

**Análisis de estabilidad del suelo en el barrio Valle del Espíritu Santo Pamplona – Norte de Santander bajo parámetros como, deslizamiento rotacional presentado en la zona de**

**estudio**

AVALADO PARA SUSTENTAR, se desarrollaron las correcciones respecto de los métodos de Clasificación de Suelos USCS y AASHTO

AVALADO PARA SUSTENTAR, realizo todas las observaciones y correcciones pertinentes

Juan Pablo Melgarejo Niño

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Civil

Directores

María Esther Rivera

Lic. PhD. en Hidrología

Jesús Ramón Delgado Rodríguez  
Geol. MSc. Geología

Universidad de Pamplona Facultad de  
Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Química

Programa de Ingeniería Civil

Pamplona, Norte de Santander

2021

### **Dedicatoria**

Principalmente darle gracias a Dios que me ha permitido llegar al final de este sueño, a todas las personas que fueron llegando durante este proceso de formación para así de esta manera llegar a la fecha que se hiciese realidad.

A mis padres que día a día se han esforzado por verme realizado como profesional.

## **Agradecimientos**

Le doy gracias a Dios, por haberme concedido la vida y permitirme el haber logrado llegar hasta esta etapa tan importante de mi formación profesional. A la universidad de Pamplona que fue la universidad que me abrió las puertas para que este sueño se hiciera realidad.

A mi familia por los sacrificios que ha hecho con el mayor de los esfuerzos que ha hecho para siempre darme lo mejor.

A los diferentes docentes de la Universidad de Pamplona, que a lo largo del tiempo de mi carrera universitaria compartieron sus conocimientos y experiencias vividas para de esta manera formarme como profesional en el área de la Ingeniería Civil,

Especialmente a los profesores María Esther Rivera y Jesús Ramón Delgado Rodríguez quienes han sido unos grandiosos profesores y amigos, los cuales me han conducido por diferentes ámbitos durante mi carrera profesional, de los cuales han quedado experiencias inolvidables y darles las gracias por su dedicación, perseverancia, paciencia, y aliento para que este proyecto llegara a un feliz término.

## Índice General

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| 1. Glosario .....   | 9           |
| 2. Resumen .....  | 11          |
| 3. Introducción.....  | 13          |
| 4. Objetivos.....   | 14          |
| 4.1. Objetivo general .....   | 14          |
| 4.2. Objetivos específicos.....   | 14          |
| 5. Marco Referencial .....  | 15          |
| 5.1. Marco contextual.....  | 15          |
| 5.2. Antecedentes .....   | 17          |
| 5.2.1. <i>Antecedentes Internacionales</i> .....  | 18          |
| 5.2.2. <i>Antecedentes Nacionales</i> .....   | 20          |
| 5.2.3. <i>Antecedentes Regionales</i> .....   | 21          |
| 5.3. Marco teórico .....  | 22          |
| 5.3.1. <i>Estabilidad</i> .....   | 22          |
| 5.3.2. <i>Factores influyentes en la estabilidad</i> .....  | 22          |
| 5.3.3. <i>Movimientos en masa</i> .....   | 25          |
| 5.3.3.1. Deslizamiento .....  | 26          |
| 5.3.3.2. Clasificación de los deslizamientos .....  | 27          |
| 5.3.3.3. Partes de un deslizamiento.....  | 32          |
| 5.3.3.4. Causas de deslizamiento .....  | 32          |
| 5.4. Evaluación de la estabilidad.....  | 33          |
| 5.5. Amenaza.....   | 34          |
| 5.6. Caracterización de las propiedades físicas del suelo en la zona de estudio, mediante los respectivos ensayos de laboratorio como, granulometría, límites de Atterberg y contenido de humedad. .... | 36          |
| 5.6.1. <i>Visita de campo</i> .....   | 36          |
| 5.6.2. <i>Toma de muestra de suelo apique 1</i> .....   | 37          |
| 5.7. Establecimiento de la cobertura vegetal, meteorología y escorrentía superficial y la forma en que contribuye al escurrimiento del agua en el terreno.....  | 40          |
| 5.8. Análisis de los rasgos geológicos y la hidrológicos para determinar la influencia que pueden llegar a tener en la estabilidad rotacional en la zona de estudio. ....                               | 41          |
| 5.9. Características de la zona dado la influencia de las personas que viven sobre y las inmediaciones del barrio. ....   | 41          |
| 6. Resultados.....  | 42          |

|   |    |
|---|----|
| 6.1. Caracterización de las propiedades físicas del suelo en la zona de estudio, mediante los respectivos ensayos de laboratorio como, granulometría, límites de Attemberg y contenido de humedad para el apique 1..... | 42 |
| 6.2. Establecimiento de la cobertura vegetal, meteorología y escorrentía superficial y la forma en que contribuye al escurrimiento del agua en el terreno.....  | 46 |
| 6.3. Análisis de los rasgos geológicos y la hidrológicos para determinar la influencia que pueden llegar a tener en la estabilidad rotacional en la zona de estudio. ....   | 54 |
| 6.4. Características de la zona dado la influencia de las personas que viven sobre y las inmediaciones del barrio. ....   | 68 |
| 7. Conclusiones.....  | 76 |
| 8. Recomendaciones .....  | 79 |
| 9. Referencias Bibliográficas.....  | 80 |

## Lista de Tablas

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Tabla 1 Clasificación de deslizamiento de acuerdo a la velocidad del movimiento.....         | 28          |
| Tabla 2. Tipos de movimientos en masa y su descripción.....                                  | 31          |
| Tabla 3. Distribución granulométrica de las muestras de suelo en la zona de estudio .....    | 43          |
| Tabla 4. Limite liquido muestra 1 .....  | 44          |
| Tabla 5. Limite plástico muestra 1 .....   | 45          |
| Tabla 6. Índices de Attemberg para la muestra 1.....   | 45          |
| Tabla 7. Prueba de infiltración en la zona de estudio .....                                  | 45          |
| Tabla 8. Cobertura vegetal encontrada en la zona de estudio .....                            | 47          |
| Tabla 9. Prueba de Kolmogorov- Smirnov. ....   | 50          |
| Tabla 10. Prueba de Ji- cuadrado. ....   | 50          |
| Tabla 11. Probabilidad de excedencia e las precipitaciones de la estación ISER Pamplona..... | 51          |
| Tabla 12. Coeficientes de escorrentía .....  | 56          |
| Tabla 13. Caudal de escorrentía de la zona de estudio .....                                  | 56          |
| Tabla 15. Matriz de identificación de impactos en la zona de estudio .....                   | 68          |

## Lista de ilustraciones

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Ilustración 1. Zona de estudio. ....   | 13          |
| Ilustración 2. Localización de la zona de estudio Norte de Santander, Pamplona-Zona de Estudio<br>.....                                    | 15          |
| Ilustración 3. Localización de la zona de estudio.....   | 15          |
| Ilustración 4. Foto estructuras de las viviendas en la zona de estudio.....  | 16          |
| Ilustración 5. Foto Viviendas zona de estudio .....  | 16          |
| Ilustración 6. Partes de un deslizamiento.....   | 27          |
| Ilustración 7. Bosquejo de un deslizamiento rotacional.....  | 30          |
| Ilustración 8. Bosquejo de un deslizamiento Transaccional. ....  | 30          |
| Ilustración 8. Partes de un deslizamiento.....   | 32          |
| Ilustración 9. Factores que afectan la estabilidad del talud.....  | 34          |
| Ilustración 10. Foto Talud en estudio barrio Valle del Espíritu Santo.....   | 37          |
| Ilustración 11. Excavación apique .....  | 39          |
| Ilustración 12. Toma de muestra de suelo.....  | 39          |
| Ilustración 13 Curva Granulométrica .....  | 44          |
| Ilustración 14 Foto Realización de los rollitos.....   | 44          |
| Ilustración 15. Foto Distribución cazuela .....  | 44          |
| Ilustración 16. Infiltración en la zona de estudio .....   | 46          |
| Ilustración 17. Cobertura vegetación encontrada en la zona de estudio .....  | 46          |
| Ilustración 18. Mapa cobertura vegetal zona de estudio.....  | 49          |
| Ilustración 19. Comportamiento temporal de la precipitación de la estación ISER Pamplona.....  | 50          |
| Ilustración 20. Curvas IDF Estación meteorológica Iser Pamplona .....  | 55          |
| Ilustración 21. Curva de duración de caudales.....   | 57          |
| Ilustración 22. Afloramiento de rocas areniscas de la formación cogollo en la parte alta sector<br>occidental de la zona de estudio.....   | 62          |
| Ilustración 23. Barrio Valle Espíritu Santo antes de la falla .....  | 63          |
| Ilustración 24. Conformación del lote para la construcción de las viviendas. ....  | 63          |
| Ilustración 25. Barrio Valle Espíritu Santo construcción de las viviendas. ....  | 63          |
| Ilustración 26. Barrio Valle Espíritu Santo condición actual.....  | 64          |
| Ilustración 27. Mapa estructural regional, donde sobresalen las principales fallas de la zona de<br>estudio (Tomado de Romero, 2011) ..... | 64          |

Ilustración 28. Localización valle del Espíritu Santo en el casco Urbano del Municipio de Pamplona..... 65

Ilustración 29. Vista general de la parte alta de la urbanización Valles del Espíritu Santo..... 66

Ilustración 30. Vista general de la zona alta de la urbanización valles del espíritu Santo..... 67

Ilustración 31 Vista general de la zona baja de la urbanización Valles del Espíritu Santo ..... 67

## 1. Glosario

Las definiciones que se dan a continuación fueron tomadas del libro “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” (Publicación Geológica Multinacional, 2007).

- ❖ **Actividad:** la actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo del material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad.
- ❖ **Actividad histórica:** evidencia geológica o histórica de la ocurrencia de un movimiento en masa.
- ❖ **Activo:** movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.
- ❖ **Acumulación:** volumen de material desplazado que se encuentra sobre la superficie original del terreno.
- ❖ **Agrietamiento:** formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.
- ❖ **Aluvial:** génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.
- ❖ **Aluvión:** materiales con fragmentos sobre ondeados a redondeados, depositados por una corriente natural de agua o por un movimiento tipo flujo canalizado.
- ❖ **Análisis de estabilidad de taludes:** proceso en el que se evalúa cuantitativamente la interacción entre las fuerzas (o momentos) estabilizantes o resistentes y las fuerzas (o momentos) desestabilizantes que actúan sobre un talud.

- ❖ Ancho de la masa desplazada: ancho máximo de la masa desplazada que se mide en dirección perpendicular a la longitud.
- ❖ Ancho de la superficie de falla: ancho máximo entre los flancos de un deslizamiento, medido en sentido perpendicular a la línea.
- ❖ Coordenadas: En este campo se debe indicar el sitio del movimiento en masa al cual corresponden las coordenadas solicitadas. Por ejemplo: Corona, Cabeza, Pie. Las coordenadas del sitio deben darse en términos de grados, minutos y segundos (°, ', ").
- ❖ Litología y estratigrafía: En el campo disponible se debe hacer una breve descripción de la litología y estratigrafía del área que conforma la ladera sobre la que ocurrió el movimiento. Ésta debe incluir al menos la siguiente información: origen de la roca (sedimentaria, ígnea, metamórfica), edad, formación, descripción litológica y estratigráfica
- ❖ Mapa inventario: mapa en donde se localizan geográficamente los movimientos en masa que han ocurrido en una región y se identifican sus características mediante una simbología apropiada.
- ❖ Mapa de amenaza: mapa que muestra mediante una simbología apropiada la distribución espacial de las clases de amenaza o de la zonificación de la amenaza (Seters y Van Westen, 1996).

## 2. Resumen

En los años 2010, 2011 y 2015 se presentaron lluvias extremas en todo el país, las cuales ocasionaron afectaciones: pérdidas de banca, socavación, arrastre de sedimentos, saturación en el suelo, deslizamiento, patología del suelo, pérdida estructural de aproximadamente 80 casas de viviendas de interés social y giros en los muros de contención entre otros, en el barrio Valle del Espíritu Santo, municipio de Pamplona, Norte de Santander. Por ello, se planeó realizar el análisis de estabilidad de suelos en dicho sector, mediante los siguientes objetivos: primero caracterizar las propiedades físicas del suelo mediante apiques, muestreo y análisis en el laboratorio de suelos de la Universidad de Pamplona. Segundo Describir la geología y litología a través de consulta de estudios a nivel regional de entidades como Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Servicio Geológico Colombiano (SGC) y observación en campo. Tercero análisis del comportamiento de los datos de precipitación de la estación meteorológica del ISER Pamplona, y determinación de la escorrentía superficial aplicando la tabla propuesta por Aparicio (1999). y por último descripción de la flora realizando muestreo e inventarios en la zona de estudio. Dentro de los resultados se obtuvo suelos de textura arcilloso, con altos índices de limos y arcillas de alta y baja plasticidad, a una profundidad de aproximadamente 0.60 m en el costado noroeste y a 2.0 m en el costado sureste se presenta nivel freático. Así mismo, el análisis de los mapas del IGAC y SGC se establece que este terreno presenta una litología correspondiente a un depósito cuaternario de tipo coluvial compuesto por fragmentos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias conformadas por arenas-arcillas, adyacentes a rocas cretácicas, compuestas por lodolitas, areniscas calcáreas y calizas correlacionables con la Formación Capacho. Por otro lado, se determinaron datos faltantes de precipitación máxima en 24 horas para la construcción de las

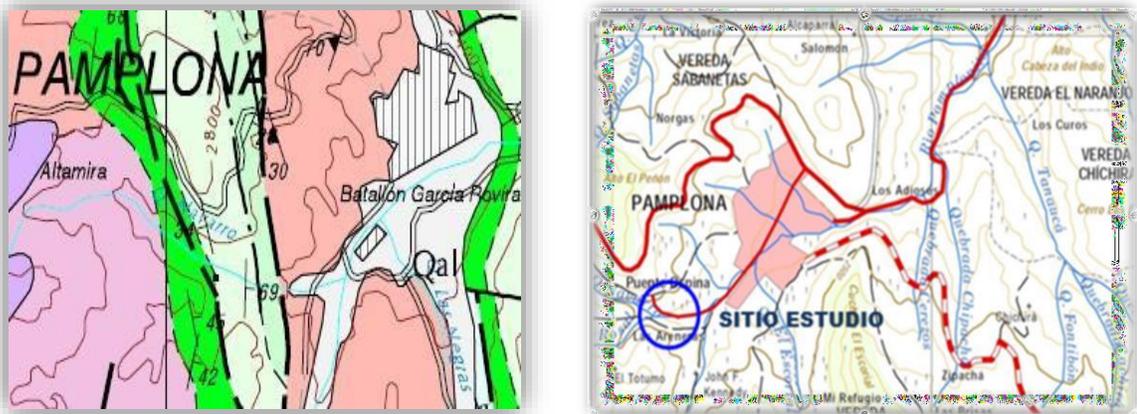
curvas de intensidad duración frecuencia (IDF) en los periodos de retorno de 2,5,10,25,50 y 100 años. De otra parte, mediante el uso de la tabla propuesta por Aparicio se obtiene el coeficiente de escorrentía media de 0.227023. y por último la descripción e identificación de las muestras de flora en su gran mayoría pertenecen a la familia de Asteraceae de tipo arbustos. En conclusión, del estudio la escorrentía es alterada por influencia de los seres humanos debido a que hacen que el suelo se compacte provocando que tenga una menor infiltración y que este factor aumente, por otra parte, se presenta una patología que se atribuye al saturamiento del terreno y a falta de estudios del suelo se le suma los malos diseños realizados para este tipo de terreno los cuales ocasionaron que se presentaran estas afectaciones.

**Palabras claves:** Amenaza, Remoción, Susceptibilidad, Zonificación.

### 3. Introducción

Se desarrolló una investigación y análisis del proyecto urbanístico denominado Valle del Espíritu Santo; el cual actualmente se encuentra en demanda ya que el lote adquirido no era viable técnica ni financieramente, para la realización del proyecto de vivienda. En consecuencia se estudió el escurrimiento con el objeto de ver la afectación causada en la erosión y deslizamientos que se pueden evidenciar en la zona de estudio, además que se calculó el caudal máximo de escurrimiento que sirve como herramienta para el diseño de obras hidráulicas para el manejo de dicha problemática, siendo fundamental los análisis estadísticos para el estudio de factores hidrológicos que pueden incidir como es el caso de las precipitaciones, por lo que se contó con la serie histórica de la estación Iser Pamplona. Así también se desarrollaron análisis de suelos, con lo que se puede inferir que las condiciones actuales requieren un manejo especial para la construcción dado que la infiltración es baja, la pendiente es superior al 20%, con lo que se favorece el escurrimiento directo.

Ilustración 1. Zona de estudio.



Fuente: Ingeominas (2020)

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

Análisis de estabilidad del suelo en el barrio valle del Espíritu Santo Pamplona – Norte de Santander bajo parámetros como, deslizamiento rotacional presentado en la zona de estudio.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar las propiedades físicas del suelo en la zona de estudio, mediante los respectivos ensayos de laboratorio como, granulometría, límites de Atterberg y contenido de humedad.
- Establecer la cobertura vegetal, meteorología y escorrentía superficial y la forma en que contribuye al escurrimiento del agua en el terreno.
- Analizar los rasgos geológicos y la hidrológicos para determinar la influencia que pueden llegar a tener en la estabilidad rotacional en la zona de estudio.
- Estudiar las características de la zona dado la influencia de las personas que viven sobre y las inmediaciones del barrio.

## 5. Marco Referencial

### 5.1. Marco contextual

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Pamplona y es conocida como Barrio Valle del Espíritu Santo, el cual tiene una superficie de 4.72 ha y un perímetro de 1,1 km, se encuentra a una altura de 2360-2580 msnm (Ilustración 2 y 3). La cual se encuentra en una superficie de montaña como se puede ver con variabilidad de vegetación con un área escarpada en las calles de acceso.

Ilustración 2. Localización de la zona de estudio Norte de Santander, Pamplona-Zona de Estudio

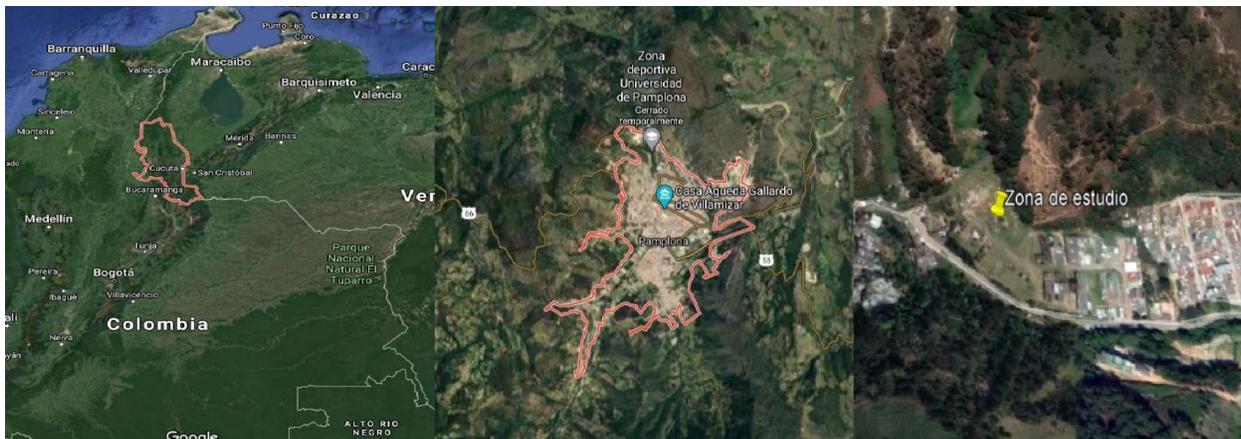


Ilustración 3. Localización de la zona de estudio



Fuente: Modificado de Google Earth por Melgarejo Niño (2020).

La zona de estudio está constituida por viviendas residenciales tanto de 1 piso como de 2 niveles, con mampostería de bloque, la cual ya contaba con su respectiva red eléctrica, cuenta una vía de acceso desde la parte baja dirigiéndose por todo el sector a terminar en la parte alta, zonas escarpadas como se evidencian en la ilustración 3 y 4.

Ilustración 4. Foto estructuras de las viviendas en la zona de estudio



Fuente: Melgarejo 2020

Ilustración 5. Foto Viviendas zona de estudio



Fuente: Melgarejo 2020

## 5.2. Antecedentes

Para Escobar C. y Duque G, (2017), Colombia es un país que se caracteriza por su diversidad de climas, al estar interceptado por la línea ecuatorial, fraccionando de este modo el territorio en los hemisferios norte y sur; gracias a la elevada humedad en sus zonas de valles y bosques tropicales naturales, lo que da lugar a un alto grado de precipitación y cambios de temperatura, factores que, a su vez, ocasionan el fenómeno de la erosión. Este fenómeno es uno de las principales causales de la inestabilidad de los taludes que se ubican en el territorio nacional.

De acuerdo con Escobar C. y Duque G, (2017), a modo de ejemplo, el colapso del gasoducto y del servicio de agua, se pueden interpretar mejor al recorrer la vía al Magdalena, para señalar que lo que muestra su corredor con los mega deslizamientos, es la destrucción antrópica del suelo, a diferencia de lo que muestra la montaña reforestada del otro lado del río, en la que los ocasionales deslizamientos son la expresión de un fenómeno natural llamado erosión, más limitado.

De ahí que la solución debe empezar por entender que conceptualmente una carretera va más allá de su pavimento, muros y transversales, al extender su dominio hasta las micro cuencas del corredor vial (Escobar C. y Duque G, 2017). Es posible que, así como sucedió con el Terremoto del Eje Cafetero (Armenia 1999), donde las consecuencias superaron en varios órdenes las que se derivan de los acontecimientos de Manizales.

Como primera medida, teniendo en cuenta la investigación e instrumentación de la amenaza, de permanecer la dinámica del último lustro, sus efectos podrían desbordar la

capacidad de recuperación a la adversidad debido a la incapacidad de recuperar la base económica y ambiental de la ciudad. Y es que, si se logra comparar fenómenos como el de las Niñas 2007/8 y 2010/11, ambas de nivel moderado y 10 meses de duración, mientras en la primera las cifras de damnificados no llegaban a 50 mil por cada invierno y los eventos eran puntuales, en la segunda superó 2 millones en cada una de sus dos temporadas de lluvias, y como eventos quedaron cerca de 30 municipios, 216 para reasentar, caso Gramalote, para no hablar de Bogotá sumida en el agua de los humedales que le robó a la sabana. (Escobar Potes, 2016).

De acuerdo con el artículo anteriormente referenciado de Escobar Potes, se puede decir que el 40 % de deslizamientos ocurren a causa de fuertes lluvias. El estudio de los deslizamientos ocurridos se hace mediante los métodos tradicionales de análisis de estabilidad tomando como ingreso que el suelo se encuentra saturado. Continuando así, resulta pertinente mencionar que la gran mayoría de los fenómenos de remoción en masa ocurridos en los terrenos de Norte de Santander en los municipios de Chitagá son debido al aumento considerable en las precipitaciones (cambio climático), lo que hace que el suelo se sature y provoque deslizamientos, inundaciones y entre otros sucesos.

### **5.2.1. Antecedentes Internacionales**

Según Bach, Tardeo de la Cruz, Zanabria Pari, Ever (2016) realizaron la tesis para dar a conocer el estudio de Inestabilidad de talud determinando el factor de seguridad de talud mediante el análisis dinámico por elementos finitos en la zona de Huayllabamba del distrito de Cuenca — Huancavelica en el año 2016, cuyo objetivo es identificar el factor de seguridad del talud en estudio; para lo cual se emplearon los diferentes métodos del análisis heurístico, donde

el análisis heurístico muestra como resultado la susceptibilidad a deslizamientos, mediante un método específico a emplear para este análisis es el método Mora Vahrson, considerando variables de susceptibilidad como geología, pendiente, geomorfología, vegetación y las variables desencadenantes de precipitación y sísmica. De la misma forma, por la naturaleza del estudio, se utilizó el método determinístico con fines de cálculo del factor de seguridad de talud en el sector de estudio, basándose específicamente en el análisis estático y análisis dinámico, por lo que este primero emplea los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos. Tales resultados concluyen que en la zona de Huayllabamba del distrito de cuenca — Huancavelica son inestables, al obtener un factor de seguridad menor a 1. Dentro del análisis dinámico, se aplicó el método de elementos finitos, los cuales guardan relación con los resultados obtenidos en el análisis estático, ya que el factor de seguridad dinámico en la zona de Huayllabamba del distrito de cuenca — Huancavelica y es menor a 1.25, por lo cual es inestable. Teniendo en cuenta estos resultados, se proponen medidas de mitigación de riesgo, como la construcción de anclajes, por la naturaleza y condiciones que presentan las áreas de estudio.

Guillén Martínez (2004) genera una explicación teórica y práctica de las causas de fallas en los taludes en Guatemala, para lo cual se presentan dos casos reales; uno en el Departamento de Guatemala y el otro en la ciudad de Cobán, Alta Verapaz, se dan conceptos de estabilidad de los diferentes estratos de suelo en los taludes, así como también algunas fórmulas para determinar la inestabilidad de los mismos. También se muestran los taludes en roca, y los diferentes tipos de deslizamientos y derrumbes, para poder determinar en campo la clase de falla que ha ocurrido o que está por ocurrir, enumeramos los diferentes tipos de análisis de estabilidad de taludes en laboratorio y en campo, los métodos de cálculo, así como también los datos necesarios que tenemos que obtener para poder calcular la estabilidad de los mismos, podemos darnos cuenta

de las causas de las fallas que pueden ocurrir y los lugares donde se originan, es por eso que nombramos una zonificación de riesgos geológicos. nos basamos en los casos reales nombrados anteriormente; el método usado para el estudio de estabilización; el equipo que se utilizó para las perforaciones de penetración estándar para sacar las muestras de suelo de dichos taludes para llevarlos a laboratorio, y las soluciones que se dieron para poder evitar los deslizamientos

### **5.2.2. Antecedentes Nacionales**

Espinoza Durán y Tapia Berzosa (2013) realizan un estudio de investigación mediante herramientas de modelación digital para cuantificar la seguridad de una presa de tierra. Estos muestran una introducción al comportamiento de los esfuerzos a los que se verán sometidas las presas del proyecto PACALORI. Previo al cálculo, se efectúan muestreos y ensayos para asignar las características geotécnicas de resistencia propias del cemento y el terraplén. Posteriormente, en el software SLOPE/W se realiza la modelación de la geometría de la presa y la introducción de sus características mecánicas; parámetros que regirán el funcionamiento mismo de la estructura. Se considera la variabilidad de hipótesis que se puede asignar a los métodos usados en el análisis de estabilidad de taludes, así como las condiciones en que éstos resultan confiables en la obtención del factor de seguridad. Con esta información se procede a la modelación del comportamiento mecánico de la presa, permitiendo aproximar los factores de seguridad mínimos que se tendrán para el diseño y futuras medidas de mitigación. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones sobre los resultados de la modelización para cálculos del resto de presas del proyecto a tratar.

### 5.2.3. Antecedentes Regionales

Gutiérrez Herrera y Vélez Villamizar (2012) explican un estudio en el análisis de estabilidad de taludes por medio de un método no determinístico, en el cual el software slope/w con ayuda del método Montecarlo asocia el factor de seguridad a una probabilidad de falla. se realizaron 12160 simulaciones de taludes delimitados por su altura, ángulo de inclinación, altura piezométrica y parámetros resistentes del suelo. dichos cálculos y análisis se realizaron a través del software slope/w con el método de morgenstern-price. Los análisis de sensibilidad en donde se observa la variación del factor de seguridad se representarán por medio de ábacos y los análisis probabilísticos en donde se muestran las probabilidades de falla asociadas al factor de seguridad, se presentarán por medio de tablas. La cartilla de ábacos es aplicable a taludes conformados por suelos clasificados por la S.U.C.S como arcillas (CL) y arenas arcillosas (SC) o que sus parámetros se encuentren dentro de los rangos de variación especificados dentro del proyecto.

Para Gallardo Amaya (2013) presenta la investigación geotécnica para la estabilización de la ladera principal del barrio San Fermín del municipio de Ocaña (Norte de Santander, Colombia), cuyo asentamiento está compuesto por familias desplazadas que realizaron varios cortes a dicha ladera sin asesoría técnica y sin implementar sistemas de estabilización, lo cual ha conllevado a que en periodos de lluvias se presenten deslizamientos, que ponen en riesgo la vida de los habitantes y sus bienes económicos. Este estudio se desarrolló bajo las tres premisas fundamentales de la geotecnia: a) trabajos de campo, incluyendo visita previa, topografía, exploración del subsuelo y análisis geológico, b) trabajos de laboratorio para la caracterización físico-mecánica de los perfiles, y c) modelación matemática y análisis de estabilidad implementando la metodología de los factores de valuación y software especializado. Los

resultados permitieron establecer las condiciones de estabilidad geotécnica de la ladera y alternativas de solución para los problemas encontrados.

### **5.3. Marco teórico**

#### **5.3.1. Estabilidad**

Matteis, Angelone y Garibay (2003), opinan que estabilidad es la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Así mismo, consideran que es importante definir criterios de estabilidad de taludes, los cuales son el poder decir en un instante dado cuál será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplén; casi siempre la más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse.

Suarez Díaz (2020) considera que conocer las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales son parámetros que afectan la estabilidad de una ladera o un talud. Así mismo, es importante conocer las clases de deslizamientos que se presentan si existiese un movimiento y los clasifica en dos subtipos, esta diferenciación es importante porque se puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse.

#### **5.3.2. Factores influyentes en la estabilidad**

De acuerdo con conocedores como Juan Pérez Santos, geólogos como Jesús Ramón Delgado Rodríguez entre otros y página web Geotecnia (consultado en 2020), en el análisis de estabilidad de los taludes y laderas en materiales tipo suelo, está determinada por factores capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno como son los factores principales, condicionantes, desencadenantes.

Entre los factores principales se encuentran a) Geométricos: Atura, inclinación, b) Geológicos: Zonas de debilidad, anisotropía, c) Hidrogeológicos: Presencia de agua y d)

Geotécnicos: Resistencia, deformabilidad

En los Factores Condicionantes, los cuales son intrínsecos a los materiales naturales como: a) Diferencias litológicas, grado de alteración, compactación; b) Estructura geológica: Distribución espacial de las discontinuidades (planos de debilidad), buzamiento, estructuras compresivas o distensivas; c) Condiciones hidrogeológicas: Presiones intersticiales, permeabilidad; d) Propiedades físicas, resistentes y deformaciones: Resistencia al corte (depende de la cohesión y ángulo de rozamiento interno), discontinuidades (rugosidad, relleno, presencia de agua, entre otros) y e) Propiedades naturales y estado tenso-deformaciones: Descompresión y rotura, deformaciones plásticas.

Los Factores Desencadenantes, los más importantes son las precipitaciones, los cambios en las condiciones hidrogeológicas de las laderas como: a) Cargas: Estáticas y dinámicas. Modificación de fuerzas, apertura de discontinuidades, reducción de la resistencia al corte y b) Variaciones hidrogeológicas y variaciones en la geometría.

Para GEOQuantics, 2019), el desencadenamiento meteorológico y climático de los movimientos de ladera e inestabilidad de taludes está relacionado fundamentalmente con el volumen, intensidad y distribución de las precipitaciones, y con el régimen climático. Así, debe considerarse la respuesta del terreno a precipitaciones intensas durante horas (tormentas) o días, y la respuesta estacional (épocas secas y lluviosas a lo largo del año) o plurianual (ciclos húmedos y de sequía). Así mismo, considera que el agua en el terreno da lugar a presiones que alteran los estados de esfuerzos, por presiones intersticiales y aumento del peso, a procesos de erosión interna, externa y a cambios mineralógicos, aspectos que modifican las propiedades y resistencia de los materiales tipo suelo.

Por otra parte, es necesario considerar la infiltración del agua de lluvia, debido a la

producción de flujos subsuperficiales y subterráneos en laderas, incremento del contenido en agua de la zona no saturada y la eleva el nivel freático, recargando la zona saturada. De igual manera, la cantidad de agua que se infiltra al terreno depende de la intensidad y duración de las lluvias, tamaño de la cuenca de aporte, contenido previo de agua en el terreno (posición del nivel freático y grado de saturación), de su permeabilidad y transmisividad y de la topografía y otras características de la ladera, como la presencia de vegetación. Dependiendo de estos factores, se generan estados de desequilibrio que pueden dar lugar a la inestabilidad de las laderas (GEOQuantics, 2019).

Es conocido que las precipitaciones intensas durante horas o días pueden desencadenar movimientos superficiales, como deslizamientos y flujos de barro, que afectan a materiales de alteración y a suelos, siendo frecuentes también las reactivaciones de antiguos deslizamientos y la rápida infiltración del agua de lluvia, puede llegar a aturar el terreno superficial e aumentar las presiones intersticiales, explicando la generación de los movimientos. Así mismo, la falta de cobertura vegetal en laderas, la presencia de materiales sueltos y la existencia previa de inestabilidades juegan papel fundamental por la mayor capacidad de infiltración y movilización de los materiales; y el riesgo debido a estos procesos está asociado principalmente a su ocurrencia repentina (GEOQuantics, 2019)

De acuerdo con GeoStru (2016), para resolver un problema de estabilidad es necesario tener en cuenta ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Con respecto a las ecuaciones de campo tienen en cuenta el equilibrio y los vínculos describen el comportamiento del terreno. De igual manera, hace énfasis que suelos que además de saturados, son también bifase, vuelve notoriamente complicado el análisis de las ecuaciones de equilibrio. Además, es prácticamente imposible definir una ley constitutiva de validez general, ya que los terrenos presentan un

comportamiento no-lineal y aún en caso de pequeñas deformaciones, son anisótropos y su comportamiento depende no solo del esfuerzo desviador, sino también del normal.

### **5.3.3. Movimientos en masa**

Para un análisis de estabilidad de cualquier talud, es necesario conocer las clases de deslizamientos que se pueden producir si existiese un movimiento y se pueden clasificar en dos, esta diferencia es importante porque se puede concretar el sistema de análisis y estabilización a utilizar.

Por ello, un movimiento en masa es un desplazamiento de masas de suelo, que pueden ser ocasionados por el exceso de agua presente en un terreno y la incidencia de la fuerza de gravedad.

De acuerdo con Suarez Díaz (1998), los movimientos en masa son procesos gravitatorios, donde una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que medie ostensiblemente medio de transporte alguno, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras. Este tipo de procesos gravitatorios tienen relación es con las precipitaciones altas, es decir, lluvias torrenciales son causantes y/o precursoras de los movimientos en masa, ya que aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del suelo al deslizamiento.

Según CIMPP, (2014), la remoción en masa es el desplazamiento masivo de materiales del suelo superficiales, en volúmenes ampliamente variables, que se desprenden y desplazan pendiente abajo por acción de la fuerza debida a la gravedad. De igual manera considera que son procesos geológicos naturales que hacen parte de la dinámica externa de la Tierra, fenómenos generados por la pérdida de resistencia como consecuencia, en la mayoría de los casos, de

agentes detonantes como las lluvias, sobrecargas, aunque eventualmente pueden presentarse por aumento de fuerzas cortantes durante sismos.

Sin embargo, para Pasive (2018) opina que la remoción en masa es un fenómeno que normalmente se presenta alrededor del mundo. El entendimiento de la interacción entre todos estos factores ambientales es fundamental para la identificación de zonas susceptibles a este tipo de procesos, en efecto permite la elaboración de estrategias adecuadas en la prevención de desastres naturales relacionados con este tipo de movimientos.

#### **5.3.3.1. Deslizamiento**

Los movimientos lentos o rápidos del material superficial de la corteza terrestre como suelo, arena, roca, que se encuentran pendiente abajo debido a un incremento de peso, pérdida de consistencia de los materiales o algún otro factor que genere un desequilibrio en la ladera se conocen como Deslizamiento. A estas condiciones se le debe sumar factores externos como la sismicidad, vulcanismo y las lluvias (Jiménez, 2002 citado por Rosales Sánchez y Centeno Álvarez, 2009).

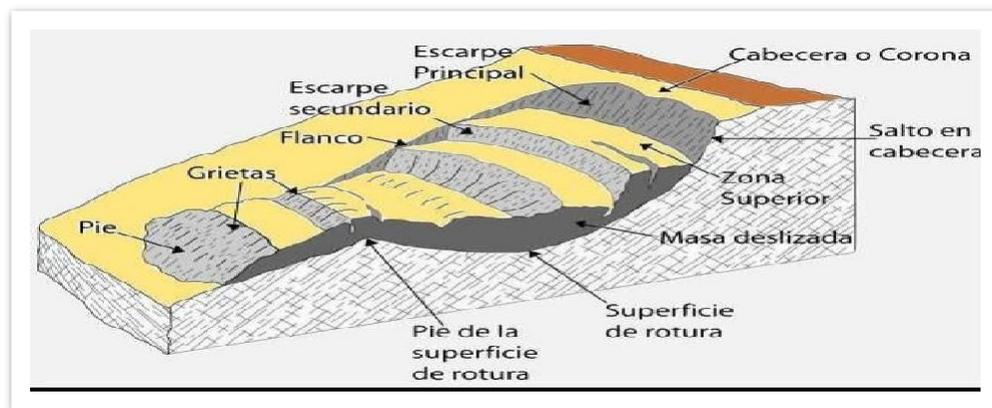
Según Way (1973) citado por Aguilo (1998) y Rosales Sánchez y Centeno Álvarez, 2009), en particular un suelo entra en desequilibrio cuando este pierde su tendencia de permanecer in situ, adquiriendo tendencia al desplazamiento en presencia de pendientes adecuadas por efecto de la gravedad. La estabilidad de suelos es importante en estudios del medio físico; los riesgos de desprendimiento y movimientos en masa imponen fuertes limitaciones al desarrollo de las actividades constructivas y a la asignación de usos al suelo.

Por otra parte, la clasificación de los movimientos de ladera depende de los criterios utilizados para su diferenciación. A continuación, se presentan los movimientos en ladera según

Varnes (1958), (1978); Ayala et al., (1987), Corominas y García Yagüe, (1997) citados en Jiménez (2005), basados en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento utilizando básicamente criterios morfológicos.

Sin embargo, Geologiaweb (2016) considera que es útil comprender las partes básicas de un deslizamiento de tierra típico. En la ilustración 6 se muestra la posición y los términos más comunes utilizados para describir las partes únicas de un deslizamiento de tierra.

Ilustración 6. Partes de un deslizamiento



Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos Flujo de lodos.

### 5.3.3.2. Clasificación de los deslizamientos

Varnes, et al, 1978 citado por COSUDE–ALARN, 2002a, citado por Aguilo (1998) y Rosales Sánchez y Centeno Álvarez (2009), consideran que existen clasificaciones de deslizamientos según el tipo de movimiento, al contenido de agua, a la velocidad del movimiento, a la profundidad de la superficie de ruptura y al estado de la actividad.

Los movimientos en masa de acuerdo a su velocidad pueden ser: a) Sub estabilizados a lentos, cuando presentan movimientos de 0 a 2 cm/año; b) Pocos activos, cuando presentan movimientos de 2 a 10 cm/año y c) Activos con fases rápidas, cuando presentan movimientos

con velocidades mayores a 10 cm/año. Sin embargo, en la tabla 1 se presenta la clasificación de deslizamiento según Suarez Díaz (1998).

Tabla 1 Clasificación de deslizamiento de acuerdo a la velocidad del movimiento.

| Clase | Descripción           | Velocidad (mm/seg) | Desplazamiento | Poder destructor  |
|-------|-----------------------|--------------------|----------------|---|
| 7     | Extremadamente rápido | $5 \times 10^3$    | 5 m/seg        | Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes; escape improbable.                       |
| 6     | Muy rápida            | $5 \times 10^1$    | 3 m/min        | Alguna pérdida de vidas; velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar.   |
| 5     | Rápida                | $5 \times 10^{-1}$ | 1.8 m/hora     | Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.  |
| 4     | Moderada              | $5 \times 10^{-3}$ | 13 m/mes       | Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente.   |
| 3     | Lenta                 | $5 \times 10^{-5}$ | 1.6 m/año      | Construcciones remediabes pueden llevarse a cabo durante el movimiento. Algunas estructuras incentivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente. |
| 2     | Muy lenta             | $5 \times 10^{-7}$ | 16 mm/año      | Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.   |
| 1     | Extremadamente lenta  |                    |                | Imperceptibles sin instrumentos; construcción posible, pero deben tenerse precauciones.   |

Fuente: SUÁREZ DÍAZ, Jaime. "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales", 1998.

Los deslizamientos se clasifican como: a) Deslizamiento superficial, la profundidad de la superficie de ruptura esta entre 0 y 2 m; b) Deslizamiento semiprofundo, la superficie de ruptura tiene profundidades entre 2 y 10 m; c) Deslizamiento profundo, la profundidad de la superficie de ruptura es mayor de 10 m (COSUDE-ALARN, 2002 a citado por citado por Aguilo (1998) y

Rosales Sánchez y Centeno Álvarez, 2009).

Según Jiménez (2002) citados Rosales Sánchez y Centeno Álvarez (2009), los deslizamientos de tierra se pueden clasificar por su tipo y movimiento y se describen a continuación:

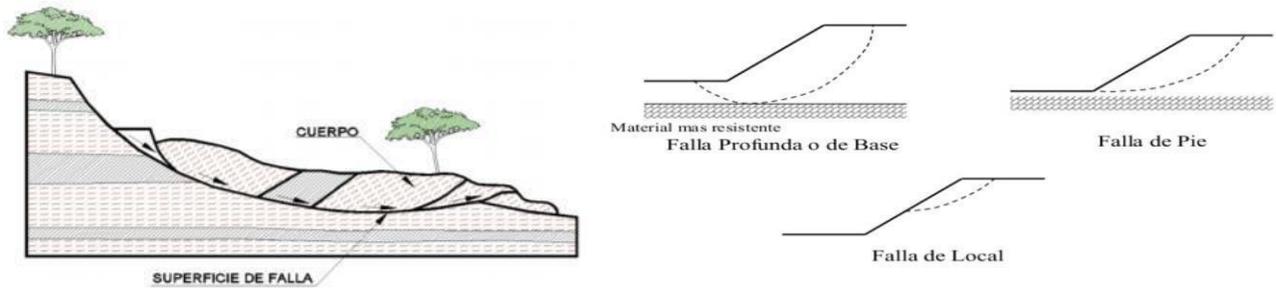
- a) Rodados es una masa de roca u otro material que desciende por medio de una caída o rebote en el aire.
- b) Derrumbe se debe a las fuerzas derribadoras que causa la rotación de roca fuera de su posición original. Así mismo, un derrumbe tal vez no contenga mucho movimiento y no necesariamente provoca una caída o desprendimiento de rocas.
- c) Propagación lateral ocurre en pendientes suaves, usualmente de menos de 6% y típicamente se propagan de 3 a 5 metros, pero pueden moverse desde 30 a 50 metros donde las condiciones sean favorables. El proceso puede ser causado por licuefacción donde la arena o el sedimento suelto y saturado asumen un estado licuado. Usualmente ocurre por el estremecimiento del suelo.
- d) Aludes avanzan como un líquido viscoso, a veces muy rápido y puede cubrir varios kilómetros. No es necesaria la presencia del agua para que se produzca el alud; sin embargo, la mayoría de los aludes se forman después de periodos de intensas lluvias. Un torrente de eyecciones es una mezcla acuosa de tierra, rocas y materia orgánica combinada con aire y agua. Los aludes muy lentos, casi imperceptibles de tierra y lecho de rocas se llaman movimiento paulatino. Durante largo tiempo los movimientos paulatinos del terreno pueden causar la caída de postes de tendido eléctrico y otros objetos.

Zinck (1996) distingue los tipos principales de deslizamientos, de acuerdo a la geometría del desplazamiento.

- ❖ Deslizamiento rotacional son los tipos de movimientos en el cual la superficie de falla se

describe en forma circular y su centro de giro está por encima del centro de gravedad del cuerpo del deslizamiento (Ilustración 7).

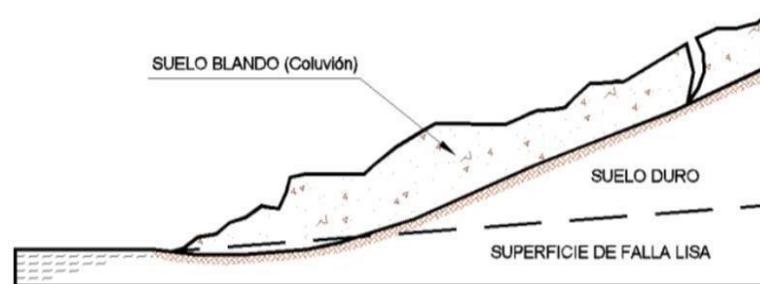
Ilustración 7. Bosquejo de un deslizamiento rotacional.



Fuente: Suarez 2008

❖ Deslizamiento transaccional según Cruz López lo citado por (2013); es un tipo de movimiento en el cual el material se desplaza hacia abajo a lo largo de una superficie aproximadamente plana o ligeramente ondulada Cruz López Erika (Ilustración 8)

Ilustración 8. Bosquejo de un deslizamiento Transaccional.



Fuente: Suarez 2008

En la tabla 2 se presentan los movimientos en ladera según Varnes (1958), (1978); Ayala et al., (1987), Corominas y García Yagüe, (1997) citados en Jiménez (2005), basados en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento utilizando básicamente criterios morfológicos.

Tabla 2. Tipos de movimientos en masa y su descripción.

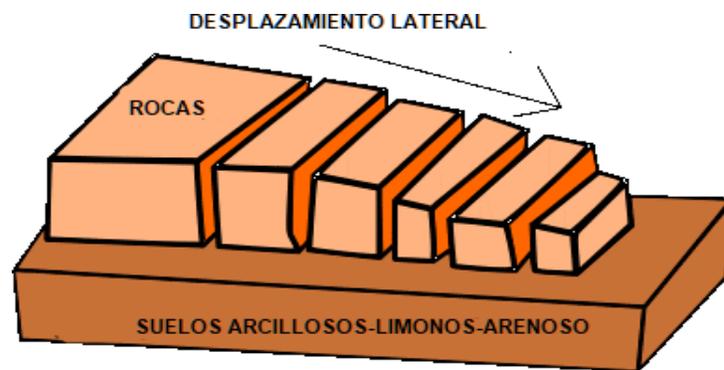
| TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA | DESCRIPCIÓN   |
|------------------------------|---|
| Desplazamientos              | <ul style="list-style-type: none"> <li>–Rotacionales</li> <li>– Traslacionales en rocas y suelos</li> </ul>                     |
| Flujos                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Flujos de lodo, Flujos de detritos, Flujos rocosos, Reptación, Soliflucción</li> </ul> |
| Desprendimientos o Caídas    | Desprendimientos de rocas y suelos  |
| Vuelco                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>–Vuelco de rocas, Volcamiento flexural de macizos rocosos</li> </ul>                     |
| Avalanchas                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>–Avalanchas de rocas</li> <li>– Colapsos</li> </ul>                                      |
| Desplazamientos laterales    | Suelos y bloques rocosos  |

Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos

### 5.3.3.3. Partes de un deslizamiento

Desplazamientos laterales. Este tipo de movimiento en masa suele ser regional, se origina debido a que un tipo de roca masivo y competente se encuentra sobre un material blando y deformable, lo que permite desplazamientos laterales lentos y constantes (Ilustración 8).

Ilustración 8. Partes de un deslizamiento.



Fuente: Geología web (2020). Deslizamientos y tipos de deslizamientos  
Desplazamiento lateral

### 5.3.3.4. Causas de deslizamiento

Según reseñas estadísticas se sabe que el 40 % de deslizamientos ocurren a causa de fuertes lluvias, de acuerdo con el informe por el blog “gidahatari.com”. El estudio de los deslizamientos ocurridos se hace mediante los métodos tradicionales de análisis de estabilidad tomando como ingreso que el suelo se encuentra saturado (Gestión Sostenible del Agua; Gidahatari,2011).

Actualmente, existen otros métodos como el de tomar un modelo de corte del talud con su estado de esfuerzos actual, sin modificar sus propiedades como tomarlo saturado o con la presión de poros actuando en compresión.; este último modelo se hace debido a que existen estudios que

demuestran que existen deslizamientos ocurriendo en las zonas no saturadas del talud (Gestión Sostenible del Agua;\_Gidahatari,2011).

Existe una fuerte relación entre lo que dura una intensa precipitación de lluvia y la variación de la presión de poros en el suelo. El estudio de suelos no saturados aplicado en la agricultura es de gran ayuda y sus modelos son utilizados para analizar la responsabilidad de la hidrología en la estabilidad de taludes (Gestión Sostenible del Agua;\_Gidahatari,2011).

#### **5.4. Evaluación de la estabilidad**

De acuerdo a lo citado por Garzón Iral, Valencia Palacio y Muñoz Cossio (2012), las excavaciones, al igual que la construcción de terraplenes traen asociada la construcción de taludes en los cuales es necesario garantizar las condiciones adecuadas de seguridad para la obra, para garantizar dicha seguridad se analiza la estabilidad del talud. De igual manera, comentan que es común definir la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad (FS). Para ello existen diferentes análisis o modelos matemáticos para su evaluación; teniendo en cuenta factores que afectan la estabilidad tal (Ilustración 9). No todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático. El factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, permite al ingeniero tener una herramienta muy útil para la toma de decisiones.

Ilustración 9. Factores que afectan la estabilidad del talud



Fuente: HIDALGO, Cesar Augusto. “Presentación de Estabilidad de Taludes”, 2010 citado por Garzón Iral, Valencia Palacio y Muñoz Cossio (2012)

Para conocer la estabilidad de una masa de suelo se debe determinar su coeficiente de seguridad a deslizamiento. Al presentarse un coeficiente de seguridad igual a 1, se genera el deslizamiento del talud, para lo cual debemos comparar la colaboración de esfuerzos que tienden a producir el deslizamiento lo cual se debe generar la superficie de falla (Jaime Suarez 2009).

## 5.5. Amenaza

Según la Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres (2009), amenaza es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, así como daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales; hay diferentes clases de amenaza. Entre las amenazas se tienen:

- a) Amenaza biológica es el proceso o fenómeno de origen orgánico o que se transporta

mediante vectores biológicos, incluyendo la exposición a microorganismos patógenos, toxinas y sustancias bioactivas que pueden llegar a ocasionar la muerte, enfermedades u otros impactos a la salud. Así como, daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

b) Amenaza geológica es el proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Así como, daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

c) Amenaza hidrometeorológica es el proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Así como, daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

d) Amenaza natural - un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales; Amenaza socio-natural. El fenómeno de una mayor ocurrencia de eventos relativos a ciertas amenazas geofísicas e hidrometeorológicas, tales como aludes, inundaciones, subsidencia de la tierra y sequías, que surgen de la interacción de las amenazas naturales con los suelos y los recursos ambientales explotados en exceso o degradados.

Uno de los factores que incide en el escurrimiento es el factor topográfico ( $S_p$ ), el cual es la relación de longitud de ladera y la pendiente (INEGI,2010) y otro factor que incide es el factor litológico y según Mora-Vahrson (1994) citado Álvarez Pallares (2020), consideran que es un factor de amenaza significativo para la ocurrencia del fenómeno de remoción en masa.

Metodología

Con el fin de dar cumplimiento y realizar un análisis de los objetivos anteriormente presentados se realizaron las siguientes actividades.

**5.6. Caracterización de las propiedades físicas del suelo en la zona de estudio, mediante los respectivos ensayos de laboratorio como, granulometría, límites de Attemberg y contenido de humedad.**

Partiendo de la necesidad de realizar un análisis de suelos para tener una mejor idea de lo que se pueda esperar del comportamiento de este como material de construcción además de la importancia de conocer el grupo al cual pertenece del que dependen los diversos coeficientes asociados a la escorrentía superficial, su textura, estructura, variables físicas que nos brindan claridad sobre aspectos tan importantes como una análisis de estabilidad, ubicamos perfiles para realizar el apique o excavación, con medidas de 40 cm x40x1.20 m con el debido permiso del representante de la junta comunal de dicho sector para el año 2019, ubicadas en el costado posterior de la urbanización, del cual se extrajo el material posteriormente a evaluar en el laboratorio por medio de un análisis de la curva granulométrica, que nos permite clasificarlo en el grupo hidrológico A4, con textura arcilla limosa, encontrando que el suelo presenta límites de Attemberg (plástico y líquido).

**5.6.1. Visita de campo**

Se llevó a cabo una inspección preliminar de la zona (Ilustración 10) para obtener un reconocimiento del talud y sus posibles zonas de afectación. Para ello, se realizó una visita de campo y determinaron los puntos para el muestreo de suelos.

Ilustración 10. Foto Talud en estudio barrio Valle del Espíritu Santo.



Fuente: Melgarejo (2019)

Además, en el trabajo de campo se utilizaron equipos tecnológicos como una cámara digital, el uso de un garmin GPS y cinta métrica propiedad de la Universidad de Pamplona, con el fin de observar los tipos de movimiento en masa o que estuvieran notablemente en amenaza por proceso de remoción con probabilidades de afectación a las personas, viviendas, vías o ecosistema localizados en el área de estudio y sus alrededores.

### **5.6.2. Toma de muestra de suelo apique**

Las características físicas y mecánicas del suelo se analizaron tomando muestras de suelo de la zona de estudio. Luego, se llevaron al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de Pamplona y se determinó: límite líquido, plástico, granulometría e índice de plasticidad con los cuales se caracteriza el suelo (Ilustración 11, 12)

Se ubicaron puntos para extraer material camino abajo corroborando lo expuesto por los habitantes acerca de que en el proceso de ejecución del proyecto se transportó gran cantidad de material de relleno  $m^3$ , por lo que el terreno se encuentra en gran parte cimentado en material rocoso en el que a través de los años se han desarrollado pastizales que no dan fe de existencia de

suelo natural en la parte baja de la urbanización por lo cual no se puede realizar la excavación.

Límites de Atterberg comportamiento de los suelos finos, es decir, el material que paso el tamiz N°40 al cual se le practica prueba de limite líquido y limite plástico. Conocer si el suelo es plástico, es decir, si el suelo puede deformarse sin agrietarse, y saber si al remodelar un suelo cambiando su contenido de agua este adopta una consistencia característica, definiéndolo experimentalmente como arcillas, dato importante para definir la textura del suelo y con base en esto corroborar hipótesis acerca de la estabilidad del suelo como a su vez trasladarnos a hacer un análisis de infiltración de agua en el suelo. A razón que las arcillas su drenaje es lento porque actúan como esponjas absorbiendo hasta saturarse de agua. El Índice de plasticidad define el campo plástico de un suelo y representa el porcentaje de humedad que deben tener las arcillas para conservarse en estado plástico. Este valor permite determinar los parámetros de asentamiento de un suelo y su expansividad potencial. Un Índice de plasticidad bajo, como por ejemplo del 5%, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, como por ejemplo del 20%, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua.

Se reconoce la infiltración como el movimiento del agua a través de la superficie del suelo y hacia dentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. Además la infiltración de los suelos es afectada por la textura, la cobertura vegetal; donde predominan pastos, los cuales presentan un papel determinante en las mediciones de campo. Se tuvo en consideración la infiltración por cuanto juega un papel de primer orden en la relación lluvia- escurrimiento y por tanto en los problemas de diseño y operación de obras hidráulicas de

manejo (Aparicio, 1992, p.177), (Aparicio, 1993) este caso canales de conducción o evacuación.

Se procede a la toma de las muestras, empacadas, protegidas y marcadas. tales como:

- Una muestra de 20kg aproximadamente envuelta en plástico y empacada en una lona para ensayos de clasificación.
- Una muestra de proporciones medianas empacada en papel vinipel para ensayos de consolidación.
- Una muestra tomada de uno de los lados del apique para ensayos de contenido de humedad.
- Una muestra de proporciones medianas empacada en papel vinipel para ensayos de límites de Attemberg.

Ilustración 11. Excavación apique-  
Hallazgo nivel freático



Fuente: Melgarejo (2019)

Ilustración 12. Reconocimiento estratos de suelo-Toma de muestra de suelo



Fuente: Melgarejo (2019)

### **5.7. Establecimiento de la cobertura vegetal, meteorología y escorrentía superficial y la forma en que contribuye al escurrimiento del agua en el terreno.**

El efecto de la vegetación juega un papel muy importante en la estabilidad de los taludes. La experiencia está demostrando el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, desmoronamiento, reptación, flujo de detritos, etc. (Artículo publicado en la revista obras urbanas número 54).

En este sentido, y con la idea de analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se necesitan investigar las características específicas de la vegetación, en el ambiente natural que se esté estudiando. Dentro los parámetros clave que se sugieren analizar están los siguientes: volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces. Además, los tipos de vegetación, tanto a pie como cabecera en el talud es un parámetro muy importante para su estabilidad (Artículo publicado en la revista obras urbanas número 54).

Una vegetación más frondosa mitiga más eficientemente los efectos de la lluvia, disminuyendo en consecuencia la erosión. Podemos comprobar como la escorrentía del agua y sus efectos erosivos son inversamente proporcionales a la densidad y volumen del follaje (ejemplo: las hierbas y pastos actúan como colchón protector). De esto podemos concluir, que la mejor protección contra la erosión y los deslizamientos, se obtiene estableciendo conjuntamente todos los sistemas de vegetación, incluyendo desde los más simples musgos a las demás variedades (arbustos, matorrales, arboles, etc.) (Artículo publicado en la revista obras urbanas número 54).

Los datos de precipitación de la estación ISER Pamplona fueron obtenidos del geo portal del IDEAM con una serie 1975 -2015. Luego, se obtuvieron los datos faltantes y se calculó del coeficiente pluviométrico, se realizó el análisis de consistencia, se hizo el cálculo de probabilidades de ocurrencia por medio del método de Weibull, también se realizaron los test de bondad de ajuste  $Ji^2$  y Kolmogorov – Smirnov y por último, se calculó la escorrentía del lugar.

#### **5.8. Análisis de los rasgos geológicos y la hidrológicos para determinar la influencia que pueden llegar a tener en la estabilidad rotacional en la zona de estudio.**

Con respecto a los rasgos geológicos, se contó con el Geólogo Jesús Ramón Delgado Rodríguez y además se obtuvo el mapa geológico en el software libre Qgis. Para ello, se descargó la plancha No. 110.

Los rasgos hidrológicos, se obtuvo del caudal máximo de escurrimiento mediante el método racional citado en la Resolución 0303 del 2017, teniendo en cuenta el tiempo de concentración, el cual se calculó con el método de Kirpich y para la intensidad máxima de precipitación, se obtuvieron las curvas IDF de la Estación ISER Pamplona del geo portal del IDEAM a diferentes duraciones y periodo de retorno: Así mismo, se determinó el coeficiente de escorrentía de la zona, y por último, se hicieron mediciones de áreas, delimitando y georreferenciando el barrio con el uso del GPS y SIG (sistema de información geográfica).

#### **5.9. Características de la zona dado la influencia de las personas que viven sobre y las inmediaciones del barrio.**

Se realizaron visitas a la zona de estudio para determinar las actividades que las personas desempeñan en la zona, por medio de una matriz de identificación de impactos.

## 6. Resultados

### **6.1. Caracterización de las propiedades físicas del suelo en la zona de estudio, mediante los respectivos ensayos de laboratorio como, granulometría, límites de Attemberg y contenido de humedad para el apique.**

La clasificación de suelos realizada por el método de AASTHO-SUCS indica que el suelo en estudio pertenece al grupo A-5, el cual se caracteriza por tener un límite líquido mayor al 40% y un índice de plasticidad menor a 10, con una textura arcillo limosa. Partiendo de estas características propias del suelo A-5, y de acuerdo a la Resolución 0865 del 2004 se obtuvo que el suelo presenta una condición hidrológica del grupo C, es decir, son suelos que permitan que el agua fluya a través del suelo de manera un tanto restringida ya que tienen un potencial de escurrimiento moderadamente alto.

Estos suelos generalmente tienen un contenido del 20% al 40% de arcilla y más del 50% de arena. Estos incluyen las texturas franco arcillosas, franco limosas y limo arenoso arcillosas. Además, las texturas franco arcillosas, franco limosas y limo arenoso arcillosas se ubican en este grupo si tienen más del 35% de fragmentos de roca.

En el proceso de observación realizado en la zona de estudio inicialmente se tuvo la hipótesis de encontrar la presencia de un suelo arcilloso a 1.20 m de profundidad. Conocer la textura del suelo es importante en el momento de determinar la infiltración de agua que hay en la zona, a razón de ser suelo con alto contenido arcilloso presenta una permeabilidad baja que en épocas de lluvia ocasiona unos encharcamientos en la zona, resultado de la saturación en los estratos que se traduce a un sin número de molestias en los habitantes que soporta diario esta realidad. Además, a partir del grupo hidrológico determinamos los coeficientes de escurrimiento y responden a las

características de dicho suelo por lo cual se hace imprescindible conocer el grupo hidrológico si se quiere hacer un análisis de escurrimiento. (Capítulo 2 Hidrología arquitectura del suelo y movimiento del agua).

### **Ensayo de humedad.**

- Tomamos una muestra de suelo, que fue recolectada en el apique fue envuelta en papel transparente para mantener su humedad.
- Dividimos la muestra en 3 vasos de aluminio que fueron pesados previamente sin muestra, y ahora serán pesados con la muestra.
- Llevamos los 3 vasos al horno, temperatura de 110 °C durante 24h.
- Cumplidas las 24h procedemos a sacar la muestra seca del horno y esta será pesada nuevamente más el vaso.
- Finalmente comparamos los pesos húmedos y secos utilizando las formulas correspondientes para hallar el contenido de humedad.

|                  | <b>Peso del vaso<br/>(gr) Wv</b> | <b>Peso húmedo<br/>+ vaso (gr)<br/>Wh1</b> | <b>Peso seco +<br/>vaso (gr)<br/>Ws1</b> | <b>Peso seco<br/>sin vaso<br/>(gr) Ws</b> |
|------------------|----------------------------------|--|--|---|
| <b>Muestra 1</b> | 9.<br>24                         | 52.0<br>2                                  | 43.1<br>7                                | 33.<br>93                                 |
| <b>Muestra 2</b> | 8.<br>04                         | 39.1<br>6                                  | 31.7<br>3                                | 23.<br>69                                 |
| <b>Muestra 3</b> | 8.<br>39                         | 46.2<br>4                                  | 37.2<br>8                                | 28.<br>89                                 |

## Cálculos y resultados

| formula   | Muestra 1                              | Muestra 2                              | Muestra 3                              |
|---|--|--|--|
| $W_h = W_{h1} - W_v$                              | $52.02 - 9.24 =$<br>42.78              | $39.16 - 8.04 =$<br>31.12              | $46.24 - 8.39 =$<br>37.85              |
| $W_w = W_h - W_s$                                 | $42.78 - 33.93 =$<br>8.85              | $31.12 - 23.69 =$<br>7.43              | $37.85 - 28.89 =$<br>8.96              |
| $W = W_w / W_s * 100$                             | $8.85 / 33.93 * 100 =$<br><b>30.63</b> | $7.43 / 23.69 * 100 =$<br><b>31.36</b> | $8.96 / 28.89 * 100 =$<br><b>31.01</b> |
| $\sum W / n = (30.63 + 31.36 + 31.01) / 3 = 31\%$ |  |  |  |

Ws1: peso seco + vaso

Wy: Peso del vaso

Wh1: Peso húmedo + vaso

Ws: peso seco

Wh: peso húmedo

Ww: peso del agua

W: contenido de humedad (%)

n: número de muestras

### Ensayo de granulometría por lavado T200

Para el lavado es necesario tomar pequeñas cantidades de los 700 gr previamente pesados y agregar al tamiz No 200. Con el fin de no dañarlo. El lavado finaliza cuando al dejarse pasar agua sobre la muestra, esta sale totalmente transparente.

Tomar cada muestra lavada y agregarla a un recipiente identificado y habiendo determinado su peso previamente.

Después de finalizado el lavado del total de la muestra (8700gr) se dispone dentro del horno durante 24 horas a 110 °C para su secado.

Tabla de datos y resultados

|   |       |    |
|---|-------|----|
| <b>Peso del recipiente</b>                  | 10    | gr |
| <b>Peso de la muestra seca + recipiente</b> | 710   | gr |
| <b>Peso de la muestra seca Ws</b>           | 700   | gr |
| <b>Peso muestra seca después del lavado</b> | 180.8 | gr |
| <b>Material pasante por T200</b>            | 519.2 | gr |

Tabla: Datos de lavado tamiz N200.

| TAMIZ | W RETENIDO | % RETENIDO | RETENIDO ACOMULADO | % PASA |
|-------|------------|------------|--------------------|--------|
| N200  | 180.8 gr   | 25.82      | 25.82              | 74.18  |

Tabla x. Datos granulométricos.

Al pasar más del 50% de la muestra por el tamiz N200 en el lavado definimos el suelo como suelo fino. Con este dato se da por descartado el tamizado mecánico.

Clasificación del suelo por método USC y AASHTO

Materiales

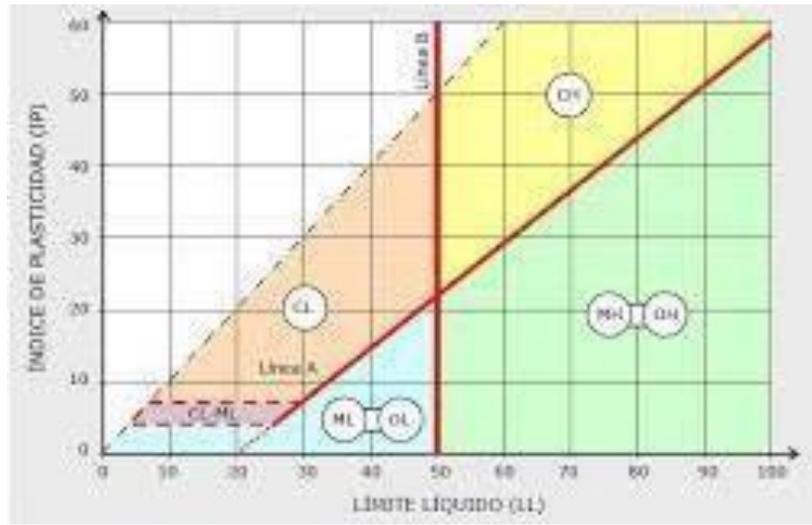
- Tabla de clasificación USC

| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN USCS  |         |   |   | SISTEMA DE CLASIFICACIÓN USCS   |         |                             |                 |   |       |      |  |                        |
|--|---------|---|---|---|---------|-----------------------------|-----------------|---|-------|------|--|------------------------|
| FINOS ( ≥ 50% pasa 0,08 mm)  |         |   |   | GRUESOS ( < 50% pasa 0,08 mm)   |         |                             |                 |   |       |      |  |                        |
| Tipo de Suelo  | Simbolo | Lim. Liq. wt.   | Indice de Plasticidad IP                      | Tipo de Suelo   | Simbolo | % Ret. en 5 mm              | % Pasa* 0,08 mm | CU  | CC    | **IP |  |                        |
| Limos Inorgánicos  | ML      | < 50  | < 0,73 (wL - 20) ó < 4                        | Gravas  | GW      | ≥ 50% de la Ret. en 0,08 mm | < 5             | > 4   | 1 a 3 |      |  |                        |
|  | MH      | > 50  | < 0,73 (wL - 20)                              |   |         |                             |                 |   |       |      |  |                        |
| Arcillas Inorgánicas   | CL      | < 50  | > 0,73 (wL - 20) y > 7                        |   | GM      |                             |                 |   |       |      |  | < 0,73 (wL - 20) ó < 4 |
|  | CH      | > 50  | > 0,73 (wL - 20)                              |   | GC      |                             |                 |   |       |      |  | > 0,73 (wL - 20) y > 7 |
| Limos o Arcillas orgánicos   | OL      | < 50  | ** wL seco al horno ≤ 75% del wL seco al aire | Arenas  | SW      | < 50% de la Ret. en 0,08 mm | < 5             | > 6   | 1 a 3 |      |  |                        |
|  | OH      | > 50  |   |   |         |                             |                 |   |       |      |  |                        |
| Alfamente Orgánicos  | Pt      | Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente |   |   | SM      |                             |                 |   |       |      |  | < 0,73 (wL - 20) ó < 4 |
|  |         |   |   |   | SC      |                             |                 |   |       |      |  | > 0,73 (wL - 20) y > 7 |
| * Si IP ≅ 0,73 (wL - 20) ó si IP entre 4 y 7 e IP > 0,73 (wL - 20), usar simbolo doble: CL-ML, CH-OH |         |   |   | * Entre 5 y 12% usar simbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC                                    |         |                             |                 |   |       |      |  |                        |
| ** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente wL seco al horno                          |         |   |   | ** Si IP ≅ 0,73 (wL - 20) ó si IP entre 4 y 7 e IP > 0,73 (wL - 20), usar simbolo doble: GM-GC, SM-SC |         |                             |                 |   |       |      |  |                        |
| En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej. CH-MH en vez de CL - ML                    |         |   |   | En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej.:GW-GM en vez de GW-GC                     |         |                             |                 |   |       |      |  |                        |
| Si wL = 50. CL-CH ó ML-MH  |         |   |   | $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$   |         |                             |                 | $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ |       |      |  |                        |

• Tabla de clasificación de suelos AASHTO

|  <b>SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO</b> |   |      |            |                                      |  |                               |                                   |      |                   |                    |      |
|--|---|------|------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------------|------|-------------------|--------------------|------|
| Clasif. General  | Suelos Granulares ( ≤ 35% pasa 0,08 mm) |      |            |                                      |  |                               | Suelos Finos (> 35% Bajo 0,08 mm) |      |                   |                    |      |
| Grupo  | A-1                                     |      | A-3        | A-2                                  |  |                               | A-4                               | A-5  | A-6               | A-7                |      |
| Sub-Grupo  | A-1a                                    | A-1b |            | A-2-4                                | A-2-5  | A-2-6*                        | A-2-7*                            |      |                   | A-7-5**<br>A-7-6** |      |
| 2 mm   | ≤ 50                                    |      |            |                                      |  |                               |                                   |      |                   |                    |      |
| 0,5 mm   | ≤ 30                                    | ≤ 50 | ≥ 51       |                                      |  |                               |                                   |      |                   |                    |      |
| 0,08 mm  | ≤ 15                                    | ≤ 25 | ≤ 10       | ≤ 35                                 |  |                               | ≥ 36                              |      |                   |                    |      |
| WL   |   |      |            | ≤ 40                                 | ≥ 41   | ≤ 40                          | ≥ 41                              | ≤ 40 | ≥ 41              | ≤ 40               | ≥ 41 |
| IP   | ≤ 6                                     |      | NP         | ≤ 10                                 | ≤ 10   | ≥ 11                          | ≥ 11                              | ≤ 10 | ≤ 10              | ≥ 11               | ≥ 11 |
| Descripción  | Gravas y Arenas                         |      | Arena Fina | Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas |  |                               | Suelos Limosos                    |      | Suelos Arcillosos |                    |      |
| ** A - 7 - 5 : IP ≤ (WL - 30)  |   |      |            |                                      |  | ** A - 7 - 6 : IP > (WL - 30) |                                   |      |                   |                    |      |
| $IG = ( B / 0,08 - 35 )(0,2 + 0,005 (WL - 40)) + ( B / 0,08 - 15 )( IP - 10) \times 0,01$                                |   |      |            |                                      |  |                               |                                   |      |                   |                    |      |
| * Para A - 2-6 y A - 2-7 :   |   |      |            |                                      | IG = ( B / 0,08 - 15 )( IP - 10) \times 0,01 |                               |                                   |      |                   |                    |      |
| Si el suelo es NP →  |   |      |            |                                      | IG = 0 ; Si IG < 0 → IG = 0                  |                               |                                   |      |                   |                    |      |

• Carta de plasticidad de CASAGRANDE



**Cálculos y resultados**

**Clasificación USC**

1. PT200 = 74.18% > 50% Suelo fino
2. WL = 44.72 < 50
3. IP = 19.7 > 0.73(44.72-20) = 18.04 **CL = ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD**

## Clasificación AASTHO

1.  $PT = 74.1 > 35\%$  **Suelo fino**
2.  $WL = 44.72 < 41$
3.  $IP = 19.7 > 11$  **PUEDE SER A - 7 - 5 O A - 7 - 6**
4.  $IP = 19.7 > (44.72 - 30) = 14.72$  **A - 7 - 6**
5.  $IG = ((74.18\% - 35) (0.2 + 0.005) (44.72 - 40)) + 0.01(74.18\% - 15) (19.7 - 10) = -33.14$

**COMO EL RESULTADO DEL IG ES NEGATIVO, LO TOMAMOS COMO 0 A-7-**

**6(0) SUELO ARCILLOSO**

## ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

**Cazuela de Casagrande con muestra**



Fuente: Melgarejo.

### Toma de datos y cálculos

| Numero de Golpes                    | 40-30       |             |             | 30-20       |             |             | 20-10       |             |             |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Lata N                              | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           |
| <b>Peso del suelo húmedo + lata</b> | 17.8        | 19.4        | 14.2        | 13.6        | 16.2        | 17.4        | 19.6        | 18          | 22          |
| <b>peso del suelo seco + lata</b>   | 15          | 16.4        | 12.6        | 12          | 14          | 15          | 15.8        | 14.8        | 17.8        |
| <b>peso lata</b>                    | 8.23        | 9.76        | 8.52        | 8.40        | 8.62        | 9.69        | 8.11        | 8.43        | 9.68        |
| <b>peso del suelo húmedo</b>        | 9.57        | 9.64        | 5.68        | 5.2         | 7.58        | 7.71        | 11.49       | 9.57        | 12.32       |
| <b>peso del suelo seco</b>          | 6.77        | 6.64        | 4.08        | 3.6         | 5.38        | 5.31        | 7.69        | 6.37        | 8.12        |
| <b>peso del agua</b>                | 2.8         | 3           | 1.6         | 1.6         | 2.2         | 2.4         | 3.8         | 3.2         | 4.2         |
| <b>contenido de humedad en %</b>    | <b>41.3</b> | <b>45.2</b> | <b>39.2</b> | <b>44.4</b> | <b>40.9</b> | <b>45.2</b> | <b>49.4</b> | <b>50.2</b> | <b>51.7</b> |
| <b>numero de golpes N</b>           | <b>40</b>   | <b>39</b>   | <b>39</b>   | <b>26</b>   | <b>30</b>   | <b>23</b>   | <b>17</b>   | <b>13</b>   | <b>12</b>   |

#### Toma de datos limite liquido

#### Determinación del contenido de humedad para las muestras

W1 = Peso del suelo seco y recipiente.

W2 = Peso del suelo húmedo y recipiente.

Wh = Peso del suelo húmedo

Ws = Peso del suelo seco

Wr = Peso del recipiente

W (%) = Porcentaje de humedad

| <b>Formula</b>            | <b>Toma N°1 (17 golpes)</b>     | <b>Toma N°2 (13 golpes)</b>      | <b>Toma N°3 (12 golpes)</b>          |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| $W_h=W_2-W_r$             | $W_h=19.6-8.1=11.5$<br>gr       | $W_h=18-8.43=9.57$ gr            | $W_h=22-9.68=12.32$ gr               |
| $W_s=W_1-W_r$             | $W_s=15.8-8.1= 7.7$ gr          | $W_s=14.8-8.43$<br>$=6.37$ gr    | $W_s=17.8-9.68= 8.12$ gr             |
| $W_w=W_h-W_s$             | $W_w=11.5-7.7=3.8$ gr           | $W_w=9.57-6.37=3.2$<br>gr        | $W_w=12.32-8.12=4.2$<br>gr           |
| $W=(W_w/W_s)$<br>$*100\%$ | $W=(3.8/7.7) *100\%=$<br>49.4 % | $W=(3.2/6.37) *100\%=$<br>50.2 % | $W=(4.2/8.12)$<br>$*100\%=$<br>51.7% |

**Tabla de 10 a 20 golpes**

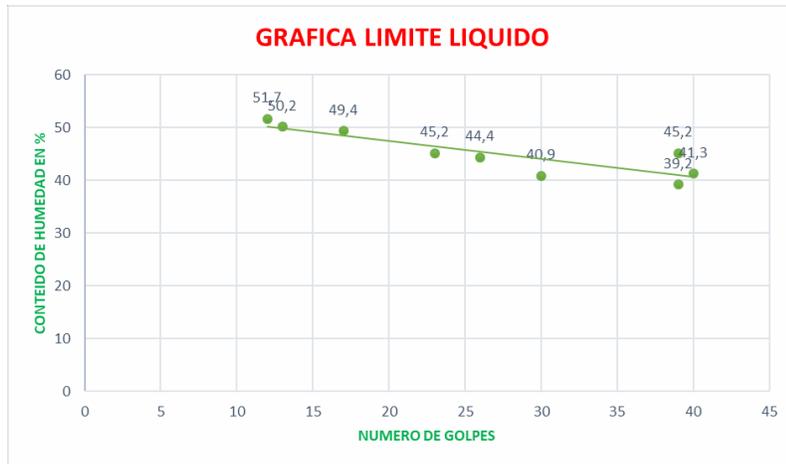
| <b>Formula</b>            | <b>Toma N°4 (23 golpes)</b>      | <b>Toma N°5 (26 golpes)</b>     | <b>Toma N°6 (30 golpes)</b>     |
|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| $W_h=W_2-W_r$             | $W_h=17.4-9.69=7.71$ gr          | $W_h=13.6-8.4 =5.2$ gr          | $W_h=16.2-8.62=7.58$<br>gr      |
| $W_s=W_1-W_r$             | $W_s=15-9.69= 5.31$ gr           | $W_s=12-8.4 =3.6$ gr            | $W_s=14-8.62= 5.38$ gr          |
| $W_w=W_h-W_s$             | $W_w=7.71-5.31=2.4$ gr           | $W_w=5.2-3.6=1.6$ gr            | $W_w=7.58-5.38=2.2$ gr          |
| $W=(W_w/W_s)$<br>$*100\%$ | $W=(2.4/5.31) *100\%=$<br>45.2 % | $W=(1.6/3.6) *100\%=$<br>44.4 % | $W=(2.2/5.38) *100\%=$<br>40.9% |

**Tabla de 20 a 30 golpes**

| <b>Formula</b>            | <b>Toma N°7 (40 golpes)</b>      | <b>Toma N°8 (39 golpes)</b>    | <b>Toma N°9 (39 golpes)</b>          |
|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| $W_h=W_2-W_r$             | $W_h=17.8-8.23=9.57$ gr          | $W_h=19.4-9.76=9.64$<br>gr     | $W_h=14.2-8.52=5.68$ gr              |
| $W_s=W_1-W_r$             | $W_s=15-8.23= 6.77$ gr           | $W_s=16.4-$<br>$9.76=6.64$ gr  | $W_s=12.6-8.52= 4.08$ gr             |
| $W_w=W_h-W_s$             | $W_w=9.57-6.77=2.8$ gr           | $W_w=9.64-6.64=3$ gr           | $W_w=5.68-4.08=1.6$ gr               |
| $W=(W_w/W_s)$<br>$*100\%$ | $W=(2.8/6.77) *100\%=$<br>41.3 % | $W=(3/6.64) *100\%=$<br>45.2 % | $W=(1.6/4.08)$<br>$*100\%=$<br>39.2% |

**Tabla de 30 a 40 golpes**

**Puntos descartados en la gráfica, para la obtención del límite líquido**



**Grafica determinación limite liquido**

### Determinación de limite plástico

| Muestra               | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| W lata + suelo húmedo | 10        | 10.2      | 9         |
| W lata                | 9         | 9         | 8         |
| W lata + suelo seco   | 9.8       | 10        | 8.8       |
| Wh suelo húmedo       | 1         | 1.2       | 1         |
| Ws suelo seco         | 0.8       | 1         | 0.8       |
| Ww peso del agua      | 0.2       | 0.2       | 0.2       |
| %W humedad            | 25        | 20        | 25        |

### Toma de datos y resultados limite plástico

$$W_P = \frac{25 + 25}{2}$$

$$W_{P=25}$$

### Índice de plasticidad ecuación y resultado

$$I_P = WL - WP$$

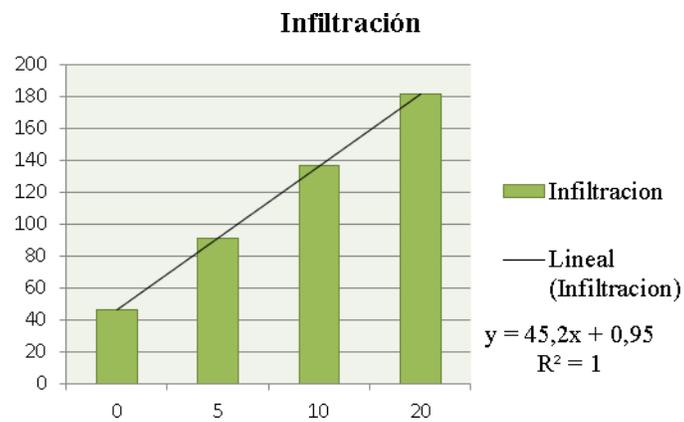
$$I_P = 44.7 - 25$$

$$I_P = 19.7$$

Tabla 7. Prueba de infiltración en la zona de estudio

| Parte de la zona | Tiempo (min) | Infiltración acumulada (cm) |
|------------------|--------------|-----------------------------|
| <b>Alta</b>      | 0            | 46                          |
|                  | 5            | 45,5                        |
|                  | 10           | 45,2                        |
|                  | 20           | 44,9                        |
| <b>Baja</b>      | 0            | 46                          |
|                  | 5            | 45,8                        |
|                  | 10           | 45,7                        |
|                  | 20           | 45,5                        |

Ilustración 16. Infiltración en la zona de estudio



Fuente: Melgarejo Niño (2019)

**6.2. Establecimiento de la cobertura vegetal, meteorología y escorrentía superficial y la forma en que contribuye al escurrimiento del agua en el terreno.**

En la ilustración 17 se muestra la vegetación que cubre la zona es en gran parte pasto de baja altura y para la caracterización de las especies que se recolectaron como muestras son de la familia de las Asteraceae que son arbustos que llegan a tener una altura de alrededor de 80 cm y que se presentan en zonas frías.

Ilustración 17. Cobertura vegetal encontrada en la zona de estudio



Melgarejo (2019)

Así mismo, en la tabla 8 se muestra la cobertura vegetal encontrada en la zona de estudio de la cual se establece que está conformada por pastos, chilca, acacia verde-acacia negra las cuales son características de zonas frías.

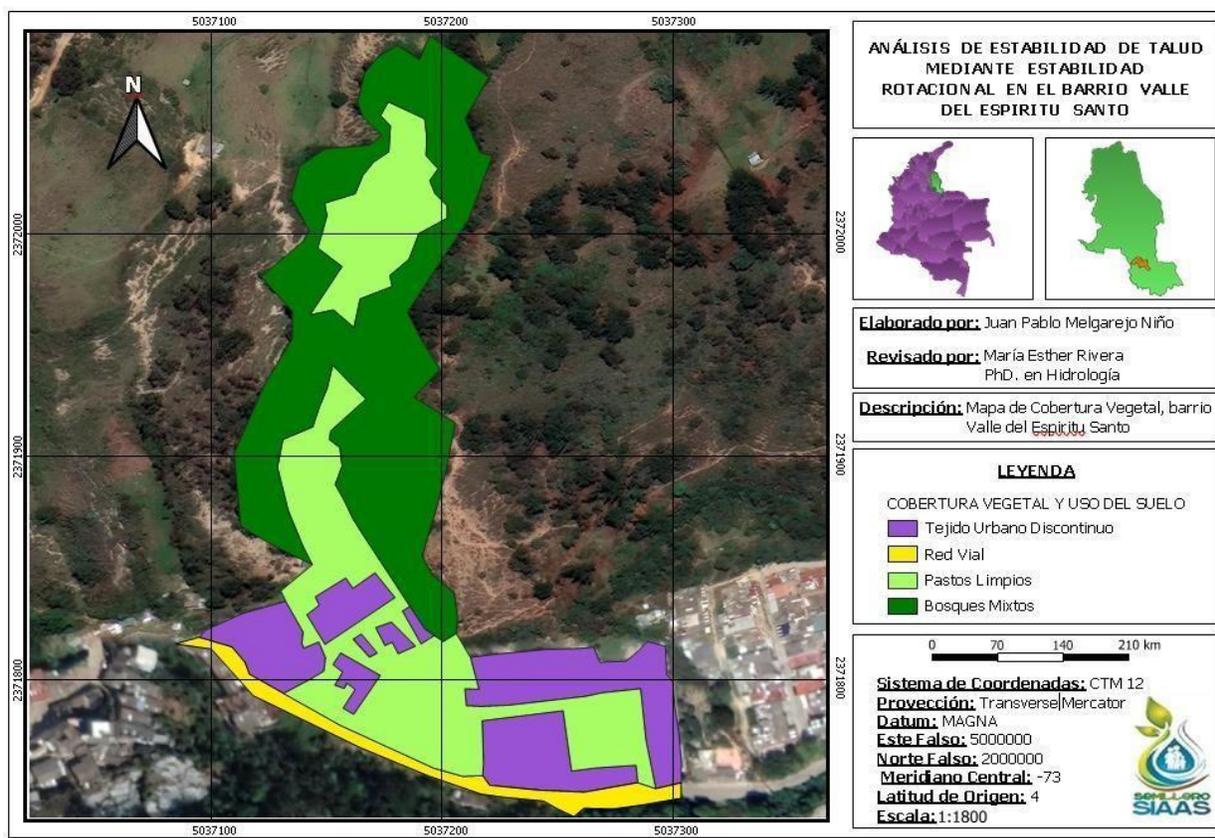
Tabla 8. Cobertura vegetal encontrada en la zona de estudio

| Nombre común      | Nombre científico          | Genero        | Familia      | Observaciones   |
|-------------------|----------------------------|---------------|--------------|---|
| Muehlenbeckia     | Muehlenbeckia tamnifolia   | Muehlenbeckia | Polygonaceae | Es un género de más de 20 especies restringido al hemisferio sur, en climas suaves y húmedos, las especies exuberantes pueden volverse malas hierbas difíciles de erradicar. Nativa de Australia.<br> |
| Solanum pubescens | Solanum stellato pubescens | Solanum       | Solanaceae   | Es un arbusto silvestre que se encuentra en las zonas montañosas del pie del sur de la India.<br>  |
| chilca            | Baccharis latifolia        | Baccharis     | Asteraceae   | Es una especie del género Baccharis abundante en Sudamérica, de rápido crecimiento que puede alcanzar 2 m de altura y hasta 3 de ancho, de aspecto glabro con ramas verticiliadas. Las hojas, de 10 a 20 cm de largo, son elípticas u oblongo lanceoladas, enteras,                       |

|                               |                               |             |            |  |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------|------------|--|
|                               |                               |             |            | <p>acuminadas, coriáceas y brillantes, peciolo de unos 4 mm de largo.</p>   |
| La marcela                    | <i>Achyrocline vargasiana</i> | Achyrocline | Asteraceae | <p>Es un arbusto perenne que alcanza alrededor de un metro de altura y en el hemisferio sur suelen florecer en marzo. Las floresson de color rojizo, de alrededor de dos cm de diámetro, floreciendo en pequeños racimos.</p>    |
| Acacia verde,<br>Acacia negra | <i>Acacia decurrens</i>       | Acacia      | Fabaceae   | <p>Es una especie botánica de árbol perenne o arbusto nativo de las Grandes Montañas Azules, que es un área protegida mundial en las Montañas azules de Nueva Gales del Sur, Australia. También se encuentra en África, América, Europa, Nueva Zelanda &amp; el Pacífico, el océano Índico, Japón.</p>  |

En la ilustración 18 se muestra el mapa de la cobertura vegetal de la zona de estudio, resaltando que se presenta tejido urbano discontinuo, pastos limpios, bosques mixtos.

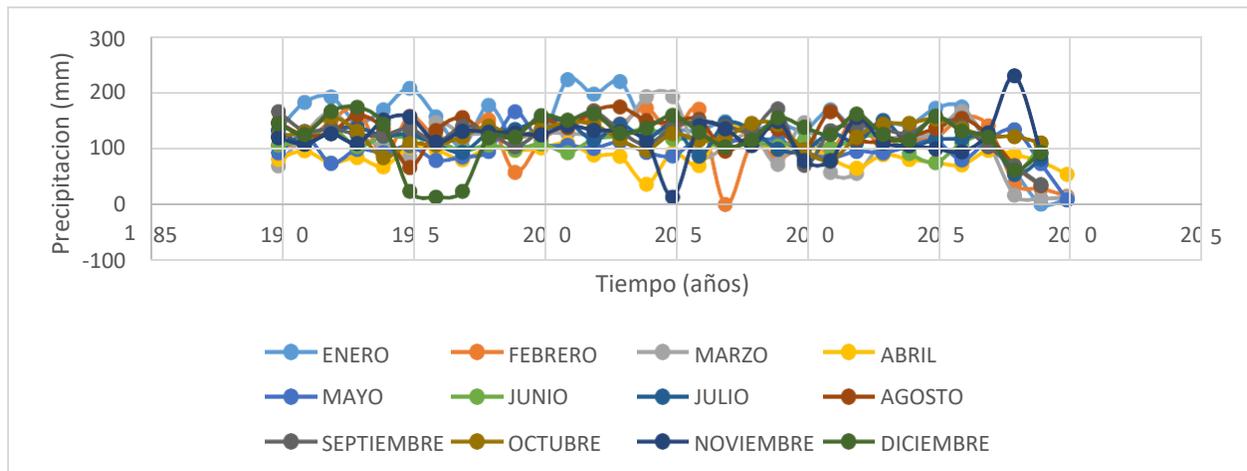
Ilustración 18. Mapa cobertura vegetal zona de estudio



Fuente Melgarejo (2020)

En la ilustración 19 se observa una tendencia en las precipitaciones, por ejemplo, en el año 1995, 1996 y 1997 y 2007 se registraron precipitaciones de 23,2; 13,6; 23,2 y 0 mm respectivamente. Mientras que, en enero del 2001 y noviembre 2018 se registraron precipitaciones 221,04 y 228,07 mm respectivamente.

Ilustración 19. Comportamiento temporal de la precipitación de la estación ISER Pamplona



Fuente: Melgarejo Niño (2020)

Las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Ji cuadrado obtenida (Tabla 9 y 10) permiten establecer que los datos tienen un comportamiento de distribución de Gauss o normal a un nivel de significancia del 0,05.

Tabla 9. Prueba de Kolmogorov- Smirnov.

|                     |         |
|---------------------|---------|
| Estadístico (ks)    | 0,0326  |
| Nivel significancia | 0,05    |
| Grado de libertad   | 40      |
| Estadístico teórico | 0,21012 |
| Hipótesis           | Acepto  |

Tabla 10. Prueba de Ji- cuadrado.

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Estadístico (x2)    | 0,944199386 |
| Nivel significancia | 0,05        |
| grado de libertad   | 4           |
| Estadístico Teórico | 9,4877      |
| Hipótesis           | Acepto      |

Con respecto a la probabilidad de excedencia y periodo de retorno que presentan las precipitaciones, se muestran en la tabla 11, de la cual se establece que el periodo de retorno esta entre 1 y 42 años, para una probabilidad de excedencia de Weibull de 0,976 (97,6%) y 0,0238 (2,38 %) respectivamente.

Tabla 11. Probabilidad de excedencia e las precipitaciones de la estación ISER Pamplona.

| Orden de la Serie<br>(m) | Precipitación<br>(mm) | Probabilidad<br>Weibull | Tiempo de<br>retorno (Tr) |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1                        | 28,6166               | 0,02380952              | 42                        |
| 2                        | 25,8833               | 0,04761905              | 21                        |
| 3                        | 25,8666               | 0,07142857              | 14                        |
| 4                        | 25,7583               | 0,0952381               | 10,5                      |
| 5                        | 25,0833               | 0,11904762              | 8,4                       |
| 6                        | 25,0416               | 0,14285714              | 7                         |
| 7                        | 24,1916               | 0,16666667              | 6                         |
| 8                        | 23,6566               | 0,19047619              | 5,25                      |
| 9                        | 23,175                | 0,21428571              | 4,66666667                |
| 10                       | 23,1                  | 0,23809524              | 4,2                       |
| 11                       | 23,0333               | 0,26190476              | 3,81818182                |
| 12                       | 22,75                 | 0,28571429              | 3,5                       |
| 13                       | 22,7083               | 0,30952381              | 3,23076923                |
| 14                       | 22,6166               | 0,33333333              | 3                         |
| 15                       | 22,50833              | 0,35714286              | 2,8                       |
| 16                       | 22,3333               | 0,38095238              | 2,625                     |
| 17                       | 21,45                 | 0,4047619               | 2,47058824                |
| 18                       | 20,9666               | 0,42857143              | 2,33333333                |
| 19                       | 20,7916               | 0,45238095              | 2,21052632                |
| 20                       | 20,775                | 0,47619048              | 2,1                       |

---

|    |         |            |            |
|----|---------|------------|------------|
| 21 | 20,5583 | 0,5        | 2          |
| 22 | 20,3666 | 0,52380952 | 1,90909091 |
| 23 | 20,1    | 0,54761905 | 1,82608696 |
| 24 | 19,25   | 0,57142857 | 1,75       |
| 25 | 19,1833 | 0,5952381  | 1,68       |
| 26 | 18,4166 | 0,61904762 | 1,61538462 |
| 27 | 18,05   | 0,64285714 | 1,55555556 |
| 28 | 17,9733 | 0,66666667 | 1,5        |
| 29 | 17,9333 | 0,69047619 | 1,44827586 |
| 30 | 17,8833 | 0,71428571 | 1,4        |
| 31 | 17,5841 | 0,73809524 | 1,35483871 |
| 32 | 17,45   | 0,76190476 | 1,3125     |
| 33 | 17,1666 | 0,78571429 | 1,27272727 |
| 34 | 16,875  | 0,80952381 | 1,23529412 |
| 35 | 16,575  | 0,83333333 | 1,2        |
| 36 | 16,5166 | 0,85714286 | 1,16666667 |
| 37 | 16,4833 | 0,88095238 | 1,13513514 |
| 38 | 15,975  | 0,9047619  | 1,10526316 |
| 39 | 15,6216 | 0,92857143 | 1,07692308 |
| 40 | 12,0916 | 0,95238095 | 1,05       |
| 41 | 11,0916 | 0,97619048 | 1,02439024 |

---

Fuente: Melgarejo (2020)

La tabla de precipitaciones obtenidas a partir del método de estimación de faltantes nos relaciona con un modelo bastante homogéneo carente de saltos grandes o inconsistencia en los datos, la tasa promedio de precipitación mensual varía entre 11,0916mm y 28,6166mm con un promedio de 20,32mm, lo cual indica un ajuste razonable. Contando con los datos promedios anuales de una sola estación se procede a analizarlos considerando una variación en el año de 1990 el cual se toma como punto de referencia para dividir la serie anual en Periodo 1, comprendido entre los años de 1973 a 1990 y Periodo 2, comprendido entre los años de 1991 a 2013. La varianza de precipitación del periodo 1 corresponde a un valor de 10,49 y la varianza del periodo 2 a un valor de 18,049, explicada por el modelo estadístico de Fisher, para el cual la relación que existe entre la varianza mayor y la menor corresponde al Fisher calculado, para la función de grado de libertad se procede a restar uno (1) al número de datos del periodo 1 y periodo 2 respectivamente, obteniendo de ellos un Grado de libertad 1 de 17 y un Grado de libertad 2 de 22, con los cuales se elige de Fisher teórico basados en una probabilidad del 95% y un margen de error del 5%, el cual permite ver un Fisher teórico de 2,115 mayor al Fisher calculado obtenido anteriormente. Por lo que nuestra prueba indica que los datos no se deben corregir, así mismo se hace un análisis gráfico que con el objetivo de corroborar visualmente la consistencia de los datos, realizado a partir de las precipitaciones acumuladas vs tiempo en años.

El análisis gráfico indicado en la sección de resultados evidentemente coincide con la prueba de consistencia realizada por Fisher donde se indica que no es necesario corregir los datos por consiguiente la estación Instituto Superior de Educación Rural tiene un registro de datos confiables y congruentes los cuales pueden ser utilizados en posteriores estudios que involucren las precipitaciones registradas en el municipio de Pamplona. Proceso de estimación de faltantes debido a que como es habitual en la mayoría de estaciones contenía valores faltantes, los cuales

fueron estimados a partir de porcentaje de lluvia de meses, como se enuncia en la sección metodológica.

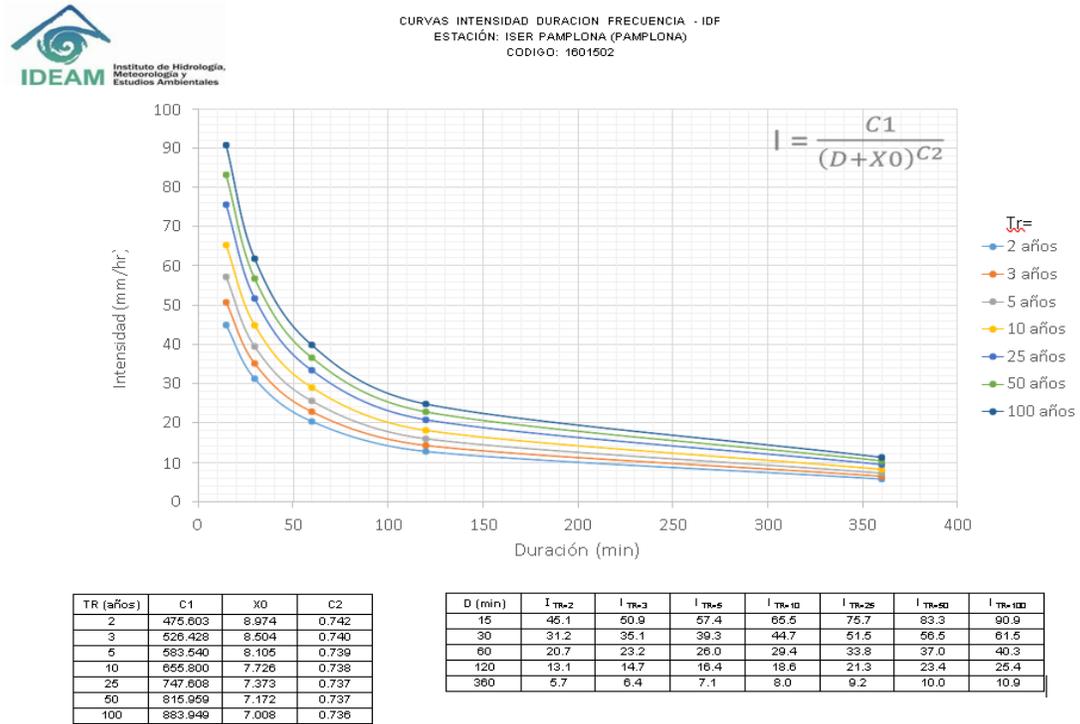
Procedimiento que arrojo las series temporales mensuales consistentes y homogéneas, es decir, verificadas, rellenadas y corregidas frente a posibles errores, de las registradas por la estación meteorológica ISER.

En la determinación del régimen de lluvia de la ciudad de Pamplona, donde se encuentra ubicada la urbanización en estudio Valle del Espíritu Santo se observó que es bimodal, es decir presenta dos épocas de lluvias y sequía.

### **6.3. Análisis de los rasgos geológicos y la hidrológicos para determinar la influencia que pueden llegar a tener en la estabilidad rotacional en la zona de estudio.**

De las curvas IDF de la estación ISER Pamplona (Ilustración 20) se infiere que a menor duración se presenta mayor intensidad en cualquier periodo de retorno, por ejemplo: para una duración de 5 minutos se presenta una intensidad de 45,1mm/h a un periodo de retorno de 2 años y para una duración de 60 minutos se presenta una intensidad máxima de 20,7 mm/h para un periodo de retorno de 2 años.

Ilustración 20. Curvas IDF Estación meteorológica Iser Pamplona



Fuente: IDEAM (2020)

El área de la zona de estudio es 2,02 Ha, un perímetro de 673 m aproximadamente y una pendiente de 0,229 m/m; y el coeficiente de escorrentía promedio es de 0,227 indicando que en la zona hay concreto, Pastos, zonas escarpadas como carreteras, (Tabla 12).

Tabla 12. Coeficientes de escorrentía.

| Grupo de suelos | Cobertura | Área (m <sup>2</sup> ) | NC |
|-----------------|-----------|------------------------|----|
| C               | Concreto  | 7585,636               | 98 |
|                 | Pastos    | 4132,414               | 86 |
|                 | Bosques   | 8152,37                | 70 |
|                 | Carretera | 856,6                  | 87 |

Fuente: Melgarejo (2020)

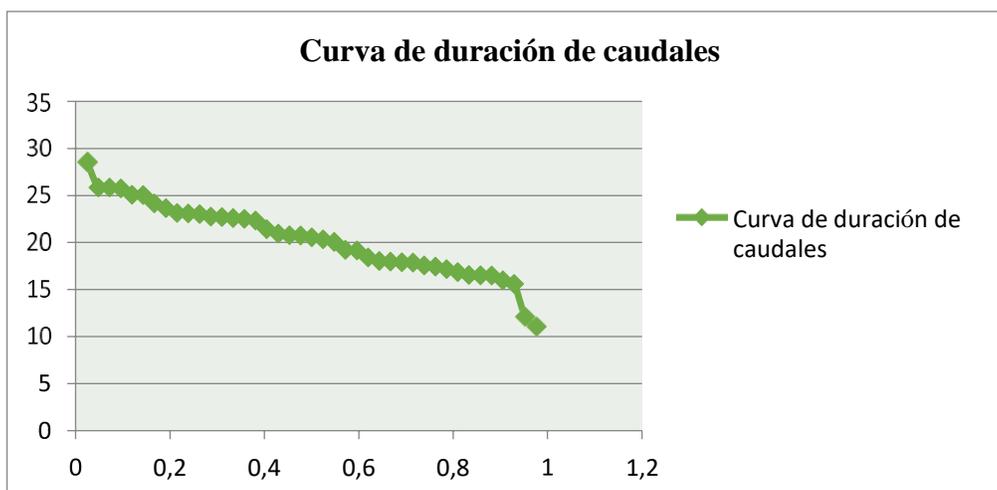
Aplicando la ecuación del método racional de Emil Kuichling (1889) se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Caudal de escorrentía de la zona de estudio

| Tiempos de retorno | Escorrentía, qp (m <sup>3</sup> /s) |
|--------------------|-------------------------------------|
| 2                  | 0.016132                            |
| 5                  | 0.018534                            |
| 10                 | 0.020592                            |
| 20                 | 0.022873                            |
| 25                 | 0.023662                            |
| 50                 | 0.026287                            |
| 75                 | 0.027951                            |
| 100                | 0.029194                            |

Fuente: Melgarejo (2020)

Ilustración 21. Curva de duración de caudales



Fuente: Melgarejo (2020)

El área de nuestro barrio comprende distintas coberturas se presenta un área de cubierta por pinos de buena cálida de 2.02 Ha, 309 m<sup>2</sup> cubierta por pastos de condiciones pobres, además un área de 748 m<sup>2</sup> de carretera y por último un área de 6388,65 m<sup>2</sup> compuesta por manzanas de viviendas. Debido a estos tipos de coberturas y al tipo de suelo que allí se presentan la escorrentía promedio calculada es de 0,2305mm y la precipitación que se transforma en escurrimiento directo es de 0,058 m<sup>3</sup>/s que, sumado a el alto porcentaje de pendiente de nuestra cuenca, mayor al 22% favorece el arrastre de sedimentos y erosiona la capa superficial del suelo.

En el tiempo de observación y recolección de datos, se realizaron visitas en las cuales en algunas en tardes lluviosas que permitió corroborar como la escorrentía genera el arrastre de sedimentos que se presentan en gran escala en esta urbanización debido a que muchas de las viviendas se vinieron abajo y en este momento lo que queda de ellos es parte de estructuras en concreto, bloques, baldosa los cuales se ubican en zonas de depósito, este fenómenos no se ha podido intervenir a razón de la demanda interpuesta por los habitantes de este barrio quienes afirman y dejar todo tal cual está para tener un respaldo físico en las visitas por parte del personal

encargado de evaluar las condiciones en que se encuentra el predio.

De acuerdo con el Instituto Colombiano De Geología Y Minería Ingeominas (2009), la zona se encuentra en el Valle del Río Pamplonita, sobre depósitos cuaternarios de tipo aluvial y coluvial que han sido desplazados y que están afectando a rocas más antiguas correspondientes al Cretácico y al terciario.

Así mismo, la zona en estudio esta cruzada por numerosas fallas y pliegues y de acuerdo con Instituto Colombiano de Geología y Minería Ingeominas (2009) la naturaleza de las primeras y la magnitud de los segundos ha permitido diferenciar dos regiones: la occidental caracterizada por fallas de rumbo y la oriental caracterizada por fallas inversas y pliegues anticlinales y sinclinales amplios. Lo anterior determina dos estilos estructurales: de fallamiento en bloques en la región occidental y de fallamiento inverso y plegamiento en la oriental. Este último estilo estructural es que se encuentra estructuralmente conformando el área de estudio con estructuras de fallamiento Norte Santander como la Falla de Chitagá y otras con dirección SE-NW. El rasgo estructural más importante para zona corresponde a la falla de Pamplona que tiene una injerencia directa en la formación de los depósitos coluviales actualmente inestables en la zona de estudio.

En el barrio se presentó una patología que puede ser atribuida al saturamiento del suelo, dada la forma en que ocurrió el desplazamiento de algunas estructuras. Así mismo, eso se puede decir que el método de construcción no fue el adecuado para las edificaciones en terreno, dado que el método de mampostería es muy susceptible a los cambios repentinos que se puedan presentar en el suelo.

En la tabla se observa los hallazgos encontrados de inestabilidad de las edificaciones que se encuentran en el barrio Valle del Espíritu Santo.

| Lugar                                | Fotografía   | Observación   |
|--------------------------------------|--|---|
|                                      |    | <p>Aspecto del sector en corte donde se efectuó la pérdida de confinamiento del depositador coluvial, propiciando su deslizamiento. Actualmente el grado de afectación de las viviendas es muy alto algunas en estado de colapso total.</p> |
|                                      |    | <p>En esta foto se detalla las grietas de tensión en la parte alta del talud. El fenómeno está activo y no solo abarca la zona de la urbanización sino una arena de al menos 200m en la parte alta del talud.</p>                           |
|                                      |  | <p>Escarpe donde se puede apreciar la composición del depósito coluvial, matriz soportado. Fragmentos de roca en una matriz arcillo arenosa saturada</p>  |
| <p>Parte baja de la urbanización</p> |  | <p>Se observa mejores condiciones de estabilidad y esto se asocia al menos espesor del depósito coluvial y los afloramientos de rocas de la formación Capacho.</p>  |

Fuente: Melgarejo (2019)

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |    | <p>La zona alta del deslizamiento presenta grietas en toda la superficie del talud y afloramientos de agua.</p>                                 |
|  |    | <p>Detalle de flujos de agua sin control en la parte alta del talud.</p>  |
|  |   | <p>Detalle de la destrucción de las viviendas en la parte alta de la urbanización, Los movimientos continúan.</p>                               |
|  |  | <p>Grietas de tensión en la zona de las viviendas. Estas fisuras no se han rellenado lo que permite la fácil infiltración de aguas lluvias.</p> |

Fuente: Melgarejo (2019)

|              |  |  |
|--------------|--|--|
|              |    | <p>Los flujos de agua en el talud de corte en la parte alta de la urbanización son constantes y no presentan control alguno, agravando las condiciones de inestabilidad.</p> |
| Sector norte |    | <p>Se presentan inestabilidad de la zona del coluvión que da en dirección a la vía de acceso y al río.</p>   |
|              |   | <p>Daños en las viviendas sobre la vía de acceso.</p>  |
|              |  | <p>Inestabilidad de un sector del coluvión, que puede estar asociada a la socavación del río en el talud inferior de la vía.</p>   |

Fuente: Melgarejo Niño (2019)

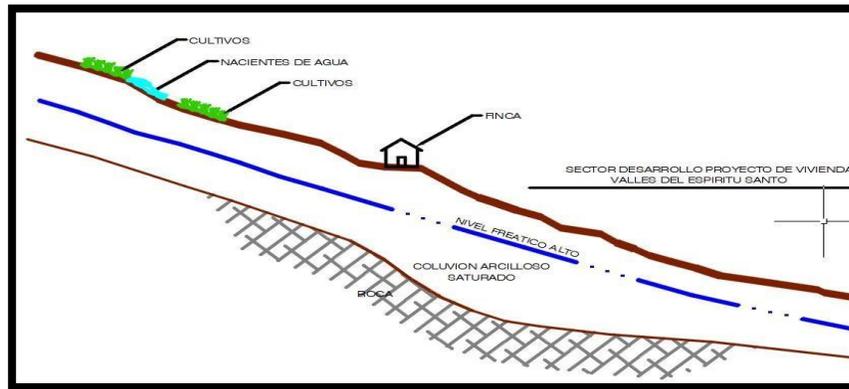
Ilustración 22. Afloramiento de rocas areniscas de la formación cogollo en la parte alta sector occidental de la zona de estudio.



Fuente: Melgarejo (2019)

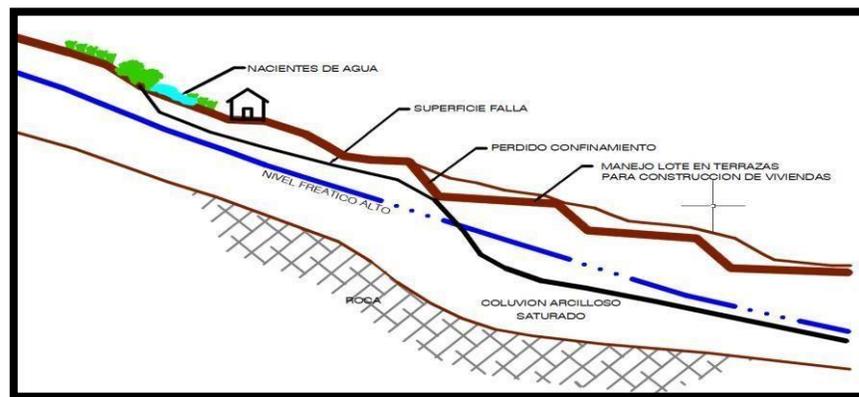
En las ilustraciones 23, 24, 25 y 26 se muestra el esquema de fallas que se encuentran presentes en la zona de estudio. La zona consta de roca en la parte inferior de un coluvión arcilloso saturado sobre el cual se encuentra el nivel freático alto posteriormente en la parte alta se encuentran nacientes de agua y cultivos, se procede a conformar el lote por medio de terrazas para la construcción de las viviendas, se realizan las diferentes actividades de construcción de las edificaciones, que para esa época se presentaron precipitaciones muy altas ocasionando que el terreno colapsara hacia la parte baja generando destrucción total de las estructuras; para esta época este sector se encuentra en abandono y sin ningún tipo de intervención por parte de las entidades encargadas.

Ilustración 23. Barrio Valle Espíritu Santo antes de la falla.



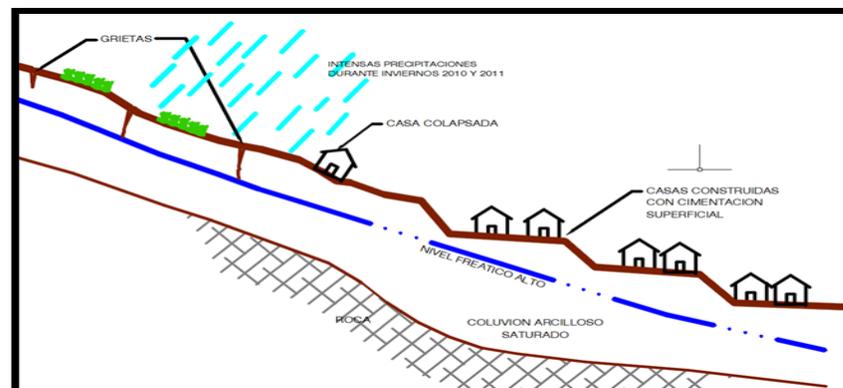
Fuente: Melgarejo 2020

Ilustración 24. Conformación del lote para la construcción de las viviendas.



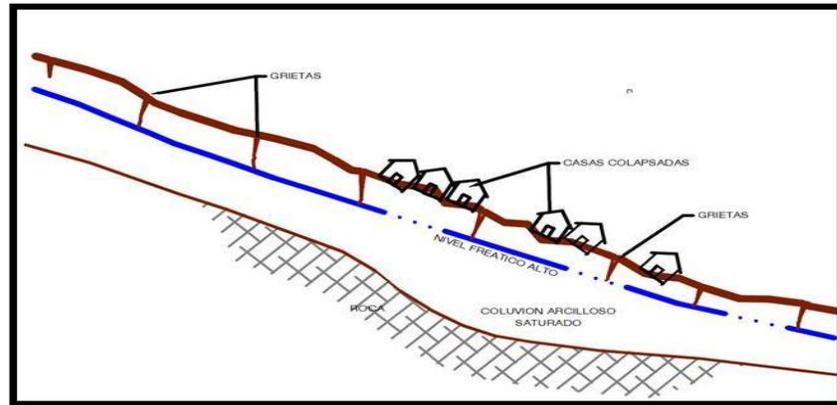
Fuente: Melgarejo 2020

Ilustración 25. Barrio Valle Espíritu Santo construcción de las viviendas.



Fuente: Melgarejo 2020

Ilustración 26. Barrio Valle Espíritu Santo condición actual.



Fuente: Melgarejo 2020

El sector corresponde a un depósito coluvial sobre unidades de rocas cretácicas sedimentarias. Los flujos de agua son constantes y permanentes en la zona, por lo cual el suelo se presenta saturado. No existen obras de control y manejo del drenaje.

Ilustración 27. Mapa estructural regional, donde sobresalen las principales fallas de la zona de estudio (Tomado de Romero, 2011)

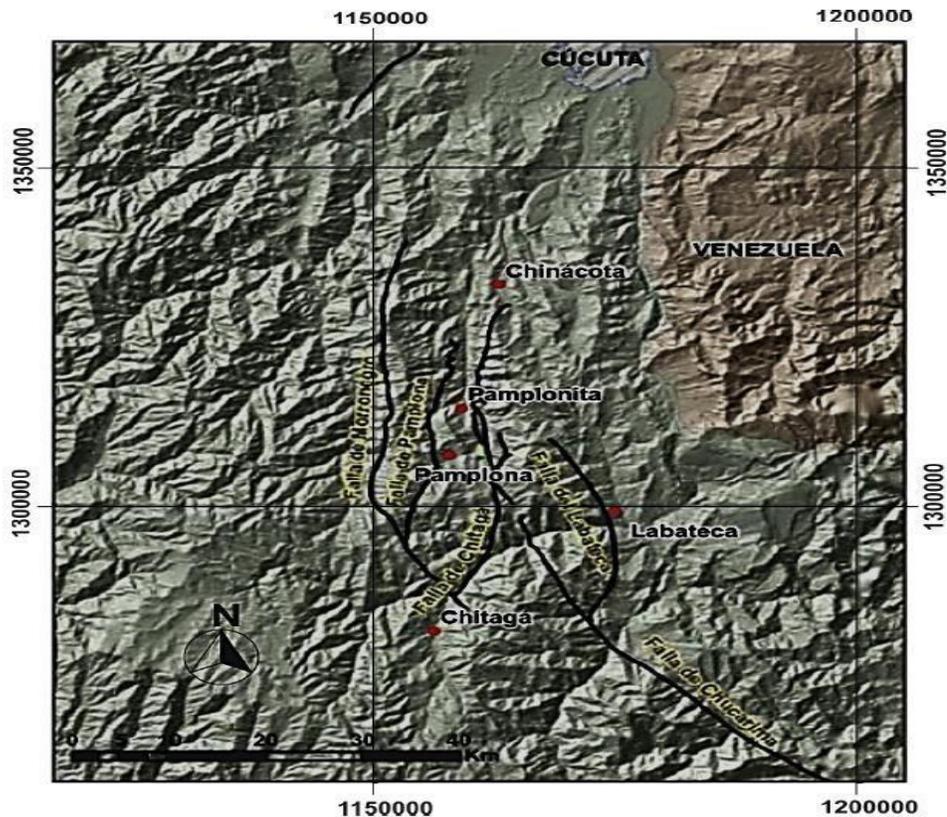


Ilustración 28. Localización valle del Espíritu Santo en el casco Urbano del Municipio de Pamplona.



Fuente: Google Earth

En la ilustración 29 se observa de manera clara las deformaciones del terreno debido a la inestabilidad del coluvión. Edificaciones de este tipo con cimientos superficiales estarán constantemente expuestas a los movimientos del terreno. Esta zona igualmente coincide con el trazado de la falla de Pamplona, para lo cual en su mayor parte en la parte alta se realizan actividades de agricultura utilizándose grandes cantidades de agua con lo cual estas por infiltración llegan a la parte baja ocasionando un escurrimiento de la banca.

Ilustración 29. Vista general de la parte alta de la urbanización Valles del Espíritu Santo.



Fuente: Melgarejo 2020

En la ilustración 30 se observa que la zona alta de la urbanización se encuentra en la zona se encuentra sobre el depósito coluvial activo (zona de falla); este sector debe estar restringido para la construcción de edificaciones.

Ilustración 30. Vista general de la zona alta de la urbanización valles del espíritu Santo.



Fuente: Melgarejo 2020

En la ilustración se observa la zona de viviendas que actualmente está habitada y se encuentra fuera de la zona de activa de los deslizamientos, pero se observan afectaciones de algunas viviendas como consecuencia de la saturación del suelo y existe riesgo de incremento de daños debido a los movimientos del deslizamiento en la parte alta de la urbanización. La inestabilidad en este sector es de alto riesgo debido a que actualmente se sigue presentando este fenómeno y con las lluvias extremas que se han presentado es fácil que este se vuelva a presentar.

Ilustración 31 Vista general de la zona baja de la urbanización Valles del Espíritu Santo



Fuente: Melgarejo 2020

#### 6.4. Características de la zona dado la influencia de las personas que viven sobre y las inmediaciones del barrio.

De acuerdo a la matriz de impactos y componentes la matriz de Conesa se obtuvo que los aspectos como: agua, aire, suelo, flora, perceptual, sociocultural, económico urbano van directamente relacionados con aspectos como descapote, relleno con material seleccionado, construcción de muros de contención y vías que como resultado en su mayor parte negativos de acuerdo con (Tabla 15)

En la matriz se describen las diferentes características que conforma al terreno en estudio mediante diferentes componentes como agua, aire, suelo, flora, perceptual, sociocultural, económico y urbano con el fin de identificar de qué manera afectan al terreno.

Tabla 15. Matriz de identificación de impactos en la zona de estudio

| Componentes | Impactos   | Descapote |          | Relleno con material seleccionado |          | Construcción de muros de contención |          | Vías     |          |
|-------------|--|-----------|----------|-----------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|----------|----------|
|             |  | positivo  | negativo | positivo                          | negativo | positivo                            | negativo | positivo | negativo |
| Agua        | Contaminación físico-química                                 |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          |          |
|             | Contaminación orgánica                                       |           |          |                                   | x        |                                     |          |          |          |
|             | Contaminación por sedimentos                                 |           |          |                                   | x        |                                     |          |          | X        |
|             | Variación de niveles freáticos                               |           |          |                                   | x        |                                     |          |          |          |
|             | Modificación hidrológica del área intervenida                |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          | X        |
|             | Afectación de la dinámica del agua superficial y subterránea |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          | X        |
|             | Afectación a los Procesos de regulación del agua             |           | x        |                                   | x        |                                     | X        |          | X        |
| Aire        | Contaminación por material particulado                       |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          |          |
|             | Contaminación por emisión de gases                           |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          |          |
|             | Contaminación auditiva                                       |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          | X        |
| Suelo       | Contaminación por residuos sólidos                           |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          |          |
|             | Pérdida de horizonte orgánico                                |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          |          |
|             | Modificación de la geomorfología                             |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          |          |
|             | Inestabilidad de taludes                                     |           | x        |                                   |          |                                     |          |          |          |
|             | Perdida de suelo por erosión                                 |           | x        |                                   | x        |                                     |          |          | X        |
|             | Contaminación con A.R. remoción en masa                      |           |          |                                   | x        |                                     |          |          |          |
| Flora       | Perdida de cobertura vegetal                                 |           | x        |                                   |          |                                     |          |          |          |
|             | Deforestación de árboles                                     |           | x        |                                   |          |                                     |          |          |          |

|                      |  |  |   |   |   |   |   |   |   |
|----------------------|--|--|---|---|---|---|---|---|---|
|                      | Afectación de flora por material particulado |  |   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Perceptual</b>    | Modificación del paisaje                     |  | x |   |   |   | X |   | X |
| <b>Sociocultural</b> | Aceptación social del proyecto               |  |   |   | x | X |   |   | X |
|                      | Afectación de la calidad de vida             |  |   |   |   | X |   |   | X |
| <b>Económico</b>     | Generación de empleo                         |  | x | x |   | X |   |   |   |
|                      | valorización predial                         |  |   |   |   | X |   | X |   |
| <b>Urbano</b>        | Efectos sobre movilidad de habitantes        |  |   |   |   | X |   | X |   |
|                      | Efectos sobre viviendas                      |  |   |   | X | X |   |   |   |

Fuente: Melgarejo 2020

## 7. Conclusiones

- ❖ Como referente personal e ingenieril la problemática fue el no realizar los estudios geotécnicos, los cuales habrían reflejado que este sector no es apto para la ejecución de obras de construcción, para lo cual la responsabilidad recae en las entidades locales participes del proyecto como Alcaldía municipal de Pamplona (Oficina de Planeación) y contratista al omitir dichos estudios.
- ❖ Se logra definir que el tipo de suelo es arcilloso por lo que este absorbe más agua; genera un mal aireado y el drenado sea pobre, este debe tener un respectivo control-mejoramiento para la realización de obras de infraestructura para mejorar la capacidad portante-resistencia de esfuerzos a que será sometido.
- ❖ Se determina una escorrentía promedio calculada de 0,2305 mm de precipitación que se transforma en escurrimiento directo de 0,058 m<sup>3</sup>/s que añadido al alta pendiente favorece el arrastre de sedimentos y erosiona la capa del suelo.
- ❖ Encontramos que por el método de clasificación USC y ASSHTO el suelo de defino como suelo arcilloso.
- ❖ La construcción de las viviendas y la población que las habito por contribuyeron a la compactación del suelo, disminuyendo la permeabilidad y aumentando la escorrentía.
- ❖ En el barrio y en la zona alta a la cabecera del mismo on evidentes grietas de tensión, indicativas de la persistencia de inestabilidad la cual continua y puede agravarse en caso de presentarse lluvias extremas (Fenómeno de la niña), o presentarse un evento sísmico (La zona es de riesgo sísmico alto). Se puede considerar que las condiciones de inestabilidad son críticas y requieren tomar medidas urgentes de mitigación y posteriormente de control que permitan mejorar las condiciones de estabilidad de la zona.
- ❖ Por otro lado, los cortes para conformar los terraceos en los que se ubicaron las viviendas,

las cargas descompensadas, muy seguramente aportaron un factor inestabiliza ante de buena parte del sector afectado.

❖ La zona baja de la urbanización, la cual esta aun habitada, presenta mejores condiciones del suelo debido a que no está en la zona directa del deslizamiento; esta zona debe ser objeto de mejoramientos; de las condiciones de drenaje y la construcción de obras de estabilización del deslizamiento para evitar daños a corto, mediano y largo plazo.

## 8. Recomendaciones

- ❖ Debido a lo diferentes problemas expuestos el terreno como infiltración del agua en el suelo arcilloso, socavación, es muy importante controlar la infiltración de aguas al suelo; en este caso se logra controlar mediante la construcción de obras de drenaje que intercepten y evacuen las aguas de infiltración y drenes horizontales en la masa del coluvión.
- ❖ Actualmente las condiciones de estabilidad son bajas y se pueden presentar movimientos en la masa deslizada si no se controlan las infiltraciones de aguas lluvias, no es recomendable, realizar procesos constructivos en el sector debido a las diferentes problemáticas presentadas.
- ❖ Debido a las condiciones de inestabilidad que se presentan en la zona de estudio, es riesgoso el manejo de excavaciones profundas, por lo que algunas de las posibles soluciones de estabilización deben ser orientadas a la construcción de muros con cimentaciones profundas o caisson, ya que estas presentan una alta resistencia al corte, las cuales deben anclarse adecuadamente a los niveles estables del macizo rocoso.
- ❖ Se debe mantener un monitoreo constante a los movimientos del terreno y a la posición del nivel de aguas freáticas.
- ❖ La zona alta y media de la urbanización en estudio presenta un riesgo muy alto a deslizamiento por lo tanto el sector no debe ser habilitado para nuevas construcciones; esta zona debe disponer solo como zona verde donde la construcción de edificaciones debe estar restringida.

## 9. Referencias Bibliográficas

Aparicio, F. (1993). Fundamentos de Hidrología de superficie. Distrito Federal. México: Limusa, S A.

Blanco, J. (2009). Geología de la tierra. Recuperado el 26 de mayo de <http://julsgeoambiental.jimdo.com/portafolio/remocion-en-masa/>

Bernal, L., (2013). Periodismo Cívico. Habitantes De La Urbanización Valle Del Espíritu Santo Obligados A Vivir En Hoteles. Recuperado de <https://sites.google.com/site/periodismocivico2014/habitantes-de-la-urbanizacion-valle-del-espiritu-santo-obligados-a-vivir-en-hoteles>.

Berry, P., y Reid, D. (1999). Mecánica de Suelos. Bogotá. Colombia: Mc-Graw Hill, Interamericana S.A.

Chow, V., Maident, D., y Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. Bogotá. Colombia: Mc-Graw Hill, Interamericana S.A.

Conesa, V. (1997). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Bilbao. España: Grafo, S.A.

CARLOS. (2016). ASTERACEAE. *wikipedia*.

Geotecnia. Geología y geotecnia. Página web. Disponible en <https://geotecnia.wordpress.com/>

GEOQuantics, (2019). factores-influyen-la-estabilidad-taludes-laderas-suelo. Disponible en: <https://geoquantics.com/2019/10/21/factores-influyen-la-estabilidad-taludes-laderas-suelo/>. Consulta en junio 2020.

GeoStru (2016). Estabilidad de taludes. Disponible en

<https://www.geostru.eu/es/blog/2016/06/13/estabilidad-de-taludes/>. Consultada en mayo 2020.

Rosales Sánchez Ulises Benjamín y Centeno Álvarez Yamila del Carmen (2009). Vulnerabilidad potencial de los suelos a deslizamientos de tierra en el municipio de La Conquista, Carazo, Nicaragua. Tesis. Universidad Nacional Agraria.

Suarez Diaz, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de taludes en Zonas Tropicales. En: Geotecnología S.A.S. Disponible en <http://erosion.com.co/presentaciones/category/21-> Procedimiento-de-Investigación.html (citado en 17 de Sept. de 2015) por tesis de Galindo Guerrero y Rincon M. Analisis de estabilidad y diseño de obras de contención del talud norte del colegio rural Palmira en el municipio de San Vicente de Chucurí, departamento de Santander.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime (1998). “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”.