

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A  
DESLIZAMIENTOS MEDIANTE TÉCNICAS DE  
EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO - GIS  
EN LA CARRETERA SAN JUAN- CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de minas

Autor:

Wilson Alberto Izquierdo Ortiz

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación principalmente a dios por permitirme culminar mi carrera y mi investigación de manera satisfactoria.

A mi padre por apoyarme en todo momento, y en su confianza para ser un buen profesional y ser mi sustento en cada momento de mi vida.

También dedicar a mis hermanos por su apoyo incondicional

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a dios por darme la oportunidad de cumplir mis metas, y darme la sabiduría e inteligencia, agradezco a mi padre, quien me apoyo desde el primer momento en que nací, y ser mi ejemplo por sus enseñanzas y consejos, así mismo a la universidad privada del norte por formarme como un futuro ingeniero de minas, de igual modo a Ing. Elmer Ovidio Luque Luque quien me brindo su tiempo para el desarrollo de mi investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |             |
|---|-------------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>  | <b>ii</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTO .....</b>   | <b>iii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>                                       | <b>vi</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                                      | <b>viii</b> |
| <b>RESUMEN .....</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>xii</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>                               | <b>13</b>   |
| 1.1. Realidad problemática .....                                    | 14          |
| 1.2. Formulación del problema .....                                 | 27          |
| 1.3. Justificación .....  | 28          |
| 1.4. Limitaciones .....   | 28          |
| 1.5. Objetivos .....  | 28          |
| 1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....                                | 28          |
| 1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....                           | 28          |
| 1.5.3. <i>Hipótesis</i> .....                                       | 29          |
| <b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA .....</b>                                | <b>30</b>   |
| 2.1. Tipo de investigación .....                                    | 30          |
| 2.2. Población y muestra .....                                      | 30          |
| 2.2.1. <i>Población</i> .....                                       | 30          |
| 2.2.2. <i>Muestra (muestreo o selección)</i> .....                  | 30          |
| 2.3. Materiales y métodos .....                                     | 33          |
| 2.3.1. <i>Materiales</i> .....                                      | 33          |
| 2.3.2. <i>Métodos</i> .....   | 33          |
| <i>Etapa de Gabinete</i> .....                                      | 33          |
| <i>Etapa de Campo</i> .....   | 34          |
| <i>Etapa final</i> .....  | 34          |
| 2.4. Técnicas, instrumentos y recolección y análisis de datos ..... | 35          |
| 2.4.1. <i>Técnicas de recolección y análisis de datos</i> .....     | 35          |
| 2.4.2. <i>Instrumento de investigación</i> .....                    | 35          |
| 2.4.3. <i>Análisis de datos</i> .....                               | 35          |
| 2.5. Procedimiento .....  | 35          |
| 2.5.1. <i>Aspectos Éticos</i> .....                                 | 36          |
| <b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS .....</b>                                 | <b>38</b>   |
| 3.1. EVALUACION DE LAS ESTACIONES GEOMECHANICAS .....               | 38          |

|  |   |            |
|--|---|------------|
| 3.1.1.   | ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE.....  | 39         |
| 3.1.2.   | CALCULO DE PESOS ESPECIFICOS DE LAS MUESTRAS .....                                      | 40         |
| 3.1.3.   | ANALISIS GRANULOMETRICO.....  | 42         |
| 3.1.4.   | CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDA DE LAS ESTACIONES<br>GEOMECHANICAS.....                  | 43         |
| 3.2.   | GENERACIÓN DE MAPA RASTER REPRESENTATIVO DE LOS VALORES DE FACTOR DE<br>SEGURIDAD ..... | 83         |
| 3.3.   | VARIABLES CONDICIONANTES DE EVALUACION ESPACIAL MULTICRITERIO .....                     | 87         |
| 3.3.1.   | VARIABLE FACTORES SISMICIDAD .....  | 87         |
| 3.3.2.   | VARIABLE RÍOS.....  | 91         |
| 3.3.3.   | VARIABLE FALLAS .....   | 95         |
| 3.3.4.   | VARIABLE RMR .....  | 99         |
| 3.3.5.   | VARIABLE PRECIPITACIÓN .....  | 104        |
| 3.3.6.   | VARIABLE DE FACTOR DE SEGURIDAD .....   | 110        |
| 3.3.7.   | VARIABLE TIPO SUELOS.....   | 114        |
| 3.3.8.   | VARIABLE USO ACTUAL DE SUELOS .....   | 118        |
| 3.3.9.   | VARIABLE GEOMORFOLOGIA .....  | 121        |
| 3.3.10.  | VARIABLE FISIOGRAFÍA .....  | 125        |
| 3.3.11.  | VARIABLE COBERTURA VEGETAL .....  | 129        |
| 3.3.12.  | VARIABLE GEOLOGÍA.....  | 132        |
| 3.3.13.  | VARIABLE PENDIENTES.....  | 138        |
| 3.4.   | DETERMINACION DE PESO DE INFLUENCIA DEL PROCESO ANALÍTICO<br>JERÁRQUICO(AHP).....       | 143        |
| 3.5.   | EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO_ SUPERPOSICION PONDERADA .....                        | 146        |
| <b>CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b> |   | <b>151</b> |
| 4.1.   | DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....   | 151        |
| 4.2.   | CONCLUSIONES .....  | 153        |
| <b>REFERENCIAS.....</b>                          |   | <b>155</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| <b>Tabla 1</b>  | Clasificación SUCS de los suelos.....                                      | 38  |
| <b>Tabla 2</b>  | Ensayos de laboratorio.....  | 39  |
| <b>Tabla 3</b>  | resultados de la resistencia de la compresión simple del laboratorio ..... | 44  |
| <b>Tabla 4</b>  | Resultados del análisis granulométrico .....                               | 47  |
| <b>Tabla 5</b>  | Resultados del análisis granulométrico .....                               | 50  |
| <b>Tabla 6</b>  | Resultados de la resistencia de la compresión simple del laboratorio.....  | 53  |
| <b>Tabla 7</b>  | Resultados del análisis granulométrico .....                               | 53  |
| <b>Tabla 8</b>  | Resultados del análisis granulométrico .....                               | 56  |
| <b>Tabla 9</b>  | Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio. ....         | 59  |
| <b>Tabla 10</b> | Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio .....         | 62  |
| <b>Tabla 11</b> | Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio .....         | 65  |
| <b>Tabla 12</b> | Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio .....         | 68  |
| <b>Tabla 13</b> | Resultados del análisis granulométrico .....                               | 71  |
| <b>Tabla 14</b> | Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio .....         | 74  |
| <b>Tabla 15</b> | Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio .....         | 77  |
| <b>Tabla 16</b> | Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio .....         | 79  |
| <b>Tabla 17</b> | Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio .....         | 81  |
| <b>Tabla 18</b> | Rangos del factor de seguridad.....  | 84  |
| <b>Tabla 19</b> | Factor de Seguridad De La Zona De Cajamarca. ....                          | 85  |
| <b>Tabla 20</b> | Escala de Mercalli De La Zona De Cajamarca.....                            | 88  |
| <b>Tabla 21</b> | Valor proximidad a ríos.....   | 92  |
| <b>Tabla 22</b> | Fallas De La Zona De Cajamarca.....  | 96  |
| <b>Tabla 23</b> | Valoración Del Parámetro Susceptibilidad Con Respecto Al RMR .....         | 100 |
| <b>Tabla 24</b> | Datos de campo De La Zona De Cajamarca.....                                | 101 |
| <b>Tabla 25</b> | Datos de las estaciones meteorológicas de la región de Cajamarca .....     | 105 |
| <b>Tabla 26</b> | Precipitaciones De La Zona De Cajamarca .....                              | 106 |
| <b>Tabla 27</b> | Rangos del Factor de seguridad.....  | 110 |
| <b>Tabla 28</b> | Tipo de suelos De La Zona De Cajamarca. ....                               | 114 |
| <b>Tabla 29</b> | Geomorfología De La Zona De Cajamarca. ....                                | 121 |
| <b>Tabla 30</b> | Fisiografía De La Zona De Cajamarca. ....                                  | 125 |

|                 |   |     |
|-----------------|---|-----|
| <b>Tabla 31</b> | Cobertura Vegetal De La Zona De Cajamarca.....                                    | 129 |
| <b>Tabla 32</b> | Geología De La Zona De Cajamarca.....   | 132 |
| <b>Tabla 33</b> | Geología De La Zona De Cajamarca.....   | 133 |
| <b>Tabla 34</b> | Geología De La Zona De Cajamarca.....   | 133 |
| <b>Tabla 35</b> | Geología De La Zona De Cajamarca.....   | 134 |
| <b>Tabla 36</b> | Geología De La Zona De Cajamarca.....   | 135 |
| <b>Tabla 37</b> | Pendientes De La Zona De Cajamarca.....   | 138 |
| <b>Tabla 38</b> | MATRIZ DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO(AHP) DE LA ZONA<br>GAVILAN-CAJAMARCA..... | 144 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Índice de resistencia geológica (GSJ) para macizos rocosos fracturados.....      | 18 |
| <b>Figura 2.</b> Clasificación geomecánica.....   | 20 |
| <b>Figura 3.</b> Calidad del macizo rocoso en relación al índice de RMR .....                     | 20 |
| <b>Figura 4.</b> Criterios de susceptibilidad por movimientos en masa.....                        | 23 |
| <b>Figura 5.</b> GISs para el análisis estadístico, en la elaboración de mapas de susceptibilidad | 25 |
| <b>Figura 6.</b> Ubicación de puntos de muestreo .....  | 32 |
| <b>Figura 7.</b> metodología de la evaluación espacial multicriterio.....                         | 37 |
| <b>Figura 8.</b> Ensayos de resistencia a la compresión simple en el laboratorio .....            | 39 |
| <b>Figura 9.</b> proceso de cálculo de pesos de cada tamiz en laboratorio .....                   | 42 |
| <b>Figura 10.</b> Talud de la estación 01.....  | 43 |
| <b>Figura 11.</b> Macizos rocos de la formación Carhuaz .....                                     | 44 |
| <b>Figura 12.</b> estación geomecánica 01 .....   | 45 |
| <b>Figura 13.</b> Talud de estación geomecánicas 2 .....  | 46 |
| <b>Figura 14.</b> Angulo de fricción según Navfac.....  | 47 |
| <b>Figura 15</b> Estación Geomecánica 02 .....  | 48 |
| <b>Figura 16.</b> Talud de la estación geomecánica 02.....  | 49 |
| <b>Figura 17</b> Estación Geomecánica 03 .....  | 51 |
| <b>Figura 18</b> Talud de la estación geomecánica 04.....   | 52 |
| <b>Figura 19</b> Estación Geomecánica 04 .....  | 54 |
| <b>Figura 20</b> Talud de la Estación Geomecánica 05 .....  | 55 |
| <b>Figura 21</b> Estación Geomecánica 05 .....  | 57 |
| <b>Figura 22</b> Talud de la estación geomecánica 06.....   | 58 |
| <b>Figura 23</b> Estación geomecánica 06 .....  | 60 |
| <b>Figura 24</b> Talud estación geomecánica 08 .....  | 61 |
| <b>Figura 25</b> Estación Geomecánica 07 .....  | 63 |
| <b>Figura 26</b> Talud estación geomecánica 08 .....  | 64 |
| <b>Figura 27</b> Estación Geomecánica 08 .....  | 66 |
| <b>Figura 28</b> Talud de la estación geomecánica 09.....   | 67 |
| <b>Figura 29</b> Formación Chimú .....  | 68 |
| <b>Figura 30</b> Estación Geomecánica 09 .....  | 69 |
| <b>Figura 31</b> Talud de la estación geomecánica 10.....   | 70 |
| <b>Figura 32</b> Estación geomecánica 10.....   | 72 |
| <b>Figura 33</b> Talud de la estación geomecánica 11 .....  | 73 |
| <b>Figura 34</b> Estación Geomecánica 11 .....  | 75 |
| <b>Figura 35</b> Talud de la estación Geomecánica 12 .....  | 76 |
| <b>Figura 36</b> Talud estación Geomecánica 13 .....  | 79 |
| <b>Figura 37</b> Estación Geomecánica 13 .....  | 80 |
| <b>Figura 38</b> Talud de la estación geomecánica 14.....   | 81 |
| <b>Figura 39</b> Estación Geomecánica 14 .....  | 82 |
| <b>Figura 40</b> Reclasificación de rangos FS - ArcGIS .....                                      | 85 |
| <b>Figura 41</b> PLANO DE FACTOR DE SEGURIDAD.....  | 86 |
| <b>Figura 42</b> Mapa ráster variable sismicidad.....   | 90 |
| <b>Figura 43</b> Mapa ráster de la Variable condicionante ríos.....                               | 93 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 44</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante ríos en Hectáreas. ....                | 94  |
| <b>Figura 45</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Ríos en el área de estudio.....   | 94  |
| <b>Figura 46</b> Mapa Ráster de la variable fallas .....  | 97  |
| <b>Figura 47</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Fallas en Hectáreas.....               | 98  |
| <b>Figura 48</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Fallas en el área de estudio.....                                       | 98  |
| <b>Figura 49</b> Mapa Ráster de Zonificación de la variable RMR.....  | 102 |
| <b>Figura 50</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante RMR en Hectáreas. ....                 | 103 |
| <b>Figura 51</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable RMR en el área de estudio.....  | 103 |
| <b>Figura 52</b> Figura ráster representativo de la distribución de estaciones meteorológicas en la región de Cajamarca .....                           | 107 |
| <b>Figura 53</b> Mapa Ráster de precipitación área estudiada.....   | 108 |
| <b>Figura 54</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Precipitación en Hectáreas. ....       | 109 |
| <b>Figura 55</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable RMR en el área de estudio.....  | 109 |
| <b>Figura 56</b> Mapa ráster de la variable factor de seguridad .....   | 112 |
| <b>Figura 57</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Factor de Seguridad en Hectáreas. .... | 113 |
| <b>Figura 58</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Factor de Seguridad en el área de estudio.....                          | 113 |
| <b>Figura 59</b> Mapa ráster de la variable tipo de suelo.....  | 116 |
| <b>Figura 60</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Tipo de Suelo en Hectáreas. ....       | 117 |
| <b>Figura 61</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Tipo de Suelo en el área de estudio .....                               | 117 |
| <b>Figura 62</b> Mapa Ráster Variable Uso De Suelos.....  | 119 |
| <b>Figura 63</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Uso de Suelos en Hectáreas. ....       | 120 |
| <b>Figura 64</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Uso de Suelos en el área de estudio .....                               | 120 |
| <b>Figura 65</b> Mapa ráster de la variable geomorfología.....  | 123 |
| <b>Figura 66</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Geomorfología en Hectáreas. ....       | 124 |
| <b>Figura 67</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Geomorfología en el área de estudio .....                               | 124 |
| <b>Figura 68</b> Mapa Raster Variables Fisiografía.....   | 127 |
| <b>Figura 69</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Fisiografía en Hectáreas. ....         | 128 |
| <b>Figura 70</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Fisiografía en el área de estudio .....                                 | 128 |
| <b>Figura 71</b> Mapa Ráster Variable Cobertura Vegetal .....   | 130 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 72</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Cobertura Vegetal en Hectáreas.....  | 131 |
| <b>Figura 73</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Cobertura Vegetal en el área de estudio.....  | 131 |
| <b>Figura 74</b> Mapa Ráster De La Variable Condicionante Geología.....   | 136 |
| <b>Figura 75</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Geología en Hectáreas.....   | 137 |
| <b>Figura 76</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Geología en el área de estudio.....   | 137 |
| <b>Figura 77</b> Mapa Ráster De La Variable Condicionante Pendiente.....  | 140 |
| <b>Figura 78</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Pendientes en Hectáreas .....  | 141 |
| <b>Figura 79</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Pendiente en el área de estudio .....   | 141 |
| <b>Figura 80</b> Tabla de Superposición Ponderada .....   | 146 |
| <b>Figura 81</b> Mapa De Evaluación De La Susceptibilidad a Deslizamientos <b>Fuente:</b> Elaboración propia, a partir del uso del método superposición ponderada en el programa ArcGIS ..... | 147 |
| <b>Figura 82</b> Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Fallas en Hectáreas.....   | 148 |
| <b>Figura 83</b> Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento en el área de estudio.....   | 148 |

## RESUMEN

La susceptibilidad a deslizamientos de masa se ve afectada por los variables condicionantes involucrados, los que se relacionan con la naturaleza de los materiales de la zona como la pendiente, cobertura vegetal, tipo de suelos, fisiografía, Rmr, geomorfología, Factor de seguridad, permeabilidad, ríos, fallas, uso de suelos, precipitación y sismicidad.

El presente estudio evalúa la susceptibilidad a deslizamientos de masas, ubicado en los distritos de san juan, Jesús y magdalena, y parte de la provincia de Cajamarca. Estas condiciones causan pérdidas económicas, estos deslizamientos cubren las vías que comunican Cajamarca, impidiendo el pase de los vehículos y personas, es así como se hace indispensable la evaluación de la zona para evitar pérdidas económicas y de vidas, es importante mencionar la escasa información a nivel local.

La metodología aplicada es la evaluación espacial multicriterio SIG, el cual consiste en la sumatoria lineal ponderada de la digitalización de las variables condicionantes que llamaremos Mapa Ráster, mediante en software ArcGIS, es importante mencionar que para la obtención del mapa representativo de la Susceptibilidad a Deslizamientos de la zona de estudio se consideró la matriz del Proceso Analítico Jerárquico(AHP) para la obtención de pesos de influencias de cada variable condicionante, es cual es muy importante introducir los dato en el software ArcGIS.

Los resultados obtenidos indican que De acuerdo al mapa final de susceptibilidad a deslizamientos en la zona de la carretera san juan- Cajamarca, el 0.34 % del área tiene una vulnerabilidad alta que corresponde a 17.93 Ha, el 26.50 % tiene una vulnerabilidad media que corresponde a 1396.07 Ha, el 49.91% tiene una vulnerabilidad baja que corresponde a 2628.84 Ha y el 23.25% tiene una vulnerabilidad muy baja que corresponde a 1224.81 Ha de la zona de estudio. Determinando que la zona más vulnerable pertenece a al distrito de san juan el cual presenta mayor susceptibilidad a deslizamientos según el resultado obtenido.

**Palabras Clave:** Variables Condicionantes, Deslizamientos, Mapa de susceptibilidad, SIG, Proceso Jerárquico, Vulnerable.

## ABSTRACT

The susceptibility to mass slippages is affected by the conditioning variables involved, which relate to the nature of materials in the area such as slope, plant cover, soil type, physiography, Rmr, geomorphology, safety factor, permeability, rivers, faults, soil use, precipitation and seismicity.

This study evaluates the susceptibility to mass landslides, located in the districts of San Juan, Jesus and Magdalena, and part of the province of Cajamarca. These conditions cause economic losses, these landslides cover the roads that communicate Cajamarca, preventing the passing of vehicles and people, this is how it becomes essential to assess the area to avoid economic and life losses, it is important to mention the limited information at the local level.

The methodology applied is the GIS multicriteria spatial assessment, which consists of the weighted linear summation of the digitization of the conditioning variables that we will call Raster Map, through ArcGIS software, it is important to mention that for obtaining the representative map of the Sliding Susceptibility of the study area was considered the matrix of the Hierarchical Analytical Process (AHP) for obtaining weights of influences of each variable, which is very important to enter the data in the ArcGIS software.

The results obtained indicate that According to the final map of susceptibility to landslides in the area of the san juan- Cajamarca road, 0.34 % of the area has a high vulnerability corresponding to 17.93 Ha, 26.50% have an average vulnerability of 1396.07 Ha, 49.91% have a low vulnerability corresponding to 2628.84 Ha and 23.25% have a very low vulnerability corresponding to 1224.81 Ha in the study area. Determining that the most vulnerable area belongs to the district of San Juan which has greater susceptibility to landslides according to the result obtained.

**Keywords:** Condition Variables, Slides, Susceptibility Map, GIS, Hierarchical Process, Vulnerable.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

la susceptibilidad de deslizamientos hoy en día es uno de los principales problemas que afecta en gran parte a la sociedad, es por ello que su estudio se ha vuelto importante. Los deslizamientos de laderas provocan daños tanto materiales como pérdida de vida humanas. Para poder realizar una protección eficaz frente a estos desastres es necesario tener un completo conocimiento de la causa que los producen y poder realizar una predicción de las consecuencias que podría generar.

El objetivo principal de este estudio ha sido contribuir con información más detallada a los posibles deslizamientos del departamento de Cajamarca provincia de Cajamarca. Para ello, el trabajo consistió, en recopilar datos in situ para luego ser representados mediante mapas de susceptibilidad generados por técnicas de Evaluación Espacial Multicriterio mediante-SIG, utilizando técnicas de análisis en la elaboración de mapas de susceptibilidad para así aumentar el grado de objetividad.

Los deslizamientos están relacionados con las montañas. Aunque en todos los sistemas de montañas ocurren deslizamientos de tierra, algunas regiones son más susceptibles a las amenazas por movimientos del terreno. Las montañas son mucho más susceptibles a deslizamientos de tierra, por la presencia de cuatro de los elementos más importantes para una posible ocurrencia estos son: relieve, la meteorización, sismicidad, y la presencia de lluvias.

La metodología usada para la creación y evaluación de mapas de susceptibilidad es el modelo multivariantes, Este método analiza la correlación de un conjunto de variables que pueden provocar deslizamientos, El resultado es una combinación lineal de las variables de mayor importancia estadística de la inestabilidad que podría generar los deslizamientos.

## 1.1. Realidad problemática

La región Cajamarca ubicada en el norte del país, en el contexto regional de susceptibilidad presenta características litológicas, morfológicas, hidrogeológicas y de cobertura vegetal, que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa (Zavala, Gómez, & Lu, 2010)

Cajamarca pertenece a una de las zonas propensas a inundaciones y deslizamientos frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos externos, representado en su mapa de susceptibilidad física (MINAM, 2014)

En la región de Cajamarca el Estudio de Riesgos Geológicos, en el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, está considerada como de media a baja. (Zavala & Rosado, 2010)

en el Informe Técnico de Evaluación por Deslizamiento en el Km 25+000 de la carretera Chilote-San Pablo, hace mención que el área afectada se encuentra inmerso dentro de una zona de falla, con presencia abundante de material detrítico poco consolidado, la cual presenta una alta susceptibilidad a sufrir fenómeno de remoción en masa de tipo deslizamiento, detonado por lluvias intensas. (Ruiz & Marin, 2016)

La zona de estudio, presentan periódicamente deslizamientos y movimientos de masa en general, que causan pérdidas económicas, estos deslizamientos cubren las vías que comunican Cajamarca, impidiendo el pase de los vehículos y personas, en la actualidad no existe un estudio detallado para la identificación de zonas propensas a deslizamiento, es por esto que en este estudio se implementara el método de evaluación espacial multicriterio generando mapas de susceptibilidad con el objetivo de prevenir desastres.

### **Antecedentes**

Según Salcedo, Padilla, Morales y Toulkeridis (2017), en su artículo de Evaluación De Susceptibilidad A Deslizamientos Mediante Lógica Fuzzy Y Técnicas De Evaluación Multicriterio En La Avenida Simón Bolívar, Quito menciona en su investigación que en base a las características de deslizamientos históricos, fotointerpretados e investigaciones anteriores, se utilizaron como factores causales: topografía, geología, litología, precipitación, red hídrica, cobertura vegetal, entre otros. Cada factor fue procesado, analizado y estandarizado de acuerdo a su relación con el desencadenamiento de

deslizamientos. Se generó el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la combinación de factores causales mediante álgebra de mapas y técnicas de ponderación, asimismo se incluyó el proceso de análisis jerárquico (AHP) y combinación lineal ponderada (WLC). Se determinó que el mapa de susceptibilidad, 5% del área posee susceptibilidad crítica, 19% alta, 58% media y 18% baja. La calidad del resultado se validó de acuerdo a su desviación estándar y valor de ajuste, siendo 0,162 y 83,80%, respectivamente.

Según Navarro (2018), en su tesis *Análisis Mediante Evaluación Multicriterio De La Susceptibilidad De Remociones En Masa En El Parque Nacional Laguna Del Laja, Comuna De Antuco*, menciona en su investigación que la metodología escogida es la de Lara (2007) y consta de dos etapas. Primero la valoración y suma de factores condicionantes según su favorabilidad frente a al tipo de remoción en masa estudiado, a través de su digitalización en mapas y así la obtención de un porcentaje correspondiente al Índice de susceptibilidad para cada unidad estudiada. Si este índice es mayor a un 50% se continúa con la segunda etapa en que se evalúa la peligrosidad en las unidades a través de softwares en los que se ingresa valores de propiedades de los materiales, obtenidos de ensayos de geotecnia. Además, en esta memoria se evalúa la exposición y vulnerabilidad para obtener un mapa de riesgo de remociones masa. Los resultados obtenidos indican susceptibilidad de flujos en los depósitos al Este de la caldera del Antuco 1, sin riesgo asociado. En la zona del sendero Sierra Velluda se determina susceptibilidad frente a tres tipos de remociones: deslizamientos de suelo, deslizamientos en roca y caídas de roca. El riesgo asociado es medio para los deslizamientos de suelo y alto para los deslizamientos y caídas de roca.

Según Balbi A.B. (2020), en su estudio *Zonificación De La Susceptibilidad A Los Procesos De Remoción En Masa De La Provincia De Jujuy* menciona en su investigación el método de Evaluación Espacial Multicriterio basado en opinión de expertos (Castellanos Abella y Van Westen 2007), que considera las precipitaciones y los sismos como procesos disparadores de estos eventos. Se realizó la selección de factores condicionantes como: pendiente, orientación de las laderas, relieve relativo, litología, distancia a fallas, distancia a cuerpos de aguas permanentes y efímeros, uso del suelo, cobertura de vegetación, distancia y densidad de la red vial. Se obtuvo tres tipos de mapas

de susceptibilidad a flujos, deslizamientos y caídas. Posteriormente, estos tres mapas fueron combinados para obtener un único mapa de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa, obteniéndose como resultado: Susceptibilidad Alta (20%), localizada en la región denominada Quebrada y Valles, Susceptibilidad Moderada (65%), ubicada en la zona de centro de la Puna y oeste de las Yungas, Susceptibilidad Baja (15%), emplazada en la zona oeste y este de la Puna y este de las Yungas.

Según Paucar (2016), en su tesis Niveles De Vulnerabilidad A Deslizamiento De Tierras En La Cuenca Del Río San Fernando-región Junín, menciona en su investigación La metodología aplicada fue el establecido por el Ministerio del Ambiente, el método consistió en medir la cobertura vegetal, el pendiente del terreno, la precipitación, la fisiografía y la litología del área de estudio, mediante una valoración y ponderación numérica asignando un valor numérico a cada unidad temática, en donde las variables que influyeron en el deslizamiento de tierras tuvieron un porcentaje de influencia de pendiente de terreno en (35%), cobertura vegetal 30%, precipitación 20%, litología (10%) y fisiografía (5%) lográndose identificar a 4 centros poblados expuestos en el nivel de vulnerabilidad muy baja, a 11 en el nivel de vulnerabilidad media, a 61 en el nivel de vulnerabilidad alta y a 10 en nivel de vulnerabilidad muy alta, finalmente el área estudiada tuvo una vulnerabilidad alta a deslizamiento de tierras con un 65.4% del área total expuesta.

### **Amenazas Naturales**

En su mayoría, las amenazas naturales son difíciles de predecir con absoluta precisión del momento (día y hora), lugar e intensidad que tienen lugar. Sin embargo, los estudios geológicos permiten diagnosticar la presencia de amenazas con posibilidades de ocurrencia con precisión variable según los casos (terremotos, deslizamientos de tierra, erupción de volcanes, inundaciones, etc (Ojeda, Lacreu, & Sosa, 2007).

La frecuencia de peligros naturales en la región es mediana a alta, en comparación a otras áreas del país. Posee características climáticas, geológicas y sísmicas, que conllevan a que esté ligada a una recurrencia de procesos de geodinámica externa (movimientos en masa e inundaciones), y en menor porcentaje sismos. Se tiene un bajo índice de eventos desastrosos en el período histórico o reciente (movimientos en masa detonados por sismos

y lluvias). Los movimientos de laderas ocurridos, se relacionan a eventos extremos hidroclimáticos y pocos relacionados a movimientos sísmicos (Hurtado & Torres, 2014).

### **Estabilidad de taludes**

Cualquier obra de infraestructura que requiera una superficie plana en una zona de pendiente, requiere hacer cortes de taludes, ya sea en superficie o al realizar excavaciones por debajo de ella. El diseño de taludes es uno de los aspectos primordiales de la Ingeniería Geológica porque está presente en la mayoría de actividades constructivas o extractivas (González, Ferrer, L, & Oteo, 2004).

### **Procesos antrópicos**

Algunos de los procesos antrópicos que afectan la estabilidad de los taludes son los siguientes (Suarez, 2004):

- Las excavaciones o cortes que modifican la topografía original del terreno, especialmente, los cortes en el pie de los taludes.
- Las excavaciones subterráneas (túneles), las cuales afectan la estructura y las condiciones de los esfuerzos del suelo que está encima.
- Los rellenos o depósitos de materiales sobre el talud, disposición de residuos, etc.
- La irrigación que facilita la infiltración y los cambios de humedad y la presión de poros.
- La infiltración en los canales o cuerpos de agua.
- Las fugas de agua de las redes de servicios.
- El mantenimiento inadecuado de los sistemas de drenaje y sub drenaje.
- La deforestación que produce cambios hidrológicos y afecta la resistencia del suelo, al eliminar el refuerzo de las raíces.
- Las vibraciones artificiales, tránsito de vehículos, vibraciones de maquinaria, detonaciones de explosivos, etc., las cuales generan fuerzas dinámicas y el deterioro de la estructura de los materiales.

- La disminución repentina del nivel de agua como en el caso del desembalse de una presa.

## Clasificaciones Geomecánicas de las Rocas

### Geological Strength Index (GSI)

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo, las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie en afloramientos y sondeos como se muestra en la siguiente imagen, (Marinos & Hoek, 2000).

| GEOLOGICAL STRENGTH INDEX<br>FOR JOINTED ROCKS   | SURFACE CONDITIONS           |      |      |      |           |
|--|------------------------------|------|------|------|-----------|
|  | VERY GOOD                    | GOOD | FAIR | POOR | VERY POOR |
| STRUCTURE  | DECREASING SURFACE QUALITY → |      |      |      |           |
|  INTACT OR MASSIVE—intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities   | 90                           |      |      |      |           |
|  BLOCKY—well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets                     | 80                           | 70   |      |      |           |
|  VERY BLOCKY—interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets                             |                              | 60   |      |      |           |
|  BLOCKY/DISTURBED/SEAMY—folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity |                              |      | 40   |      |           |
|  DISINTERATED—poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces                                      |                              |      |      | 20   |           |
|  LAMINATED/SHEARED—Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes  |                              |      |      |      | 10        |

**Figura 1.** Índice de resistencia geológica (GSJ) para macizos rocosos fracturados

Fuente: (Marinos y Hoek, 2000)

### **Índice de Calidad de la Roca (RQD), (Deere)**

El índice de designación de la calidad de la roca RQD (Rock Quality Designation Index) proporciona un valor estimado cuantitativo de la. calidad del macizo rocoso a partir de testigos de perforación diamantina principalmente y de afloramientos en superficie (Deere, 1968).

El RQD obtenido de esta manera, se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$RQD = e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

$$\lambda = (\text{número de discontinuidades}) / (\text{longitud total de muestreo})$$

### **Rock Mass Rating (RMR)**

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989 , esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos (Bieniawski, 1989).

- (1) Resistencia uniaxial de la matriz rocosa: ensayo PLT, ensayo de compresión simple.
- (2) Grado de fracturación del macizo: ensayo RQD.
- (3) Espaciado de las discontinuidades: separación entre diaclasas (m).
- (4) Condiciones de las discontinuidades: rugosidad, continuidad, relleno, bordes.
- (5) Condiciones hidrogeológicas: caudal, presión de agua, humedad.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

|            |                                       |                         |                        |                     |                       |                       |                       |           |         |
|------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|---------|
| 1          | Resistencia de la roca intacta        | Ensayo de Carga Puntual | > 10 MPa               | 4 – 10 MPa          | 2 – 4 MPa             | 1 – 2 MPa             | Compresión Simple MPa |           |         |
|            |                                       | Compresión Simple       | > 250 MPa              | 100 - 250 MPa       | 50 - 100 MPa          | 25 - 50 MPa           | 5 - 25 MPa            | 1 - 5 MPa | < 1 MPa |
|            | <b>Puntuación</b>                     | <b>15</b>               | <b>12</b>              | <b>7</b>            | <b>4</b>              | <b>2</b>              | <b>1</b>              | <b>0</b>  |         |
| 2          | RQD (%)                               | 100 - 90                | 90 - 75                | 75 - 50             | 50 - 25               | < 25                  |                       |           |         |
|            | <b>Puntuación</b>                     | <b>20</b>               | <b>17</b>              | <b>13</b>           | <b>6</b>              | <b>3</b>              |                       |           |         |
| 3          | Espaciado de las discontinuidades     | > 2 m                   | 2 – 0,6 m              | 60 – 20 cm          | 20 – 6cm              | < 6 cm                |                       |           |         |
|            | <b>Puntuación</b>                     | <b>20</b>               | <b>15</b>              | <b>10</b>           | <b>8</b>              | <b>5</b>              |                       |           |         |
| 4          | Longitud de la Discontinuidad         | < 1 m                   | 1 - 3 m                | 3 - 10 m            | 10 – 20 m             | > 20 m                |                       |           |         |
|            |                                       | <b>Puntuación</b>       | <b>6</b>               | <b>4</b>            | <b>2</b>              | <b>1</b>              | <b>0</b>              |           |         |
|            | Abertura                              | Nada                    | < 0,1 mm               | 0,1 – 1 mm          | 1 – 5 mm              | > 5 mm                |                       |           |         |
|            |                                       | <b>Puntuación</b>       | <b>6</b>               | <b>5</b>            | <b>3</b>              | <b>1</b>              | <b>0</b>              |           |         |
|            | Rugosidad                             | Muy Rugosa              | Rugosa                 | Ligeramente Rugosa  | Ondulada              | Suave                 |                       |           |         |
|            |                                       | <b>Puntuación</b>       | <b>6</b>               | <b>5</b>            | <b>3</b>              | <b>1</b>              | <b>0</b>              |           |         |
|            | Relleno                               | Ninguno                 | Relleno Duro < 5 mm    | Relleno Duro > 5 mm | Relleno Blando < 5 mm | Relleno Blando > 5 mm |                       |           |         |
|            |                                       | <b>Puntuación</b>       | <b>6</b>               | <b>4</b>            | <b>2</b>              | <b>2</b>              | <b>0</b>              |           |         |
| Alteración | Inalterada                            | Ligeramente alterada    | Moderadamente alterada | Muy alterada        | Descompuesta          |                       |                       |           |         |
|            | <b>Puntuación</b>                     | <b>6</b>                | <b>5</b>               | <b>3</b>            | <b>1</b>              | <b>0</b>              |                       |           |         |
| 5          | Flujo de agua en las discontinuidades | Relación P /σ principal | 0                      | 0-0.1               | 0.1-0.2               | 0.2-0.5               | >0.5                  |           |         |
|            |                                       | Condiciones General     | Completamente Secas    | Ligeramente Húmedas | Húmedas               | Goteando              | Agua Fluyendo         |           |         |
|            | <b>Puntuación</b>                     | <b>15</b>               | <b>10</b>              | <b>7</b>            | <b>4</b>              | <b>0</b>              |                       |           |         |

**Figura 2. Clasificación geomecánica**

Fuente: (Bieniawski, 1989) modificada por (González, Ferrer, L, y Oteo, 2004)

| CLASE | CALIDAD   | VALORACIÓN RMR | COHESIÓN                 | ÁNGULO DE ROZAMIENTO |
|-------|-----------|----------------|--------------------------|----------------------|
| I     | Muy buena | 100 - 81       | > 4 kg/cm <sup>3</sup>   | > 45°                |
| II    | Buena     | 80 - 61        | 3 - 4 kg/cm <sup>3</sup> | 35° - 45°            |
| III   | Media     | 60 - 41        | 2 - 3 kg/cm <sup>3</sup> | 25° - 35°            |
| IV    | Mala      | 40 - 21        | 1 - 2 kg/cm <sup>3</sup> | 15° - 25°            |
| V     | Muy mala  | < 20           | < 1 kg/cm <sup>3</sup>   | < 45°                |

**Figura 3. Calidad del macizo rocoso en relación al índice de RMR**

Fuente: (González, Ferrer, L, & Oteo, 2004)

### Causas de movimiento de laderas

La distribución espacial y temporal de los movimientos de ladera está condicionada por factores propios de la ladera y/o factores externos a ella, estos factores se clasifican en tres grupos (Suarez J. , 1998).

- **Condiciones originales del talud**, que determinan la susceptibilidad al deterioro y son inherentes a la topografía, geología y características de los materiales, condiciones ambientales generales, cobertura vegetal, etc.
- **Factores de deterioro**, que producen una modificación lenta de las condiciones originales del talud y son capaces de producir movimientos leves.
- **Factores detonantes**, que activan el movimiento.

Otros autores como (Mora & Vahrson, Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Bulletin of the Association of Engineering and Geologist, 31(1), 49-58., 1994) y (Soeters & Van, 1996) distinguen solo dos grupos de factores, los debidos a la susceptibilidad y los de disparo (Mora & Vahrson, Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Bulletin of the Association of Engineering and Geologist, 31(1), 49-58., 1994).

**Factores de susceptibilidad.** - aquellos que intrínsecamente forman parte de las propiedades y comportamiento del medio, es decir, que constituyen los elementos pasivos. Tal es el caso de la pendiente, la litología y las condiciones naturales de humedad, además de muchos otros dependiendo de las características locales de cada talud.

- **Factores de disparo (detonante).** - aquellos factores externos que inducen a un comportamiento dinámico activo, y que a partir de las condiciones iniciales generarán mayor o menor intensidad del fenómeno.

## SUSCEPTIBILIDAD

En el tratamiento del riesgo de los movimientos de laderas se utilizar el concepto de susceptibilidad (Aritizábal & Yokota, 2006) que hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos (Santacana, 2001), por tanto, requiere del reconocimiento de los factores condicionantes y desencadenantes que concurren (Ayala-Carcedo, 2002).

El primer paso en la evaluación del riesgo consiste en la estimación de la peligrosidad a roturas de laderas y ésta, a su vez, se evalúa determinando los siguientes aspectos (Varnes & Cruden & Varnes, 1984); (Hartlen & Viberg, 1988).

- Evaluar la susceptibilidad de la ladera a las roturas por deslizamientos.

- Determinar el comportamiento del deslizamiento (movilidad y dimensiones del mismo).
- Establecer la potencialidad del fenómeno (probabilidad de ocurrencia).

Para evaluar el grado de susceptibilidad del terreno frente a los deslizamientos existen diversas aproximaciones, basadas la mayor parte de ellas, en la determinación de los factores que influyen en la aparición de las roturas. En general, estos factores se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica mediante los mapas de susceptibilidad (Hartlen & Viberg, 1988); (Corominas & Garcia, 1992); (van Westen, 1993); (Carrara, 1995).

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Muy alta</b> | <p>La deras con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas, saturadas y muy fracturadas; con discontinuidades desfavorables, depósitos superficiales inconsolidados, laderas con pendientes entre 30° a 45°, movimientos en masa anteriores y/o antiguos. En estos sectores existe alta posibilidad de que ocurran movimientos en masa.</p> <p>deras con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas, saturadas y muy fracturadas; con discontinuidades desfavorables, depósitos superficiales inconsolidados, laderas con pendientes entre 30° a 45°, movimientos en masa anteriores y/o antiguos. En estos sectores existe alta posibilidad de que ocurran movimientos en masa.</p> <p>deras con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas, saturadas y muy fracturadas; con discontinuidades desfavorables, depósitos superficiales inconsolidados, laderas con pendientes entre 30° a 45°, movimientos en masa anteriores y/o antiguos. En estos sectores existe alta posibilidad de que ocurran movimientos en masa.</p> <p>laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas, saturadas y muy fracturadas; con discontinuidades desfavorables, depósitos superficiales inconsolidados, laderas con pendientes entre 30° a 45°, movimientos en masa anteriores y/o antiguos. En estos sectores existe alta posibilidad de que ocurran movimientos en masa.</p> |
| <b>Alta</b>     | Laderas que tienen zonas de falla, masas de roca con meteorización alta a moderada, fracturadas con discontinuidades desfavorables; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, laderas con pendientes entre 25° a 45°, donde han ocurrido movimientos en masa o existe la posibilidad de que ocurran.  |
| <b>Media</b>    | <p>Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados, laderas con pendientes entre 20° y 30°, donde han ocurrido algunos movimientos en masa y no existe completa seguridad de que no ocurran movimientos en masa. Estos pueden ser “detonados” por sismos y lluvias excepcionales</p> <p>Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados, laderas con pendientes entre 20° y 30°, donde han ocurrido algunos movimientos en masa y no existe completa seguridad de que no ocurran movimientos en masa. Estos pueden ser “detonados” por sismos y lluvias excepcionales</p>  |

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Baja</b>     | Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionados, no saturados, con pocas discontinuidades favorables. Pendientes entre 10° a 20°. Zonas que tienen pocas condiciones para originar movimientos en masa, salvo que puede ser afectada por movimientos en masa ocurridos en zonas de susceptibilidad alta a muy alta cercanas a ellas, detonadas principalmente por lluvias excepcionales |
| <b>Muy baja</b> | Laderas no meteorizadas, con discontinuidades favorables. Terrenos con pendientes menores a 5° donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos  |

**Figura 4.** *Criterios de susceptibilidad por movimientos en masa*

Fuente: (Villacorta, Fidel Y Zavala, 2012)

### **Sistema de información geográfica en estudios de deslizamientos**

La automatización de los bancos de datos y la enorme capacidad de procesado de los ordenadores, han posibilitado la aplicación de técnicas estadísticas para explorar las interrelaciones entre los factores y para evaluar su contribución relativa a la rotura, especialmente cuando hay mucha información y el área de estudio es grande. Además, la utilización habitual de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha supuesto un gran desarrollo de las técnicas de análisis, aprovechando las capacidades de esta herramienta. En conjunto, todo ello ha supuesto un gran avance en la elaboración de mapas de amenaza, aumentando el grado de objetividad.

Las primeras aplicaciones de los SIG a la cartografía de amenazas datan de finales de los setenta (Newman, 1978). Durante los años ochenta su uso se incrementó mucho debido al desarrollo de sistemas comerciales y a las altas capacidades de los ordenadores personales.

Por último, en los años noventa se han convertido en una herramienta imprescindible. Estudios acerca de las potencialidades del uso de los SIG para la cartografía de amenazas debidas a movimientos de terreno se pueden encontrar en (van Westen, 1993) , (Carrara, 1995). (van Westen, 1993) y (Soeters & Van, 1996) hacen una revisión del uso de los Sistemas de Información Geográfica y de la teledetección para la cartografía de amenazas a distintas escalas, concluyendo que los métodos estadísticos son recomendables a escalas intermedias (1:25.000). Ahora bien, “las aplicaciones de sistemas de información geográfica no han cambiado de forma importante la naturaleza de los datos utilizados para evaluar las amenazas debidas a deslizamientos; la mejora más importante ha consistido

en el uso de parámetros morfométricos derivados de modelos digitales de terreno (Carrara, 1995). De cualquier forma, en la mayoría de los casos su exactitud no ha sido suficientemente evaluada”.

### **Sistema de información geográfica en la cartografía de susceptibilidad**

Las primeras aplicaciones con prototipos de SIG en zonificación de peligrosidad susceptible a deslizamientos datan de los años 70 (Newman, 1978), y (Radbruch-Hall, 1978). En ellas se utilizaba el análisis cualitativo, combinando factores, y el estadístico multivariante. Durante los años 80 el desarrollo comercial de los sistemas SIG, así como la mayor disponibilidad de los ordenadores personales incrementó el uso de los SIG en los análisis de susceptibilidad. Ejemplos de análisis cualitativo se encuentran en (Stakenborg, 1986) (Brabb E. , 1984) y (Brabb, 1989) y ejemplos de Análisis Estadístico Multivariante se pueden encontrar en y (Bernknopf, 1988). En los años 90, con la oferta comercial y la ampliación de las capacidades de los SIG, han aumentado las aplicaciones sobre el análisis de susceptibilidad a los deslizamientos (Kingsbury, Hastie, & Harrington, 1992); (Carrara, 1995). (van Westen, 1993) publicó un manual completo sobre la aplicación de un SIG en la zonificación de inestabilidad de laderas.

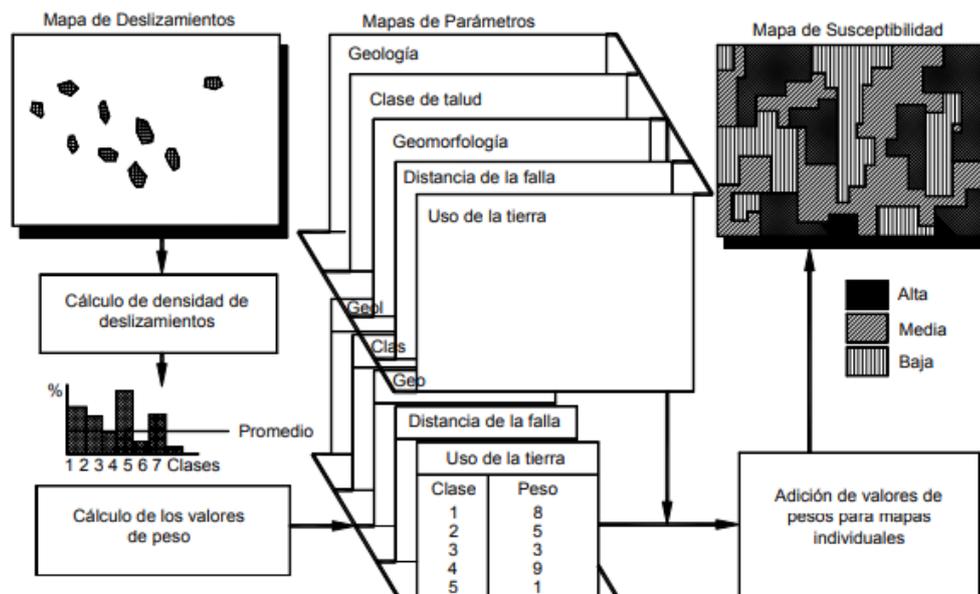
Los mapas de susceptibilidad responden a una necesidad, la de evaluar la propensión de las zonas no movidas o afectadas a presentar problemas. Esto es justamente lo que les diferencia de los mapas geomorfológicos, que representan básicamente las zonas movidas con todos sus atributos (Ayala-Carcedo, 2002) Ya desde la década de 1960 (Valentini, 1967) han ido apareciendo sucesivamente diversos tipos de mapas y métodos sencillos de Análisis de la Susceptibilidad (Brabb E. T., 1972).

A partir de 1990 aproximadamente, la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG), una herramienta que permitió el proceso integrado de la información, ha posibilitado la incorporación de tratamientos más sofisticados de los datos y posibilitado una confección más rápida y barata de los mapas a pesar del escaso carácter “amigable” de alguno de los sistemas más utilizados, lo cual se traducirá probablemente en un incremento significativo de su producción en las próximas décadas (España, 2003).

## Evaluación Espacial Multicriterio

La evaluación multicriterio puede definirse como un conjunto de técnicas a asistir en los procesos de toma de decisiones (Gomez & Barredo, 2005).

La evaluación multicriterio es un conjunto de técnicas que facilitan el análisis de factores y restricciones para obtener alternativas. Estas técnicas se basan en la ponderación y compensación de variables que van a influir de manera positiva (aptitud) o negativa (impacto) sobre actividad objeto de decisión y que deben ser inventariados y clasificados previamente (Molero, Grindlay, & Asensio Rodriguez, 2007).



**Figura 5.** GISs para el análisis estadístico, en la elaboración de mapas de susceptibilidad

Fuente: (Soeters y Van, 1996)

En este estudio se considera conceptos, modelos, métodos y herramientas para evaluar y jerarquizar para así tener un resultado a partir de varios criterios. Esta evaluación está relacionada con el análisis espacial para facilitar la elección de decisiones. Es importante considerar criterios que pueden influir en la respuesta final, el ámbito territorial, donde aspectos ambientales, sociales, económicos y políticos son importantes, es por ello que esta situación obliga a evaluación multicriterio sean abiertas y flexibles, con la finalidad

que se ajuste a las diversas visiones que pueden surgir de la realidad del territorio (Romero, 2016)

La diversidad de juicios y valores varían de un individuo a otro por lo que es fundamental contar con una nueva ciencia para definir juicios y prioridades que permitan llegar a la objetividad (Saaty, 1977) citado en (Cruden & Varnes, 1996).

La EMC puede ser orientada hacia dos direcciones descriptivas y normativas. En la decisión descriptiva que aplica la lógica y explica el “como es” de la decisión tomada, mientras que en la decisión normativa se debe encontrar el “cómo debería ser” determinada situación, además destaca el desarrollo, evaluación y aplicación de técnicas para facilitar la toma de decisiones (Caloni, 2010).

La EMC tiene los siguientes componentes (Gomez & Barredo, 2005).

- Los objetivos son partes fundamentales, ya que al plantear se identifica hacia donde se desea llegar, es decir, los lineamientos que van a regir a los parámetros en la evaluación.
- Los criterios que están dados por los factores, que es la información gráfica que se va a utilizar para analizar y definir las alternativas, y las restricciones que serán las que den peso a los factores.
- Las reglas de decisión con la que se analizara e integrara criterios para su posterior valoración.
- La evaluación que contempla la normalización, ponderación y jerarquización que los resultados obtenidos de la regla de decisión aplicada.
- La organización de la EMC que implica las matrices que se utilizaran para la calificación de las alternativas en base a los criterios.

Esta síntesis de componentes es semejante a la propuesta, que consiste en los siguientes puntos fundamentales (Munda, 1998):

- Definición y estructura del problema en base a la información disponible, fundamental para identificar objetivos
- Definición de un conjunto de criterios de evaluación
- Elección entre métodos continuos y discretos, a la metodología que se utilizara para el análisis de criterios

- Identificación de sistemas de preferencia de los tomadores de decisiones (procedimiento interactivo o sistemas de ponderación)

**Criterios.** – Los factores geográficos o territoriales de proximidad, como menciona Aguilera citado en (Molero, Grindlay, & Asensio Rodriguez, 2007) pueden ser físicas (distancias a zonas urbanas o de tiempo (accesibilidad)). Estos criterios son fundamentales y van de la mano sobre todo en los casos de localización de instalaciones, donde es primordial su ubicación con respecto a los centros poblados, la accesibilidad vial con que contaría para reducir costos de movilización y tiempo, además de contemplar variables que tienen incidencia en el ámbito ambiental como es la proximidad a la fuente de agua para su conservación (Romero, 2016).

**Método De Evaluación Multicriterio.** - Sumatoria lineal ponderada (simple additive weighting method: saw) la sumatoria lineal ponderada (simple additive weighting methods SAW or weighted linear combination, WLC) son las técnicas más comúnmente utilizadas para llevar a cabo toma de decisiones espaciales multiatributo. “Estas técnicas aditivas a compensatorias están basadas en el concepto de media ponderada” (Lamelas, 2009).

## 1.2. Formulación del problema

En consecuencia a la problemática planteada a causa de los deslizamiento se pretende a través de la correlación de datos espaciales como pendientes, geología, geomorfología, Zonas de influencia de fallas, infraestructura vial, la cobertura vegetal, uso del suelo y eventos de deslizamientos georreferenciados, elaborar una Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) para delimitar las zonas susceptibles a deslizamientos de tierra y así generar un mapa de zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos.

En consecuencia, se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta: **¿Cuáles son las zonas susceptibles a deslizamientos en la carretera san juan – Cajamarca ubicada en el Departamento de Cajamarca?**

### 1.3. Justificación

Este estudio pretende contribuir al mejoramiento del lugar para futuros riesgos de susceptibilidad a deslizamiento de la carretera san juan -Cajamarca. Y así aportar un conocimiento de las características del lugar. Este estudio contará con información geotécnica y geo estadística, esta última aportada por el software ArcGIS con información más detallada por medio del cual se aportará a un mejor conocimiento del comportamiento y las características de las rocas y suelos, así como la identificación de zonas de riesgos de susceptibilidad en un mapa detallado. Este estudio servirá además como una línea base para futuras investigaciones y de esta manera se contará con información del lugar para la prevención de posibles amenazas de deslizamiento de laderas.

### 1.4. Limitaciones

las principales limitaciones son:

- Poca información geológica de la zona
- Extensión de la zona a estudiar
- Accesibilidad a ciertas zonas para el análisis por su pronunciada inclinación.

### 1.5. Objetivos

#### 1.5.1. Objetivo general

Evaluar la susceptibilidad a deslizamientos de laderas mediante técnicas de evaluación espacial multicriterio aplicando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la carretera san juan Cajamarca

#### 1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar las Estaciones geomecánicas (puntos de muestreo), para la determinación del factor de seguridad en taludes, mediante el software slide.
- Generar un mapa ráster representativo de los valores de factor de seguridad mediante técnicas de interpolación gis.

- Elaborar mapas ráster de las variables condicionantes, para la representación gráfica de los resultados.
- Determinar los pesos de influencia mediante el proceso de análisis jerárquico (AHP), para uso en el software ArcGIS.
- Aplicar la técnica de Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) para la generación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos y su posterior interpretación.

### **1.5.3. Hipótesis**

Mediante la aplicación de la herramienta GIS del software ArcGIS usando técnicas de Evaluación Espacial Multicriterio, es posible identificar y delimitar áreas propensas a deslizamientos, ya que así lo demuestran los deslizamientos que ocurren y han ocurrido a lo largo de su trayectoria.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Esta investigación tiene un diseño transeccional descriptivo, el cual recopila datos en un solo momento, en un tiempo único. Por lo que la presente investigación a realizarse es una investigación **No Experimental Cuantitativa Con Diseño Transeccional Descriptivo**. Basamos la presente investigación con datos de análisis de mapeo geomecánico de taludes de la carretera de san Juan-Cajamarca, Los mismos que serán empleados para identificar la susceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas de evaluación espacial multicriterio- GIS.

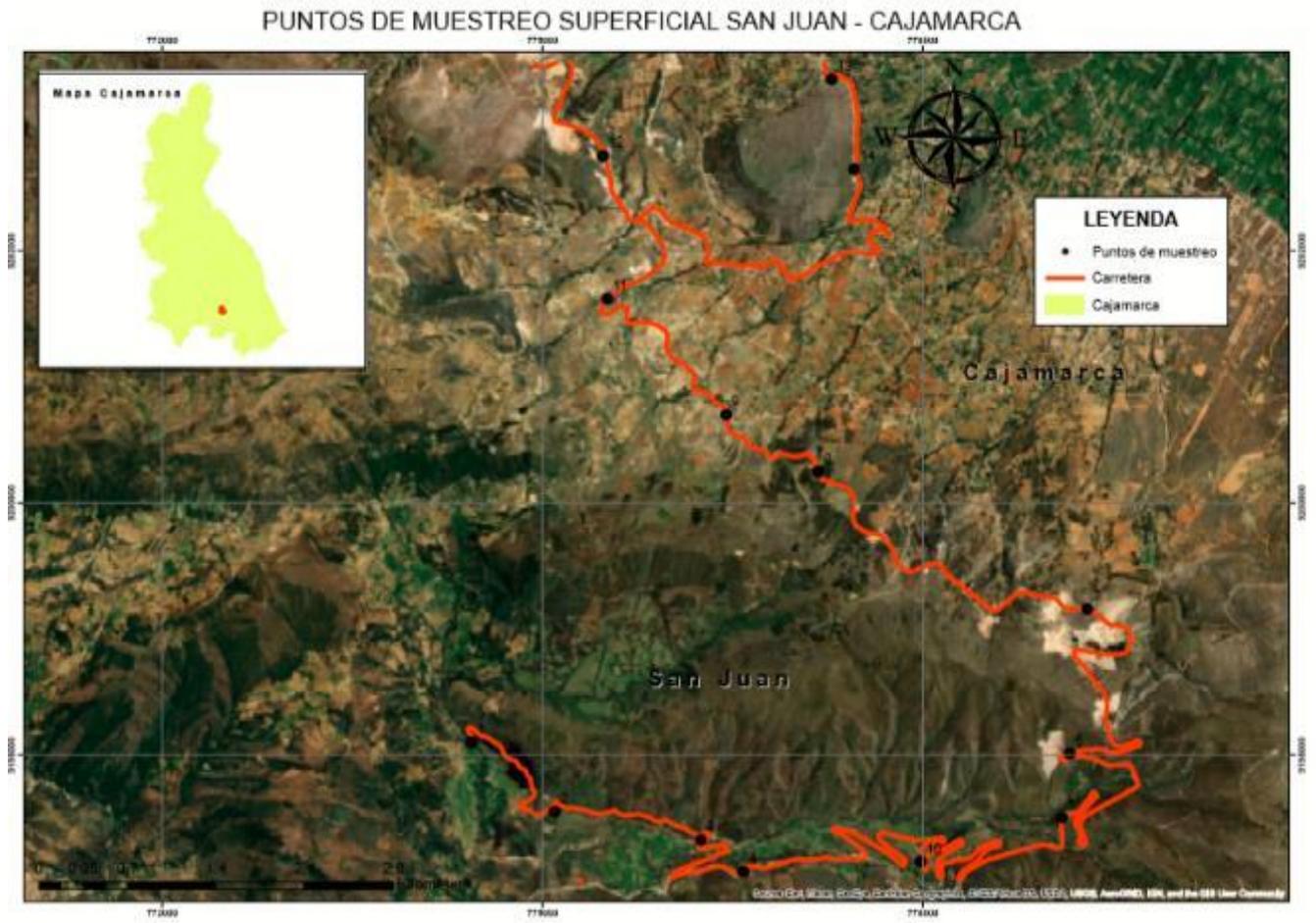
### 2.2. Población y muestra

#### 2.2.1. Población

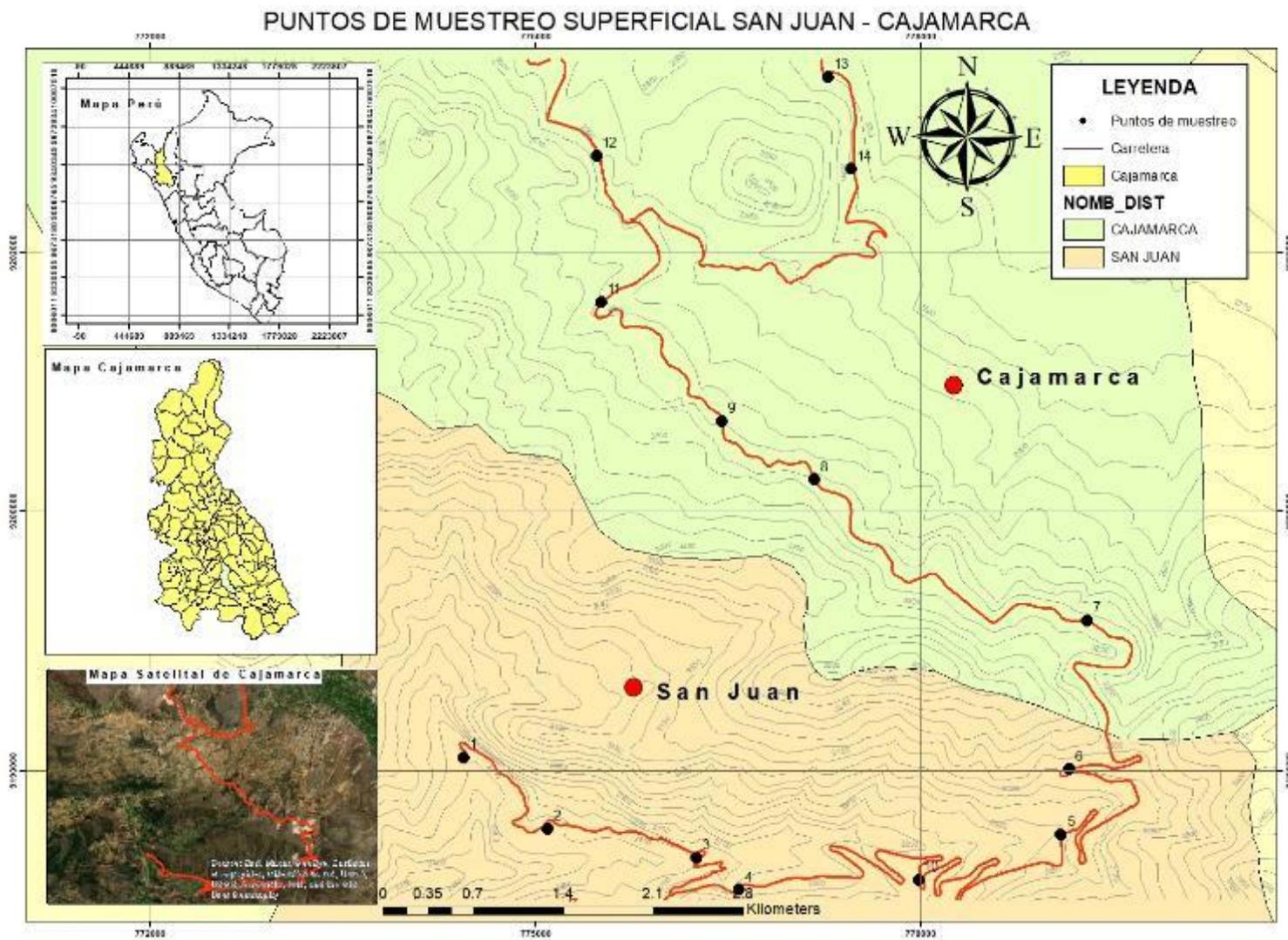
En el presente trabajo de investigación, la población está conformada por los Taludes o laderas de las progresivas de la carreta san juan- Cajamarca

#### 2.2.2. Muestra (muestreo o selección)

En la investigación se consideró 5 muestras de Suelo y 9 muestras de rocas, de la carretera san juan – Cajamarca



Puntos de muestreo, Fuente: (USGS, 2021)



**Figura 6. Ubicación de puntos de muestreo**

## 2.3. Materiales y métodos

### 2.3.1. Materiales

Se utilizó los siguientes

- **Rayador:** Este es un instrumento que se utiliza para el reconocimiento de las propiedades físicas de las muestras.
- **Libreta de Campo:** Es utilizada para la toma de datos de campo y para la realización de los diferentes croquis observados en el campo.
- **Tablero:** Es usado como soporte o plataforma para manipular planos y tablas geomecánicas.
- **Picota:** Este instrumento se utiliza para extracción de muestras de cada salida de campo.
- **Brújula Brunton:** Sirve para medir la orientación e inclinación de las diferentes estructuras, fallas.
- **GPS:** Utilizado para determinar la ubicación del lugar de la toma de datos, configurado en el sistema UTM WGS 1984 Zona 17 Sur.
- **Computadora:** Máquina electrónica que recibe, procesa y analiza datos ingresados.
- **Cámara fotográfica digital:** Dispositivo electrónico usado para capturar y almacenar fotografías, electrónicamente en formato digital.
- **Tablas geomecánicas de RMR**
- **Martillo de Schmidt,** instrumento para hallar la resistencia a compresión uniaxial de una muestra.

### 2.3.2. Métodos

#### **Etapas de Gabinete**

La metodología aplicada para la evaluación de zona de estudio se ha iniciado con la búsqueda, revisión y análisis de la información existente sobre trabajos ya realizados en zonas cercanas a la del estudio, basados en los temas similares para luego procesar la información.

Se consultó tesis, investigaciones, artículos similares a nuestro tema de investigación, se preparó mapas bases, mapa topográfico, geológico e imágenes satelitales y tablas geomecánicas , una vez hecho esto se delimito la zona para su posterior visita.

### **Etapas de Campo**

- En esta etapa se procedió a la recolección de datos geomecánicas, los que serán analizados, permitiéndonos definir la calidad de roca, que nos servirá para el análisis de estabilidad de taludes. Además, se identificará zonas donde exista deslizamientos.
- los mapas base (topográficos, geológicos e imagen satelital) y la interpretación de imágenes realizadas en la etapa preliminar de gabinete, se ubicó el área donde se analizará taludes y deslizamientos.
- Para realizar la toma de datos se utilizó formatos de campo basados en las caracterizaciones geomecánicas de RMR de Bieniawski.
- Los datos recolectados serán apuntados en una libreta, indicando coordenadas para su posterior evaluación y referenciación.

### **Etapas final**

- La información obtenida en campo es llevada al laboratorio donde se harán ensayos de resistencia al esfuerzo cortante y tracción axial
- Esta información obtenida por el laboratorio es procesada e interpretada en gabinete, creando tablas para el análisis correspondiente.
- El posterior uso es la Metodología de Evaluación Multicriterio, para analizar variables obtenidas tanto en campo como en gabinete usando el Software ArcGIS logrando crear mapas de susceptibilidad a deslizamientos.
- Finalmente se analizará los mapas de susceptibilidad detallados, con el que podemos delimitar y definir las posibles zonas, que pueden ser riesgosas y producir un deslizamiento.

## **2.4. Técnicas, instrumentos y recolección y análisis de datos**

### **2.4.1. Técnicas de recolección y análisis de datos**

Se obtuvo los resultados del análisis del mapeo geomecánico y taludes de la carretera san juan- Cajamarca, dicho muestreo se hizo de acuerdo a las tablas de clasificación geomecánica de Bieniawski, 1989, modificada por González, Ferrer, L, & Oteo, 2004 y La Clasificación De Suelos (S.U.C.S.) el muestreo se realizó el 09 de abril del 2019. Las muestras han sido preparadas, protegidas y cubiertas según su tipo de análisis para posteriormente ser transportadas al laboratorio, para la evaluación se realizó ensayos de la resistencia a la compresión simple (Mpa), se realizó ensayos de análisis granulométricos, cálculos de pesos específicos de las muestras, todos ellos en el laboratorio de la universidad privada del norte.

### **2.4.2. Instrumento de investigación**

Para la presente investigación se utilizó como instrumento de investigación los resultados del análisis del mapeo geomecánico y taludes acreditado por el laboratorio de la universidad privada del norte. Asimismo, se usó las tablas de clasificación geomecánica de Bieniawski, 1989, modificada por González, Ferrer, L, & Oteo, 2004 para poder clasificar la calidad del macizo rocoso, además se usó la tabla de Clasificación De Suelos (S.U.C.S.) para la determinación del tipo de suelo.

### **2.4.3. Análisis de datos**

Para el análisis de datos se utilizó los resultados del análisis del mapeo geomecánico y de los taludes para determinar la calidad del macizo rocoso y el tipo de suelo respectivamente y poder identificar las zonas vulnerables, posteriormente se realizó la evaluación de estos datos para determinar la susceptibilidad a deslizamientos mediante la metodología de análisis multicriterio y finalmente realizar gráficas y mapas para su respectivo análisis e interpretación.

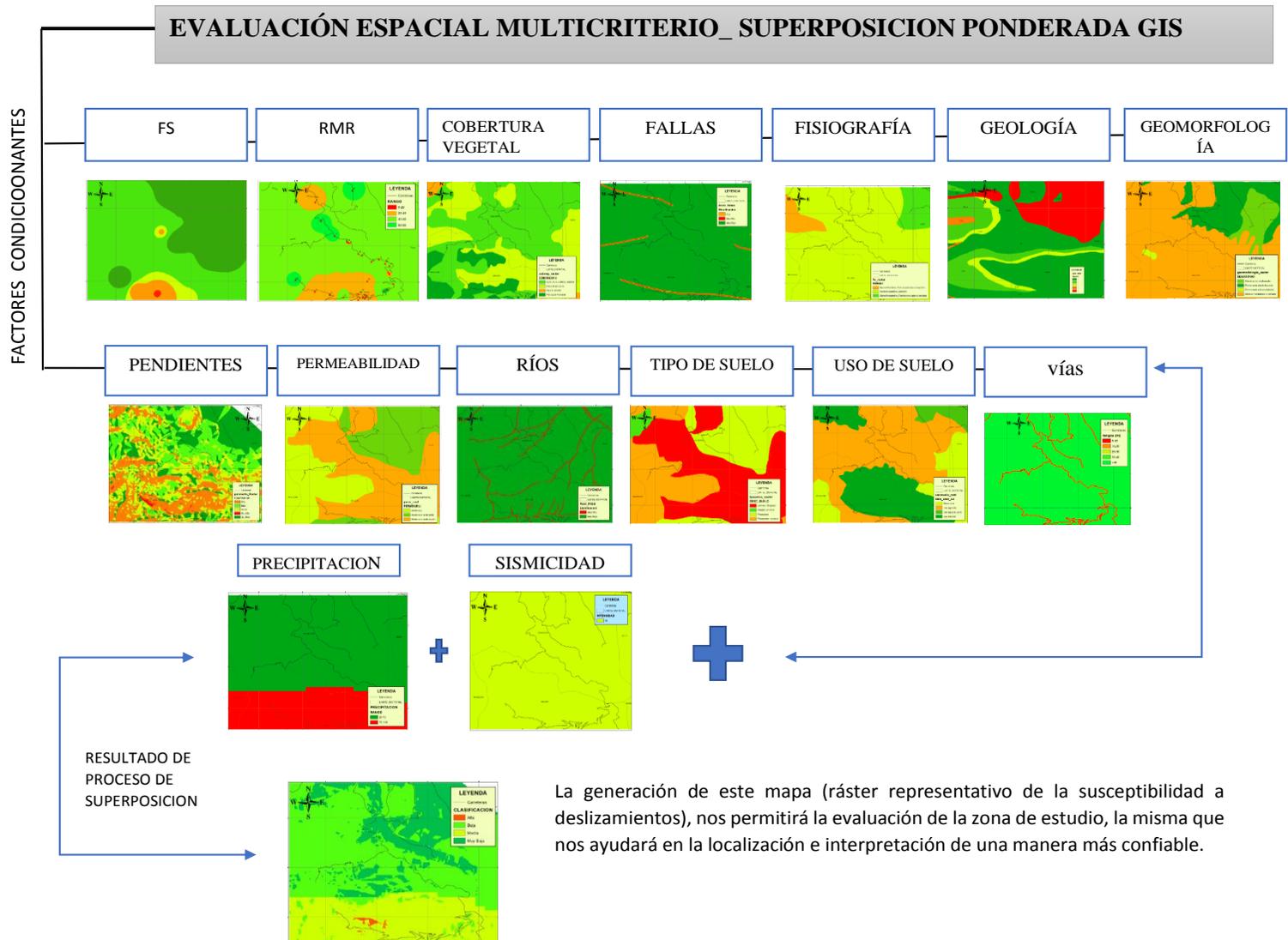
## **2.5. Procedimiento**

Se procedió a recopilar información respecto al objetivo de investigación posterior a ello se colocó los resultados del laboratorio de la universidad privada del norte a una hoja Excel, con el fin de determinar el RMR de cada punto muestreado, por otro lado en el software slide se determinó el factor de seguridad de los taludes muestreados posteriormente se realizó la creación de mapas ráster del RMR y FS (factor de seguridad)

con el fin de identificar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos ,luego se evaluó las variables condicionantes a deslizamientos y convirtiéndolas en mapas ráster, para utilizarlo en el método de análisis multicriterio para así con los resultados anteriores generar un mapa ráster representativo de la zona de estudio y finalmente se elaboraron gráficas para su análisis e interpretación.

### **2.5.1. Aspectos Éticos**

Se consideraron los siguientes aspectos éticos; responsabilidad, un valor importante a la hora de realizar este trabajo, ya que nos permitirá dedicarnos a la investigación y mejorarla, además se consideró la honestidad, el cual es importante en la toma de decisiones y en la elaboración de este trabajo, para ello se citó correctamente las tesis y artículos.



**Figura 7.** metodología de la evaluación espacial multicriterio.

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS

### 3.1. EVALUACION DE LAS ESTACIONES GEOMECHANICAS

La evaluación se desarrollo con respecto a la clasificación SUCS, la recopilación de información de muestreos de calicatas y masizo rocoso fueron procesadas en los ensayos de resistencia de la compresión simple y granulométricos realizados en el laboratorio de la Universidad Privada Del Norte, se ha identificado la presencia de 3 tipos de suelos:

**Tabla 1**  
*Clasificación SUCS de los suelos*

| SIMBOLO DEL GRUPO | SISTEMA USCS DE CLASIFICACION DE SUELOS  |
|-------------------|--|
| GW                | Estos suelos están conformados por grava arenosa bien graduada con poco contenido de material fino (2%).   |
| GP                | Están conformados por gravas arenosas mal gradadas con contenido de humedad de 3.20 % a 4.60 %. Estos suelos se consideran como semicompactos, no presentan plasticidad (debido a la escasa presencia de |
| SP                | Está conformada por arena mal graduadas, arena con grava, con pocos finos o sin ellos  |

### 3.1.1. ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE



**Figura 8.** *Ensayos de resistencia a la compresión simple en el laboratorio*

**Tabla 2**  
*Ensayos de laboratorio*

| MUESTRA | ALTURA(CM) | CARGA (KN) | RESISTENCIA DE<br>LA COMPRESIÓN<br>SIMPLE(MPA) | TIPO DE<br>FORMACION |
|---------|------------|------------|--|----------------------|
| M-1     | 6.2        | 14.3       | 76.4   | Form. Farrat         |
| M-2     | 5.9        | 9.79       | 64.7   | Form. Carhuaz        |
| M-3     | 6.7        | 10.4       | 71.2   | Form. Chimú          |
| M-4     | 7.1        | 9.2        | 62.4   | Form. Santa          |

*Resultados de los Ensayos de resistencia a la compresion simple del laboratorio de las muestras extraidas de la zona de estudio.*

**3.1.2. CALCULO DE PESOS ESPECIFICOS DE LAS MUESTRAS**

**ARENISCA FARRAT**



|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Volumen               | 0.125 L  |
| Volumen (ml)          | 125      |
| Peso(g)               | 325      |
| 1 m <sup>3</sup> a ml | 1000000  |
| 1KN a g               | 101971.6 |

$$\rho = \frac{325 \text{ g}}{125 \text{ ml}} \times \frac{1\,000\,000 \text{ ml}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ KN}}{101\,971.6 \text{ g}} =$$

$$\rho = 25.497$$

**ARENISCA CARHUAZ**



|                             |          |
|-----------------------------|----------|
| VOLUMEN                     | 0.1 L    |
| Volumen (ml)                | 100      |
| PESO(g)                     | 240      |
| 1 m <sup>3</sup> a ml       | 1000000  |
| 1KN a g                     | 101971.6 |
| 1000000 ml a m <sup>3</sup> | 1        |

$$\rho = \frac{240 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times \frac{1\,000\,000 \text{ ml}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ KN}}{101\,971.6 \text{ g}} =$$

$$\rho = 23.535$$

**ARENISCA CHIMU**

| VOLUMEN DE LA MUESTRA   | PESO DE LA MUESTRA  |
|---|---|
|  |  |

|                             |          |
|-----------------------------|----------|
| VOLUMEN                     | 0.225 L  |
| Volumen (ml)                | 225      |
| PESO(g)                     | 565      |
| 1 m <sup>3</sup> a ml       | 1000000  |
| 1KN a g                     | 101971.6 |
| 1000000 ml a m <sup>3</sup> | 1        |

$$\rho = \frac{565 \text{ g}}{225 \text{ ml}} \times \frac{1\,000\,000 \text{ ml}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ KN}}{101\,971.6 \text{ g}} = \rho = 24.625$$

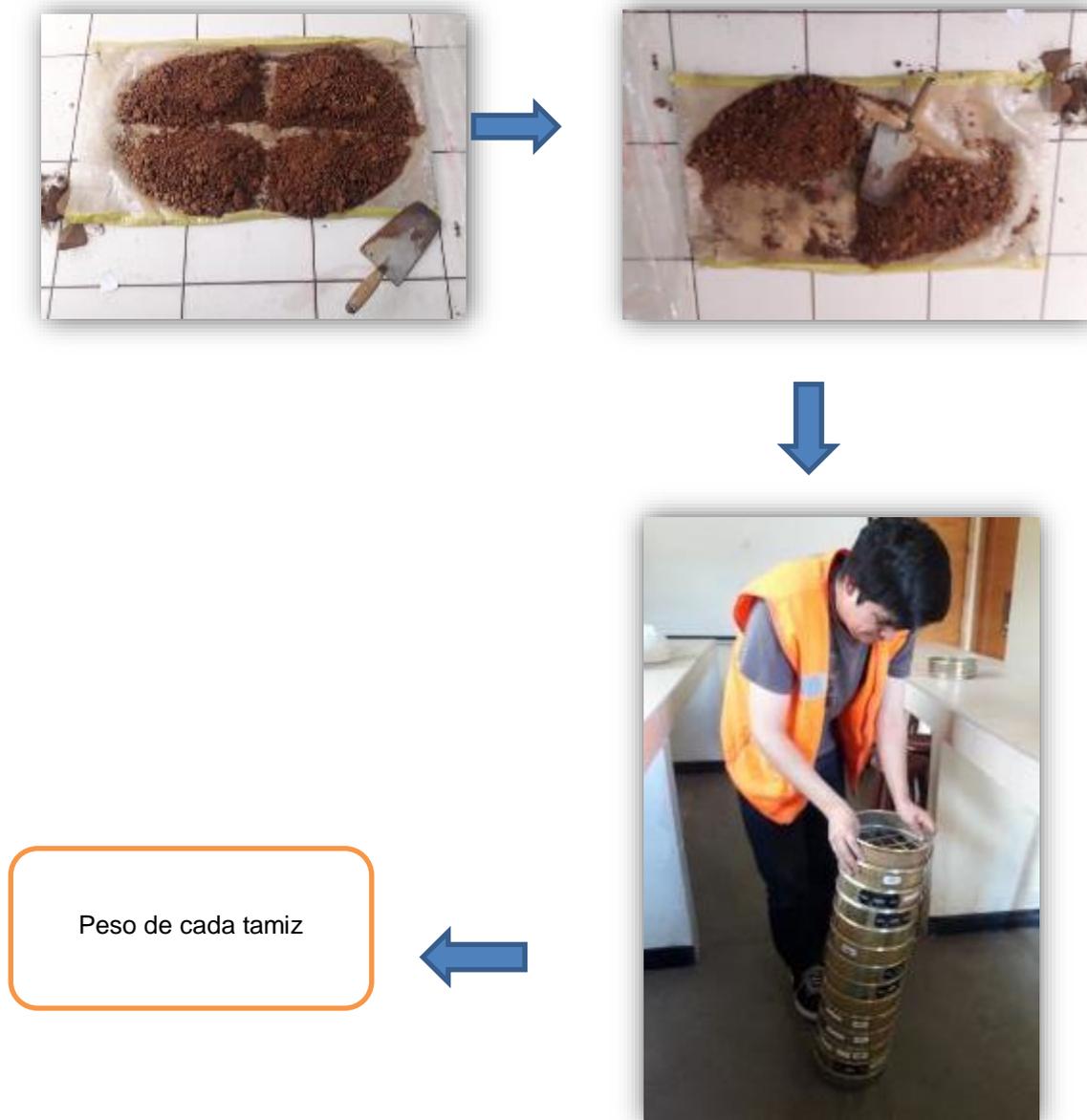
**ARENISCAS CHIMU**

| VOLUMEN DE LA MUESTRA   | PESO DE LA MUESTRA  |
|---|---|
|  |  |

|                             |          |
|-----------------------------|----------|
| VOLUMEN                     | 0.105 L  |
| Volumen (ml)                | 105      |
| PESO(g)                     | 220      |
| 1 m <sup>3</sup> a ml       | 1000000  |
| 1KN a g                     | 101971.6 |
| 1000000 ml a m <sup>3</sup> | 1        |

$$\rho = \frac{220 \text{ g}}{105 \text{ ml}} \times \frac{1\,000\,000 \text{ ml}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ KN}}{101\,971.6 \text{ g}} = \rho = 20.547$$

### 3.1.3. ANALISIS GRANULOMETRICO



**Figura 9.** *proceso de cálculo de pesos de cada tamiz en laboratorio*

### 3.1.4. CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDA DE LAS ESTACIONES GEOMECHANICAS

#### 3.1.4.1. Estación Geomecánica 01

El talud está ubicado en carretera san Juan-Chusac, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo.

Perteneciente al grupo goyllarisquizga, EL talud está constituido por rocas de la Formación Carhuaz (Ki-ca), esta consta de areniscas de grano fino gris verdosas. Conformado por una delgada capa de material cuaternario, compuesta por grava finas limosa rojiza y arenas finas, la superficie del talud está cubierta por una capa delgada de vegetación.

El talud tiene una altura de 30 metros y en otros tramos alcanza los 40 metros. Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas, presentando pendientes de 75° aproximadamente. Según la tabla de numero de golpes con la picota de geologo para romper la roca se obtuvo 50-100 mPa

| Detalles Del Talud |                     |
|--------------------|---------------------|
| Coordenadas        | N<br><b>9197182</b> |
|                    | E <b>776978</b>     |
| Alto               | 30 m                |
| Ancho              | 4 m                 |
| Inclinación        | 75°                 |



**Figura 10.** Talud de la estación 01

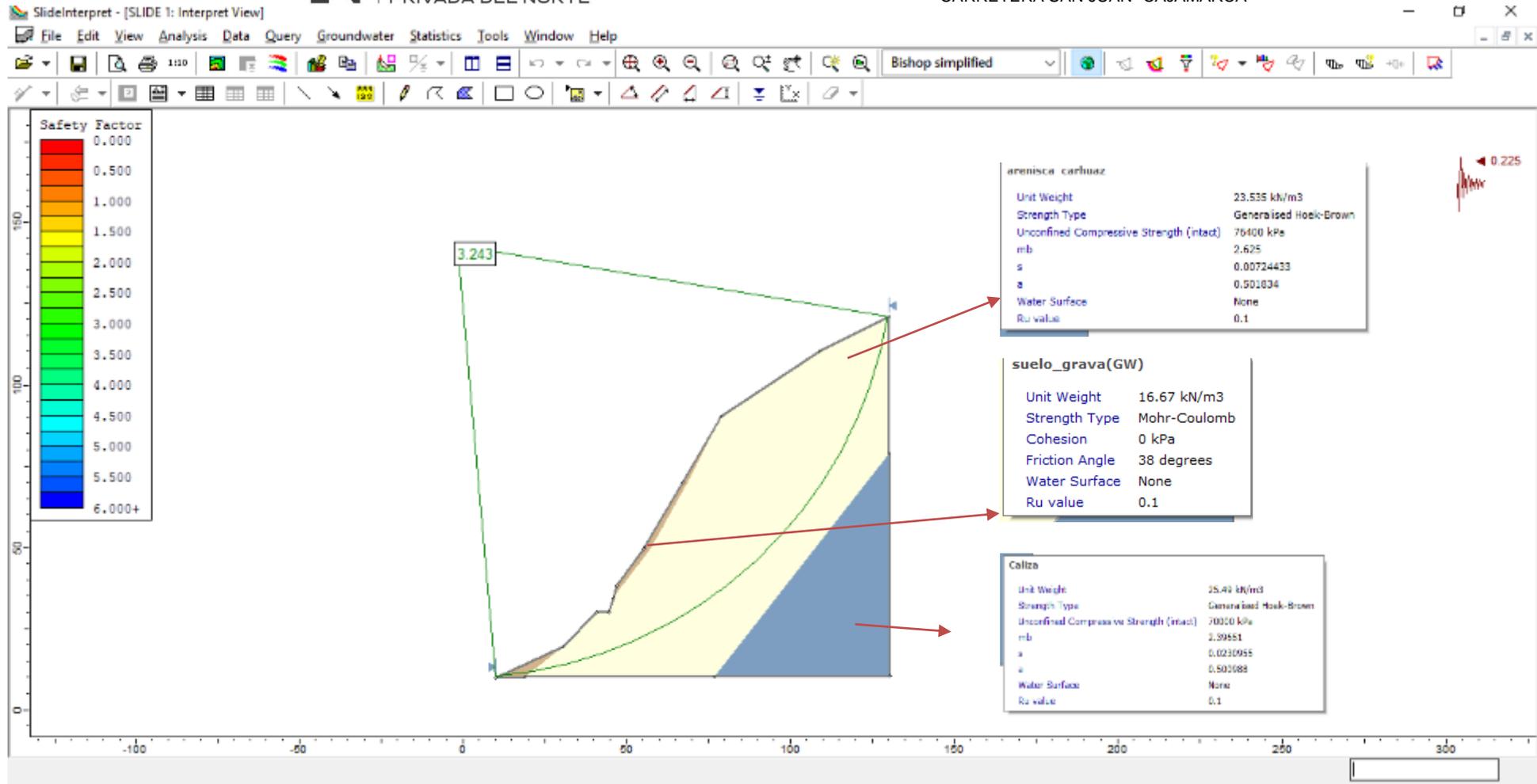
**Tabla 3**  
*resultados de la resistencia de la compresión simple del laboratorio*

| Muestra    | Tipo de roca   | Carga (KN)  | Resistencia de la compresión simple(MPa) | Resistencia de la compresión simple(KPa) | Densidad KN/m3 |
|------------|----------------|-------------|--|--|----------------|
| M-1        | Farrat         | 14.3        | 76.4                                     | 76400                                    | 25.497         |
| <b>M-2</b> | <b>Carhuaz</b> | <b>9.79</b> | <b>64.7</b>                              | <b>64700</b>                             | <b>23.535</b>  |
| M-3        | Chimú          | 10.4        | 71.2                                     | 71200                                    | 24.625         |
| M-4        | Santa          | 9.2         | 62.4                                     | 62400                                    | 20.547         |

Para determinación del factor de seguridad se trabajó el software slide, donde se evaluó las propiedades de los materiales, para ello se consideró El criterio de rotura de macizos rocosos genérica de Hoek-Brown, evaluando el método del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en un metro cuadrado del macizo rocoso



**Figura 11.** *Macizos rocos de la formación Carhuaz*



**Figura 12.** estación geomecánica 01

La evaluación de la estación geomecánica 01, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 3.243**, en cual esta por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud estable y seguro.

### 3.1.4.2. Estación Geomecánica 02

El talud está ubicado en carretera san juan-chusac, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca.

Perteneciente al grupo goyllariscuizga, el talud está constituido por rocas de la Formación Carhuaz (Ki-ca), esta consta de areniscas de grano fino gris verdosas. Conformado por una delgada capa de material cuaternario, compuesta por grava finas limosas rojiza y arenas finas, y la zona está cubierta por vegetación.

El talud tiene una altura de 20 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas; presentando una pendiente de 73° aproximadamente.

Según la tabla de numero de golpes con la picota de geologo para romper la roca se obtuvo 50-100 mPa



**Figura 13.** Talud de estación geomecánicas 2

| Detalles Del Talud                  |           |
|-------------------------------------|-----------|
| coordenadas                         | N 9198116 |
|                                     | E 774432  |
| Alto                                | 20 m      |
| Ancho                               | 5 m       |
| Inclinación                         | 73°       |
| resistencia compresión simple (Mpa) | 64.7      |
| Peso específico( $KN/m^3$ )         | 23.535    |
| Angulo de fricción                  | 38        |
| Cohesión                            | 1         |

Se identificó una delegada capa de material cuaternario, luego se realizó un análisis granulométrico en laboratorio, determinando la presencia de gravas bien graduadas, de acuerdo a la tabla (NAVFAC, 1971), tienen las siguientes características: peso específico entre 19 y 23 KN/m<sup>3</sup>, el ángulo de fricción entre 30° y 38° y la cohesión entre 1 y 30 KN/m<sup>2</sup>, las mismas que nos servirán determinar el factor de seguridad en el software slide.

| Símbolo del grupo | Tipo de suelo   | Cohesión (compactado) t/m <sup>2</sup> | Cohesión (saturado) t/m <sup>2</sup> | Angulo roz. int. efect. $\varphi'$ grados | tg $\varphi'$ |
|-------------------|---|--|--------------------------------------|---|---------------|
| GW                | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y de arena              | 0                                      | 0                                    | > 38°                                     | > 0,79        |
| GP                | Gravas mal graduadas, mezclas de grava y de arena               | 0                                      | 0                                    | > 37°                                     | > 0,74        |
| GM                | Gravas limosas, mezclas de grava-arena-limo mal graduadas       |  |                                      | > 34°                                     | > 0,67        |
| GC                | Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla mal graduadas |  |                                      | > 31°                                     | > 0,60        |

**Figura 14.** Angulo de fricción según Navfac

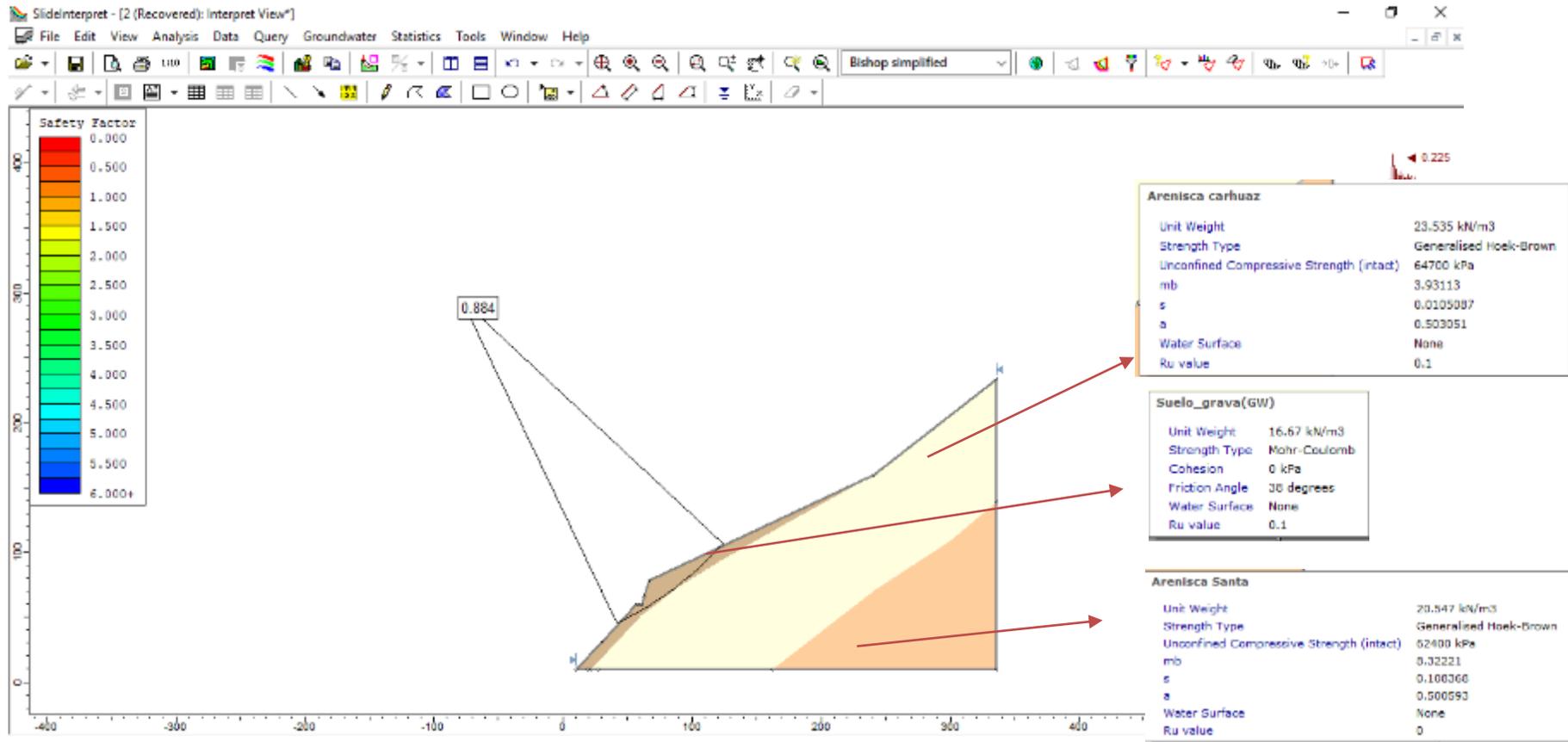
Fuente: (NAVFAC, 1971)

**Tabla 4**

Resultados del análisis granulométrico

| DESCRIPCION DE LA MUESTRA          |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| ZONA : Gavilan                     |                         |
| MUESTRA : 1                        |                         |
| MATERIAL : Analisis granulometrico |                         |
| PESO ESPECIFICO:                   | 16.67 KN/m <sup>3</sup> |
| PESO TOTAL : 2826.34               |                         |
| Grava %                            | 69.590                  |
| Arena %                            | 30.040                  |
| Finos %                            | 0.370                   |
| CLASIFICACION                      |                         |
| SUCS : GW                          |                         |
| GW (Grava bien graduda)            |                         |
| OBSERVACIONES                      |                         |
| Se clasifico con Coeficientes de : |                         |
| Cu=                                | 23.010                  |
| Cc=                                | 3.030                   |

Fuente: elaboración propia



**Figura 15 Estación Geomecánica 02**

la evaluación de la estación geomecánica #2, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 0.884**, en cual está por debajo del valor como mínimo (1.5), considerado un talud inestable e inseguro.

### 3.1.4.3. Estación Geomecánica 03

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo.

El talud está constituido principal mente por suelo, este suelo está depositada sobre la formación Farrat (Ki-f), esta consta de areniscas de grano medio conglomerado fino, estratos gruesos, intercalación de areniscas, con arcillas amarillentas y gris rojizas

El talud está conformado gran parte por material cuaternario, el cual está compuesta por grava finas limosa rojiza y arenas finas, y la zona está cubierta por poca vegetación.

El talud tiene una altura de 40 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas; presentando una pendiente de 46° aproximadamente.

| Detalles Del Talud |           |
|--------------------|-----------|
| Coordenadas        | N 9197514 |
|                    | E 779142  |
| Alto               | 40 m      |
| Ancho              | 7 m       |
| Inclinación        | 46°       |
| Peso específico    | 16.47     |
| Angulo de fricción | 38 °      |
| cohesión           | 1         |



**Figura 16.** Talud de la estación geomecánica 02

En el punto de muestreo se identifico una capa de material cuaternario con una profundidad aproximada de 10 a 15 metros, posteriormente se realizó un análisis granulométrico en laboratorio,

determinando la presencia de gravas bien graduadas, de acuerdo a la tabla (NAVFAC, 1971) tienen las siguientes características: peso específico entre 19 y 23 KN/m<sup>3</sup>, el ángulo de fricción entre 30° y 38° y la cohesión entre 1 y 30 KN/m<sup>2</sup>, las mismas que nos servirán determinar el factor de seguridad en el software slide.

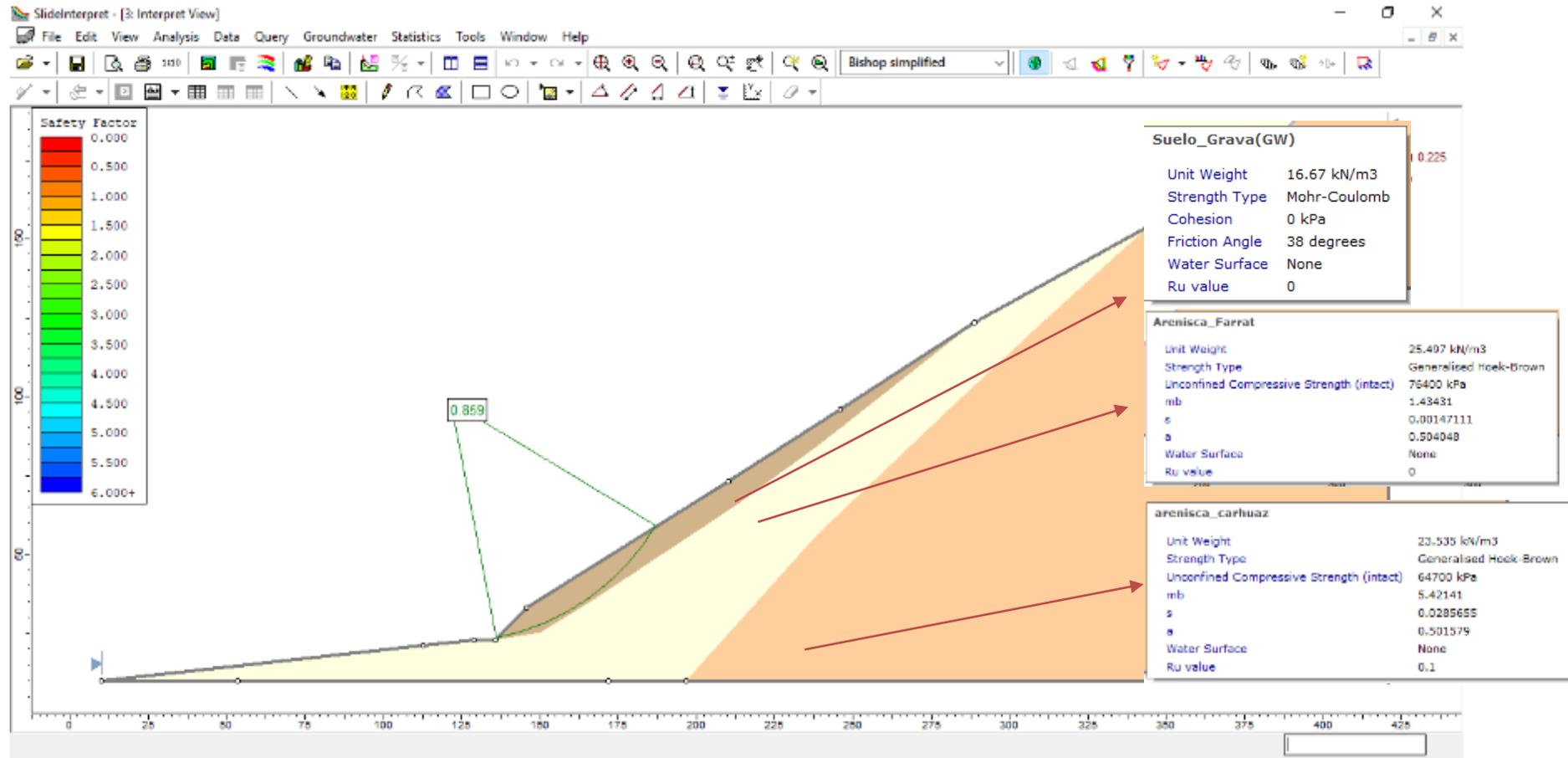


| PROPIEDADES TÍPICAS DE SUELOS COMPACTADOS<br>(NAVFAC, 1971) |  |  |                                      |                                   |        |
|---|--|--|--------------------------------------|-----------------------------------|--------|
| Símbolo del grupo   | Tipo de suelo                                      | Cohesión (compactado) t/m <sup>2</sup> | Cohesión (saturado) t/m <sup>2</sup> | Angulo roz. int. efect. φ' grados | tg ψ'  |
| GW  | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y de arena | 0                                      | 0                                    | > 38°                             | > 0,79 |

Fuente: (NAVFAC, 1971)

**Tabla 5**  
*Resultados del análisis granulométrico*

| DESCRIPCION DE LA MUESTRA          |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| ZONA :                             | Gavilan                 |
| MUESTRA :                          | 1                       |
| MATERIAL :                         | Analisis granulometrico |
| PESO ESPECIFICO:                   | 16.67 KN/m <sup>3</sup> |
| PESO TOTAL :                       | 2826.34                 |
| Grava %                            | 69.590                  |
| Arena %                            | 30.040                  |
| Finos %                            | 0.370                   |
| CLASIFICACION                      |                         |
| SUCS :                             | GW                      |
| GW (Grava bien graduda)            |                         |
| OBSERVACIONES                      |                         |
| Se clasifico con Coeficientes de : |                         |
| Cu=                                | 23.010                  |
| Cc=                                | 3.030                   |



**Figura 17** Estación Geomecánica 03

la evaluación de la estación geomecánica #3, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 0.859**, en cual está por debajo del valor como mínimo (1.5), considerado un talud inestable e inseguro.

#### 3.1.4.4. Estación Geomecánica 04

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca.

El talud está constituido principalmente por suelo, este suelo está depositado sobre la formación Farrat (Ki-f), esta consta de areniscas de grano medio conglomerado fino, estratos gruesos, intercalación de areniscas, con arcillas amarillentas y gris rojizas

La otra parte del talud está conformado por material cuaternario, el cual está compuesta por grava finas limosa rojiza y arenas finas, y la zona está cubierta por poca vegetación.

El talud tiene una altura de 15 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas; presentando una pendiente de 60° aproximadamente



**Figura 18** Talud de la estación geomecánica 04

En el punto de muestreo se pudo identificar una capa de material cuaternario de menos profundidad en parte superior, en la cual se identificó presencia del macizo rocoso perteneciente a la formación Farrat, posteriormente se realizó un análisis de compresión simple detallándose en la tabla; y un análisis granulométrico en el laboratorio, determinando la presencia de gravas mal graduadas, de acuerdo a la tabla (NAVFAC, 1971) tienen las siguientes características: peso específico entre 19 y 23 KN/m<sup>3</sup>, el ángulo de fricción de 37° y la cohesión entre 1 y 30 KN/m<sup>2</sup>.

Para este caso es necesario la evaluación de ambos parámetros, roca y suelo.

**Tabla 6**  
*Resultados de la resistencia de la compresión simple del laboratorio*

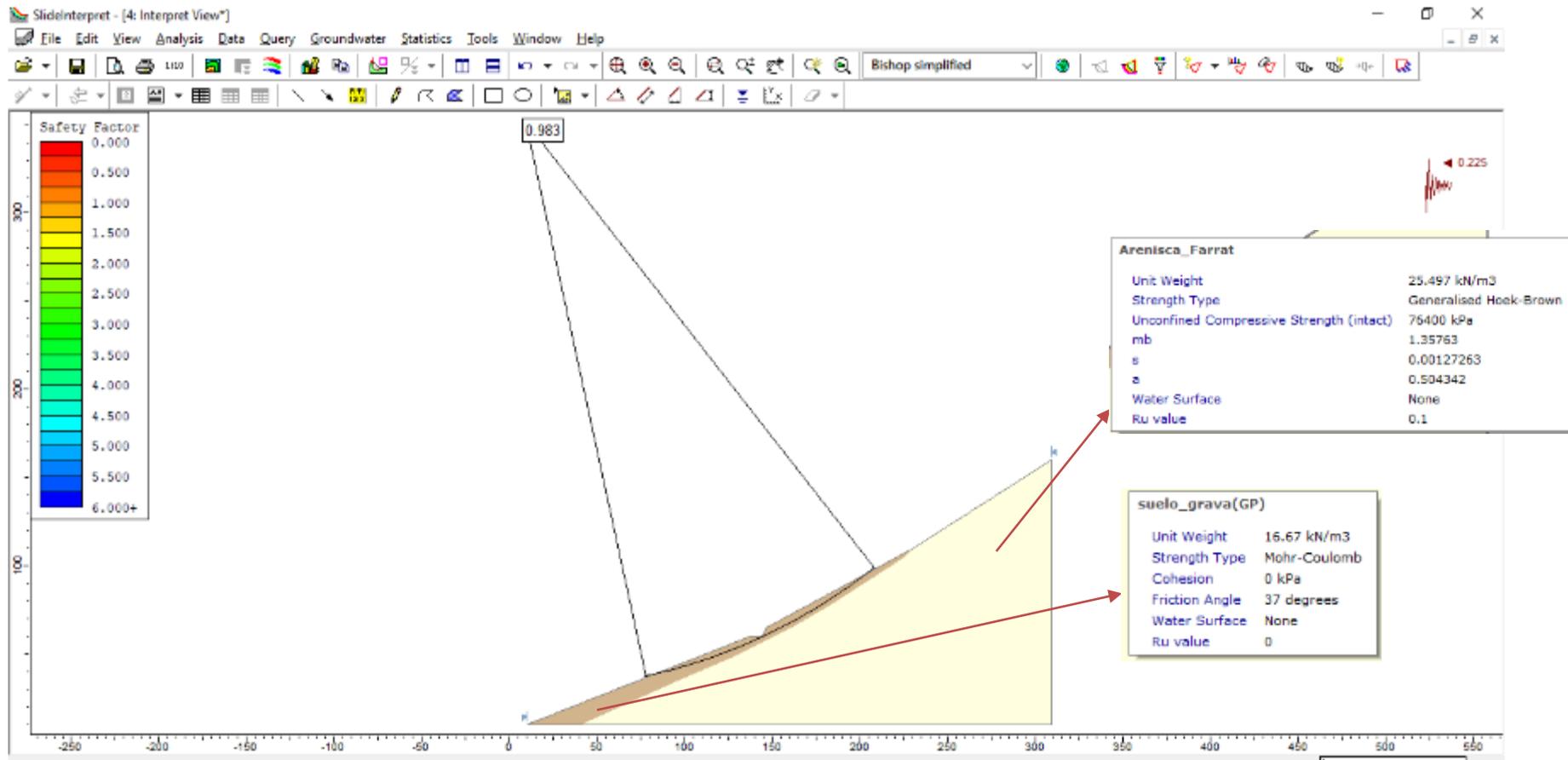
| Muestra | Tipo de roca | Carga (KN) | Resistencia de la compresión simple(MPa) | Resistencia de la compresión | Densidad KN/m3 |
|---------|--------------|------------|--|------------------------------|----------------|
| M-1     | Farrat       | 14.3       | 76.4                                     | 76400                        | 25.497         |
| M-2     | Carhuaz      | 9.79       | 64.7                                     | 64700                        | 23.535         |
| M-3     | Chimú        | 10.4       | 71.2                                     | 71200                        | 24.625         |
| M-4     | Santa        | 9.2        | 62.4                                     | 62400                        | 20.547         |

| PROPIEDADES TÍPICAS DE SUELOS COMPACTADOS<br>(NAVFAC, 1971) |  |  |                                      |  |            |
|---|--|--|--------------------------------------|--|------------|
| Símbolo del grupo   | Tipo de suelo                                      | Cohesión (compactado) t/m <sup>2</sup> | Cohesión (saturado) t/m <sup>2</sup> | Angulo roz. int. efect. $\phi'$ grados | tg $\phi'$ |
| GW  | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y de arena | 0                                      | 0                                    | > 38°                                  | > 0,79     |
| GP  | Gravas mal graduadas, mezclas de grava y de arena  | 0                                      | 0                                    | > 37°                                  | > 0,74     |

**Tabla 7**  
*Resultados del análisis granulométrico*

| DESCRIPCION DE LA MUESTRA          |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| ZONA                               | : Gavilan                 |
| MUESTRA                            | 2                         |
| MATERIAL                           | : Analisis Granulometrico |
| PESO ESPECIFICO                    | 16.67 KN/m3               |
| PESO TOTAL                         | 2414.72 g                 |
| Grava %                            | 51.750                    |
| Arena %                            | 47.380                    |
| Finos %                            | 0.870                     |
| <b>CLASIFICACION</b>               |                           |
| SUCS                               | : GP                      |
| GP (Grava mal graduada)            |                           |
| <b>OBSERVACIONES</b>               |                           |
| Se clasifico con Coeficientes de : |                           |
| Cu=                                | 21.042                    |
| Cc=                                | 0.985                     |

| Detalles Del Talud            |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| coordenadas                   | N 9197568<br>E 779347 |
| Alto                          | 15 m                  |
| Ancho                         | 5.6 m                 |
| Inclinación                   | 60 °                  |
| resistencia compresión simple | 76.4 MPa              |
| Angulo de fricción            | 37°                   |
| cohesión                      | 1                     |



**Figura 19** Estación Geomecánica 04

la evaluación de la estación geomecánica #4, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 0.983**, en cual está por debajo del valor como mínimo (1.5), considerado un talud inestable e inseguro.

### 3.1.4.5. Estación Geomecánica 5

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo, este talud está ligeramente alterado por la meteorización.

El talud está constituido principalmente por suelo, situado sobre la formación Farrat (Ki-f), esta consta de areniscas de grano medio conglomerado fino, estratos gruesos, intercalación de areniscas, con arcillas amarillentas y gris rojizas

El talud tiene una altura de 15 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas, presentando una pendiente de 60° aproximadamente.



**Figura 20** Talud de la Estación Geomecánica 05

| Detalles Del Talud |                            |
|--------------------|----------------------------|
| coordenadas        | N 9199028                  |
|                    | E 779209                   |
| Alto               | 15 m                       |
| Ancho              | 6 m                        |
| Inclinación        | 60 °                       |
| Peso específico    | 16.67<br>KN/m <sup>3</sup> |
| Angulo de fricción | 37°                        |
| cohesión           | 1 KN/m <sup>2</sup>        |

Este punto de muestreo se identificó una capa de material cuaternario sitúa sobre la formación Chimú, con una profundidad aproximada de 15 a 20 metros, posteriormente se realizó un análisis granulométrico en laboratorio, determinando la presencia de gravas mal graduadas, de acuerdo a la tabla (NAVFAC, 1971) tienen las siguientes características: peso específico entre 19 y 23 KN/m<sup>3</sup>, el ángulo de fricción entre de 37° y la cohesión entre 1 y 30 KN/m<sup>2</sup>, las mismas que nos servirán determinar el factor de seguridad en el software slide.

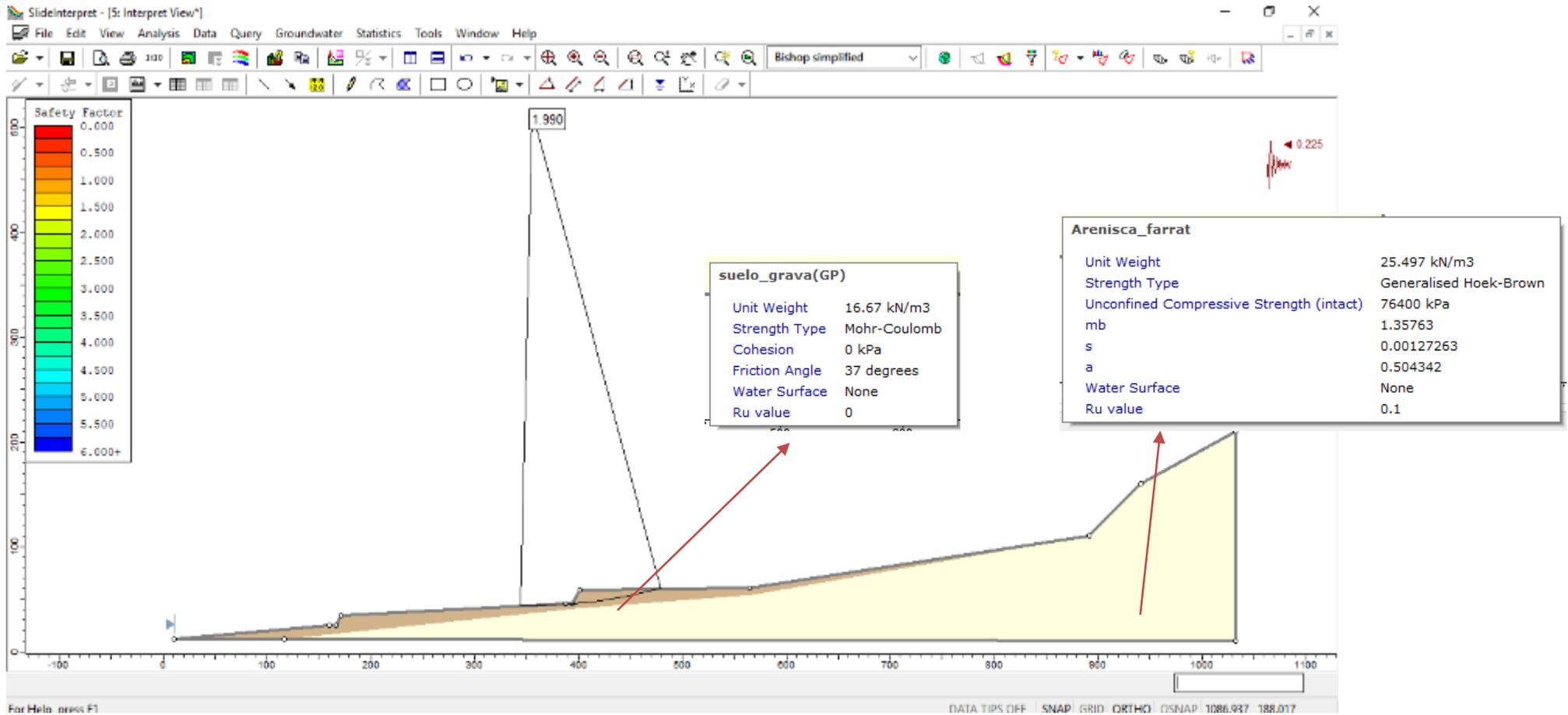
| PROPIEDADES TÍPICAS DE SUELOS COMPACTADOS<br>(NAVFAC, 1971) |  |  |                                      |  |            |
|---|--|--|--------------------------------------|--|------------|
| Símbolo del grupo   | Tipo de suelo                                      | Cohesión (compactado) t/m <sup>2</sup> | Cohesión (saturado) t/m <sup>2</sup> | Angulo roz. int. efect. $\phi'$ grados | tg $\phi'$ |
| GW  | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y de arena | 0                                      | 0                                    | > 38°                                  | > 0,79     |
| GP  | Gravas mal graduadas, mezclas de grava y de arena  | 0                                      | 0                                    | > 37°                                  | > 0,74     |

Fuente: (NAVFAC, 1971)

**Tabla 8**

*Resultados del análisis granulométrico*

| DESCRIPCION DE LA MUESTRA          |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| ZONA                               | : Gavilan                 |
| MUESTRA                            | 2                         |
| MATERIAL                           | : Analisis Granulometrico |
| PESO ESPECIFICO                    | 16.67 KN/m <sup>3</sup>   |
| PESO TOTAL                         | 2414.72 g                 |
| Grava %                            | 51.750                    |
| Arena %                            | 47.380                    |
| Finos %                            | 0.870                     |
| <b>CLASIFICACION</b>               |                           |
| SUCS                               | : GP                      |
| GP (Grava mal graduda)             |                           |
| <b>OBSERVACIONES</b>               |                           |
| Se clasifico con Coeficientes de : |                           |
| Cu=                                | 21.042                    |
| Cc=                                | 0.985                     |



**Figura 21** Estación Geomecánica 05

la evaluación de la estación geomecánica #5, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 1.990**, en cual está por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud estable y seguro.

### 3.1.4.6. Estación Geomecánica 6

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo, este talud está ligeramente alterado por la meteorización.

El talud está constituido principal mente por la formación Farrat (Ki-f), esta consta de areniscas de grano medio conglomerado fino, estratos gruesos, intercalación de areniscas, con arcillas amarillentas y gris rojizas

El talud tiene una altura de 20 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas, presentando una pendiente de 60° aproximadamente



| Detalles Del Talud                  |           |
|-------------------------------------|-----------|
| coordenadas                         | N 9199180 |
|                                     | E 779269  |
| Alto                                | 20 m      |
| Ancho                               | 5.5 m     |
| Inclinación                         | 60 °      |
| resistencia<br>compresión<br>simple | 71.2 MPa  |

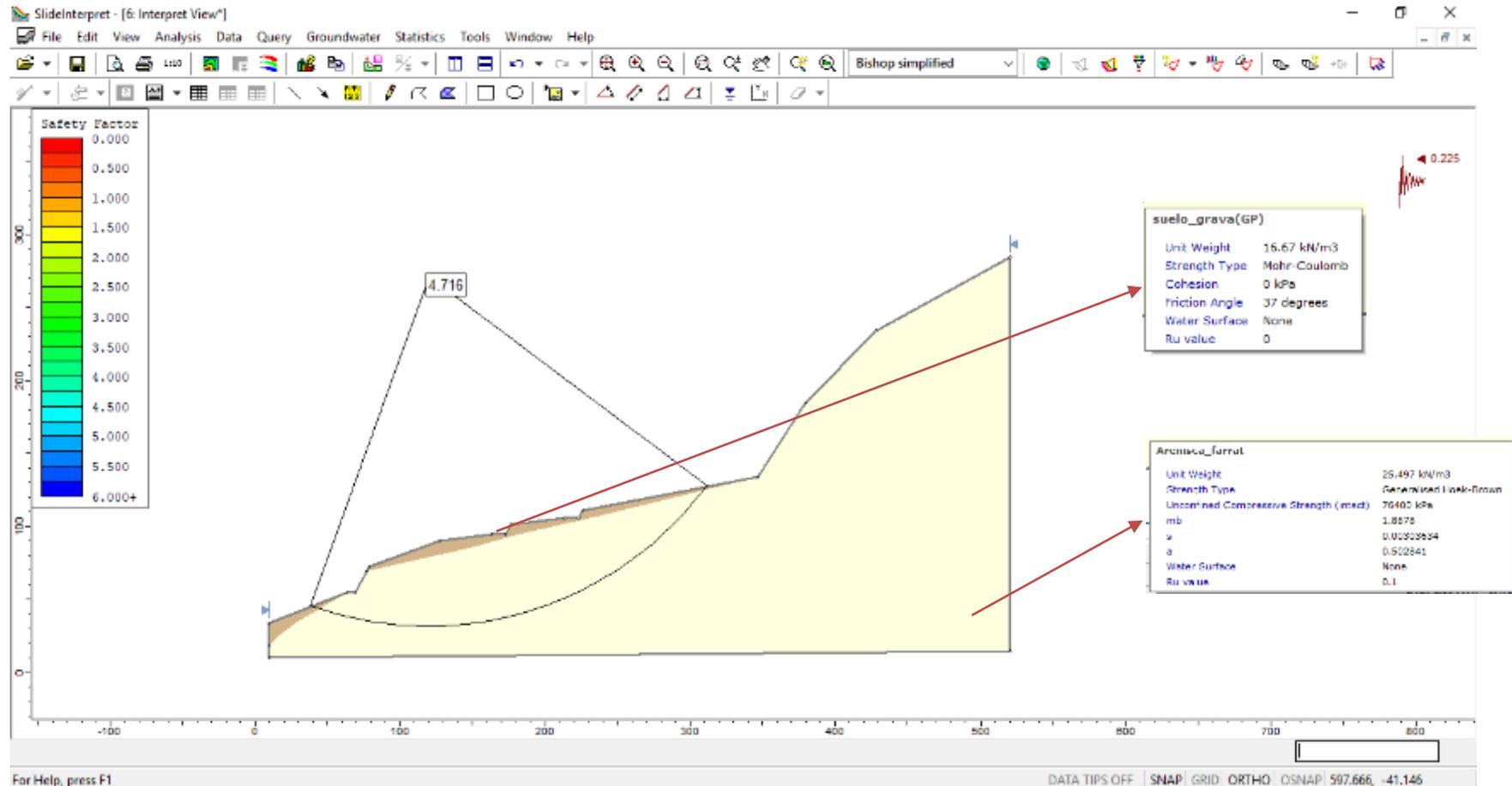
**Figura 22** Talud de la estación geomecánica 06

**Tabla 9**

*Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio.*

| Muestra    | Tipo de roca  | Carga (KN)  | Resistencia de la compresión simple(MPa) | Resistencia de la compresión | Densidad KN/m3 |
|------------|---------------|-------------|--|------------------------------|----------------|
| <b>M-1</b> | <b>Farrat</b> | <b>14.3</b> | <b>76.4</b>                              | <b>76400</b>                 | <b>25.497</b>  |
| M-2        | Carhuaz       | 9.79        | 64.7                                     | 64700                        | 23.535         |
| M-3        | Chimú         | 10.4        | 71.2                                     | 71200                        | 24.625         |
| M-4        | Santa         | 9.2         | 62.4                                     | 62400                        | 20.547         |

Para determinación del factor de seguridad se trabajó el software slide, donde se evaluó las propiedades de los materiales, para ello se consideró El criterio de rotura de macizos rocosos genérica de Hoek-Brown, evaluando el método del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en un metro cuadrado del macizo rocoso.



**Figura 23** Estación geomecánica 06

la evaluación de la estación geomecánica # 6, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 4.716**, en cual está por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud muy estable y seguro

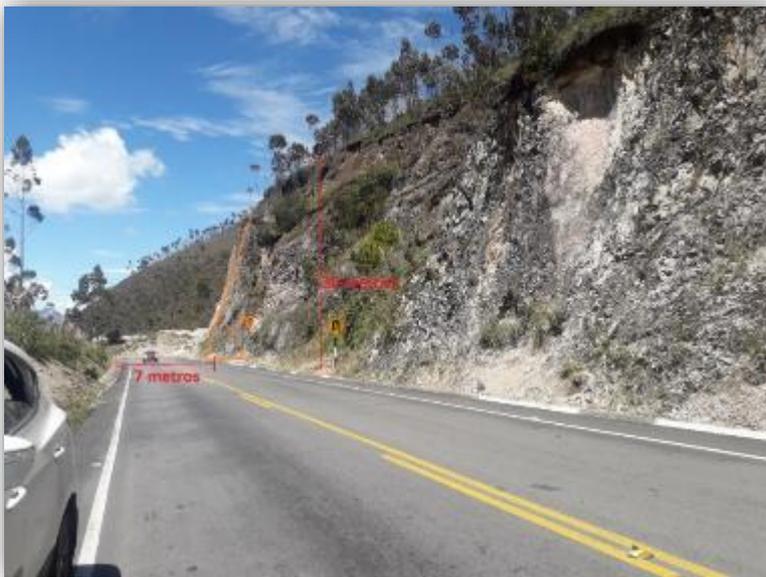
### 3.1.4.7. Estación Geomecánica 07

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo, este talud esta moderadamente alterado por la meteorización.

El talud está constituido principal mente por la formación chimú (Ki-Chi), esta consta de areniscas de grano fino, gris blanquecinas, estratos de 20-50 cm intercalados con arcilla gris.

El talud tiene una altura de 30 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas, presentando una pendiente de 70°aproximadamente.

Según la tabla de numero de golpes con la picota de geologo para romper la roca se obtuvo 50-100 mPa.



| Detalles Del Talud                  |           |
|-------------------------------------|-----------|
| coordenadas                         | N 9199488 |
|                                     | E 777974  |
| Alto                                | 30 m      |
| Ancho                               | 7 m       |
| Inclinacion                         | 70°       |
| resistencia<br>compresion<br>simple | 71.2 Mpa  |

**Figura 24** Talud estación geomecánica 08

Para la determinación del factor de seguridad se trabajó el software slide, donde se evaluó las propiedades de los materiales, para ello se consideró El criterio de rotura de macizos rocosos genérica de Hoek-Brown, evaluando el método del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en un metro cuadrado del macizo rocoso.



**Tabla 10**

*Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio*

| Muestra    | Tipo de roca | Carga (KN)  | Resistencia de la compresión simple(MPa) | Resistencia de la compresión | Densidad KN/m3 |
|------------|--------------|-------------|--|------------------------------|----------------|
| M-1        | Farrat       | 14.3        | 76.4                                     | 76400                        | 25.497         |
| M-2        | Carhuaz      | 9.79        | 64.7                                     | 64700                        | 23.535         |
| <b>M-3</b> | <b>Chimú</b> | <b>10.4</b> | <b>71.2</b>                              | <b>71200</b>                 | <b>24.625</b>  |
| M-4        | Santa        | 9.2         | 62.4                                     | 62400                        | 20.547         |

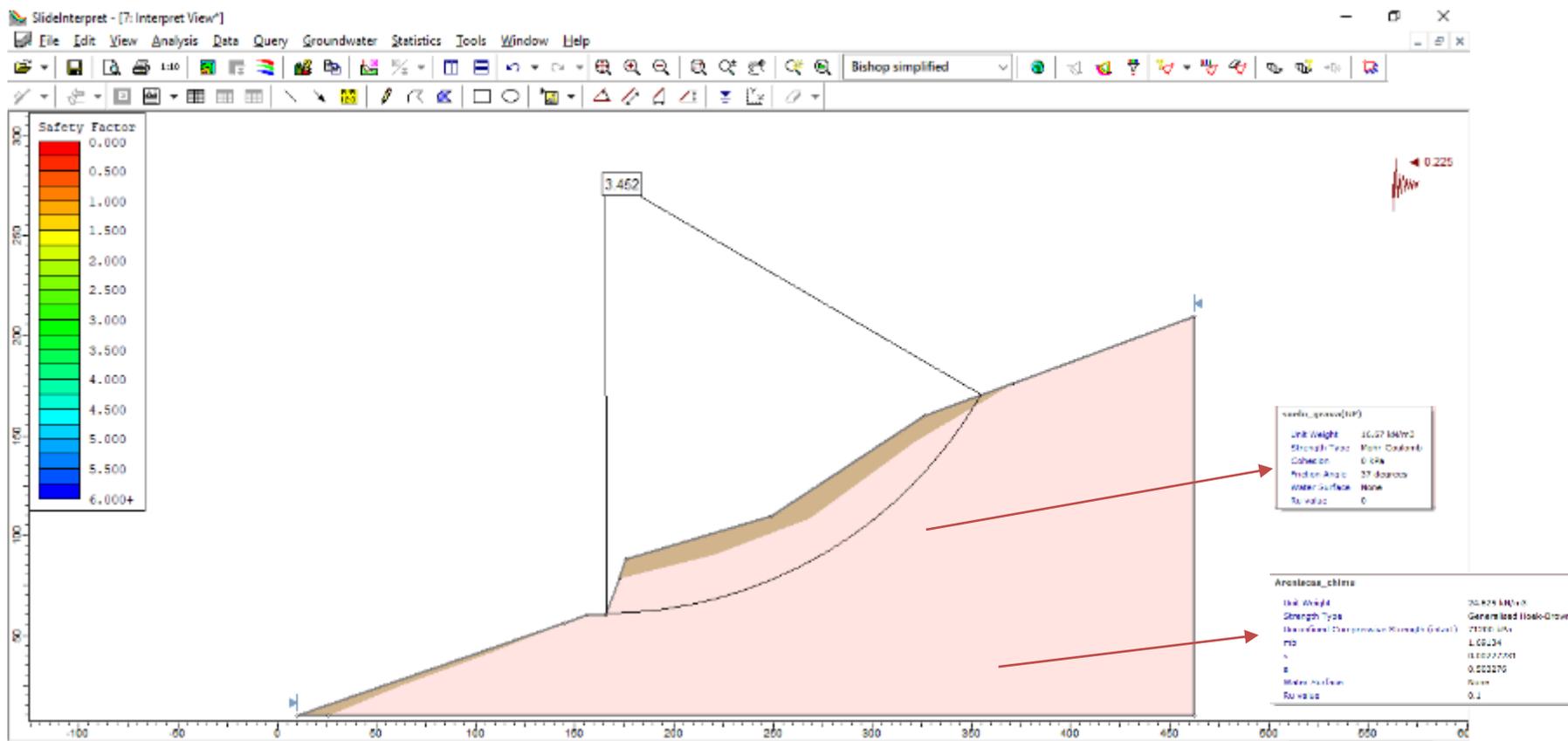


Figura 25 Estación Geomecánica 07

la evaluación de la estación geomecánica # 7, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 3.452**, en cual está por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud muy estable y seguro

### 3.1.4.8. Estación Geomecánica 08

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo, este talud esta moderadamente alterado por la meteorización.

El talud está constituido principal mente por la formación chimu, esta consta de areniscas de grano fino, gris blanquecinas, los estratos en esta zona tienen un espesor 50 cm a un metro aproximadamente, intercaladas con arcilla de color gris

El talud tiene una altura de 15 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas; presentando una pendiente de 61° aproximadamente.



**Figura 26** Talud estación geomecánica 08

| Detalles Del Talud               |           |
|----------------------------------|-----------|
| coordenadas                      | N 9200260 |
|                                  | E 777170  |
| Alto                             | 15 m      |
| Ancho                            | 9 m       |
| Inclinación                      | 61°       |
| resistencia<br>compresión simple | 71.2 Mpa  |



**Tabla 11**  
*Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio*

| Muestra    | Tipo de roca | Carga (KN)  | Resistencia de la compresión simple(MPa) | Resistencia de la compresión | Densidad KN/m3 |
|------------|--------------|-------------|--|------------------------------|----------------|
| M-1        | Farrat       | 14.3        | 76.4                                     | 76400                        | 25.497         |
| M-2        | Carhuaz      | 9.79        | 64.7                                     | 64700                        | 23.535         |
| <b>M-3</b> | <b>Chimú</b> | <b>10.4</b> | <b>71.2</b>                              | <b>71200</b>                 | <b>24.625</b>  |
| M-4        | Santa        | 9.2         | 62.4                                     | 62400                        | 20.547         |

Para la determinación del factor de seguridad se trabajó el software slide, donde se evaluó las propiedades de los materiales, para ello se consideró El criterio de rotura de macizos rocosos genérica de Hoek-Brown, evaluando el método del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en un metro cuadrado del macizo rocoso.

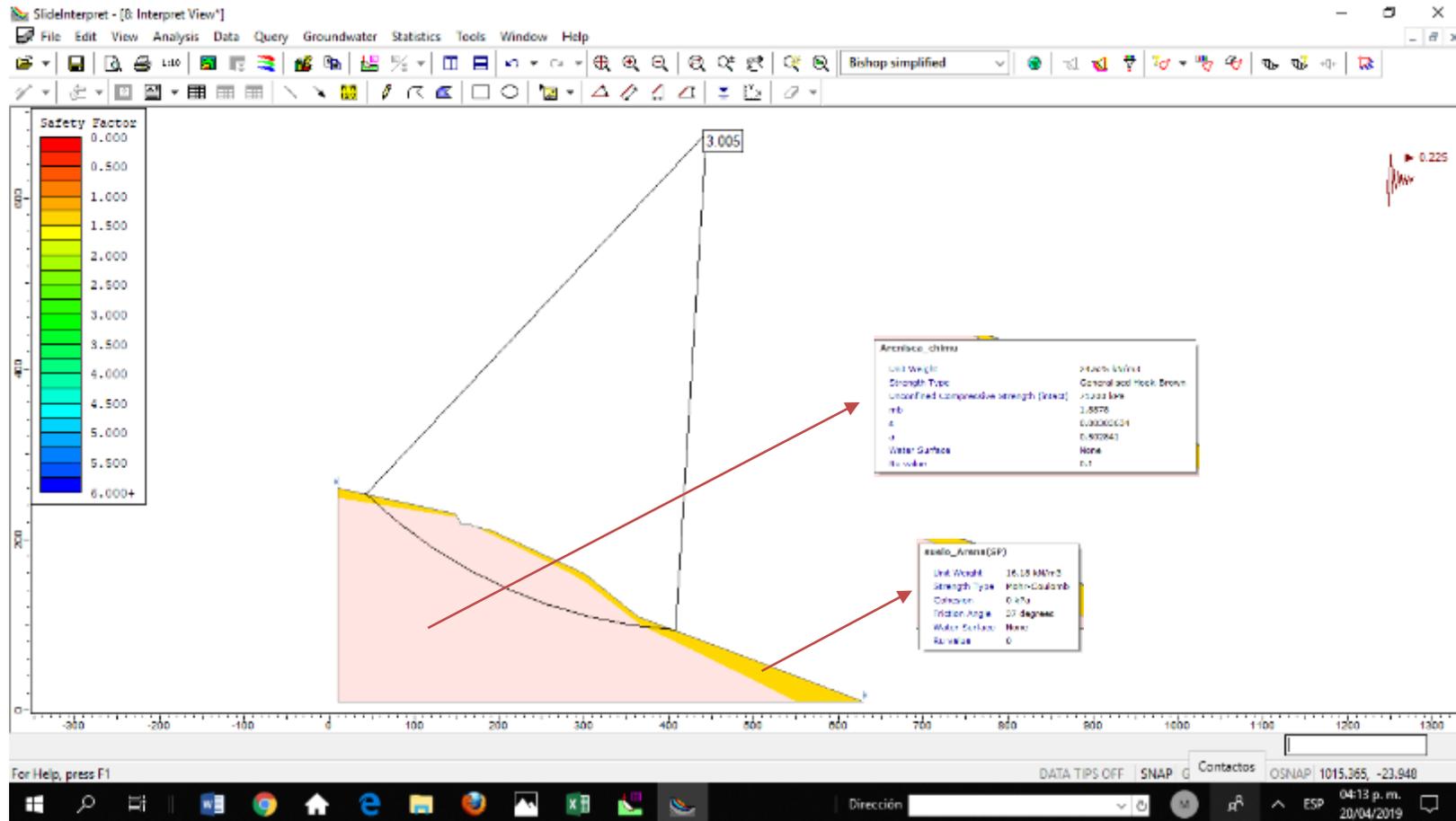


Figura 27 Estación Geomecánica 08

la evaluación de la estación geomecánica # 8, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 3.005**, en cual está por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud muy estable y seguro

### 3.1.4.9. Estación Geomecánica 9

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo, este talud está ligeramente alterado por la meteorización.

El talud está constituido principalmente por la formación Farrat (Ki-f), esta consta de areniscas de grano medio con intercalación de areniscas ferruginosas con arcillas amarillentas.

El talud tiene una altura de 15 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas; presentando una pendiente de 52° aproximadamente.



**Figura 28** Talud de la estación geomecánica 09

| Detalles Del Talud                  |           |
|-------------------------------------|-----------|
| coordenadas                         | N 9200544 |
|                                     | E 776520  |
| Alto                                | 15 m      |
| Ancho                               | 7 m       |
| Inclinación                         | 52°       |
| resistencia<br>compresión<br>simple | 71.2 Mpa  |



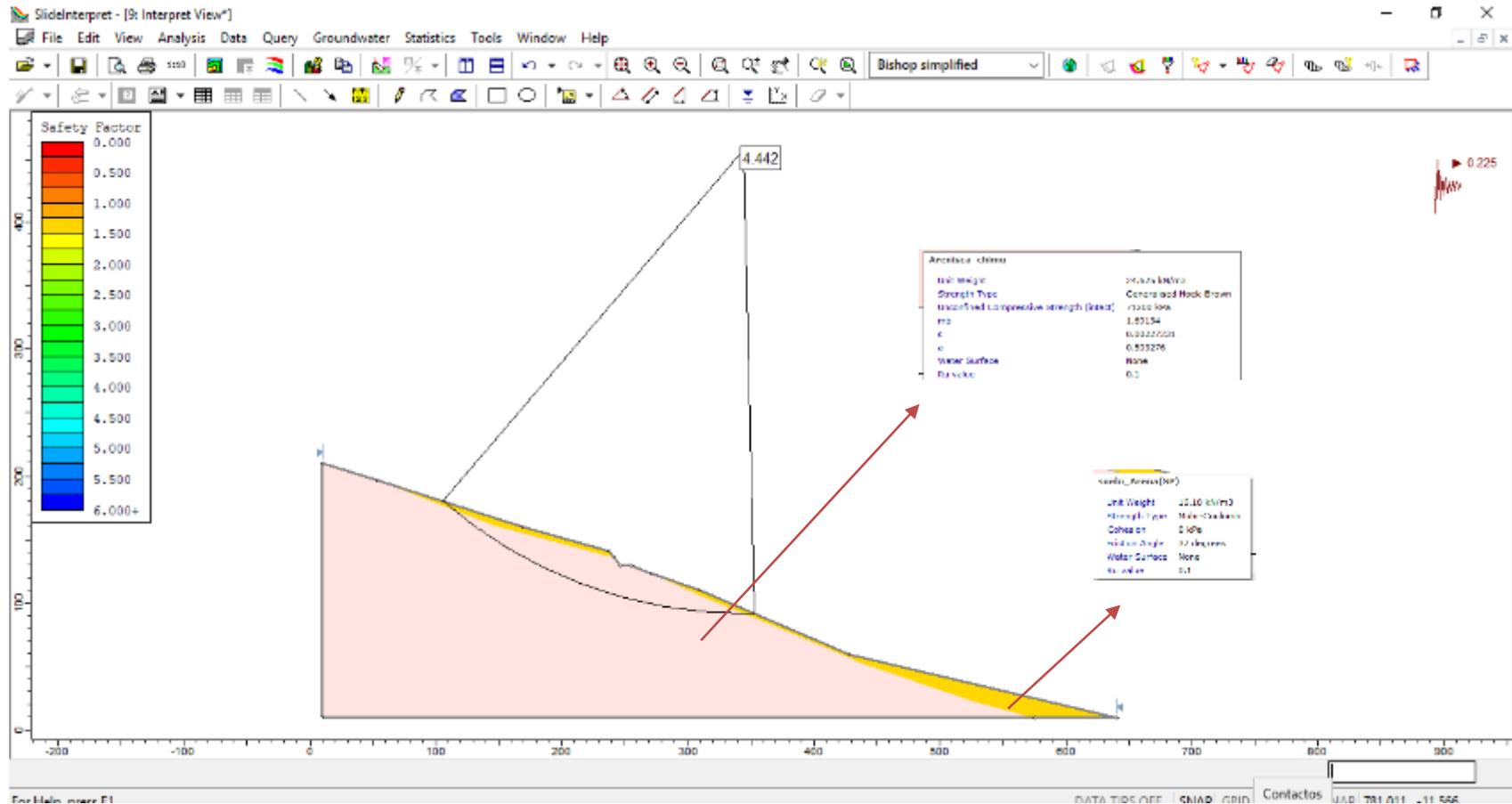
**Figura 29** Formación Chimú

**Tabla 12**

*Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio*

| Muestra    | Tipo de roca | Carga (KN)  | Resistencia de la compresión simple(MPa) | Resistencia de la compresión | Densidad KN/m3 |
|------------|--------------|-------------|--|------------------------------|----------------|
| M-1        | Farrat       | 14.3        | 76.4                                     | 76400                        | 25.497         |
| M-2        | Carhuaz      | 9.79        | 64.7                                     | 64700                        | 23.535         |
| <b>M-3</b> | <b>Chimú</b> | <b>10.4</b> | <b>71.2</b>                              | <b>71200</b>                 | <b>24.625</b>  |
| M-4        | Santa        | 9.2         | 62.4                                     | 62400                        | 20.547         |

Para la determinación del factor de seguridad se trabajó el software slide, donde se evaluó las propiedades de los materiales, para ello se consideró El criterio de rotura de macizos rocosos genérica de Hoek-Brown, evaluando el método del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en un metro cuadrado del macizo rocoso.



**Figura 30** Estación Geomecánica 09

la evaluación de la estación geomecánica # 9, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 4.442**, en cual está por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud muy estable y seguro

### 3.1.4.10. Estacion Geomecánica 10

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen derecho, el talud presenta una superficie está ligeramente alterado por la meteorización

El talud está compuesto por suelo, conformada por gravas medianas hasta gravas finas, arenas gruesas y finas y además con contenidos de limos y presencia de lutitas. El deposito presenta una oxidación, notándose por una coloración anaranjada hasta amarillenta.



| Detalles Del Talud |           |
|--------------------|-----------|
| coordenadas        | N 9201374 |
|                    | E 775783  |
| Alto               | 30 m      |
| Ancho              | 8 m       |
| Inclinación        | 46°       |

**Figura 31** Talud de la estación geomecánica 10

En el punto de muestreo se identificó una capa de material cuaternario con una profundidad aproximada de 30 metros, posteriormente se realizó un análisis granulométrico en laboratorio, determinando la presencia de gravas bien graduadas, de acuerdo a la tabla (NAVFAC, 1971) tienen las siguientes características: peso específico entre 16.18 KN/m<sup>3</sup>, el ángulo de fricción entre 37° y se consideró una cohesión entre 1 y 30 KN/m<sup>2</sup>, las mismas que nos servirán determinar el factor de seguridad en el software slide.

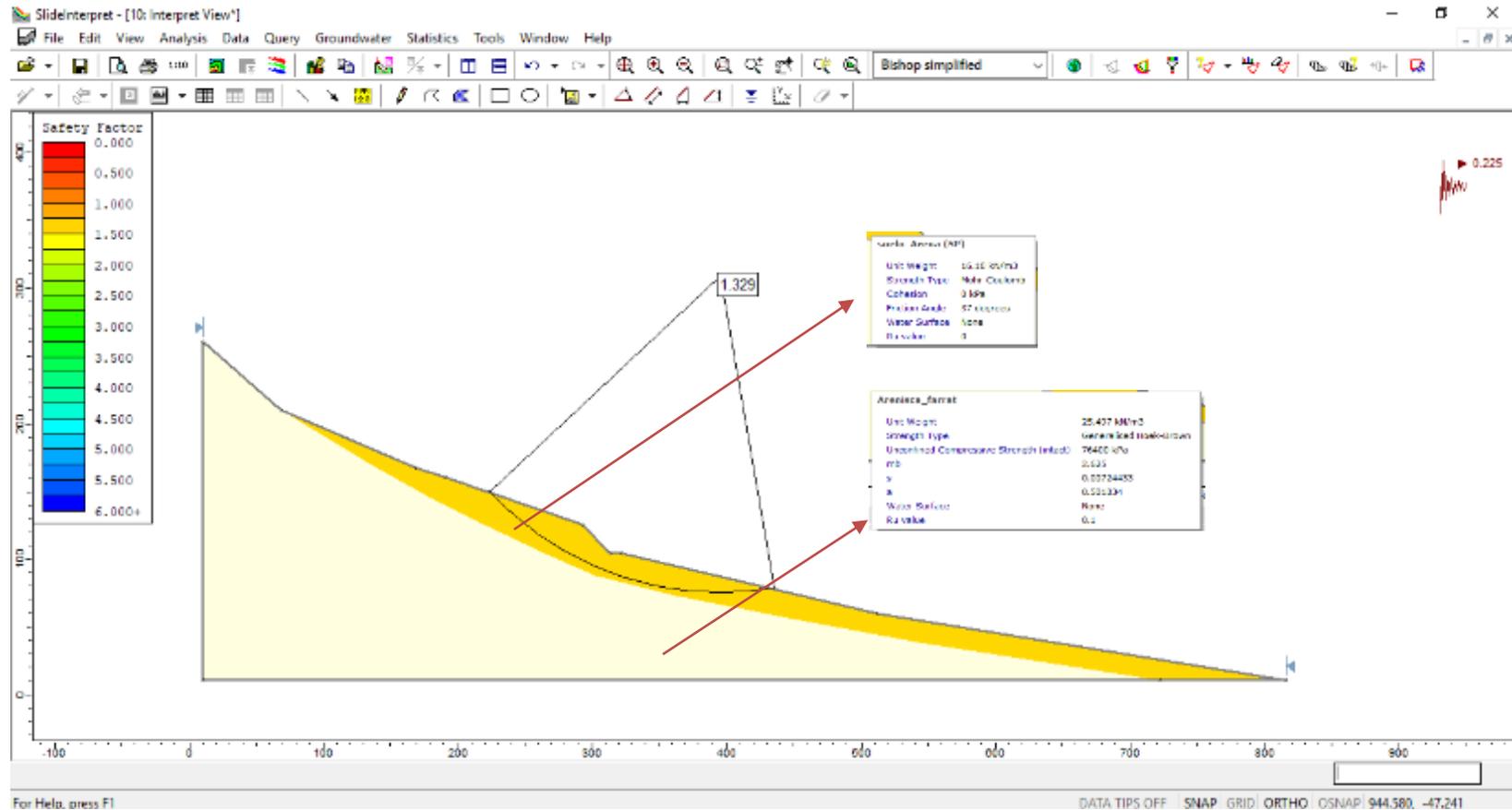


| Símbolo del grupo | Tipo de suelo                          | Cohesión (compactado) t/m <sup>2</sup> | Cohesión (saturado) t/m <sup>2</sup> | Angulo roz. inf. efect. $\psi'$ grados | tg $\psi'$ |
|-------------------|--|--|--------------------------------------|--|------------|
| SP                | Arenas mal graduadas, arenas con grava | 0                                      | 0                                    | 37°                                    | 0,74       |

Fuente;(NAVFAC, 1971)

**Tabla 13**  
*Resultados del análisis granulométrico*

| DESCRIPCION DE LA MUESTRA          |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| ZONA : Gavilan                     |                     |
| MUESTRA                            | 4                   |
| MATERIAL : Analisis Granulometrico |                     |
| PESO ESPECIFICO                    | 16.18 KN/m3         |
| PESO TOTAL                         | 2522.44 g           |
| Grava %                            | 29.420              |
| Arena %                            | 69.990              |
| Finos %                            | 0.590   0.590       |
| <b>CLASIFICACION</b>               |                     |
| SUCS                               | : SP                |
| SP                                 | (Arena mal graduda) |
| <b>OBSERVACIONES</b>               |                     |
| Se clasifico con Coeficientes de : |                     |
| Cu=                                | 9.353               |



**Figura 32** Estación geomecánica 10

la evaluación de la estación geomecánica # 10, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 1.329**, en cual está por debajo del valor como mínimo (1.5), considerado un talud inestable inseguro.

### 3.1.4.11. Estacion Geomecánica 11

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo se muestra rocas calizas pertenecientes a la formación pariatambo (Ki-Pa), esta yace sobre la formación chimú(Ki-Chi), la formación pariatambo está conformada por estratos de roca caliza de color gris oscuro, además la zona muestreada presenta poca vegetación, por lo tanto, la superficie está ligeramente meteorizada



**Figura 33** Talud de la estación geomecánica 11

El talud tiene una altura de 5 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas; presentando una pendiente de 70° aproximadamente.

Según la tabla de numero de golpes con la picota de geologo para romper la roca se obtuvo 50-100 mPa.

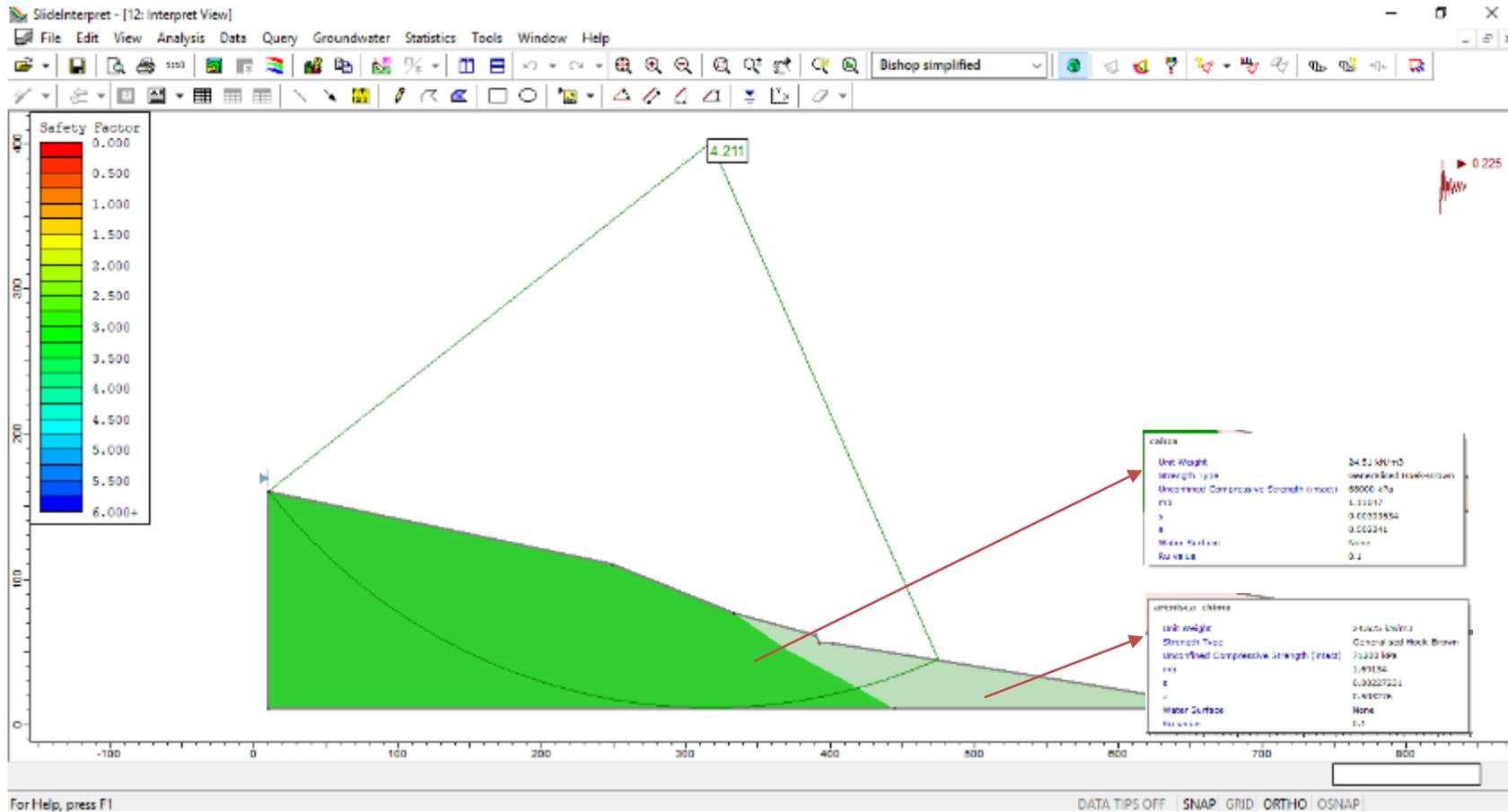
| Detalles Del Talud               |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| coordenadas                      | 9201621                 |
|                                  | 775510                  |
| Alto                             | 5 m                     |
| Ancho                            | 8 m                     |
| Inclinación                      | 70°                     |
| Peso específico                  | 24.51 KN/m <sup>3</sup> |
| resistencia<br>compresión simple | 68 KPa                  |

**Tabla 14**

*Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio*

| Muestra | Tipo de roca | Carga (KN) | Resistencia de la<br>compresión<br>simple(MPa) | Resistencia de<br>la compresión<br>simple(KPa) | Densidad<br>KN/m <sup>3</sup> |
|---------|--------------|------------|--|--|-------------------------------|
| M-1     | Farrat       | 14.3       | 76.4   | 76400  | 25.497                        |
| M-2     | Carhuaz      | 9.79       | 64.7   | 64700  | 23.535                        |
| M-3     | Chimú        | 10.4       | 71.2   | 71200  | 24.625                        |
| M-4     | Santa        | 9.2        | 62.4   | 62400  | 20.547                        |

Para la determinación del factor de seguridad se trabajó el software slide, donde se evaluó las propiedades de los materiales, para ello se consideró El criterio de rotura de macizos rocosos genérica de Hoek-Brown, evaluando el método del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en un metro cuadrado del macizo rocoso



**Figura 34** Estación Geomecánica 11

la evaluación de la estación geomecánica # 11, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 4.211**, en cual está por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud muy estable y seguro

### 3.1.4.12. Estacion Geomecánica 12

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo se muestra areniscas pertenecientes a la formación chimú (Ki-Chi), dicha formación está cubierta por una delgada capa de suelo arenoso en la parte inferior, la formación chimú está conformada por roca arenisca de color gris blanquecina además la zona muestreada presenta poca vegetación, por lo tanto, la superficie está ligeramente meteorizada



Figura 35 Talud de la estación Geomecánica 12

El talud tiene una altura de 5 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimbras empinadas; presentando una pendiente de 55° aproximadamente.

Según la tabla de numero de golpes con la picota de geologo para romper la roca se obtuvo 50-100 mPa.

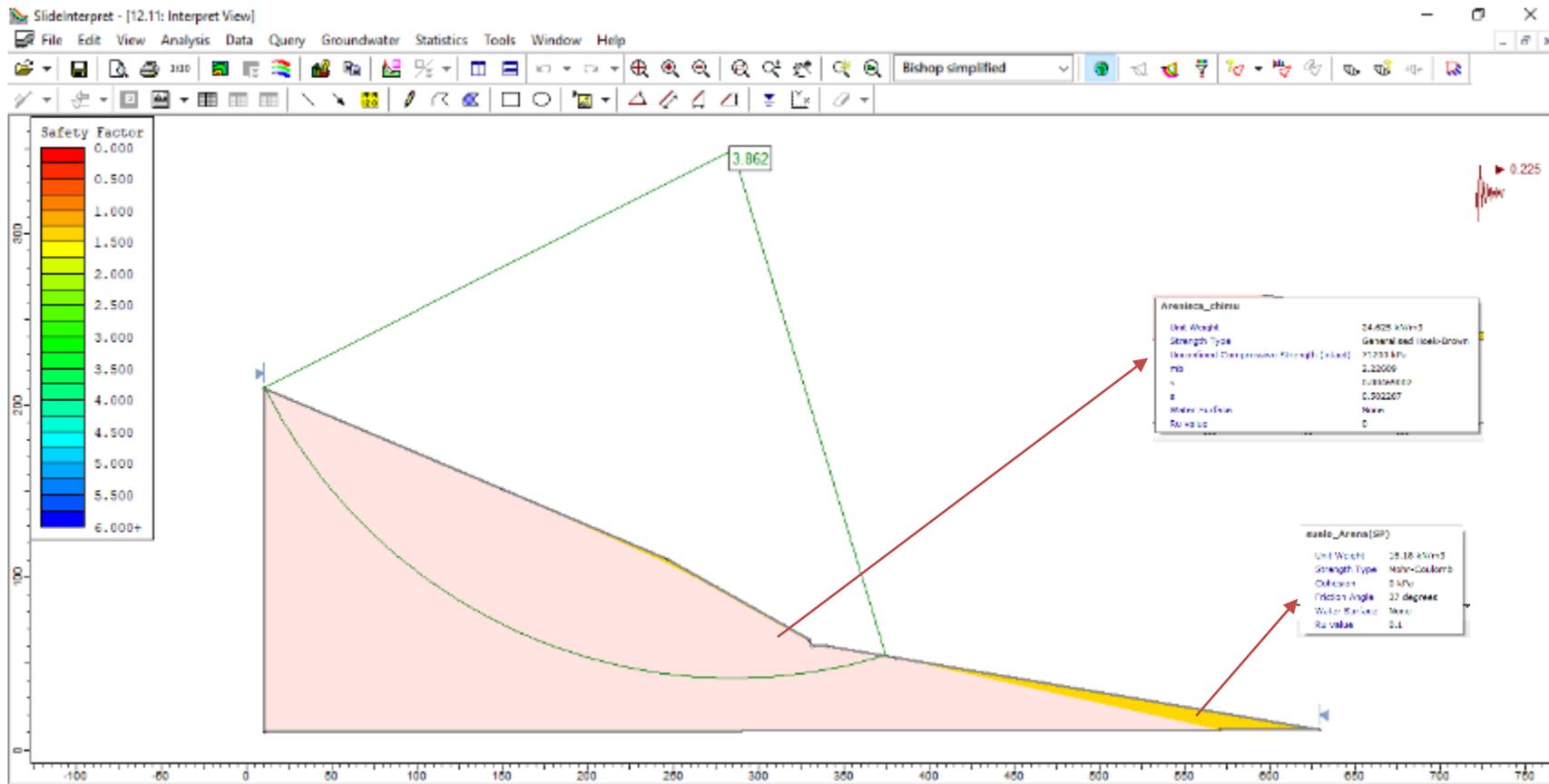
| Detalles Del Talud               |            |
|----------------------------------|------------|
| coordenadas                      | 9202753.11 |
|                                  | 775476.13  |
| Alto                             | 20 m       |
| Ancho                            | 8 m        |
| Inclinación                      | 55 °       |
| resistencia<br>compresión simple | 71.2 MPa   |

**Tabla 15**

*Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio*

| Muestra | Tipo de roca | Carga (KN) | Resistencia de la<br>compresión<br>simple(MPa) | Resistencia<br>de la<br>compresión | Densidad KN/m <sup>3</sup> |
|---------|--------------|------------|--|------------------------------------|----------------------------|
| M-1     | Farrat       | 14.3       | 76.4   | 76400                              | 25.497                     |
| M-2     | Carhuaz      | 9.79       | 64.7   | 64700                              | 23.535                     |
| M-3     | Chimú        | 10.4       | 71.2   | 71200                              | 24.625                     |
| M-4     | Santa        | 9.2        | 62.4   | 62400                              | 20.547                     |

Para la determinación del factor de seguridad se trabajó el software slide, donde se evaluó las propiedades de los materiales, para ello se consideró El criterio de rotura de macizos rocosos genérica de Hoek-Brown, evaluando el método del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en un metro cuadrado del macizo rocoso.



la evaluación de la estación geomecánica # 12, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 3.862**, en cual está por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud muy estable y seguro

### 3.1.4.13. Estacion Geomecánica 13

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; en el margen derecho se observa areniscas amarillentas pertenecientes a la formación chimú (Ki-Chi), la está cubierta por una delgada capa de suelo arenoso.

la zona muestreada presenta poca vegetación, presentando una superficie esta moderadamente meteorizada

El talud tiene una altura de 5 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas; presentando una pendiente de 45° aproximadamente.

Según la tabla de numero de golpes con la picota de geologo para romper la roca se obtuvo 50-100 mPa.

**Tabla 16**

*Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio*

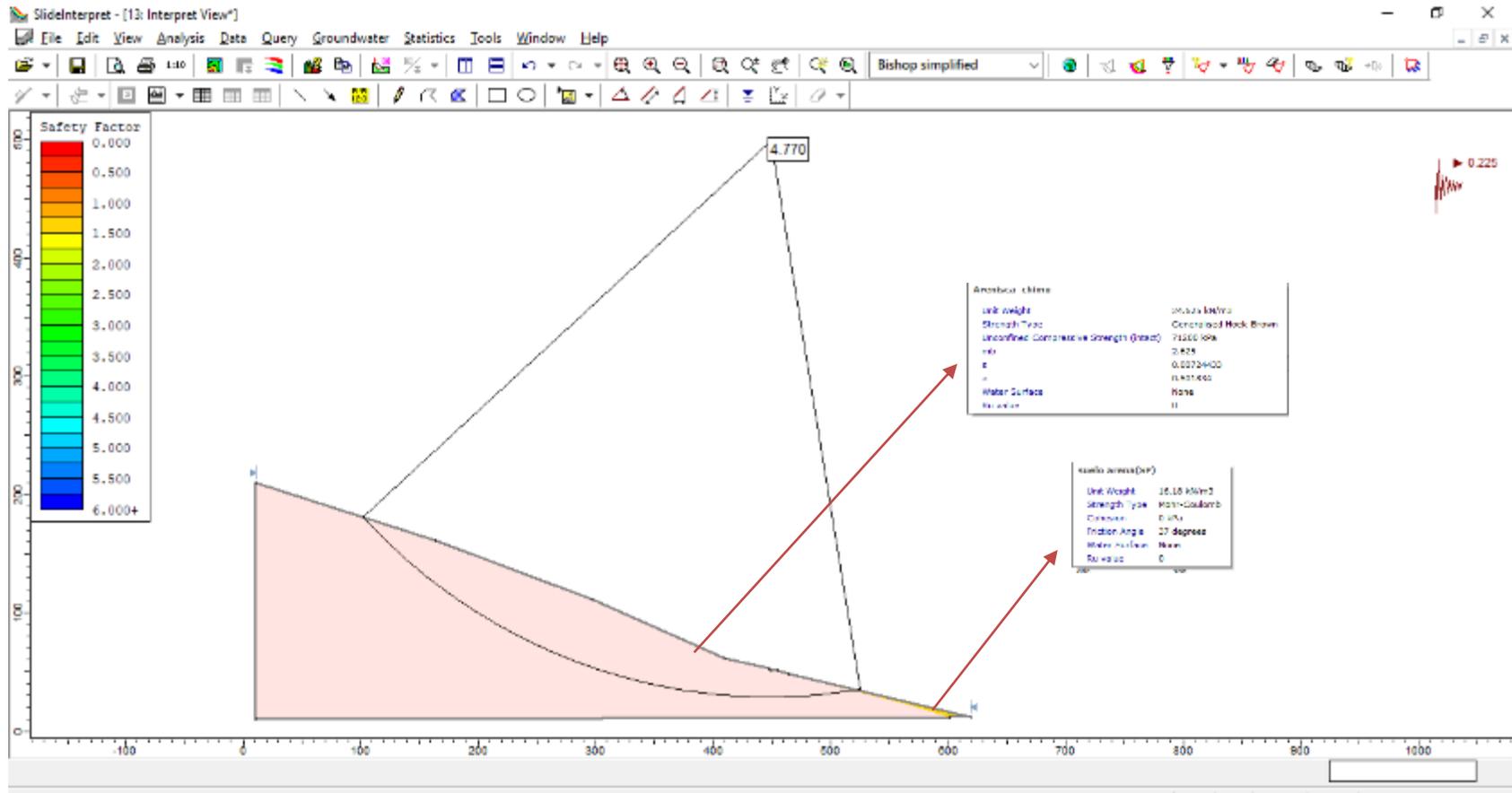
| Muestra | Tipo de roca | Carga (KN) | Resistencia de la compresión simple(MPa) | Resistencia de la compresión | Densidad KN/m3 |
|---------|--------------|------------|--|------------------------------|----------------|
| M-1     | Farrat       | 14.3       | 76.4                                     | 76400                        | 25.497         |
| M-2     | Carhuaz      | 9.79       | 64.7                                     | 64700                        | 23.535         |
| M-3     | Chimú        | 10.4       | 71.2                                     | 71200                        | 24.625         |
| M-4     | Santa        | 9.2        | 62.4                                     | 62400                        | 20.547         |

Para la determinación del factor de seguridad se trabajó el software slide, donde se evaluó las propiedades de los materiales, para ello se consideró El criterio de rotura de macizos rocosos genérica de Hoek-Brown, evaluando el método del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en un metro cuadrado del macizo rocoso.



| Detalles Del Talud            |            |
|-------------------------------|------------|
| coordenadas                   | 9203362.28 |
|                               | 777278.37  |
| Alto                          | 5 m        |
| Ancho                         | 4 m        |
| Inclinación                   | 45°        |
| resistencia compresión simple | 71.2 Mpa   |

*Figura 36 Talud estación Geomecánica 13*



**Figura 37** Estación Geomecánica 13

la evaluación de la estación geomecánica # 13, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 4.770**, en cual está por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud muy estable y seguro

### 3.1.4.14. Estacion Geomecánica 14

El talud está ubicado en carretera san Juan-Cajamarca, Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca; pertenece a grupo Goyllarisquizga, en la margen izquierda de la imagen se observa areniscas amarillentas pertenecientes a la formación chimú (Ki-Chi),

esta cubierta por una delgada capa de suelo arenoso en la parte inferior. la zona muestreada presenta poca vegetación, presentando una superficie moderadamente meteorizada

El talud tiene una altura de 30 metros, Su unidad geomorfológica del talud está representada por cimas empinadas; presentando una pendiente de 45° aproximadamente. Según la tabla de numero de golpes con la picota de geologo para romper la roca se obtuvo 50-100 mPa.

**Tabla 17**

*Resultados resistencia a la compresión simple de laboratorio*

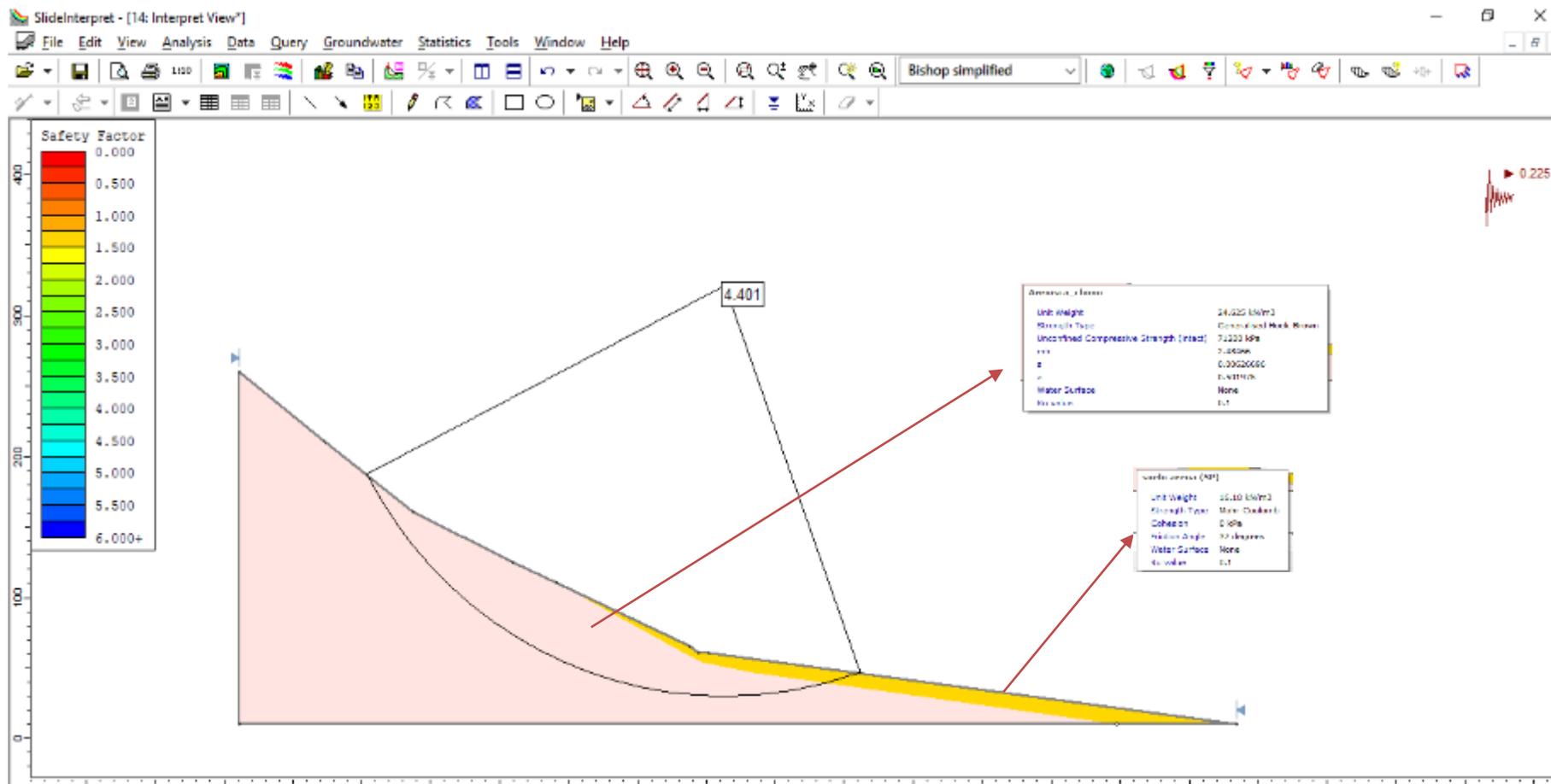
| Muestra | Tipo de roca | Carga (KN) | Resistencia de la compresión simple(MPa) | Resistencia de la compresión | Densidad KN/m3 |
|---------|--------------|------------|--|------------------------------|----------------|
| M-1     | Farrat       | 14.3       | 76.4                                     | 76400                        | 25.497         |
| M-2     | Carhuaz      | 9.79       | 64.7                                     | 64700                        | 23.535         |
| M-3     | Chimú        | 10.4       | 71.2                                     | 71200                        | 24.625         |
| M-4     | Santa        | 9.2        | 62.4                                     | 62400                        | 20.547         |

Para la determinación del factor de seguridad se trabajó el software slide, donde se evaluó las propiedades de los materiales, para ello se consideró El criterio de rotura de macizos rocosos genérica de Hoek-Brown, evaluando el método del Índice de Resistencia Geológica (GSI) en un metro cuadrado del macizo rocoso.



| Detalles Del Talud            |            |
|-------------------------------|------------|
| coordenadas                   | 9202648.02 |
|                               | 777458.76  |
| Alto                          | 30 m       |
| Ancho                         | 4 m        |
| Inclinación                   | 45°        |
| resistencia compresión simple | 71.2 Mpa   |

**Figura 38** Talud de la estación geomecánica 14



**Figura 39** Estación Geomecánica 14

la evaluación de la estación geomecánica # 14, nos dio como resultado un **Factor De Seguridad de 4.401**, en cual está por encima del valor como mínimo (1.5), considerado un talud muy estable y seguro

### **3.2. GENERACIÓN DE MAPA RASTER REPRESENTATIVO DE LOS VALORES DE FACTOR DE SEGURIDAD**

IDW (distancia inversa ponderada) Este es un método que estima la interpolación de valores de celdas, promediando los valores de los puntos de muestreo en la vecindad de cada celda de procesamiento. El método IDW está basado principalmente en la inversa de la distancia elevada a una potencia matemática. El parámetro Potencia le permite controlar la significancia de puntos conocidos en los valores interpolados basándose en la distancia desde el punto de salida. (ESRI, 2019)

La influencia de un punto de entrada sobre un valor interpolado es isotrópica. Dado que la influencia de un punto de entrada sobre un valor interpolado se relaciona con la distancia, la IDW no preserva la cresta (Philip & Watson D, 1982)

#### **CRITERIO DE CLASIFICACIÓN DE RANGOS DE FACTOR DE SEGURIDAD**

En el presente trabajo de investigación se consideró los siguientes valores para la clasificación de los taludes de la zona evaluada, según los autores hoek & bray los valores del factor de seguridad para el cálculo de taludes son de  $FS = 1.3$  , para el caso de "taludes temporales, Y de  $FS = 1.5$  para el caso de taludes definitivos (Hoek & Bray, 1981)

De acuerdo a estos valores propuestos por los autores hoek & bray , se consideró los rangos de la tabla siguiente:

**Tabla 18**  
*Rangos del factor de seguridad*

| Clasificación        | rango     | ponderación |
|----------------------|-----------|-------------|
| <b>F.S</b>           |           |             |
| <b>Muy inestable</b> | 0 a 0.8   | 5           |
| <b>Inestable</b>     | 0.9 a 1.4 | 4           |
| <b>Equilibrio</b>    | 1.5 a 2   | 3           |
| <b>Buena</b>         | 2.1 a 3.4 | 2           |
| <b>Muy buena</b>     | 3.5 a 5.5 | 1           |

Fuente: elaboración propia

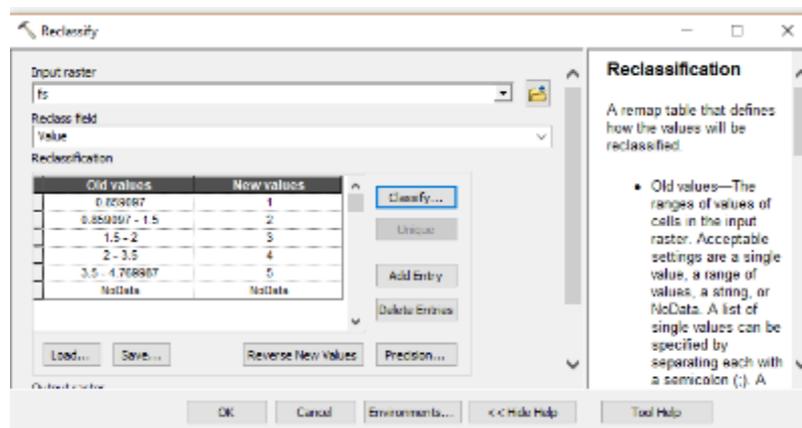
| Clasificación   | Ponderación |
|-----------------|-------------|
| <b>Muy alta</b> | 5           |
| <b>Alta</b>     | 4           |
| <b>Media</b>    | 3           |
| <b>Baja</b>     | 2           |
| <b>Muy baja</b> | 1           |

Los datos del factor de seguridad obtenidos por el análisis de talud mediante **Slide**, fueron procesados por en el software **ArcGIS**, usando el método análisis geostatístico IDW (distancia inversa ponderada), este proceso consistió en convertir un conjunto de datos en un mapa delimitados por diferentes colores, los cuales representan los rangos de estabilidad o posible inestabilidad de taludes, para ello se determinó las estaciones geomecánicas con su respectivo valor y localización

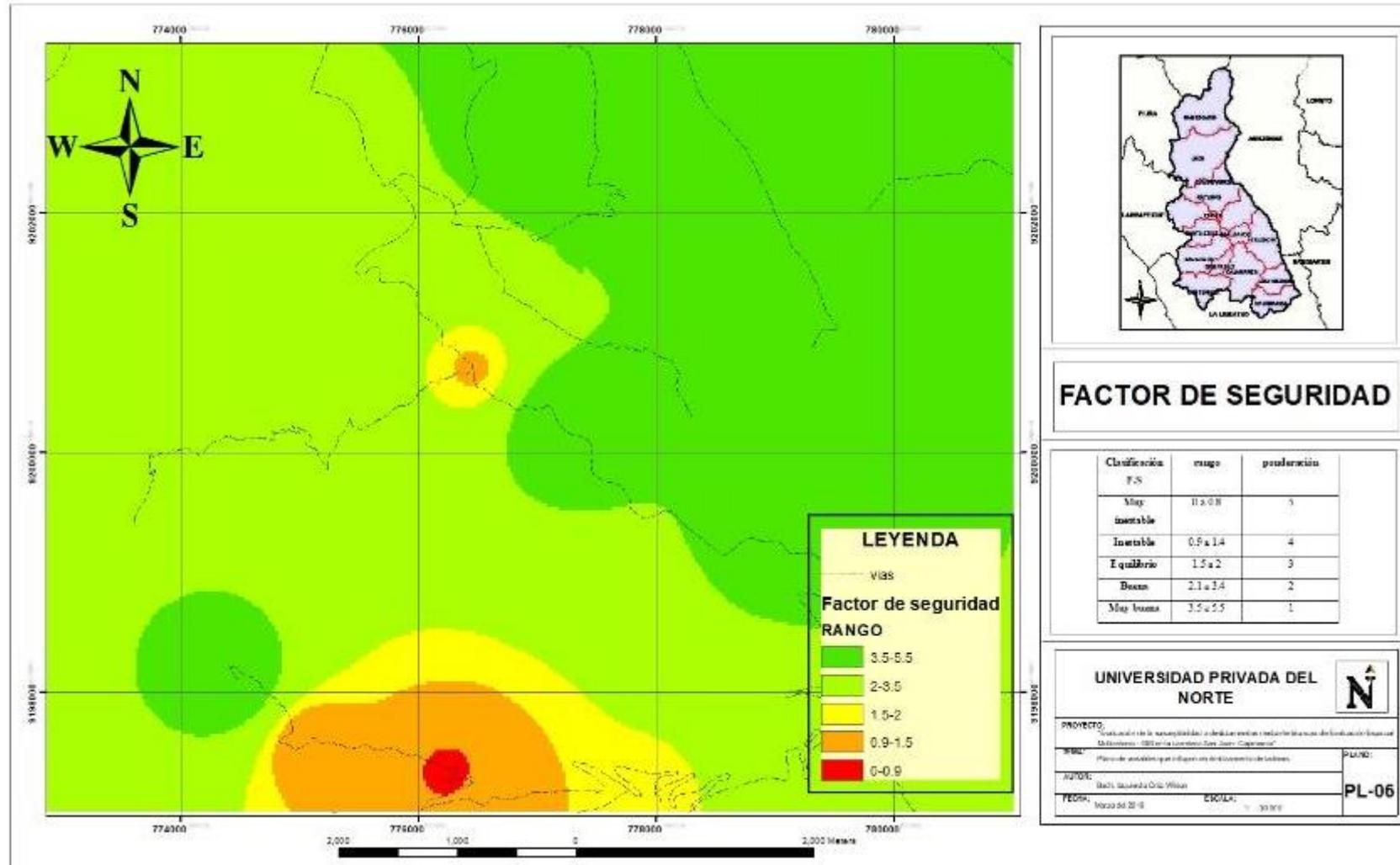
**Tabla 19**  
*Factor de Seguridad De La Zona De Cajamarca.*

| <b>FACTOR DE SEGURIDAD DE TALUDES</b> |              |
|---------------------------------------|--------------|
| <b>Estacion Geomecánica</b>           | <b>Valor</b> |
| 1                                     | 3.243        |
| 2                                     | 0.884        |
| 3                                     | 0.859        |
| 4                                     | 0.983        |
| 5                                     | 1.99         |
| 6                                     | 4.716        |
| 7                                     | 3.452        |
| 8                                     | 3.005        |
| 9                                     | 4.442        |
| 10                                    | 1.329        |
| 11                                    | 4.211        |
| 12                                    | 3.862        |
| 13                                    | 4.77         |
| 14                                    | 4.401        |

resultados de los puntos muestreados (factores de seguridad) de la zona de estudio carretera  
 san juan- Cajamarca



**Figura 40** *Reclasificación de rangos FS - ArcGIS*



**Figura 41 PLANO DE FACTOR DE SEGURIDAD**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3. VARIABLES CONDICIONANTES DE EVALUACION ESPACIAL MULTICRITERIO

Para este estudio se ha usado herramientas computacionales como GIS, CAD, SLIDE, ROCKLAB, los que nos han servido para elaborar mapas digitales del terreno a fin de delimitar sus características, las cuales fueron verificadas durante el trabajo de campo en la región de Cajamarca

Para la determinación de la susceptibilidad a deslizamientos se consideró factores condicionantes que permitirán un estudio más detallado, por ello se evaluó cada variable, teniendo en cuenta la información recogida en campo, dando como resultado mapas que nos permitirán evaluar y delimitar zonas susceptibles, cabe mencionar que cada variable con su respectivo mapa, cuentan con una clasificación en 5 categorías, desde muy alta a muy baja con el objetivo de elaborar un mapa general al combinar dicha información brindada por cada mapa en una uno que nos permitirá delimitar y **predecir** las zonas susceptibles a deslizamientos.

Es importante mencionar que Los grados de probabilidad a la susceptibilidad Muy alta, Alta y Media, se consideró que los 3 rangos descritos son influyentes a los deslizamientos en nuestro análisis.

#### 3.3.1. VARIABLE FACTORES SISMICIDAD

Escala de Mercalli: representa la violencia con que se siente un sismo en la zona afectada. Mide la intensidad o los daños sobre las construcciones y el impacto que produce en las personas. Se determina de acuerdo a una escala que va desde el grado 1 hasta el 12.

La escala sismográfica de Mercalli se basa en una simple escala de diez grados que indica la INTENSIDAD de un evento sísmico. En el año 1902 la escala fue ampliada a 12 grados por Adolfo Cancani, para luego ser reescrita por el alemán August Heinrich Sieberg, lo que hizo que la escala fuera conocida como Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). Luego, en los años 30 volvió a ser modificada por Harry O. Wood y Frank Neumann, y fue luego mejorada por Charles Richter. Hoy se conoce como escala de Mercalli Modificada (MM) o Escala Modificada de Mercalli de Intensidad (MMI).

En La Figura 41, muestra el mapa de sismicidad de la región Cajamarca, podemos identificar 3 escalas significantes. Podemos identificar que la zona- San Juan-Cajamarca, presentan los parámetros de intensidad sísmica (VII,VIII,IX), según la clasificación Mercalli, indicando una condición de sismicidad media , relacionada a la generación de movimientos en masa.

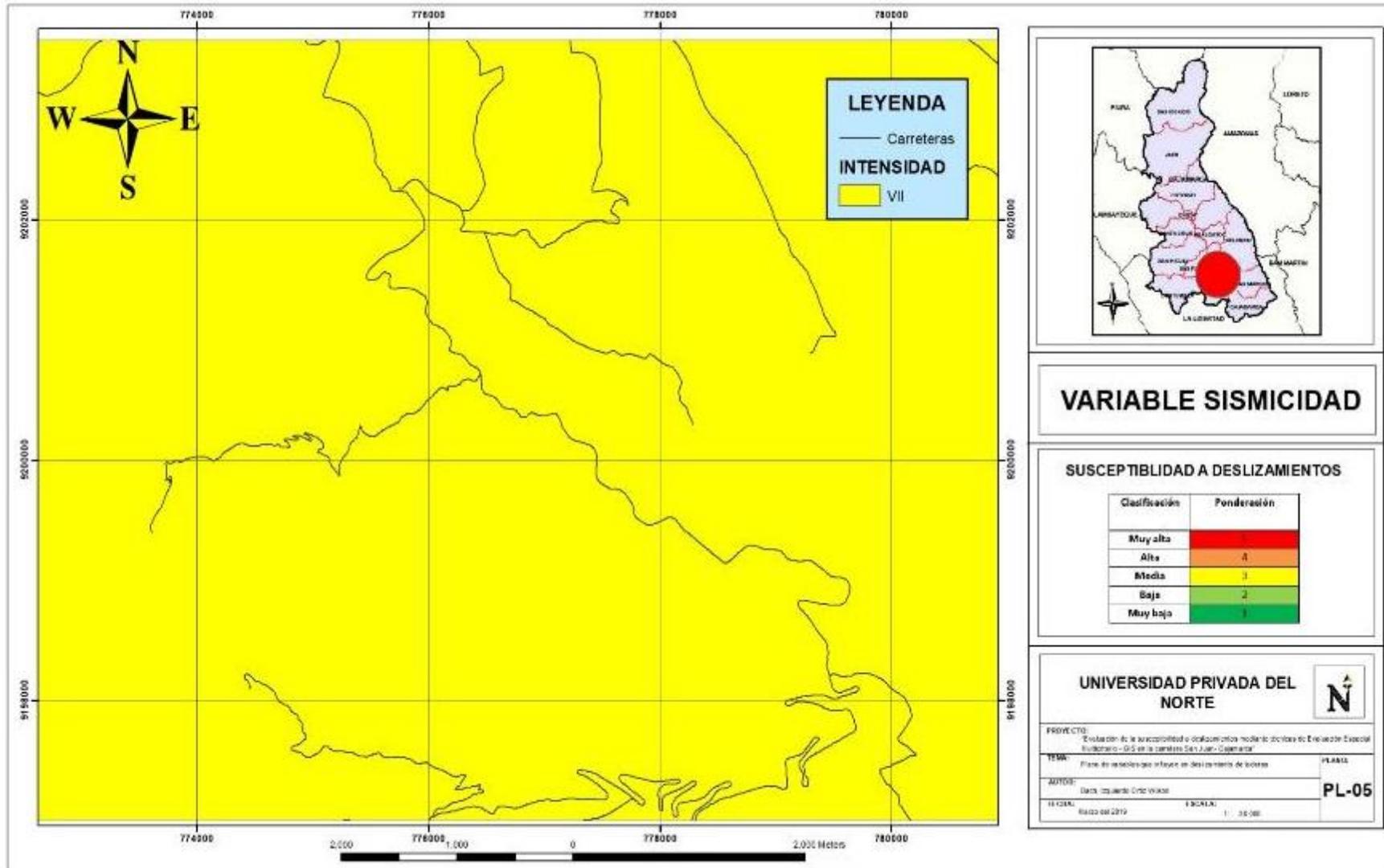
La categoría media se encuentra en la parte sur de Cajamarca, ocupando parte de la región de Cajamarca, san Juan, magdalena y Jesús,

Para el procesamiento de la información obtenida de material bibliográfico, se reclasifico en el software ArcGis la escala de Mercalli ver **anexo 1** en 5 categorías, teniendo en cuenta la descripción de cada uno de los 12 grados, considerando los resultados de la tabla siguiente

**Tabla 20**  
*Escala de Mercalli De La Zona De Cajamarca*

| Escala de intensidad<br>Mercalli | magnitud |
|----------------------------------|----------|
| I-II-III                         | Muy baja |
| IV-V                             | Baja     |
| VI-VII                           | Media    |
| VIII-IX                          | Alta     |
| X-XI                             | Muy alta |





**Figura 42** Mapa ráster variable sismicidad

### 3.3.2. VARIABLE RÍOS

Dicha variable nos permitirá definir la probabilidad de que ocurra un evento que generen deslizamientos. En la Figura 7, se muestra el mapa correspondiente a los factores de ríos, el cual zonifica la distribución de los ríos de nuestra área de estudio Cajamarca – San Juan, se representó por un área adyacente al ríos donde se observa la mayor concentración de humedad el cual debilita el terreno cercano a estos ríos, este mapa fue obtenido a partir de la influencia que genera toda la red de ríos(cuenca), la zonificación o área de influencia se determinó a partir de observaciones acorde con su contribución a los movimientos en masa.

Existe una estrecha relación entre los ríos y deslizamientos, debido a la proximidad que existe entre cada río, identificadas en campo se pudo comprobar que existen movimientos de masa y una constante erosión los que se encuentran en un rango de influencia de 0- 15 metros. Por lo tanto el mapa de distancia de fallas se basó en la clasificación dada por (Regmi, 2010)

Para la elaboración del mapa de la variable ríos, se obtuvo como base el mapa hidrológico de Cajamarca, este archivo shapefile fue delimitada por ANA (AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA) y las definidas en campo para un mejor detalle de nuestro estudio

En el software ArcGis 10.2 se carga el shape de ríos además de agrega la presencia de algunos ríos observados en campo los cuales no se encuentran en la data. La herramienta geoprocessing, encargada de generar un buffer, el cual representa la zona de influencia, es decir que la zona adyacente a los ríos será afectada en un cierto grado, una vez creado el buffer se usó la herramienta Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster para convertir a un plano raster (ver plano 4).

Posterior mente se utilizó la herramienta Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify considerando los valores que se muestran en la Tabla () los mismos que se localizan dentro de la tabla de atributos del shape ríos.

El objetivo del proceso es para generar un mapa raster, el cual se utilizará para una superposición de las variables estudiada, es decir para poder realizar la sumatoria de los mapas para hallar la susceptibilidad a deslizamientos.

**Tabla 21**  
*Valor proximidad a ríos*

| Valor parámetro ríos- proximidad | Valor peso clase |
|----------------------------------|------------------|
| 0-15                             | 5                |
| >15                              | 1                |

*Fuente : Elaboracion propia a partir de la clasificación dada por (Regmi, 2010)*

Valores de peso asignados al parámetro zona de influencia de fallas y sus clases asociadas.

| Clasificación | Ponderación |
|---------------|-------------|
| Muy alta      | 5           |
| Alta          | 4           |
| Media         | 3           |
| Baja          | 2           |
| Muy baja      | 1           |

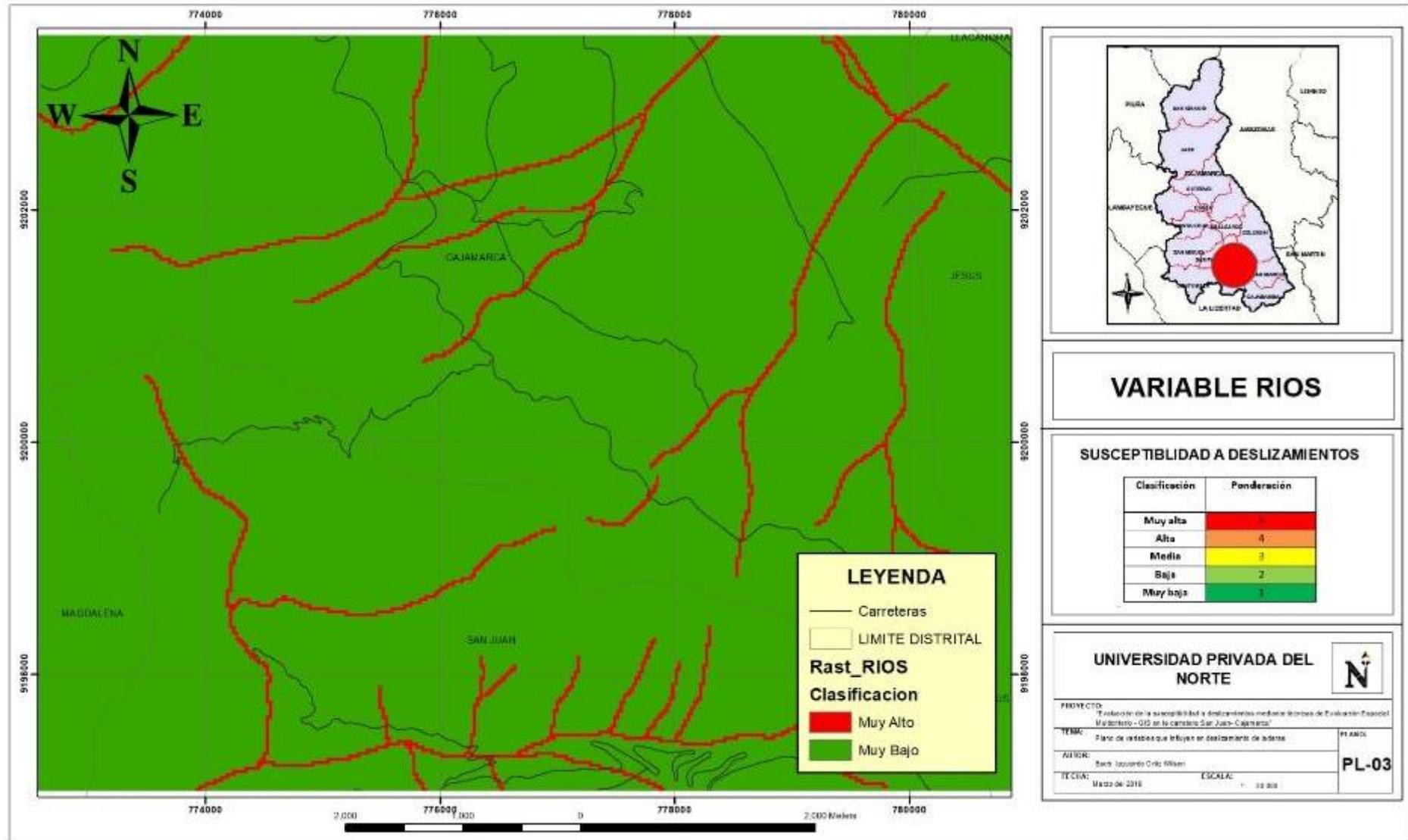


Figura 43 Mapa ráster de la Variable condicionante ríos



**Figura 44** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante ríos en Hectáreas.



**Figura 45** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Ríos en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Muy Alta** correspondiente a 201.25 ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 3.63 % del área estudiada, Siendo esta área la mas vulnerable posibles deslizamientos. Además, se determinó un 96.37 % de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 5338.76 Ha. de la zona de estudio.

### **3.3.3. VARIABLE FALLAS**

El fallamiento, fracturamiento de un macizo rocoso juega un papel importante en la determinación de la estabilidad de laderas y también de taludes.

En la Figura, se muestra el mapa correspondiente a la influencia de fallas, el cual zonifica la distribución de fallas presentes en nuestra área de estudio Cajamarca – San Juan, se representó por un área adyacente a estas fallas, que tiene la probabilidad que contribuye a la inestabilidad de laderas o taludes y debilitar el terreno es por ello la importancia de tenerlos en cuenta.

Existe una relación entre la actividad tectónica y deslizamientos, fallas presentes en los distritos de san juan, magdalena y Cajamarca alcanzan una distancia mayor a 7 km, los cuales los hace importantes tener en cuenta en este estudio.

Debido a la proximidad de las fallas a la carrera se pudo comprobar que algunos movimientos de masas se encuentran en el rango de influencia, confirmándonos la relación existente.

Las elaboraciones de mapa de fallas geológicas se obtuvieron del instituto geológico minero y metalúrgico (INGEMMET)

La herramienta geoprocessing, encargada de generar un buffer, el cual representa la zona de influencia, es decir que la zona adyacente a las fallas será afectada en un cierto grado. De acuerdo al análisis realizado se identifico las fallas son locales, los caules a nivel de la region son pequeñas y tienen una baja influencia. Por lo tanto el mapa de distancia de fallas se basó en la clasificación dada por (Regmi, 2010)

**Tabla 22**  
*Fallas De La Zona De Cajamarca*

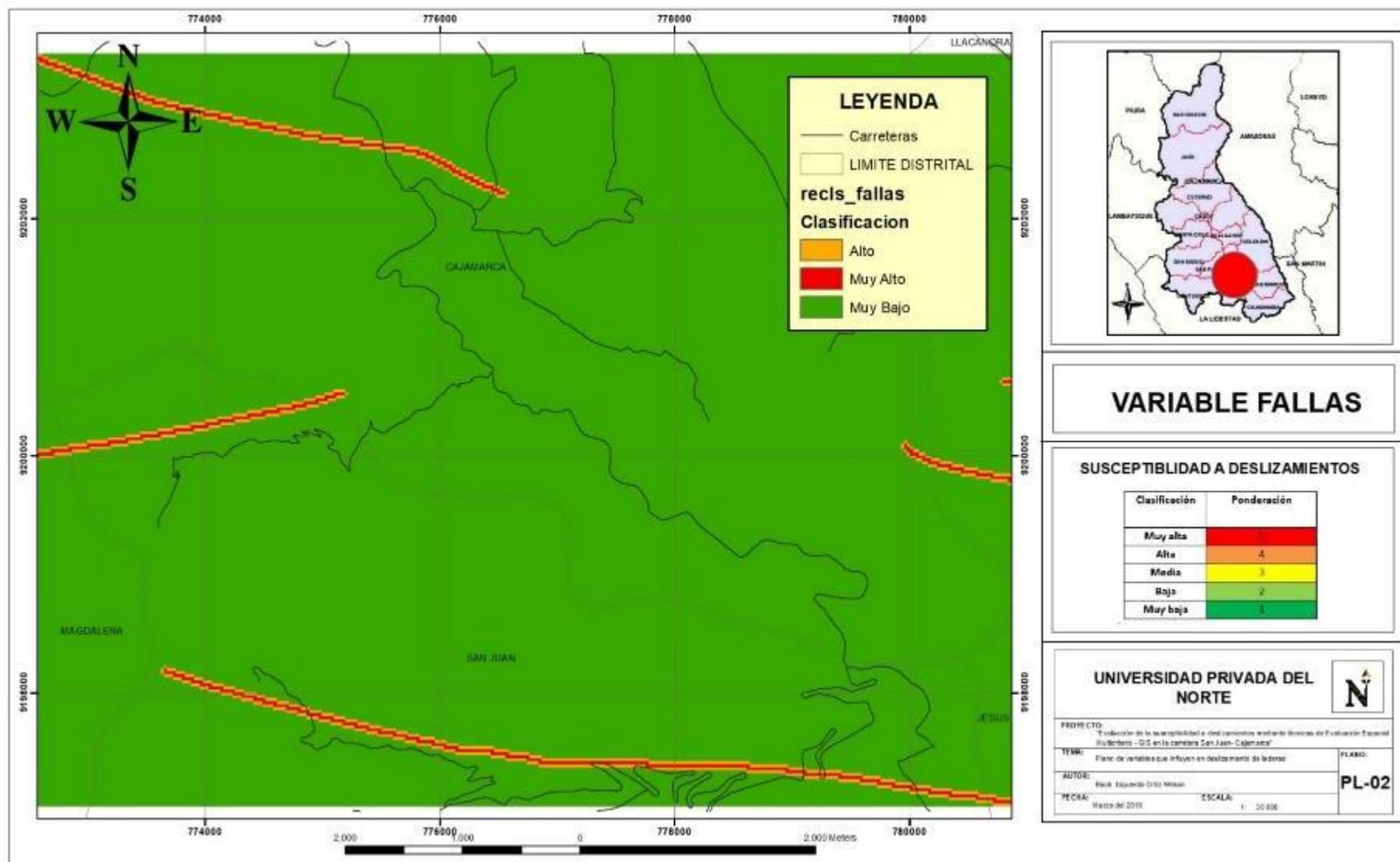
| <b>Valor<br/>parámetro<br/>fallas-<br/>proximidad</b> | <b>Valor peso<br/>clase</b> |
|---|-----------------------------|
| 0-10  | 5                           |
| 10-20   | 4                           |
| >20   | 1                           |

Fuente : Elaboracion propia a partir de la  
clasificación dada por (Regmi, 2010)

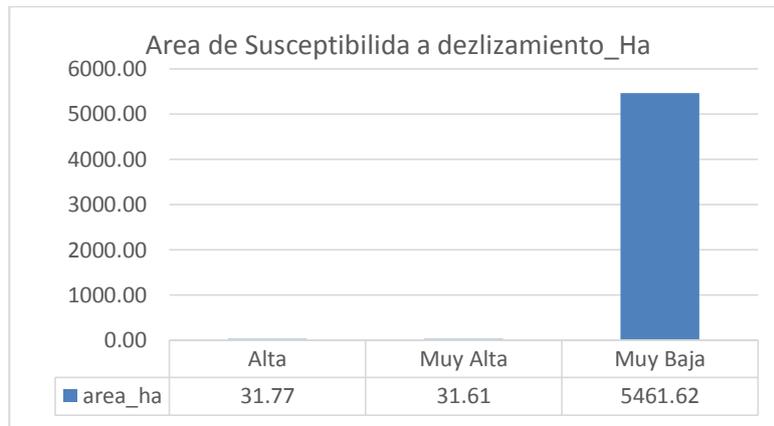
una vez creado el buffer en el software Arcgis 10.2 se emplea la herramienta Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster para crear un mapa raster; posteriormente se utiliza Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify y se emplean los valores que se muestran en la Tabla 9 y que se localizan dentro de la tabla de atributos del shape, con el objetivo de poder realizar la sumatoria de los mapas para hallar la susceptibilidad.

Valores de peso asignados al parámetro zona de influencia de fallas y sus clases asociadas.

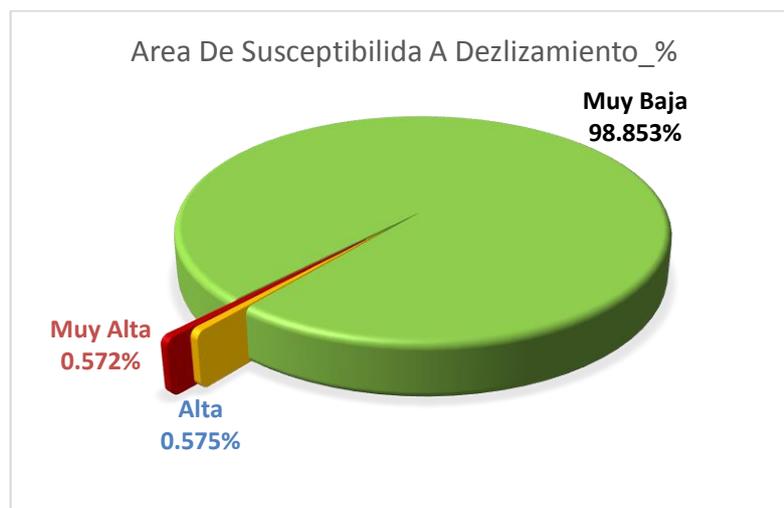
| <b>CLASIFICACIÓN</b> | <b>PONDERACIÓN</b> |
|----------------------|--------------------|
| <b>Muy alta</b>      | <b>5</b>           |
| <b>Alta</b>          | <b>4</b>           |
| <b>Media</b>         | <b>3</b>           |
| <b>Baja</b>          | <b>2</b>           |
| <b>Muy baja</b>      | <b>1</b>           |



**Figura 46** Mapa Ráster de la variable fallas



**Figura 47** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Fallas en Hectáreas.



**Figura 48** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Fallas en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Muy Alta** correspondiente a 31.61 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 0.572 % del área estudiada, Siendo esta área muy vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 31.77 ha, el cual representa el 0.575 %, siendo un área vulnerable a posibles deslizamientos. Además, se determinó un 98.853 % de un área de **Muy Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 5461.62.76 Ha. de la zona de estudio.

#### 3.3.4. VARIABLE RMR

El análisis del RMR en la zona de estudio nos permitirá definir la probabilidad de que ocurra un evento que generen deslizamientos.

La resistencia del macizo rocoso, es uno de los parámetros a tener en cuenta en este estudio, por su gran importancia, conocer el tipo de material y su capacidad a resistir, procesos geológicos externos e internos nos va a permitir determinar de manera más confiable las posibles zonas propensas a deslizarse.

Gracias a análisis en in-situ, y posteriormente en gabinete, podemos determinar y zonificar zonas con diferente resistencia a procesos geológicos (ver tabla)

En la Figura , se muestra el mapa correspondiente a la influencia del RMR ,el cual zonifica la distribución de la resistencia de la roca presentes en nuestra área de estudio Cajamarca – San Juan, se representó por áreas creada por la interpolación IDW de los datos obtenidos en campo, es decir se usó una herramienta que brinda el software ArcGIS, La herramienta IDW (Ponderación de distancia inversa) utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento (ArcGIS Pro 2.7, s.f.)

se usa la herramienta *Spatial Analyst Tool/interpolation/IDW*, este corresponde a un método de interpolación el cual generara un mapa raster, para esto se carga las estaciones geomecánicas las que contengan los datos obtenidos en el análisis del RM.

El objetivo es así obtener un Raster con las zonas de menor a mayor resistencia, después es clasificado Mediante la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify* de acuerdo a las intensidades descritas en la (tabla) para generar los contornos o zonificación de la resistencia del material, Después de realizado este procedimiento se realizar la reclasificación con los valores de peso de la Tabla 7.

Dentro del área de estudio después de la reclasificación se destaca principalmente 4 categorías de susceptibilidad que son las más representativas debido a la resistencia de los materiales, de tal forma que la susceptibilidad muy alta del mapa de RMR, corresponde con una amplia extensión ocupando parte del distrito de san juan.

**Tabla 23**

*Valoración Del Parámetro Susceptibilidad Con Respecto Al RMR*

| Caso macizos rocosos según RMR. Valoración RMR | Número de clase RMR | Descripción RMR | Valoración del parámetro $P_i$ |
|--|---------------------|-----------------|--------------------------------|
| < 20   | I                   | Muy pobre       | 5                              |
| 21-40  | II                  | Pobre           | 4                              |
| 41-60  | III                 | Medio           | 3                              |
| 61-80  | IV                  | Bueno           | 2                              |
| 81-100   | V                   | Muy Bueno       | 1                              |

**Fuente:** tomado (Mora & Vahrson, 1994)

**Tabla 24**

*Datos de campo De La Zona De Cajamarca.*

| Punto | Norte   | Este   | Altura | Resistencia<br>de la roca<br>intacata | RMR  |        |           |  |   |          |           |         |            |                  | TOTAL RMR |
|-------|---------|--------|--------|---------------------------------------|--|--------|-----------|--|---|----------|-----------|---------|------------|------------------|-----------|
|       |         |        |        |                                       | N° de<br>discontinui<br>dades por<br>metro<br>lineal | RQD(%) | VALOR RQD | Espaciamie<br>nto de las<br>discontinui<br>dades | Longitud de<br>la<br>Discontinui<br>dad | Abertura | Rugosidad | Relleno | Alteracion | Flujo de<br>agua |           |
| 1     | 9198116 | 774432 |        | 12                                    | 4  | 93.8   | 20        | 10   | 4                                       | 1        | 5         | 4       | 3          | 7                | 66        |
| 2     | 9197182 | 776978 |        | 12                                    | 11   | 69.9   | 13        | 8  | 4                                       | 1        | 5         | 4       | 3          | 7                | 57        |
| 3     | 9197514 | 779142 | 2984   | 12                                    | 5  | 90.9   | 20        | 10   | 2                                       | 1        | 5         | 4       | 3          | 7                | 64        |
| 4     | 9197568 | 779347 | 3024   | 12                                    | 6  | 87.8   | 17        | 10   | 2                                       | 1        | 5         | 4       | 3          | 7                | 61        |
| 5     | 9199028 | 779209 | 3187   | 7                                     | 15   | 55.78  | 13        | 8  | 6                                       | 1        | 6         | 4       | 5          | 7                | 57        |
| 6     | 9199180 | 779269 | 3180   | 7                                     | 15   | 55.78  | 13        | 8  | 6                                       | 1        | 6         | 4       | 5          | 7                | 57        |
| 7     | 9199488 | 777974 | 3199   | 4                                     | 15   | 55.78  | 13        | 8  | 6                                       | 1        | 6         | 2       | 5          | 7                | 52        |
| 8     | 9203039 | 777461 | 2783   | 12                                    | 13   | 62.68  | 13        | 10   | 4                                       | 3        | 5         | 6       | 5          | 7                | 65        |
| 9     | 9200260 | 777170 | 3169   | 7                                     | 14   | 59.1   | 13        | 15   | 4                                       | 6        | 6         | 4       | 5          | 7                | 67        |
| 10    | 9200544 | 776520 | 3134   | 7                                     | 14   | 59.1   | 13        | 15   | 4                                       | 6        | 6         | 4       | 5          | 7                | 67        |
| 11    | 9201374 | 775783 | 3124   | 7                                     | 14   | 59.1   | 13        | 20   | 2                                       | 6        | 6         | 4       | 5          | 7                | 70        |

ELABORACION PROPIA

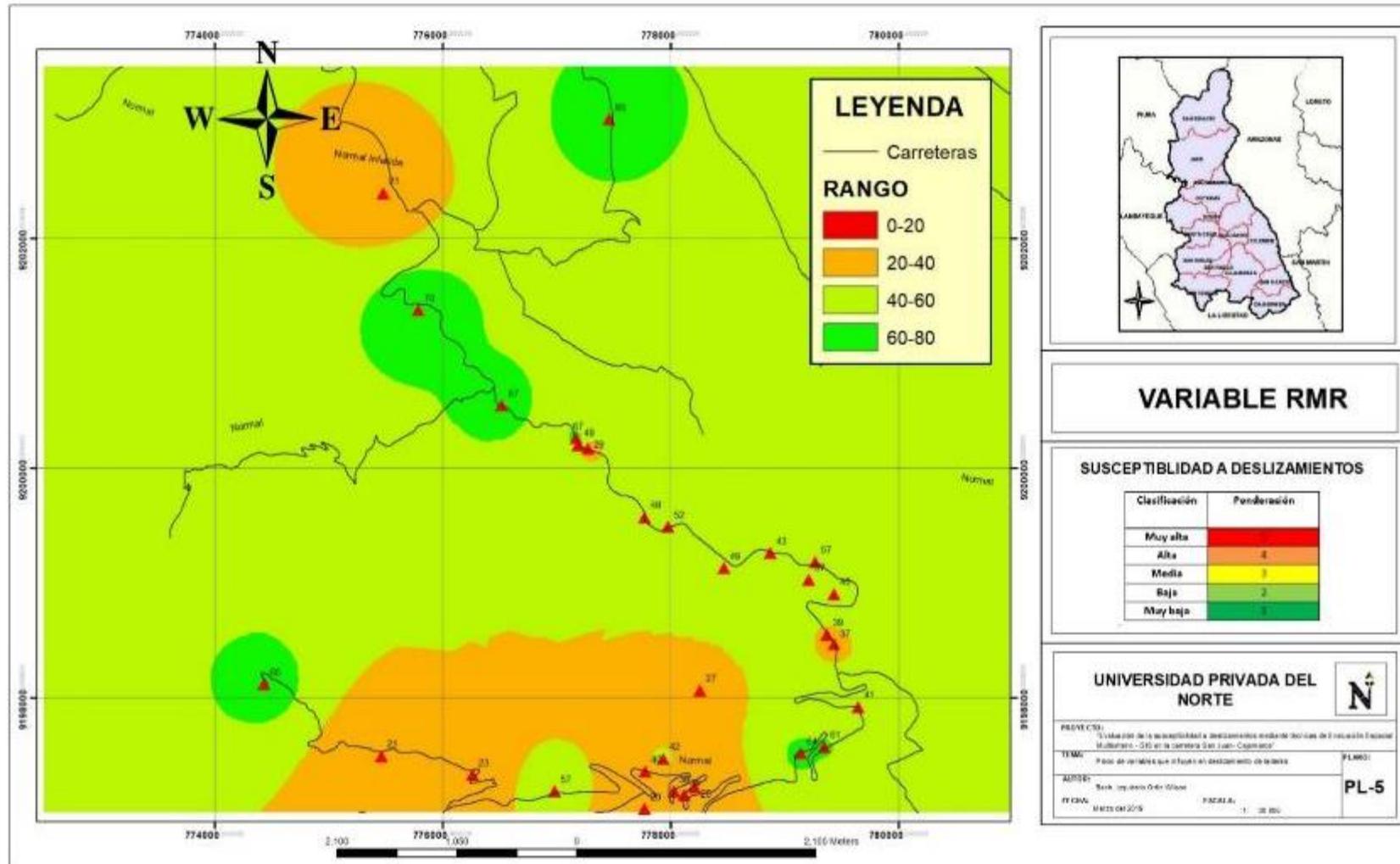
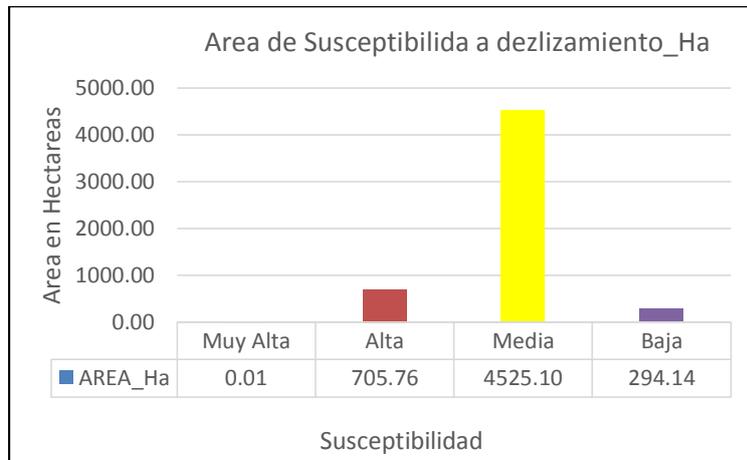
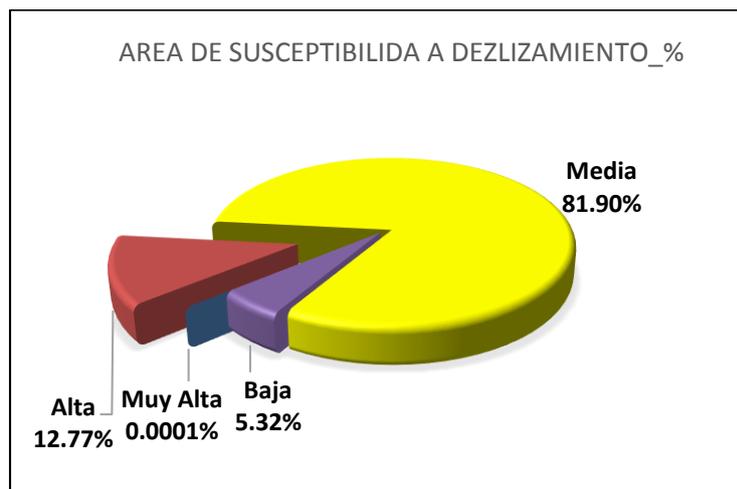


Figura 49 Mapa Ráster de Zonificación de la variable RMR



**Figura 50** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la *variable condicionante RMR en Hectáreas.*



**Figura 51** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable RMR en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Muy Alta** correspondiente a 0.01 Ha. (68.47 m<sup>2</sup>) el cual representa conforme a la figura 2, un 0.0001%, Siendo esta área muy vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 705.76 ha, el cual representa el 12.77 %, siendo un área vulnerable a posibles deslizamientos. **Susceptibilidad Media** corresponde a **4525.10 Ha** el cual representa a 81.90 % siendo una área medianamente vulnerable a deslizamiento. Además, se determinó un 5.32 % de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 294.14 Ha. de la zona de estudio.

### 3.3.5. VARIABLE PRECIPITACIÓN

Según Suárez (1998) existen evidencias muy claras de la relación directa entre el régimen de lluvias y la ocurrencia de procesos de movimientos en masa.

En la Figura 1, mostramos un mapa correspondiente a la variable precipitación, que zonifica la distribución de la lluvia máxima diaria presente en Cajamarca, representada por dos zonas donde se observa la concentración de los factores climatológicos que son obtenidos a partir de la zonificación climática en el software ArcGis; relacionado con su contribución a los movimientos en masa.

La activación de un deslizamiento puede depender no solamente de la cantidad total de lluvia sino también de la duración y de la intensidad de las lluvias que producen saturación y del régimen de los periodos lluviosos. Existe un valor crítico de lluvia que activa un deslizamiento, pero su cuantificación previa es muy difícil. Generalmente los valores por encima del promedio de lluvias son los que generan la mayoría de los problemas. Entre más lenta sea la lluvia habrá más infiltración y menos escorrentía. En zonas de pluviosidad moderada las lluvias lentas pueden producir el mayor número de deslizamientos. La proporción escorrentía-infiltración depende de la intensidad de la lluvia, la pendiente, la cobertura vegetal y la permeabilidad del suelo subsuperficial. (NATHALIA GÓMEZ CHAMORRO YULIANA OSORIO BETANCUR JULIÁN ANDRÉS SALAZAR TAMAYO)

nathalia, G., & Yuliana, O., & Julian, A. (2013). Título de la tesis (Gis para determinar la susceptibilidad a movimientos de masa en la cuenca del rio campoalegre). Universidad de Manizales, Colombia.

Para la generación del mapa de precipitación de la zona estudiada se tuvo en cuenta los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas: Granja Porcon, Magdalena, Cospan, Asuncion, San Juan, Augusto Weberbauer, Aylambo, La Victoria, Jesús, La Encañada, Namora, Cachachi, Sondor-Matara. Ver tabla

**Tabla 25**

*Datos de las estaciones meteorológicas de la región de Cajamarca*

| ESTACION           | ESTE X     | NORTE Y    | ALTITUD | AÑO 1   | AÑO 2  | DEPARTAMENTO | PROVINCIA  | DISTRITO      | PRECIPITACION AÑO 1 | PRECIPITACION AÑO 2 | PROMEDIO DE PRECIPITACION |
|--------------------|------------|------------|---------|---------|--------|--------------|------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| GRANJA PORCON      | 761455.443 | 9221431.85 | 3149    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | CAJAMARCA     | 162.3               | 94.4                | 128.35                    |
| MAGDALENA          | 759210.191 | 9197552.26 | 1307    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | MAGDALENA     | 65.8                | 26.5                | 46.15                     |
| COSPAN             | 771428.943 | 9178111.27 | 2423    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | COSPAN        | 108.3               | 105.6               | 106.95                    |
| ASUNCION           | 774279.94  | 9189440.74 | 2270    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | ASUNCION      | 75.9                | 85.5                | 80.7                      |
| SAN JUAN           | 777032.977 | 9192576.92 | 2228    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | SAN JUAN      | 88.3                | 101.1               | 94.7                      |
| AUGUSTO WEBERBAUER | 776888.045 | 9206969.59 | 2673    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | CAJAMARCA     | 69.23               | 55.8                | 62.515                    |
| AYLAMBO            | 774990.285 | 9204108.45 | 2894    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | CAJAMARCA     | 70.8                | 46                  | 58.4                      |
| LA VICTORIA        | 780589.195 | 9204327.74 | 2630    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | LLACANORA     | 87.3                | 40                  | 63.65                     |
| JESUS              | 788408.085 | 9198251.39 | 2564    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | JESUS         | 81.3                | 47.2                | 64.25                     |
| LA ENCAÑADA        | 794594.918 | 9211764.66 | 2980    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | ENCAÑADA      | 52.6                | 53.1                | 52.85                     |
| NAMORA             | 795133.211 | 9203203.46 | 2744    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJAMARCA  | NAMORA        | 82.2                | 50.1                | 66.15                     |
| CACHACHI           | 797833.322 | 9175468.49 | 3203    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | CAJABAMBA  | CACHACHI      | 75.1                | 51.5                | 63.3                      |
| SONDOR-MATARA      | 807841.69  | 9199113.13 | 2908    | 2018-12 | 2019-1 | CAJAMARCA    | SAN MARCOS | GREGORIO PITA |                     | 40.5                | 40.5                      |

Fuente: (Senamhi, 2019)

Se crea una tabla en Excel con los datos de cada estación, el cual servirá para cargar los datos a ArcGis 10.2, donde se utiliza el método de interpolación inverso a la distancia.

Se usa la herramienta *Spatial Analyst Tool/interpolation/IDW* en esta ventana se cargarán nuestras estaciones que cuentan con su respectiva coordenada asimismo cuentan con la información de la precipitación de cada estación antes mencionada, para así obtener un Raster con las zonas de menor y mayor precipitación (VER MAPA 1),

Posteriormente es clasificado de acuerdo a las intensidades descritas en la tabla después es reclasificado con los valores de los rangos de la tabla, Mediante la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassif* (Ver Figura 51)

**Tabla 26**  
*Precipitaciones De La Zona De Cajamarca*

| CLASIFICACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES DIARIAS |            |
|--|------------|
| Clasificación                                | Rango (mm) |
| Lluvia nula(LLN)                             | 0          |
| Lluvia Ligeras(LLI)                          | 0-5        |
| Lluvia Moderadas (LLM)                       | 5-20       |
| Lluvia Fuertes(LLF)                          | 20-70      |
| Lluvia Intensas(LLI)                         | 70-150     |
| Lluvia Torrenciales(LLT)                     | >150       |

Fuente: (Brown, Ruiz, Gallardo, & Valero, 2017)

En el primer plano podemos observar un ráster generado por las estaciones meteorológica de Cajamarca en la cual se diferencian dos zonas, se consideró 13 estaciones, en la parte sur-oeste en el distrito de san juan se encuentra la mayor concentración de la presencia de lluvias de intensas con un máximo de 128.35 mm.

El segundo plano, corresponde al área estudiada, en esta observamos que al norte hay presencia de lluvias fuertes, con un mínimo de 20 mm

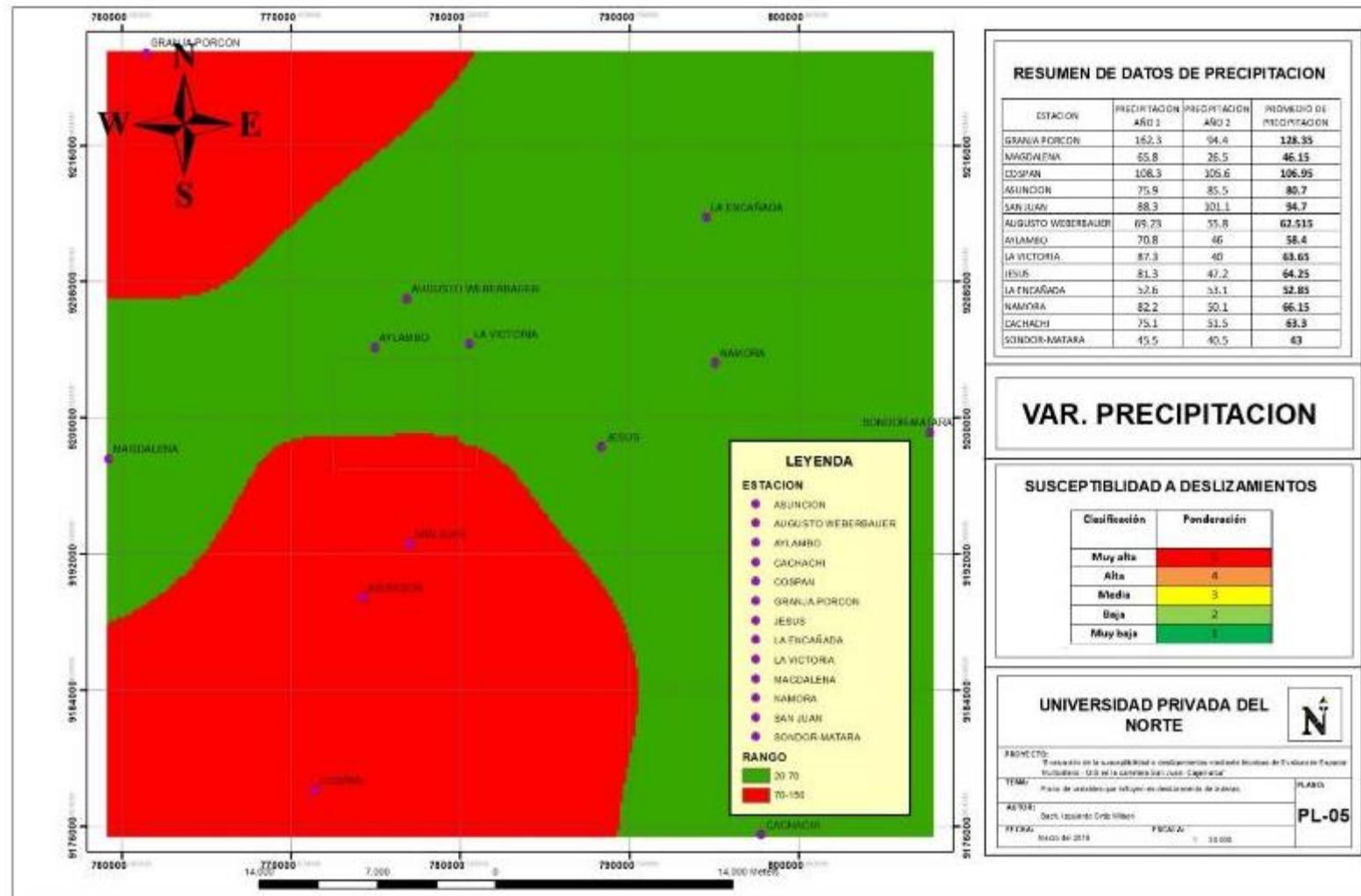
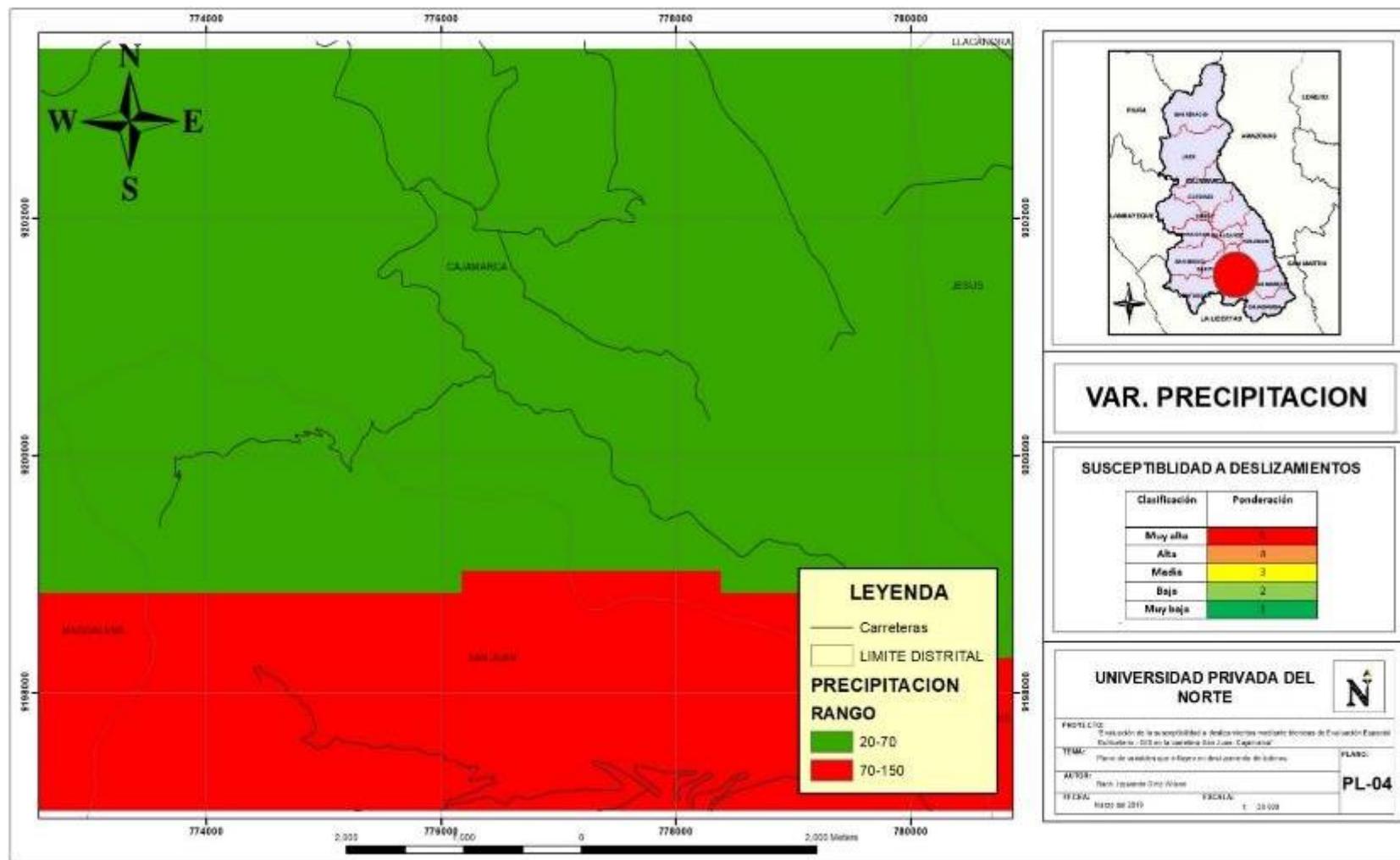
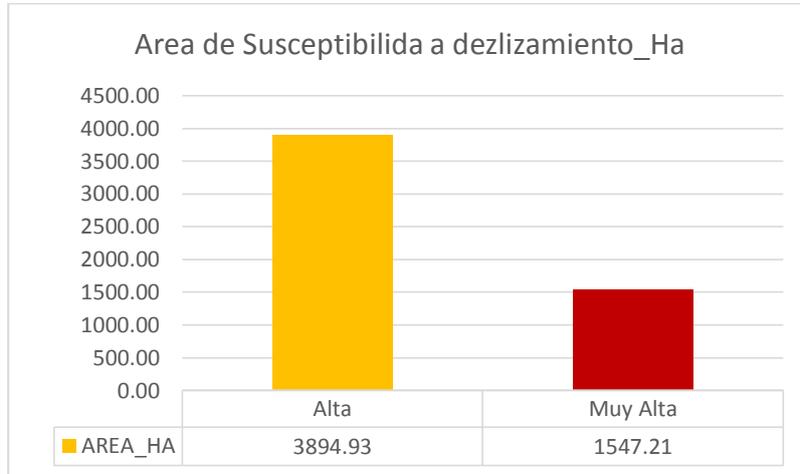


Figura 52 Figura ráster representativo de la distribución de estaciones meteorológicas en la región de Cajamarca



**Figura 53** Mapa Ráster de precipitación área estudiada

En la figura 52 podemos observar que la concentración de la mayor precipitación se encuentra en la parte baja de la zona de estudio, perteneciente a la distrito de san juan, y la de menor precipitación se encuentra en Cajamarca y parte de Jesús.



**Figura 54** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Precipitación en Hectáreas.



**Figura 55** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable RMR en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Muy Alta** correspondiente a 1547.21 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 28.43 %, Siendo esta área muy vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 3894.93 ha, el cual representa el 28.43 %, siendo un área vulnerable a posibles deslizamientos.

### 3.3.6. VARIABLE DE FACTOR DE SEGURIDAD

En el presente trabajo de investigación se consideró los siguientes valores para la clasificación de los taludes de la zona evaluada, según los autores hoek & bray los valores del factor de seguridad para el cálculo de taludes son de  $FS = 1.3$  , para el caso de "taludes temporales, Y de  $FS = 1.5$  para el caso de taludes definitivos (Hoek & Bray, 1981)

De acuerdo a estos valores propuestos por los autores hoek & bray , se consideró los rangos de la tabla siguiente:

**Tabla 27**  
*Rangos del Factor de seguridad*

| Clasificación<br>F.S | rango     | ponderación |
|----------------------|-----------|-------------|
| Muy inestable        | 0 a 0.9   | 5           |
| Inestable            | 0.9 a 1.5 | 4           |
| Equilibrio           | 1.5 a 2   | 3           |
| Buena                | 2 a 3.5   | 2           |
| Muy buena            | 3.5 a 5.5 | 1           |

Fuente: elaboración propia

La variable de factor es empleada para conocer cuál es el factor de amenaza para que la ladera o talud falle en las peores condiciones, es decir la estabilidad o posible inestabilidad que presentan. Esta variable nos permitirá definir y delimitar la zona con baja y alta estabilidad que influirán en la probabilidad de deslizamientos.

El plano que representa F.S de la zona san Juan - Cajamarca, contiene principalmente la información obtenida en campo y posteriormente trabajada en gabinete.

En el capítulo anterior se trabajó un apartado más detallado para la obtención de F.S, utilizando SLIDE, ROCKLAB, así como también clasificación de suelos SUCS, y tablas GSI. En este capítulo solo se utilizará el resultado obtenido para luego usar en el software ArcGis el cual nos servirá para la generación de un plano de susceptibilidad a deslizamientos.

Para la elaboración del mapa F.S de la zona de los distritos de san juan, magdalena y Cajamarca se tuvo en cuenta los datos que se obtuvieron de salidas de campo en diferentes taludes distribuidas en toda la zona, para un conocimiento más detallado, posteriormente se procede a cargar los datos al software SLIDE para la obtención de estos factores de seguridad del área estudiada, con estos nuevos datos se cargan al ArcGis 10.2, donde se utiliza el método de interpolación IDW. Para cargar los datos al ArcGis, se creó un Excel donde hay información de TALUD analizado, con sus respectivas coordenadas y valor encontrado para luego ser exportado al ArcGis en formato csv.

se usa la herramienta *Spatial Analyst Tool/interpolation/IDW*, este corresponde a un método de interpolación el cual generara un mapa ráster, para esto se carga los valores obtenidos en el análisis realizado en el capítulo anterior,

así se obtuvo un Ráster con las zonas de menor a mayor estabilidad (Ver Mapa 55), luego de esto es clasificado de acuerdo a los rangos descritos en la tabla 27, para generar la zonificación de F.S de los taludes, Después de realizado este procedimiento se realizar la reclasificación con los valores de peso de la Tabla 27. Mediante la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify*. VER MAPA 55

El objetivo de convertir estos datos de F.S obtenidos del SLIDE a una capa rastes, es para tener una predicción del comportamiento da las laderas, delimitando zonas potencialmente inestables que podrían generar deslizamientos. Es por ello que dentro del área de estudio se reclasifico en cinco categorías de susceptibilidad que son las más representativas debido a la estabilidad de los materiales, de tal forma que la susceptibilidad se distribuye de muy baja a muy alta.

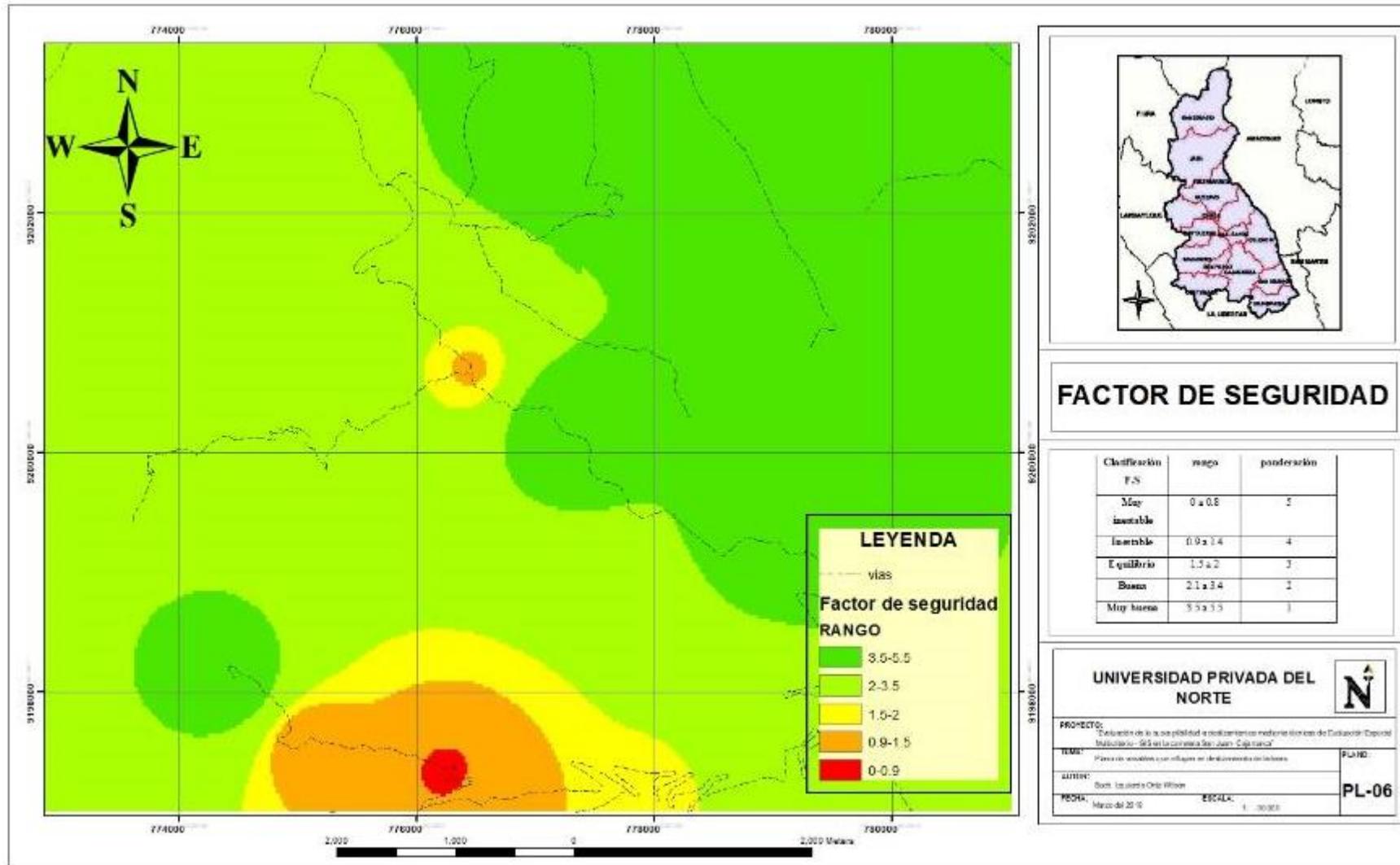
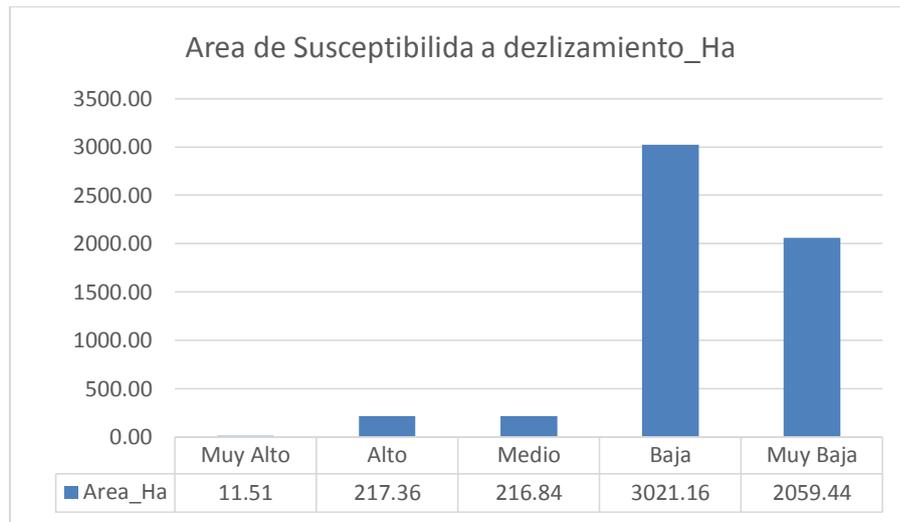
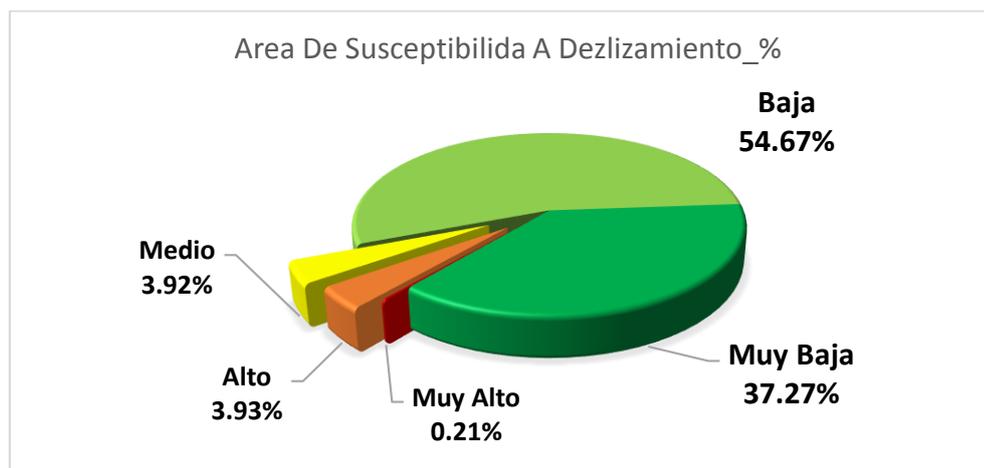


Figura 56 Mapa ráster de la variable factor de seguridad



**Figura 57** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Factor de Seguridad en Hectáreas.



**Figura 58** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Factor de Seguridad en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Muy Alta** correspondiente a 11.51 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 0.21 %, Siendo esta área muy vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 217.36 ha, el cual representa el 3.93 %, siendo un área vulnerable a posibles deslizamientos. **Susceptibilidad Media** corresponde a **216.36 Ha** el cual representa a 3.92 % siendo una área medianamente vulnerable a deslizamiento. Además, se determinó un 54.67 % de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 3021.16 Ha. de la zona de estudio y un 37.27% de un área **Muy Baja Susceptibilidad** que representa un 2059.44.

### 3.3.7. VARIABLE TIPO SUELOS

Los suelos como parte de la superficie adquieren una gran importancia en los parámetros a evaluar en la susceptibilidad a los movimientos en masa, que constituye el mayor desplazamiento del material en movimientos en más, Son causados por cambios en la condición de los materiales, la influencia directa o indirecta de las lluvias y la humedad de los suelos.

La condición de los tipos de suelos determina una contribución a la susceptibilidad con sus diferentes composiciones del suelo, su relación con los deslizamientos es importante para el estudio.

Los tipos de suelos correspondiente a nuestro estudio, tiene gran influencia en los deslizamientos con la composición de cada material que presenta dichos suelos. Entre estos materiales tenemos los siguientes:

**Tabla 28**

*Tipo de suelos De La Zona De Cajamarca.*

| TIPO DE SUELO            | DESCRIPCION  | GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD         |
|--------------------------|--|----------------------------------|
| <b>Leptosol-regosol</b>  | Se encontró la presencia de rocas areniscas, lutitas y calizas, son suelos superficiales, esta al almacenar agua en poca cantidad, pero presentar un alto riesgo en erosión                                  | <b>MUY ALTA A DESLIZAMIENTOS</b> |
| <b>Phaeozem-leptosol</b> | Se encontró presencia de rocas calizas, areniscas, con suelos superficiales a profundos, paisaje fisiográfico ondulado, crecimiento de vegetación y plantas, son suelos húmedos                              | <b>ALTA A DESLIZAMIENTOS.</b>    |
| <b>Phaeozem</b>          | De areniscas, lutitas y calizas, con profundidad alta, cultivos agrícolas, estos tienen una fisiografía suave, pero tienen la capacidad de almacenar humedad en poca cantidad                                | <b>MEDIA A DESLIZAMIENTOS.</b>   |
| <b>Andosol</b>           | Presencia de rocas volcánicas en descomposición, con suelos superficiales, presentan un relieve ondulado y se encuentran ocupados en su mayor extensión por pastos naturales, tiene alto potencial agrícola, | <b>BAJA A DESLIZAMIENTO.</b>     |

Los datos utilizados son del **MINAM** (Ministerio del Ambiente) y **MINAGRI** (Ministerio de Agricultura) los mismos que usan datos que la **ONERN** (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales), estos datos en formato shapefile fueron descargados de **GEO GPS PERU** para posteriormente sean trabajados en ArcGIS (GEO GPS PERU, s.f.)

La data descargada fue exportada al software ArcGis, el siguiente paso es convertir a raster, se usó la siguiente herramienta *Conversión Tolo/ To Raster/ Feature To Raste*, nos aparecerá un cuadro donde seleccionamos el shape exportado. Posteriormente reclasificamos el raster en cinco categorías (muy alta, alta, media, baja, muy baja) mediante la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify* ver mapa ()

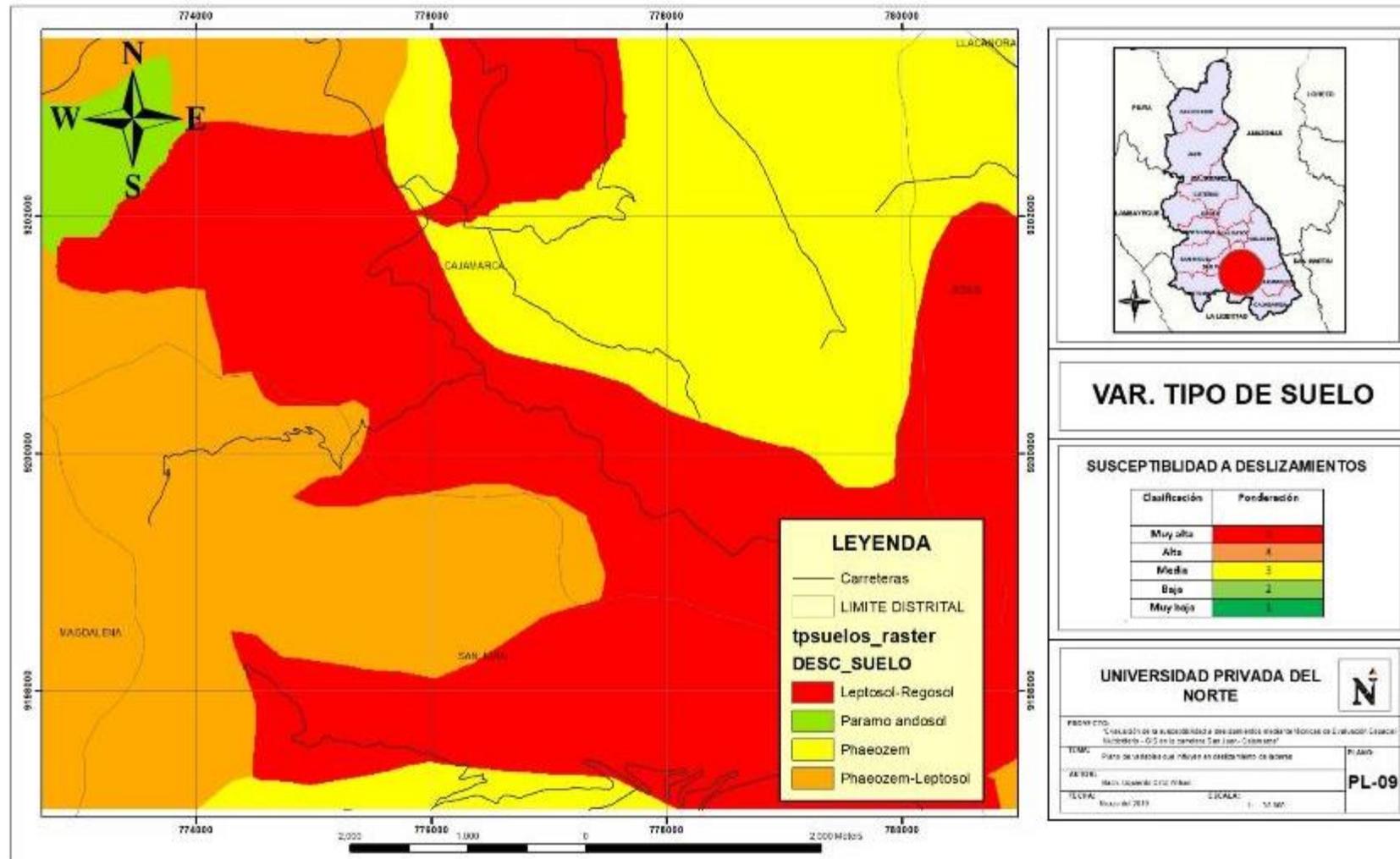
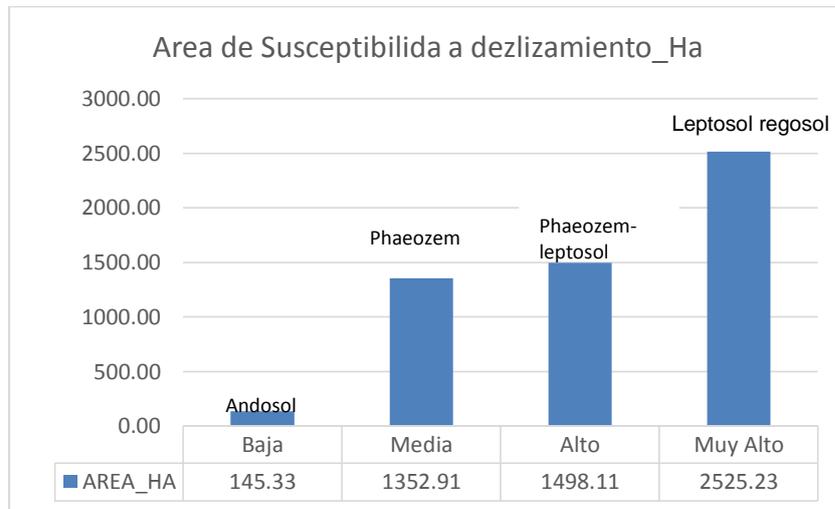
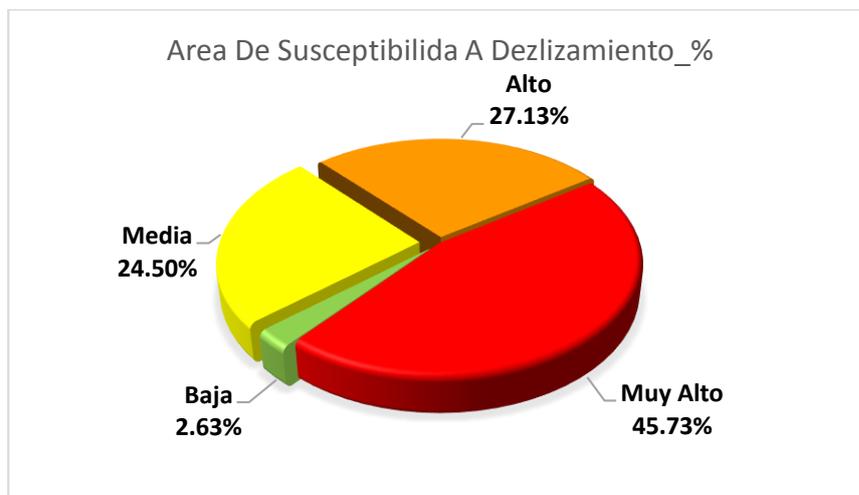


Figura 59 Mapa ráster de la variable tipo de suelo



**Figura 60** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Tipo de Suelo en Hectáreas.



**Figura 61** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Tipo de Suelo en el área de estudio

Se determinó según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Muy Alta** correspondiente a 2525.23 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 45.73 %, Siendo esta área muy vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 1498.11 ha, el cual representa el 27.13 %, siendo un área vulnerable a posibles deslizamientos. **Susceptibilidad Media** corresponde a 1352.91 Ha el cual representa a 24.50 % siendo un área medianamente vulnerable a deslizamiento. Además, se determinó un 2.63 % de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 145.33 Ha. de la zona de estudio.

### 3.3.8. VARIABLE USO ACTUAL DE SUELOS

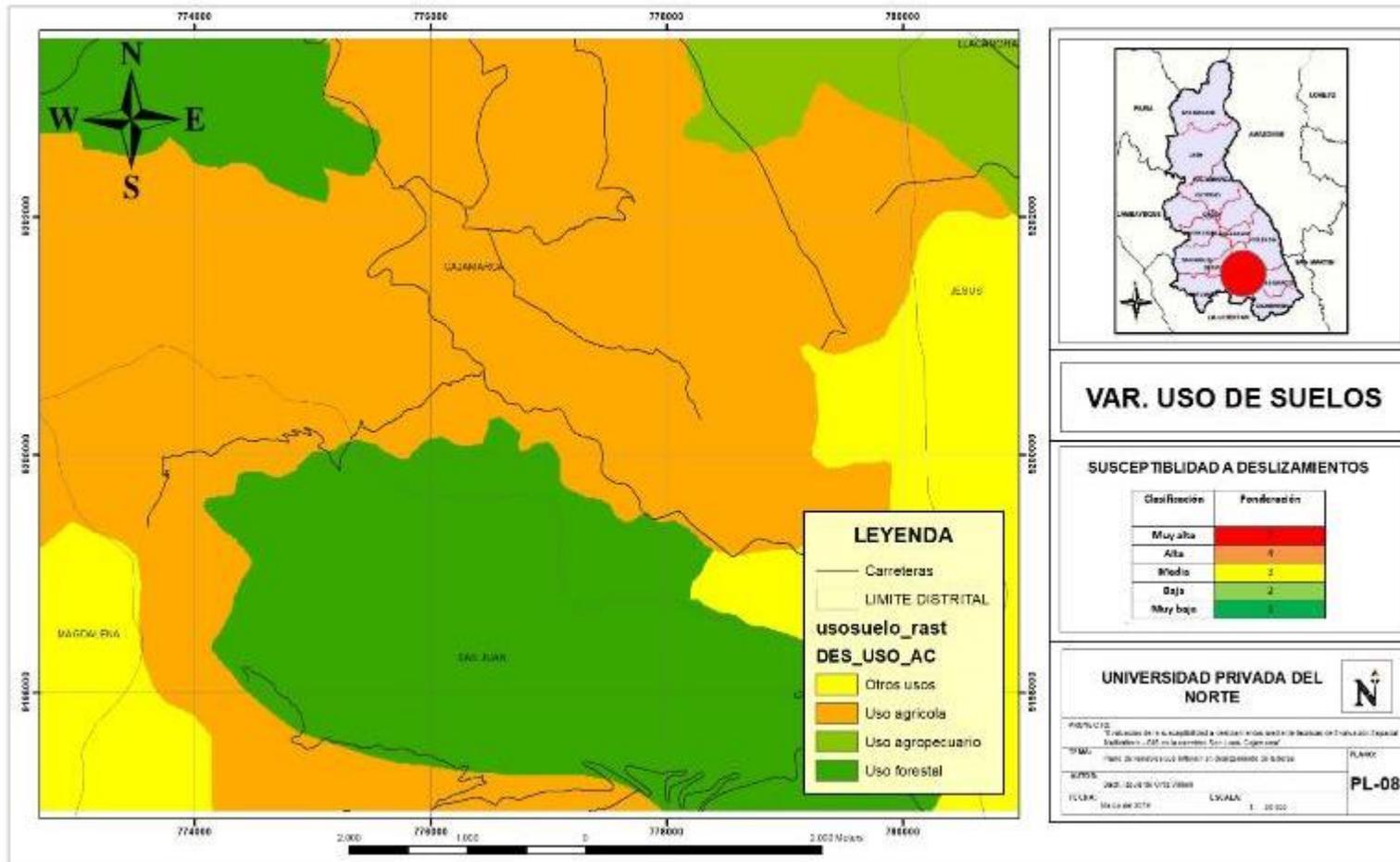
El uso de los suelos tiene una relación directa con los deslizamientos, por lo general los procesos de movimientos de masa tiene relación con el tipo de cobertura que presentan cada zona, encontrándose en la su mayoría deslizamientos en terrenos cultivados, y pastos, que en aquellas zonas donde se encuentran raíces, zona forestal y arbustiva, ya que estas permiten una resistencia a la ruptura o fallamientos del terreno y generando la susceptibilidad a movimientos.

La deforestación por cambios en el uso (pastos y cultivos) produce una inestabilidad de las formaciones superficiales siendo propensas a procesos de movimientos en masa. En zonas de pendientes fuertes la estabilidad se debe a raíces profundas ( (RICE, 1977) citado por (FLOREZ, 1986), tanto por el anclaje vertical como por el horizontal ( (GRAY D. & SOTIR R., 1996), (DYRNESS, 1967), citados por (FLOREZ, 1986)

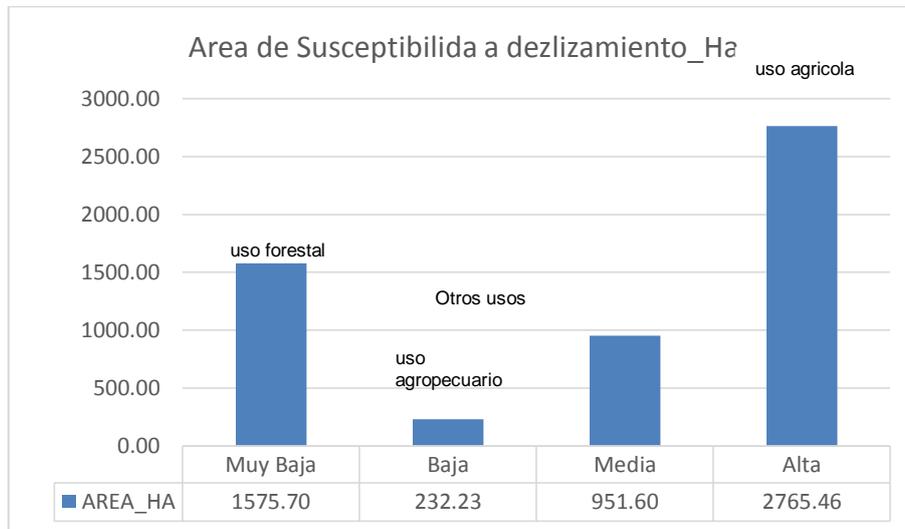
En la Figura se muestra el mapa correspondiente a uso de suelo, que zonifica la distribución de los diferentes usos en el distrito de san juan, magdalena y Cajamarca, representada por cuatro zonas donde se observan el uso de cada uno de estos suelos obtenidos a partir de la delimitación por ZEE – MINAM

Los datos utilizados son del MINAM (Ministerio del Ambiente), estos datos en formato shapefile fueron descargados de GEO GPS PERU para posterior mente sean trabajados en ArcGis (GEO GPS PERU, s.f.)

Para la elaboración del mapa de uso de suelo de la zona de los distritos de san juan, magdalena y Cajamarca se tuvo en cuenta la base de datos, delimitadas por MINAM, esta base se carga al ArcGis 10.2 en donde se utilizó y delimito a nuestra zona de estudio, posterior mente se evaluó y se procedió a la clasificación de susceptibilidad, este datos están sistema vectorial por lo que Adicionalmente se debe emplear la herramienta *Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster* en ArcGis 10.2 convirtiéndose en raster para poder realizar la sumatoria de los parámetros para hallar la susceptibilidad. Adicionalmente debe emplearse la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify*, clasificándolos en cinco categorías generando la zonificación de uso actual de suelos.



**Figura 62** Mapa Ráster Variable Uso De Suelos



**Figura 63** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante *Uso de Suelos en Hectáreas*.



**Figura 64** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable *Uso de Suelos en el área de estudio*

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 2765.46 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 50.05 %, Siendo esta área vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Media** correspondiente a 951.60 ha, el cual representa el 17.22 %, siendo un área vulnerable a posibles deslizamientos. **Susceptibilidad Baja** corresponde a **232.23 Ha** el cual representa a 4.20 % siendo una área medianamente vulnerable a deslizamiento. Además, se determinó un 28.52 % de un área de **Muy Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 1575.70 Ha. de la zona de estudio.

### 3.3.9. VARIABLE GEOMORFOLOGIA

La forma de la superficie de la tierra, tiene un papel importante en el estudio de la susceptibilidad a deslizamientos, esta nos ayuda a entender su génesis y su actual comportamiento por diferentes procesos destructivos y constructivos.

Las unidades geomorfológicas se clasificaron según su morfogénesis,

**Tabla 29**  
*Geomorfología De La Zona De Cajamarca.*

| CLASIFICACION  | DESCRIPCION   | GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD            |
|--|---|-------------------------------------|
| <b>VERTIENTE O<br/>PIEDEMONTES<br/>COLUVIO-<br/>DELUVIAL</b> | Son depósitos de ladera originadas por procesos de movimientos de laderas de tipo deslizamiento, derrumbe.<br><br>Por lo general su composición litológica es homogénea con depósitos de corto recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes.<br><br>Su morfología es usualmente convexa | <b>SUSCEPTIBILIDAD<br/>MEDIA</b>    |
| <b>PIEDEMONTES<br/>ALUVIO<br/>LACUSTRE</b>                   | Planicie ligeramente inclinada que se extiende al pie de los relieves montañosos, originada por la acumulación de sedimentos aluviales sobre una depresión antigua lagunar. Está compuesta por una mezcla de abanicos deluviales o conos de deyección.  | <b>SUSCEPTIBILIDAD MUY<br/>BAJA</b> |
| <b>ABANICO<br/>PIEDEMONTES</b>                               | forma de relieve deposicional originada en la base o pie (piedemonte) de un frente montañoso, genéticamente asociada a las descargas sólidas (sedimentos) de un curso de agua (río o quebrada) que drena desde un área topográficamente elevada a un área más baja y plana adyacente                  | <b>SUSCEPTIBILIDAD<br/>BAJA</b>     |
| <b>RELIEVES<br/>MONTAÑOSOS</b>                               | laderas de montañas y colinas estructuralmente (anticlinales y sinclinales), con pendientes entre suaves y abruptas, erosionadas.   | <b>SUSCEPTIBILIDAD<br/>ALTA</b>     |

(INGEMMET, 2010)

Para la elaboración del mapa de geomorfología de la zona de los distritos de san juan, magdalena y Cajamarca se tuvo en cuenta la base de datos, delimitadas por ZEE/MINAM, esta base se carga al ArcGis 10.2 en donde se utilizó y delimito a nuestra zona de estudio, posteriormente se evaluó y se procedió a la clasificación de susceptibilidad, este datos están sistema vectorial por lo que Adicionalmente se debe emplear la herramienta *Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster* en ArcGis 10.2 convirtiéndose en raster para poder realizar la sumatoria de los parámetros para hallar la susceptibilidad. Adicionalmente debe emplearse la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify*, clasificándolos en cinco categorías generando la zonificación de la geomorfología.

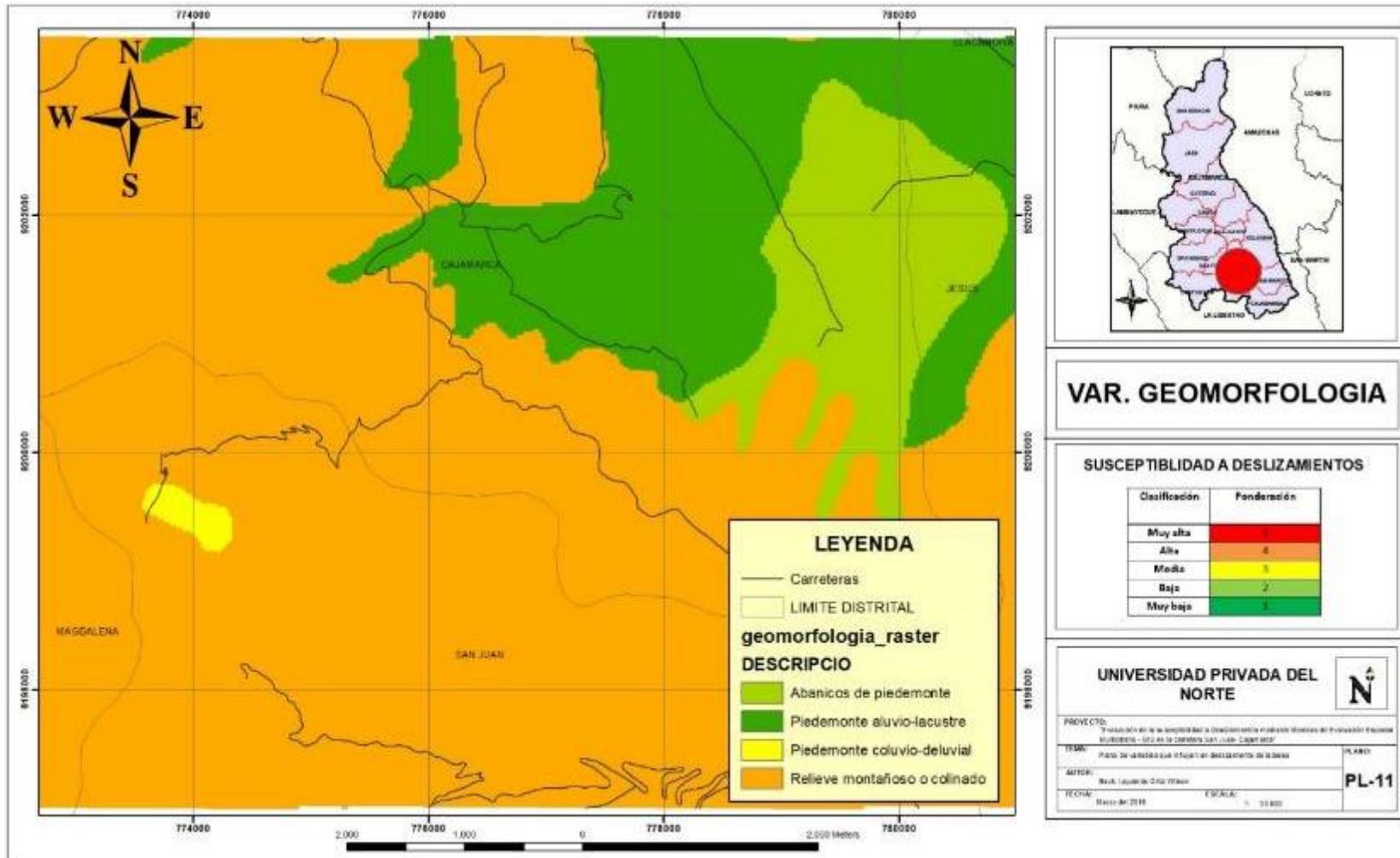
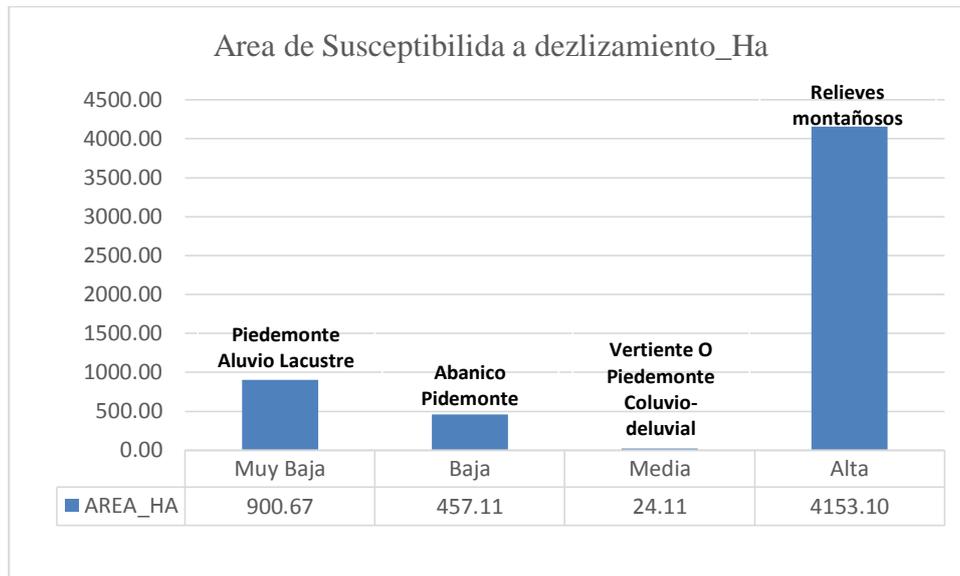
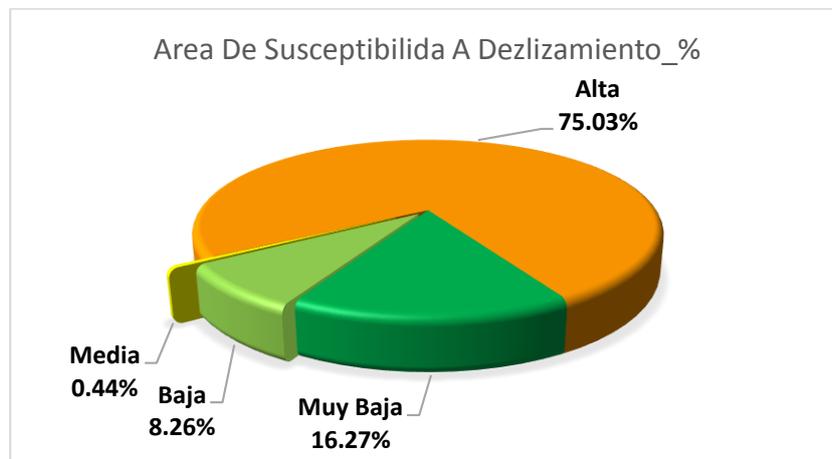


Figura 65 Mapa ráster de la variable geomorfología



**Figura 66** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Geomorfología en Hectáreas.



**Figura 67** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Geomorfología en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 4153.10 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 75.03 %, Siendo esta área vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Media** correspondiente a 24.11 ha, el cual representa el 0.44 %, siendo un área vulnerable a posibles deslizamientos. **Susceptibilidad Baja** corresponde a **457.11 Ha** el cual representa a 8.26 % siendo una área medianamente vulnerable a deslizamiento. Además, se determinó un 16.27 % de un área de **Muy Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 900.67 Ha. de la zona de estudio.

### 3.3.10. VARIABLE FISIOGRAFÍA

Es la descripción de la naturaleza a partir del estudio del relieve y la litosfera, que nos ayudara a reconocer la forma de la tierra.

La forma de la superficie toma importancia en los parámetros a evaluar en la susceptibilidad a los deslizamientos de masa, debido a que esta zona de estudio se localiza en la cordillera occidental de los andes, esta zona presenta formas desiguales dando lugar a pequeños valles.

La fisiografía está compuesta por cuatro categorías, la primera corresponde al gran paisaje, caracterizado por su macro modelado, la segunda categoría corresponde a al paisaje, esta se caracteriza por su relieve y litología, la tercer categoría corresponde a subpaisaje corresponde a la acción de modificadores que han actuado o están actuando sobre el paisaje, los cuales han generado terrazas, colinas bajas, islas playones, orillares; la cuarta categoría esta corresponde a elementos del paisaje es decir características visibles, drenajes, pendientes, alturas, etc.

Todas estas categorías han generado la fisiografía correspondiente en la zona de estudio

**Tabla 30**  
*Fisiografía De La Zona De Cajamarca.*

| FISIOGRAFIA   | SIMBOLOGIA | DESCRIPCION  | GRADO DE<br>SUSCEPTIBILIDAD  |
|---|------------|--|------------------------------|
| <b>Altoandina Planicie<br/>Ondulada Disectada</b>   | MSsmkLG    | Vertientes<br>montañosas,<br>Superficie fuertemente empinada                       | <b>SUSCEPTIBILIDAD ALTA</b>  |
| <b>Mesoandina Planicie<br/>Ondulada A Disectada</b> | PADpD      | Superficie vertiente montañosa<br>empinada a escarpada y<br>moderadamente empinada | <b>SUSCEPTIBILIDAD BAJA</b>  |
| <b>Mesoandina Montaña</b>                           | MSacILF    | vertiente montañosa empinada a<br>escarpada Superficie empinada                    | <b>SUSCEPTIBILIDAD MEDIA</b> |

Para la elaboración del mapa de fisiografía de la zona de los distritos de san juan, magdalena y Cajamarca se tuvo en cuenta la base de datos, delimitadas por **Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales - ONERN**, esta base se carga al ArcGis 10.2 en donde se utilizó y delimito a nuestra zona de estudio, posterior mente se evaluó y se procedió a la clasificación de susceptibilidad, este datos están sistema vectorial por lo que Adicionalmente se debe emplear la herramienta *Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster* en ArcGis 10.2 convirtiéndose en raster para poder realizar la sumatoria de los parámetros para hallar la susceptibilidad. Adicionalmente debe emplearse la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify*, clasificándolos en cinco categorías generando la zonificación de la fisiografía.

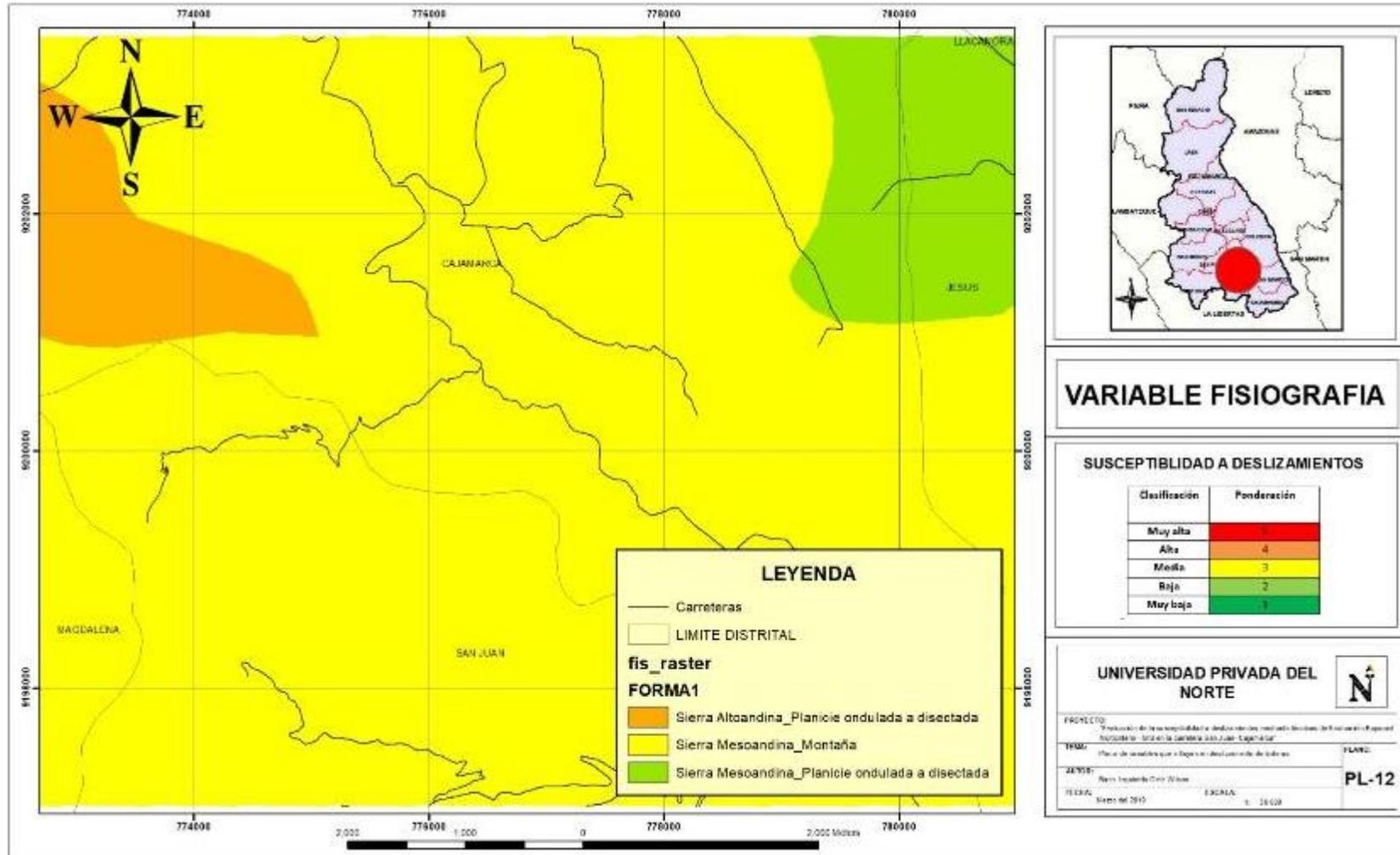
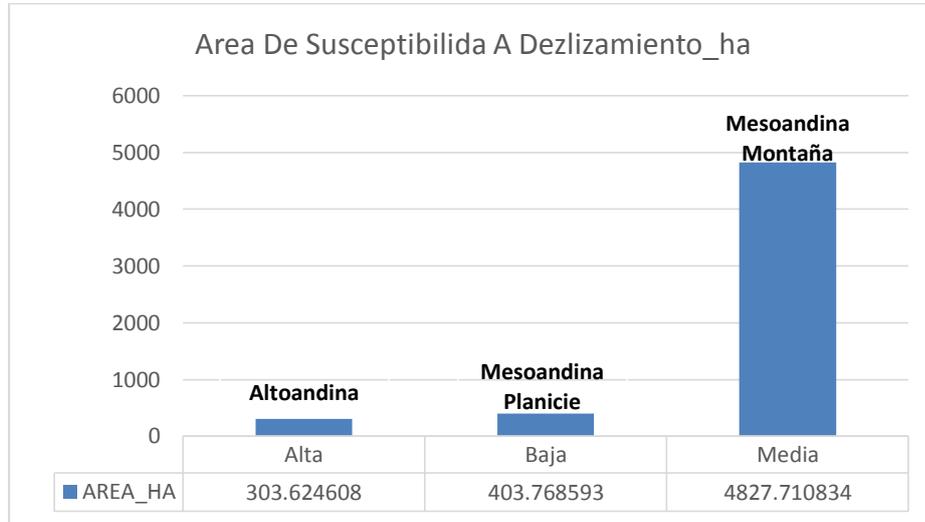
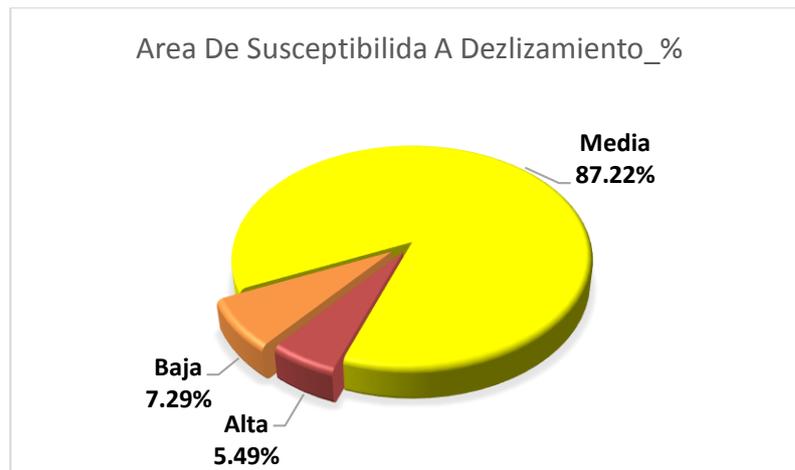


Figura 68 Mapa Raster Variables Fisiografía



**Figura 69** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante *Fisiografía* en Hectáreas.



**Figura 70** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable *Fisiografía* en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 303.62 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 5.49 %, Siendo esta área vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Media** corresponde a **4827.71 Ha** el cual representa a 87.22 % siendo una área medianamente vulnerable a deslizamiento. Además, se determinó un 7.29 % de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 403.77 Ha. de la zona de estudio

### 3.3.11. VARIABLE COBERTURA VEGETAL

Para este variable se trabajó data del (Ministerio del Ambiente, 2015) y datos de shape delimitadas por MINAN. Las cuales fueron procesadas e interpretadas en el software ArcGIS.

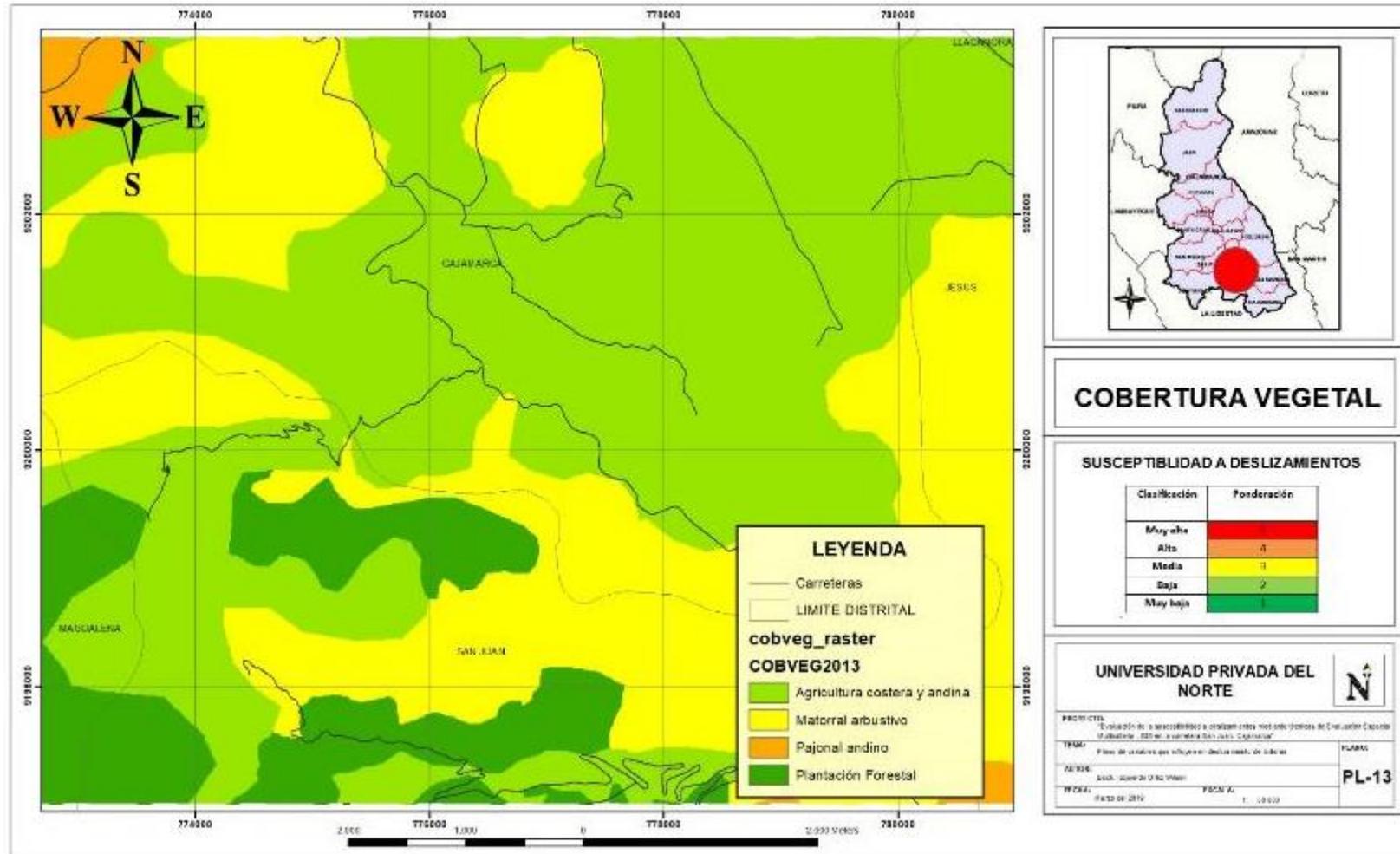
**Tabla 31**

*Cobertura Vegetal De La Zona De Cajamarca.*

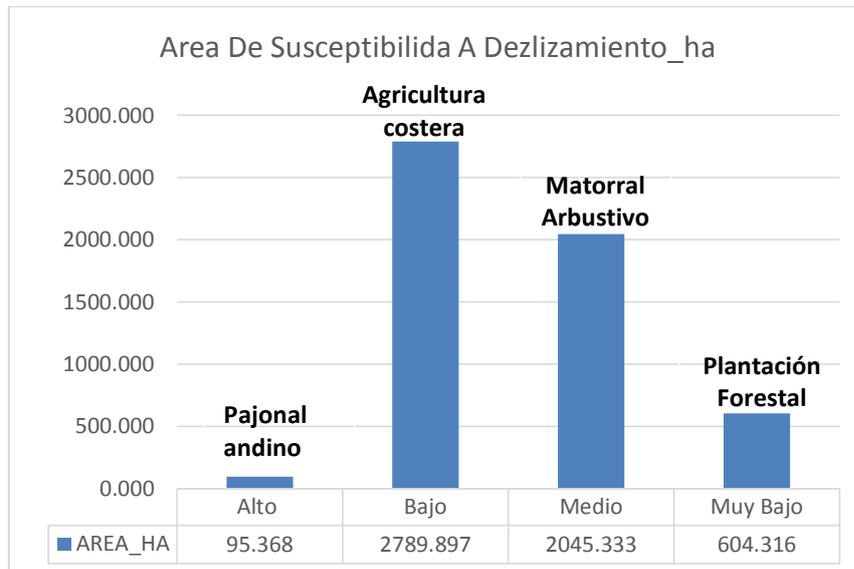
| TIPO DE COBERTURA                   | DESCRIPCIÓN   | GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD        |
|-------------------------------------|---|---------------------------------|
| <b>Agricultura costera y andina</b> | Se observo zonas planas usadas por los pobladores de la zona para uso de sus cultivo y actividad agropecuaria, generalmente son zonas planas y con pendientes muy bajas | <b>susceptibilidad baja</b>     |
| <b>Matorral Arbustivo</b>           | Presencia de arbustos, existe una cubierta vegetal pobre, provocando un espacio apto para erosión y escorrentías.   | <b>susceptibilidad media</b>    |
| <b>Pajonal andino</b>               | presentan una superficie muy descubierta dando paso a la erosión y escorrentía, al no contar con vegetación apta en la protección                                       | <b>susceptibilidad alta</b>     |
| <b>Plantación Forestal</b>          | árboles que conforman una masa boscosa, es muy favorable en la protección de la superficie de la tierra,  | <b>susceptibilidad Muy baja</b> |

**Fuente:** (Ministerio del Ambiente, 2015)

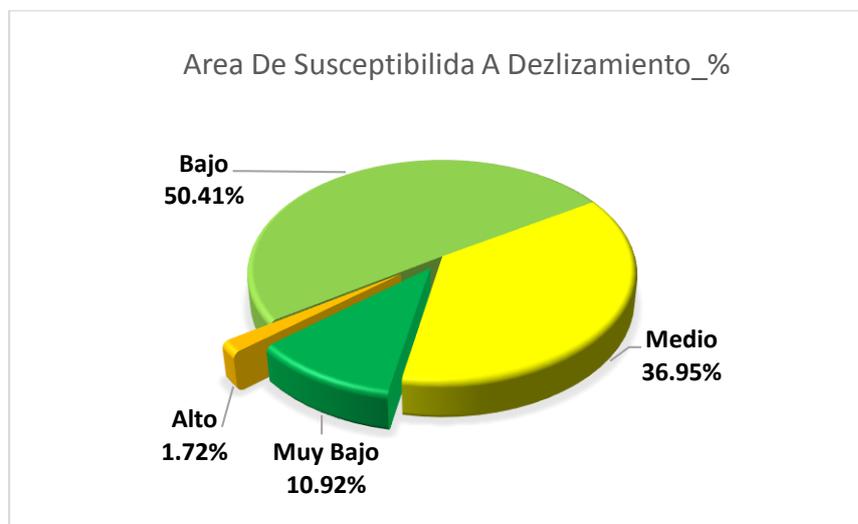
Para la elaboración del mapa de cobertura vegetal de la zona de los distritos de san juan, magdalena y Cajamarca se tuvo en cuenta la base de datos, delimitadas por MINAN, esta base se carga al ArcGis 10.2 en donde se utilizó y delimito a nuestra zona de estudio, posterior mente se evaluó y se procedió a la clasificación de susceptibilidad, este datos están sistema vectorial por lo que Adicionalmente se debe emplear la herramienta *Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster* en ArcGis 10.2 convirtiéndose en raster para poder realizar la sumatoria de los parámetros para hallar la susceptibilidad. Adicionalmente debe emplearse la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify*, clasificándolos en cinco categorías generando la zonificación de la cobertura vegetal



**Figura 71** Mapa Ráster Variable Cobertura Vegetal



**Figura 72** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Cobertura Vegetal en Hectáreas.



**Figura 73** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Cobertura Vegetal en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 95.368 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 1.72 %, Siendo esta área vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Media** corresponde a **2045.33 Ha** el cual representa a 36.95 % siendo una área medianamente vulnerable a deslizamiento. Además, se determinó un 50.41 % de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 2789.897 Ha y 10.92 % de un área de **Muy Baja Susceptibilidad**, que representa un 604.316 Ha del área de estudio.

### 3.3.12. VARIABLE GEOLOGÍA

Para la elaboración de esta variable se trabajó información de (BENAVIDES, 1956), datos, delimitadas por Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET las cuales fueron procesadas en ArcGIS

#### Susceptibilidad Muy Alta

**Tabla 32**  
*Geología De La Zona De Cajamarca.*

| TIPO DE FORMACION                            | DESCRIPCIÓN  | GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD |
|--|--|--------------------------|
| <b>Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán</b> | Se observó la presencia de arcillas amarillentas, una secuencia de calizas nodulares, con intercalaciones de margas y lutitas amarillentas | Muy alta                 |
| <b>Formación Inca</b>                        | se observó que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas generalmente tienen una coloración rojiza              | Muy alta                 |
| <b>Volcánico San Pablo</b>                   | se observó estratos de rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas   | Muy alta                 |
| <b>Depósitos Aluviales</b>                   | próximas a los ríos, compuesto por arena y grava   | Muy alta                 |

Según esta descripción podemos determinar que ambas formaciones son muy susceptibles a posibles deslizamientos, la presencia de lutitas, margas hacen de este un terreno inseguro, siendo las áreas de color rojo (ver mapa) más vulnerables a tener en cuenta en este estudio. Se considero una **ponderación** de 5 de clasificación a la susceptibilidad a deslizamientos.

### Susceptibilidad Muy Alta

**Tabla 33**

*Geología De La Zona De Cajamarca*

| TIPO DE FORMACION           | DESCRIPCIÓN   | GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-----------------------------|---|--------------------------|
| <b>Formación Pariatambo</b> | Calizas con intercalación de lutitas con estratificación delgada, <b>calizas bituminosas negruzcas</b> , con un característico olor fétido al fracturarlas. | <b>Alta</b>              |
| <b>Formación Santa</b>      | <b>Se observo la intercalación de lutitas y calizas margosas</b> , y areniscas gris oscuras   | <b>Alta</b>              |

Según esta descripción podemos determinar que ambas formaciones son muy susceptibles a posibles deslizamientos, la presencia de lutitas, con estratos delgados de caliza margosas hacen de este un terreno inseguro, siendo las áreas de color naranja (ver mapa) vulnerables a tener en cuenta en este estudio. Se considero una **ponderación** de **4** de clasificación a la susceptibilidad a deslizamientos.

### Susceptibilidad Media

**Tabla 34**

*Geología De La Zona De Cajamarca.*

| TIPO DE FORMACION         | DESCRIPCIÓN   | GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD |
|---------------------------|---|--------------------------|
| <b>Formación Carhuaz</b>  | Intercalaciones de areniscas con <b>lutitas grises</b> , las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en el campo) | <b>Media</b>             |
| <b>Formación Yumagual</b> | consiste en una secuencia <b>de margas y calizas gris</b> , Se caracteriza por tener un delgado miembro intermedio bastante fosilífero                                      | <b>Media</b>             |

Según esta descripción podemos determinar que ambas formaciones son poco susceptibles a posibles deslizamientos, la presencia de areniscas con intercalaciones de lutitas y presencia de calizas hacen de este un terreno medianamente seguro, siendo las áreas de color amarillo (ver mapa) medianamente vulnerables a tener en cuenta en este estudio. Se considero una **ponderación** de **3** de clasificación a la susceptibilidad a deslizamientos.

### Susceptibilidad Baja

**Tabla 35**  
*Geología De La Zona De Cajamarca.*

| TIPO DE FORMACION       | DESCRIPCIÓN   | GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-------------------------|---|--------------------------|
| <b>Formación Chimú</b>  | consiste en una alternancia de <b>areniscas, cuarcitas</b> y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso | <b>Baja</b>              |
| <b>Formación Farrat</b> | Consta <b>de cuarcitas y areniscas blancas de grano mediano a grueso</b>  | <b>Baja</b>              |

Según esta descripción podemos determinar que ambas formaciones tienen una susceptibilidad baja a posibles deslizamientos, la presencia de areniscas y cuarcitas de grano mediano a grueso hacen de este un terreno seguro, siendo las áreas de color verde claro (ver mapa), los cuales son importantes a considerar. Se considero una **ponderación** de **2** de clasificación a la susceptibilidad a deslizamientos.

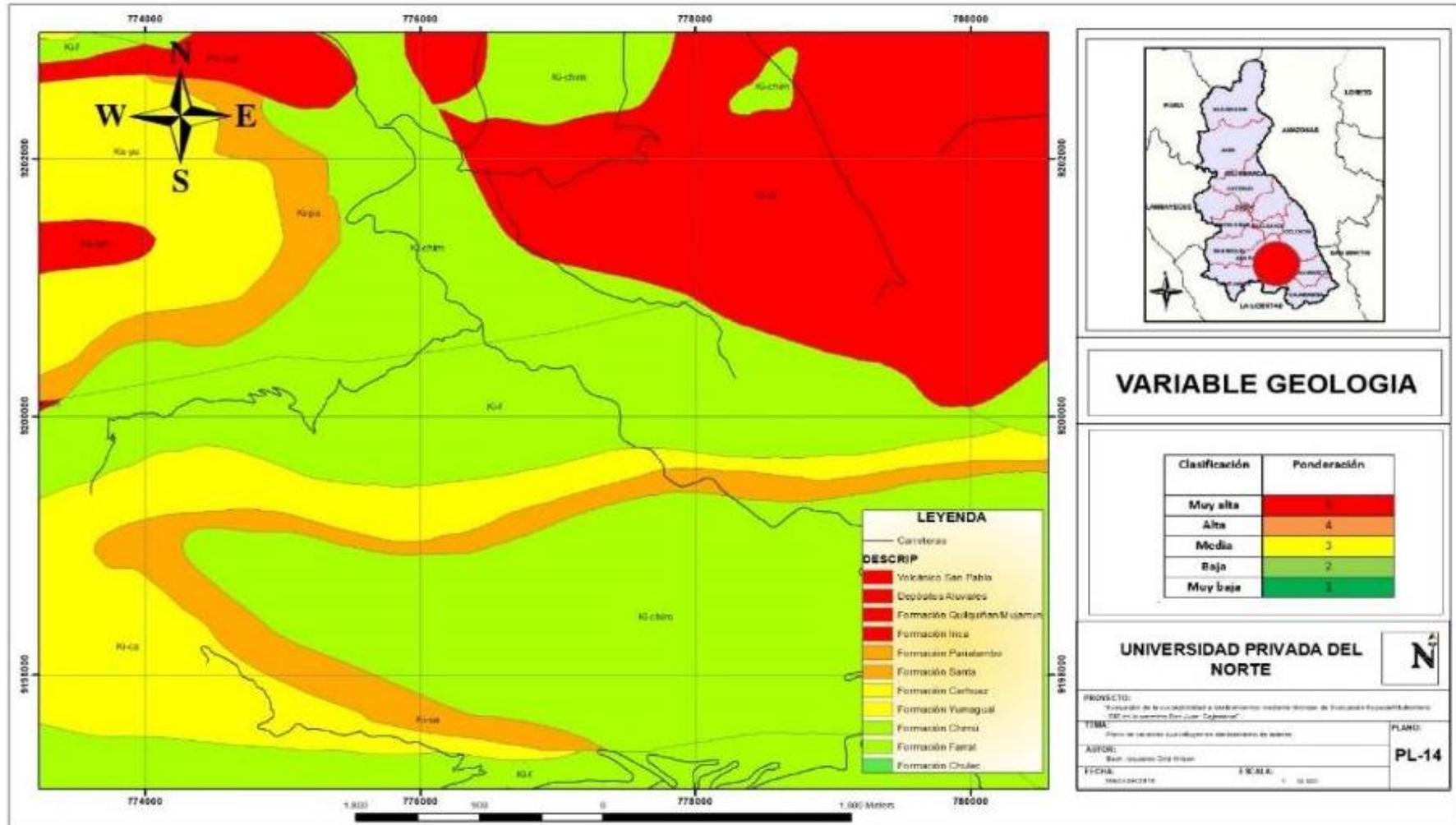
## Susceptibilidad Muy Baja

**Tabla 36**  
*Geología De La Zona De Cajamarca.*

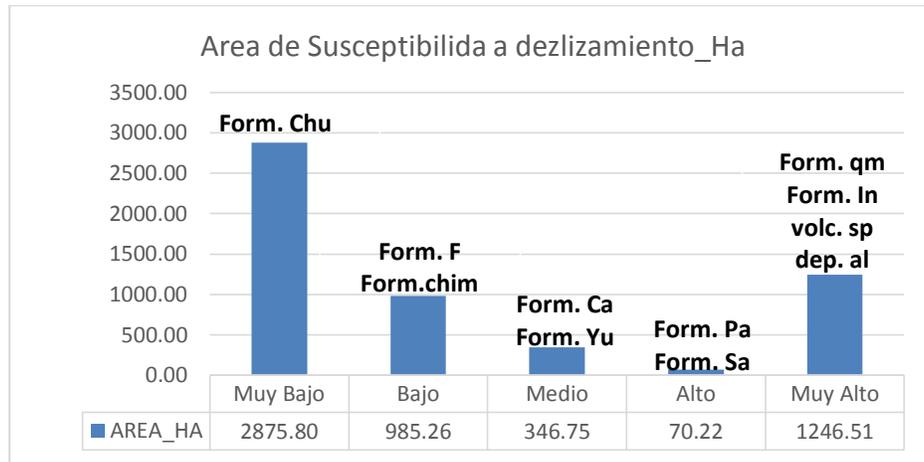
| TIPO DE FORMACIÓN       | DESCRIPCIÓN   | GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD |
|-------------------------|---|--------------------------|
| <b>Formación Chulec</b> | Se observo la presencia de fósiles en calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, tienen un aspecto terroso amarillento en algunas zonas se encuentran calizas gris parduzcos a azuladas. | <b>Muy Baja</b>          |

Según esta descripción podemos determinar que la formación tiene muy baja susceptibilidad a posibles deslizamientos, la presencia de calizas arenosas, calizas gris parduzcos a azuladas. hacen de este un terreno muy seguro, siendo las áreas de color verde oscuro (ver mapa) las cuales son muy importantes a considerar. Se considero una **ponderación de 1** de clasificación a la susceptibilidad a deslizamientos

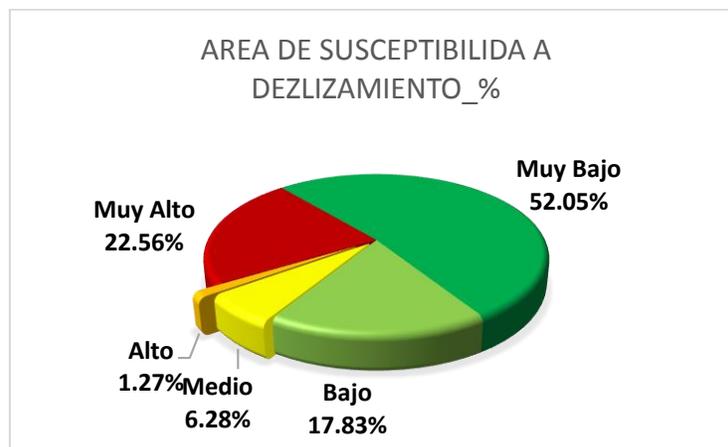
Para la elaboración del mapa de geología de la zona de los distritos de san juan, magdalena y Cajamarca se tuvo en cuenta la base de datos, delimitadas por **Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET**, esta base se carga al ArcGis 10.2 en donde se utilizó y delimito a nuestra zona de estudio, posterior mente se evaluó y se procedió a la clasificación de susceptibilidad, este datos están sistema vectorial por lo que Adicionalmente se debe emplear la herramienta *Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster* en ArcGis 10.2 convirtiéndose en raster para poder realizar la sumatoria de los parámetros para hallar la susceptibilidad. Adicionalmente debe emplearse la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify*, clasificándolos en cinco categorías generando la zonificación de la geología



**Figura 74** Mapa Ráster De La Variable Condicionante Geología



**Figura 75** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Geología en Hectáreas.



**Figura 76** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Geología en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Muy Alta** correspondiente a 1246.51 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 22.56 %, Siendo esta área muy vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 70.22 ha, el cual representa el 1.27 %, siendo un área vulnerable a posibles deslizamientos. **Susceptibilidad Media** corresponde a **346.75 Ha** el cual representa a 6.28 % siendo una área medianamente vulnerable a deslizamiento. Además, se determinó un 17.83 % de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 985.26 Ha. y un 52.05% de un área **Muy Baja Susceptibilidad** que representa un 2875.80 Ha de la zona de estudio.

### 3.3.13. VARIABLE PENDIENTES

(VARNES, 1978) en SHUK 1995, considera las pendientes de gran importancia en el estudio de los movimientos de ladera, estableciendo el ángulo de la pendiente, como la variable de mayor influencia en el desarrollo de movimientos de ladera de terrenos montañosos

Usualmente en las zonas de mayor pendiente (inclinación) los hace más susceptibles a posibles deslizamientos, sin embargo, no todo aplica en zonas donde el material geológico resistente y muy duro, zonas arbóreas, poca infiltración de agua de escorrentía, por consiguiente, origina condiciones estables

**Tabla 37**  
*Pendientes De La Zona De Cajamarca*

| RANGOS DE<br>PENDIENTES (GRADOS) | DESCRIPCIÓN DE<br>PENDIENTE | CLASIFICACION | SUSCEPTIBILIDAD |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------|
| 0-8                              | Ligeramente inclinada       | 1             | Muy baja        |
| 8-15                             | Moderadamente<br>inclinada  | 2             | baja            |
| 15-25                            | Moderadamente<br>empinada   | 3             | media           |
| 25-50                            | empinada                    | 4             | alta            |
| >50                              | Muy empinada                | 5             | Muy alta        |

Fuente: Elaboración ETR ZEE-OT

En la figura, se muestra el mapa correspondiente a la influencia de PENDIENTES, se definió la zonificación de la distribución de los diferentes grados de inclinación ver tablas presentes en el área de estudio Cajamarca-San Juan,

Este mapa se creó a partir de las curvas obtenidas del instituto geográfico nacional (IGN), se descargó en formato shapefile para luego trabajarlo en AcrGIS, se creó un modelo digital con la herramienta *3D Analyst Tools/Tin Management/Create Tin*, creando un **TIN**, el siguiente paso es convertir **TIN** a **RASTER** con la herramienta **3D Analysis Tools – Conversion From Tin/Tin to Raster**; luego se crea la superficie con los grados de inclinación con la herramienta *Spatial Analyst Tools/Surface – Slope* el paso siguiente es reclasificar el grado de inclinación de acuerdo a la tabla con la herramienta *Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify*, esto nos permitirá crear un plano con 5 rangos que nos servirá para nuestro posterior análisis multicriterio

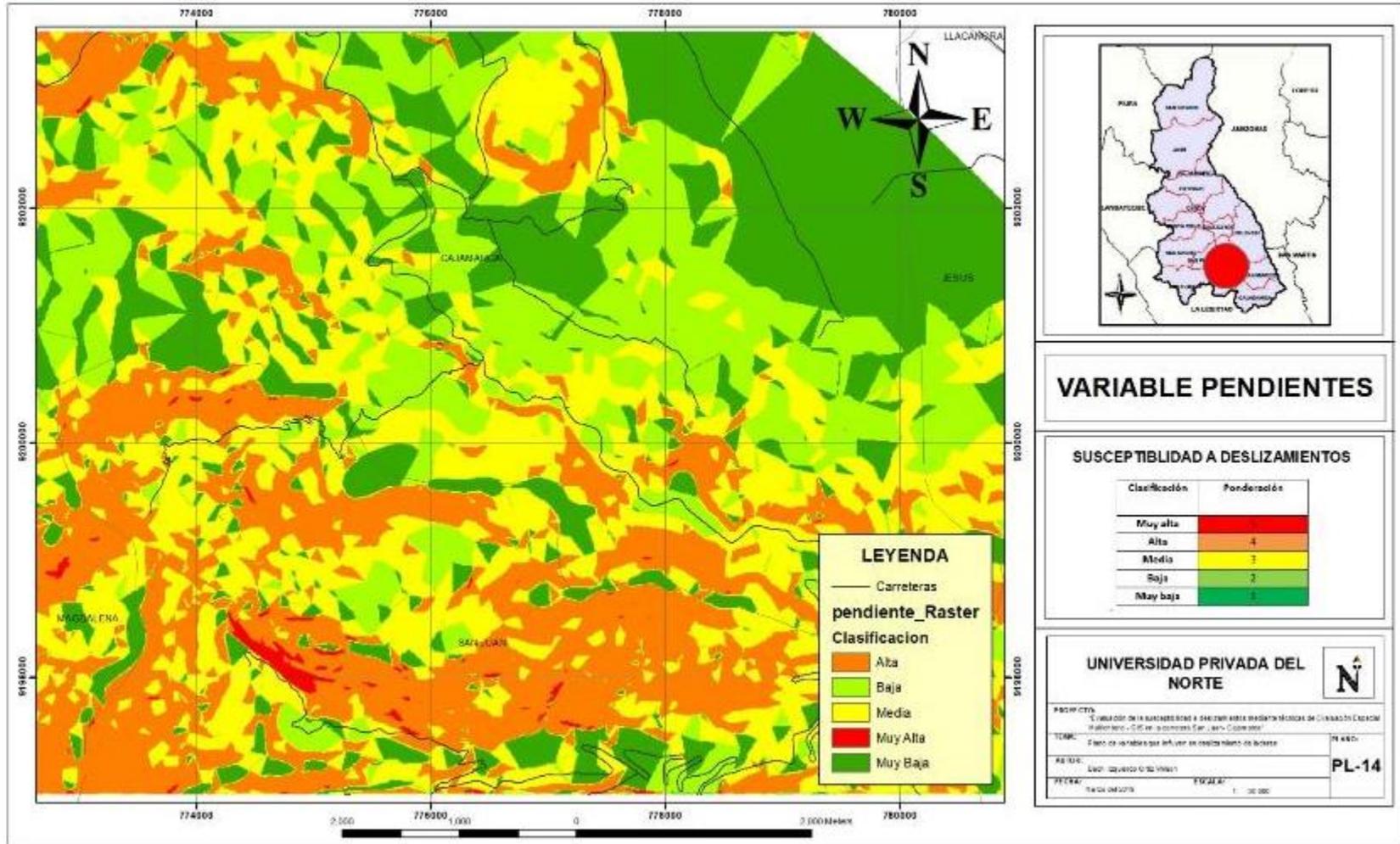
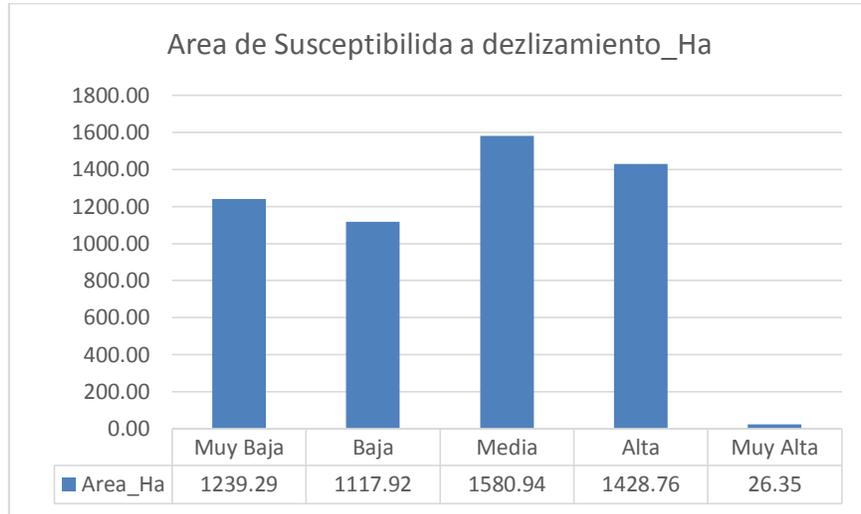
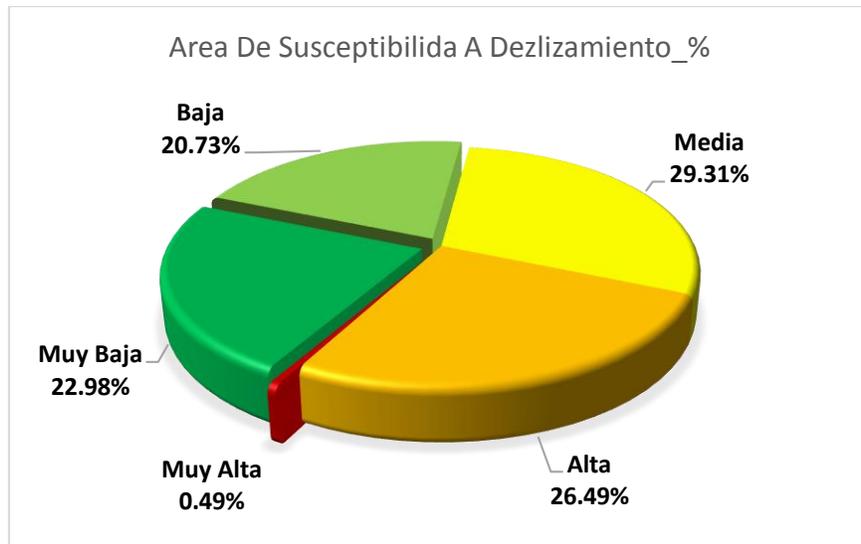


Figura 77 Mapa Ráster De La Variable Condicionante Pendiente



**Figura 78** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Pendientes en Hectáreas



**Figura 79** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento de la variable Pendiente en el área de estudio

Se determino según nuestros resultados de la figura 1, una **Susceptibilidad Muy Alta** correspondiente a 26.35 Ha. el cual representa conforme a la figura 2, un 0.49 %, Siendo esta área muy vulnerable a deslizamientos. **Susceptibilidad Alta** correspondiente a 1428.76 ha, el cual representa el 26.49 %, siendo un área vulnerable a posibles deslizamientos. **Susceptibilidad Media** corresponde 1580.94 Ha el cual representa a 29.31 % siendo un área medianamente vulnerable a deslizamiento. Además, se determinó un 20.73 % de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un 1117.92 Ha. y un 22.98 % de un área **Muy Baja Susceptibilidad** que representa un 1239.29 Ha. de la zona de estudio.

### 3.4. DETERMINACION DE PESO DE INFLUENCIA DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO(AHP)

Es importante mencionar que para la determinación de peso de importancia se consideró el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

el método fue creado por Thomas L. saaty, diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples, mediante la construcción de un modelo jerárquico, que permite organizar la información.

Con este método se procedió a dar un valor de importancia a cada variable (en %) con respecto al grado de importancia en la susceptibilidad es decir la importancia de la influencia de cada variable a activar un posible deslizamiento de laderas. Ver tabla 38

| Criterios | C1    | C2    | C3    | C4    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| C1        | C1/C1 | C1/C2 | C1/C3 | C1/C4 |
| C2        | C2/C1 | C2/C2 | C2/C3 | C2/C4 |
| C3        | C3/C1 | C3/C2 | C3/C3 | C3/C4 |
| C4        | C4/C1 | C4/C2 | C4/C3 | C4/C4 |

(saaty, 1980), 1980, detalla la comparación del valor de importancia de cada factor condicionante.

Escala de valoración para el método Proceso Analítico Jerárquico (AHP), se consideró esta valoración para la obtención de los pesos de importancia, según la importancia de cada variable.

| Igual | Moderada | Fuerte | Muy Fuerte |
|-------|----------|--------|------------|
| 1     | 3        | 5      | 7          |

A continuación se detalla la relación de importancia de cada variable con respecto a otra, y su peso de influencia en la susceptibilidad a deslizamiento, ver tabla 38

**Tabla 38**

**MATRIZ DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO(AHP) DE LA ZONA GAVILAN-CAJAMARCA**

| A/B               | FS  | RMR | COBERTURA VEGETAL | FALLAS | FISIOGRAFIA | GEOLOGIA | GEOMORFOLOGIA | PENDIENTES | PERMEABILIDAD | RIOS | TIPO DE SUELO | USO DE SUELO | VIAS | TOTAL  |            | PESO % |                   |
|-------------------|-----|-----|-------------------|--------|-------------|----------|---------------|------------|---------------|------|---------------|--------------|------|--------|------------|--------|-------------------|
| FS                | 1   | 3   | 7                 | 3      | 7           | 5        | 3             | 5          | 3             | 5    | 7             | 7            | 7    | 63.00  | 4.85       | 18.7%  | FS                |
| RMR               | 1/3 | 1   | 7                 | 5      | 5           | 3        | 5             | 5          | 7             | 5    | 5             | 7            | 5    | 60.33  | 4.64       | 17.9%  | RMR               |
| COBERTURA VEGETAL | 1/7 | 1/7 | 1                 | 1/5    | 1/3         | 1/3      | 1/3           | 1/3        | 1/3           | 3    | 1/3           | 3            | 5    | 14.49  | 1.11       | 4.3%   | COBERTURA VEGETAL |
| FALLAS            | 1/3 | 1/5 | 5                 | 1      | 3           | 3        | 3             | 1/3        | 1/3           | 1/3  | 3             | 3            | 3    | 25.53  | 1.96       | 7.6%   | FALLAS            |
| FISIOGRAFIA       | 1/7 | 1/5 | 3                 | 1/3    | 1           | 1/5      | 1/3           | 1/3        | 1/3           | 1/3  | 3             | 1/3          | 1/3  | 9.54   | 0.73       | 2.8%   | FISIOGRAFIA       |
| GEOLOGIA          | 1/5 | 1/3 | 3                 | 1/3    | 5           | 1        | 5             | 5          | 5             | 3    | 5             | 3            | 5    | 40.87  | 3.14       | 12.2%  | GEOLOGIA          |
| GEOMORFOLOGIA     | 1/3 | 1/5 | 3                 | 1/3    | 3           | 1/5      | 1             | 1/3        | 1/3           | 1/3  | 1/3           | 1/3          | 3    | 12.73  | 0.98       | 3.8%   | GEOMORFOLOGIA     |
| PENDIENTES        | 1/5 | 1/5 | 3                 | 3      | 3           | 1/5      | 3             | 1          | 5             | 3    | 5             | 5            | 5    | 31.60  | 2.43       | 9.4%   | PENDIENTES        |
| PERMEABILIDAD     | 1/3 | 1/7 | 3                 | 3      | 3           | 1/5      | 3             | 1/5        | 1             | 1/3  | 1/3           | 1/3          | 3    | 17.88  | 1.38       | 5.3%   | PERMEABILIDAD     |
| RIOS              | 1/5 | 1/5 | 1/3               | 3      | 3           | 1/3      | 3             | 1/3        | 3             | 1    | 3             | 3            | 3    | 23.40  | 1.80       | 7.0%   | RIOS              |
| TIPO DE SUELO     | 1/7 | 1/5 | 3                 | 1/3    | 1/3         | 1/5      | 3             | 1/5        | 3             | 1/3  | 1             | 1/3          | 3    | 15.08  | 1.16       | 4.5%   | TIPO DE SUELO     |
| USO DE SUELO      | 1/7 | 1/7 | 1/3               | 1/3    | 1/3         | 1/3      | 3             | 1/5        | 3             | 1/3  | 3             | 1            | 1/3  | 12.15  | 0.93       | 3.6%   | USO DE SUELO      |
| VIAS              | 1/7 | 1/5 | 1/5               | 1/3    | 3           | 1/5      | 1/3           | 1/5        | 1/3           | 1/3  | 1/3           | 3            | 1    | 9.61   | 0.74       | 2.9%   | VIAS              |
|                   |     |     |                   |        |             |          |               |            |               |      |               |              |      | 336.21 | 25.8622711 | 100%   |                   |

Fuente: Elaboración propia

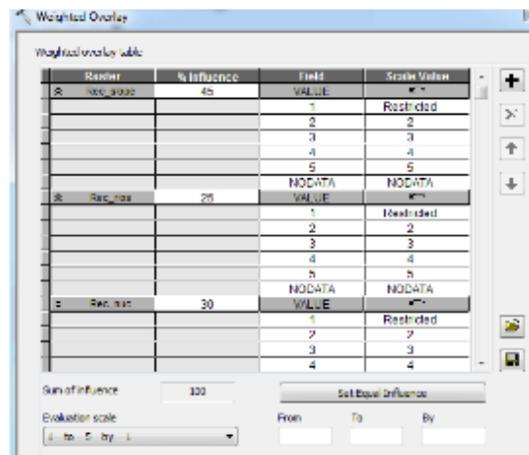
La tabla muestra la importancia de una variable con otra, y la obtención del peso de influencia, el cual será utilizado en el método **EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO, SUPERPOSICION PONDERADA** del software ArcGIS, cabe mencionar que el peso de importancia(%) de cada variable influyen en la obtención del ráster de salida (ráster representativo de la susceptibilidad a deslizamientos), por ello es importante, considerar el método Proceso Analítico Jerárquico(AHP), para mayor confiabilidad de nuestros resultados.

### 3.5. EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO\_ SUPERPOSICION PONDERADA

Recordemos que este estudio analizo 13 variables condicionantes, en cada variable se trabajó y reclasifico los mapas con el objetivo de generar un ráster, un ráster es una celda o pixeles que forman una cuadrícula, y cada celda contiene un valor que representa una información en nuestro caso la susceptibilidad a deslizamientos, es decir los ráster son la representación de mapas de todas las variables que se han considerado.

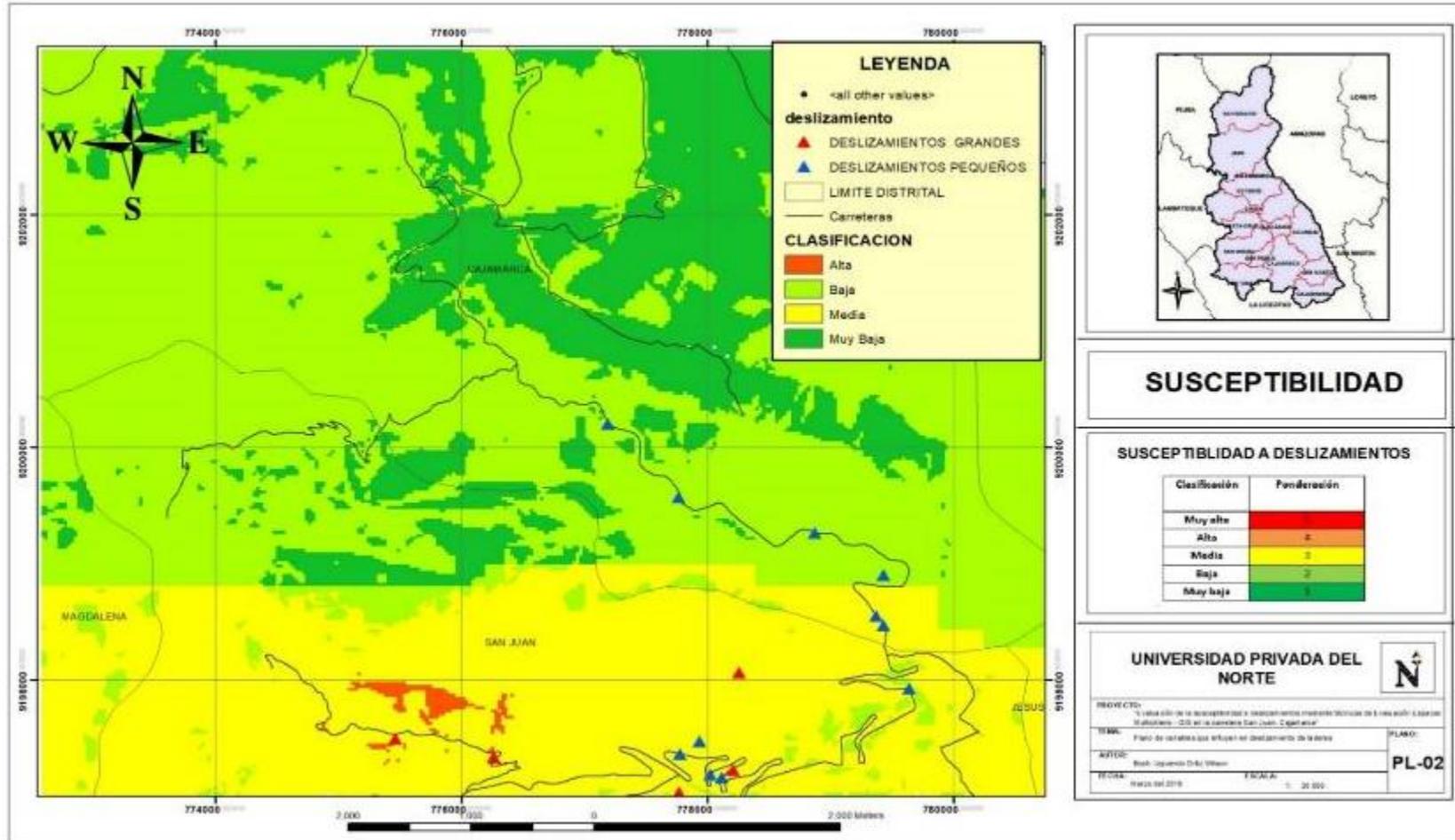
Cada variable tiene su propio ráster, cada ráster está clasificado en cinco categorías, desde muy baja susceptibilidad, baja susceptibilidad, media susceptibilidad, alta susceptibilidad y muy alta susceptibilidad con el fin de que cuando se aplique el **método de superposición ponderada** el ráster generado contenga las cinco categorías ya determinadas para este estudio.

El siguiente paso para determinar la susceptibilidad de deslizamientos, es superponer los rastes, se uso el software ArcGIS, la herramienta Arctoolbox/ spatial analyst tolos/ overlay/weighted overlay nos aparecerá una ventana en la cual se cargara los raster de las variables ya obtenidas anteriormente, en este ventana lo que el programa hace es multiplicar los valores de cada celda por el peso de influencia o de importancia (en %), luego suma los valores de las celdas resultantes con el objetivo de generar el ráster de salida, el cual será nuestro ráster representativo de la susceptibilidad a deslizamientos.



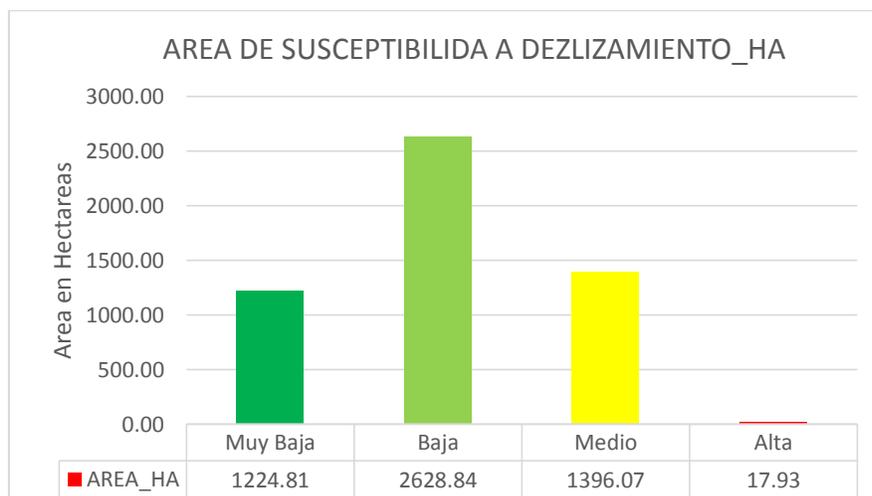
**Figura 80** Tabla de Superposición Ponderada

*Fuente: software ArcG*

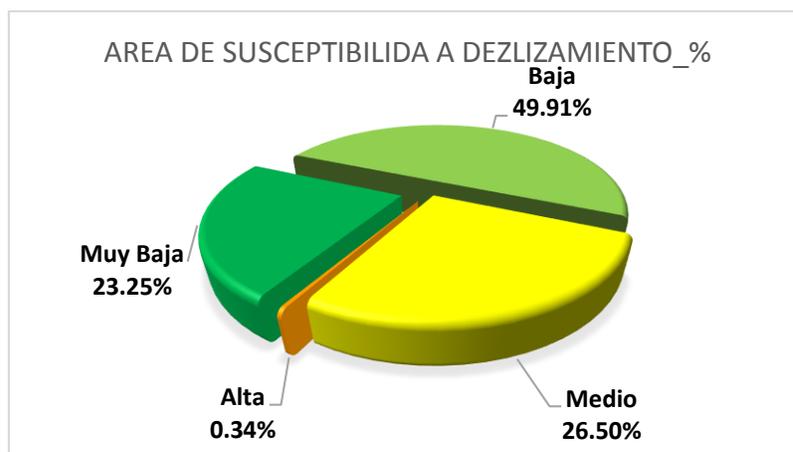


**Figura 81** Mapa De Evaluación De La Susceptibilidad a Deslizamientos

**Fuente:** Elaboración propia, a partir del uso del método superposición ponderada en el programa ArcGIS



**Figura 82** Representación estadística del área de influencia a deslizamientos en la variable condicionante Fallas en Hectáreas.



**Figura 83** Porcentaje de áreas vulnerables a deslizamiento en el área de estudio.

Se determino que según nuestros resultados de la figura 1, la **Susceptibilidad Alta** correspondiente a **17.93 Ha.** el cual representa conforme a la figura 2, un **0.34 %**, Siendo esta área apta a deslizamientos. **Susceptibilidad Media** corresponde a **1396.07 Ha** el cual representa a **26.50 %** siendo un área mediamente apta a deslizamiento. Además, se determinó un **49.91 %** de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un **2628.84 Ha** y un **23.25 %** de un área de **Muy Baja Susceptibilidad**, que representa un **1224.81 Ha** del área de estudio.

## INTERPRETACIÓN

### **SUSCEPTIBILIDAD MUY BAJA:**

estas áreas en la figura N°80 (mapa de susceptibilidad a deslizamientos) representadas por el color verde oscuro, corresponden a la parte alta de la zona de estudio, perteneciente a la provincia de Cajamarca, en el sector se observó planicies ligeramente inclinadas, es una zona urbana y poca agricultura, además está conformada por una secuencia de calizas y areniscas de las Formaciones Mujarrun, grupo Quilquiñan y formación inca, lo que los hace una zona fuerte, al tener una superficie descubierta esta no tiene una susceptibilidad muy alta porque son áreas planas con pendientes muy bajas, que no son propicias para deslizamientos de tierra.

con respecto al modelamiento del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de masas, se puede observar que parte de la zona tiende a ser de muy baja susceptibilidad, esto se corrobora con la ausencia de deslizamientos de masas en dicha zona.

### **SUSCEPTIBILIDAD BAJA:**

en la figura N°80 (mapa de susceptibilidad a deslizamientos), están señaladas de color verde claro, corresponde a la parte alta de la zona estudiada, perteneciente a las provincias de Cajamarca y parte del distrito de san juan y magdalena, en este sector se observó pendientes suaves a fuertes, es una zona de actividad agrícola, gran parte está conformado por areniscas de las formaciones chimú, Farrat y Carhuaz, lo que los hace una zona estable.

Conforme al modelamiento del mapa de susceptibilidad a deslizamiento de masas, se puede observar que gran parte de la zona tiende hacer de baja susceptibilidad, ya que presentan algunos deslizamientos de masa.

### **SUSCEPTIBILIDAD MEDIA:**

están señaladas en la figura N°80 (mapa de susceptibilidad a deslizamientos) de color amarillo, corresponde a la parte baja de la zona de estudio, perteneciente al distrito de san juan y parte del distrito de Jesús y magdalena, en este sector se observó pendientes fuertes, con un relieve montañoso, en la cual

existe una cubierta vegetal pobre, provocando un espacio apto para erosión y escorrentías, está conformado por afloramientos rocosos muy fracturados, alterados y probablemente almacenadores de agua, Además de La presencia de ríos como Hayllario, Choten, Gavilán, Chusal , que contribuyen en la inestabilidad de la zona.

Conforme al modelamiento del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de masa, se puede observar que gran parte de la zona tiene una susceptibilidad media, ya que en esta zona se encuentra gran parte de los deslizamientos mapeados.

### **SUSCEPTIBILIDA ALTA:**

son áreas de alta grado de susceptibilidad en la figura N°80 (mapa de susceptibilidad a deslizamientos) representados de color naranja, corresponde a la parte baja de zona de estudio, perteneciente al distrito de san juan, en este sector se encontró fuertes pendientes, relieves montañosos, afloramientos rocosos muy fracturados, alterados y probablemente almacenadores de agua, la cubierta vegetal es pobre contribuyendo a la inestabilidad de dicha zona, además de la presencia de quebradas.

Conforme al modelo del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de masa, se puede decir que esta zona tiene una susceptibilidad alta, ya que en esta zona se encontró deslizamientos de gran magnitud, siendo la zona más inestable en este estudio.

### **SUSCEPTIBILIDA MUY ALTA:**

no se encontró evidencia, de este grado de susceptibilidad.

## CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las principales limitaciones que tuve en la presente investigación fue la poca información de la zona, la extensión y la accesibilidad a ciertas zonas para el análisis por su pronunciada inclinación.

El tamaño muestral de la presente investigación fue el Mapeo geomecánico de 13 muestras en el trayecto de la carretera san juan Cajamarca, el cual se evaluaron con las tablas geomecánicas; para este trabajo se analizó las diferentes propiedades del macizo rocoso: meteorización, grado de fracturamiento, espaciado, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, etc. Con el fin de clasificar la calidad de la roca. Además, se evaluó los taludes, determinado el valor del factor de seguridad. Con el objetivo de evaluar la susceptibilidad a los deslizamientos.

Podemos afirmar que con la herramienta gis del software ArcGIS, usando técnicas de evaluación multicriterio, se determinó las áreas propensas a deslizamientos.

los resultados del valor de factor de seguridad fueron los siguientes; Estación geomecánica 1 con **3.23**, Estación geomecánica 2 con **0.884**, Estación geomecánica 3 con **0.859**. Estación geomecánica 4 con **0.983**, Estación geomecánica 5 con **1.99**, Estación geomecánica 6 con **4.716**, Estación geomecánica 7 con **3.452**, Estación geomecánica 8 con **3.005**, Estación geomecánica 9 con **4.442**, Estación geomecánica 10 con **1.329**, Estación geomecánica 11 con **4.211**, Estación geomecánica 12 con **3.862**, Estación geomecánica 13 con **4.77**, Estación geomecánica 14 con **4.401**.

A diferencia de Salcedo, Padilla, Morales y Toulkeridis (2017), en su artículo de Evaluación De Susceptibilidad a Deslizamientos Mediante Lógica Fuzzy y Técnicas De Evaluación Multicriterio En La Avenida Simón Bolívar, Quito, utilizaron como factores causales: topografía, geología, litología, precipitación, red hídrica, cobertura vegetal, entre otros, Mientras que en esta investigación se consideró las siguientes variables condicionantes para el análisis multicriterio; **Factor De Seguridad, RMR,**

**Cobertura Vegetal, Fallas, Fisiografía, Geología, Geomorfología, Pendientes, Permeabilidad, Ríos, Tipos De Suelos, Uso De Suelos y Vías**, con el fin de tener un resultado más confiable.

Paucar (2016), considero en su investigación, solo cinco variables: (35%), cobertura vegetal 30%, precipitación 20%, litología (10%) y fisiografía (5%), mientras que en esta investigación se consideró más variables condicionantes, y por consiguiente el porcentaje de grado de importancia son más bajos(%), se desarrolló con con El Método Proceso Analítico Jerárquico (AHP) con respecto al grado de importancia en la susceptibilidad es decir la importancia de la influencia de cada variable a activar un posible deslizamiento de laderas, los resultados obtenidos son los siguientes; fc **18.7%**, rnr **17.9 %**, cobertura vegetal **4.3%**, fallas **7.6%**, fisiografía **2.8%**, geología **12.2%**, geomorfología **3.8%**, pendientes **9.4%**, permeabilidad **5.3%**, ríos **7.0%**, tipo de suelo **4.5%**, uso de suelos **3.6%**, vías **2.9%**; Esto hace que nuestra investigación tenga más confiabilidad en los resultados.

De acuerdo con Balbi A.B. (2020), se obtuvo mapas que fueron combinados para obtener un único mapa de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa, obteniéndose como resultado susceptibilidad que van desde muy alta a muy baja, los resultados de la susceptibilidad a deslizamientos mediante el método de análisis multicriterio de la zona de estudio muestran que la **Susceptibilidad Alta** correspondiente a **17.93 Ha**. el cual representa conforme a la figura 80, un **0.34 %**, Siendo esta área apta a deslizamientos. **Susceptibilidad Media** corresponde a **1396.07 Ha** el cual representa a **26.50 %** siendo un área mediamente apta a deslizamiento. Además, se determinó un **49.91 %** de un área de **Baja Susceptibilidad** a deslizamiento, que representa un **2628.84 Ha** y un **23.25 %** de un área de **Muy Baja Susceptibilidad**, que representa un **1224.81 Ha** del área de estudio

## 4.2. CONCLUSIONES

La metodología aplicada muestra la efectividad que tiene al determinar y delimitar áreas vulnerables a deslizamientos, obteniéndose una zonificación del grado de susceptibilidad a los procesos de remoción de masa en la carretera san juan Cajamarca.

1. Se identifico la susceptibilidad a deslizamientos de laderas mediante técnicas de evaluación espacial multicriterio aplicando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la carretera san juan Cajamarca
2. Se obtuvieron los valores del factor de seguridad de los puntos de muestreos, que van desde 0.859 hasta 4.77, obteniendo puntos con un valor alto de estabilidad de talud en la parte de alta de nuestra zona de estudio, correspondiente a parte de Cajamarca y Jesús, mientras que otras zonas con una inestabilidad muy baja de talud en la parte baja de la zona de estudio correspondiente al distrito de san juan,
3. Se logró generar un mapa ráster, generados por una herramienta de ArcGIS, interpolando cada punto y posteriormente reclasificado en 5 categorías de susceptibilidad, desde muy baja, baja, medio, alta y muy alta, es decir este mapa es la representación gráfica de los valores obtenidos de cada punto de muestreo de los taludes.
4. Se proceso las variables condicionantes, convirtiéndolas en un mapa ráster, posteriormente reclasificarlas en 5 categorías de susceptibilidad, muy alta, alta, media, baja y muy baja, para luego determinar las áreas vulnerables a deslizamientos en la zona de estudio, así mismo se obtuvo graficas estadísticas para su interpretación.
5. Se Determino los pesos de influencia mediante el proceso de análisis jerárquico (AHP), para uso en el software ArcGIS, con el objetivo de tener mayor efectividad y confiabilidad en los resultados.
6. Se realizo el proceso de análisis multicriterio, el cual consiste en la superposición ponderada de las variables es decir combinando las 14 variables condicionantes, ponderando los valores y

asignándoles un peso de influencia obtenidos en el proceso de análisis jerárquico (AHP) para así lograr generar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el área de estudio.

De acuerdo al mapa final de susceptibilidad a deslizamientos en la zona de la carretera san juan-Cajamarca, el 0.34 % del área tiene una vulnerabilidad alta que corresponde a 17.93 Ha, el 26.50 % tiene una vulnerabilidad media que corresponde a 1396.07 Ha, el 49.91% tiene una vulnerabilidad baja que corresponde a 2628.84 Ha y el 23.25% tiene una vulnerabilidad muy baja que corresponde a 1224.81 Ha de la zona de estudio.

## REFERENCIAS

- Abril, L. A. (2011). *Metodología de zonificación de áreas susceptibles a deslizamientos en Quimsacocha*. Ecuador.
- Almaguer, C. Y. (2008). Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento punta gorda. *minería y geología*. Retrieved from , 22(2).  
Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com>
- Aritzabal, E., & Yokota, S. (2006). *Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburra*. *Dyna Medellín Colombia: (73)149:5-15*. (En línea) Consultado 10 set 2012.  
Disponible en:  
[http://dyna.unalmed.edu.co/ver\\_articulo.php?id\\_articulo=EA100505&tipo=artic](http://dyna.unalmed.edu.co/ver_articulo.php?id_articulo=EA100505&tipo=artic).
- Ayala-Carcedo, F. (2002). *Análisis de riesgos por movimientos de ladera*. In AyalaCarcedo, Carcedo, F.J. y Olcina Cantos, J. (coords.): *Riesgos naturales*. Barcelona, Ariel, pp. 379-409.
- Balbi A.B., C. F. (2020). *Zonificación de la Susceptibilidad a los Procesos de Remoción en Masa de la Provincia de Jujuy*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires: Serie Contribuciones Técnicas Peligrosidad Geológica.
- BENAVIDES. (1956). *Cretaceous System in Northern Peru*. *Bull. Amer. Mus.* New York: Nat. Hist.
- Bernknopf, R. C. (1988). *A probabilistic approach to landslide hazard mapping in Cincinnati, Ohio, with applications for economic evaluation*. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 25, pp. 39–56. .
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. New York: John Wiley & Sons .
- Brabb. (1989). *Statistical Approaches for Landslide Susceptibility Assessment and Prediction*. España.
- Brabb, E. (1984). *Innovative Approaches for Landslide Hazard Evaluation*. IV International Symposium on Landslides, Toronto, 307-323.
- Brabb, E. T. (1972). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG*. España.

- Caloni, N. (2010). *Analisis de evaluacion multicriterio en la generacion de alternativas viales para el trazado de la autopista lujan Mercedes. Universidad nacional de lujan. Buenos Aires,Argentina.*  
Extraido el 08 del octubre de 2014 desde <http://www.gesig-proeg.com.ar/documentos/libros/libros-13/capitulo-15.pdf>.
- Carrara, A. C. (1995). *Reichenbach P., GIS technology in mapping landslide hazard. Carrara A., Guzzetti F (ed.). Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards: 135-176. .*
- Cornforth, D. (2005). *Landslides in practice Investigation, analysis, and remedial/preventative options in soils. John Wiley and Sons Inc. Hoboken New Jersey. pp.596. .*
- Corominas, J., & Garcia. (1992). *Movimiento de laderas prediccion y medidas preventivas 1r congreso iberoamericano sobre tecnicas a la gestion de emergencias para la reduccion de desastres natirales . 55-77.*
- Crozier, J., & Fleta, J. G. (1986). *Deslizamientos antiguos en oula el moya area de paradines. 252.*
- Cruden, D. M., & Varnes, D. (1996). *Landslide types and processes. Tuner, A.A.K and schuster, R.L Landslides. Investigacion and Mitigation. Transportation Research Board, Special Repot. Nation Academy Press, Washigton, 36-75.*
- Deere, D. (1968). *Geological considerations. Rock mechanics in engineering practice, Eds K.G.Stagg and O.C.Zienkiewicz. John Wiley & Sons, London: pp. 1-20. .*
- DYRNESS, C. (1967). *Mass Soil movement in the H.J. Andrews. Experimental forest, Forest Service. OREGON: USDA.*
- España, I. G. (2003). *Una reflexión de los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, su naturaleza, sus funciones, problemática y límites. Madrid: francisco j. Ayala Carcedo, Jordi Corominas.*
- ESRI. (8 de 1 de 2019). *ArcGIS Pro.* Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/idw.htm>

- FLOREZ, A. (1986). *Geomorfología del Área Manizales Chinchina, y Cordillera Central*. Universidad Van Amsterdam. Amsterdam (Holanda).1986: Colombia.
- GEO GPS PERU. (s.f.). *GEO*. Obtenido de <https://www.geogpsperu.com/2015/10/mapa-de-suelos-onern.html>
- Gomez, M., & Barredo, J. (2005). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. segunda edición*. ra-ma editorial.Madrid,España :Alfa omega .
- González, L., Ferrer, M., L, O., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson.
- GRAY D., H., & SOTIR R., B. (1996). *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization. A Practical Guide For Erosion Control*. . New York United State: Edited by Jhon & Sons.
- Hartlen, J., & Viberg, L. (1988). "Evaluation of landslide hazard". En: Ch. Bonnard (Ed):5th. *International Congress on Landslides. Lausanne. l (2), 1037-1057 p.*
- Hoek, E., & Bray, J. (1981). *ROCK SLOPE ENGINEERING*. London: institution of mining.
- Hurtado, G. A., & Torres, C. C. (2014). *Plan regional de gestión del riesgos de desastres*. Cajamarca Peru.
- INGEMMET. (2010). *Riesgo Geológico de la Región de Cajamarca, Morfológico*. Cajamarca: INGEMMET.
- INGEMMET. (2010). susceptibilidad a movimientos de masa. 1. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/0008201292dc83a63f488>
- Instituto Geológico y Minero de España. (1985-1986). Manual de Taludes. En *Manual de Taludes* (págs. 142-143). España: IGME.
- INTAGRI. (2017). Clasificación del Suelo: WRB y Soil Taxonomy. (INTAGRI, Ed.) *INTAGRI*. Recuperado el 2019, de <https://www.intagri.com/>

- Kingsbury, P., Hastie, W., & Harrington, A. J. (1992). *Regional landslip hazard assessment using a Geographical Information system*". *Proc. 6th. Int. Symp. on Landslides, Christchurch, New Zealand.* 2, 995-999 p. .
- LAÍN, H. L. (2002). Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y el Medio Ambiente. *Revista Internacional de Ciencias y Tecnología de la Información Geográfica.*
- Lamelas, M. (2009). *Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo :Aplicación a la localización de suelo industrial. Departamento de geografía y ordenación del territorio. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España .*Extraído el 24 de mayo de 2014 desde [http://geofocus.rediris.es/2009/Articulo2\\_2009.pdf](http://geofocus.rediris.es/2009/Articulo2_2009.pdf).
- LAUGHLIN, D. (1925). *Notas sobre la geología y fisiografía de los Andes Peruanos en los departamentos de Lima y Junín (Trad. G.D. Zevallos).* . Peru, : Inf. Mem. Soc. Ing.
- Lomtadze, L., & D.Z, H. (1977). *Geología Inca aplicada a la ingeniería. Ed. Pueblo y Educación, 560.*
- Marinos, P., & Hoek, E. (2000). *A Geologically Friendly tool for rock Mass Strength Estimation.*
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal : memoria descriptiva / Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.* lima: Ministerio del Ambiente. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>
- Ministerio del Ambiente, p. (2015). *Mapa de susceptibilidad física del Perú.* Ministerio del Ambiente, peru. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/01/MAPA-DE-SUSCEPTIBILIDAD-FISICA.pdf>
- Molero, E., Grindlay, A. L., & Asensio Rodríguez, J. J. (2007). *Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio. Geofocus Artículos n°7. ISSN:1578-5157. Extraído el 27 de octubre de 2014 desde [http://geofocus.rediris.es/2007/articulo7\\_2007.pdf](http://geofocus.rediris.es/2007/articulo7_2007.pdf).*

- Mora, S., & Vahrson, W. (1991). *Determinación a priori de la Amenaza de Deslizamientos sobre grandes. Memoria sobre el primer simposio, (págs. 259 - 273). Bogotá.*
- Mora, S., & Vahrson, W. (1994). *Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Bulletin of the Association of Engineering and Geologist, 31(1), 49-58.*
- Mujica, S., & Pacheco, H. (2013). *Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado Vargas, Venezuela. venezuela.*
- Munda, G. (1998). *Teoria de evaluacion multicriterio : una breve perspectiva general. Universidad autonoma de barcelona. Departamento de economia e historias economia . Barcelona.España .*
- Navarro, L. A. (2018). *Análisis Mediante Evaluación Multicriterio De La Susceptibilidad De Remociones En Masa En El Parque Nacional Laguna Del Laja, Comuna De Antuco. Concepción: Universidad Andrés Bello .*
- Newman, L. (1978). *Environmental Chemistry Division, Department of Energy and Environment, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973, U.S.A.*
- Ojeda, G. E., Lacreu, H. L., & Sosa, G. d. (2007). *atlas de recurso geoambientales. POTRERO DE LOS FUNES.*
- Paucar, R. E. (2016). *Niveles De Vulnerabilidad A Deslizamiento De Tierras En La Cuenca Del Río San Fernando-región Junín. Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo, Huancayo.*
- Philip, G., & Watson D, F. (1982). *A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. Australia: Australian Petroleum Exploration.*
- Radbruch-Hall. (1978). *Gravitational creep of rock masses on slopes. In: B. Voight (ed.) "Rockslides and Avalanches - Natural Phenomena", Development in Geotechnical Engineering, 14 A, 693-705.*
- RICE, R. .. (1977). *Forest Management to minimize landslide risk. Guidelines for watershed management. . FAO.*

- Romero, G. (2016). *Evaluación Multi-Criterio para la Ubicación de una Escombrera usando SIG – Caso de Estudio Cantón* . Ecuador.
- Saaty, T. (1977). *Scaling method for priorities in hierarchical structures* .*Journal of mathematical psychology*. Volumen 15 .*University of pennsylvania. Philadelphia*,. United states. Extraído el 24 de mayo de 2015 desde [Http://www.researchgate.net/publication/221955622\\_A\\_scaling\\_method\\_for\\_priorities\\_in\\_hierarchical\\_structure](http://www.researchgate.net/publication/221955622_A_scaling_method_for_priorities_in_hierarchical_structure).
- Salcedo, D., Padilla, O., Morales, B., & Toulkeridis, T. (2017). Evaluación De Susceptibilidad A Deslizamientos Mediante Lógica Fuzzy Y Técnicas De Evaluación Multicriterio En La Avenida Simón Bolívar, Quito. *Geoespacial*, 2(14), 1-20.
- Santacana. (2001). *Landslides: Proceedings of the First European Conference on Landslides* .
- Sharpe, C. F. (1938). Landslides and their control. *Academia & Elsevier*, 205.
- Soeters, R., & Van, W. C. (1996). *Slope instability recognition, analysis and zonation*. In: Turner AK, Schuster RL(eds) *Landslides, investigation and mitigation Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington, USA, pp 129–177*.
- Stakenborg, M. (1986). *Experimental stress analysis : proceedings of the 8th international conference, Amsterdam, the Netherlands, May 12-16, 1986*.
- Suarez. (2004). *Deslizamientos: Análisis geotécnico*.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Plublicaciones uis.
- TAFUR, I. (1950). *Nota preliminar sobre la Geología de Cajamarca. Tesis doctoral*. Univ. Nac. Mayor de San Marcos, LIMA.
- Valentini. (1967). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG* .
- van Westen, C. (1993). *Application of geographic information systems to landslide hazard zonation*.

VARNES. (1978). *SLOPE MOVEMENTS. TYPES AND PROCESSES EN: LANDSLIDES: ANALYSIS AND CONTROL*( SCHUSTER AND KRIZECK,EDS). NATIONAL RESEARCH COUNCIL. WASHINTONG D.C: SPECIAL REPORT 176.

Varnes, D. (1978). *Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster & Krizek, Landslides: Analysis and Control. Special report 176 Transportation Research Board, Comisión on Sociotechnical Systems, National Research Council. National Academy of Sciences. Washington.*

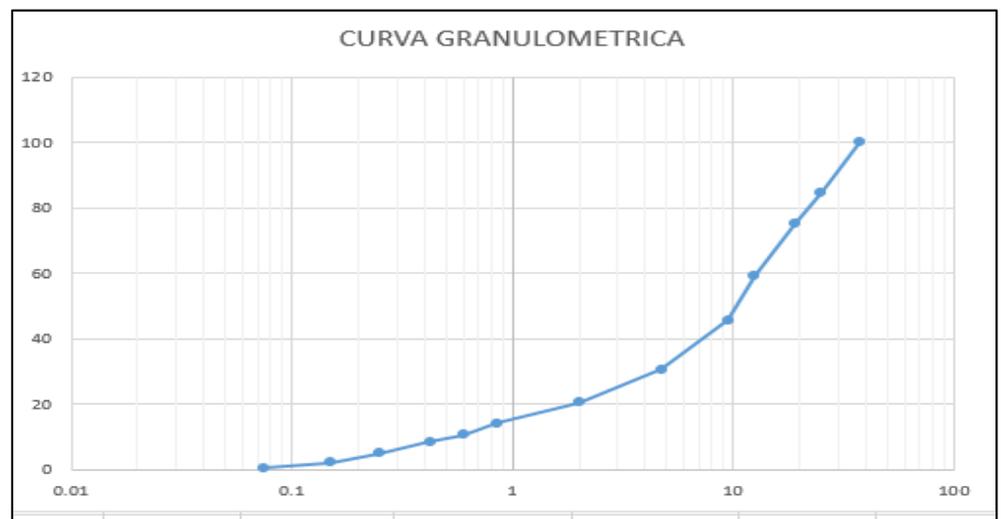
Varnes, D., & Cruden & Varnes, 1. (1984). Landslide hazard zonation a review of principles and practice. *Natural Hazard, Paris*(n°3), 63.

VILLACORTA, S., FIDEL, L., & ZAVALA, B. (2012). MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL PERÚ. *Revista de la Asociacion Geologica Argentina.*

## ANEXO 1. RESULTADOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO MUESTRA 1

| Tamiz N° | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO(gr) | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA |
|----------|---------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| 1-1/2 "  | 37.5          | 0                 | 0          | 0                    | 100        |
| 1"       | 25            | 432.4             | 15.30      | 15.30                | 84.70      |
| 3/4"     | 19            | 274.35            | 9.71       | 25.01                | 74.99      |
| 1/2"     | 12.5          | 443.92            | 15.71      | 40.71                | 59.29      |
| 3/8"     | 9.5           | 385.07            | 13.62      | 54.34                | 45.66      |
| N 0.4    | 4.75          | 431.01            | 15.25      | 69.59                | 30.41      |
| N 0.10   | 2             | 284.53            | 10.07      | 79.65                | 20.35      |
| N 0.20   | 0.85          | 180.43            | 6.38       | 86.04                | 13.96      |
| N 0.30   | 0.60          | 95.18             | 3.37       | 89.41                | 10.59      |
| N 0.40   | 0.425         | 64.88             | 2.30       | 91.70                | 8.30       |
| N 0.60   | 0.25          | 98.27             | 3.48       | 95.18                | 4.82       |
| N 0.100  | 0.15          | 78.36             | 2.77       | 97.95                | 2.05       |
| N 0.200  | 0.075         | 47.57             | 1.68       | 99.63                | 0.37       |
| BANDEJA  |               | 10.37             | 0.37       | 100.00               | 0.00       |
|          |               | 2826.34           | 100        |                      |            |

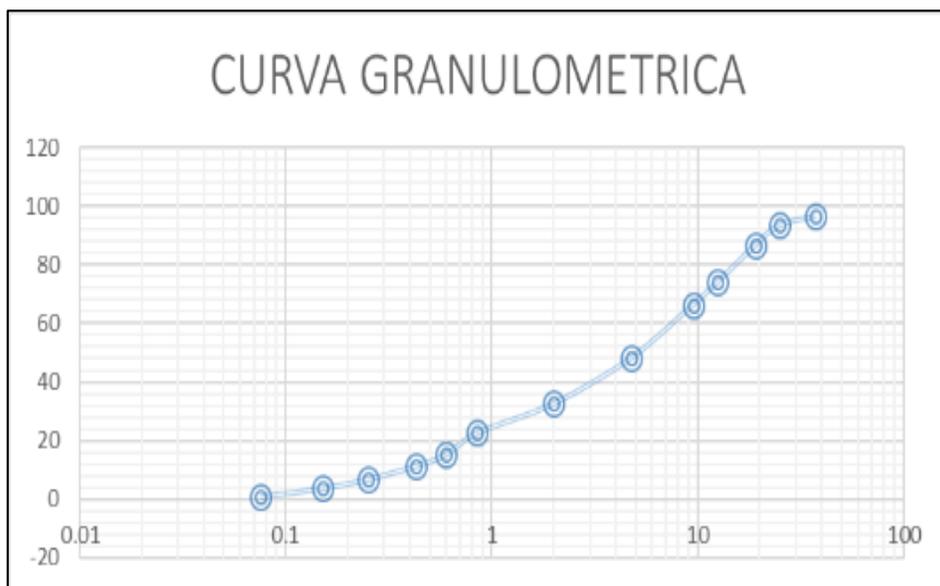
| DESCRIPCION DE LA MUESTRA          |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| ZONA :                             | Gavilan                 |
| UBICACIÓN :                        | 9197080                 |
|                                    | 776224                  |
| MUESTRA :                          | 1                       |
| MATERIAL :                         | Analisis granulometrico |
| PESO ESPECIFICO:                   | 16.67 KN/m3             |
| PESO TOTAL :                       | 2826.34                 |
| Grava %                            | 69.590                  |
| Arena %                            | 30.040                  |
| Finos %                            | 0.370                   |
| <b>CLASIFICACION</b>               |                         |
| SUCS :                             | GW                      |
| GW (Grava bien graduda)            |                         |
| <b>OBSERVACIONES</b>               |                         |
| Se clasifico con Coeficientes de : |                         |
| Cu=                                | 23.010                  |
| Cc=                                | 3.030                   |



## ANEXO 2. RESULTADOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO MUESTRA 2

| Tamiz N° | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO(gr) | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA |
|----------|---------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| 1-1/2 "  | 37.5          | 82.8              | 3.43       | 3.43                 | 96.57      |
| 1"       | 25            | 73.93             | 3.06       | 6.49                 | 93.51      |
| 3/4"     | 19            | 168.06            | 6.96       | 13.45                | 86.55      |
| 1/2"     | 12.5          | 300.39            | 12.44      | 25.89                | 74.11      |
| 3/8"     | 9.5           | 186.89            | 7.74       | 33.63                | 66.37      |
| N 0.4    | 4.75          | 437.64            | 18.12      | 51.75                | 48.25      |
| N 0.10   | 2             | 376.5             | 15.59      | 67.35                | 32.65      |
| N 0.20   | 0.85          | 242.07            | 10.02      | 77.37                | 22.63      |
| N 0.30   | 0.60          | 176.53            | 7.31       | 84.68                | 15.32      |
| N 0.40   | 0.425         | 96.8              | 4.01       | 88.69                | 11.31      |
| N 0.60   | 0.25          | 108.39            | 4.49       | 93.18                | 6.82       |
| N 0.100  | 0.15          | 74.88             | 3.10       | 96.28                | 3.72       |
| N 0.200  | 0.075         | 68.7              | 2.85       | 99.13                | 0.87       |
| BANDEJA  |               | 21.14             | 0.88       | 100.00               | 0.00       |
|          |               | 2414.72           | 100        |                      |            |

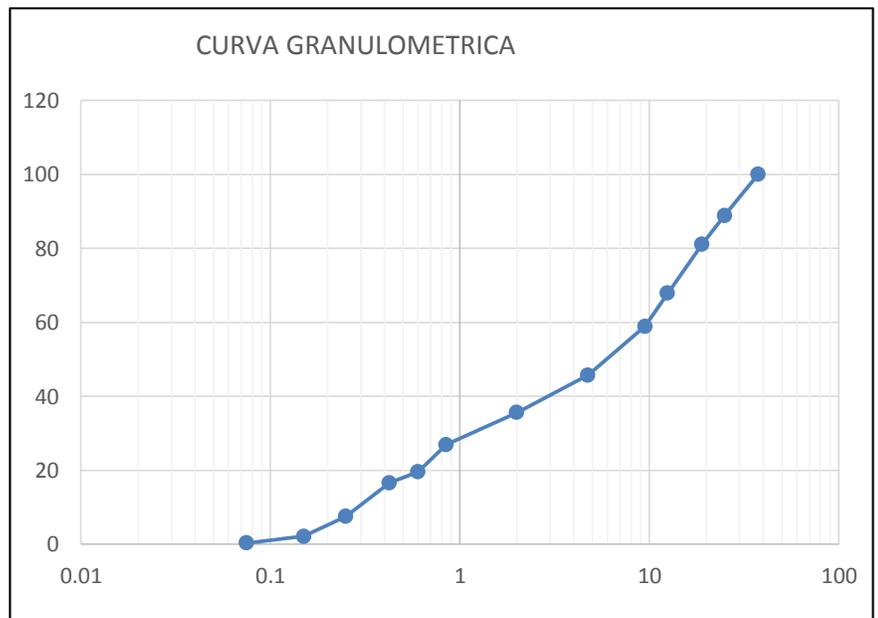
| DESCRIPCION DE LA MUESTRA          |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| ZONA : Gavilan                     |                       |
| UBICACIÓN                          | N 9197156<br>E 776930 |
| MUESTRA                            | 2                     |
| MATERIAL : Analisis Granulometrico |                       |
| PESO ESPECIFICO                    | 16.67 KN/m3           |
| PESO TOTAL                         | 2414.72 g             |
| Grava %                            | 51.750                |
| Arena %                            | 47.380                |
| Finos %                            | 0.870                 |
| <b>CLASIFICACION</b>               |                       |
| SUCS : GP                          |                       |
| GP (Grava mal gradada)             |                       |
| <b>OBSERVACIONES</b>               |                       |
| Se clasifico con Coeficientes de : |                       |
| Cu=                                | 21.042                |
| Cc=                                | 0.985                 |



### ANEXO 3. RESULTADOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO MUESTRA 3

| Tamiz N° | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO(gr) | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA |
|----------|---------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| 1-1/2 "  | 37.5          | 0                 | 0.00       | 0                    | 100        |
| 1"       | 25            | 355.97            | 11.13      | 11.13                | 88.87      |
| 3/4"     | 19            | 247.08            | 7.73       | 18.86                | 81.14      |
| 1/2"     | 12.5          | 422.79            | 13.22      | 32.08                | 67.92      |
| 3/8"     | 9.5           | 288.57            | 9.02       | 41.10                | 58.90      |
| N 0.4    | 4.75          | 420.43            | 13.15      | 54.24                | 45.76      |
| N 0.10   | 2             | 324.73            | 10.15      | 64.40                | 35.60      |
| N 0.20   | 0.85          | 277.78            | 8.69       | 73.08                | 26.92      |
| N 0.30   | 0.60          | 234.36            | 7.33       | 80.41                | 19.59      |
| N 0.40   | 0.425         | 94.08             | 2.94       | 83.35                | 16.65      |
| N 0.60   | 0.25          | 291.37            | 9.11       | 92.46                | 7.54       |
| N 0.100  | 0.15          | 173.26            | 5.42       | 97.88                | 2.12       |
| N 0.200  | 0.075         | 56.04             | 1.75       | 99.63                | 0.37       |
| BANDEJA  |               | 11.79             | 0.37       | 100.00               | 0.00       |
|          |               | 3198.25           | 100        |                      |            |

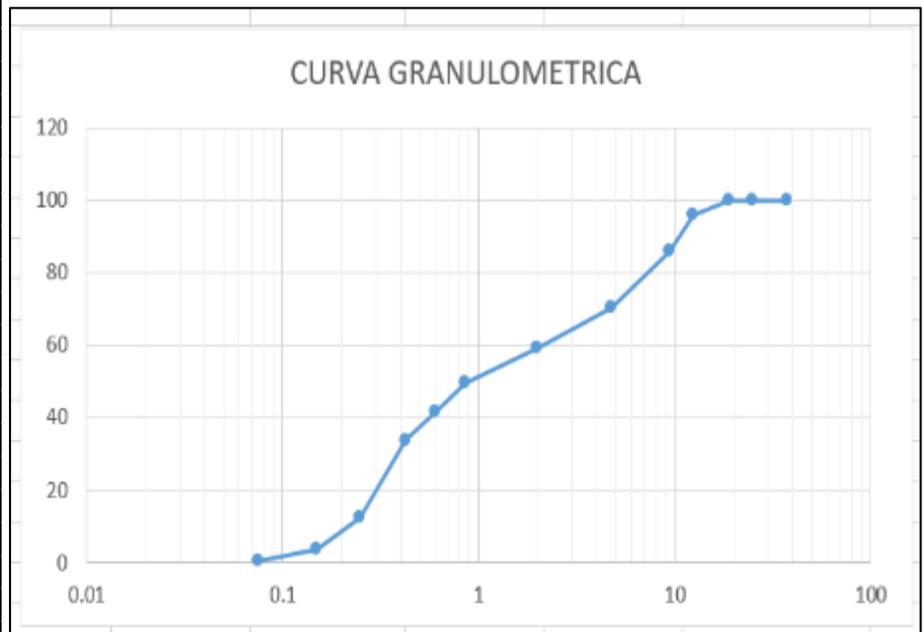
| DESCRIPCION DE LA MUESTRA          |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| ZONA                               | : Gavilan                 |
| UBICACIÓN                          | N 9197212                 |
|                                    | E 778410                  |
| MUESTRA                            | 3                         |
| MATERIAL                           | : Analisis Granulometrico |
| PESO ESPECIFICO                    | 16.67 KN/m3               |
| PESO TOTAL                         | 3198.25 g                 |
| Grava %                            | 54.240                    |
| Arena %                            | 45.390                    |
| Finos %                            | 0.370                     |
| CLASIFICACION                      |                           |
| SUCS                               | : GP                      |
| GP (Grava mal graduda)             |                           |
| OBSERVACIONES                      |                           |
| Se clasifico con Coeficientes de : |                           |
| Cu=                                | 31.490                    |
| Cc=                                | 0.547                     |



#### ANEXO 4. RESULTADOS DEL ANALISIS GRANULOMETRICO MUESTRA 4

| Tamiz N° | ABERTURA<br>(mm) | PESO<br>RETENIDO(gr) | %<br>RETENIDO | %<br>RETENIDO | % QUE PASA |
|----------|------------------|----------------------|---------------|---------------|------------|
| 1-1/2 "  | 37.5             |                      | 0.00          | 0             | 100        |
| 1"       | 25               |                      | 0.00          | 0.00          | 100.00     |
| 3/4"     | 19               |                      | 0.00          | 0.00          | 100.00     |
| 1/2"     | 12.5             | 100.57               | 3.99          | 3.99          | 96.01      |
| 3/8"     | 9.5              | 254.24               | 10.08         | 14.07         | 85.93      |
| N 0.4    | 4.75             | 387.31               | 15.35         | 29.42         | 70.58      |
| N 0.10   | 2                | 282.65               | 11.21         | 40.63         | 59.37      |
| N 0.20   | 0.85             | 247.1                | 9.80          | 50.42         | 49.58      |
| N 0.30   | 0.60             | 199.41               | 7.91          | 58.33         | 41.67      |
| N 0.40   | 0.425            | 197.25               | 7.82          | 66.15         | 33.85      |
| N 0.60   | 0.25             | 537.3                | 21.30         | 87.45         | 12.55      |
| N 0.100  | 0.15             | 226.12               | 8.96          | 96.41         | 3.59       |
| N 0.200  | 0.075            | 75.68                | 3.00          | 99.41         | 0.59       |
| BANDEJA  |                  | 14.81                | 0.59          | 100.00        | 0.00       |
|          |                  | 2522.44              | 100           |               |            |

| DESCRIPCION DE LA MUESTRA          |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| ZONA : Gavilan                     |                       |
| UBICACIÓN                          | N 9199494<br>E 778156 |
| MUESTRA                            | 4                     |
| MATERIAL : Analisis Granulometrico |                       |
| PESO ESPECIFICO                    | 16.18 KN/m3           |
| PESO TOTAL                         | 2522.44 g             |
| Grava %                            | 29.420                |
| Arena %                            | 69.990                |
| Finos %                            | 0.590                 |
| CLASIFICACION                      |                       |
| SUCS                               | : SP                  |
| SP                                 | (Arena mal gradada)   |
| OBSERVACIONES                      |                       |
| Se clasifico con Coeficientes de : |                       |
| Cu=                                | 9.353                 |
| Cc=                                | 0.324                 |

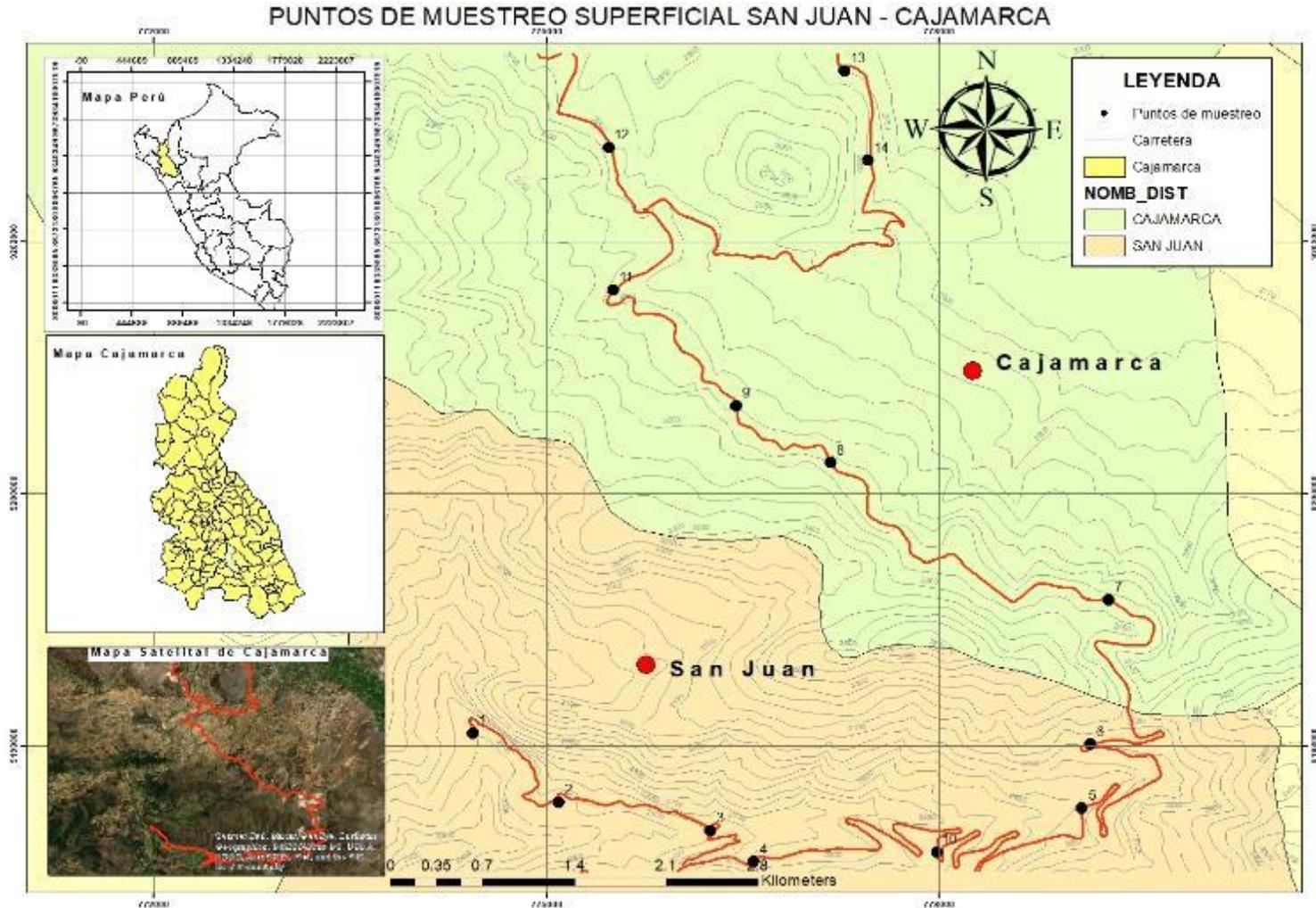


## ANEXO 5. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



Fuente: (USGS, 2021)

**ANEXO 6.** Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial



## ANEXO 7. RESULTADOS DE LABORATORIO ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE



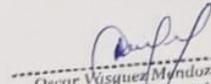
**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**  
**Facultad de Ingeniería de Minas**  
Laboratorio de mecánica de rocas

ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de minas de la universidad

Los resultados fueron los siguientes:

| Muestra | Altura(cm) | Carga (KN) | Resistencia de la compresión simple(MPa) |
|---------|------------|------------|--|
| M-1     | 6.2        | 14.3       | 76.4                                     |
| M-2     | 5.9        | 9.79       | 64.7                                     |
| M-3     | 6.7        | 10.4       | 71.2                                     |
| M-4     | 7.1        | 9.2        | 62.4                                     |

  
Oscar Vasquez Mendoza  
Coordinador de Laboratorio de Minas  
Universidad Privada del Norte  
Cajamarca

OSCAR VASQUEZ MENDOZA  
Coordinador del laboratorio

## ANEXO 8. RESULTADOS DE LABORATORIO ENSAYOS GRANULOMETRICOS



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería de Minas  
Laboratorio de mecánica de rocas

### ENSAYO GRANULOMETRICO

Los ensayos se realizaron el en laboratorio de minas de la universidad

Los resultados fueron los siguientes:

|             |                   |
|-------------|-------------------|
| Zona        | Gavilán           |
| Material    | suelo             |
| Coordenadas | 776224<br>9197080 |
| Muestra     | 1                 |

Peso inicial: 2850 g

| Tamiz N° | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr) | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA |
|----------|---------------|--------------------|------------|----------------------|------------|
| 1-1/2 "  | 37.5          | 0                  | 0          | 0                    | 100        |
| 1"       | 25            | 432.4              | 15.30      | 15.30                | 84.70      |
| 3/4"     | 19            | 274.35             | 9.71       | 25.01                | 74.99      |
| 1/2"     | 12.5          | 443.92             | 15.71      | 40.71                | 59.29      |
| 3/8"     | 9.5           | 385.07             | 13.62      | 54.34                | 45.66      |
| N 0.4    | 4.75          | 431.01             | 15.25      | 69.59                | 30.41      |
| N 0.10   | 2             | 284.53             | 10.07      | 79.65                | 20.35      |
| N 0.20   | 0.85          | 180.43             | 6.38       | 86.04                | 13.96      |
| N 0.30   | 0.60          | 95.18              | 3.37       | 89.41                | 10.59      |
| N 0.40   | 0.425         | 64.88              | 2.30       | 91.70                | 8.30       |
| N 0.60   | 0.25          | 98.27              | 3.48       | 95.18                | 4.82       |
| N 0.100  | 0.15          | 78.36              | 2.77       | 97.95                | 2.05       |
| N 0.200  | 0.075         | 47.57              | 1.68       | 99.63                | 0.37       |
| BANDEJA  |               | 10.37              | 0.37       | 100.00               | 0.00       |
|          |               | 2850.38            | 100        |                      |            |

Oscar Vasquez Mendoza  
Coordinador de Laboratorio de Minas  
Universidad Privada del Norte  
Cajamarca

OSCAR VASQUEZ MENDOZA  
Coordinador del laboratorio



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería de Minas

Laboratorio de mecánica de rocas

### ENSAYO GRANULOMETRICO

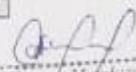
Los ensayos se realizaron en el laboratorio de minas de la universidad

Los resultados fueron los siguientes:

|            |                   |
|------------|-------------------|
| Zona       | Gavilán           |
| Material   | suelo             |
| Coordenada | 776930<br>9197156 |
| Muestra    | 2                 |

Peso inicial: 2430 g

| Tamiz N° | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO(gr) | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA |
|----------|---------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| 1-1/2"   | 37.5          | 82.8              | 3.43       | 3.43                 | 96.57      |
| 1"       | 25            | 73.93             | 3.06       | 6.49                 | 93.51      |
| 3/4"     | 19            | 168.06            | 6.96       | 13.45                | 86.55      |
| 1/2"     | 12.5          | 300.39            | 12.44      | 25.89                | 74.11      |
| 3/8"     | 9.5           | 186.89            | 7.74       | 33.63                | 66.37      |
| N 0.4    | 4.75          | 437.64            | 18.12      | 51.75                | 48.25      |
| N 0.10   | 2             | 376.5             | 15.59      | 67.35                | 32.65      |
| N 0.20   | 0.85          | 242.07            | 10.02      | 77.37                | 22.63      |
| N 0.30   | 0.60          | 176.53            | 7.31       | 84.68                | 15.32      |
| N 0.40   | 0.425         | 96.8              | 4.01       | 88.69                | 11.31      |
| N 0.60   | 0.25          | 108.39            | 4.49       | 93.18                | 6.82       |
| N 0.100  | 0.15          | 74.88             | 3.10       | 96.28                | 3.72       |
| N 0.200  | 0.075         | 68.7              | 2.85       | 99.13                | 0.87       |
| BANDEJA  |               | 21.14             | 0.88       | 100.00               | 0.00       |
|          |               | 2430.72           | 100        |                      |            |

  
Oscar Vasquez Mendoza  
Coordinador de Laboratorio de Minas  
Universidad Privada del Norte  
Cajamarca

OSCAR VASQUEZ MENDOZA  
Coordinador del laboratorio



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería de Minas  
Laboratorio de mecánica de rocas

### ENSAYO GRANULOMETRICO

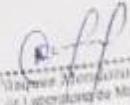
Los ensayos se realizaron el en laboratorio de minas de la universidad

Los resultados fueron los siguientes:

|            |                      |
|------------|----------------------|
| Zona       | Gavilan              |
| Material   | suelo                |
| Coordenada | 778 156<br>9 199 494 |
| Muestra    | 12                   |

Peso inicial:2540 g

| Tamiz N° | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO(gr) | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA |
|----------|---------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| 1-1/2 "  | 37.5          | 0                 | 0.00       | 0                    | 100        |
| 1"       | 25            | 0                 | 0.00       | 0.00                 | 100.00     |
| 3/4"     | 19            | 0                 | 0.00       | 0.00                 | 100.00     |
| 1/2"     | 12.5          | 100.57            | 3.99       | 3.99                 | 96.01      |
| 3/8"     | 9.5           | 254.24            | 10.08      | 14.07                | 85.93      |
| N 0.4    | 4.75          | 387.31            | 15.35      | 29.42                | 70.58      |
| N 0.10   | 2             | 282.65            | 11.21      | 40.63                | 59.37      |
| N 0.20   | 0.85          | 247.1             | 9.80       | 50.42                | 49.58      |
| N 0.30   | 0.60          | 199.41            | 7.91       | 58.33                | 41.67      |
| N 0.40   | 0.425         | 197.25            | 7.82       | 66.15                | 33.85      |
| N 0.60   | 0.25          | 537.3             | 21.30      | 87.45                | 12.55      |
| N 0.100  | 0.15          | 226.12            | 8.96       | 96.41                | 3.59       |
| N 0.200  | 0.075         | 75.68             | 3.00       | 99.41                | 0.59       |
| BANDEJA  |               | 14.81             | 0.59       | 100.00               | 0.00       |
|          |               | 2522.44           | 100        |                      |            |

  
Oscar Vasquez Mendoza  
Coordinador de Laboratorio de Minas  
Universidad Privada del Norte  
Cajamarca

OSCAR VASQUEZ MENDOZA  
Coordinador del laboratorio



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería de Minas

Laboratorio de mecánica de rocas

### ENSAYO GRANULOMETRICO

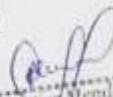
Los ensayos se realizaron el en laboratorio de minas de la universidad

Los resultados fueron los siguientes:

|            |                    |
|------------|--------------------|
| Zona       | Gavilán            |
| Material   | suelo              |
| Coordenada | 778410<br>91972212 |
| Muestra    | 9                  |

Peso inicial: 3210 g

| Tamiz N° | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO(gr) | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA |
|----------|---------------|-------------------|------------|----------------------|------------|
| 1-1/2 "  | 37.5          | 0                 | 0.00       | 0                    | 100        |
| 1"       | 25            | 355.97            | 11.13      | 11.13                | 88.87      |
| 3/4"     | 19            | 247.08            | 7.73       | 18.86                | 81.14      |
| 1/2"     | 12.5          | 422.79            | 13.22      | 32.08                | 67.92      |
| 3/8"     | 9.5           | 288.57            | 9.02       | 41.10                | 58.90      |
| N 0.4    | 4.75          | 420.43            | 13.15      | 54.24                | 45.76      |
| N 0.10   | 2             | 324.73            | 10.15      | 64.40                | 35.60      |
| N 0.20   | 0.85          | 277.78            | 8.69       | 73.08                | 26.92      |
| N 0.30   | 0.60          | 234.36            | 7.33       | 80.41                | 19.59      |
| N 0.40   | 0.425         | 94.08             | 2.94       | 83.35                | 16.65      |
| N 0.60   | 0.25          | 291.37            | 9.11       | 92.46                | 7.54       |
| N 0.100  | 0.15          | 173.26            | 5.42       | 97.88                | 2.12       |
| N 0.200  | 0.075         | 56.04             | 1.75       | 99.63                | 0.37       |
| BANDEJA  |               | 11.79             | 0.37       | 100.00               | 0.00       |
|          |               | 3198.25           | 100        |                      |            |

  
Oscar Vasquez Mendoza  
Coordinador de Laboratorio de Minas  
Universidad Privada del Norte  
Cajamarca

OSCAR VASQUEZ MENDOZA  
Coordinador del laboratorio

**ANEXO 9. DESLIZAMIENTOS**



**ANEXO 10. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO**



**ANEXO 11. SELECCION DE MUESTRA CON EL METODO DE CUARTEO**

