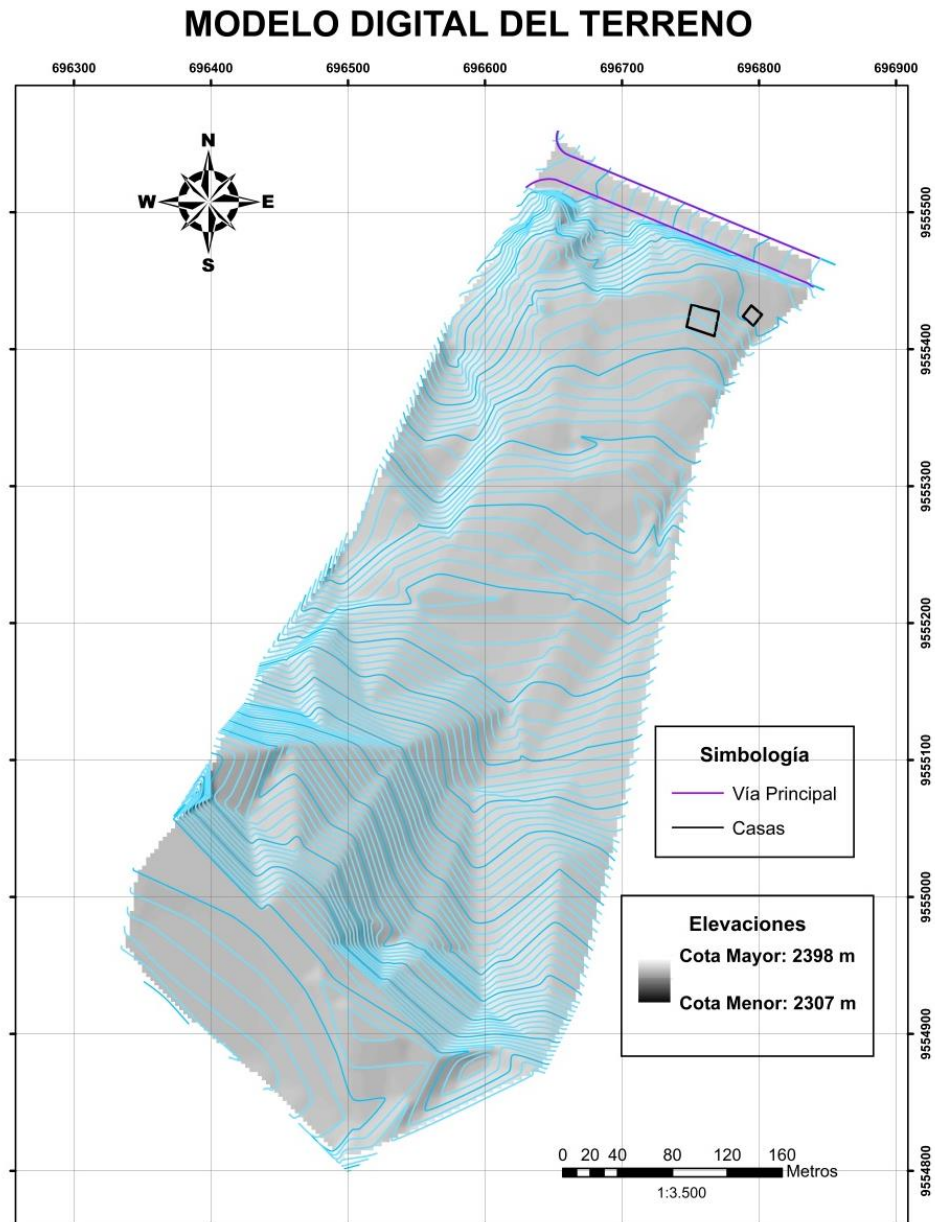


Figura 5. Modelo Digital del terreno (topografía) de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

2.3 Hidrografía.

Considerando los afluentes principales que fluyen por la cuenca de Loja se encuentran los ríos: Malacatos y Zamora, los mismos que se unen en el centro de la cuenca para seguir su recorrido. La red fluvial secundaria se encuentra conformada por algunas quebradas que aportan a los ríos antes mencionados, provenientes en su mayoría del sector oriental de la cuenca. Entre las más importantes en relación al caudal aportante se tiene las quebradas: Jipiro, Namanda, Las Pavas, Yanacocha, El salado, Potrerillos, y Minas entre otras, las mismas que fluyen en direcciones perpendiculares a la red de drenaje principal (Guartán, 2010).

En la zona de estudio el clima puede variar y ser impredecible debido a su distribución a lo largo de toda la ciudad de Loja, sin embargo se ha considerado un período invernal de 7 meses, comprendido entre los meses de octubre-abril. Luego de este tiempo las precipitaciones comienzan a disminuir en su intensidad, teniendo como resultado el período más seco dado entre los meses de junio-septiembre y el período con mayor precipitación entre los meses de febrero-abril. Las precipitaciones medias anuales están entre los 600-1200 milímetros (Cuenca, 2008).

2.5 Vegetación.

La zona de estudio presenta vegetación en casi toda su área. El tipo de vegetación que se tiene en este sitio son los bosques naturales de montaña baja ubicados en las partes altas o colinas y los pastizales (pastos naturales) en casi toda su extensión, utilizados para el forraje de ganado vacuno perteneciente al propietario del terreno (Figura 7).

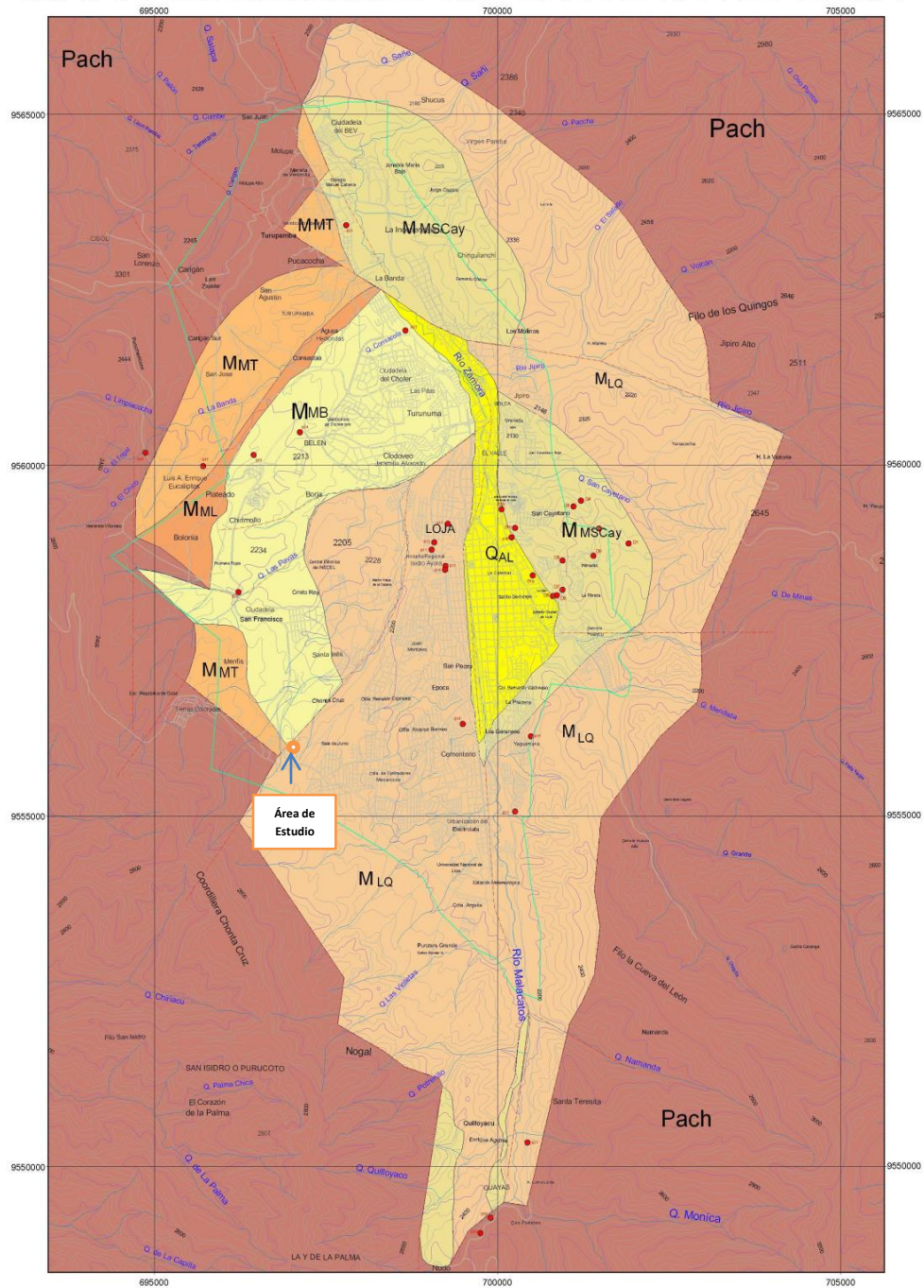


Figura 7. Vegetación del área de estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

2.6 Geología.

Geológicamente la zona de estudio pertenece a la Formación Quillollaco (MLQ) según el Mapa Geológico de la Hoya de Loja (Figura 8). Esta formación se la encuentra al este y oeste de la cuenca de Loja, sobrepuesta al resto de formaciones por una discordancia angular. La formación alcanza espesores hasta un máximo de 600 m, al este de la ciudad de Loja. La formación está constituida por conglomerados muy granulados con pocas intercalaciones de areniscas (Guartán, 2010; Tamay, 2014).

MAPA GEOLÓGICO DE LA HOYA DE LOJA



0 1 2 Kilómetros
ESC. 1:20 000

Sistema de referencia: PSAD 56
Sistema de coordenadas UTM Zona 17
Elaboración preliminar
Ing. José Tamay Granda
ESCUELA DE GEOLOGÍA Y MINAS-UCG

| Geología | | SIMBOLOGÍA | |
|-------------|--------------|------------|----------|
| Tach | Chigande | — | Ferros |
| Chigande | San Clemente | — | Concreto |
| Labande | Belen | — | — |
| Tugal | Quilicaco | — | — |
| Quaternario | Aluvial | — | — |

Figura 8. Ubicación de la zona de estudio en el mapa geológico de Loja.
Fuente: Mapa Geológico preliminar de la Hoya de Loja. Tamay, J. 2014.
Elaboración: Editado por el Autor.

CAPÍTULO III
DATOS/EQUIPOS

Para la realización de este proyecto se utilizó diferentes herramientas, equipos y materiales que se indicaran a continuación, de acuerdo a las fases que se siguieron para el desarrollo del mismo.

3.1 Reconocimiento e Identificación de la zona de estudio.

3.1.1 Dron - Phantom 2.

Se utilizó un Dron Phantom 2 con una cámara digital pequeña para el reconocimiento del sitio de estudio y obtener las características necesarias para el caso de investigación (Figura 9). El dron permite obtener información de color de las fotografías, con lo que consigue nubes de puntos de alta resolución que muestran la apariencia real del terreno y de esta manera determina una serie de puntos que sirven para crear un plano preciso. En la Tabla 5 se indican las especificaciones del dron utilizado.



Figura 9. Dron Phantom 2.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5. Especificaciones del Dron.

| | | | | |
|-----------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Aeronave | Peso con Batería | Sensibilidad de planeo | Máxima Velocidad de giro horizontal | |
| | 1000gr | Vertical: 0,8 m Horizontal: 2,5m | 200°/s | |
| | Máxima Velocidad de ascenso y descenso | Máxima velocidad de vuelo | Máxima Longitud | |
| | 6 m/s | 10 m/s | 350 mm | |
| | Tiempo de Vuelo | Máximo peso de despegue | Temperatura de trabajo | Ángulo de Inclinación |
| | 25 min | 1,3 kg | De -5°C a 50°C | 35°C |
| Batería | Batería | Peso de la Batería | Corriente de carga | |
| | 5200 mAh Lipo | 340 gr | 4A | |
| Mando | Frecuencia de operación | Distancia de comunicación | Sensibilidad del receptor (1%PER) | |
| | 2,4 GHz ISM | 1000 m | -97dBm | |
| | Batería | Consumo de potencia | | |
| | 4 Baterías AA | 100 mA - 6V | | |

Fuente: <http://www.dji.com/es/product/phantom-2>

3.2 Levantamiento topográfico.

3.2.1 GPS doble frecuencia Trimble R6.

Para el caso de la topografía y geodesia todas las medidas GPS utilizarán el modo diferencial o relativo. Es decir, se mide una línea base (o base línea), desde un punto fijo (estación base) a un punto desconocido (móvil o “rover”).

3.2.2 Receptor Trimble R6 L2C.

El receptor Trimble R6 brinda la exactitud y fiabilidad necesarias para hacer levantamientos de precisión con un rastreo superior y rendimiento de RTK. Con GPS L2C incluido y la opción GLONASS, puede rastrear más satélites y medir con mayor eficacia en ambientes difíciles. L2C da más que sólo señales adicionales. La avanzada estructura de señales da una mejor potencia para un rastreo de satélites más confiable (Figura 10).



Figura 10. Receptor Trimble R6 (Móvil).
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3 Controlador TSC2 Trimble.

El Controlador TSC2 Trimble consiste en una computadora de mano o una unidad controladora desmontable, perteneciente a los sistemas de móviles de Trimble R6 que tienen la característica de ser livianos, flexibles y sin cables.

El Trimble TSC2 ofrece un teclado completo y capacidades de expansión para ofrecer versatilidad e integración con los instrumentos ópticos Trimble (Figura 11).



Figura 11. Controladora TSC2 Trimble.
Fuente: Elaboración Propia.

Como herramientas y materiales que complementaban al proceso del levantamiento topográfico se tuvo: Trípode, punta de hierro, combo, estacas con clavos, cemento, arena y varilla (para ubicar el punto de estación base).

3.3 Ubicación de los pozos de prueba.

3.3.1 GPS Explorist 600 Magellan.

Se utilizó el GPS para la obtención de las coordenadas de los pozos de prueba que fueron ubicados dependiendo de las características de la zona de estudio.

Especificaciones:

-Receptor: 14 canales tecnológicos paralelos, trabaja con 14 satélites para descargar información.

-Antena: Patch

-Tiempos de adquisición de coordenadas:

Caliente: menos de un minuto; Frío: menos de 2 minutos.

-Precisión: Posición: < 7 metros, 95% 2D RMS

-Límites: Velocidad. 1530.5 km/h; Altitud: 18.600 metros

3.4 Perforación de los pozos de prueba y colocación de tubos de acceso.

Para la perforación de los pozos hasta profundidades de 1.5 m se utilizó las siguientes herramientas:

- Barreno Helicoidal
- Tubos galvanizados para extensiones
- Posteadora
- Picos y palas
- Llaves stillson
- Flexómetro

Para la instalación de los tubos de acceso se utilizó:

- Tubos PVC de 3" de diámetro y 30 cm de longitud con tapón.
- Cemento (Lechada)
- Espátula
- Recipiente.



Figura 12. Tubos de acceso
Fuente: Elaboración Propia.

3.5 Medición de la Humedad (Extracción de muestras).

Para la extracción de muestras destinadas para evaluar la humedad del suelo se utilizó:

- Tubo saca-muestras
- Posteadora
- Fundas y recipientes

Para obtener la humedad de todos los puntos de prueba se siguió los procesos de la norma MTC E 108-2000, NTE INEN 690, a través del procedimiento descrito por las normas americanas ASTM D 2216-71 y AASHTO T 265-93(2000). En ellos se implican las siguientes herramientas:

- Horno
- Recipientes
- Bailejo
- Balanza digital

3.6 Clasificación del Suelo.

Para clasificar el suelo en estudio se siguió los procesos indicados en las normas, en donde se emplean las siguientes herramientas de laboratorio:

- Tamices
- Equipo Casagrande
- Agua destilada
- Vasijas

La clasificación del suelo evidencia la presencia de arcillas inorgánicas de plasticidad baja media y alta a una profundidad de 0.7 m a 1.5 m. No se evidencia presencia del nivel de aguas freáticas hasta la profundidad de 1.50 m de la superficie natural excavada.

3.7 Determinación de la Precipitación.

3.7.1 Registros Pluviométricos (INAMHI).

Para la obtención de la precipitación de la zona de estudio se utilizó en primera instancia datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la ciudad de Loja (Estación La Argelia). Se tomó datos diarios de los meses de enero, febrero, marzo y abril como se indican a continuación:

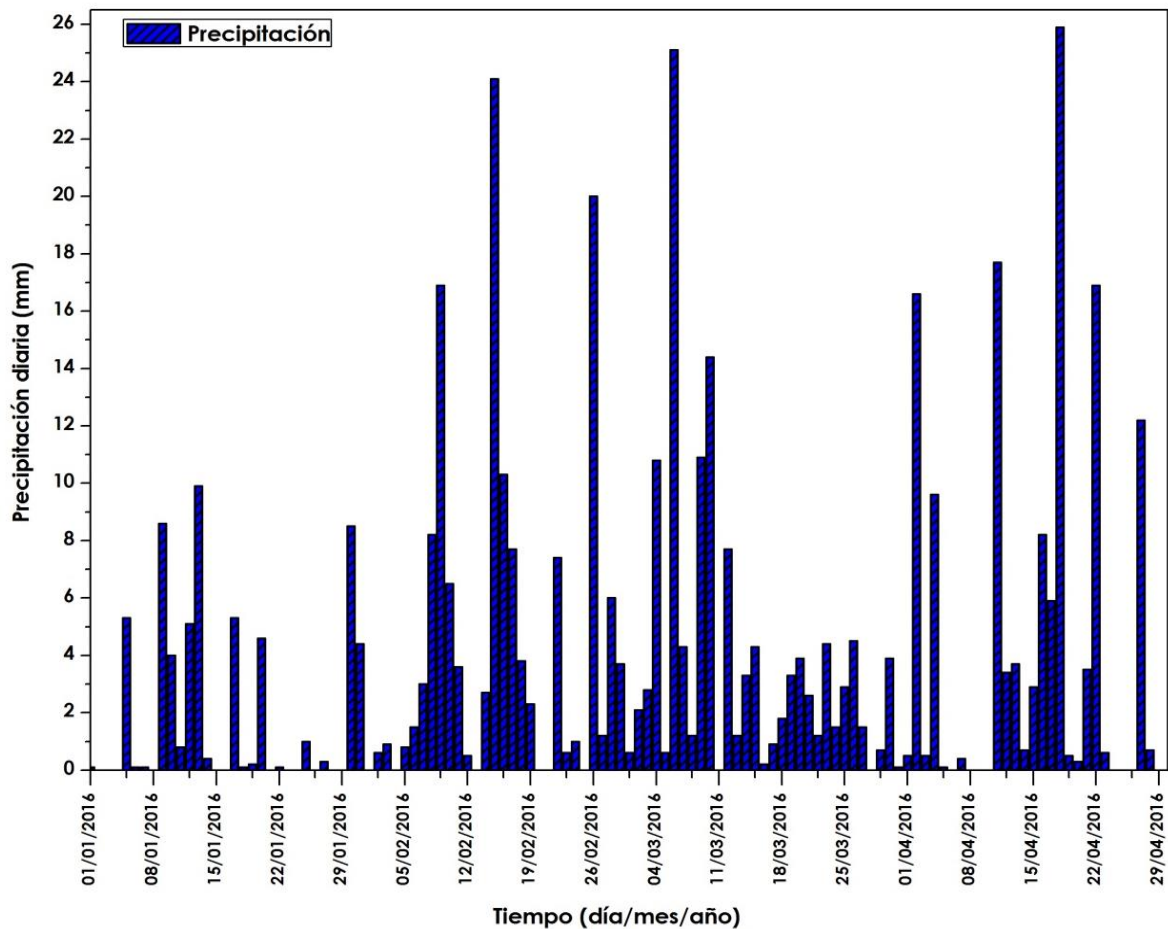


Figura 13. Precipitaciones del mes de Enero al mes de Abril.
Fuente: Elaboración Propia.

3.7.2 Pluviómetro Digital - Estación climática WS-2095 Ambient Weather.

Para el mes de mayo y abril se utilizó la información de precipitación diaria recolectada por el pluviómetro digital adquirido para la investigación, ubicado en una vivienda cerca de la zona de estudio (Figura 14-15).

Especificaciones:

Sensores disponibles

-Termo – Higrómetro (1-99%) +- 5%

-Pluviómetro (0-394 in) +-10%

-Sensores de dirección y velocidad del viento (0-360°, 0-110 mph) +-2.2 mph

-Software: Easyweather v 8.3 (2013)



Figura 14. Estación Pluviométrica Digital.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 15. Pluviómetro Digital
Fuente: Elaboración Propia.

Para la recolección de la información pluviométrica se utiliza una consola digital que permite la descarga de todos estos parámetros, la misma que recepta y procesa toda la información del comportamiento del pluviómetro a través del Software Easyweather v8.3 (Figura 16 -17).



Figura 16. Consola Digital
Fuente: Elaboración Propia.

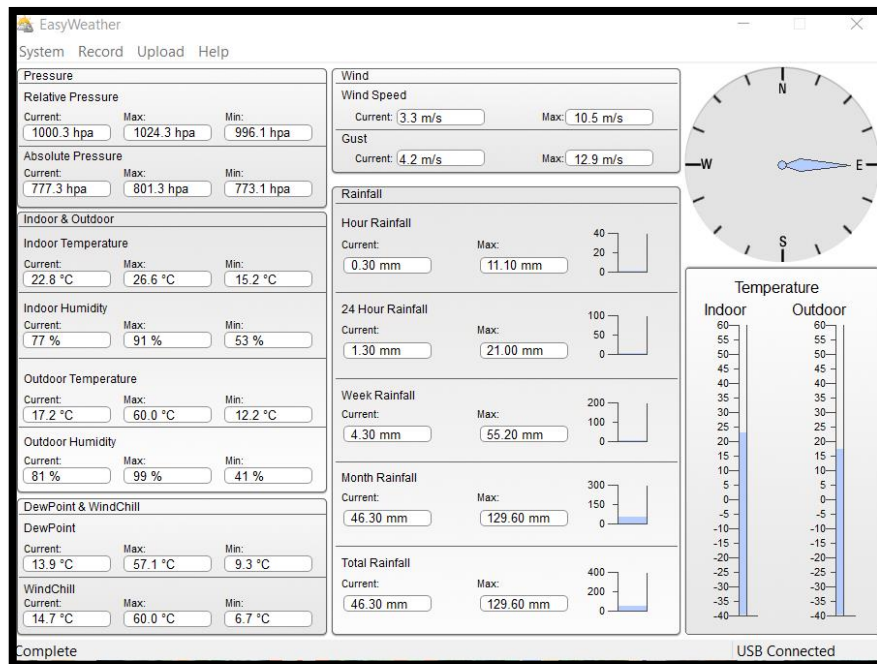


Figura 17. Software Easyweather para procesamiento de precipitación.
Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de estudio se utilizó únicamente los datos de precipitación descartando la información del resto de sensores de la estación (Figura 18).

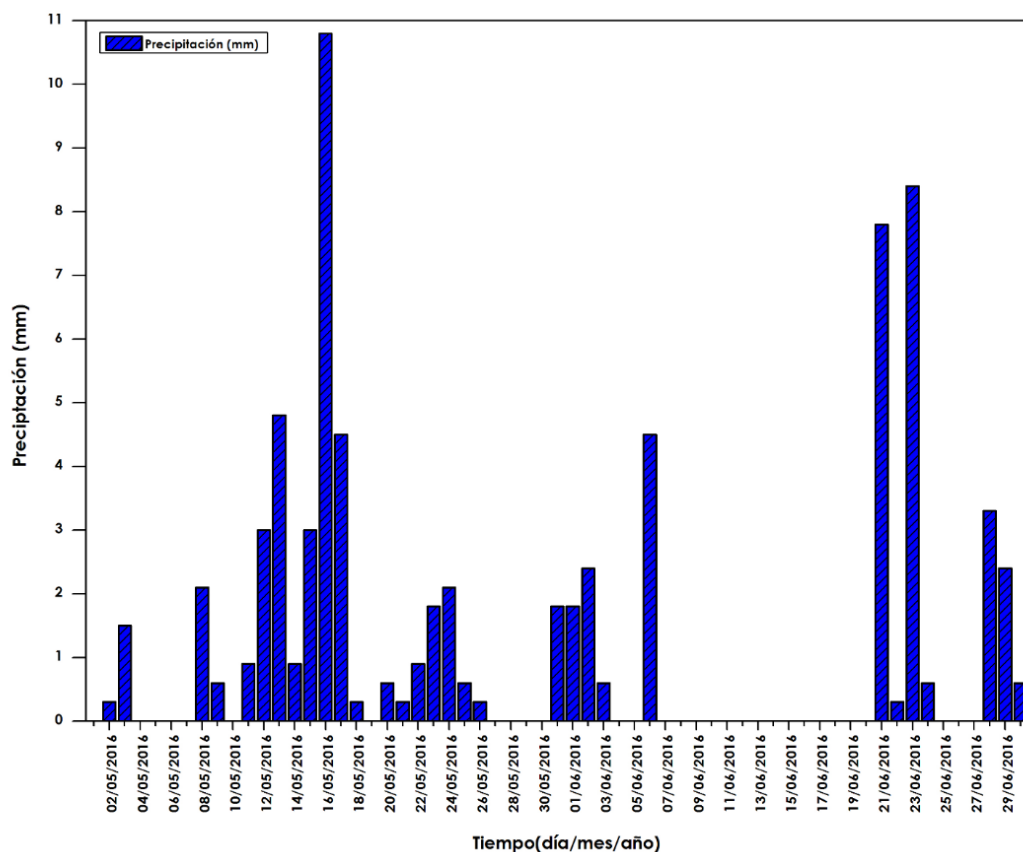


Figura 18. Precipitación del mes de Mayo a Junio.
Fuente: Elaboración Propia.

3.8 Procesamiento y análisis de información obtenida.

3.8.1 AutoCAD Civil 3D (versión estudiantil).

El programa AutoCAD Civil 3D se utilizó para el procesamiento de la información tomada en campo, para generar un mapa topográfico y observar las diferentes características de la zona de estudio.

En este programa se involucró gran variedad de datos para obtener una superficie y conocer mejor el terreno. Los puntos, las representaciones topográficas y las superficies pueden aprovecharse a lo largo de todo el proceso de diseño para tener parámetros esenciales de cómo se encuentra el sitio de prueba.

3.8.2 Sistema de Información Geográfica (SIG).

Los sistemas de información geográfica proporcionan una capacidad de modelado de superficies utilizando métodos deterministas y geoestadísticos.

Se utilizó un sistema de información geográfica para la modelación de mapas característicos de la zona de estudio con el fin de establecer los distintos parámetros de evaluación que se explicaran en el siguiente capítulo.

Además se generó mapas de humedad del sitio, utilizando métodos de interpolación basados en técnicas geoestadísticas, que determinaron la situación y comportamiento de la variabilidad espacio temporal de la humedad como factor desencadenante a los movimientos de masa.

CAPÍTULO IV
METODOLOGÍA

4.1 Diseño de Investigación.

El estudio se encuentra dentro del campo de investigación pura con datos de análisis cuantitativos. Para contrastar la hipótesis se utilizó un diseño experimental.

- **Variable Independiente:** Contenido de Humedad y Precipitación
- **Variable Dependiente:** Deslizamientos de Ladera

4.2 Reconocimiento e Identificación del sitio.

Se realizó un reconocimiento visual de las condiciones existentes de la zona en donde se observó que el terreno en estudio presentaba grietas en diferentes sitios. Con la utilización de un dron para tomar fotografías aéreas se logró obtener una mejor interpretación del área de estudio, y así delimitarla para la posterior investigación. La visita de reconocimiento del sitio de investigación tuvo como objetivo definir el área de interés, identificar las zonas cercanas que han sido o serán afectadas por los movimientos de masa y observar los problemas de inestabilidad según las grietas que se están dando en este lugar.

Según la clasificación planteada por Varnes, (1958); Ayala, (1987); Corominas y García Yagüe, (1997) se tiene en el área de estudio un movimiento de masa de tipo traslacional y flujo que se los ha localizado en su mayor parte en el talud que da a la carretera y en zonas de la parte central y superior de este sitio (Figura 19).



Figura 19. Reconocimiento de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

Las Figuras 20 y 21 tomadas con dron indican la zona afectada por estos movimientos.



Figura 20. Reconocimiento de la zona de estudio con fotografías aéreas.
Fuente: Elaboración Propia.





Figura 21. Reconocimiento de la zona de estudio con dron.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1 Evaluación visual de la infraestructura afectada por los movimientos de masa.

En el reconocimiento de la zona de estudio se identificó dos estructuras con fallas producto de la inestabilidad de masas que se encuentra en este sitio. Se resumen en la siguiente tabla la información obtenida (Tabla 6). Se observa que los movimientos producidos en este sitio se producen desde la parte superior a la parte inferior que da a la vía.

Tabla 6. Infraestructuras afectas por los movimientos de masa.

| Estructura 1 | | |
|-----------------------|---|--|
| Ubicación: | Sitio de Estudio |  |
| Forma del terreno: | ondulado | |
| Cantidad de Pisos: | 1 piso | |
| Altura de estructura: | 2,7 m | |
| Área de Construcción: | 55 m ² | |
| Tipo de Estructura | Concreto | |
| Descripción: | La estructura presenta grandes fisuras y desplomes en sus paredes debido a los deslizamientos que se han venido presentando en este sitio | |
| Estructura 2 | | |
| Ubicación: | Sitio de Estudio |  |
| Forma del terreno: | ondulado | |
| Cantidad de Pisos: | 2 piso | |
| Altura de estructura: | 2,6 m | |
| Área de Construcción: | 200 m ² | |
| Tipo de Estructura: | Concreto y bloques | |
| Descripción: | La estructura presenta mayores desplomes que en la estructura 1 en diferentes elementos estructurales | |

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Levantamiento topográfico.

Para la realización de esta investigación se ha determinado la topografía del lugar de estudio de aproximadamente 15 hectáreas. El levantamiento topográfico se lo realizó con un GPS doble frecuencia R6 marca Trimble, mediante levantamiento RTK.

Una vez obtenido completamente el trabajo en campo se procedió al procesamiento en gabinete de la información recolectada en el software AutoCAD Civil 3D 2016 (versión estudiantil) para la generación del plano topográfico en donde se ven representadas las diferentes características del sitio de estudio (vía principal, curvas de nivel con sus elevaciones, estructuras en la zona, entre otras).

El levantamiento topográfico proporcionó información básica y necesaria tomada en campo para su debido procesamiento en gabinete de la topografía y características de la zona de estudio (Anexo A.6).

4.4 Ubicación de la Red de Pozos de Muestreo.

Con la topografía ya procesada se escogió el número de puntos de prueba para realizar la toma de muestras representativas de humedad.

Se realizó un total de 12 pozos de muestreo distribuidos en la zona de estudio. Los pozos se encuentran ubicados estratégicamente donde existen grietas pronunciadas del área afectada y se georreferenciaron mediante un GPS Explorist 600 Magellan, cuyos datos se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Coordenadas de Pozos de muestreo del sitio del proyecto.

| Pozos de Prueba | E (m) | N (m) | Z (m) |
|-----------------|--------|---------|-------|
| Pozo 1 | 696774 | 9555456 | 2325 |
| Pozo 2 | 696710 | 9555430 | 2328 |
| Pozo 3 | 696647 | 9555476 | 2322 |
| Pozo 4 | 696620 | 9555358 | 2332 |
| Pozo 5 | 696676 | 9555270 | 2341 |
| Pozo 6 | 696749 | 9555332 | 2334 |
| Pozo 7 | 696694 | 9555220 | 2343 |
| Pozo 8 | 696647 | 9555208 | 2346 |
| Pozo 9 | 696570 | 9555278 | 2338 |
| Pozo 10 | 696490 | 9555188 | 2352 |
| Pozo 11 | 696588 | 9555060 | 2361 |
| Pozo 12 | 696681 | 9555092 | 2357 |

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 22 se puede observar la distribución de los pozos de prueba en la zona de estudio.



Figura 22. Mapa de distribución espacial de pozos.
Fuente: Elaboración Propia.

4.5 Perforación para los pozos de muestreo.

Los procedimientos de perforación dependen de la naturaleza del terreno y del tipo de muestreo y testificación que se vaya a realizar. Los más frecuentes son los sondeos a rotación, sondeos con barrena y los sondeos a percusión (González et al., 2002). Para el caso de estudio se utilizó los sondeos con barrena.

El método de la barrena de sondeo sirve para obtener muestras a distintas profundidades, mediante la perforación, sin tener que excavar una calicata. Mediante este método se puede obtener una serie continua de muestras del suelo para revisar el terreno en varios lugares.

Existen muchos tipos de barrenos de sondeo, pero los más comunes son la barrena hueca (posteadora) y la barrena helicoidal (Figura 23).

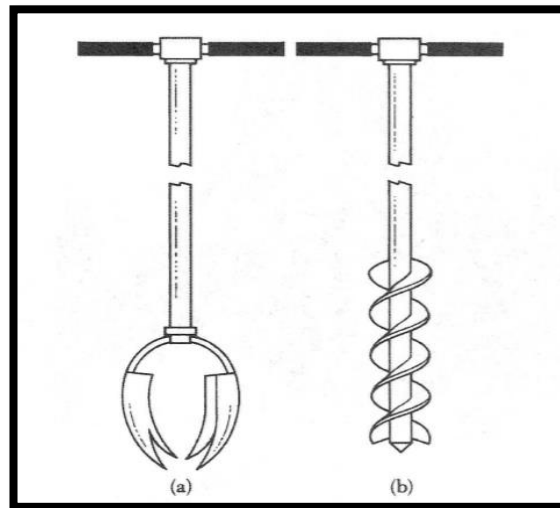


Figura 23. Herramientas de mano: (a) posteadora, (b) barrena helicoidal.
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Das, 2001.

En este proyecto se utilizó la barrena helicoidal en primera instancia. Este equipo consiste en una espiral metálica de 40 cm de longitud y de 5 cm de diámetro aproximadamente. Esta barrena está dotada de varios barrenos, por lo general de 50 cm que pueden ensamblarse uno a uno para tomar muestras a mayores profundidades (Figura 24).



Figura 24. Perforación para pozos de muestreo.
Fuente: Elaboración Propia.

Las perforaciones de cada punto de la red se las realizó también con una posteadora ya que existían las características necesarias para su utilización. Además se utilizó un tubo sacamuestras (Figura 25) que sirvió de ayuda para la obtención de muestras no contaminadas y para una mejor precisión en los datos recolectados a profundidades de 0.70m a 1.50 m (Tabla 8) designadas para la evaluación espacial de la humedad.



Figura 25. Extracción de muestras para el caso de estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8. Profundidades de Pozos de muestreo.

| Pozo | Profundidad (m) |
|----------------|------------------------|
| Pozo 1 | 1,20 |
| Pozo 2 | 1,30 |
| Pozo 3 | 1,40 |
| Pozo 4 | 1,50 |
| Pozo 5 | 1,30 |
| Pozo 6 | 1,40 |
| Pozo 7 | 1,30 |
| Pozo 8 | 1,00 |
| Pozo 9 | 1,30 |
| Pozo 10 | 1,25 |
| Pozo 11 | 1,40 |
| Pozo 12 | 0,70 |

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.1 Tubos de acceso.

Para evitar filtraciones de agua en los pozos de muestreo se colocó tubería PVC de 3" de diámetro y 30 cm de longitud. Los toques exteriores de los tubos fueron sellados con una tapa para cuando no estén usándose, con la finalidad de obtener la humedad lo más exacto posible.

La instalación de los tubos de acceso se la realizó cuidadosamente para prevenir la compactación del suelo y para asegurar el contacto del suelo con los tubos y así no dejar vacíos entre el suelo y los tubos de acceso (Figura 26).



Figura 26. Instalación de tubos de acceso.
Fuente: Elaboración Propia.

Los tubos de acceso se instalaron insertándolos en agujeros preparados del mismo diámetro mediante un barreno manual. En las paredes externas de la tubería se colocó una lechada de cemento como impermeabilizante de los pozos de prueba (Figura 27).



Figura 27. Tubos de acceso.
Fuente: Elaboración Propia.

4.6 Medición de la Humedad del Suelo (Diseño Experimental).

Según la Organización Meteorológica Mundial en su guía de prácticas hidrológicas (1994), el contenido de agua del suelo es expresado como una relación entre la masa de agua contenida en una muestra de suelo y la masa seca de la muestra de suelo.

Los métodos e instrumentos que permiten determinar la humedad del suelo se pueden dividir en dos grupos:

Métodos que consisten en la determinación del contenido de agua del suelo.

Métodos que tienen la finalidad de medir la potencia de agua del suelo.

La investigación realizada se basó en los primeros métodos para determinar la humedad del suelo como lo es el método gravimétrico.

4.6.1 Método Gravimétrico (Secado al Horno).

El método gravimétrico es un método directo y exacto para la determinación de la humedad del suelo. Consiste en obtener una muestra representativa del suelo de estudio, pesarla antes y después de su secado y determinar su contenido de humedad.

La muestra de suelo se considera seca cuando su peso permanece constante a una temperatura de 105 °C. Se tomó muestras de cada pozo de prueba para determinar su contenido de humedad mediante este método y secado en horno según las normas; MTC E 108-2000, NTE INEN 690, a través del procedimiento descrito por las normas americanas ASTM D 2216-71 y AASHTO T 265-93(2000), considerando sus márgenes de error (Figura 28).



Figura 28. Muestras para determinación de la humedad.
Fuente: Elaboración Propia.

La extracción de muestras se la realizó en puntos específicos en función de: los deslizamientos que se han venido dando en este sitio, de las características del suelo, y de la observación de los sitios afectados debido a la inestabilidad (grietas).



Figura 29. Muestras para humedad del suelo secadas en horno.
Fuente: Elaboración Propia.

El procedimiento se basó en determinar la humedad por masa seca en donde la muestra puede ser alterada. Se recolectó muestras de todos los pozos para su análisis de variabilidad. Cuando se extrajo las muestras se evitó que el equipo que se estaba utilizando para esta operación influyera en la pérdida o aumento de la humedad o que sufrieran alguna alteración y contaminación al momento de su muestreo o transporte. El equipo se mantuvo limpio y libre de humedad.



Figura 30. Obtención de los pesos de cada muestreo.
Fuente: Elaboración Propia.

Cálculo

El contenido de humedad se calcula con la siguiente ecuación:

$$W\% = \frac{M2 - M3}{M3 - M1} * 100 \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Dónde:

W% = contenido de agua, en porcentaje.

M1 = masa del recipiente, en gramos.

M2 = masa del recipiente y el suelo húmedo, en gramos.

M3 = masa del recipiente y el suelo seco, en gramos.

Una vez seguido el proceso de la obtención de la humedad por el método gravimétrico, se procedió a realizar más procesos de muestreo a los pozos de prueba en fechas posteriores para el análisis temporal y espacial del contenido de humedad.

Las muestras fueron extraídas siguiendo el mismo procedimiento antes descrito y realizándolo lo más rápido posible cuidando la humedad en cada toma.

En la Tabla 9 se muestran las diferentes fechas en donde se extrajo las muestras para su debido análisis de variación. Cada ensayo de contenido de humedad se encuentra en Anexo A.2.

Tabla 9. Fechas de muestreos de humedad en el año 2016.

| Muestreo (Período) | Fecha de Muestreo (día/mes/año) |
|---------------------------|--|
| Muestreo 1 (Período 1) | 04/02/2016 |
| Muestreo 2 (Período 2) | 02/03/2016 |
| Muestreo 3 (Período 3) | 29/03/2016 |
| Muestreo 4 (Período 4) | 26/04/2016 |
| Muestreo 5 (Período 5) | 17/05/2016 |
| Muestreo 6 (Período 6) | 07/06/2016 |

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.2 Clasificación del Suelo.

En la actualidad existen dos sistemas de clasificación que utilizan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos con la finalidad de dividir a los suelos en grupos y subgrupos: el Sistema AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S o también de la ASTM). En esta investigación se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación

de Suelos ya que el Sistema AASHTO se lo usa para la clasificación de las capas del pavimento de una carretera (Das, 2001).

Das (2001) indica que el Sistema Unificado de Clasificación de suelos divide a los suelos en dos amplias categorías:

a) Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.

b) Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos.

Para la clasificación del suelo de la zona de estudio se extrajo 12 muestras representativas de los distintos pozos de prueba para realizar los debidos ensayos de clasificación (contenido de humedad, límites de Atterberg, etc.) siguiendo cada una de sus normas y de esta manera obtener los resultados mediante el sistema antes indicado (Anexo A1).

Se utilizó la carta de plasticidad de Casagrande, ya que su información es considerada de gran importancia y es la base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.



Figura 31. Realización de límites de Atterberg.
Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados se indican en la Figura 32 y en la Tabla 10.

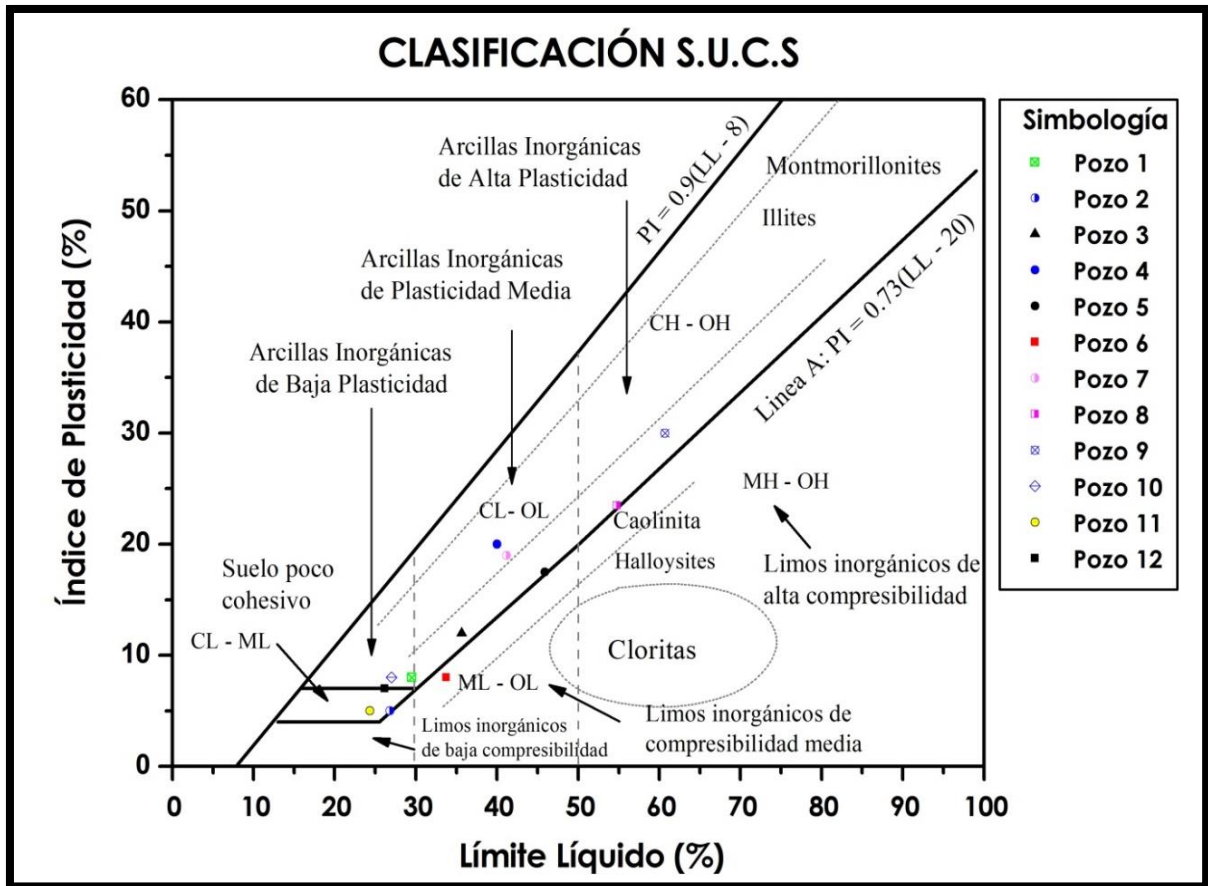


Figura 32. Carta de Plasticidad con los resultados de cada pozo de prueba.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10. Clasificación S.U.C.S

| Pozos de Prueba | Contenido de Humedad (%) | Suelos de partículas Finas (Más del 50% pasa la malla No.200) | Límite Líquido (%) | Límite Plástico (%) | Índice de Plasticidad | Clasificación S.U.C.S |
|-----------------|--------------------------|---|--------------------|---------------------|-----------------------|---|
| Pozo 1 | 17,46 | Si | 29,51 | 21,76 | 8 | CL Arcillas inorgánicas de baja plasticidad |
| Pozo 2 | 21,04 | Si | 26,80 | 21,73 | 5 | CL Arcillas inorgánicas de baja plasticidad |
| Pozo 3 | 18,62 | Si | 35,63 | 23,16 | 12 | CL Arcillas inorgánicas de plasticidad media |
| Pozo 4 | 17,15 | Si | 40,00 | 20,40 | 20 | CL Arcillas inorgánicas de plasticidad media |
| Pozo 5 | 21,40 | Si | 45,91 | 28,75 | 17 | CL Arcillas inorgánicas de plasticidad media |
| Pozo 6 | 22,14 | Si | 33,75 | 25,85 | 8 | ML Limos inorgánicos de compresibilidad media |
| Pozo 7 | 16,14 | Si | 41,17 | 21,88 | 19 | CL Arcillas inorgánicas de plasticidad media |
| Pozo 8 | 18,43 | Si | 54,75 | 31,61 | 23 | CH Arcillas Inorgánicas de Alta Plasticidad |
| Pozo 9 | 25,89 | Si | 60,69 | 31,16 | 30 | CH Arcillas Inorgánicas de Alta Plasticidad |
| Pozo 10 | 6,29 | Si | 27,00 | 19,40 | 8 | CL Arcillas inorgánicas de baja plasticidad |
| Pozo 11 | 23,54 | Si | 24,35 | 19,63 | 5 | CL Arcillas inorgánicas de baja plasticidad |
| Pozo 12 | 3,38 | Si | 26,15 | 19,61 | 7 | CL Arcillas inorgánicas de baja plasticidad |

Fuente: Elaboración Propia.

4.7 Análisis de Precipitación en la zona de estudio.

Para obtener la precipitación de análisis se procedió a tomar datos de precipitación diaria acumulada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la estación “La Argelia” de la ciudad de Loja, ubicada a 3,5 km de la zona de estudio, de los meses de enero febrero marzo y abril.

Para los meses de mayo y junio se realizó las mediciones de precipitación utilizando una estación pluviométrica digital ubicada en las coordenadas 696838 E y 9555490 N cerca de la zona de estudio para una mejor precisión de los datos (Tabla 11).

Tabla 11. Precipitación diaria de todos los meses de evaluación.

| Precipitación mensual (mm) | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|-------------|
| Día | INAMHI | | | | Pluviómetro Digital | |
| | Ene-16 | Feb-16 | Mar-16 | Abr-16 | May-16 | Jun-16 |
| 1 | 0,10 | 0,00 | 0,60 | 0,50 | 0,00 | 1,80 |
| 2 | 0,00 | 0,60 | 2,10 | 16,60 | 0,30 | 2,40 |
| 3 | 0,00 | 0,90 | 2,80 | 0,50 | 1,50 | 0,60 |
| 4 | 0,00 | 0,00 | 10,80 | 9,60 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 5,30 | 0,80 | 0,60 | 0,10 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 0,10 | 1,50 | 25,10 | 0,00 | 0,00 | 4,50 |
| 7 | 0,10 | 3,00 | 4,30 | 0,40 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | 0,00 | 8,20 | 1,20 | 0,00 | 2,10 | 0,00 |
| 9 | 8,60 | 16,90 | 10,90 | 0,00 | 0,60 | 0,00 |
| 10 | 4,00 | 6,50 | 14,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 11 | 0,80 | 3,60 | 0,00 | 17,70 | 0,90 | 0,00 |
| 12 | 5,10 | 0,50 | 7,70 | 3,40 | 3,00 | 0,00 |
| 13 | 9,90 | 0,00 | 1,20 | 3,70 | 4,80 | 0,00 |
| 14 | 0,40 | 2,70 | 3,30 | 0,70 | 0,90 | 0,00 |
| 15 | 0,00 | 24,10 | 4,30 | 2,90 | 3,00 | 0,00 |
| 16 | 0,00 | 10,30 | 0,20 | 8,20 | 10,80 | 0,00 |
| 17 | 5,30 | 7,70 | 0,90 | 5,90 | 4,50 | 0,00 |
| 18 | 0,10 | 3,80 | 1,80 | 25,90 | 0,30 | 0,00 |
| 19 | 0,20 | 2,30 | 3,30 | 0,50 | 0,00 | 0,00 |
| 20 | 4,60 | 0,00 | 3,90 | 0,30 | 0,60 | 0,00 |
| 21 | 0,00 | 0,00 | 2,60 | 3,50 | 0,30 | 7,80 |
| 22 | 0,10 | 7,40 | 1,20 | 16,90 | 0,90 | 0,30 |
| 23 | 0,00 | 0,60 | 4,40 | 0,60 | 1,80 | 8,40 |
| 24 | 0,00 | 1,00 | 1,50 | 0,00 | 2,10 | 0,60 |
| 25 | 1,00 | 0,00 | 2,90 | 0,00 | 0,60 | 0,00 |
| 26 | 0,00 | 20,00 | 4,50 | 0,00 | 0,30 | 0,00 |
| 27 | 0,30 | 1,20 | 1,50 | 12,20 | 0,00 | 0,00 |
| 28 | 0,00 | 6,00 | 0,00 | 0,70 | 0,00 | 3,30 |
| 29 | 0,00 | 3,70 | 0,70 | 0,00 | 0,00 | 2,40 |
| 30 | 8,50 | | 3,90 | 0,00 | 0,00 | 0,60 |
| 31 | 4,40 | | 0,10 | | 1,80 | |
| Preci. Acumulada mensual (mm) | 58,9 | 133,3 | 122,7 | 130,8 | 41,1 | 32,7 |
| Prec. Máx-mes (mm) | 9,9 | 24,1 | 25,1 | 25,9 | 10,8 | 8,4 |

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y Elaboración Propia (Pluviómetro Digital).

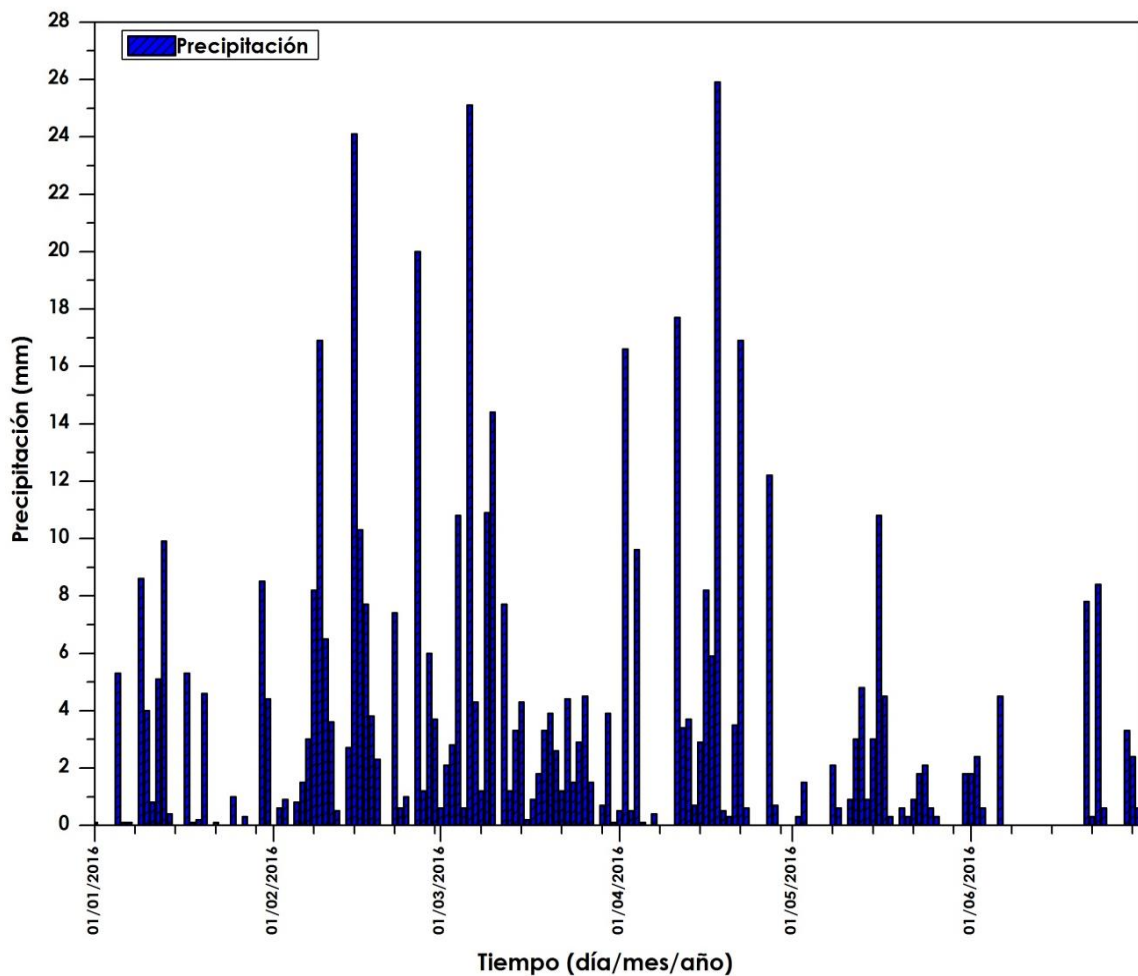


Figura 33. Precipitación diaria de los meses de evaluación.
Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica de la Figura 33 se puede observar que durante los meses de febrero marzo y abril existen mayores precipitaciones que en los demás meses. La precipitación máxima mensual diaria que se dio en este sitio fue de 25.9 mm en el mes de abril.

Para lo cual se puede interpretar que a pesar de no tener eventos con grandes intensidades de precipitación se tiene un largo periodo de precipitación acumulada como se puede observar.

En la Tabla 12 y 13 se representan las precipitaciones acumuladas hasta cada uno de los muestreos de humedad realizados.

Se implementa esta información con el objetivo de obtener la precipitación que se acumuló hasta las fechas de extracción de cada muestra de análisis y de esta manera interpretar como incrementa o decrece la precipitación para la comparación con los resultados de humedad de la zona de estudio.

Tabla 12. Precipitación acumulada hasta cada uno de los muestreos (mm)

| Período (Muestreo) | Precipitación (mm) | Días Acumulados | Porcentaje de Variación (%) |
|---------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Período 1 | 60,40 | 34 | 12,17 |
| Período 2 | 132,40 | 27 | 26,69 |
| Período 3 | 117,40 | 27 | 23,66 |
| Período 4 | 122,60 | 28 | 24,71 |
| Período 5 | 40,80 | 21 | 8,22 |
| Período 6 | 22,50 | 21 | 4,54 |
| Total | 496,10 | 158,00 | 100,00 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13. Precipitación acumulada de 5 y 20 días hasta cada uno de los períodos de muestreo (mm)

| Días | Período 1 | Período 2 | Período 3 | Período 4 | Período 5 | Período 6 |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 5 días | 14,4 | 31,5 | 10,4 | 21 | 22,5 | 7,5 |
| 20 días | 26 | 95,5 | 70,5 | 90,6 | 40,8 | 18 |

Fuente: Elaboración Propia.

El porcentaje de variación de la precipitación acumulada indica como incrementa y decrece esta variable en cada muestreo.

Se observa que entre los muestreos 1 y 2 incrementa el porcentaje, igual para el caso del muestreo 3 con el 4. Por otra parte entre el muestreo 2 y 3 el porcentaje disminuye, similarmente en el muestreo del 4 a 5 y 5 a 6.

La precipitación acumulada hasta el período 6 de evaluación fue de 496.10 mm con un total de 158 días.

4.8 Procesamiento de la información obtenida.

Proceso de orden de los datos obtenidos y análisis técnico de la relación de las variables de este estudio. En la Tabla 14 se encuentran las características generales de la zona de estudio obtenidas de las evaluaciones primarias que se efectuaron.

Tabla 14. Características de la zona de estudio.

| | |
|---|--------------|
| Área (ha) | 15 |
| Rango de Elevaciones (m) | 2307 - 2398 |
| Rango de Pendientes (%) | 6,69 - 48,71 |
| Rango de Profundidad de Prueba (m) | 0,70 - 1,50 |

Fuente: Elaboración Propia.

4.8.1 Procesamiento de muestreos de humedad.

Se realizaron 72 mediciones de muestreo, en donde cada medición contó con dos muestras de humedad con el fin de comprobar que el ensayo se realizó correctamente y realizar una media de cada medición para obtener una humedad óptima.

Es decir en total se obtuvieron 144 porcentajes de humedad a lo largo de la realización de la investigación como se puede observar en Anexo A.2.

En la Tabla 15 se presenta el total de mediciones realizadas en el sitio de estudio a diferentes rangos de profundidades establecidas.

Tabla 15. Resumen del número de mediciones de humedad en la zona de estudio.

| Variación espacio temporal de la humedad | | | |
|---|---------------------|----------------------|----------------------|
| Numero de Mediciones | 0,70m -1,00m | 1,00m - 1,30m | 1,30m - 1,50m |
| Número de Pozos de Prueba | 2 | 4 | 6 |
| Número de veces de prueba | 6 | 6 | 6 |
| Número Total de Mediciones | 12 | 24 | 36 |

Fuente: Elaboración Propia.

Para el análisis de la variabilidad de la humedad que se realizará en el siguiente capítulo se realizó una tabla de variables estadísticas básicas que tienen como finalidad saber el grado de varianza y dispersión que existen en los porcentajes de humedad en cada uno de los pozos a lo largo del tiempo de evaluación de la zona de estudio.

Además se indica las humedades promedio que se suscitaron para un mejor entendimiento de la variación, en cuanto a humedades máximas y mínimas.

La Tabla 16 y 17 presentan un resumen de las humedades obtenidas en los distintos períodos de estudio y las variables estadísticas calculadas para el análisis.

El máximo valor promedio de humedad fue de 47,68 % en el pozo de prueba 11 mientras que el valor medio mínimo fue de 8,81% en el pozo 12.

Tabla 16. Porcentajes de humedad obtenidos en cada muestreo.

| Pozo | W% (1) | W% (2) | W% (3) | W% (4) | W% (5) | W% (6) |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Pozo 1 | 17,46 | 20,31 | 23,97 | 34,66 | 20,55 | 21,09 |
| Pozo 2 | 21,04 | 17,18 | 28,21 | 20,51 | 15,77 | 17,53 |
| Pozo 3 | 18,62 | 20,55 | 19,40 | 22,56 | 18,34 | 20,47 |
| Pozo 4 | 17,15 | 18,52 | 40,90 | 62,61 | 60,15 | 29,76 |
| Pozo 5 | 21,40 | 30,87 | 48,65 | 64,50 | 65,20 | 40,50 |
| Pozo 6 | 22,14 | 20,26 | 35,52 | 60,43 | 64,27 | 32,89 |
| Pozo 7 | 16,14 | 24,76 | 43,60 | 68,88 | 50,05 | 38,89 |
| Pozo 8 | 18,43 | 32,16 | 37,92 | 50,85 | 55,29 | 43,70 |
| Pozo 9 | 25,89 | 29,14 | 31,88 | 36,21 | 21,24 | 31,84 |
| Pozo 10 | 6,29 | 8,45 | 15,27 | 16,62 | 18,42 | 13,79 |
| Pozo 11 | 23,54 | 27,78 | 51,06 | 61,96 | 64,12 | 57,64 |
| Pozo 12 | 3,38 | 4,45 | 10,32 | 13,67 | 8,36 | 12,67 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 17. Análisis estadístico básico de la variabilidad de la humedad.

| Pozo | Media | Varianza | Desviación Estándar | Máximo Valor | Mínimo Valor | Rango | Coef. de Variación |
|---------|-------|----------|---------------------|--------------|--------------|-------|--------------------|
| Pozo 1 | 23,01 | 30,76 | 5,55 | 34,66 | 17,46 | 17,20 | 0,24 |
| Pozo 2 | 20,04 | 16,79 | 4,10 | 28,21 | 15,77 | 12,44 | 0,20 |
| Pozo 3 | 19,99 | 2,01 | 1,42 | 22,56 | 18,34 | 4,21 | 0,07 |
| Pozo 4 | 38,18 | 331,03 | 18,19 | 62,61 | 17,15 | 45,46 | 0,48 |
| Pozo 5 | 45,19 | 263,07 | 16,22 | 65,20 | 21,40 | 43,80 | 0,36 |
| Pozo 6 | 39,25 | 297,07 | 17,24 | 64,27 | 20,26 | 44,01 | 0,44 |
| Pozo 7 | 40,38 | 291,63 | 17,08 | 68,88 | 16,14 | 52,74 | 0,42 |
| Pozo 8 | 39,73 | 149,31 | 12,22 | 55,29 | 18,43 | 36,86 | 0,31 |
| Pozo 9 | 29,37 | 22,90 | 4,79 | 36,21 | 21,24 | 14,97 | 0,16 |
| Pozo 10 | 13,14 | 18,97 | 4,36 | 18,42 | 6,29 | 12,13 | 0,33 |
| Pozo 11 | 47,68 | 260,56 | 16,14 | 64,12 | 23,54 | 40,58 | 0,34 |
| Pozo 12 | 8,81 | 14,93 | 3,86 | 13,67 | 3,38 | 10,29 | 0,44 |

Fuente: Elaboración Propia.

A lo largo de todos los períodos de estudio en el pozo 7 se da el mayor porcentaje de variación entre el mínimo valor y el máximo valor. El coeficiente de variación que se obtuvo está entre un rango de 0.07 a 0.48 lo que indica que se tiene en cada pozo variaciones significativas que se deben considerar al momento del análisis de la humedad. Debido a esto se analizará en el siguiente capítulo esta variación para justificar este fenómeno.

4.8.2 Modelación de datos obtenidos.

Para la caracterización de la zona de estudio se procedió a la generación de mapas digitales mediante la utilización de un sistema de información geográfica.

La captura de la información topográfica (plano topográfico) fue el primer aporte para la construcción de los diferentes modelos digitales que ya se indicó anteriormente. De esta manera se obtuvo el conjunto de puntos X, Y y Z de representación estadística de superficie para la creación de los modelos que se enuncian a continuación.

Cabe mencionar que los procesos utilizados en el sistema de información geográfica para la generación de estos modelos se fundamentaron en contenidos y manuales en donde existían el tipo de herramientas que se necesitan para estos procesos.

Las herramientas que se utilizaron están plenamente integradas con los entornos de modelado SIG que permitieron generar modelos de interpolación y evaluar su calidad antes de usarlos en cualquier análisis adicional.

4.8.2.1 Modelo Digital del Terreno (MDT).

En la literatura científica algunos autores definen a un modelo digital del terreno como una estructura estadística de datos numéricos de una superficie continua de un determinado terreno, los mismos que indican valores X, Y y Z conocidos y que se encuentran definidos en un sistema de coordenadas arbitrario.

Los modelos digitales del terreno tienen el objetivo de representar las distintas características de la superficie que se quiere evaluar. Obteniendo de esta forma información de pendientes y orientaciones existentes del sitio de evaluación.

La Figura 5 representa el modelo digital del terreno generado para una mejor apreciación del área de estudio.

4.8.2.2 Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

Un modelo digital de elevaciones describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de cotas. Se lo puede definir también como una estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.

La capacidad de elaborar modelos digitales de elevación (MDE) a partir de curvas de nivel o valores puntuales (X, Y, Z) es una de las operaciones que permitió la generación de este modelo con la información obtenida anteriormente que se presenta en la Figura 34.

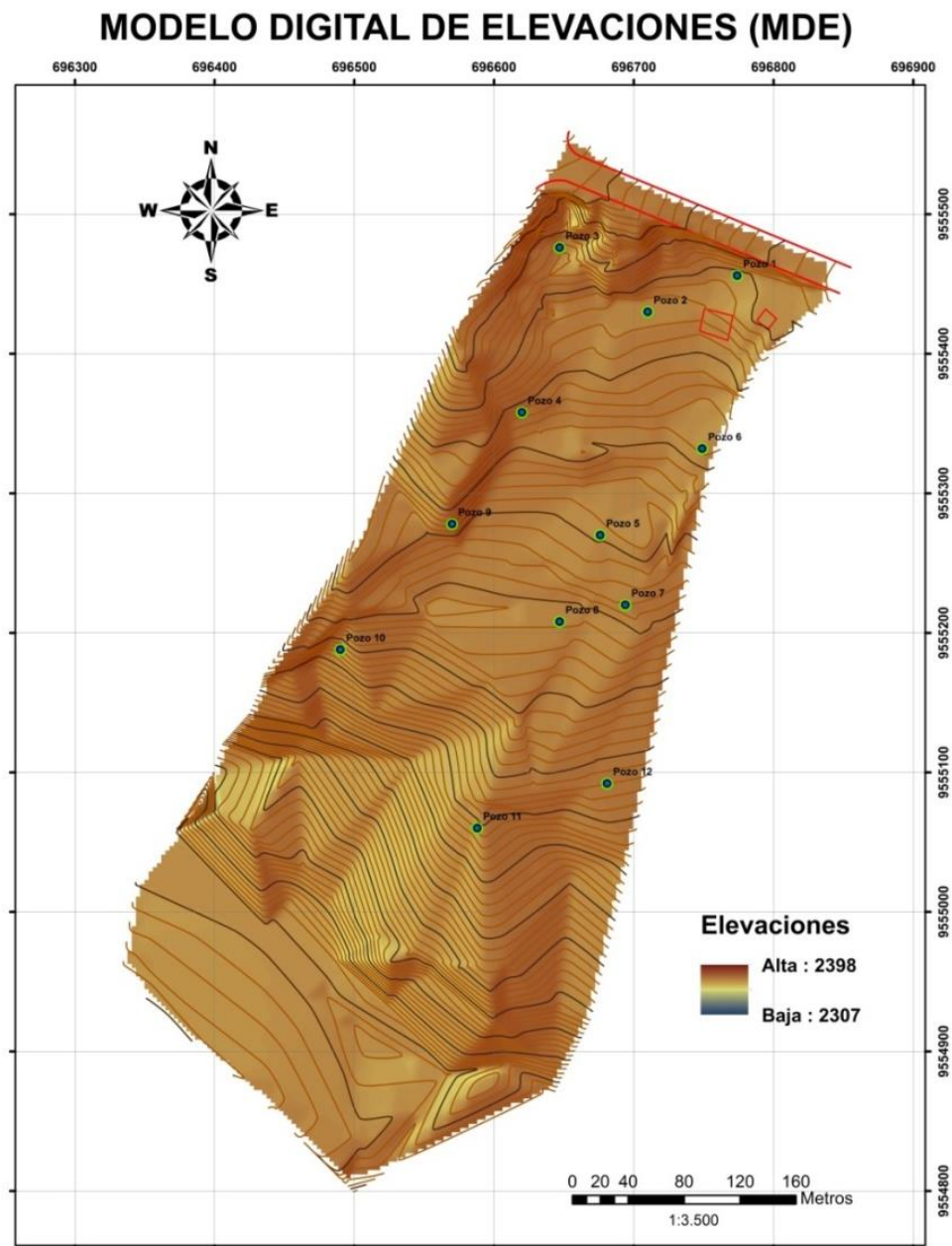


Figura 34. Modelo digital de elevaciones de la zona de estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

4.8.2.3 Mapa de Pendientes.

A partir de la información del modelo digital de elevaciones se pueden construir algunos modelos derivados que permiten observar las características morfológicas de un determinado sitio como es el caso de los mapas de pendientes.

Mediante la generación de este modelo digital se pretendió establecer los diferentes grados de pendiente existentes en la zona de estudio. Su finalidad es representar mediante colores

las zonas del territorio con pendientes semejantes que respetan la forma del relieve (Figura 35).

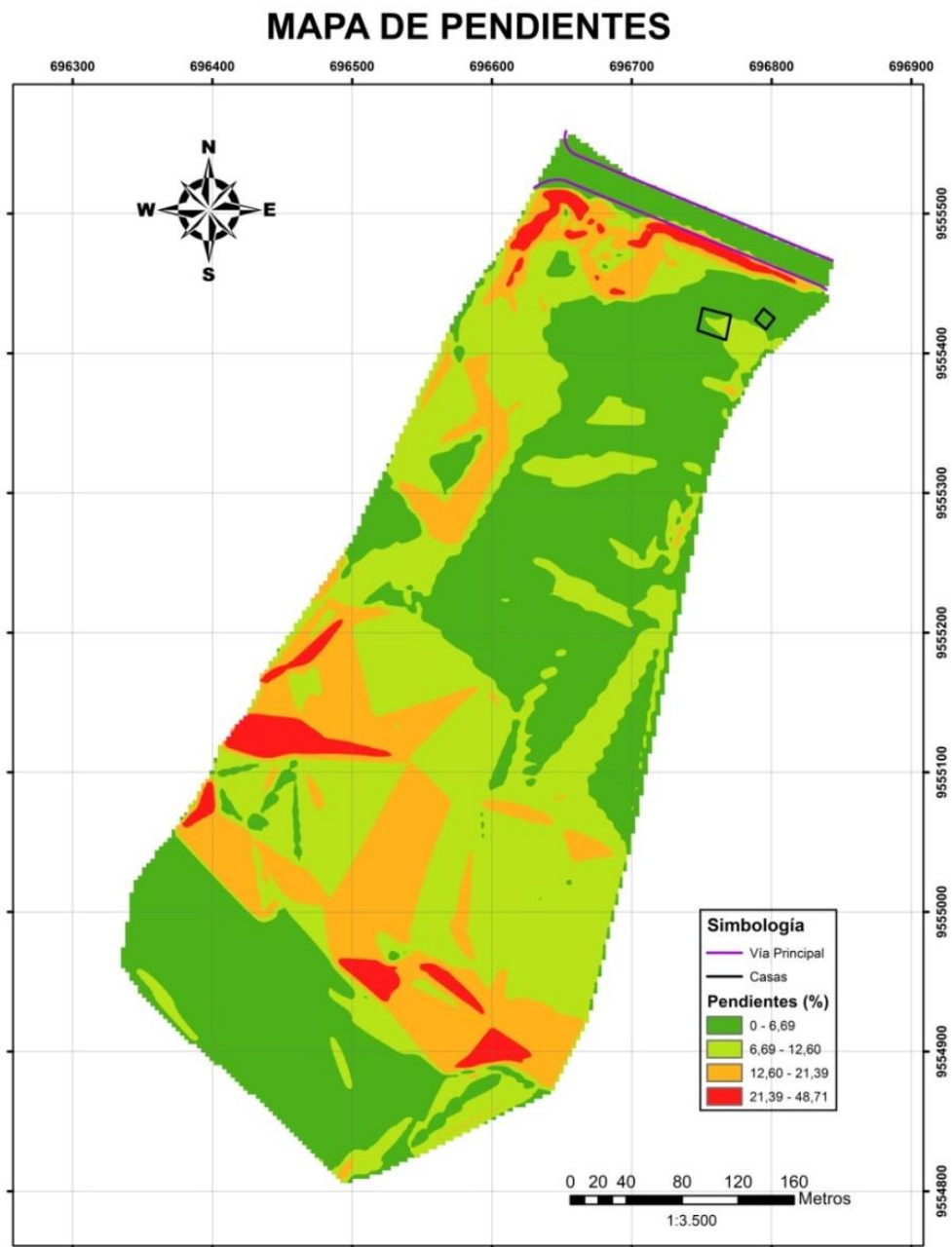


Figura 35. Mapa de Pendientes del sitio de evaluación.
Fuente: Elaboración Propia.

4.8.2.4 Mapa de Distribución espacial de pozos de prueba.

La creación de un mapa de distribución espacial de pozos de prueba tuvo como finalidad la identificación y ubicación de los diferentes pozos en la zona de estudio con sus respectivas coordenadas y elevaciones que se presentó anteriormente en la Figura 22.

De esta manera se logró tener una apreciación más significativa del terreno para posteriores análisis.

4.9 Generación de Modelos Digitales de Humedad (Mapas de Variación de Humedad).

Para la creación adecuada de los mapas de humedad se utilizó toda la información recopilada anteriormente que abarca todos los procesos realizados.

Los mapas de humedad tienen como objetivo obtener una predicción de la variabilidad de la humedad que se está dando en el sitio de estudio y evaluar su comportamiento como factor desencadenante a los movimientos de masa.

Para la obtención de estos modelos digitales se necesitó un proceso de interpolación, el mismo que permite determinar el valor de una variable en una posición del espacio (punto no muestral, con un valor estimado), conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos muestrales, con valores reales en este caso de humedad).

Los métodos de interpolación más utilizados a partir de un conjunto de puntos distribuidos irregularmente puede reducirse a tres: ponderación en función inversa de la distancia, superficies de tendencia y kriging.

Para este estudio se utilizó la metodología kriging que se indicará a continuación.

4.9.1 Kriging.

El método kriging se encuentra inmerso en el grupo de los métodos geo-estadísticos de interpolación que cumple la función de describir la correlación tanto espacial como temporal entre los valores de un atributo (humedad, precipitación, elevaciones). La geo-estadística asume que los datos están correlacionados y que la continuidad se puede establecer para puntos, bloques o volúmenes.

Esta metodología ha sido utilizada con mayor frecuencia en geo-ciencias, sin embargo en la actualidad se aplican cada vez más en una amplia variedad de campos científicos como la ingeniería civil, cartografía, entre otras (FAO, 2003).

Kriging es un método de estimación que selecciona el promedio ponderado de los valores de las muestras la cual tenga la mínima varianza. Para ello se resuelve un conjunto de ecuaciones con información presente en un gráfico denominado variograma (FAO, 2003).

La condición de varianza mínima viene dada por la ecuación:

$$S^2(X_0) = E[z(x_0) - z(x_0)^2] = \text{Min} \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Dónde:

$E []$ = valor esperado

S^2 = varianza de kriging

$Z^*(X_0)$ = Valor estimado

$Z(X_0)$ = valor real

En conclusión en el método de kriging la forma del semivariograma nos indica la capacidad de predicción que tiene cada punto en función de la distancia que lo separa con otro punto. El resultado final de la interpolación kriging es un mapa digital con los valores interpolados de la variable, en donde se representa la probabilidad de que el atributo en estudio alcance un determinado valor.

Existen varios métodos de kriging: kriging simple, kriging ordinario y kriging universal.

4.9.1.1 Kriging Simple.

El método de kriging simple se basa en la hipótesis de que la media de la función aleatoria es conocida.

4.9.1.2 Kriging Universal.

El Kriging Universal asume que hay una tendencia principal en los datos, y puede ser modelado por una función determinística, un polinomio. Este método sólo se lo utiliza cuando se sabe que hay una tendencia en los datos y se puede dar una justificación científica para describirla (FAO, 2003).

4.9.1.3 Kriging Ordinario.

El método de kriging ordinario asume que la media es constante, pero desconocida. Utiliza el semivariograma que es un gráfico que analiza el comportamiento espacial de una variable en estudio sobre un área definida.

En este proyecto se utilizó este método porque presenta una mayor confiabilidad en sus resultados al momento de correlacionar espacialmente y temporalmente la humedad del suelo de la zona de estudio.

$$E[z(x)] = m \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Dónde:

$E [] =$ valor esperado

$Z(x) =$ valor real

$m =$ media de la función aleatoria

Proceso.

A continuación se realiza un resumen del método aplicado con las características más importantes de su uso.

Primeramente se procede a cargar el mapa topográfico del área de estudio con el primer muestreo de humedad en el S.I.G. Los puntos de prueba se encuentran dentro del área que se desea interpolar. Si se tuviera datos fuera del área, el método no funcionaría porque esta técnica no utiliza extrapolación (Figura 36).

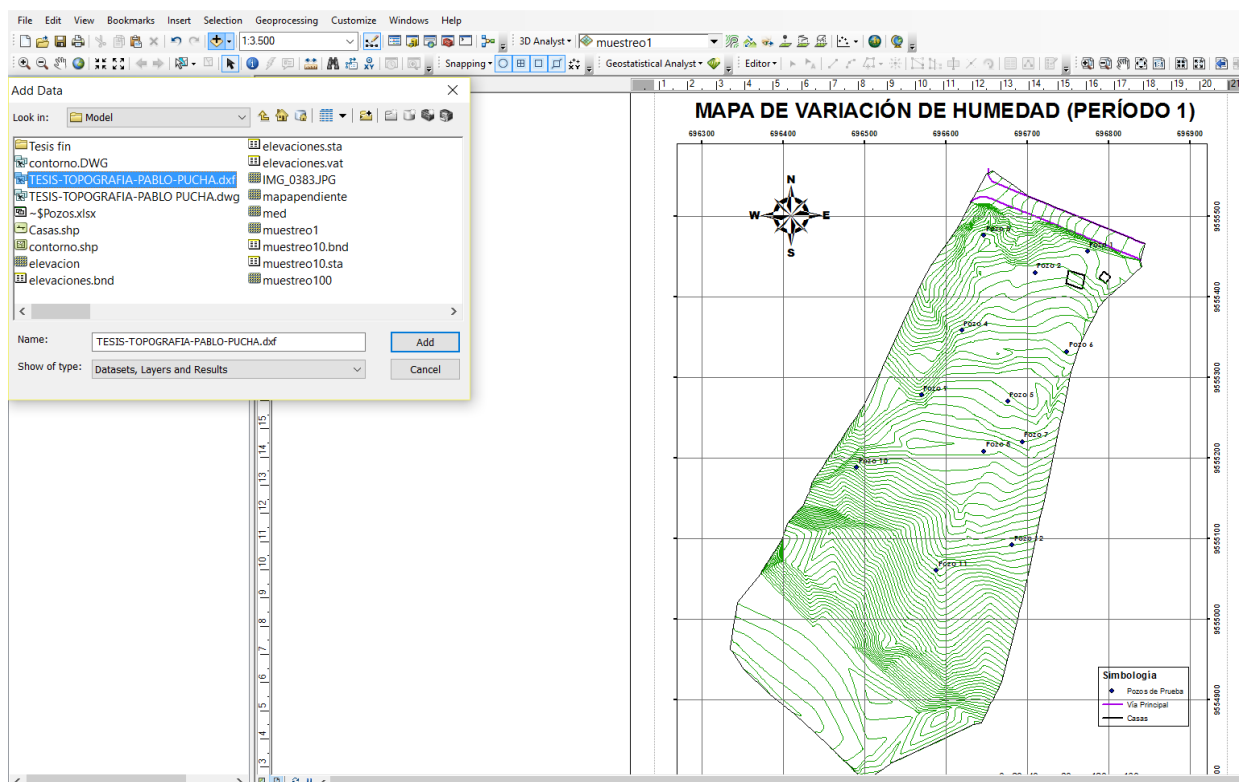


Figura 36. Ingreso de datos preliminares para la predicción Kriging.
Fuente: Elaboración Propia.

Para ingresar los valores del atributo en este caso de humedad se utiliza el comando Geostatistical Analyst, indicando en la opción de Geostatistical Wizard. En este proceso se utiliza la opción Geostatistical Methods-Kriging/CoKriging. Se coloca la información que se desea introducir en el mapa, en este caso denominada W_1 que representa a todos los porcentajes de humedad dados en los pozos de prueba en el período 1 (Figura 37).

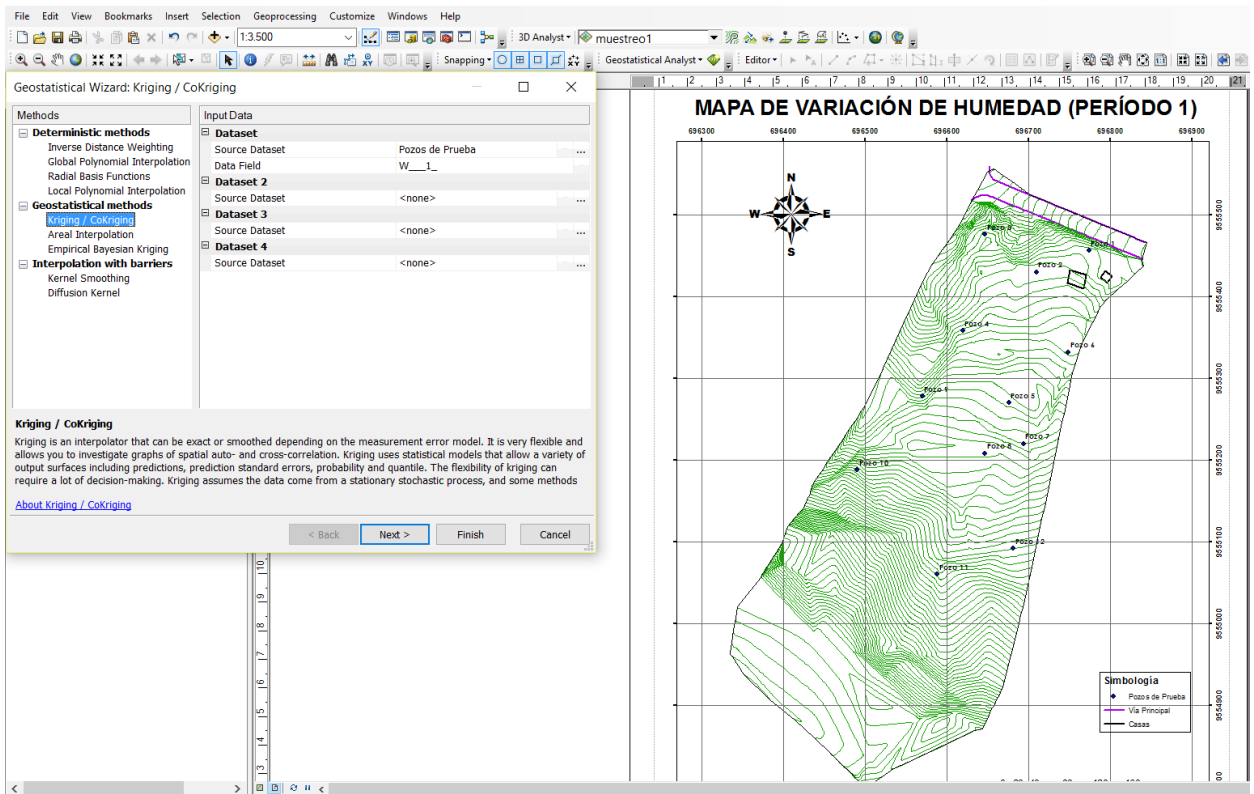


Figura 37. Ingreso de datos de humedad en cada pozo de prueba.
Fuente: Elaboración Propia.

Se evalúa la variable ingresada mediante histogramas, media, valores mínimos y máximos determinados mediante la opción Explore Data en el comando antes indicado (Figura 38).

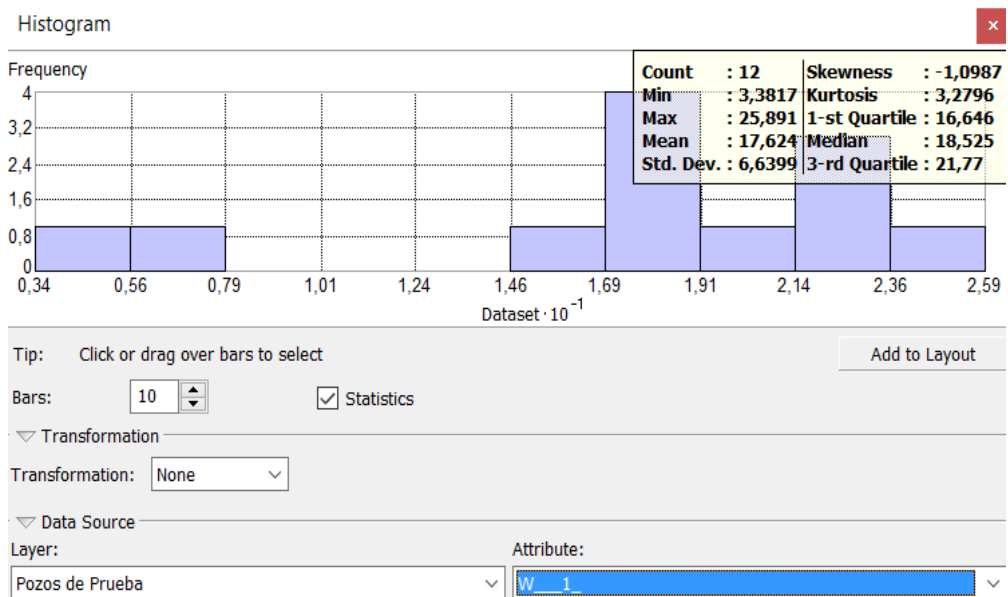


Figura 38. Variables estadísticas determinadas para el método de interpolación.
Fuente: Elaboración Propia.

Seguidamente se escoge la opción del método Kriging ordinario, para luego determinar las características del semivariograma indicadas en las Figuras 39-40.

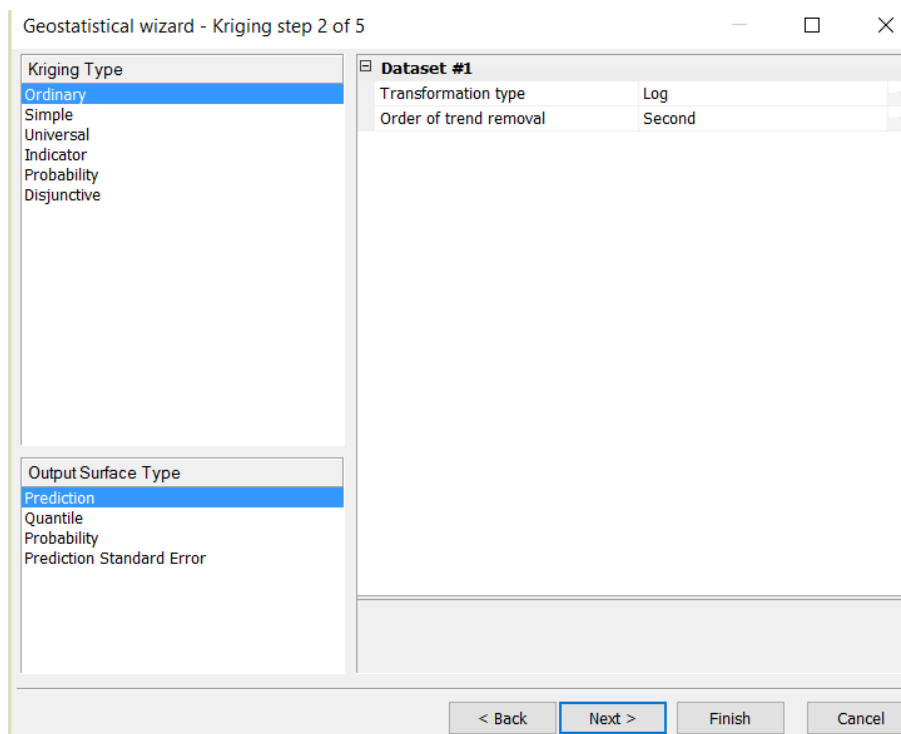


Figura 39. Opción Kriging Ordinario con sus características.
Fuente: Elaboración Propia.

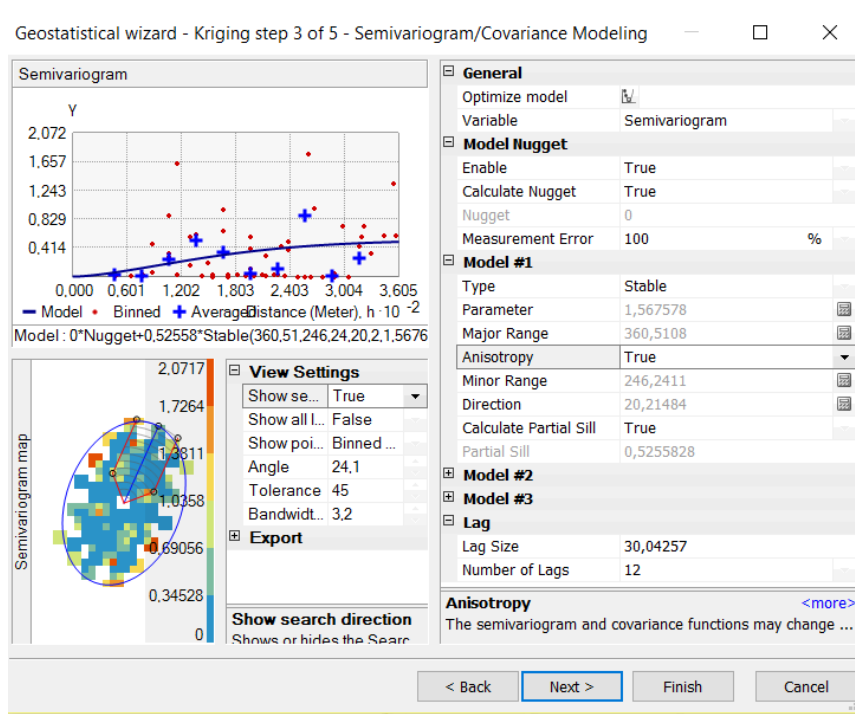


Figura 40. Semivariograma con cada uno de sus parámetros.
Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se establecen parámetros de vecindad y suavidad en la interpolación para una mejor apreciación de los puntos que se tendrá en el modelo de predicción (Figura 41-42)

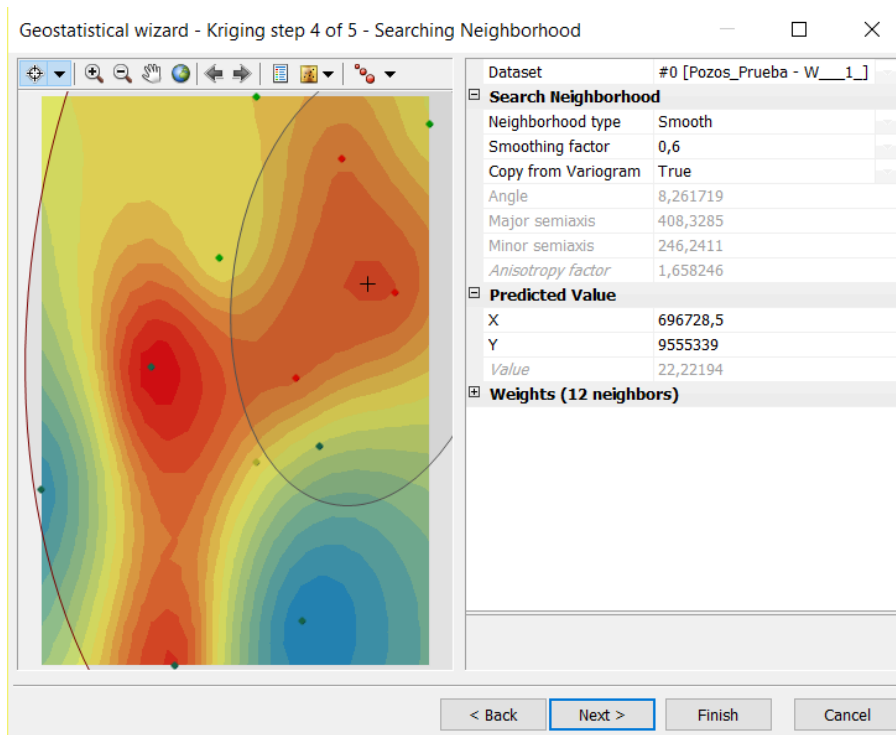


Figura 41. Parámetros de vecindad del modelo de predicción.
Fuente: Elaboración Propia.

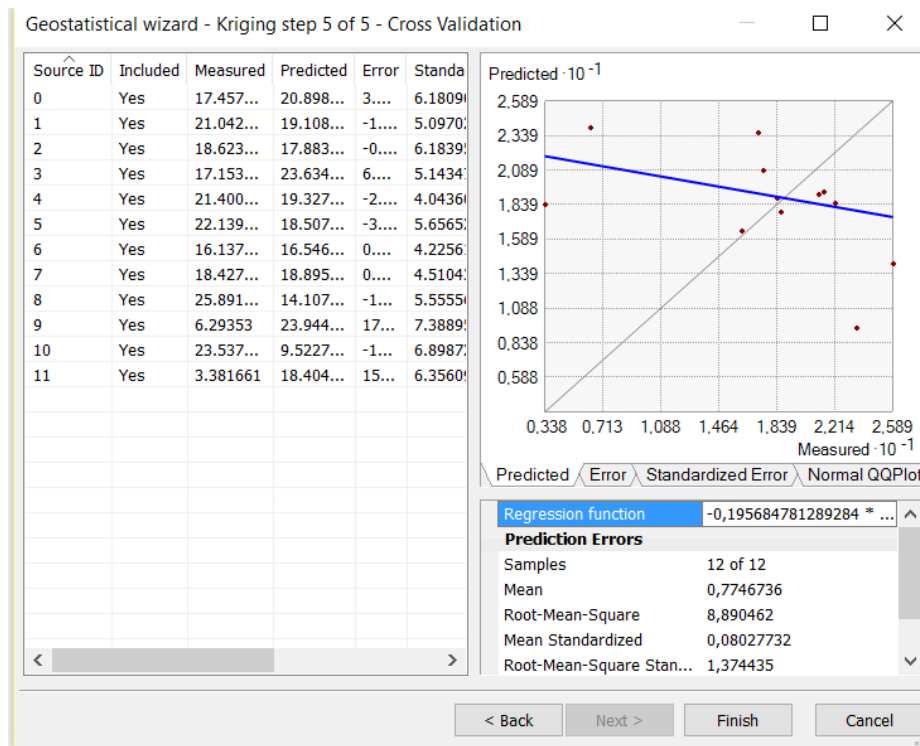


Figura 42. Validación del método.
Fuente: Elaboración Propia.

De esta manera se genera un raster rectangular de la interpolación del atributo que realizó el método Kriging (Figura 43).

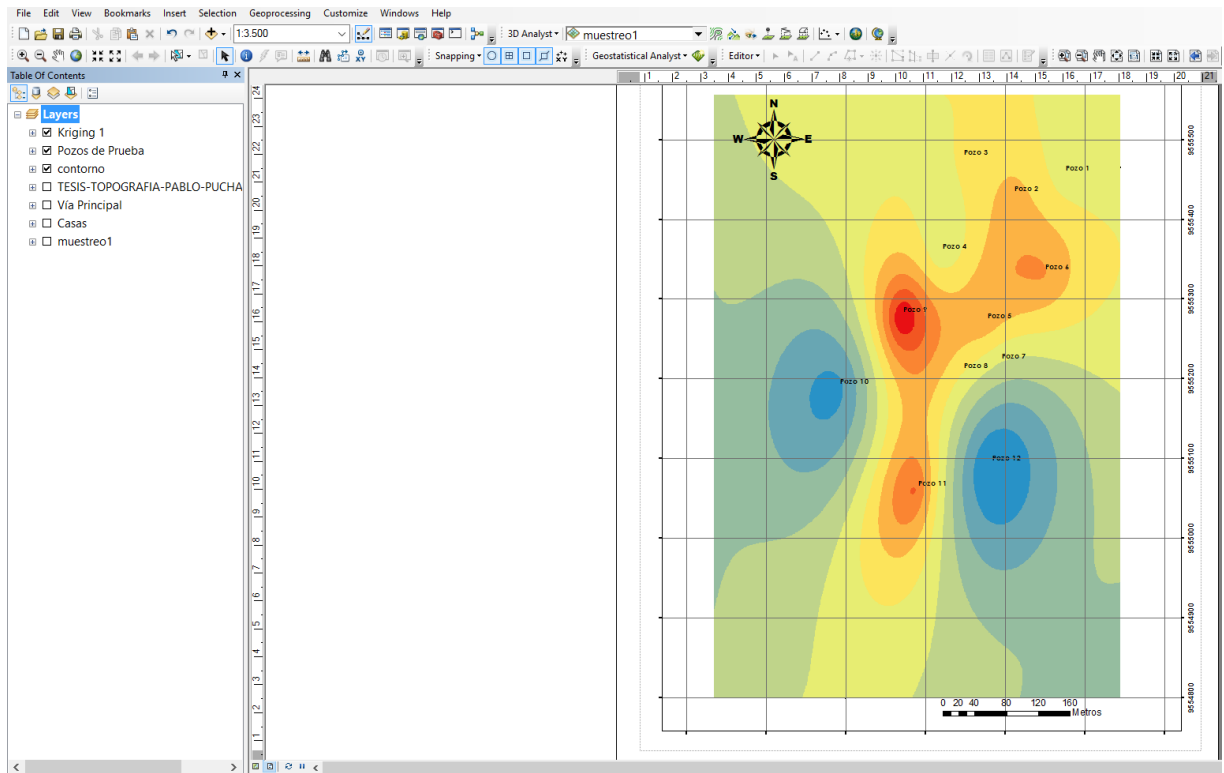


Figura 43. Generación del Mapa rectangular de Kriging Ordinario.
Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se exporta el raster generado, colocando como limites la topografía antes ingresada (contorno) y organizando de mejor manera los rangos con los que se desea trabajar para observar la variación de la humedad en el área de estudio.

Este proceso se realiza para todos los períodos de evaluación de humedad para su debido análisis. Los resultados se muestran en el siguiente capítulo.

RESULTADOS

El análisis de la variabilidad de humedad ha resultado de gran utilidad para poder interpretar el comportamiento de los suelos y dar una predicción de lo que involucran internamente los movimientos de masa.

La varianza de humedad que se da en la mayoría de los pozos según el coeficiente de variación del análisis estadístico de la zona de estudio, es producto de diferentes variables que intervienen en este fenómeno. Esta investigación tuvo como finalidad evaluar algunas de estas variables en relación a los movimientos de masa. La precipitación, tipo de suelo, pendiente, y profundidad son algunas de las variables que se evaluaron, y que se indican a continuación.

Mapas de Variación de Humedad (Kriging) con Precipitación Acumulada a 5 y 20 días.

Primeramente se procedió a la interpretación de los mapas de variación de humedad generados con técnicas geoestadísticas de predicción kriging en relación con la precipitación acumulada antecedente a 5 y 20 días a cada muestreo (Tabla 18 y 19). Y de esta manera al análisis de las gráficas generadas a partir de la distribución de precipitación a 5 días antecedentes con la variación de humedad en cada pozo de prueba.

Tabla 18. Variación de la Precipitación acumulada de 5 días (mm).

| Períodos | Precipitación a 5 días(mm) | | Variación (mm) | |
|-------------|----------------------------|------|----------------|-----------|
| Período 1-2 | 14,4 | 31,5 | 17,1 | Aumenta |
| Período 2-3 | 31,5 | 10,4 | -21,1 | Disminuye |
| Período 3-4 | 10,4 | 21 | 10,6 | Aumenta |
| Período 4-5 | 21 | 22,5 | 1,5 | Aumenta |
| Período 5-6 | 22,5 | 7,5 | -15 | Disminuye |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19. Variación de la Precipitación acumulada de 20 días (mm).

| Períodos | Precipitación a 20 días (mm) | | Variación (mm) | |
|-------------|------------------------------|------|----------------|-----------|
| Período 1-2 | 26 | 95,5 | 69,5 | Aumenta |
| Período 2-3 | 95,5 | 70,5 | -25 | Disminuye |
| Período 3-4 | 70,5 | 90,6 | 20,1 | Aumenta |
| Período 4-5 | 90,6 | 40,8 | -49,8 | Disminuye |
| Período 5-6 | 40,8 | 18 | -22,8 | Disminuye |

Fuente: Elaboración Propia.

La precipitación a 5 días actúa de manera similar a la de 20 días en la mayoría de periodos. Entre el período 4 y 5 se tiene que a los 5 días incrementa la precipitación y a los 20 días disminuye. Conforme avanza el análisis se indicará como afecta esto a la variación de la humedad. Se puede destacar que conforme incrementa la precipitación acumulada

incrementa también la variación de humedad, sin embargo existen casos en los que no sucede de la misma forma lo cual se justifica en el siguiente análisis.

Si el porcentaje de variación de humedad es positivo incrementa caso contrario disminuye.

Período 1 y Período 2.

La precipitación acumulada antecedente a 20 días del período 1 fue de 26 mm. Desde aquí se parte para el análisis de la variación de humedad y su consecuencia en los movimientos de masa.

En condiciones iniciales se observa en el primer mapa de variación de humedad que el flujo de agua está controlado por la pendiente, se dirige desde la parte superior a la parte inferior que da a la vía (de Pozo 11 a Pozo 2), en donde la predicción Kriging indica que existen las mayores humedades.

Tabla 20. Variación de Humedad entre el Período 1 y 2.

| Pozo | W% (1) | % Variación | W% (2) |
|-------------|---------------|--------------------|---------------|
| Pozo 1 | 17,46 | 2,85 | 20,31 |
| Pozo 2 | 21,04 | -3,86 | 17,18 |
| Pozo 3 | 18,62 | 1,93 | 20,55 |
| Pozo 4 | 17,15 | 1,37 | 18,52 |
| Pozo 5 | 21,4 | 9,47 | 30,87 |
| Pozo 6 | 22,14 | -1,88 | 20,26 |
| Pozo 7 | 16,14 | 8,62 | 24,76 |
| Pozo 8 | 18,43 | 13,73 | 32,16 |
| Pozo 9 | 25,89 | 3,25 | 29,14 |
| Pozo 10 | 6,29 | 2,16 | 8,45 |
| Pozo 11 | 23,54 | 4,24 | 27,78 |
| Pozo 12 | 3,38 | 1,07 | 4,45 |

Fuente: Elaboración Propia.

El máximo incremento de la humedad se dio en el Pozo 8, una de las consecuencias de esto es que este pozo presenta pendientes bajas y observando los mapas de humedad (Figura 44 y 45) se ve que la humedad se dirige desde la parte superior hacia la parte inferior (de Sur a Norte).

En el caso del Pozo 2 y 6 el porcentaje de variación decrece a pesar de que la precipitación acumulada incrementa. Se puede explicar que en esta zona el agua está infiltrando de manera más rápida a profundidades mayores lo que podría estar ocasionando el deslizamiento de masas.

En el caso del Pozo 6 se tiene un suelo con limos con lo cual se puede entender que el agua drena más rápido a pesar de la precipitaciones que incrementan entre estos dos muestreos. En los demás pozos de prueba el porcentaje de variación responde directamente a la precipitación acumulada, conforme incrementa la precipitación incrementa la humedad.

Período 2 y Período 3.

En este caso se pueden establecer tres partes en el sitio de estudio: Parte superior, Parte central, y Parte inferior de Sur a Norte. Se observa que la humedad se está acumulando en la parte central del sitio por la concavidad existente, mientras que en las otras partes la humedad va disminuyendo (Figura 45 y 46).

Las técnicas geoestadísticas Kriging en los mapas de humedad indican que desde la parte central hacia abajo, el flujo de agua va dirigido a mayores profundidades ya que disminuyen las humedades.

En este caso la precipitación disminuye y en la mayoría de pozos existe un incremento de su variación (Tabla 21). Esto se debe a que la zona de estudio no está drenando el agua por la precipitación constante que existe. El pozo 11 presenta el máximo incremento de humedad debido a la concavidad que existe en esta parte del terreno como se puede observar en el mapa de elevaciones (Figura 34).

Tabla 21. Variación de Humedad entre el Período 2 y 3.

| Pozo | W% (2) | % Variación | W% (3) |
|---------|--------|-------------|--------|
| Pozo 1 | 20,31 | 3,66 | 23,97 |
| Pozo 2 | 17,18 | 11,03 | 28,21 |
| Pozo 3 | 20,55 | -1,15 | 19,4 |
| Pozo 4 | 18,52 | 22,38 | 40,9 |
| Pozo 5 | 30,87 | 17,78 | 48,65 |
| Pozo 6 | 20,26 | 15,26 | 35,52 |
| Pozo 7 | 24,76 | 18,84 | 43,6 |
| Pozo 8 | 32,16 | 5,76 | 37,92 |
| Pozo 9 | 29,14 | 2,74 | 31,88 |
| Pozo 10 | 8,45 | 6,82 | 15,27 |
| Pozo 11 | 27,78 | 23,28 | 51,06 |
| Pozo 12 | 4,45 | 5,87 | 10,32 |

Fuente: Elaboración Propia.

La precipitación al no disminuir de manera significativa en el sitio de estudio repercutió en la retención de agua durante más tiempo, lo que justifica el incremento de la humedad. En el caso del pozo 3 presenta un decrecimiento mínimo del porcentaje de variación lo que puede indicar que la pendiente en este sitio influye directamente con la humedad.

Período 3 y Período 4.

La precipitación en los períodos 3 y 4 volvió a incrementar hasta casi un mismo punto que la precipitación que incrementó anteriormente en los períodos 1 y 2. Como se pudo manifestar anteriormente la humedad responde directamente a la precipitación acumulada que aumenta.

Tabla 22. Variación de Humedad entre el Período 3 y 4.

| Pozo | W% (3) | % Variación | W% (4) |
|---------|--------|-------------|--------|
| Pozo 1 | 23,97 | 10,69 | 34,66 |
| Pozo 2 | 28,21 | -7,7 | 20,51 |
| Pozo 3 | 19,4 | 3,16 | 22,56 |
| Pozo 4 | 40,9 | 21,71 | 62,61 |
| Pozo 5 | 48,65 | 15,85 | 64,5 |
| Pozo 6 | 35,52 | 24,91 | 60,43 |
| Pozo 7 | 43,6 | 25,28 | 68,88 |
| Pozo 8 | 37,92 | 12,93 | 50,85 |
| Pozo 9 | 31,88 | 4,33 | 36,21 |
| Pozo 10 | 15,27 | 1,35 | 16,62 |
| Pozo 11 | 51,06 | 10,9 | 61,96 |
| Pozo 12 | 10,32 | 3,35 | 13,67 |

Fuente: Elaboración Propia.

De la misma forma que se tuvo en el período 1 y 2 el pozo de valuación número 2 presenta un porcentaje de variación negativo lo que indica que la humedad decreció (Tabla 22). En este caso existe una tendencia en este sitio porque la humedad varía de manera considerable que podría estar provocando el movimiento de masas.

Mediante la determinación del porcentaje de variación y la interpretación de las mapas de humedad se puede observar que el flujo de agua se dirige hacia el pozo 7, 5 y 6 de arriba hacia abajo ya que las variaciones de humedad en estos sitios son las máximas (Figura 46 y 47).

Período 4 y Período 5.

En este caso la precipitación acumulada disminuyó considerablemente lo que ocasiona que la humedad también disminuya en la mayoría de los pozos de evaluación. En el período 2 y 3 aunque la precipitación decrecía no ocurría lo mencionado.

Esto puede deberse a que cuando la precipitación acumulada disminuye de manera significativa como es el caso de estos dos períodos también decrece la humedad, sin embargo no sucede lo mismo cuando la precipitación no disminuye en gran magnitud.

Tabla 23. Variación de Humedad entre el Período 4 y 5.

| Pozo | W% (4) | % Variación | W% (5) |
|---------|--------|-------------|--------|
| Pozo 1 | 34,66 | -14,11 | 20,55 |
| Pozo 2 | 20,51 | -4,74 | 15,77 |
| Pozo 3 | 22,56 | -4,22 | 18,34 |
| Pozo 4 | 62,61 | -2,46 | 60,15 |
| Pozo 5 | 64,5 | 0,7 | 65,2 |
| Pozo 6 | 60,43 | 3,84 | 64,27 |
| Pozo 7 | 68,88 | -18,83 | 50,05 |
| Pozo 8 | 50,85 | 4,44 | 55,29 |
| Pozo 9 | 36,21 | -14,97 | 21,24 |
| Pozo 10 | 16,62 | 1,8 | 18,42 |
| Pozo 11 | 61,96 | 2,16 | 64,12 |
| Pozo 12 | 13,67 | -5,31 | 8,36 |

Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que en el caso de los Pozos 5, 6, 8 y 11 el porcentaje de humedad incrementó en poca magnitud a pesar de la precipitación antecedente, debido a que en el pozo 11 la curvatura del suelo es cóncava, ubicado en la parte superior del sitio de estudio y el agua se dirige hacia este pozo de arriba hacia abajo ocasionando un período de drenaje menor. Para los pozos 5, 6 y 8 se tiene un área más llana pero también cóncava que produce el mismo efecto de retención de agua durante más tiempo al existir precipitación.

El máximo porcentaje de decrecimiento de humedad fue en el pozo 7 que pudo estar afectado por la pendiente con la que cuenta este punto. En el mapa de humedad se puede observar que sigue existiendo mayor humedad en la parte central de la zona de estudio (Figura 47 y 48).

Período 5 y Período 6

La precipitación antecedente de estos muestreos disminuyó considerablemente, lo cual se puede interpretar en el decrecimiento de las humedades.

Observando los mapas humedad de la Figura 48 y 49 se tiene que la humedad disminuyó considerablemente en donde se tenía acumulaciones de agua. Esto quiere decir que el agua empezó a infiltrar más rápido cuando disminuyó la precipitación en magnitudes importantes. Se puede entender que el flujo de agua se está dirigiendo a zonas más profundas pudiendo afectar a la estabilidad de esta zona.

Tabla 24. Variación de Humedad entre el Período 5 y 6.

| Pozo | W% (5) | % Variación | W% (6) |
|---------|--------|-------------|--------|
| Pozo 1 | 20,55 | 0,54 | 21,09 |
| Pozo 2 | 15,77 | 1,76 | 17,53 |
| Pozo 3 | 18,34 | 2,13 | 20,47 |
| Pozo 4 | 60,15 | -30,39 | 29,76 |
| Pozo 5 | 65,2 | -24,7 | 40,5 |
| Pozo 6 | 64,27 | -31,38 | 32,89 |
| Pozo 7 | 50,05 | -11,16 | 38,89 |
| Pozo 8 | 55,29 | -11,59 | 43,7 |
| Pozo 9 | 21,24 | 10,6 | 31,84 |
| Pozo 10 | 18,42 | -4,63 | 13,79 |
| Pozo 11 | 64,12 | -6,48 | 57,64 |
| Pozo 12 | 8,36 | 4,31 | 12,67 |

Fuente: Elaboración Propia.

Producto del tipo del suelo, topografía y curvatura, la humedad varía en estos dos muestreos, en donde algunos casos la humedad incrementa a pesar de disminuir la precipitación. En el pozo 1, 2 y 12 se tiene un área llana lo que produce que acumule más agua, mientras que en el pozo 3 al tener una pendiente más significativa también retiene agua sin embargo este pozo pertenece a otro tipo de suelo. Esto se justificará en la siguiente parte del análisis.

Gráficas de Variabilidad de Humedad con distribución de precipitación antecedente a 5 días de cada período de prueba.

Analizando las gráficas de distribución de la precipitación diaria a 5 días antecedentes a cada muestreo (Figura 50 a Figura 53) se tiene que antes del período 2 se presenta la mayor precipitación que se da en este rango, lo que ocasiona un incremento en el porcentaje de variación de humedad en la mayoría de pozos. De la misma forma ocurre en la distribución de las precipitaciones antes del período 4. Los demás casos de variación de humedad se pueden justificar en la siguiente sección de análisis. Es muy probable que entre estos dos muestreos se pudieran estar presentando movimientos de masa de mayor magnitud debido a la intensidad de precipitación que se suscitó en estos días. Se puede indicar que la vía que se encuentra limitando la zona de estudio en estos meses presentó hundimientos y abultamientos evidenciados en su capa asfáltica debido a los movimientos que se están suscitando (Anexo A.5).

Se puede indicar que mientras exista precipitación constante la variación de humedad podrá incrementar o disminuir en relación a la ubicación en que se requiera realizar un estudio.

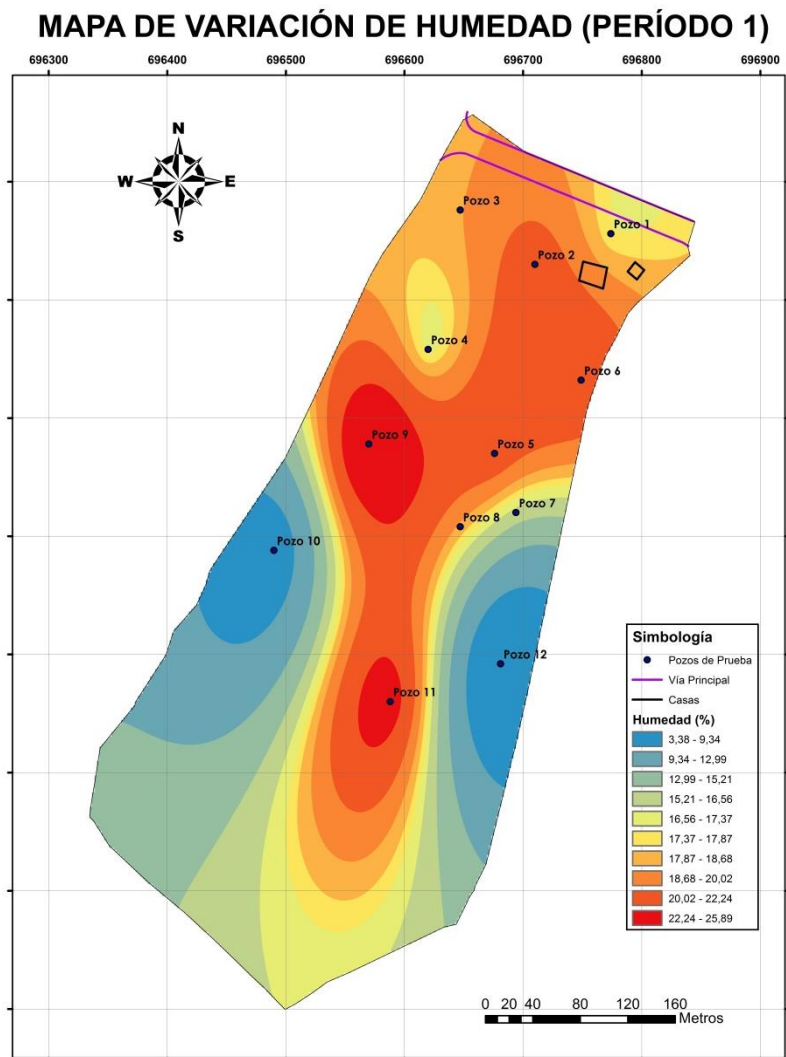


Figura 44. Mapa de variación de humedad (Período 1).
Fuente: Elaboración Propia.

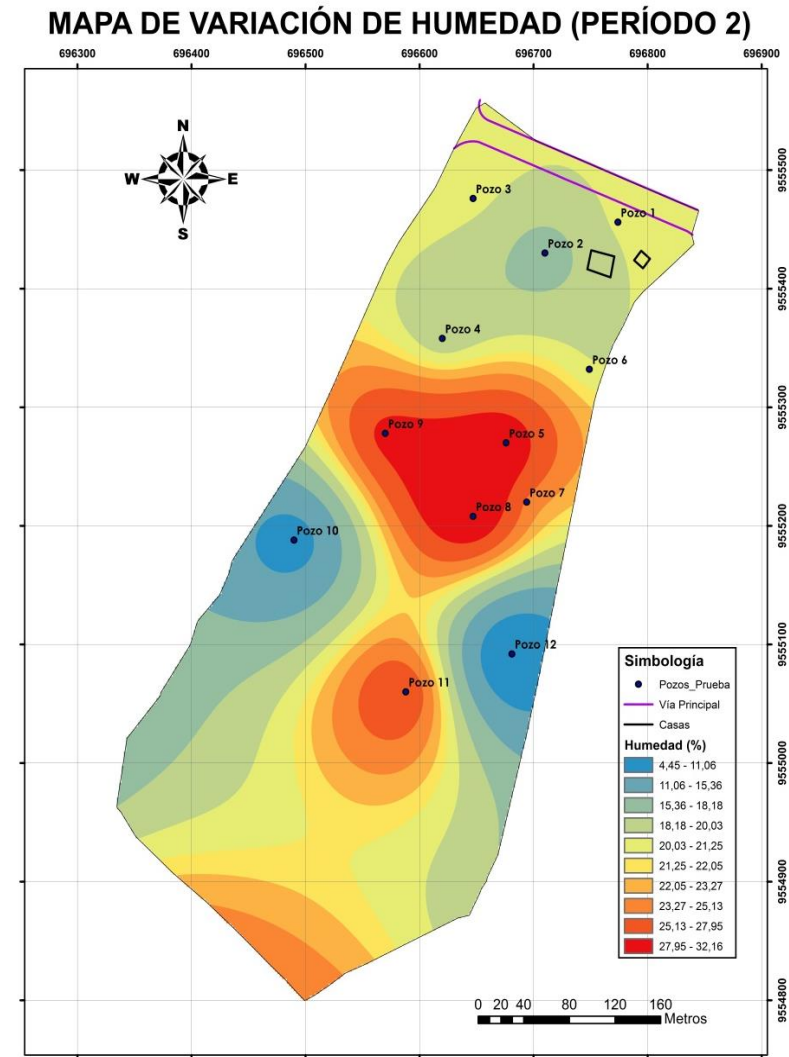


Figura 45. Mapa de variación de humedad (Período 2).
Fuente: Elaboración Propia.

MAPA DE VARIACIÓN DE HUMEDAD (PERÍODO 3)

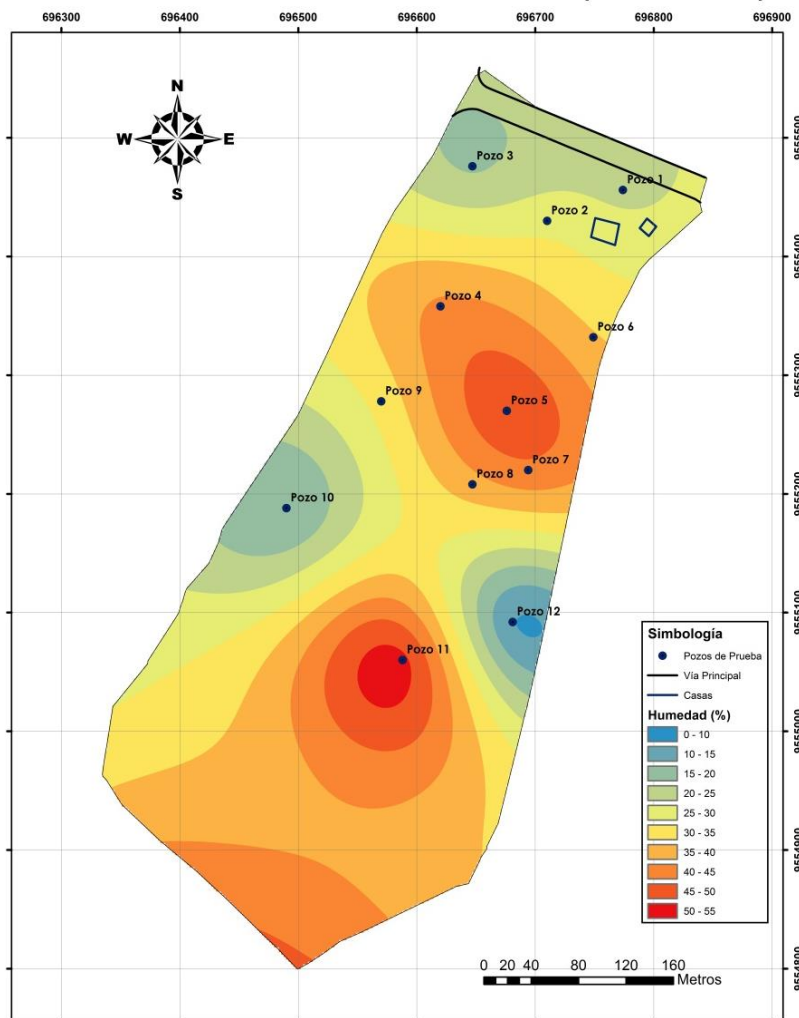


Figura 46. Mapa de variación de humedad (Período 3).
Fuente: Elaboración Propia.

MAPA DE VARIACIÓN DE HUMEDAD (PERÍODO 4)

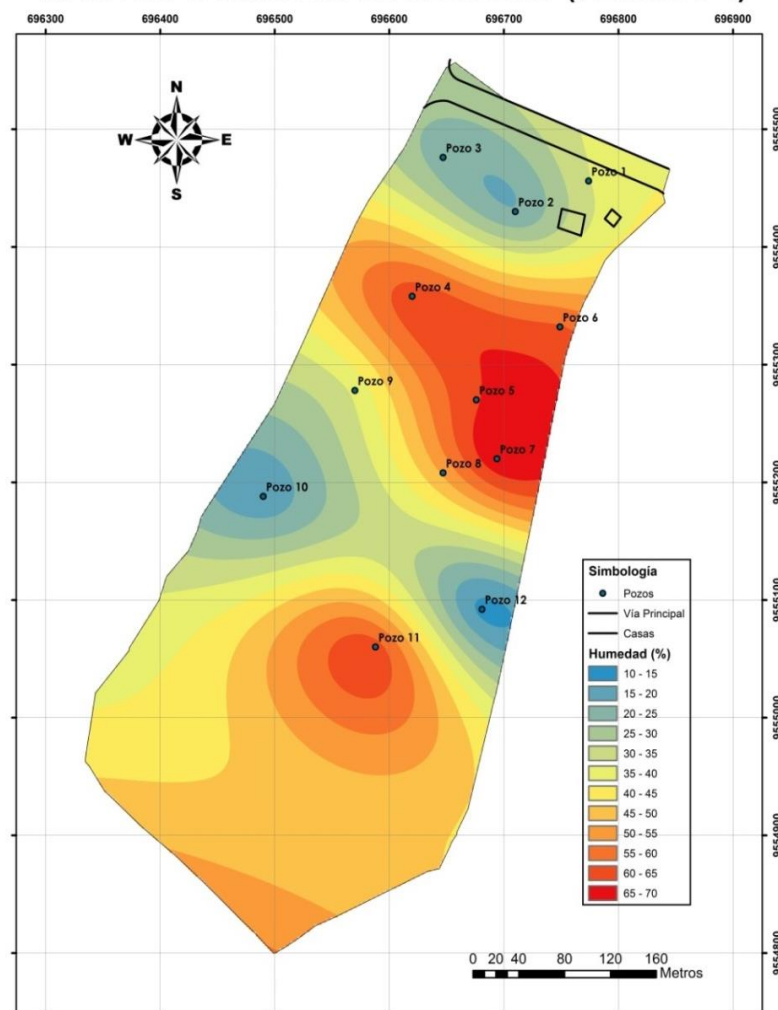


Figura 47. Mapa de variación de humedad (Período 4).
Fuente: Elaboración Propia.

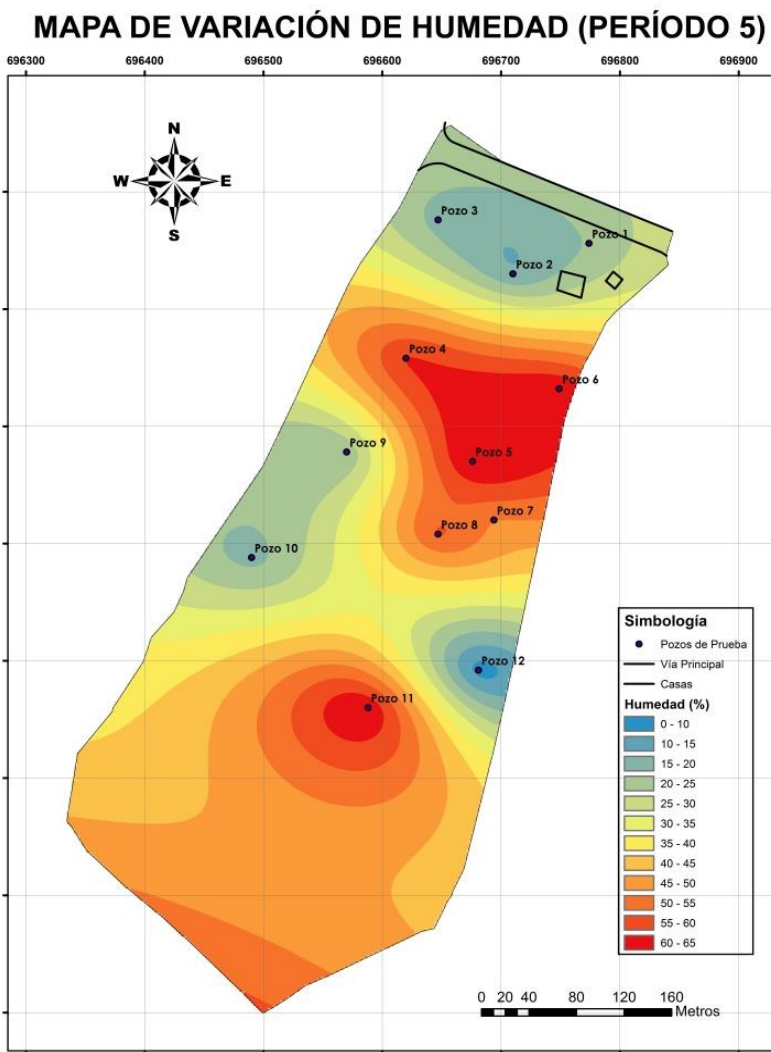


Figura 48. Mapa de variación de humedad (Período 5).
Fuente: Elaboración Propia.

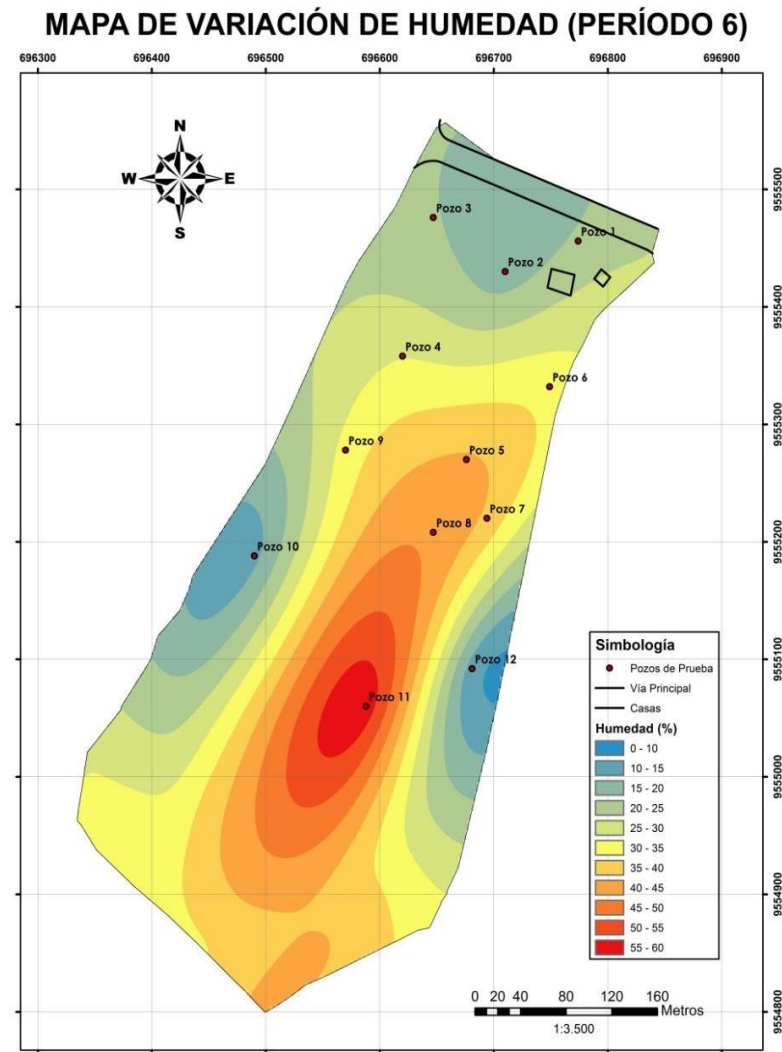


Figura 49. Mapa de variación de humedad (Período 6).
Fuente: Elaboración Propia.

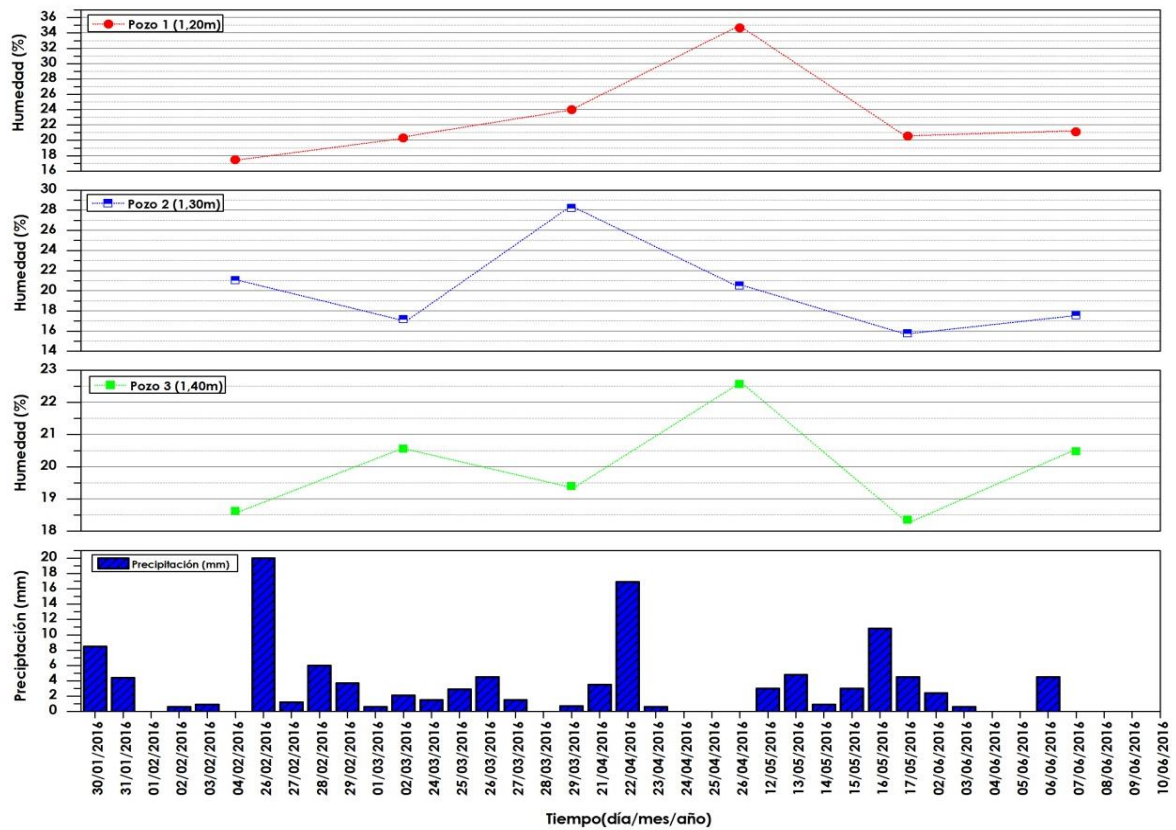


Figura 50. Variación temporal de la humedad en los pozos de prueba 1,2,3.
Fuente: Elaboración Propia.

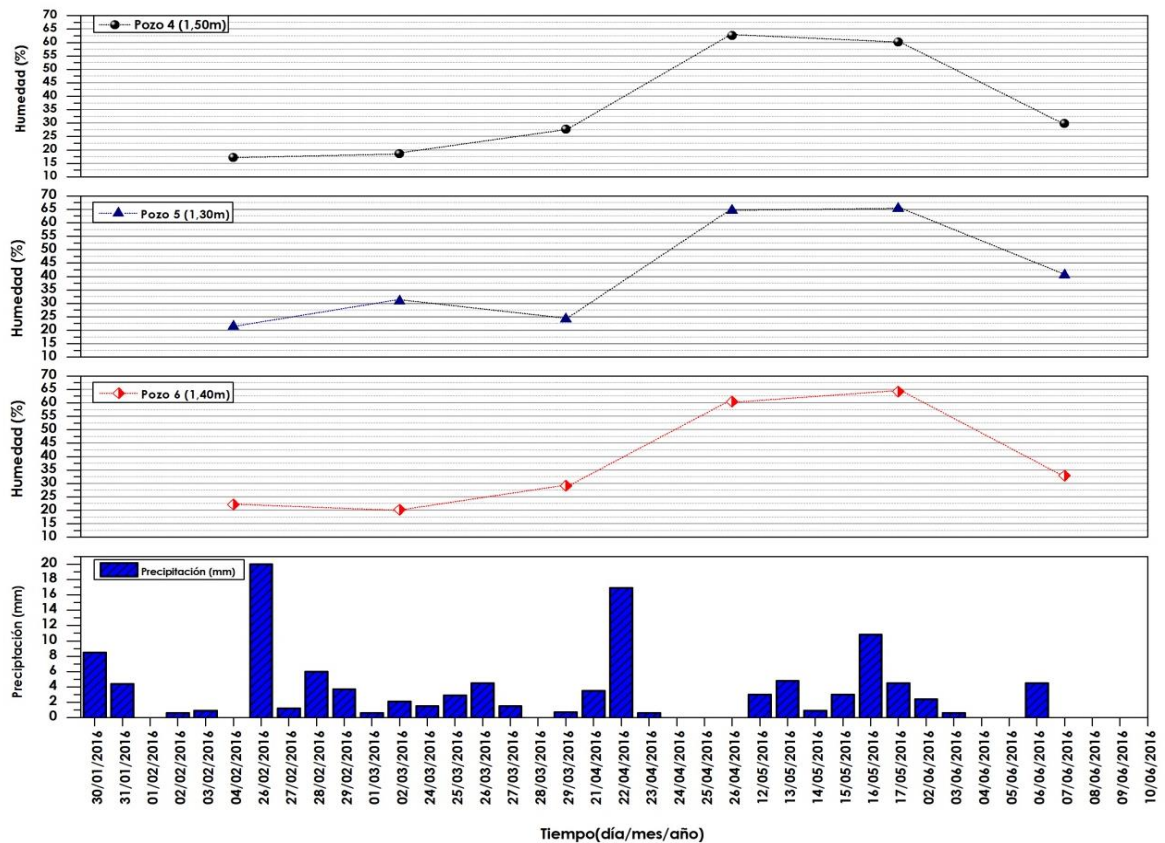


Figura 51. Variación temporal de la humedad en los pozos de prueba 4,5,6.
Fuente: Elaboración Propia.

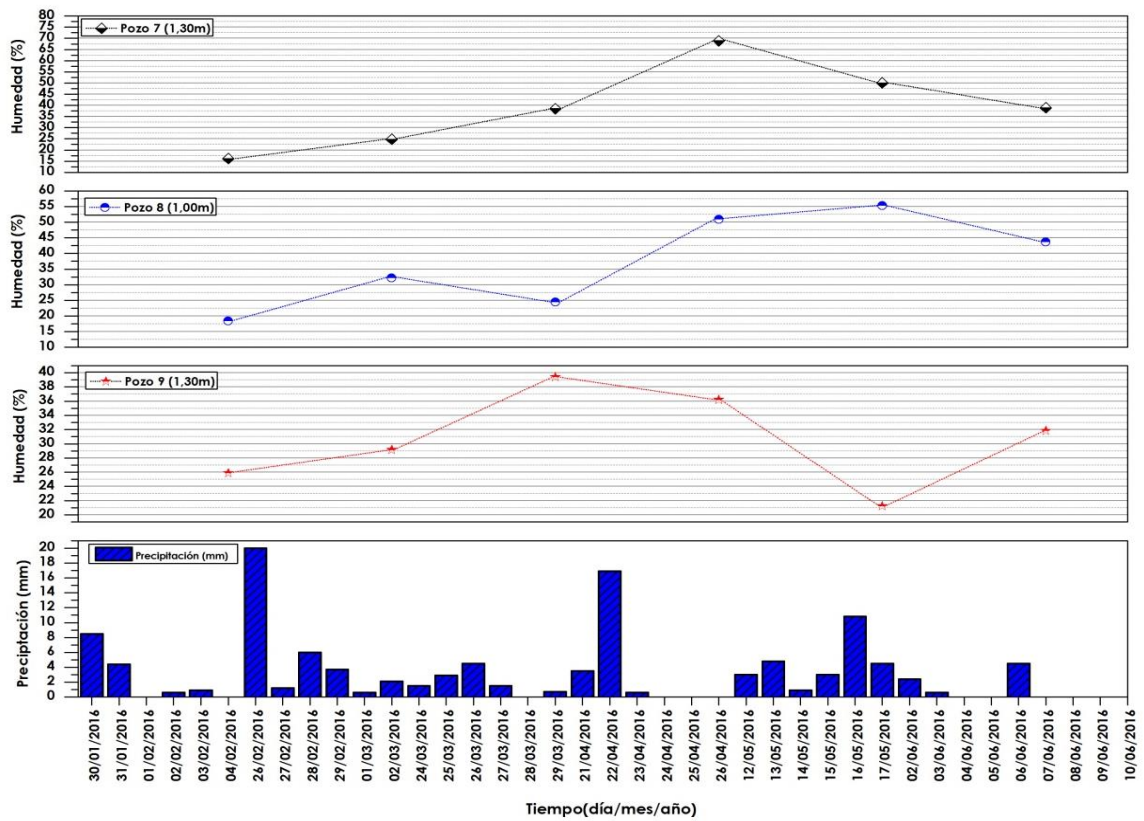


Figura 52. Variación temporal de la humedad en los pozos de prueba 7,8,9.
Fuente: Elaboración Propia.

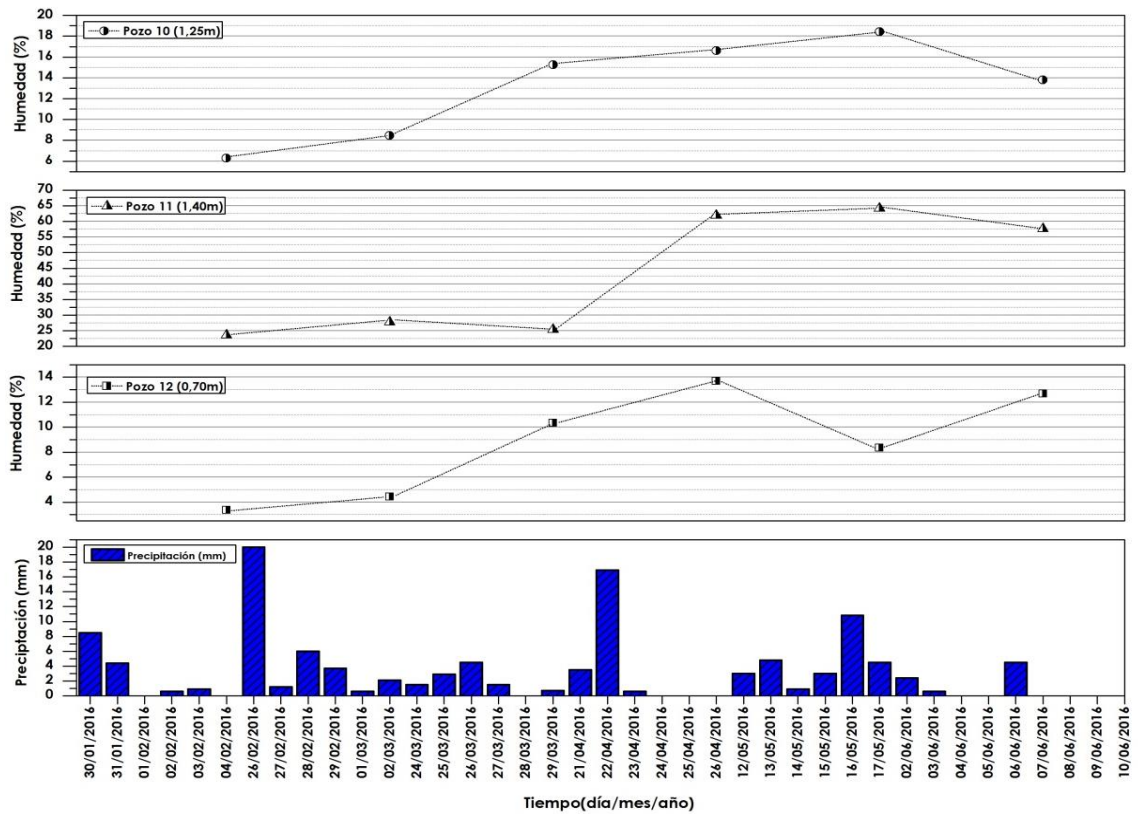


Figura 53. Variación temporal de la humedad en los pozos de prueba 10,11,12.
Fuente: Elaboración Propia.

Variación de humedad frente al tipo de Suelo, Pendiente y Precipitación Acumulada.

Una vez realizado el análisis de los mapas de humedad con las precipitaciones acumuladas a 5 y a 20 días y a las gráficas antes mencionadas. Se procedió a incluir más variables para el caso de estudio, con el objetivo de entender y justificar el proceso de variación de humedad y su influencia en los movimientos de masa. En los resultados de esta investigación se obtuvo que la mayor parte de la zona de estudio se encuentra compuesta por suelos arcillosos y limos a diferentes profundidades, los mismos que podrían estar desencadenando estos deslizamientos. En su topografía se encuentran pendientes que van desde el 7% al 49% con curvaturas cóncavas y convexas.

A continuación se presenta un resumen de las variables analizadas (Tabla 25).

Tabla 25. Variables Analizadas.

| Pozo | Tipo de Suelo | Elevación (m) | Pendiente |
|---------|---------------|---------------|-----------|
| Pozo 1 | a | 2325 | Rango 1 |
| Pozo 2 | a | 2328 | Rango 1 |
| Pozo 3 | b | 2322 | Rango 2 |
| Pozo 4 | b | 2332 | Rango 2 |
| Pozo 5 | b | 2341 | Rango 1 |
| Pozo 6 | d | 2334 | Rango 1 |
| Pozo 7 | b | 2343 | Rango 2 |
| Pozo 8 | c | 2346 | Rango 1 |
| Pozo 9 | c | 2338 | Rango 3 |
| Pozo 10 | a | 2352 | Rango 3 |
| Pozo 11 | a | 2361 | Rango 3 |
| Pozo 12 | a | 2357 | Rango 1 |

Fuente: Elaboración Propia.

Dónde:

- (a) Arcillas inorgánicas de Baja Plasticidad
- (b) Arcillas inorgánicas de plasticidad media
- (c) Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
- (d) Limos inorgánicos de compresibilidad media

Rango 1 0%-6,69%
Rango 2 6,69%-12,60%
Rango 3 12,60%-21,39%

Primeramente se empezó por analizar las arcillas de baja, mediana y alta plasticidad con algunas combinaciones posibles entre los pozos de prueba, con relación a los rangos de pendiente y de manera fundamental cuando incrementa o disminuye la precipitación.

La Precipitación acumulada Incrementa.

Arcillas de Baja Plasticidad.

La variación de la humedad responde a la pendiente, a mayor pendiente el agua escurre más rápido en arcillas de baja plasticidad. En este caso entre el período 3 y 4 el agua drena más rápido que entre el período 1 y 2. Esto se debe a que en el período 1 y 2 existe un mayor incremento de precipitación que entre el 3 y 4 (Anexo A.3.1).

Arcillas de Plasticidad Media.

Entre el período 1 y 2 cuando incrementa la pluviosidad las arcillas de mediana plasticidad presentan las mismas características que las de baja plasticidad, a menores pendientes la humedad incrementa. Pero entre el período 3 y 4 el patrón cambia, esto se puede justificar en que el pozo 5 presenta una curvatura cóncava, que estaría ocasionando la retención de mayor agua en este sitio cuando la precipitación incrementa en magnitudes menos significativas (Anexo A.3.2).

Por consiguiente se entiende que en arcillas de mediana plasticidad también afecta la pendiente al momento de la variación de humedad de la misma forma que en el caso anterior, sin embargo se debe considerar la forma de la parte que se desea analizar ya sea cóncava o convexa.

Arcillas de Alta Plasticidad

En arcillas de alta plasticidad la tendencia es la misma que en los casos anteriores. A mayores pendientes el agua que infiltra escurre más rápido según los porcentajes de variación que se tiene (Anexo A.3.3).

Entre el período 3 y 4 se observa que se tiene un drenaje más rápido que entre el período 1 y 2, de la misma forma que las arcillas de baja plasticidad.

La Precipitación acumulada Disminuye.

Arcillas de Baja Plasticidad.

La precipitación disminuye y de igual forma se tiene que a mayores pendientes no se acumula agua como en áreas llanas. El porcentaje de variación de humedad decrece conforme se tiene rangos de mayores pendientes en arcillas de baja plasticidad entre el Período 5 y 6. (Anexo A.3.4).

Arcillas de Plasticidad Media.

En este caso se analizó entre el período 4-5 y 5-6 que presentan precipitaciones que decrecen. Las arcillas de plasticidad media retienen mayor cantidad de agua en áreas más llanas que áreas de rango 3 cuando la precipitación disminuye. Se puede destacar entonces que la tendencia es la misma que en los casos anteriores independientemente de si la precipitación aumenta o disminuye. (Anexo A.3.5).

Arcillas de Alta Plasticidad.

Para este análisis se consideró todos los períodos en donde la precipitación disminuyó, con la finalidad de justificar como es el comportamiento de estas variables.

Para arcillas de alta plasticidad se tiene que entre el período 2-3 y 4-5 el agua se acumula más en áreas llanas, el período 4-5 drena más rápido el agua que en 2-3 debido a que la precipitación disminuyó en mayor cantidad en este tiempo. Sin embargo entre el período 5 y 6 se tiene que en pendientes mayores estas arcillas retienen más agua a pesar de disminuir la cantidad de lluvia. Entre estos dos períodos se dieron las precipitaciones más bajas y con la gráfica mostrada se entiende que las arcillas de alta plasticidad retienen también más agua en pendientes altas que en pequeñas (Anexo A.3.6).

Dado esto se procedió a analizar las mismas variables desde otra perspectiva. En este caso se determinó cómo se comportan los tipos de suelos a, b, c y d frente a una misma pendiente cuando se tiene precipitaciones que aumentan y disminuyen, mediante las variaciones de humedad obtenidas en esta investigación.

La Precipitación acumulada aumenta (Pendientes)

Pendiente-Rango 1.

Se realizó las combinaciones posibles entre los pozos de prueba y las variables que se están considerando para determinar cómo es el comportamiento de las arcillas.

Según los resultados obtenidos de variación de humedad en las gráficas mostradas se tiene que a mayor plasticidad existe mayor acumulación de agua en áreas llanas (Anexo A.4.1).

En este caso primero se realiza el análisis para los suelos de tipo a y c, que cumplen con la afirmación antes mencionada. Se implementan las combinaciones entre a, b, c para confirmar que la tendencia es la misma como se puede observar en la Figura 63. Las arcillas de alta plasticidad son las que retienen más agua durante más tiempo cuando las precipitaciones acumuladas incrementan en zonas llanas entre el período 1 y 2.

En el caso de limos con arcillas de baja plasticidad se determinó también el porcentaje de variación que se tiene. La grafica nos da a entender que los limos drenan el agua más rápido que las arcillas de baja plasticidad cuando se tiene precipitaciones que aumentan en zonas más llanas (Figura 64).

Según las combinaciones realizadas entre el período 3 y 4 se presenta el mismo comportamiento en las arcillas de este estudio. Sin embargo en el pozo 5 (suelo de plasticidad media) se observa que el agua se acumula más debido a la curvatura que se tiene en este lugar y más aún cuando existen precipitaciones que incrementan (Figura 65).

Pendiente-Rango 3.

Los períodos 1 y 2 presentan un mayor incremento de variación de humedad en arcillas de alta plasticidad, es decir que este tipo de arcillas retienen mayor cantidad de agua en comparación a las arcillas de baja plasticidad que escurren más rápido el agua en pendientes de rango 3 (Figura 66). En el análisis del periodo 3-4 se tiene el mismo comportamiento para precipitaciones que incrementan según los porcentajes de variación de humedad (Figura 67).

La Precipitación acumulada disminuye (Pendientes).

Pendiente-Rango 1.

Analizando las gráficas se tiene que en áreas llanas los suelos de alta plasticidad acumulan más agua que los suelos de baja plasticidad cuando la precipitación disminuye, ya sea entre el período 2-3 y 4-5 (Anexo A.4.3-Figura 68). Nuevamente se afirma que a mayor plasticidad se tiene mayor acumulación de agua según la variación de humedad.

En el caso de limos que en este proyecto se encuentran dentro de este rango de pendientes acumulan menos agua que las arcillas de baja plasticidad en áreas llanas cuando disminuyen las precipitaciones. Por consiguiente se puede afirmar que los suelos con limo independientemente de precipitaciones que incrementen y disminuyen tendrán la característica de retener menos agua que las arcillas de baja plasticidad (Figura 69).

Pendiente-Rango 3.

En pendientes altas las arcillas de alta plasticidad drenan el agua más lento que las arcillas de baja plasticidad cuando la precipitación disminuye entre el período 5-6 (Anexo A.4.4-Figura 70). Con esto se puede justificar el comportamiento que se dio al final del anterior análisis. Las arcillas en áreas llanas y pendientes de rango 3 acumulan agua en mayor

cantidad y durante más tiempo que las arcillas de baja plasticidad según el porcentaje de variación de humedad analizado.

A continuación se presentan las Tablas 26 y 27, que resumen las variables analizadas.

Tabla 26. Resumen de Resultados 1.

| Topografía | Arcillas de Baja Plasticidad | Arcillas de Plasticidad Media | Arcillas de Alta Plasticidad | Variación de Humedad | Precipitación |
|---|---|--|---|----------------------|-------------------------------|
| Pendientes Altas | Escurren más rápido que las arcillas de plasticidad media | Retienen menos agua que las arcillas de alta plasticidad | Drenan el agua pero en menor tiempo que las otras arcillas | Disminuye | Cuando Incrementa o Disminuye |
| Áreas Llanas | Acumulan agua en menor cantidad | Acumulan más agua que las arcillas de baja plasticidad | Retienen más agua que las arcillas de media y baja plasticidad. | Incrementa | |
| A mayor pendiente se tiene menor infiltración de agua y la variación de humedad disminuye en las arcillas. | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 27. Resumen de Resultados 2.

| Topografía | Limos Inorgánicos | Arcillas de Baja Plasticidad | Arcillas de Alta Plasticidad | Precipitación | Variación de Humedad |
|--|--|---|--|---------------|----------------------|
| Áreas Llanas | Drenan el agua más rápido que las arcillas | Retienen menos agua que las arcillas de alta plasticidad | Acumulan más agua (drenan lento) | Incrementa | Aumenta |
| Pendientes Altas | Retienen menos agua que las arcillas | Drenan el agua más rápido que las arcillas alta plasticidad | Drenan más lento que las arcillas de baja plasticidad pero acumulan agua de igual forma que e áreas llanas | Disminuye | Decrece |
| A mayor plasticidad existe mayor acumulación de agua. | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados confirman la importancia de la topografía, precipitación y tipo de suelo para explicar la variabilidad espacial del contenido de agua en el suelo que podrían desencadenar los movimientos de masa. Es conveniente destacar la evolución de la humedad en los meses de la serie estudiada caracterizados por la persistencia de precipitaciones, con varios eventos por encima de los 6mm, en donde se dieron los mayores valores de humedad. Se aprecia la dependencia de la humedad del suelo de la distribución de las precipitaciones.

A partir de los datos de precipitación, topografía, tipo de suelo y contenido de humedad en el período estudiado, se pudo reflejar en la serie analizada, el valor máximo como el mínimo.

El porcentaje de mayor humedad se dio en el período 4 (abril) con un valor de 68,88% en el pozo de prueba 7. El valor mínimo de humedad medido para la zona de estudio, fue igual a 3,38% producido en el período 1 (febrero) en el pozo de prueba 12.

A lo largo de los períodos de estudio se observa que la variación de humedad en el pozo de prueba 12 es la menor con respecto a los otros pozos debido a su cobertura vegetal y profundidad. La presencia de una cubierta superficial altera los patrones temporales de evolución de la humedad.

Analizando los valores medidos de humedad y el mapa de distribución espacial de pozos con las pendientes del sitio de estudio se puede confirmar que a menores pendientes (áreas más llanas) se tienen mayores contenidos de humedad, como es el caso de los pozos 4,5,6,7,8, que presentaron los mayores porcentajes de humedad en el tiempo de evaluación. Esto se debe a que la inclinación de la pendiente afecta a la infiltración, drenaje y escorrentía.

También se debe considerar la curvatura del suelo ya que es un indicador de la concavidad o convexidad del terreno que determina la acumulación de flujos de agua en algunas zonas e influye en la distribución del contenido de humedad como es el caso de los pozos de prueba 11,5, y 7 como se muestra en el modelo digital de elevaciones y en la Figura 54 que comprueba lo antes descrito.

Las Figuras 54 y 55 indican la evolución temporal del contenido de humedad del suelo a lo largo del período estudiado, considerando los 12 pozos de prueba. A partir del mes de abril existe un incremento significativo de humedad en todos los pozos debido a la precipitación antecedente o acumulada que se presentó en estos períodos.

Estos sucesos repercuten en el deterioro de la vía que pasa por la zona de estudio debido a los flujos internos de agua y humedad que se están dando a mayores profundidades como se lo mencionó anteriormente.

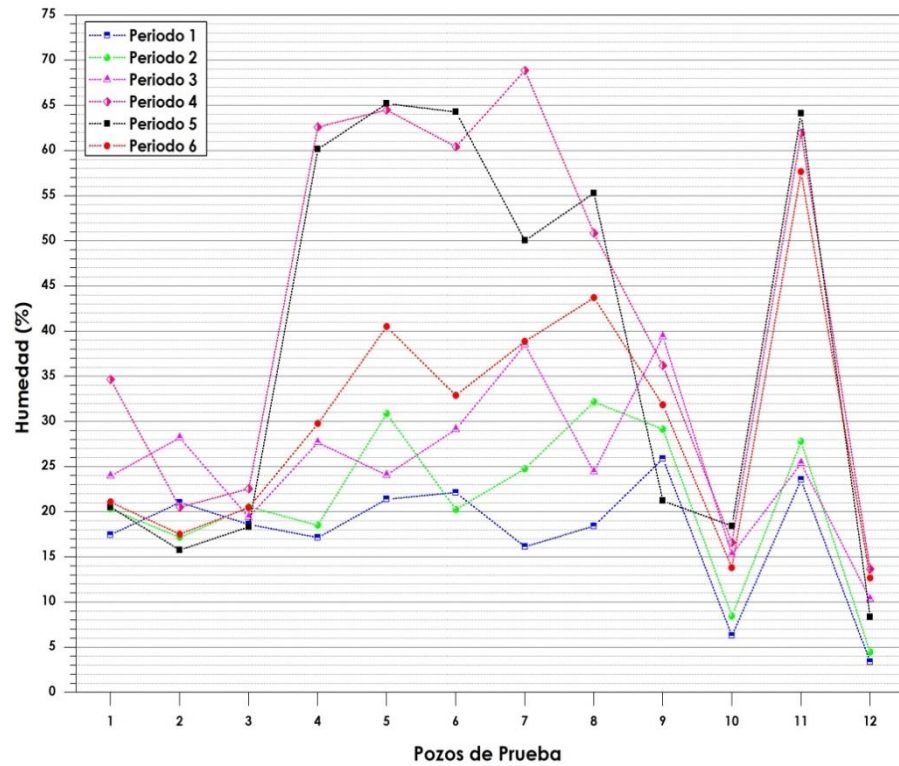


Figura 54. Variación de la humedad en los pozos de prueba (Período 1-6).
Fuente: Elaboración Propia.

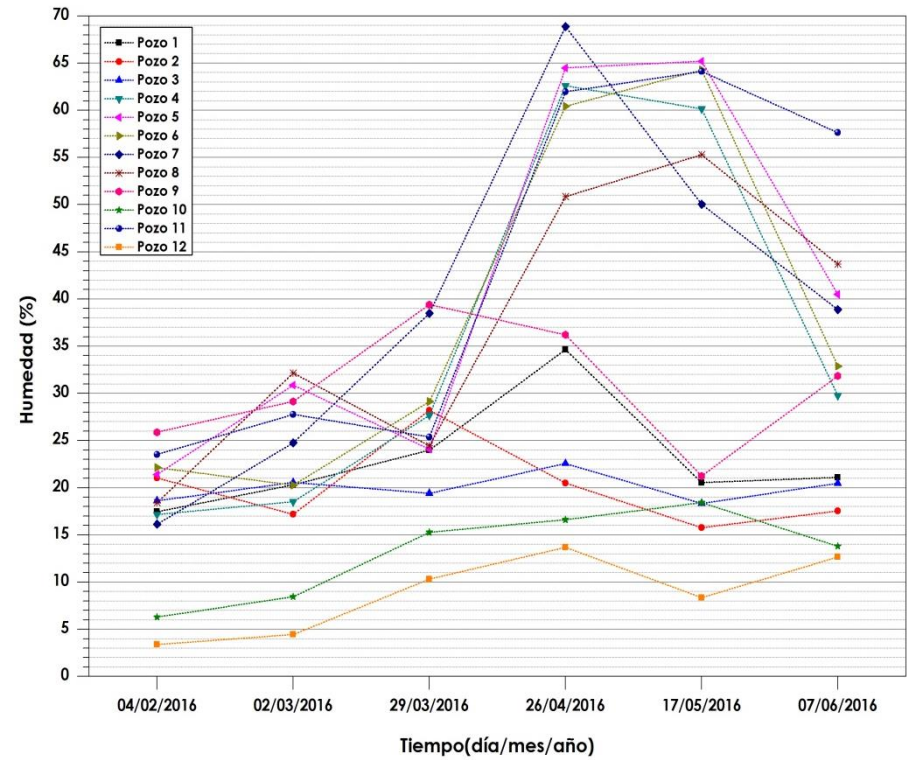


Figura 55. Variación temporal de la humedad en cada pozo.
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 56 consiste en la división por rangos de profundidades de los pozos de prueba, desde 0.70m a 1,50m como se puede observar en la gráfica. En donde indica que a mayores profundidades existen mayores valores de humedad. La precipitación antecedente al período 4 influye más que en todos los otros casos. La acumulación de agua en este período es la mayor en todo el período de estudio.

En el caso de rangos entre 0.70 m a 1,00 m se tiene que a menor profundidad se tiene valores menores de contenido de humedad.

Entre los demás rangos de profundidad ocurre lo mismo que en el caso anterior. Se puede apreciar que la precipitación está infiltrando con el paso del tiempo a mayores profundidades reteniendo porcentajes mayores de humedad dependiendo del tipo de suelo y la topografía antes descrita.

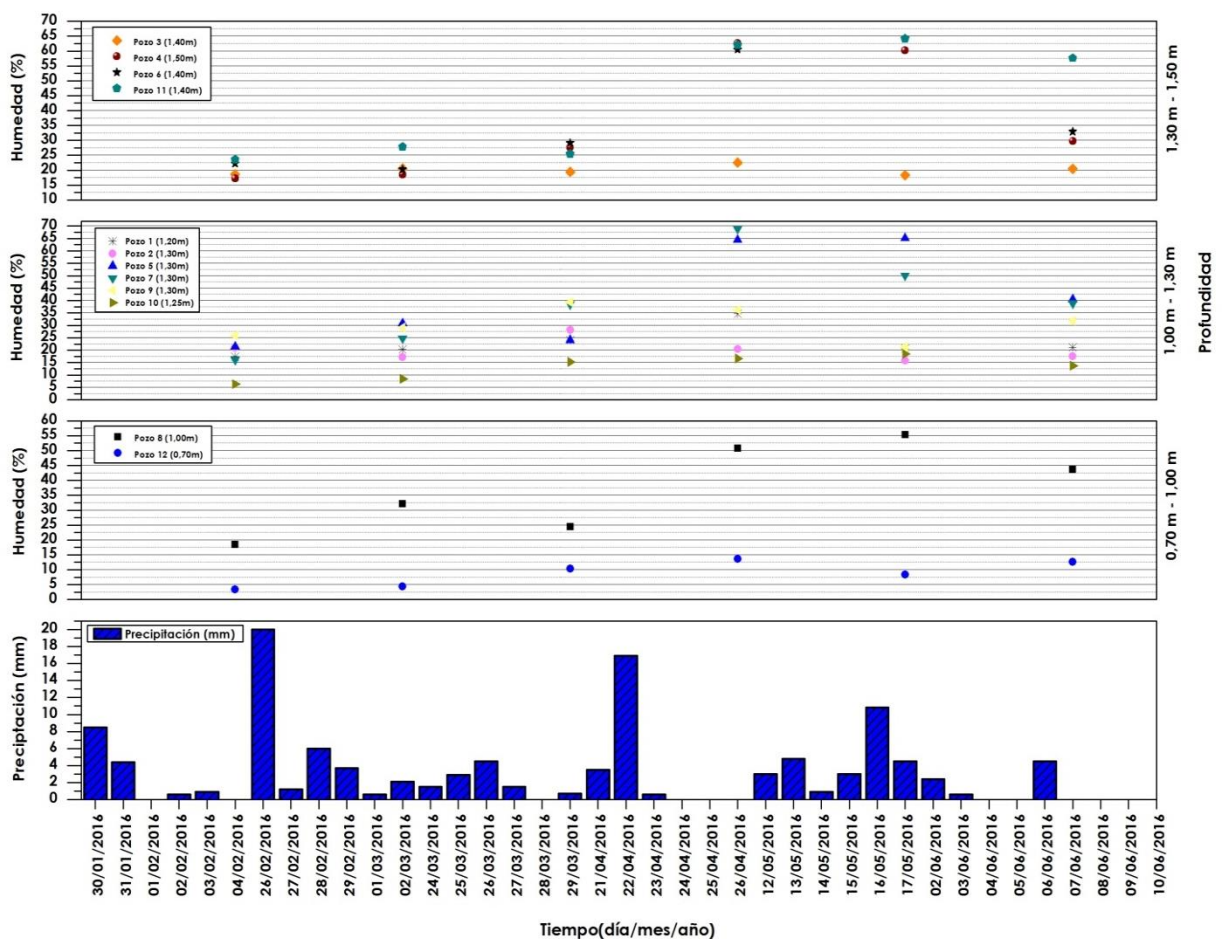


Figura 56. Variación espacio temporal de la humedad en los pozos de prueba. Fuente: Elaboración Propia.

DISCUSIÓN

Henn *et al.*, (2015) en su investigación sobre las Condiciones hidroclimáticas precedentes al deslizamiento de Oso en marzo de 2014 manifiesta que la humedad del suelo reflejaba la precipitación en el período húmedo antes del deslizamiento. Posiblemente la humedad del suelo responde a la precipitación acumulada en los meses anteriores.

Además, indica que la humedad obtenida en el 2014 por un modelo regional era anormalmente alta justo antes del deslizamiento o movimiento de masa; resaltó que seis días antes del movimiento, la humedad del suelo se encontraba en su máximo valor anual.

En la investigación realizada a la zona de estudio se indica que la humedad actúa directamente con la precipitación en los movimientos de masas. Según los resultados de la investigación sobre el deslizamiento de Oso y los de la zona de estudio de este proyecto, se puede comprobar que la influencia de eventos de precipitaciones constantes sumados a la humedad del suelo ocasionan inestabilidad.

Este trabajo concuerda con la publicación antes mencionada ya que se puede interpretar que los datos de variabilidad espacio temporal de humedad responden a la precipitación y a la topografía. La humedad del suelo en estos estudios es un indicador del riesgo de la inestabilidad de las masas frente a eventos largos de precipitaciones.

Desde otra perspectiva, Famiglietti *et al.*, (1998) indica que en suelos limosos y arcillosos en Texas la relación que tiene el contenido de arcilla en la estación seca con su capacidad de retención hídrica es de gran importancia, mientras que en los períodos húmedos encuentran una mayor relación con la porosidad.

Esto quiere decir que mientras se tenga períodos secos la retención de agua es mayor en arcillas, y que en períodos húmedos interviene la porosidad lo que manifiesta que en suelos arcillosos existe permeabilidad.

Debido a esto se puede entender que la variabilidad de la humedad depende de muchos factores, pero que la misma puede producir la inestabilidad de masas.

Mediante el análisis de la variabilidad espacio temporal de la humedad se contribuye a una mejor comprensión de los acontecimientos que conducen a los deslizamientos de tierra. No obstante se deben realizar estudios profundos sobre los mecanismos que intervienen en estos fenómenos.

Según Knapen *et al.* (2006) los factores que influyen en deslizamientos de tierra en África oriental son altas precipitaciones, fuertes pendientes, forma de la topografía y alto contenido de arcilla en los suelos.

Como se pudo comprobar en el análisis de resultados, la variación de humedad actúa directamente con la precipitación, pendiente y curvatura del suelo en diferentes tipos de suelos, lo que quiere decir que estas variaciones influyen en los movimientos de masa.

Sidle *et al.*, (1985) observaron que las propiedades del suelo, tales como tamaño de partícula y distribución de los poros de la matriz del suelo pueden influir en la estabilidad del talud. Estas propiedades influyen en la velocidad del movimiento del agua y la capacidad del suelo para retenerla. Además suelos más finos tienden a tener un mayor volumen de agua en condiciones no saturadas que suelos de textura gruesa.

Nyberg (1996) señaló que la pendiente del terreno afecta al contenido de agua en el suelo. A mayores pendientes menores contenidos de humedad que en áreas más llanas, puesto que la inclinación de la pendiente afecta a la infiltración, drenaje y escorrentía.

En la investigación estos parámetros se cumplen, confirmando así la importancia de la topografía y el tipo de suelo en las variaciones de humedad espacial y temporal.

Se debe recalcar también que la lluvia antecedente causa la reducción de la succión del suelo, lo que conlleva a una mayor permeabilidad a la infiltración en el suelo y finalmente la resistencia al cortante se reduce y consecuentemente, el factor de seguridad también se reduce durante la lluvia (Hengxing *et al.*, 2003). En este caso se tuvo varios períodos en donde se observó precipitaciones diarias considerables antes de los muestreos que podrían estar ocasionando estos sucesos.

Otros parámetros que juegan un papel en el desencadenamiento de deslizamientos de tierra son la hinchazón en las arcillas, como también la velocidad a la cual el agua se infiltra en arcillas profundas (Inganga *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

La topografía, la precipitación y el tipo de suelo son variables importantes para explicar la variabilidad espacial del contenido de agua en el suelo.

En función de los resultados de laboratorio ejecutados se evidencia que la zona está compuesta por suelos finos clasificados de acuerdo a la norma SUCS como: arcillas inorgánicas de baja mediana y alta plasticidad como también de limos inorgánicos de mediana compresibilidad, que se encuentran afectando a la estabilidad de masas.

Los deslizamientos se encuentran acompañados por el reblandecimiento del material y por un aumento significativo en el contenido de agua debido a la saturación. Por lo tanto se puede decir que una retención mayor de agua se traduce en un mayor tiempo de secado y un aumento de la posibilidad de formación de grietas en el terreno.

Si el suelo es arcilloso y presenta áreas planas y cóncavas el drenaje disminuye, como se lo pudo comprobar con la variación de humedad en esta investigación.

La plasticidad de las arcillas produce una capa sobre las partículas que la conforman produciendo un efecto lubricante que favorece al deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas como es el caso de las precipitaciones.

La humedad alta en el suelo conjuntamente con las precipitaciones constantes pueden ser pronósticos de que un movimiento de masa se podría suscitar. Su conocimiento es esencial para salvaguardar vidas antes de los deslizamientos.

El cambio considerable en la humedad genera daños en las estructuras en ciertas zonas del área de estudio, especialmente donde el suelo se encuentra totalmente seco.

Las arcillas al retener agua incrementan su volumen y por ende los terrenos arcillosos en climas en los que alternan periodos secos con otros húmedos se deforman y empujan taludes, provocando deslizamientos.

RECOMENDACIONES

En el sector Sur Occidente de la ciudad de Loja se debe tomar en cuenta las zonas en donde se podrían suscitar los movimientos de masa (deslizamientos) al momento de construir viviendas, con el fin de evitar posibles daños futuros a las infraestructuras y pérdidas humanas.

Para un mejor análisis de los movimientos de masa que se están presentando en la zona de estudio se recomienda realizar monitoreos superficiales para determinar la magnitud de estos deslizamientos y obtener toda el área afectada por los mismos.

Para la medición de la humedad se recomienda implementar métodos de reflectometría, que simplifican el tiempo de este proceso.

Para el caso de estudio si se desea construir edificaciones se deberá realizar estudios geotécnicos y de esta manera optar por la realización de cimientos a mayor profundidad donde no afecte el cambio de volumen del suelo que podría producirse por la variación de la humedad.

El sitio de investigación es uno de los sectores afectados por épocas de lluvias constantes. Para evitar posibles cambios en el suelo por la absorción o adsorción del agua, se puede recurrir a obras de mitigación como: sistemas de drenaje, canalización de aguas superficiales que reducen la infiltración y mejoran la estabilidad del terreno.

Se puede utilizar drenaje subterráneo como: cortinas subterráneas, drenes interceptores, subdrenes horizontales, túneles de drenaje, drenes verticales, pantallas de drenaje y pozos de drenaje con la finalidad de dar estabilidad a la zona de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Albertson, J., y Montaldo N. (2003). Temporal dynamics of soil moisture variability: Theoretical basis, *Water Resour. Res.*, 39(10), 1274, doi: 10.1029/2002WR001616,
- Alcántara, I. (2000). Landslides: deslizamientos o movimientos del terreno, definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas*, Boletín del instituto de Geografía, UNAM número 41,13.
- Aristizábal E., H. Martínez & Vélez, J. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 34 (131): 209-227, 2010. ISSN 0370-3908
- Ayala, F. (1987). *Introducción a los riesgos geológicos*. Riesgos Geológicos; I.G.M.E. Madrid. Vol. 1, 3-21.
- Azañón, J. M., Azor, A., Yesares, J., Tsige, M., Mateos, R. M., Nieto, F., ... Rodríguez-Fernández, J. (2010). Geomorphology Regional-scale high-plasticity clay-bearing formation as controlling factor on landslides in Southeast Spain. *Geomorphology*, 120(1-2), 26–37. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.012>
- Ayala, F. (2002). Análisis de riesgos por movimientos de ladera. *Riesgos naturales*. Ed. Ariel, Barcelona, 379- 407.
- Bernal, I., Cabezas, H., Espitia, C., Mojica, J. y Quintero, J. (2003). Análisis próximo de arcillas para cerámica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27, 569-578
- Chacón, J., Irigaray, C. y Fernández, T. (1993). Methodology for large scale landslide hazard mapping using GIS. *Landslides. Proceedings of the VIIth International Conference and Fieldtrip on Landslides*; Novosad & Wagner (eds.). Balkema, Rotterdam. Bratislava, Slovakia. 77-82.
- Cooke, R.U. & Doornkamp, J.C. (1974). *Geomorphology in Environmental Management*. Oxford University Press. London, p (413).
- Copons R., y Tallada A. (2009). Movimientos de Ladera. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra* (17.3).
- Corominas, J. y Alonso, E. (1990). Geomorphological effects of extreme floods (November, 1982) in the southern Pyrenees. *Hydrology in mountainous regions*. IAHS Publ. 194, 295-302.
- Corominas, J. y García Yagüe, A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. IV Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables; Alonso, E.; Corominas, J.; Chacón, J.; Oteo, C. y Pérez, J. (eds.). Granada. Vol. III, 1051-1072.
- Corominas, J. (2006). El clima y sus consecuencias sobre la actividad de los movimientos de ladera en España. *Rev. C&G*, 20 (3-4), 89-113.
- Crosta, G. (1998). Regionalization of rainfall threshold: an aid for landslide susceptibility zonation. *Environmental Geology*, 35, (2-3), 131-145

- Crozier, M.J. (1984). Field assessment of slope instability. Brundsdon, D. and Prior, D.H. (eds.); John Wiley & Sons Ltd. New York. 103-142.
- Crozier, M.J. (1986). Landslides: Causes, Consequences and Environment, Croom Helm", London.
- Crozier, M.J. (2010). Deciphering the Effect of Climate Change on Landslide Activity ". *Geomorphology* 124 (3-4): 260-267. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.04.009.
- Cuanalo O., Oliva A. y Flores C. (2005). Factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos de laderas en las Sierras Norte y Nororiental de Puebla, México. Memorias del VI Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables. Valencia, España.
- Cuanalo, O.A., Oliva, A.O., y Gallardo, R. (2011). Inestabilidad de Laderas. *Influencia de la actividad humana*, 84, 39-46.
- Cuenca, M. (2008). *Estudio geológico estructural e inventario de deslizamientos del área cinco de la cuenca de Loja*. (Tesis de Grado Académico). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- Das, B. M. (2010). Principios de ingeniería de cimentaciones. Cengage Learning, México.
- Das, B. M. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Cengage Learning, México.
- Echavarría, A. (1995). Deslizamientos de ladera. Área de ensayos sísmicos de la Coordinación de Investigación del CENAPRED. *Revista Prevención*.
- Famiglietti, J.S., Rudnicki, J.W., y Rodell, M. (1998). Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. *Journal of Hydrology*. 210, 259-281.
- FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2003), Manual Curso Análisis Espacial Arcview 8.2.
- Fitzjohn, C., Ternan, J., y Williams, A. (1998). Soil moisture variability in a semiarid gully catchment: implications for runoff and erosion control. *Catena* 32, 55-70.
- Ginés, F., Feliu, C., García, J., Sanz, V. (1997). Análisis de los métodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio*, 36,1, 25-30.
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, R. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, Madrid.
- González, A. (2005). Relaciones deslizamientos-clima. Dpto. Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Universidad de Cantabria.
- Gómez, A. (2000). Variabilidad espacio-temporal del contenido de humedad del suelo en una zona mediterránea semiárida. Efectos de las condiciones antecedentes en la respuesta hidrológica. Departamento de proyectos y planificación rural, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. p (4).

Gostelow, P. (1991). Rainfall and landslides en Prevention and Control of landslides and other mass movements, editado por AlmeidaTeixeira, M.; Fantechi, R., Oliveira, R., Gomez Coelho, A. Commis. European Communities, Bruselas. Pág. 139-161.

Guartán, J. (2010). *Zonificación sísmica de la Cuenca de Loja (Ecuador), a partir de datos litológicos y medidas de ruido ambiental*. (Tesis de Maestría). Universidad de Granada, España.

Hawke R., McConchie, J. (2003). Variability of In Situ Moisture Measurements and Implications for Modeling Hillslope Processes. School of Earth Sciences, Victoria University of Wellington, New Zealand. Environmental & Engineering Geoscience, Vol. IX, No. 3, August 2003, 213-223.

Henn, B., Cao, Q., Lettenmaier, D. P., Magirl, C. S., Mass, C., Bower, J. B., ... Perica, S. (2015). Hydroclimatic Conditions Preceding the March 2014 Oso Landslide. *Journal of Hydrometeorology*, 16(3), 1243–1249. <http://doi.org/10.1175/jhm-d-15-0008.1>

Hengxing, I., Chenghu, Z., Lee, C., Wang S., y Faquan, W. (2003). Rainfall-induced landslide stability analysis in response to transient pore pressure- a case study of natural terrain landslide in Hong Kong. *Science in China*, Vol. 46, 52- 68.

Hutchinson, J. (1988). General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides (Ed: Bonnard, C.), 1, 3-35. Rotterdam: Balkema

IAEG Commission on Landslides (1990). Suggested nomenclature for landslides. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 41, 13-16.

Inganga S., Ucakuwun E., Some D. (2001). Rate of swelling of expansive soils: a critical factor in the triggering of landslides and damage to structures. *Documenta Naturae*. 136, 93-98

Iiritano, G., Versace, P., Sirangelo, B. (1998). Real-time estimation of hazard for landslides triggered by rainfall. *Environmental Geology* 35 (2-3). Pág. 175-183.

Jiménez, J.D. (2005). *Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada*. (Tesis de Doctorado). Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Granada.

Knapen A., Kitutu M., Poesen J., Breugelmans W., Deckers J., Muwanga, A. (2006) Landslides in a densely populated county at the footsteps of Mount Elgon (Uganda): characteristics and causal factors. *Geomorphology* 73,149–165.

McConchie, J. (1992). Water and slope stability. In Mosley, M. (Editor), *Waters of New Zealand*. New Zealand Hydrological Society, pp. 381-408.

Mukhlinsin, M., Kosugi, K., Satofuka, Y., Mizuyama, T. (2006). Effects of soil porosity on slope stability and debris flow runout at a a weathered granitic hillslope. *Vadose Zone Journal* 5, 283-295.

Nyberg, L. (1996). Spatial variability of water content in the covered catchment at Gardsjon, Sweden. *Hydrological Processes*, 10, 89-103.

OMM–Organización Meteorológica Mundial, (1984). Guía de prácticas hidrológicas. Volumen I Adquisición y proceso de datos, Análisis, predicción y otras aplicaciones. Guía N° 168.

Paladines, R. (2007). GEO Loja. Perspectivas del medio Ambiente Urbano. Quito: Ediciones Cámara Ecuatoriana del libro-Núcleo de Pichincha.

Pandey, V., y Pandey, P. (2010). Spatial and Temporal Variability of Soil Moisture. *International Journal of Geosciences*, 1, 87-98.

Penna, D., Borga, M., Norbiato, D., y Dalla, G. (2009). Hillslope scale soil moisture variability in a steep alpine terrain. *Journal of Hydrology*, 364, 311-327.

Rahardjo H., Ong T., Rezaur R., Leong E. (2007). Factors controlling instability of homogeneous soil slopes under rainfall. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 133, No. 12, 1532-1543.

Salazar, L. (2011). *Determinación de la humedad del suelo para el inicio de movimientos en masa en la región cafetera colombiana con el uso de modelos físicos experimentales*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia.

Sandersen, F.; Bakkehøi, S., Hestnes, E. y Lied, K. (1996). "The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability". En: Senneset (Ed.). *Landslides. Proceedings 7th International Symposium on Landslides*. A.A.

Selby, M. (1993). *Hillslope materials and processes*. 2a. Ed. Oxford University Press, Oxford.

Sidle R., Pearce A., Loughlin C., (1985). *Hillslope stability and land use*. American geophysical union, Washington DC, USA, p. 125.

Soeters, R., Van Westen, C. (1996). "Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation". In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds), *Landslides, investigation and mitigation*. Transportation Research Board, National.

Suarez, J. (2002). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales*. Colombia: Ingeniería de Suelos Ltda.

Tamay, J. (2014). *Mapa Geológico preliminar de la Hoya de Loja*. Universidad Técnica Particular de Loja. p (3).

Terzaghi, K. (1950). "Mechanisms of landslides", *Geol. Soc. Am. Berkeley Volume*, pp. 83-123

Varnes, D.J. (1958). *Landslides types and processes*. *Landslides and Engineering Practice*; Beckel, E.D. (ed.), Highway Research Board, Special Report, 29, 20-47.

Varnes, D.J. (1978). "Slope movement types and process". Special Report 176: *Landslides: Analysis and Control* (Eds: Shuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D.C, 11-33.

Wang, F., Shibata, H. (2007). Influence of soil permeability on rainfall induced flow slides in laboratory flume tests. *Can. Geotech. Journal* 44, 1128-1136.

Wieczorek, G.F. (1987). Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. *Reviews in Engineering Geology*. Geological Society of America. 7, 93-104.

Williams, A., Ternan, J., Alba de, S., y Pérez-González, A. (2003). Soil moisture variability and land use in a seasonally arid environment. *Hydrological Processes* 17, 225-235.

Yilmaz, I., Karacan, E., 2002. A landslide in clayey soils: an example from the Kizildag region of the Sivas-Erzincan highway (Sivas, Turkey). *Environ. Geosci.* 9, 35–42.

Normas.

Norma Americana ANSI/ASTM D 2216-71 (Reapproved 1972). Standard method of laboratory determination of moisture content of soil. American National Standard Institute/American Society for Testing and Materials. Filadelfia, 1979.

AASHTO T 265-93-2000; MTC E 108-2000; NTE INEN 690, 1982. Contenido de humedad de un suelo.


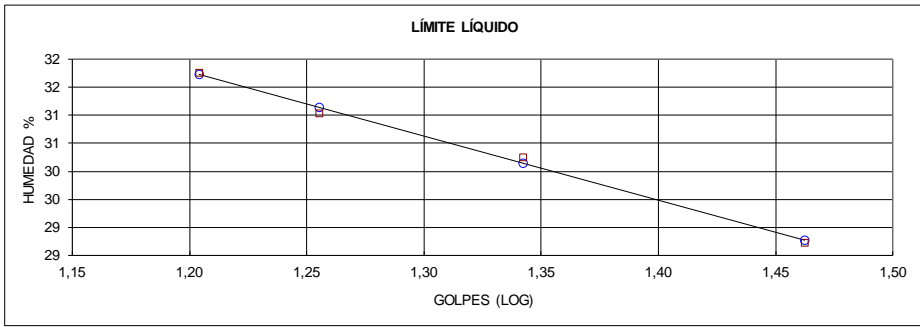
ASTM D 4318; AASHTO T89; MTC E 110-2000; INEN 691, 1982. Límites de Atterberg. Límite Líquido.

ASTM D 4318; AASHTO T90; MTC E 111-2000; INEN 692, 1982. Límites de Atterberg. Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

ANEXOS


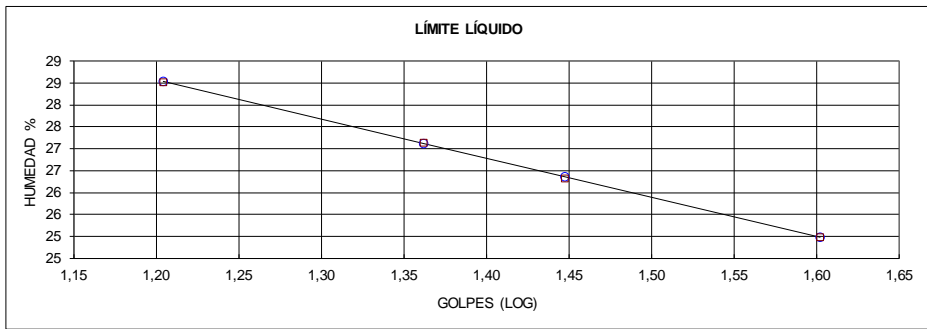
A.1. Resultados de ensayos de clasificación de Suelos.

Tabla A.1.1. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 1.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 1 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,20 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 154,75 161,20 | 139,81 145,74 | 53,67 57,75 | 17,34 17,57 | 17,46 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 16 18 22 29 | 66,67 69,71 72,51 68,14 | 64,05 67,09 69,30 64,73 | 55,80 58,65 58,69 52,86 | 31,76 31,04 30,25 28,73 | 29,51 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 74,29 64,26 77,40 | 73,01 63,04 76,62 | 67,11 57,45 72,92 | 21,69 21,82 21,08 | 21,76 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | | |
| LL = 29,51 LP = 21,76 IP = 8,00 | | | LL = 29 LP = 21 IP = 8 | | | |
|  <p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p> | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcillas inorgánica de baja plasticidad (CL) | | | | | | |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |


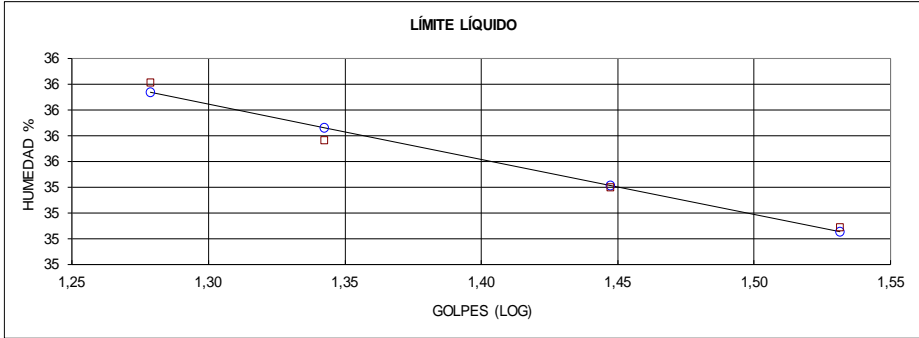
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.2. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 2.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 2 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,30 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 164,64 156,72 | 146,42 138,95 | 59,48 54,84 | 20,96 21,13 | 21,04 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 16 23 28 40 | 96,84 64,14 92,17 74,51 | 89,68 58,37 85,78 70,56 | 64,58 37,11 61,51 54,75 | 28,53 27,14 26,33 24,98 | 26,80 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 72,83 63,74 68,41 | 71,74 62,62 67,38 | 66,67 57,52 62,33 | 21,50 21,96 20,40 | 21,73 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | | |
| LL = 26,80 LP = 21,73 IP = 5,00 | | | LL = 26 LP = 21 IP = 5 | | | |
|  | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL) | | | | | | |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |


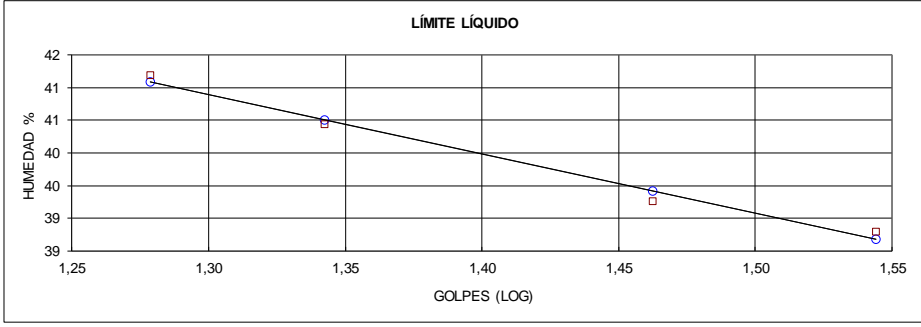
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.3. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 3.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA FECHA: 04/02/2016 | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 POZO: 3 MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD: 1,40 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 161,15 161,95 | 145,12 146,52 | 61,21 61,47 | 19,10 18,14 | 18,62 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 19 22 28 34 | 71,37 61,46 80,28 90,41 | 67,01 56,66 75,03 85,74 | 54,97 43,24 60,20 72,43 | 36,21 35,77 35,40 35,09 | 35,63 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 65,06 64,94 62,87 | 64,35 64,54 62,42 | 61,28 62,89 60,48 | 23,13 24,24 23,20 | 23,16 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | | |
| LL = 35,63 LP = 23,16 IP = 12,00 | | | LL = 35 LP = 23 IP = 12 | | | |
|  | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) | | | | | | |
| Observaciones: La toma de muestras es realizada por el profesional en formación y llevada al laboratorio de la UTP. | | | | | | |
| M.Sc Belizario Zárate Torres DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |


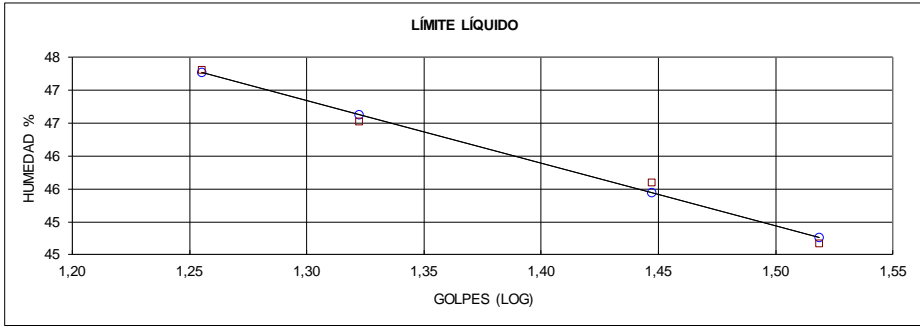
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.4. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 4.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 4 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,50 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 158,88 160,91 | 144,09 146,29 | 57,37 61,55 | 17,05 17,25 | 17,15 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 19 22 29 35 | 77,35 79,90 68,10 87,57 | 71,58 73,83 63,84 83,50 | 57,57 58,82 52,99 73,01 | 41,18 40,44 39,26 38,80 | 40,00 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 71,17 62,91 70,49 | 70,96 62,68 70,17 | 69,95 61,63 68,57 | 20,79 21,90 20,00 | 20,40 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | | |
| LL = 40,00 LP = 20,40 IP = 20,00 | | | LL = 40 LP = 20 IP = 20 | | | |
|  | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) | | | | | | |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |


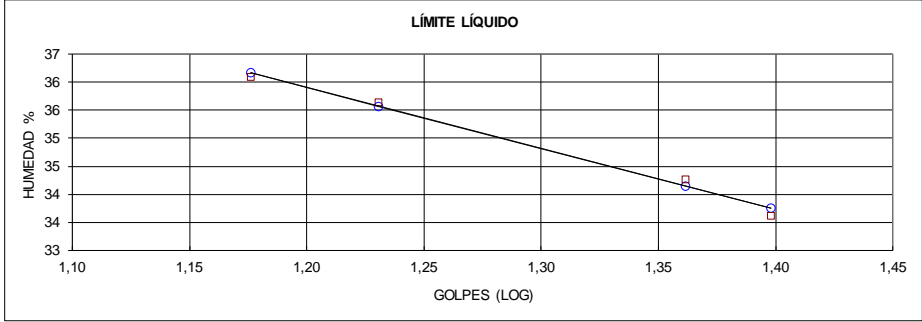
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.5. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 5.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|---|----------------------|---|--|---|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 5 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,30 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 158,48 160,73 | 140,11 143,04 | 55,46 59,20 | 21,70 21,10 | 21,40 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 18 21 28 33 | 78,41 87,96 77,50 75,48 | 72,35 81,34 71,59 69,40 | 59,54 67,11 58,63 55,79 | 47,31 46,52 45,60 44,67 | 45,91 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 51,26 62,71 | 50,86 61,64 | 49,50 57,83 | 29,41 28,08 | 28,75 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | LL = \checkmark 45,91 LP = \checkmark 28,75 IP = \checkmark 17,00 | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA LL = \checkmark 45 LP = \checkmark 28 IP = \checkmark 17 | | |
|  <p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p> | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) | | | | | | |
| 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 | | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | |


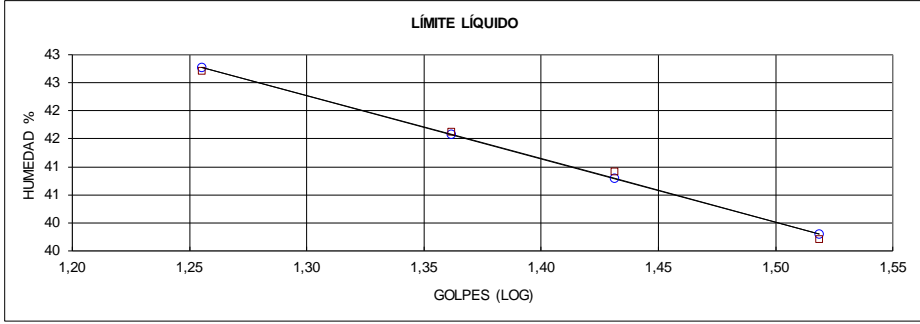
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.6. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 6.

|  <p style="text-align: center;">DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL</p> | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|--|--|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 6 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,40 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 157,37 154,50 | 139,30 136,29 | 59,39 52,24 | 22,61 21,67 | 22,14 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 15 17 23 25 | 93,82 85,28 88,26 91,76 | 87,68 77,28 80,61 84,04 | 70,67 54,83 58,29 61,08 | 36,10 35,63 34,27 33,62 | 33,75 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 63,35 61,25 61,12 | 62,65 60,75 60,61 | 59,95 58,81 58,68 | 25,93 25,77 26,42 | 25,85 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | | |
| LL = 33,75 LP = 25,85 IP = 8,00 | | | LL = 33 LP = 25 IP = 8 | | | |
|  <p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p> | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Limos inorgánicos de compresibilidad media (ML) | | | | | | |
| 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 | | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | |


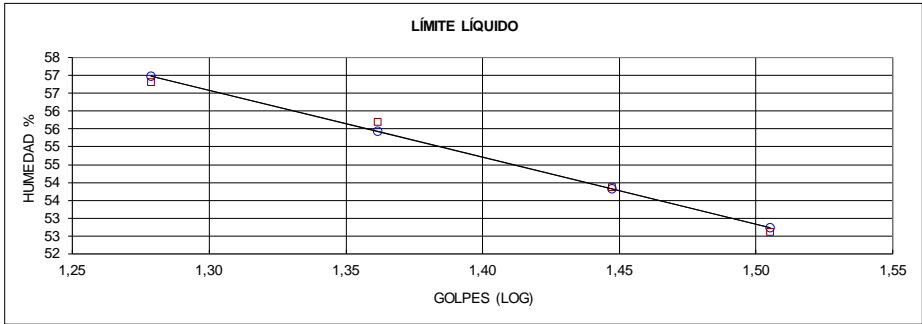
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.7. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 7.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 7 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,30 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 158,95 157,96 | 144,75 143,98 | 56,70 57,41 | 16,13 16,15 | 16,14 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 18 23 27 33 | 88,56 80,92 70,00 74,88 | 82,99 75,63 64,64 70,31 | 69,95 62,92 51,54 58,80 | 42,71 41,62 40,92 39,70 | 41,17 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 59,27 65,89 70,75 | 58,96 65,46 70,36 | 57,54 63,50 68,63 | 21,83 21,94 22,54 | 21,88 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | | |
| LL = 41,17 LP = 21,88 IP = 19,00 | | | LL = 41 LP = 22 IP = 19 | | | |
|  <p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p> | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) | | | | | | |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |


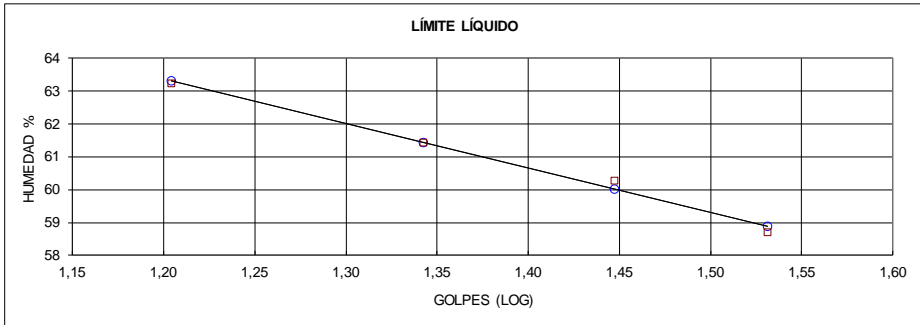
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.8. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 8.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|--|--|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 8 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,00 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 152,49 172,02 | 136,58 156,32 | 52,30 68,99 | 18,88 17,98 | 18,43 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 19 23 28 32 | 80,79 71,59 77,31 65,19 | 73,91 65,52 71,33 57,63 | 61,80 54,62 60,23 43,26 | 56,81 55,69 53,87 52,61 | 54,75 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 55,54 37,91 74,97 | 54,91 37,58 74,35 | 52,89 36,55 72,52 | 31,19 32,04 33,88 | 31,61 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | | | |
| LL = 54,75 LP = 31,61 IP = 23,00 | | LL = 54 LP = 31 IP = 23 | | | | |
|  <p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p> | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH) | | | | | | |
| 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 | | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | |


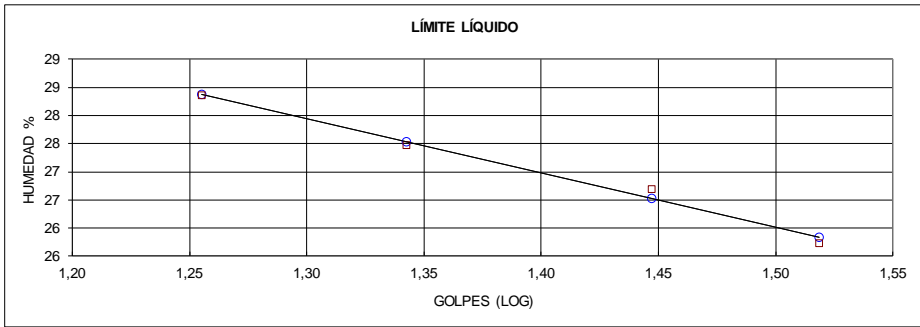
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.9. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 9.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 9 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,30 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 157,96 157,84 | 137,02 137,43 | 57,52 57,21 | 26,34 25,44 | 25,89 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 16 22 28 34 | 66,05 93,66 81,21 76,03 | 59,65 85,77 74,11 69,52 | 49,53 72,93 62,33 58,43 | 63,24 61,45 60,27 58,70 | 60,69 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 59,01 61,21 | 58,65 60,81 | 57,50 59,52 | 31,30 31,01 | 31,16 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | LL = ✓ LP = ✓ IP = ✓ | 60,69 31,16 30,00 | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | LL = ✓ LP = ✓ IP = ✓ | 61 31 30 |
|  <p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p> | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH) | | | | | | |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguiñaca TESISTA | | | |


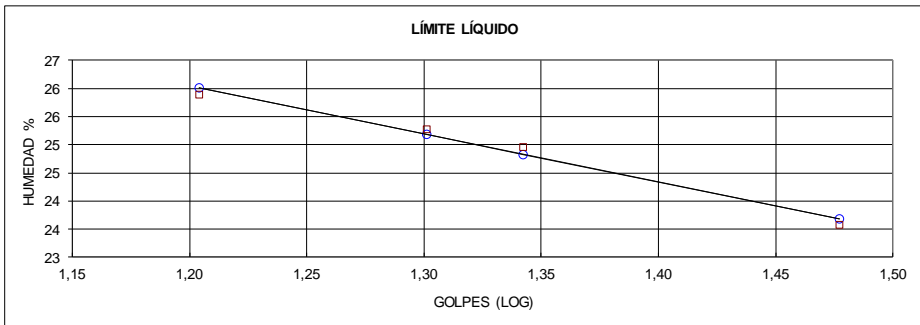
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.10. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 10.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|---|---------------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 10 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,25 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 156,49 150,64 | 150,58 144,55 | 54,78 49,66 | 6,17 6,42 | 6,29 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 18 22 28 33 | 90,33 87,86 91,99 79,76 | 85,14 82,54 86,78 74,91 | 66,84 63,18 67,26 56,06 | 28,36 27,48 26,69 25,73 | 27,00 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 58,28 63,00 | 58,21 62,76 | 57,85 61,52 | 19,44 19,35 | 19,40 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | LL = 27,00 LP = 19,40 IP = 8,00 | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA LL = 27 LP = 19 IP = 8 | | | |
|  | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL) | | | | | | |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinaca TESISTA | | | |


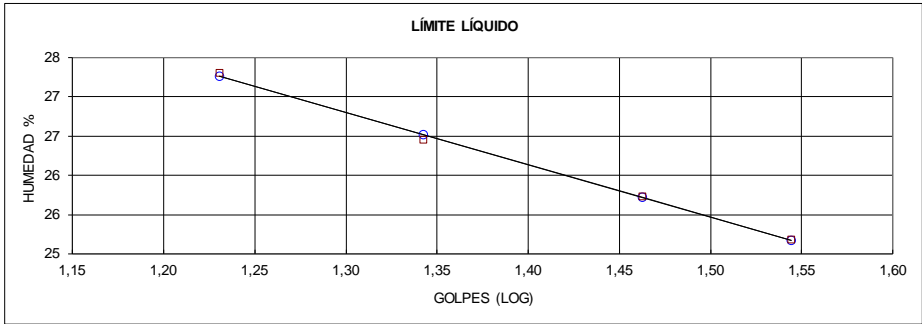
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.1.11. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 11.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 11 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 1,40 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 163,81 155,26 | 144,65 135,63 | 62,03 53,44 | 23,19 23,88 | 23,54 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 16 20 22 30 | 85,48 86,26 73,13 80,18 | 81,32 81,79 69,02 77,39 | 65,25 64,10 52,55 65,56 | 25,89 25,27 24,95 23,58 | 24,35 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 63,60 57,05 | 63,38 56,84 | 62,27 55,76 | 19,82 19,44 | 19,63 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | | |
| LL = ✓ 24,35 | | | LL = ✓ 24 | | | |
| LP = ✓ 19,63 | | | LP = ✓ 19 | | | |
| IP = ✓ 5,00 | | | IP = ✓ 5 | | | |
|  <p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p> | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL) | | | | | | |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |

Fuente: Elaboración Propia.


Tabla A.1.12. Ensayo de clasificación de suelos. Pozo N° 12.

|  DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|--|---|----------------------------------|-----------|
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | | | | |
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MAS | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-89 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 12 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | MUESTRA: 1 | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | PROFUNDIDAD: 0,70 m | | | |
| | GOLPES | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | w % | RESULTADO |
| 1. CONTENIDO DE AGUA | | 154,72 159,98 | 151,27 156,88 | 54,58 59,86 | 3,57 3,20 | 3,38 |
| 2.- LÍM. LÍQUIDO | 17 22 29 35 | 83,95 72,22 66,72 73,22 | 79,12 68,21 63,65 70,18 | 61,43 53,05 51,72 58,11 | 27,30 26,45 25,73 25,19 | 26,15 |
| 3.- LÍMITE PLÁSTICO | | 62,08 61,57 58,83 | 61,81 61,25 58,50 | 60,44 59,61 56,81 | 19,71 19,51 19,53 | 19,61 |
| 4.- CLASIFICACIÓN | | VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA | | | | |
| LL = 26,15 LP = 19,61 IP = 7,00 | | LL = 26 LP = 19 IP = 7 | | | | |
|  | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL) | | | | | | |
| 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 | | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | |

Fuente: Elaboración Propia.


A.2. Resultados de Ensayos de contenido de humedad.

Tabla A.2.1. Ensayo de contenido de humedad. Período N° 1.

|  <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</p> | | | | | | |
|---|------|------------------|--|----------------|----------------|-----------|
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MASA. | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 2216-71, AASHTO T 265-93 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | PROFUNDIDAD: 0,70 m a 1,50 m | | | |
| FECHA: 04/02/2016 | | | | | | |
| HUMEDAD | POZO | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | W % | RESULTADO |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 1 | 1 | 154,75 161,20 | 139,81 145,74 | 53,67 57,75 | 17,34 17,57 | 17,46 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 2 | 2 | 164,64 156,72 | 146,42 138,95 | 59,48 54,84 | 20,96 21,13 | 21,04 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 3 | 3 | 161,15 161,95 | 145,12 146,52 | 61,21 61,47 | 19,10 18,14 | 18,62 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 4 | 4 | 158,88 160,91 | 144,09 146,29 | 57,37 61,55 | 17,05 17,25 | 17,15 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 5 | 5 | 158,48 160,73 | 140,11 143,04 | 55,46 59,20 | 21,70 21,10 | 21,40 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 6 | 6 | 157,37 154,50 | 139,30 136,29 | 59,39 52,24 | 22,61 21,67 | 22,14 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 7 | 7 | 158,95 157,96 | 144,75 143,98 | 56,70 57,41 | 16,13 16,15 | 16,14 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 8 | 8 | 152,49 172,02 | 136,58 156,32 | 52,30 68,99 | 18,88 17,98 | 18,43 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 9 | 9 | 157,96 157,84 | 137,02 137,43 | 57,52 57,21 | 26,34 25,44 | 25,89 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 10 | 10 | 156,49 150,64 | 150,58 144,55 | 54,78 49,66 | 6,17 6,42 | 6,29 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 11 | 11 | 163,81 155,26 | 144,65 135,63 | 62,03 53,44 | 23,19 23,88 | 23,54 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 12 | 12 | 154,72 159,98 | 151,27 156,88 | 54,58 59,86 | 3,57 3,20 | 3,38 |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |


Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.2.2. Ensayo de contenido de humedad. Período N° 2.

|  <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</p> | | | | | | |
|---|------|------------------|--|----------------|----------------|-----------|
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MASA. | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 2216-71, AASHTO T 265-93 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | PROFUNDIDAD: 0,70 m a 1,50 m | | | |
| FECHA: 02/03/2016 | | | | | | |
| HUMEDAD | POZO | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | W % | RESULTADO |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 1 | 1 | 178,32 191,09 | 157,90 169,48 | 57,42 63,06 | 20,32 20,31 | 20,31 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 2 | 2 | 405,07 397,42 | 355,30 347,62 | 64,56 58,61 | 17,12 17,23 | 17,17 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 3 | 3 | 328,25 217,27 | 284,24 189,36 | 66,50 55,79 | 20,21 20,90 | 20,55 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 4 | 4 | 266,93 275,10 | 234,76 243,44 | 65,25 68,20 | 18,98 18,07 | 18,52 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 5 | 5 | 143,06 193,56 | 122,56 161,57 | 56,03 58,16 | 30,81 30,94 | 30,87 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 6 | 6 | 178,62 177,60 | 159,27 158,56 | 61,53 66,66 | 19,80 20,72 | 20,26 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 7 | 7 | 227,55 205,60 | 195,05 174,83 | 61,28 52,85 | 24,30 25,23 | 24,76 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 8 | 8 | 182,66 195,75 | 151,90 161,72 | 56,85 55,25 | 32,36 31,96 | 32,16 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 9 | 9 | 171,18 213,89 | 146,99 177,60 | 62,87 54,71 | 28,76 29,53 | 29,14 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 10 | 10 | 180,95 179,75 | 171,75 169,84 | 56,57 58,67 | 7,99 8,91 | 8,45 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 11 | 11 | 140,90 171,10 | 124,96 146,98 | 68,54 58,68 | 28,25 27,32 | 27,78 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 12 | 12 | 169,21 166,78 | 164,50 161,95 | 57,21 54,78 | 4,39 4,51 | 4,45 |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |


Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.2.3. Ensayo de contenido de humedad. Período N° 3.

|  <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</p> | | | | | | |
|---|------|------------------|--|----------------|----------------|-----------|
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MASA. | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 2216-71, AASHTO T 265-93 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | PROFUNDIDAD: 0,70 m a 1,50 m | | | |
| FECHA: 29/03/2016 | | | | | | |
| HUMEDAD | POZO | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | W % | RESULTADO |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 1 | 1 | 316,70 455,54 | 268,12 377,92 | 62,04 59,50 | 23,57 24,38 | 23,97 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 2 | 2 | 371,29 361,77 | 300,95 296,12 | 55,26 59,86 | 28,63 27,79 | 28,21 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 3 | 3 | 420,51 363,98 | 361,95 314,08 | 61,23 55,79 | 19,47 19,32 | 19,40 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 4 | 4 | 354,80 304,93 | 270,06 233,82 | 61,29 61,23 | 40,59 41,20 | 40,90 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 5 | 5 | 229,59 191,40 | 172,22 150,29 | 54,60 65,57 | 48,78 48,52 | 48,65 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 6 | 6 | 179,47 224,20 | 151,11 180,64 | 72,04 56,77 | 35,87 35,17 | 35,52 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 7 | 7 | 268,79 236,69 | 204,28 184,82 | 56,57 65,64 | 43,67 43,52 | 43,60 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 8 | 8 | 185,71 234,90 | 150,54 186,23 | 57,23 58,68 | 37,69 38,16 | 37,92 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 9 | 9 | 231,77 276,36 | 189,76 218,18 | 57,44 36,45 | 31,75 32,01 | 31,88 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 10 | 10 | 152,02 186,30 | 139,74 168,84 | 59,11 54,78 | 15,23 15,31 | 15,27 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 11 | 11 | 210,81 264,32 | 158,91 196,45 | 57,76 62,88 | 51,31 50,81 | 51,06 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 12 | 12 | 453,71 442,61 | 418,66 404,58 | 62,28 52,93 | 9,84 10,81 | 10,32 |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |


Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.2.4. Ensayo de contenido de humedad. Período N°4.

|  <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</p> | | | | | | |
|---|------|-----------|--|---------|-------|-----------|
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MASA | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 2216-71, AASHTO T 265-93 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | PROFUNDIDAD: 0,70 m a 1,50 m | | | |
| FECHA: 26/04/2016 | | | | | | |
| HUMEDAD | POZO | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | W % | RESULTADO |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 1 | 1 | 381,66 | 300,80 | 66,65 | 34,53 | 34,66 |
| | | 388,54 | 304,92 | 64,56 | 34,79 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 2 | 2 | 354,05 | 302,98 | 58,15 | 20,86 | 20,51 |
| | | 343,48 | 296,12 | 61,23 | 20,16 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 3 | 3 | 208,04 | 179,56 | 53,38 | 22,57 | 22,56 |
| | | 314,98 | 267,60 | 57,44 | 22,54 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 4 | 4 | 289,47 | 202,92 | 64,30 | 62,44 | 62,61 |
| | | 323,20 | 220,62 | 57,23 | 62,78 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 5 | 5 | 223,98 | 159,87 | 61,17 | 64,95 | 64,50 |
| | | 291,40 | 198,29 | 52,93 | 64,05 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 6 | 6 | 308,02 | 218,23 | 70,72 | 60,87 | 60,43 |
| | | 324,20 | 224,64 | 58,67 | 59,99 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 7 | 7 | 298,52 | 206,07 | 72,11 | 69,01 | 68,88 |
| | | 266,69 | 184,76 | 65,57 | 68,74 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 8 | 8 | 250,57 | 187,03 | 62,25 | 50,92 | 50,85 |
| | | 271,90 | 200,23 | 59,11 | 50,79 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 9 | 9 | 168,33 | 138,16 | 54,58 | 36,10 | 36,21 |
| | | 261,25 | 208,18 | 62,04 | 36,31 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 10 | 10 | 227,98 | 202,86 | 54,78 | 16,96 | 16,62 |
| | | 186,30 | 168,84 | 61,53 | 16,27 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 11 | 11 | 351,27 | 240,46 | 60,70 | 61,64 | 61,96 |
| | | 323,32 | 223,45 | 63,06 | 62,27 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 12 | 12 | 241,46 | 219,45 | 57,15 | 13,56 | 13,67 |
| | | 233,37 | 213,17 | 66,67 | 13,79 | |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |


Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.2.5. Ensayo de contenido de humedad. Período N°5.

|  <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</p> | | | | | | |
|---|------|-----------|--|---------|-------|-----------|
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MASA. | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 2216-71, AASHTO T 265-93 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | PROFUNDIDAD: 0,70 m a 1,50 m | | | |
| FECHA: 17/05/2016 | | | | | | |
| HUMEDAD | POZO | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | W % | RESULTADO |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 1 | 1 | 231,34 | 204,08 | 70,63 | 20,43 | 20,55 |
| | | 251,54 | 218,95 | 61,23 | 20,66 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 2 | 2 | 295,32 | 264,66 | 66,32 | 15,46 | 15,77 |
| | | 232,48 | 208,88 | 62,04 | 16,07 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 3 | 3 | 221,30 | 198,05 | 69,21 | 18,05 | 18,34 |
| | | 230,50 | 205,60 | 72,04 | 18,64 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 4 | 4 | 285,59 | 201,10 | 61,42 | 60,49 | 60,15 |
| | | 286,20 | 202,62 | 62,87 | 59,81 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 5 | 5 | 308,81 | 215,10 | 72,39 | 65,66 | 65,20 |
| | | 295,40 | 200,29 | 53,38 | 64,74 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 6 | 6 | 308,02 | 215,23 | 70,72 | 64,21 | 64,27 |
| | | 332,20 | 224,64 | 57,44 | 64,33 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 7 | 7 | 281,67 | 210,30 | 67,36 | 49,93 | 50,05 |
| | | 266,69 | 196,56 | 56,77 | 50,17 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 8 | 8 | 260,47 | 188,03 | 57,76 | 55,61 | 55,29 |
| | | 281,90 | 204,81 | 64,56 | 54,97 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 9 | 9 | 260,32 | 227,36 | 70,75 | 21,05 | 21,24 |
| | | 251,20 | 217,85 | 62,25 | 21,43 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 10 | 10 | 233,01 | 206,46 | 64,96 | 18,76 | 18,42 |
| | | 271,30 | 238,74 | 58,67 | 18,08 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 11 | 11 | 291,27 | 200,46 | 59,48 | 64,41 | 64,12 |
| | | 328,32 | 223,55 | 59,39 | 63,82 | |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 12 | 12 | 259,06 | 243,19 | 57,24 | 8,53 | 8,36 |
| | | 225,37 | 212,95 | 61,23 | 8,19 | |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.2.6. Ensayo de contenido de humedad. Período N°6.

|  <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</p> | | | | | | |
|---|------|------------------|--|----------------|----------------|-----------|
| INF-LAB-DGM-IC-02-2016 | | | | | | |
| PROYECTO : VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESENCADENANTE A UN MOVIMIENTO DE MASA. | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: CHONTACRUZ | | | NORMA: ASTM D 2216-71, AASHTO T 265-93 | | | |
| ASESOR: M.SC BELIZARIO ZÁRATE | | | POZO: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 | | | |
| REALIZADO: PABLO ANDRES PUCHA AGUINSACA | | | PROFUNDIDAD: 0,70 m a 1,50 m | | | |
| FECHA: 07/06/2016 | | | | | | |
| HUMEDAD | POZO | PESO HUM. | PESO SECO | CÁPSULA | W % | RESULTADO |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 1 | 1 | 230,66 271,65 | 201,82 235,44 | 66,21 62,25 | 21,27 20,91 | 21,09 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 2 | 2 | 221,29 235,20 | 197,77 208,08 | 59,94 57,37 | 17,06 17,99 | 17,53 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 3 | 3 | 267,53 222,95 | 232,12 196,15 | 60,29 64,30 | 20,61 20,33 | 20,47 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 4 | 4 | 247,05 272,41 | 202,66 222,50 | 55,72 52,24 | 30,21 29,31 | 29,76 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 5 | 5 | 220,42 245,32 | 176,64 193,93 | 69,01 66,50 | 40,68 40,33 | 40,50 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 6 | 6 | 250,38 264,20 | 205,80 214,51 | 72,12 61,28 | 33,35 32,43 | 32,89 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 7 | 7 | 214,70 255,11 | 171,24 200,96 | 58,38 63,06 | 38,51 39,27 | 38,89 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 8 | 8 | 323,48 299,94 | 245,73 227,26 | 67,12 61,62 | 43,53 43,88 | 43,70 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 9 | 9 | 201,95 235,44 | 168,39 194,80 | 63,41 66,66 | 31,97 31,72 | 31,84 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 10 | 10 | 268,31 285,12 | 243,05 257,45 | 54,84 62,04 | 13,42 14,16 | 13,79 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 11 | 11 | 283,06 228,32 | 200,28 168,82 | 57,15 65,25 | 57,84 57,45 | 57,64 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD 12 | 12 | 305,36 320,45 | 278,57 291,12 | 69,26 57,21 | 12,80 12,54 | 12,67 |
| 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 | | | Pablo Andres Pucha Aguinsaca TESISTA | | | |

Fuente: Elaboración Propia.

A.3. Análisis de resultados de arcillas de baja, media y alta plasticidad.

A.3.1 Arcillas de Baja Plasticidad (La Precipitación Aumenta).

Tabla A.3.1.1 Período 1 y 2.

| Suelo (a) | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (1) | Pendiente | W% (2) | % Variación |
| 1 | 17,46 | Rango 1 | 20,31 | 2,85 |
| 10 | 6,29 | Rango 3 | 8,45 | 2,16 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.3.1.2 Período 3 y 4.

| Suelo (a) | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (3) | Pendiente | W% (4) | % Variación |
| 1 | 23,97 | Rango 1 | 34,66 | 10,69 |
| 10 | 15,97 | Rango 3 | 16,62 | 0,65 |

Fuente: Elaboración Propia.

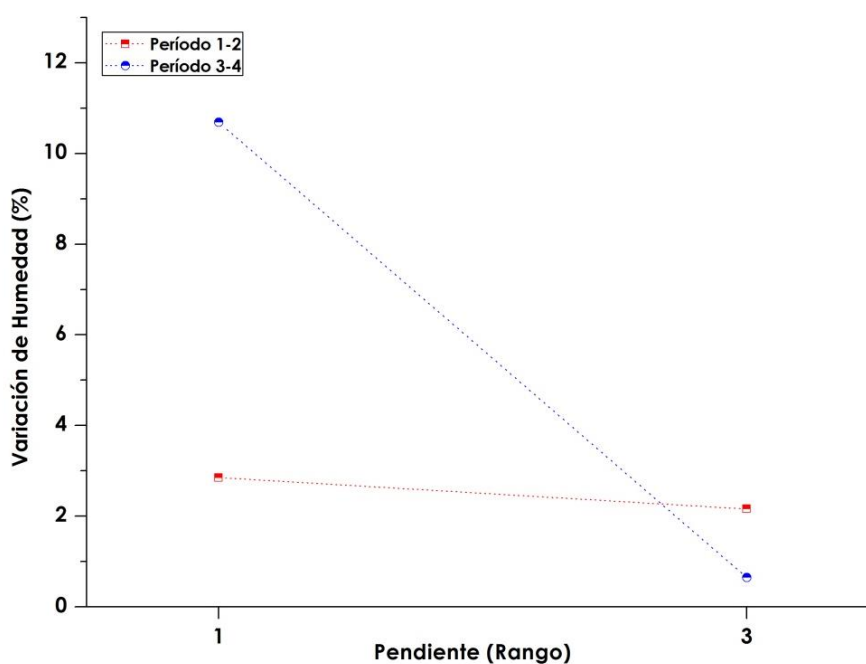


Figura 57. Arcillas de Baja Plasticidad con variación de humedad (1-2;3-4).
Fuente: Elaboración Propia.

A.3.2 Arcillas de Plasticidad Media (La Precipitación Aumenta).

Tabla A.3.2.1 Período 1 y 2.

| Suelo (b) | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (1) | Pendiente | W% (2) | % Variación |
| 5 | 21,4 | Rango 1 | 30,87 | 9,47 |
| 4 | 17,15 | Rango 2 | 18,52 | 1,37 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.3.2.2 Período 3 y 4.

| Suelo (b) | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (3) | Pendiente | W% (4) | % Variación |
| 5 | 48,65 | Rango 1 | 64,5 | 15,85 |
| 4 | 40,9 | Rango 2 | 62,61 | 21,71 |

Fuente: Elaboración Propia.

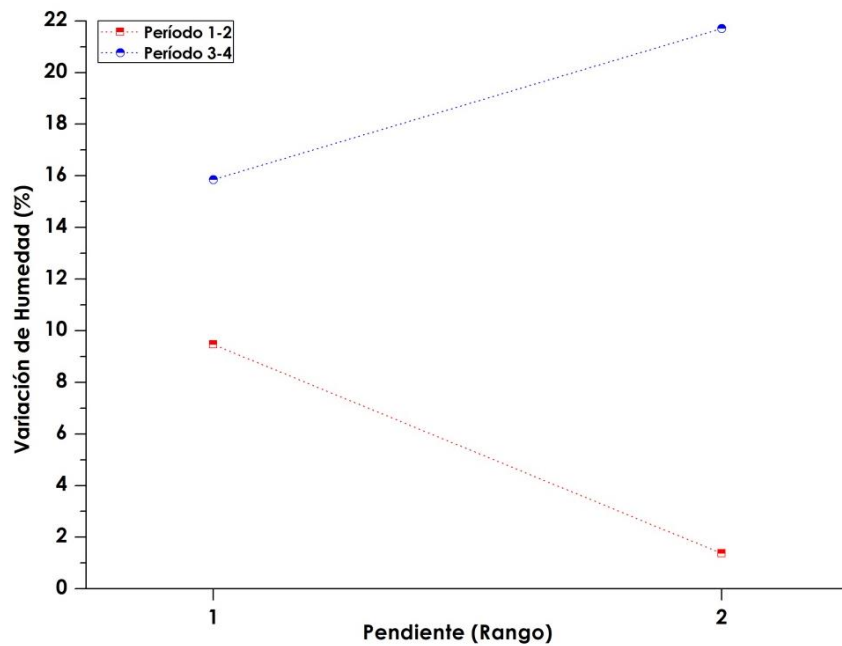


Figura 58. Arcillas de Plasticidad Media con variación de humedad (1-2;3-4).
Fuente: Elaboración Propia.

A.3.3 Arcillas de Alta Plasticidad (La Precipitación Aumenta).

Tabla A.3.3.1 Período 1 y 2.

| Suelo (c) | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (1) | Pendiente | W% (2) | % Variación |
| 8 | 18,43 | Rango 1 | 32,16 | 13,73 |
| 9 | 25,89 | Rango 3 | 29,14 | 3,25 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.3.3.2 Período 3 y 4.

| Suelo (c) | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (3) | Pendiente | W% (4) | % Variación |
| 8 | 37,92 | Rango 1 | 50,85 | 12,93 |
| 9 | 31,88 | Rango 3 | 36,21 | 4,33 |

Fuente: Elaboración Propia.

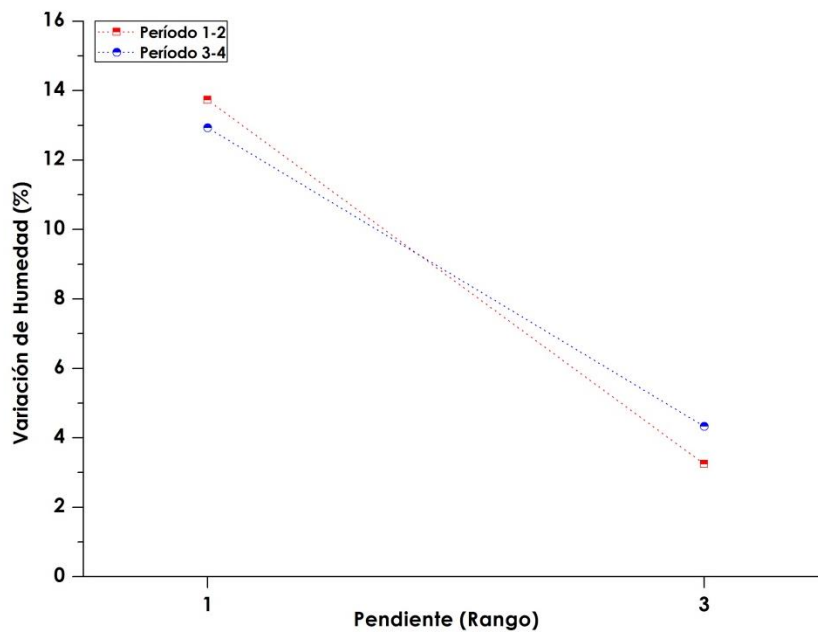


Figura 59. Arcillas de Alta Plasticidad con variación de humedad (1-2;3-4).
Fuente: Elaboración Propia.

A.3.4 Arcillas de Baja Plasticidad (La Precipitación disminuye).

Tabla A.3.4.1 Período 5 y 6.

| Suelo (a) | | | | |
|------------------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (5) | Pendiente | W% (6) | % Variación |
| 1 | 20,55 | 1 | 21,09 | 0,54 |
| 10 | 18,42 | 3 | 13,79 | -4,63 |

Fuente: Elaboración Propia.

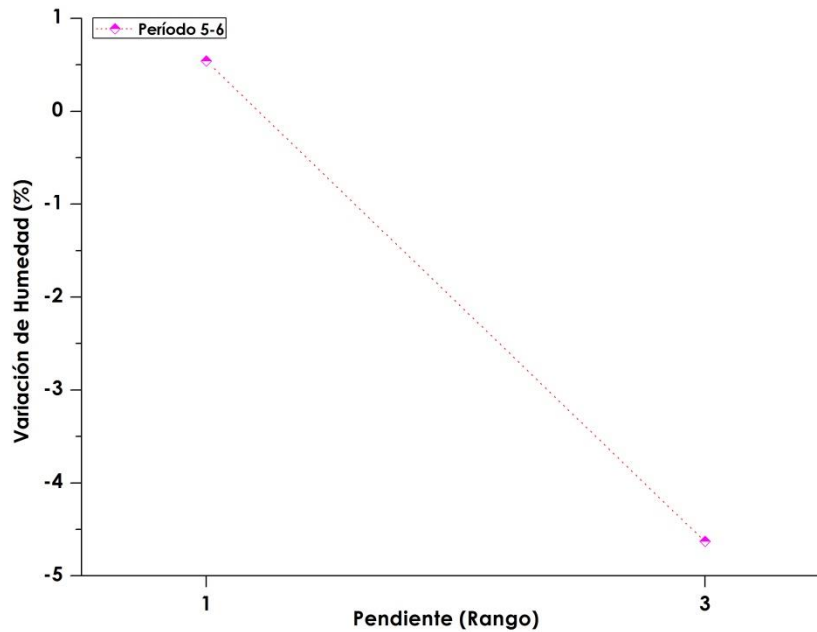


Figura 60. Arcillas de Baja plasticidad con variación de humedad (5-6).
Fuente: Elaboración Propia.

A.3.5 Arcillas de Plasticidad Media (La Precipitación disminuye).

Tabla A.3.5.1 Período 4 y 5.

| Suelo (b) | | | | |
|------------------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (4) | Pendiente | W% (5) | % Variación |
| 5 | 64,5 | 1 | 65,2 | 0,7 |
| 4 | 62,61 | 2 | 60,15 | -2,46 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.3.5.2 Período 5 y 6.

| Suelo (b) | | | | |
|------------------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (5) | Pendiente | W% (6) | % Variación |
| 5 | 65,2 | 1 | 40,5 | -24,7 |
| 4 | 60,15 | 2 | 29,76 | -30,39 |

Fuente: Elaboración Propia.

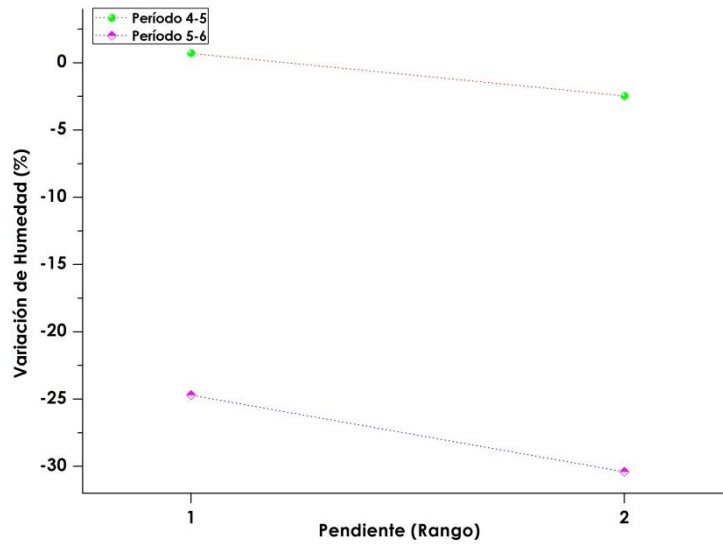


Figura 61. Arcillas de Plasticidad Media con variación de humedad (4-5;5-6).
Fuente: Elaboración Propia.

A.3.6 Arcillas de Alta Plasticidad (La Precipitación disminuye).

Tabla A.3.6.1 Período 2 y 3.

| Suelo (c) | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (2) | Pendiente | W% (3) | % Variación |
| 8 | 32,16 | 1 | 37,92 | 5,76 |
| 9 | 29,14 | 3 | 31,88 | 2,74 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.3.6.2 Período 4 y 5.

| Suelo (c) | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (4) | Pendiente | W% (5) | % Variación |
| 8 | 50,85 | 1 | 55,29 | 4,44 |
| 9 | 36,21 | 3 | 21,24 | -14,97 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.3.6.3 Período 5 y 6.

| Suelo (c) | | | | |
|-----------|--------|-----------|--------|-------------|
| Pozo | W% (5) | Pendiente | W% (6) | % Variación |
| 8 | 55,29 | 1 | 43,7 | -11,59 |
| 9 | 21,24 | 3 | 31,84 | 10,6 |

Fuente: Elaboración Propia.

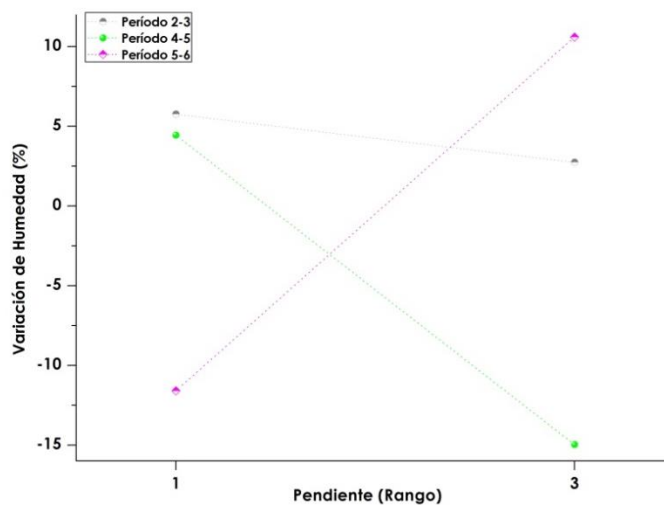


Figura 62. Arcillas de Alta Plasticidad con variación de humedad (2-3;4-5;5-6).
Fuente: Elaboración Propia.

A.4. Análisis de resultados de pendientes con arcillas de baja, media y alta plasticidad.

A.4.1 Pendiente-Rango 1 (La Precipitación aumenta).

Tabla A.4.1.3 Período 1 y 2.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (1) | Tipo de Suelo | W% (2) | % Variación 1 |
| 1 | 17,46 | a | 20,31 | 2,85 |
| 8 | 18,43 | c | 32,16 | 13,73 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.1.4 Período 1 y 2.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (1) | Tipo de Suelo | W% (2) | % Variación 2 |
| 12 | 3,38 | a | 4,45 | 1,07 |
| 8 | 18,43 | c | 32,16 | 13,73 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.1.1 Período 1 y 2.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (1) | Tipo de Suelo | W% (2) | % Variación 3 |
| 1 | 17,46 | a | 20,31 | 2,85 |
| 5 | 21,4 | b | 30,87 | 9,47 |
| 8 | 18,43 | c | 32,16 | 13,73 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.1.2 Período 1 y 2.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (1) | Tipo de Suelo | W% (2) | % Variación 4 |
| 2 | 21,04 | a | 17,18 | -3,86 |
| 5 | 21,4 | b | 30,87 | 9,47 |
| 8 | 18,43 | c | 32,16 | 13,73 |

Fuente: Elaboración Propia.

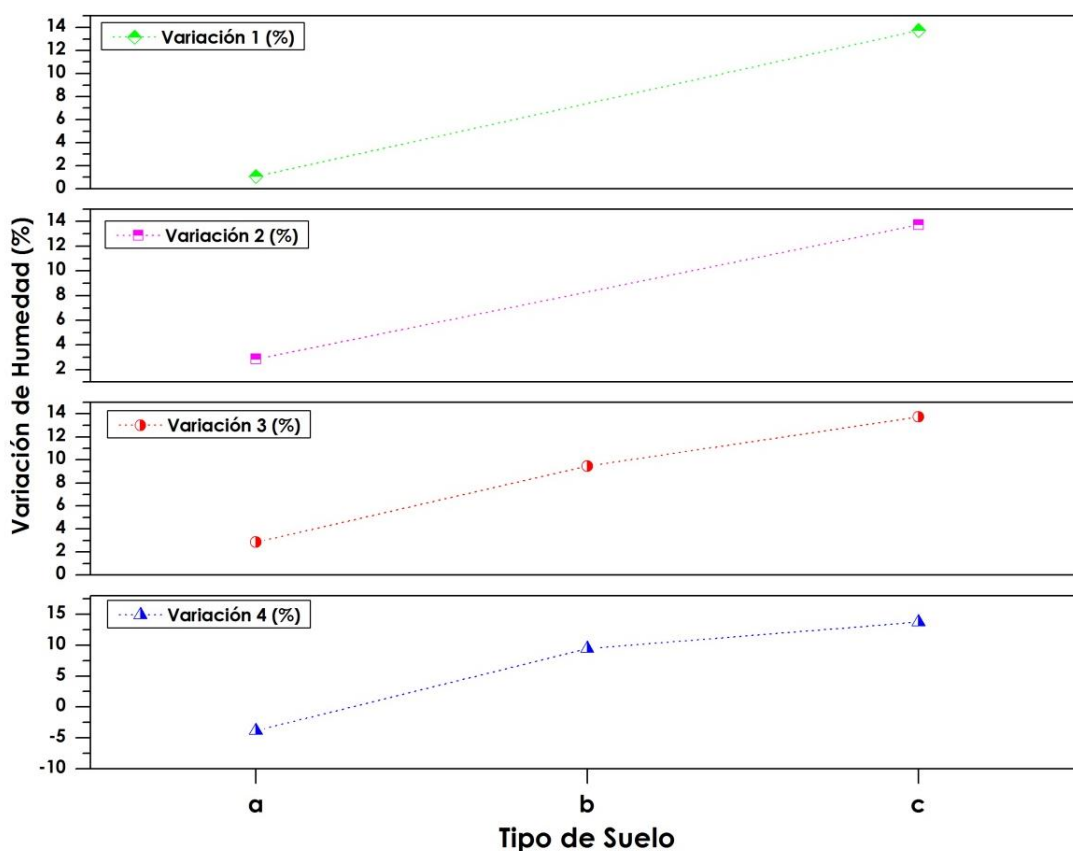


Figura 63. Pendiente Rango 1-Áreas llanas (1-2).

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.1.5 Período 1 y 2.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|---------------------------|--------|---------------|--------|-------------|
| Pozo | W% (1) | Tipo de Suelo | W% (2) | % Variación |
| 1 | 17,46 | a | 20,31 | 2,85 |
| 6 | 22,14 | d | 20,26 | -1,88 |

Fuente: Elaboración Propia.

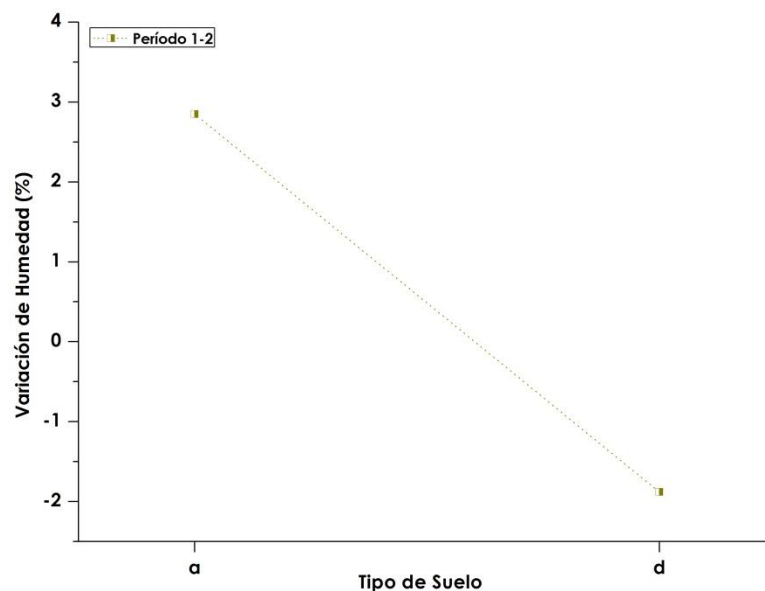


Figura 64. Pendiente Rango 1-Áreas llanas (1-2).

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.1.6 Período 3 y 4.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|---------------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (3) | Tipo de Suelo | W% (4) | % Variación 1 |
| 1 | 23,97 | a | 34,66 | 10,69 |
| 8 | 37,92 | c | 50,85 | 12,93 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.1.7 Período 3 y 4.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|---------------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (3) | Tipo de Suelo | W% (4) | % Variación 2 |
| 12 | 10,32 | a | 13,67 | 3,35 |
| 8 | 37,92 | c | 50,85 | 12,93 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.1.8 Período 3 y 4.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|---------------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (3) | Tipo de Suelo | W% (4) | % Variación 3 |
| 1 | 23,97 | a | 34,66 | 10,69 |
| 5 | 48,65 | b | 64,5 | 15,85 |
| 8 | 37,92 | c | 50,85 | 12,93 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.1.9 Período 3 y 4.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|---------------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (3) | Tipo de Suelo | W% (4) | % Variación 4 |
| 2 | 28,21 | a | 20,51 | -7,7 |
| 5 | 48,65 | b | 64,5 | 15,85 |
| 8 | 37,92 | c | 50,85 | 12,93 |

Fuente: Elaboración Propia.

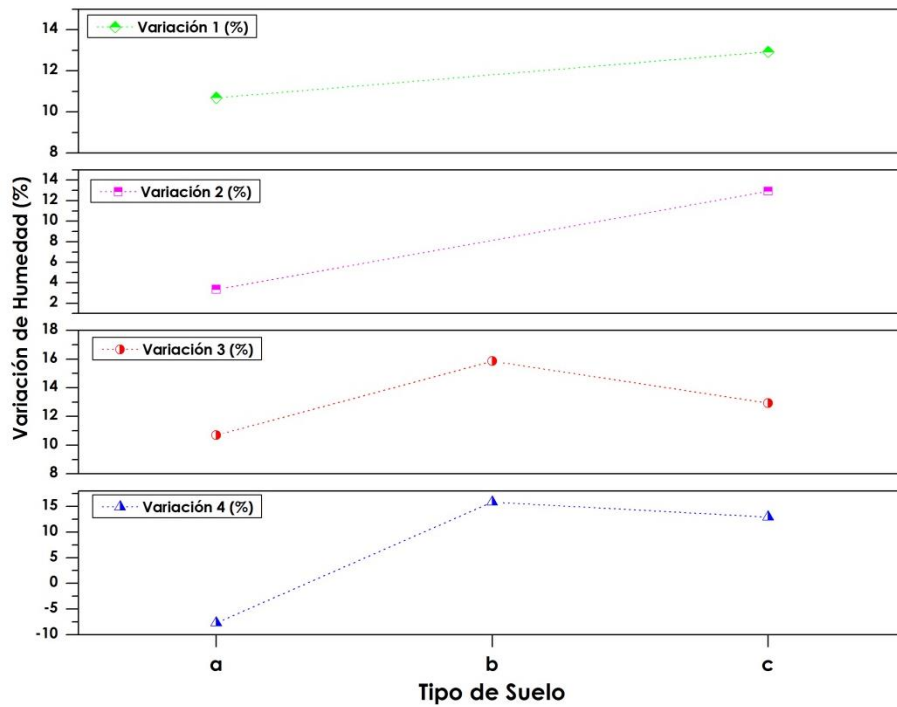


Figura 65. Pendiente Rango 1-Áreas llanas (3-4).
Fuente: Elaboración Propia.

A.4.2 Pendiente-Rango 3 (La Precipitación aumenta).

Tabla A.4.2.1 Período 1 y 2.

| Pendiente: Rango 3 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (1) | Tipo de Suelo | W% (2) | % Variación 1 |
| 10 | 6,29 | a | 8,45 | 2,16 |
| 9 | 25,89 | c | 29,14 | 3,25 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.2.2 Período 1 y 2.

| Pendiente: Rango 3 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (1) | Tipo de Suelo | W% (2) | % Variación 2 |
| 11 | 64,12 | a | 57,64 | -6,48 |
| 9 | 25,89 | c | 29,14 | 3,25 |

Fuente: Elaboración Propia.

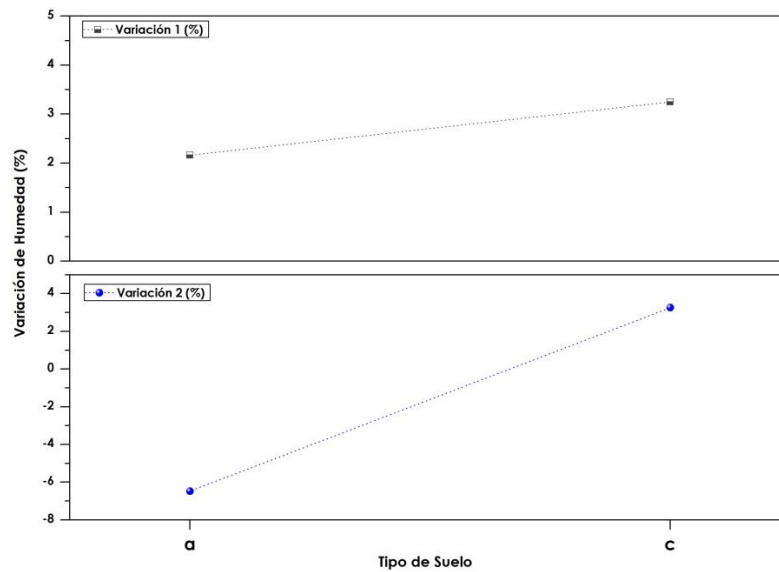


Figura 66. Pendiente Rango 3 (1-2).
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.2.3 Período 3 y 4.

| Pendiente: Rango 3 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|-------------|
| Pozo | W% (3) | Tipo de Suelo | W% (4) | % Variación |
| 10 | 15,27 | a | 16,62 | 1,35 |
| 9 | 31,88 | c | 36,21 | 4,33 |

Fuente: Elaboración Propia.

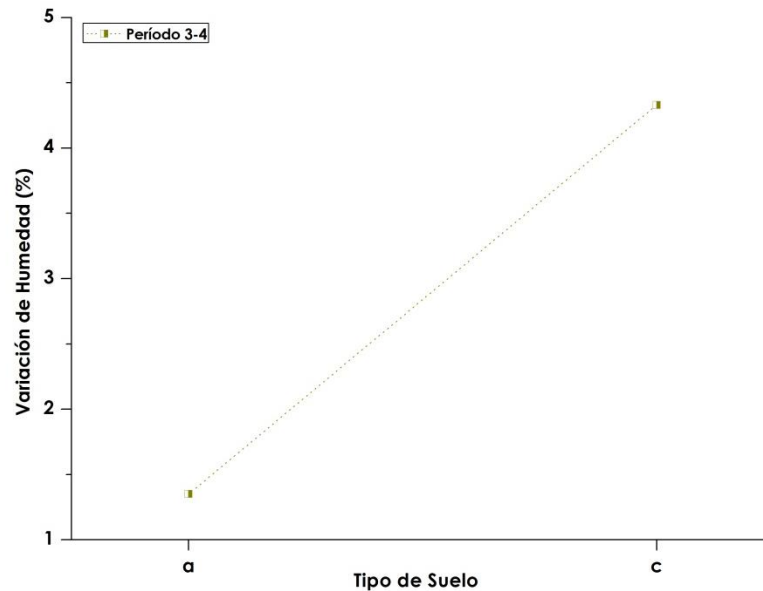


Figura 67. Pendiente Rango 3 (3-4).
Fuente: Elaboración Propia.

A.4.3 Pendiente-Rango 1 (La Precipitación disminuye).

Tabla A.4.3.1 Período 2 y 3.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (2) | Tipo de Suelo | W% (3) | % Variación 1 |
| 1 | 20,31 | a | 23,97 | 3,66 |
| 8 | 32,16 | c | 37,92 | 5,76 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.3.2 Período 4 y 5.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (4) | Tipo de Suelo | W% (5) | % Variación 2 |
| 1 | 34,66 | a | 20,55 | -14,11 |
| 8 | 50,85 | c | 55,29 | 4,44 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.3.3 Período 4 y 5.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (4) | Tipo de Suelo | W% (5) | % Variación 3 |
| 1 | 34,66 | a | 20,55 | -14,11 |
| 5 | 64,5 | b | 65,2 | 0,7 |
| 8 | 50,85 | c | 55,29 | 4,44 |

Fuente: Elaboración Propia.

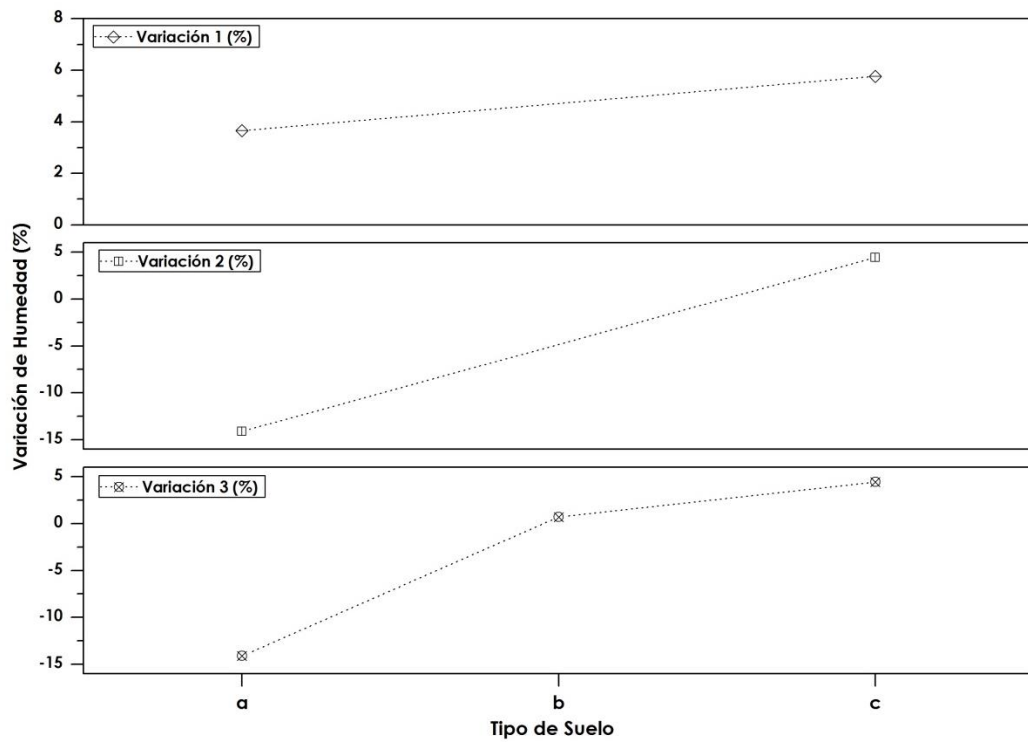


Figura 68. Pendiente Rango 1 (2-3;4-5).
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.3.4 Período 5 y 6.

| Pendiente: Rango 1 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|-------------|
| Pozo | W% (5) | Tipo de Suelo | W% (6) | % Variación |
| 1 | 20,55 | a | 21,09 | 0,54 |
| 6 | 64,27 | d | 32,89 | -31,38 |

Fuente: Elaboración Propia.

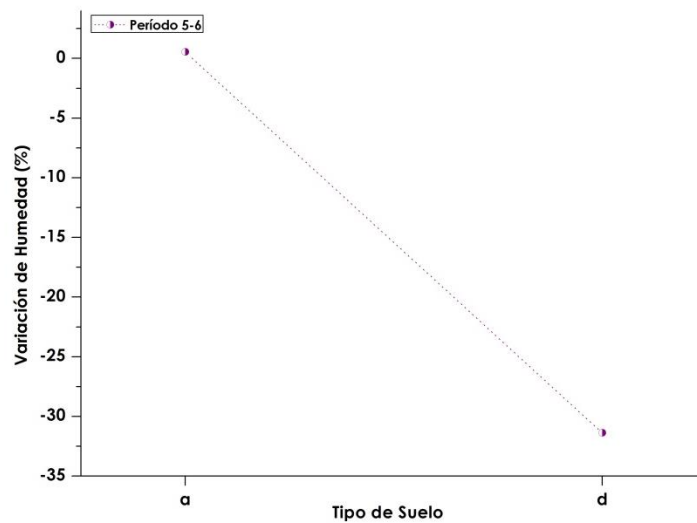


Figura 69. Pendiente Rango 1 (5-6).
Fuente: Elaboración Propia.

A.4.4 Pendiente-Rango 3 (La Precipitación disminuye).

Tabla A.4.4.1 Período 5 y 6.

| Pendiente: Rango 3 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (5) | Tipo de Suelo | W% (6) | % Variación 1 |
| 10 | 18,42 | a | 13,79 | -4,63 |
| 9 | 21,24 | c | 31,84 | 10,6 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla A.4.4.2 Período 5 y 6.

| Pendiente: Rango 3 | | | | |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
| Pozo | W% (5) | Tipo de Suelo | W% (6) | % Variación 2 |
| 11 | 64,12 | a | 57,64 | -6,48 |
| 9 | 21,24 | c | 31,84 | 10,6 |

Fuente: Elaboración Propia.

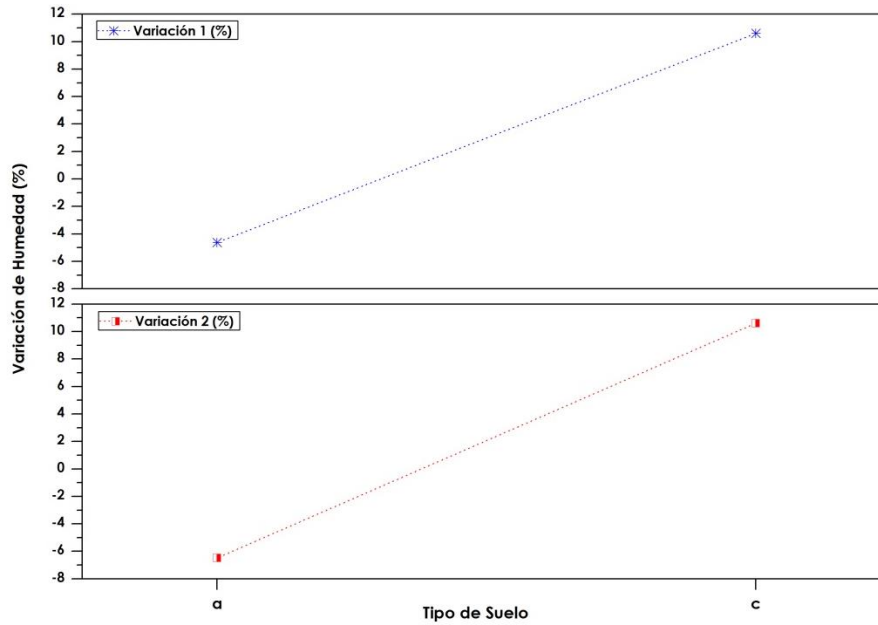


Figura 70. Pendiente Rango 3 (5-6).

Fuente: Elaboración Propia.

A.5. Fotografías del deterioro de la vía que se encuentra limitando la zona de estudio.



Figura 71. Hundimientos en vía que limita la zona de estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

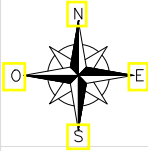
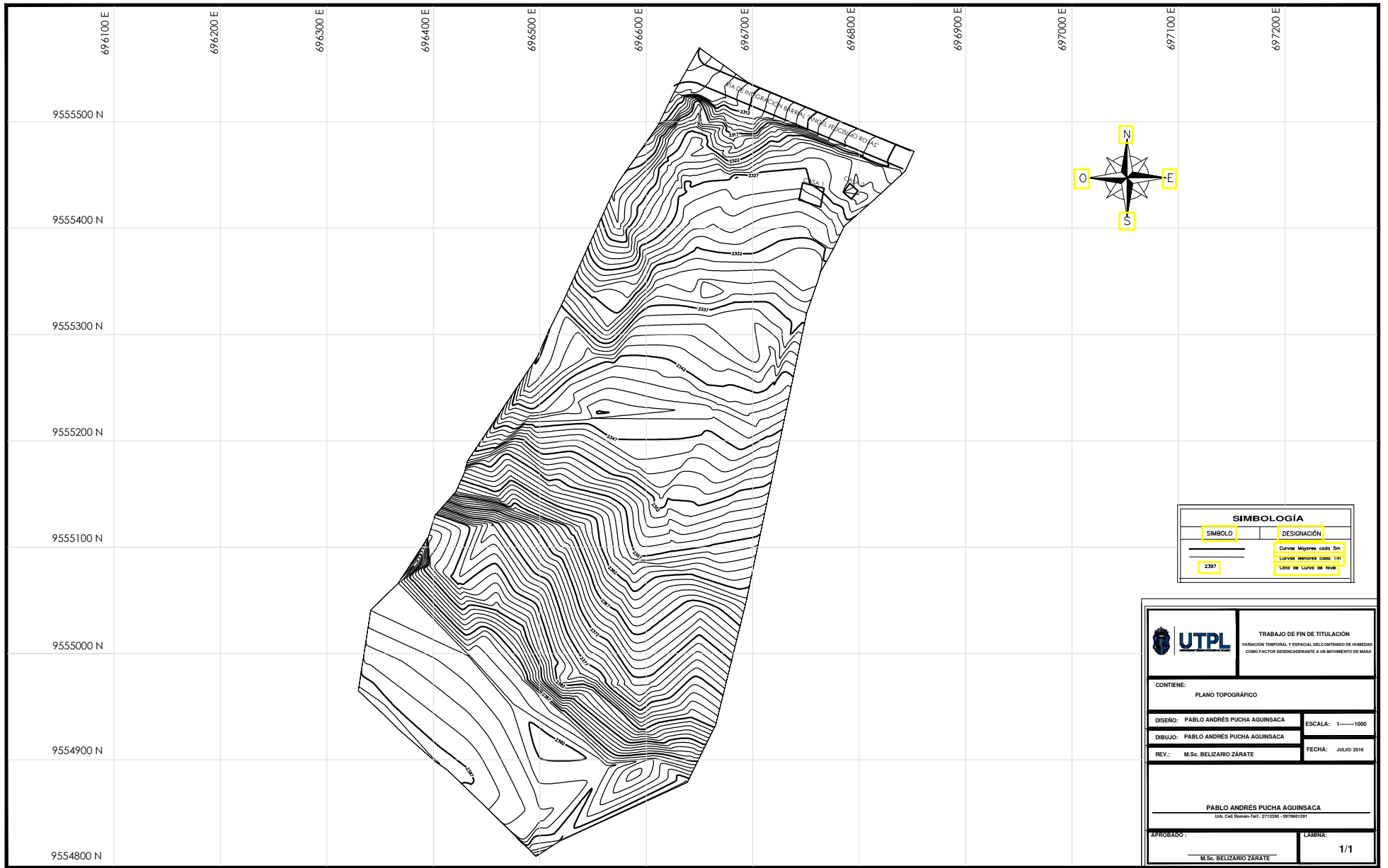


Figura 72. Abultamientos en vía.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 73. Movimientos de masa por procesos de variación de humedad.
Fuente: Elaboración Propia.

A.6. Plano Topográfico de la zona de estudio.



| SIMBOLOGÍA | |
|------------|------------------------|
| SÍMBOLO | DESIGNACIÓN |
| | Curvas Mayores 1000 5m |
| | Curvas Menores 1000 1m |
| | Logo de Curva de Nivel |

| | | |
|---|---|--|
| | TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN VARIACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD COMO FACTOR DESECADEANTE A UN MOVIMIENTO DE MASA | |
| | CONTIENE: PLANO TOPOGRÁFICO | |
| DISEÑO: PABLO ANDRÉS PUCHA AGUINSACA | ESCALA: 1:1000 | |
| DIBUJO: PABLO ANDRÉS PUCHA AGUINSACA | FECHA: JULIO 2016 | |
| REV.: M.Sc. BELIZARIO ZARATE | | |
| PABLO ANDRÉS PUCHA AGUINSACA <small>Ing. Civil N° 1411-1411-271328 - 1079861231</small> | | |
| APROBADO: M.Sc. BELIZARIO ZARATE | LAMINA: 1/1 | |