



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS MEDIANTE  
TÉCNICAS GEOMÁTICAS DEL CANTÓN SANTA ISABEL, PROVINCIA DEL  
AZUAY”

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniera Ambiental

AUTORAS: DIANA JUDITH ALBARRACIN LLIVISACA  
ALEXANDRA LETICIA AUCAY CEVALLOS  
TUTORA: ING. ESTEFANÍA CARIDAD AVILÉS SACOTO, Ph.D.

Cuenca - Ecuador  
2024

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotras, Diana Judith Albarracin Llivisaca con documento de identificación N° 0106722168 y Alexandra Leticia Aucay Cevallos con documento de identificación N° 0105813166; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

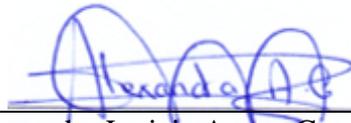
Cuenca, 08 de abril del 2024

Atentamente,



\_\_\_\_\_  
Diana Judith Albarracin Llivisaca

0106722168



\_\_\_\_\_  
Alexandra Leticia Aucay Cevallos

0105813166

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Diana Judith Albarracin Llivisaca con documento de identificación N° 0106722168 y Alexandra Leticia Aucay Cevallos con documento de identificación N° 0105813166, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Trabajo experimental: “Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas geomáticas del cantón Santa Isabel, provincia del Azuay”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

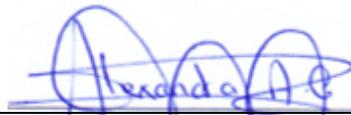
Cuenca, 08 de abril del 2024

Atentamente,



\_\_\_\_\_  
Diana Judith Albarracin Llivisaca

0106722168



\_\_\_\_\_  
Alexandra Leticia Aucay Cevallos

0105813166

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Estefanía Caridad Avilés Sacoto con documento de identificación N° 0104551395, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS MEDIANTE TÉCNICAS GEOMÁTICAS DEL CANTÓN SANTA ISABEL, PROVINCIA DEL AZUAY”, realizado por Diana Judith Albarracin Llivisaca con documento de identificación N° 0106722168 y por Alexandra Leticia Aucay Cevallos con documento de identificación N° 0105813166, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 08 de abril del 2024

Atentamente,



---

Ing. Estefanía Caridad Avilés Sacoto, Ph.D.

0104551395

## **DEDICATORIA**

Diana,

Para empezar, quiero dedicar la presente tesis a Dios, por levantarme de aquellos tropiezos que se presentaron en el camino, por las bendiciones recibidas en el trayecto de mi formación académica, y por permitirme llegar a este punto trascendente de mi formación profesional.

A mis queridos padres: **Pedro y Josefina** por ser un pilar fundamental en mi vida y siempre apoyarme incondicionalmente durante este trayecto lleno de sacrificios y esfuerzos, por aconsejarme y alentarme hasta lograr mi objetivo.

A mis queridos hermanos: **Flavio y Angélica** por ser un ejemplo a seguir, por persuadirme que el estudio es la base del éxito para un mejor futuro ya que sin su apoyo no hubiese culminado mis estudios de formación profesional.

## DEDICATORIA

Alexandra,

En primer lugar, agradecida con papito Dios, porque me ha permitido levantarme todos los días con salud y energía para cumplir cada una de mis metas y también por tenerles vivos a mis padres que se han convertido en mi mayor soporte ya sea económico y emocional.

A mis Padres **Luis y Leticia**, por darme los mejores consejos de su vida personal y profesional para poderme desarrollar como un gran ser humano y por darme las fuerzas para que yo siga creyendo en los sueños y sin importar los obstáculos que se presentan uno puedo conseguir todo lo que se propone en la vida.

A mis hermanos **Javier, Evelyn, Luis** y mis tíos **Alejandro y Manuel**, por ser ese pilar fundamental en cada momento de mi vida que siempre me dijeron que la vida te va a golpear de miles de formas que habrá momentos que no te vas a querer levantar pero que siempre tienes que tomar fuerzas de donde ya no tienes para continuar por que el éxito no es de aquellos que caen sino de quienes se levantan y conseguir lo que se han propuesto en la vida.

A mis amigos/as, porque me han acompañado en cada aventura, cada miedo, cada sueño en las lágrimas y las risas aquellos que me han visto derrotada y también levantada, gracias porque esta etapa de mi vida no la voy a olvidar, no por lo que perdí porque indudablemente fueron muchas cosas sino por lo que gané que es lo que define mi personalidad.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. **Nicolas Cevallos** y al Ing. **Flavio Albarracín**, por habernos proporcionado información relevante sobre los diferentes pixeles que existen en las zonas de los deslizamientos, siendo información clave para validar los datos; al **GAD Municipal de Santa Isabel**, por habernos facilitado las zonas donde se encuentran los respectivos deslizamientos, a la Ing. **Estefanía Avilés Sacoto**, por habernos guiado de manera técnica y personal en este trabajo de titulación aportando sus enseñanzas y aprendizaje para culminar con éxito el mismo, finalmente agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana porque en sus aulas nos ha permitido vivir las mejores experiencias de nuestra formación profesional.

## RESUMEN

La presente tesis realizó un análisis de susceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas geomáticas en el Cantón Santa Isabel, Provincia del Azuay. La zona de estudio consta de una superficie de 771.42 km<sup>2</sup>. Por otro lado, la metodología fue basada en el procesamiento de información satelital, mediante superposición de capas con el uso de imágenes satelitales Landsat 8 de los años 2017, 2019, 2020 y 2021, luego de haber corregido las imágenes satelitales se procedió a calcular los índices de vegetación (EVI y SAVI) que permiten determinar la brillantez de suelo y mejorar el contraste entre los límites del suelo y vegetación, y posterior se reclasificó según los valores calculados, mientras que para la pendiente se calculó en base a las curvas de nivel y modelo digital del terreno. Seguidamente, se procedió a verificar la validación de los resultados con el método estadístico del índice kappa y la validación en campo. El proyecto tuvo como finalidad generar un mapa temático de susceptibilidades de deslizamientos, con el uso de criterios multitemporales y multiespectrales, a partir del levantamiento de información se planteó medidas de mitigación en la zona de estudio, frente a los deslizamientos activos o de susceptibilidad alta. En la zona de estudio se determinó un área de 1496 ha, de susceptibilidad alta que corresponde a zonas altas o inclinadas, ubicadas en las parroquias: Abdón Calderón, Santa Isabel rural y Shaglli, además de un área de 58811 ha, de susceptibilidad baja que corresponde a las parroquias de zonas bajas: Santa Isabel (Chaguarurco) y San Salvador de Cañaribamba. Finalmente, el método estadístico aplicado para verificar la validación de los resultados obtuvo un valor de kappa de 0,83 que representa el 83%, siendo un resultado aceptable según la metodología aplicada.

**Palabras Clave:** *deslizamiento, susceptibilidad, imágenes satelitales, Landsat 8, índices espectrales, índice kappa, medidas de mitigación.*

## ABSTRACT

This thesis carried out an analysis of susceptibility to landslides using geomatic techniques in the Santa Isabel Canton, Province of Azuay. The study area consists of an area of 771.42 km<sup>2</sup>. On the other hand, the methodology was based on the processing of satellite information, by superimposing layers with the use of Landsat 8 satellite images from the years 2017, 2019, 2020 and 2021, after having corrected the satellite images, we proceeded to calculate the Vegetation indices (EVI and SAVI) that allow determining the brightness of the soil and improving the contrast between the limits of the soil and vegetation, and were subsequently reclassified according to the calculated values, while for the slope it was calculated based on the contour lines. and digital terrain model. Next, the validation of the results was verified with the statistical method of the kappa index and field validation. The purpose of the project was to generate a thematic map of landslide susceptibilities, with the use of multi-temporal and multi-spectral criteria, based on the collection of information, mitigation measures were proposed in the study area, against active or high susceptibility landslides. In the study area, an area of 1496 ha was determined, of high susceptibility that corresponds to high or inclined areas, located in the parishes: Abdón Calderón, Santa Isabel rural and Shaglli, in addition to an area of 58811 ha of low susceptibility that corresponds to the parishes of low areas: Santa Isabel (Chaguarurco) and San Salvador de Cañaribamba. Finally, the statistical method applied to verify the validation of the results obtained a kappa value of 0.83, which represents 83%, being an acceptable result according to the applied methodology.

**Key Words:** *landslide, susceptibility, satellite images, Landsat 8, spectral indices, kappa index, mitigation measures.*

# ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo General .....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. Deslizamientos .....	15
3.1.1. Causas de Deslizamientos.....	16
3.1.2. Importancia de la cobertura vegetal en los deslizamientos .....	16
3.1.3. Partes de un Deslizamiento .....	17
3.2. Factores que influyen en la estabilidad de taludes y laderas .....	17
3.2.1. Taludes .....	18
3.2.2. Factores Geológicos .....	18
3.2.3. Factores Geométricos .....	20
3.2.4. Factores Hidrogeológicos .....	21
3.2.5. Factores Geotécnicos .....	22
3.3. Factores que influyen en la inestabilidad de taludes y laderas.....	24
3.3.1. Factores Condicionantes o Pasivos.....	24
3.3.2. Factores Desencadenantes o activos .....	25
3.4. Factores que inciden a la clasificación de los Deslizamientos.....	25
3.5. Clasificación de Deslizamientos.....	25
3.5.1. Deslizamiento Rotacional.....	26
3.5.2. Deslizamiento Traslacional.....	26
3.5.3. Caída.....	27
3.5.4. Volcamiento .....	28
3.5.5. Flujo de tierra .....	28
3.5.6. Flujo de lodo.....	29
3.5.7. Reptación.....	29
3.6. Índices de Vegetación.....	30
3.6.1. Cálculo de los índices de vegetación .....	30
3.6.2. Índice de vegetación normalizado (SAVI) .....	30
3.6.3. Índice del suelo (EVI) .....	31
3.7. MDT y Orientaciones.....	32
3.8. Tipos de validación de datos .....	32
3.8.1. Método del Índice Kappa.....	32

<b>3.9.</b>	<b>Sistemas de Información Geográfica</b>	<b>33</b>
3.9.1.	ArcGIS	33
3.9.2.	Aplicación: Programación con Python	33
3.9.3.	QGIS	33
<b>3.10.</b>	<b>Plan de Emergencias y Contingencias</b>	<b>33</b>
3.10.1.	Consecuencias del Desastre Natural (Análisis de Riesgos)	33
3.10.2.	Medidas de Contingencias	34
<b>3.11.</b>	<b>Tipos de Deslizamientos en Ecuador</b>	<b>34</b>
3.11.1.	Casos de Deslizamientos en Ecuador	35
<b>3.12.</b>	<b>Deslizamientos históricos en Santa Isabel</b>	<b>36</b>
3.12.1.	Emergencia en la Cría – Santa Isabel	36
3.12.2.	Puente Loma	36
3.12.3.	Sector El Ramal	37
<b>3.13.</b>	<b>Programación con Teledetección</b>	<b>37</b>
3.13.1.	Landsat 8	37
3.13.2.	Bandas espectrales de Landsat 8	38
3.13.3.	Corrección Atmosférica de Imágenes Satelitales	39
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>40</b>
4.1.	Delimitación del área de estudio	40
4.2.	Adquisición y procesamiento de datos	41
4.3.	Determinación de las Pendientes e Índices Espectrales	43
4.4.	Índices de Vegetación de Diferencia Normalizado e Índices de Brillantez del SUELO	43
4.5.	Mapa temático de Pendientes y Orientaciones	49
4.6.	Extracción de los procesos a movimientos de masas por deslizamientos	49
4.7.	Combinaciones multitemporales	50
4.8.	Diferencia de temporalidades	50
4.9.	Métodos de validación	51
4.10.	Muestreo estratificado	51
4.11.	Verificación mediante los deslizamientos históricos registrados	53
4.12.	Análisis estadístico del Índice Kappa de Cohen	54
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>55</b>
5.1.	Análisis de la pendiente	55
5.2.	Análisis de los índices espectrales EVI y SAVI	55
5.3.	Análisis de las combinaciones	61
5.4.	Análisis de la diferencia de temporalidades	64

5.5.	Análisis de las zonas susceptibles a deslizamientos .....	71
6.	VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	74
6.1.	Análisis de la validación de resultados.....	74
6.2.	Análisis estadístico del Índice de kappa .....	77
6.3.	Medidas de prevención frente a los deslizamientos.....	79
7.	DISCUSIÓN .....	80
8.	CONCLUSIONES.....	81
9.	RECOMENDACIONES .....	82
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	83
11.	ANEXOS .....	89

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .....	38
Tabla 2 .....	42
Tabla 3 .....	43
Tabla 4 .....	50
Tabla 5 .....	51
Tabla 6 .....	54
Tabla 7 .....	55
Tabla 8 .....	55
Tabla 9 .....	56
Tabla 10 .....	57
Tabla 11 .....	58
Tabla 12 .....	58
Tabla 13 .....	59
Tabla 14 .....	60
Tabla 15 .....	60
Tabla 16 .....	67
Tabla 17 .....	67
Tabla 18 .....	68
Tabla 19 .....	71
Tabla 20 .....	71
Tabla 21 .....	78
Tabla 22 .....	79

### ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 .....	17
Ilustración 2 .....	22
Ilustración 3 .....	26
Ilustración 4 .....	27

<b>Ilustración 5</b> .....	28
<b>Ilustración 6</b> .....	28
<b>Ilustración 7</b> .....	29
<b>Ilustración 8</b> .....	38
<b>Ilustración 9</b> .....	40
<b>Ilustración 10</b> .....	41
<b>Ilustración 11</b> .....	41
<b>Ilustración 12</b> .....	45
<b>Ilustración 13</b> .....	45
<b>Ilustración 14</b> .....	47
<b>Ilustración 15</b> .....	47
<b>Ilustración 16</b> .....	49
<b>Ilustración 17</b> .....	51
<b>Ilustración 18</b> .....	52
<b>Ilustración 19</b> .....	52
<b>Ilustración 20</b> .....	54
<b>Ilustración 21</b> .....	56
<b>Ilustración 22</b> .....	57
<b>Ilustración 23</b> .....	57
<b>Ilustración 24</b> .....	58
<b>Ilustración 25</b> .....	59
<b>Ilustración 26</b> .....	59
<b>Ilustración 27</b> .....	60
<b>Ilustración 28</b> .....	61
<b>Ilustración 29</b> .....	62
<b>Ilustración 30</b> .....	63
<b>Ilustración 31</b> .....	64
<b>Ilustración 32</b> .....	65
<b>Ilustración 33</b> .....	66
<b>Ilustración 34</b> .....	67
<b>Ilustración 35</b> .....	68
<b>Ilustración 36</b> .....	68
<b>Ilustración 37</b> .....	70
<b>Ilustración 38</b> .....	75
<b>Ilustración 39</b> .....	76
<b>Ilustración 40</b> .....	76
<b>Ilustración 41</b> .....	77

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> .....	31
<b>Ecuación 2</b> .....	31
<b>Ecuación 3</b> .....	54

## 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador los sucesos de gran magnitud están relacionados con factores hidrometeorológicos, sismos y deslizamientos de tierra, generando consecuencias catastróficas vinculadas con pérdidas y desaparición de personas (Avilés Lucía et al., 2017). Además (Jiménez Cuenca, 2023) menciona que en la Provincia del Azuay se establecen suelos con baja resistencia al corte y a la compresión, por lo general son suelos frágiles que carecen de las propiedades físicas y geomecánicas, las mismas que permiten estabilidad al suelo (Jiménez Cuenca, 2023).

Las actividades antrópicas y consecuencias que se generan por la actividad humana contribuyen con el deslizamiento, teniendo en cuenta que los factores climáticos como las intensas lluvias, propiedades físicas y mecánicas del suelo, son componentes que atribuyen en el proceso de deslizamiento (Chiquín Norma, 2017). Por otro lado, (Jiménez Cuenca, 2023) indica que las propiedades mecánicas del suelo contribuyen al proceso de movimientos de masas en gran magnitud, pero sin duda la actividad humana se involucra a gran medida que acelera el proceso. Debido a factores como la deforestación, explotación indiscriminada de minas, deficiente manejo de proyectos de agua para riego y escaso tratamiento integral de aguas residuales. Como resultado de estos factores se generan impactos sociales, económicos y ambientales. (Jiménez Cuenca, 2023)

Santa Isabel se caracteriza por tener un clima húmedo, con gran variedad de sembríos como: tomate, cebolla, café, maíz, caña de azúcar, entre otros, estos se favorecen por las condiciones físicas del terreno; y es reconocida por el potencial turístico, que genera el medio paisajístico y reservas ecológicas (GAD Santa Isabel, 2020). En el cantón Santa Isabel los movimientos en masa se originan debido a la precipitación, temperatura, velocidad del viento y dirección del viento, generando elevada vulnerabilidad a deslizamientos. Además,

Se define a los Sistemas de Información Geográfica como un conjunto de métodos, herramientas y datos que generan información geográfica, indispensable para las aplicaciones en diversos campos de la Ingeniería. Por lo tanto, los Sistemas de Información Geográfica son aplicados para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos, con la información geográfica adquirida se obtiene los resultados del análisis (Jiménez Diana, 2011).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Identificar las zonas susceptibles a deslizamientos mediante técnicas geomáticas del cantón Santa Isabel, provincia del Azuay.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Procesar imágenes satelitales Landsat 8 de los años 2017, 2019, 2020 y 2021 del cantón Santa Isabel mediante el software ENVI 5.3 y Qgis 3.16.16.
- Generar un mapa temático de susceptibilidades de deslizamientos, con el uso de criterios multitemporales y multiespectrales, mediante el cálculo de la pendiente e índices espectrales (EVI - SAVI).
- Corroborar los resultados mediante el método estadístico del índice kappa, la validación en campo y el estudio de sucesos históricos de deslizamientos acontecidos en el cantón de Santa Isabel.
- Elaborar medidas de prevención en la zona de estudio frente a los deslizamientos activos o de susceptibilidad alta.

## **3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1. Deslizamientos**

El deslizamiento se define como un desplazamiento de masas, suelo o roca que viajan en dirección al sustrato, donde se movilizan en función de la velocidad máxima alcanzado grandes volúmenes de sustrato (González de Vallejo et al., 2002). Por otro lado (Quiñones Harold, 2011) dice que los deslizamientos son desplazamientos de masas de suelo o roca que están pendiente abajo, son generados por elementos condicionantes y detonantes (Quiñones Harold, 2011). Como resultado de estos movimientos de masa son desplazamientos que generan un riesgo geológico, ocasionando pérdidas económicas, pérdidas materiales y en el peor de los casos pérdidas humanas (Mallitasig Nancy, 2011).

Además, cabe recalcar que los factores climáticos y geológicos son los que afectan a la superficie terrestre dan lugar al relieve y determinan la morfología de los taludes, que al transcurrir el tiempo deben ser modificados pues se adaptan a nuevas variaciones geológicas y climáticas (González de Vallejo et al., 2002).

### **3.1.1. Causas de Deslizamientos**

Las variables a tener presente son de tipo geológico, geomorfológico y climático, en lo que influye en la estructura del suelo o talud. Además, se debe tener en cuenta que las actividades humanas influyen directamente en la estabilidad de los suelos, por consiguiente, las zonas urbanas son menos susceptibles a deslizamiento, que en la zona rural. Existen 3 factores de origen antrópico que ocasionan deslizamientos como son: variación en el régimen de la presión del agua del subsuelo que abarca el volumen de infiltraciones que generan la rotura de drenajes, variación en el régimen de aguas superficiales debido a la implementación de tanques de almacenamiento, fosas sépticas.

Generando una reducción en la infiltración incrementando la escorrentía (Astudillo Ernesto et al., 2009). Por otro lado (López Juan Sebastián, 2012) se basa en los estudios geológicos y las inspecciones de campo realizadas, y sobresalen algunas causas que desencadenan los deslizamientos, siendo la principal del factor “agua” en diferentes escenarios como los humedales, infiltración, taponamiento de quebradas o canales de agua, el factor de “actividades antrópicas” como la construcción de reservorios sin geomembrana, canales de riego, pozos sépticos, cortes de talud para construcciones civiles de forma antitécnica, cabe recalcar que las condiciones naturales como las vertientes en invierno contribuyen a las causas del deslizamiento (López Juan Sebastián, 2012).

### **3.1.2. Importancia de la cobertura vegetal en los deslizamientos**

La presencia de vegetación en una zona específica de estudio interviene directamente en la estabilidad de los taludes, pues mientras mayor cantidad de vegetación presente en la zona mayor es la estabilidad de los suelos ante el factor de erosión, que es ocasionado por el impacto de las gotas de lluvia, incrementando su permeabilidad y favorecer la infiltración (Astudillo Ernesto et al., 2009). Por otro lado (GAD Santa Isabel, 2020) indica que la erosión del suelo se genera debido a parámetros externos como son: la corriente de agua que traslada la tierra hacia los ríos, la intensidad del viento que lleva las partículas de suelo y actividades antrópicas. Además, cabe recalcar que la cobertura vegetal mantiene un equilibrio con la actividad de los parámetros externos causantes de la erosión del suelo, la cobertura vegetal actúa como una cortina protectora de los parámetros externos (GAD Santa Isabel, 2020).

### 3.1.3. Partes de un Deslizamiento

Un Deslizamiento está estructurado de las siguientes partes que cita el autor, (García Iván, 2022).

**Escarpe principal:** se denomina aquella superficie con una inclinación pronunciada en el perímetro de la zona de desplazamiento, originado por el movimiento de material del terreno (García Iván, 2022).

**Escarpe secundario:** se denomina a la superficie inclinada como resultado de los deslizamientos secundarios en la zona de movimientos de masas (García Iván, 2022).

**Cabeza:** se determina a la zona alta donde se encuentran la zona afectada por el movimiento de masa y el escarpe principal (García Iván, 2022).

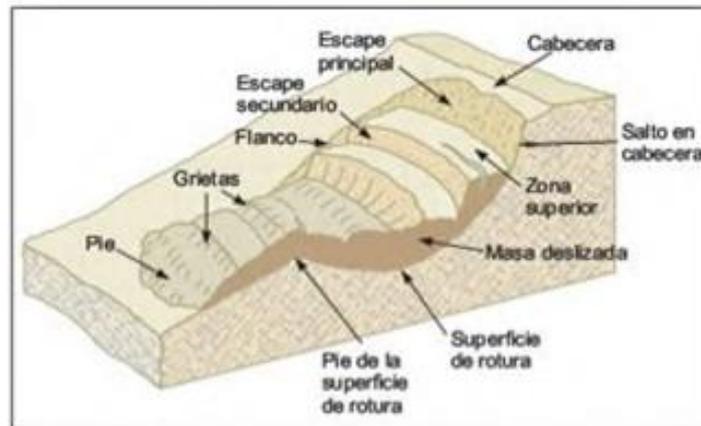
**Corona:** esta zona se caracteriza por no estar afectada por el movimiento de masa llamada también cabecera del deslizamiento(García Iván, 2022).

**Superficie de falla:** consta de la zona de movimiento de masas y se limita de las demás zonas por la presencia del material removido (García Iván, 2022).

**Pie de superficie de falla:** es la zona denominada intermedia entre la zona inferior de falla y la zona original del terreno (García Iván, 2022).

**Base:** denominada así a la zona donde se encuentra el material removido situado al pie de la superficie de falla (García Iván, 2022).

**Ilustración 1**  
Partes de un Deslizamiento.



Fuente:(González de Vallejo et al., 2002).

### 3.2. Factores que influyen en la estabilidad de taludes y laderas

La estabilidad de taludes y laderas está definida por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (limitan la presencia de planos, franjas de debilidad y anisotropía en la ladera), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores

geotécnicos que están vinculados con el comportamiento mecánico de la zona de estudio (González de Vallejo et al., 2002). Mientras que (Montero José, 2003) nos dice que los factores determinantes que contribuyen la estabilidad a los taludes son las condiciones geométricas del talud (pendiente, orientación, elevación y forma) y las condiciones resistentes características de la zona de estudio afectada (litología, resistencia a la cizalla friccional y/o cohesiva, presión de agua, relación de volumen / densidad / masa) (Montero José, 2003). Por otro lado (González de Vallejo et al., 2002) nos indica que la condición de rotura de varias superficies depende de los factores geológicos y geométricos, además de las propiedades resistentes y el comportamiento del talud que son definidos por las propiedades hidrogeológicas, estratigrafía y litología (González de Vallejo et al., 2002).

### **3.2.1. Taludes**

Comúnmente se define al talud como la Superficie inclinada de las masas de suelo con respecto a la horizontal, donde el talud que se origina naturalmente es conocido como ladera y si se origina por la intervención del hombre se denomina talud artificial (Rico Alfonso & Hermilo del Castillo, 2013). Además (Juárez Eulalio & Rico Alfonso, 2012) señala que en el talud la falla se origina como un deslizamiento de masas (Juárez Eulalio & Rico Alfonso, 2012). Por otro lado (Suárez Jaime, 1998) expone que el talud es la pendiente que posee cambios relevantes en la zona alta, con respecto a su clasificación se presentan 3 grupos; terraplenes, cortes de laderas naturales y muros de contención (Suárez Jaime, 1998). Finalmente entre otros tipos de problemas de suelo, aunque no sean relevantes tienen importancia en la intervención de mecánica de suelos, tenemos: vibraciones, explosiones, terremotos, almacenamiento de fluidos industriales en depósitos de tierra y la helada (Juárez Eulalio & Rico Alfonso, 2012).

### **3.2.2. Factores Geológicos**

La geología del terreno de estudio es relativamente importante como factor que atribuye a la ocurrencia de los deslizamientos de tierra (Villamil Julián et al., 2018). Por su parte (González de Vallejo et al., 2002) nos indica que los factores geológicos son también denominados factores condicionantes y su estructura está compuesta de materiales blandos como; los lutíticos o pizarrosos, la litología y el nivel de afección adquieren un papel predominante (González de Vallejo et al., 2002). Finalmente (Suárez Días Jaime, 1998) recalca la importancia de la estructura geológica en la zona de estudio, pues está relacionado al mecanismo de falla y de la misma manera al comportamiento de

un desplazamiento del talud, teniendo en cuenta que tanto la textura como la estructura geológica definen el desarrollo de las fallas en los taludes (Suarez Días Jaime, 1998).

Con respecto a los parámetros geológicos que definen la existencia de materiales duros o de baja resistencia y las discontinuidades que contribuyen a sucesos de movimientos de masa, entre los elementos geológicos fundamentales que cita (Suarez Días Jaime, 1998) están:

#### **3.2.2.1. Estructura Geológica y Discontinuidades**

Generalmente la estratificación y discontinuidad en suelos residuales y rocas ejercen el papel de guiar las corrientes de agua subterránea, además de las propiedades que atribuyen a la generación de movimientos de masas (Suarez Días Jaime, 1998). Por consiguiente, (González de Vallejo et al., 2002) indica que la estructura geológica depende de la estabilidad de los taludes en macizos rocosos pues contribuye a las condiciones favorables de las mismas. No obstante, los problemas de estabilidad se aprecian al momento de actuar los elementos estructurales y los parámetros geométricos del talud incluyendo (altura e inclinación) y su orientación. Con respecto a la existencia de discontinuidades, genera un estado anisótropo del macizo, por ejemplo, en el caso de presenciar un conjunto de fracturas que determinarán la dirección del movimiento y el tamaño del bloque a ser desplazado. Por lo tanto, ayuda a determinar el límite de la zona inestable y restringir el mecanismo de rotura. (González de Vallejo et al., 2002)

#### **3.2.2.2. Meteorización**

Un parámetro importante es la descomposición física o química que genera variaciones en el suelo o rocas, mismos que producen alteraciones en los parámetros de resistencia y permeabilidad, responsables de la generación de los movimientos de masas (Suarez Días Jaime, 1998).

#### **3.2.2.3. Estratigrafía y Litología**

La estructura del material que establece un talud está vinculada con el medio de inestabilidad que puede presentarse, dependiendo de distintas litologías, grado de susceptibilidad al atravesar deslizamientos. De modo que la estabilidad de los taludes trasciende en las características físicas y resistentes que presentan los diferentes tipos de material y con la presencia de agua, determinan el comportamiento tensodeformacional (Suárez Jaime, 1998). Por otro lado (González de Vallejo et al., 2002) nos indica que la estructura geológica, estratigrafía y litología definen la intensidad de la potencia que

generan los desplazamientos de los materiales de suelo o rocosos, además de la aparición de planos de discontinuidad que cumplen el rol de superficies de rotura (González de Vallejo et al., 2002).

### **3.2.3. Factores Geométricos**

El talud está constituido de altura, pendiente, curvatura, largo y ancho, estos parámetros contribuyen a la afección de estabilidad en los taludes, además definen los niveles de esfuerzos totales y fuerzas de gravedad que generan los deslizamientos (Suarez Días Jaime, 1998). De este modo (González de Vallejo et al., 2002) indica que los factores geométricos de los taludes definen la altura e inclinación del talud, además de las propiedades como el peso de los materiales y la inclinación que ejercen estabilidad en el talud. En el caso de presentarse amenazas de riesgos por movimientos de masas, se puede modificar la geometría del terreno con medidas que contribuyan a la estabilidad de taludes como: reducir la inclinación en el talud, excluir el peso de la cabecera del talud, aumentar peso al pie del talud. Estas medidas ayudaran a lograr estabilización en los taludes (González de Vallejo et al., 2002). Finalmente (Suarez Días Jaime, 1998) describe los principales parámetros topográficos que son: pendiente, curvatura, largo- ancho, áreas de infiltración arriba del talud (Suarez Días Jaime, 1998).

#### **3.2.3.1. Pendiente**

En taludes suaves se presentan con mayor frecuencia los perfiles más profundos en comparación de los taludes con pronunciación empinada. De este modo cada formación en un estado definido de meteorización presenta un ángulo de pendiente partiendo del cual se define un talud inestable. Por consiguiente el ángulo del talud mayor a  $45^\circ$  comúnmente se encuentra en suelos residuales de origen ígneo mientras que si son menores a  $20^\circ$  están presentes en lutitas meteorizadas saturadas (Suarez Días Jaime, 1998).

#### **3.2.3.2. Curvatura**

Comúnmente se especifica como concavidad en dirección longitudinal o transversal alterando el equilibrio del material, capacidad de infiltración y erosión que se generan como consecuencia del factor velocidad del agua de escorrentía (Suárez Jaime, 1998).

### **3.2.3.3. Largo – Ancho**

La erosión superficial se presenta en el caso en el que el talud este expuesto a erosión. Mientras más largo sea el talud más abundante será el recorrido de las aguas superficiales hacia este (Suarez Días Jaime, 1998).

### **3.2.3.4. Áreas de infiltración arriba del talud**

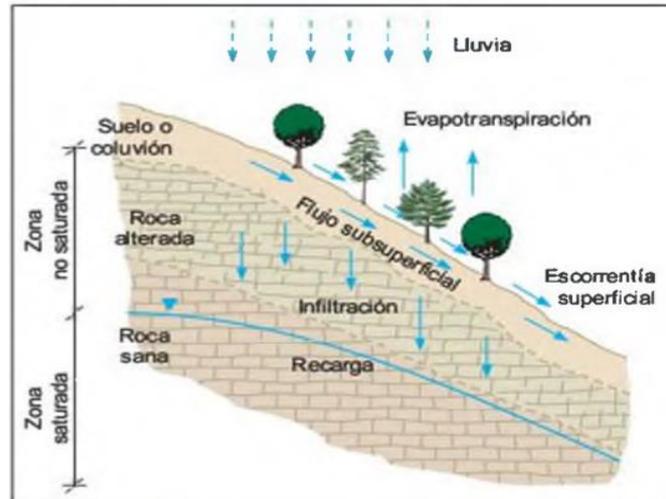
Es primordial identificar zonas de concentración de agua arriba del talud, generalmente se trata de zonas con depresiones topográficas o zonas de riego, generando afecciones en la estabilidad del talud (Suarez Días Jaime, 1998).

### **3.2.4. Factores Hidrogeológicos**

El efecto del flujo con respecto a la estabilidad de los taludes disminuye, pues influye negativamente debido a las presiones hidrodinámicas y las fuerzas de filtración presentes en la zona de flujo de agua (Juárez Eulalio & Rico Alfonso, 2012). Por otro lado (Rico Alfonso & Hermilo del Castillo, 2013) nos indica que las fuerzas de filtración se generan a causa de la carga hidráulica que representa (carga de presión más carga de posición) ocasionado por la fricción viscosa del flujo del agua. Así mismo en un medio poroso uniforme la fricción actúa sobre los granos del suelo que origina una fuerza de volumen. Por ende el resultado de la fuerza de filtración es incrementar el “momento motor” responsable del movimiento de masa deslizante alrededor del círculo de falla (Rico Alfonso & Hermilo del Castillo, 2013). Finalmente (González de Vallejo et al., 2002) nos indica que el elemento “agua” actúa de forma negativa pues determina de cierto modo la resistencia de los materiales en el talud, pues se encarga de:

- Minimizar la resistencia al corte por la presencia de presiones intersticiales y por la minimización de factores resistentes en diferentes tipos de suelo (González de Vallejo et al., 2002).
- Incrementa los esfuerzos de corte por el aumento del peso de la zona del terreno y por la creación de fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades (González de Vallejo et al., 2002).

**Ilustración 2**  
Diagrama de circulación del agua en el talud.



Fuente: (González de Vallejo et al., 2002).

Además, los parámetros hidrogeológicos se relacionan con el agua subterránea que genera afección en la estabilidad de los taludes, pues su función es relevante en el movimiento de taludes, asociados con las lluvias y la hidrología superficial. Cabe recalcar que para analizar un caso de deslizamiento según (Suárez Jaime, 1998), se toma en cuenta algunos elementos:

#### **3.2.4.1. Características de las lluvias**

La presencia de periodos lluviosos intensos genera incremento en los niveles piezómetros y la saturación baja las tensiones capilares (Suárez Jaime, 1998).

#### **3.2.4.2. Régimen de aguas subterráneas**

Los niveles de agua freática pueden cambiar al transcurrir el tiempo, alterando de cierto modo la resistencia de los materiales y el estado de esfuerzos. De modo que las zonas de recarga y descarga son fundamentales definir las, a partir de los datos del clima regional y el estudio de la zona, incorporando los antecedentes suscitados en el terreno (Suárez Jaime, 1998).

#### **3.2.5. Factores Geotécnicos**

Las propiedades mecánicas de suelos y macizos rocosos contribuyen directamente a los factores que proporcionan la estabilidad en los taludes. Cabe recalcar que las variables que contribuyen en la resistencia del talud radican en suelos residuales pues influyen en la resistencia en las superficies de discontinuidad en las masas de arcilla margosa (González de Vallejo et al., 2002). Además (Suarez Días Jaime, 1998), expone

que las propiedades que contribuyen a la estabilidad de los macizos rocosos consisten en la discontinuidad y propiedades de la matriz rocosa. Por una parte, las propiedades antes mencionadas están definidas en base de las características y composición del macizo rocoso, además de la litología de los materiales y discontinuidades. De la misma forma con respecto a los parámetros geotécnicos que son citados por (Suarez Días Jaime, 1998) están los siguientes:

#### **3.2.5.1. Resistencia al corte**

Es un parámetro de gran importancia pues genera la modelación física del deslizamiento. Para definir el factor de seguridad al deslizamiento de una zona específica, se tiene en cuenta los parámetros de ángulo de fricción y de cohesión (Suarez Días Jaime, 1998).

#### **3.2.5.2. Permeabilidad**

Por lo general determina la resistencia interna de los materiales al flujo de agua y puede establecer el régimen del agua subterránea y concentración de corrientes, comúnmente los valores del coeficiente de permeabilidad oscilan entre 100 cm/seg en suelos compuestos por arena y grava hasta  $10^{-10}$  cm/seg en arcillas impermeables (Suarez Días Jaime, 1998).

#### **3.2.5.3. Sensitividad**

Se establece como aquella relación de la resistencia de pico al corte entre una muestra intacta y una muestra alterada, por lo general en suelos arcillosos esta relación alcanza valores de 4, generando una disminución a la resistencia al momento de ser alterada la muestra (Suarez Días Jaime, 1998).

#### **3.2.5.4. Expansividad**

Comúnmente en suelos arcillosos al momento que están en contacto con el agua, expanden su volumen generando así movimientos de extensión al interior de la masa del suelo (Suarez Días Jaime, 1998).

#### **3.2.5.5. Erosionabilidad**

Se define a la habilidad con la que el suelo es desprendido como resultado de la presencia del agua, este factor incide en la estabilidad de los taludes (Suarez Días Jaime, 1998).

### **3.3. Factores que influyen en la inestabilidad de taludes y laderas**

La inestabilidad de taludes y laderas que generan los deslizamientos provocados por factores condicionante y desencadenante, ocasionan grandes pérdidas económicas, suspensión de medios de comunicación y servicios básicos. Del mismo modo se genera modificaciones geomorfológicas como son; cambio en los cursos naturales de agua, desplazamientos de talud y desprender volúmenes considerables de sedimentos (González de Vallejo et al., 2002). Además (Quiñones Harold, 2011) expone que las principales causas que definen la inestabilidad en taludes y laderas consisten en factores que se denominan condicionantes (causas naturales) y desencadenantes (acciones antrópicas) (Quiñones Harold, 2011).

#### **3.3.1. Factores Condicionantes o Pasivos**

Los factores condicionantes son también llamados factores internos, los elementos como; la litología (componentes que constituyen el tipo de suelo), la pendiente y geoformas son los que determinan a un factor condicionante. Además, en gran parte las causas naturales que predominan en la zona de estudio determinan el proceso de los deslizamientos. (Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 2020)

##### **3.3.1.1. Litología**

Cuando se habla de litología en la zona de estudio, se refiere a la estructura de los componentes del suelo que define si el suelo es susceptible o no a padecer un deslizamiento. Cabe recalcar que el área de estudio se caracteriza por presenciar cobertura cuaternaria, misma que está constituida por arcillas arenosas y arenas limosas. Finalmente se tiene en cuenta que el tipo de suelo que se caracteriza por ser de origen arcilloso es susceptible a deslizamientos, debido a la capacidad erosionable que origina el agua de escorrentía provocada por la precipitación. (Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 2020)

##### **3.3.1.2. Pendientes**

Se define a la inclinación del talud o ladera y dependiendo del ángulo de inclinación se lo denomina: terrenos llanos a inclinados levemente ( $1^\circ - 5^\circ$ ); terrenos escarpados en la base y franja media del precipicio con una inclinación ( $> 45^\circ$ ) y pendiente pronunciada en la parte alta del precipicio con una inclinación ( $25^\circ - 45^\circ$ ). (Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, 2021)

### **3.3.2. Factores Desencadenantes o activos**

#### **3.3.2.1. Precipitación**

Los factores desencadenantes denominados también factores extremos debido a la capacidad de ocasionar los deslizamientos. Cabe recalcar que la precipitación es la principal causa en la zona de estudio que originan los deslizamientos, provocando en el suelo un aumento de la presión en los poros y disminución de la resistencia tangencial. Sin embargo, las precipitaciones con intensidad originan distintos tipos de deslizamientos: las precipitaciones intensas de periodos cortos provocan fallas superficiales y las precipitaciones intensas de periodos largos provocan deslizamientos profundos o hundimientos, generalmente el suceso se da un tiempo después de las precipitaciones, pues en el suelo aumenta el nivel freático y la presión de poros. (Wagner Peter et al., 2002)

### **3.4. Factores que inciden a la clasificación de los Deslizamientos**

Los elementos que inciden en la clasificación de los deslizamientos según (González de Vallejo et al., 2002) se caracterizan por los **factores climáticos** como la humedad, escorrentía, precipitación y temperatura que contribuyen en la aceleración de movimientos de masas.

Además de la **topografía** del suelo su orientación y planos de discontinuidad teniendo en cuenta que el relieve su geomorfología y pendiente inciden directamente en la inestabilidad de los taludes (González de Vallejo et al., 2002).

Los **factores geológicos** del suelo son los más importantes pues la geometría analiza el estado y tipo de deslizamiento a ser suscitado.

### **3.5. Clasificación de Deslizamientos**

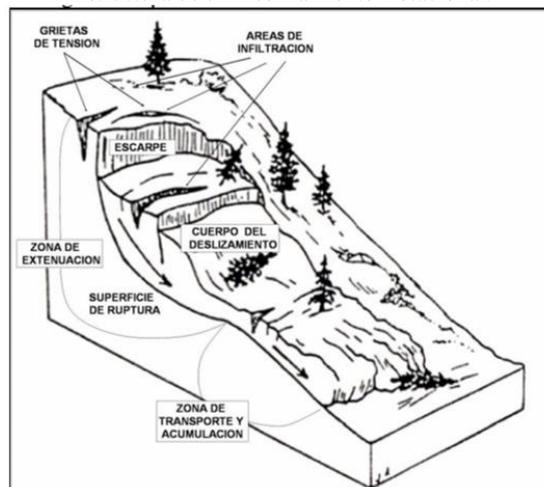
Al transcurrir el tiempo la superficie terrestre sufre modificaciones debido a los constantes cambios en las propiedades geológicas y climatológicas, originando una formación de relieves y morfología en los taludes. Por este motivo las alteraciones en factores geológicos y climatológicos la superficie terrestre se adapta a los cambios. Cabe considerar por otra parte que, para establecer un equilibrio, los taludes se acogen a pendientes naturales similares debido a la variación en las condiciones, nuevamente su morfología varia hasta alcanzar el equilibrio (González de Vallejo et al., 2002). Finalmente (Chiquín Norma, 2017) expone que la clasificación de los deslizamientos depende del tipo de material presente en la zona a ser evaluada, además las propiedades

juegan un papel importante entre las principales tenemos; capacidad de agua, velocidad y magnitud del movimiento (Chiquín Norma, 2017).

### 3.5.1. Deslizamiento Rotacional

El deslizamiento Rotacional se originan con mayor frecuencia en suelos cohesivos u homogéneo y en macizos rocosos con escasas de vegetación, además presenta una morfología que aporta a la meteorización (Corominas J. et al., 2014). Además (González de Vallejo et al., 2002) manifiesta que la rotura superficial se genera en forma de superficies curvas, una vez iniciado el suceso la masa comienza a rotar y se desliza fraccionándose entre sí generando escalones, comúnmente las dimensiones varían entre decenas y centenares de metros. Además, los deslizamientos varían entre superficiales y profundos (González de Vallejo et al., 2002). Finalmente (Chiquín Norma, 2017) se refiere a los deslizamientos rotacionales como susceptibles a reactivación y se estabilizan una vez reducido el movimiento de giro (Chiquín Norma, 2017).

**Ilustración 3**  
Estructura de un Deslizamiento Rotacional.



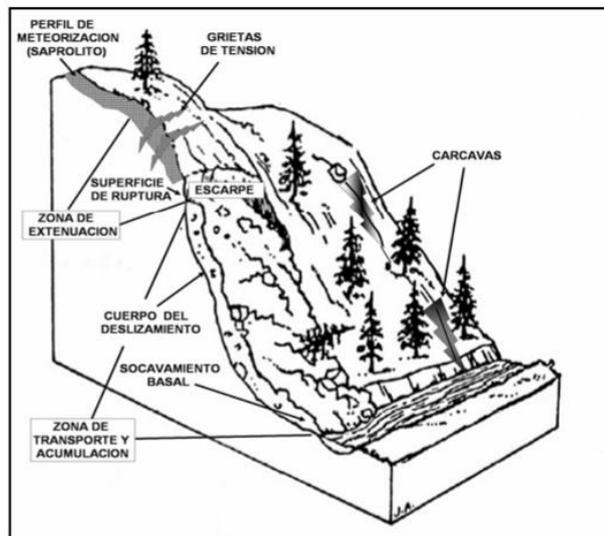
Fuente: (Roa José Gregorio, 2002).

### 3.5.2. Deslizamiento Traslacional

La rotura de los deslizamientos traslacionales se caracteriza por originarse en superficies planas con amenazas preexistentes (superficie de estratificación), por lo general los deslizamientos no son profundos, pero si extensos. Además, las masas se deslizan en forma de bloques y avanzan en trayectoria paralela. Es por ello que la diferencia existente se presenta una vez iniciada las inestabilidades los deslizamientos traslacionales que, por lo general se presentan más rápido que los deslizamientos rotacionales (González de Vallejo et al., 2002). Por una parte (Suárez Jaime, 1998) nos indica que el movimiento de traslación avanza indefinidamente a lo largo del talud

pendiente abajo. Cabe considerar, por otra parte que en ciertos deslizamientos de traslación la masa se altera o se fractura generándose un flujo (Suárez Jaime, 1998).

**Ilustración 4**  
Estructura del Deslizamiento Traslacional.



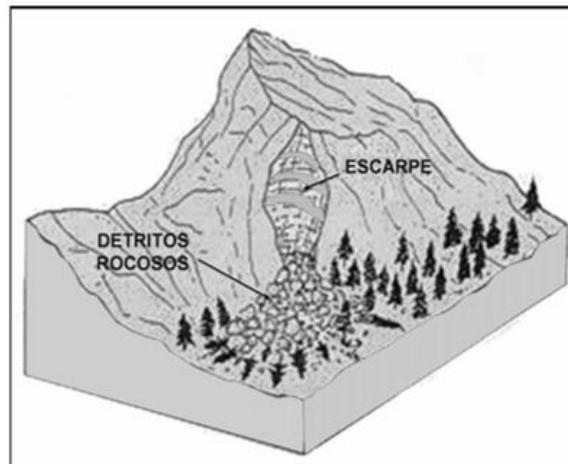
Fuente: (Roa José Gregorio, 2002).

### 3.5.3. Caída

Se definen a las caídas como desprendimiento de masas y sus movimientos son rápidos que generan caídas libres muy rápidas de masas rocosas. Además, las caídas comúnmente se generan en laderas de terrenos montañosos empinados, asimismo en paredes rocosas. Teniendo en cuenta el material rocoso que baja en caída libre, ya sea rodando o saltando su desplazamiento excesivamente rápido (Rico Alfonso & Hermilo del Castillo, 2013). Por otro lado (Suárez Jaime, 1998) indica que los movimientos del material se generan en caída libre cuando la pendiente superficial supera los  $75^\circ$ , en el caso de taludes menores a  $75^\circ$  los materiales rebotan, mientras que en taludes menores a  $45^\circ$  los materiales tienden a rodar (Suárez Jaime, 1998). Finalmente (González de Vallejo et al., 2002) nos indica que los elementos responsables que originan las caídas son: la erosión, ausencia de vegetación que contribuye al sostén de los bloques sueltos, presencia de agua de escorrentía en las masas rocosas y eventos sísmicos (González de Vallejo et al., 2002).

### Ilustración 5

Estructura de la caída / volcamiento (derrumbe).



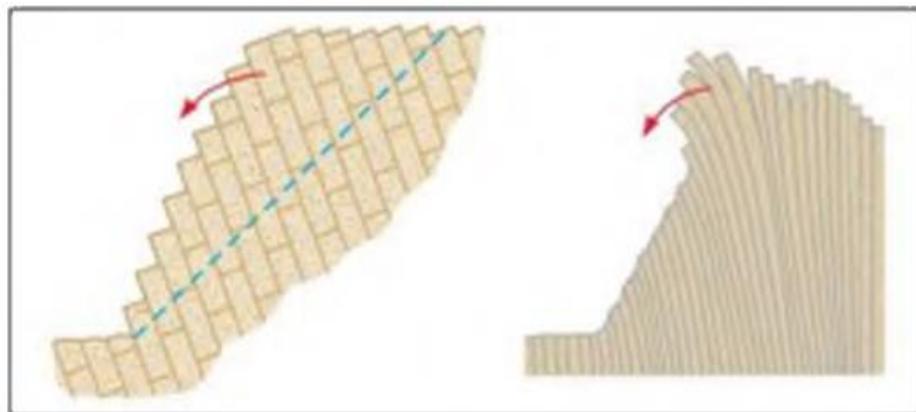
Fuente: (Roa José Gregorio, 2002).

### 3.5.4. Volcamiento

Se origina en taludes de macizos rocosos que manifiesta buzamiento en sentido contrario al talud, debido a la rotura de la zona base del talud. Además, las roturas incluyen un movimiento de rotación de los macizos rocosos. (González de Vallejo et al., 2002)

### Ilustración 6

Estructura de un Volcamiento en los taludes.



Fuente: (González de Vallejo et al., 2002).

### 3.5.5. Flujo de tierra

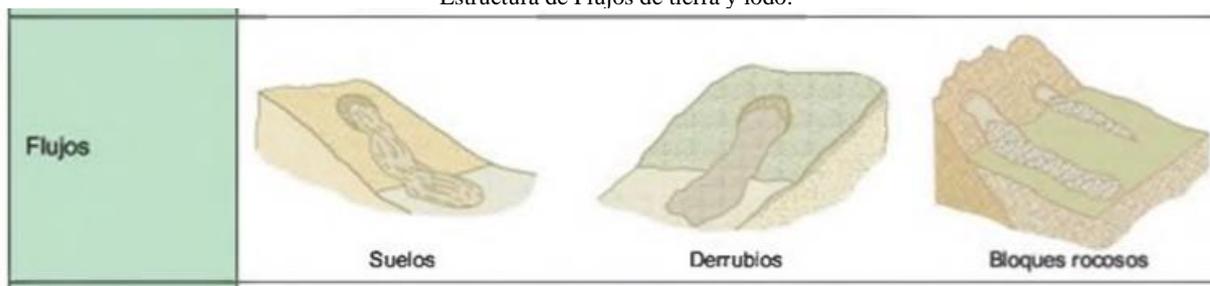
Se determina al tipo de movimiento en masa que en el transcurso del desplazamiento presenta un funcionamiento similar al de un fluido y sus diferentes caracteres varían entre (rápido / lento) o (saturado / seco) dependiendo de las condiciones que se presentan en el suelo (Varnes DJ., 1984). Además (González de Vallejo et al.,

2002) expone que el flujo de tierra se presenta en desplazamientos de materiales que cumplan las propiedades finas y homogéneas. De tal modo que adquieren una velocidad de metros por segundo mientras que la pérdida de resistencia se debe al grado de saturación de agua (González de Vallejo et al., 2002). Por su parte (Suárez Jaime, 1998) nos indica que en zonas altas y desérticas del talud se presentan flujos muy secos a grandes velocidades (Suárez Jaime, 1998).

### 3.5.6. Flujo de lodo

En los flujos de lodo comúnmente los desplazamientos se producen pequeñas magnitudes que presentan condiciones de saturación. Además los flujos son extensos y rápidos, en ocasiones llegan a sectores poblados generando situaciones catastróficas relacionadas con las pérdidas económicas, pérdidas de bienes, sistemas de comunicación averiados y en el peor de los casos pérdidas humanas (Varnes DJ., 1984). Por su parte (González de Vallejo et al., 2002) indica que las propiedades físicas y geomecánicas que poseen los materiales finos volcánicos son propensos a este tipo de flujo (González de Vallejo et al., 2002). Así mismo (Suárez Jaime, 1998) expone que el origen del flujo de lodo procede de una serie de escarpes de falla o deslizamientos de tipo rotacional o traslacional (Suárez Jaime, 1998).

**Ilustración 7**  
Estructura de Flujos de tierra y lodo.



Fuente: (González de Vallejo et al., 2002).

### 3.5.7. Reptación

La reptación se define aquellos movimientos paulatinos en el suelo, por lo general no suelen diferenciar una superficie de falla. Por otro lado, el tipo de reptación es estacional en el momento en que se vincula a la variabilidad climática. En todo caso una reptación verdadera se presenta cuando existe un desplazamiento parcialmente constante en el tiempo (Sevillano Gustavo et al., 2012). Además (Suárez Jaime, 1998) expone que las reptaciones pueden anticipar movimientos de masas rápidos o deslizamientos (Suárez Jaime, 1998).

### **3.6. Índices de Vegetación**

La vegetación presenta diversos estados fenológicos a lo largo de la vida, lo que significa numerosos comportamientos y respuestas al espectro electromagnético. En todo caso, el desarrollo de plantas con hojas sanas disminuye la energía reflejada en la porción del infrarrojo cercano (IRc), por otro lado, la maduración y senescencia de la planta incrementa la reflexión en la longitud del rojo a través de procesos de dispersión (reflexión y transmisión), ya que la clorofila presenta menor absorción (Beltrán Camila, 2019).

De este modo para estudiar la cobertura vegetal e independizarla de los factores que distorsionan su observación, se han desarrollado los denominados índices de vegetación. Además, estos índices tratan de aislar el componente vegetal de la respuesta del suelo y del agua. En todo caso los índices de vegetación son favorables para el análisis de la fenología y las alteraciones de la cobertura vegetal al recoger la señal fotosintéticamente activa, los valores de área foliar, las características estructurales de las plantas y el contenido de clorofila, lo que permite comparaciones consistentes de la variabilidad espacial y temporal de la vegetación. Finalmente los índices de vegetación son importantes para identificar escarpes de deslizamientos y corrientes de derrubios en zonas con una densa cobertura de vegetación (Beltrán Camila, 2019).

#### **3.6.1. Cálculo de los índices de vegetación**

Los índices de vegetación juegan un papel importante y eficaz para extraer las trazas de los movimientos en masa. Cabe recalcar que el índice EVI, el SAVI y la pendiente son suficientes para extraer de manera automática las trazas de los procesos de movimientos en masa. De esta manera los índices de vegetación se calculan por medio de la herramienta “Ráster Calculator”, en donde se agregan las bandas espectrales ingresando la fórmula de cada uno de los índices, y así se obtiene una capa ráster donde cada uno de los píxeles posee un valor, es decir, en el caso del SAVI adquieren valores de -1 a 1 y en el EVI valores de 0 a 1, este proceso se realiza para cada una de las 4 imágenes satelitales a ser procesadas (Beltrán Camila, 2019).

#### **3.6.2. Índice de vegetación normalizado (SAVI)**

Se basa en la reflectancia, la cual es la relación de energía que es reflejada por un objeto y la que incide directamente en el objeto. Al mismo tiempo los valores del SAVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. Además la respuesta espectral que tiene la vegetación sana,

muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el Infrarrojo Cercano (NIR), es uno de los índices más utilizados para indicar la cantidad de vegetación verde presente en un píxel, los valores más altos de SAVI indican más vegetación verde en una sola imagen que representa la distribución de la vegetación (Beltrán Camila, 2019).

**Ecuación 1**

Fórmula para el cálculo Índice de vegetación normalizado (SAVI)

$$\text{SAVI} = (\text{NIR}-\text{RED}) / (\text{NIR}+\text{RED})$$

Fuente: (Beltrán Camila, 2019).

Donde NIR es la reflectancia espectral del canal infrarrojo cercano y RED representa la reflectancia en el canal rojo del visible. Sin embargo esta fórmula indica que existe una relación inversa entre el valor de reflectancia de estas bandas, por lo que es posible su uso para discriminación de cubiertas vegetales (Beltrán Camila, 2019).

**3.6.3. Índice del suelo (EVI)**

Es también llamado patrón de “tapa de espiga”, que incluye la reflectividad del fondo del suelo y la línea de brillo, logrando un mejor contraste entre el límite del suelo y su cobertura vegetal, el cual ignora la interacción y los efectos de la atmósfera, el suelo y la vegetación, siendo útil para evaluar el comportamiento de la vegetación y el suelo desnudo (Beltrán Camila, 2019). Por otro lado (U.S. Geological Survey, 2019) nos indica que el Índice del suelo (EVI) es aplicado también para cuantificar el verdor de la vegetación, en la formula se incluye un valor “L” con el fin de ajustar el fondo del toldo, la constante “C” se refiere al coeficiente de resistencia atmosférica, la constante “B” corresponde a la banda azul, la finalidad del cálculo es minimizar el ruido de fondo, ruido atmosférico (U.S. Geological Survey, 2019).

**Ecuación 2**

Fórmula para el Índice del suelo (EVI)

$$\text{EVI} = G * ((\text{NIR}-\text{R}) / ((\text{NIR}+\text{C1} * \text{R}-\text{C2} * \text{B})+\text{L}))$$

Fuente: (U.S. Geological Survey, 2019).

$$\text{EVI (Landsat 8)} = 2.5 * ((\text{B5}-\text{B4}) / ((\text{B5}+6 * \text{B4}-7.5 * \text{B2})+1))$$

Fuente: (U.S. Geological Survey, 2019).

### **3.7. MDT y Orientaciones**

Los Modelos Digitales del Terreno (MDT) se han definido “como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio. Con respecto a los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son productos geomáticos esenciales en el estudio, manejo y administración del territorio, su uso, así como la disponibilidad de datos de alta resolución, ha ido en crecimiento sostenido en las últimas décadas, permitiendo diversos y variados análisis, cuyos resultados permiten cualificar y cuantificar las características propias del terreno (Mena Carlos et al., 2011). Cabe recalcar que los Modelos Digitales del Terreno (MDT) presentan algunas ventajas sobre el resto de los modelos derivados de su naturaleza numérica: no ambigüedad, posibilidad de modelización de procesos con una deducción estricta, verificabilidad y repetitividad de los resultados (Contreras Félix & Odriozola Mariana, 2016).

### **3.8. Tipos de validación de datos**

Cabe mencionar que la validación en campo es fundamental, pues se debe realizar la comparación de los resultados obtenidos y verificar la realidad en campo. Mientras que para evaluar la validación de los métodos de clasificación de imágenes se recomienda utilizar el coeficiente Kappa, teniendo en cuenta que para la validación se utiliza información sobre la “condición actual” de la zona de estudio a ser investigada, la información se adquiere de 2 tipos de fuentes: datos de referencia o validación en campo. Por lo general los datos de referencia, son obtenidos de la aplicación de Google Earth, mientras que la validación de campo consiste en visitar la zona de estudio y verificar el estado actual de la zona, el tipo de suelo y diferentes condiciones que se relacionan a la problemática sustentada (Farias Bettys et al., 2018).

#### **3.8.1. Método del Índice Kappa**

El índice Kappa es denominado con la variable “k”, teniendo en cuenta que Cohen fue creador del método del índice kappa, esta metodología es definida por considerar dos observadores como una alternativa para evaluar una prueba, la finalidad es evaluar la concordancia entre 2 o más observadores, proyectando a la confiabilidad del proyecto a estudiar. Los límites del coeficiente kappa están constituidos de valores que varían de (-1 hasta +1) que se interpreta de la siguiente manera, cuando es -1 el grado de discordia será mayor, en el caso de ser +1 las frecuencias marginales son iguales, todas las celdas equivalentes al valor de 0, en caso de no ser similares el valor será -1 (Gómez Bermeo Pablo, 2017).

### **3.9. Sistemas de Información Geográfica**

La aplicación de los sistemas de Información Geográfica son sumamente importantes pues contribuye al análisis de susceptibilidad a deslizamientos de masas, para realizar el análisis mediante los sistemas de información geográfica es necesario el uso de algunas aplicaciones descritas a continuación (*Vahos Sabina, 2022*).

#### **3.9.1. ArcGIS**

Un sistema de información geográfica (SIG) se define como un conjunto de elementos de software que nos permite disponer de datos geográficos y analizarlos para posterior ser interpretados de manera georreferencial, también se conoce como una base de datos espacial. Cabe recalcar que ArcGIS es la agrupación de elementos que permite: capturar, editar, analizar, diseñar y publicar la información geográfica, la aplicación consta de 3 principales elementos: ArcMap, ArcCatalog y ArcTools (*Vahos Sabina, 2022*).

#### **3.9.2. Aplicación: Programación con Python**

La herramienta Python consiste en el uso de comandos, los mismos que facilitan el acceso a herramientas de geoprocésamiento que contribuyen al funcionamiento de las distintas funciones que tiene el SIG (Calle Edwin, 2019).

#### **3.9.3. QGIS**

El software QGIS es una aplicación libre, gratuita y de código libre, cabe recalcar que la plataforma es accesible a los sistemas operativos y soporta formatos y funcionalidades de datos vector, ráster y base de datos. Además, el software cumple con los objetivos: visualizar datos, captura y análisis en base al uso de formatos ráster y vectorial (*Vahos Sabina, 2022*).

### **3.10. Plan de Emergencias y Contingencias**

#### **3.10.1. Consecuencias del Desastre Natural (Análisis de Riesgos)**

Los movimientos de masa son ocasionados por diferentes factores que influyen directamente la cobertura vegetal tales como; exceso de lluvia, técnicas erróneas de excavaciones, sismos, deterioro total o parcial de sistemas de tubería. Por consiguiente un deslizamiento genera consecuencias irreparables según sea su magnitud, entre las principales tenemos (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023):

- Personas (afectadas - desaparecidas)
- Viviendas (afectadas - destruidas)

- Bienes públicos (red de alumbrado público, vías) (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023)

### **3.10.2. Medidas de Contingencias**

Ocurrido el Desastre natural se procederá a enviar ayuda a unidades de Gestión de Riesgos cercanas a la zona afectada. Priorizando el bienestar común se procederá a cerrar el acceso de vehículos y personas a la zona afectada se recomienda delimitar y señalizar el lugar (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023).

Debido a lo cual se define la probabilidad de movimientos de masas adicionales de la zona cero, por lo que se recomienda evacuar la zona aledaña al lugar. Además, se debe designar a los diferentes cuerpos de ayuda las labores de búsqueda según sea el cronograma de actividades (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023).

Finalmente, cabe recalcar que las medidas de prevención y contingencias son importantes porque permiten salvaguardar el espacio el entorno social y ambiental para ello se hace uso de diferentes actividades en pro del ambiente que son (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023):

1. Recirculación del agua
2. Reforestación de vegetación arbórea con especies nativas
3. Cuidado de las fuentes hídricas
4. Agricultura Urbana (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023).

### **3.11. Tipos de Deslizamientos en Ecuador**

Ecuador es un país que enfrenta fenómenos naturales como es el fenómeno del Niño y la Niña, además de tener presente las propiedades de ubicación geográfica, condiciones climáticas y los factores geológicos y tectónicos, estos parámetros generan fenómenos catastróficos de origen hidro- meteorológico (inundaciones o sequías) y fenómenos geológicos (erupciones volcánicas, terremotos y deslizamientos). Por otra parte, la actividad humana (deforestación, avance de la frontera agrícola, minería, etc.) por lo general ocasiona un gran impacto al generarse los fenómenos naturales. En cuanto al análisis de la inestabilidad en los taludes que definen el tipo de deslizamiento que se genera en diferentes escenarios de las zonas de estudio, teniendo en cuenta las variables de tipo geológico (litología, hidrología y estructura), geomorfológico (pendientes, relieve), climático (intensidad y volumen de lluvias) (Ojeda María Fernanda, 2014).

### **3.11.1. Casos de Deslizamientos en Ecuador**

En los últimos años se han generado deslizamientos históricos de gran magnitud, que han ocasionado pérdidas en aspectos: económicos, de infraestructura, sanitarios, entre otros. Cabe considerar que Ecuador se caracteriza por presentar fallas geológicas y zonas susceptibles a deslizamientos, a continuación, se describen algunos casos de deslizamientos ocurridos en Ecuador.

#### **Deslizamiento de la Josefina**

Deslizamiento del cerro Tamuga (la Josefina) suscitado el 29 de marzo del año 1993, en donde se compromete un volumen aproximado de 200 millones de m<sup>3</sup> de tierra, el río Cuenca y el río Jadan son taponados debido a los aluviones de grandes proporciones, lo que produce un embalsamiento de sus aguas lo que ocasiona el deslizamiento del cerro Tamuga. Por lo tanto, las pérdidas económicas y humanas son altas pues se trata de un deslizamiento de gran magnitud, aproximadamente 150 personas (desaparecidas – muertas) y 7000 damnificados. Por otra parte, el deslizamiento es de tipo rotacional, el desplazamiento de la masa es material de origen pétreo y las causas del suceso corresponde al tiempo invernal prolongado días antes del suceso (Zeas Domínguez Rodrigo, 2013).

#### **Deslizamiento de tierra en Alausí**

El hecho suscitado el 26 de marzo del año 2023 un deslizamiento de gran dimensión, pues el material se trasladó desde la zona alta del cerro Casual hasta el colegio González Suárez con un total de 214 hectáreas afectadas que incluye al sector: Causal y barrios: la Esperanza, Control Norte, Nueva Alausí, Pircapamba y Bua del cantón Alausí, provincia de Chimborazo. Además, se debe recalcar los daños ocasionados en la infraestructura vial, sanitaria, sistema de agua e iluminación. Con respecto a las causas que origino el deslizamiento fueron muchas entre las principales tenemos: un periodo de invierno prolongado, deforestación, pérdida de cobertura vegetal y prácticas agrícolas no sustentables, cabe recalcar que según los estudios realizados, analizaron la principal causa que fue el socavamiento de la montaña hace 40 años y posterior la construcción de la carretera Panamericana teniendo en cuenta que la zona es inestable (Secretaría de gestión de Riesgos, 2023).

#### **Deslizamiento en Marianza perteneciente de la parroquia Sayausí**

El hecho sucedió en horas de la tarde del domingo 27 de marzo del 2022, las intensas y prolongadas precipitaciones en los barrios de Gulag y Marianza pertenecientes a la parroquia Sayausí del cantón Cuenca, lo que ocasionó varios deslizamientos y un

aluvión que afecta directamente a la vía Cuenca – Molleturo en el tramo (9 al 14km). Cabe considerar, por otra que esta tragedia trae como consecuencias: 209 personas afectadas, 27 viviendas afectadas, afección del servicio de agua potable en un 40% de la población cuencana, 4 personas fallecidas, tramo de la vía Cuenca – Molleturo inhabilitado (9-14km). Por lo tanto las causas que generaron este suceso corresponden a las lluvias intensas y prolongadas, desviación del cauce natural de la quebrada para fines de actividades pecuarias (SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS, 2022).

### **3.12. Deslizamientos históricos en Santa Isabel**

#### **3.12.1. Emergencia en la Cría – Santa Isabel**

El 3 de agosto del 2022 se produce el deslizamiento debido a diferentes factores que contribuyeron al suceso, como el mal manejo en los reservorios de agua, pues no cuentan con geomembrana y son contruidos de manera antitécnica, falta de mantenimiento de los canales de riego, taponamiento de las quebradas, deforestación, cabe recalcar que la zona es inestable y que hace 20 años han tenido problemas de deslizamiento. Por otro lado (Jiménez Cuenca, 2023) nos indica que el tipo de deslizamiento es rotacional y se encuentra en riesgo la comunidad de la Cría perteneciente al cantón Santa Isabel además del río León, mismo que es afluente del Río Jubones y la hidroeléctrica Minas San Francisco, en caso de originarse un macro deslizamiento las consecuencias serían catastróficas pues se taponaría el Río León afectando directamente la hidroeléctrica Minas San Francisco (Jiménez Cuenca, 2023). Cabe considerar, por otra parte que (Dirección de Monitoreo de Amenazas y Eventos Peligrosos., 2023) indica que 06 de abril del 2023 la Secretaria de Gestión de Riesgos declara a la zona de la Cría ALERTA NARANJA, por lo tanto 38 familias han sido evacuadas, 4 bienes afectados, 82 familias afectadas, 8 viviendas destruidas (Dirección de Monitoreo de Amenazas y Eventos Peligrosos., 2023).

#### **3.12.2. Puente Loma**

La zona definida en Puente loma se caracteriza por ser una zona de alto riesgo en cuanto a la presencia de deslizamiento y fenómenos relacionados a la remoción de masas, pues las características geológicas (suelo volcánico antiguo, cuencas sedimentarias del mio-plioceno, antiguos derrumbes y presencia de arcilla) condiciones hidrometeorológicas (lluvias frecuentes y prolongadas) y problemas socio – ambientales (deforestación, mal uso de suelo, mal uso de agua) el deslizamiento de tipo traslacional

fue el que se presentó en Puente loma (SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS., 2012).

### **3.12.3. Sector El Ramal**

El sector de El Ramal ubicado en la vía Cuenca Girón Pasaje, presentó un macro deslizamiento en el sector de la zona (km 66), los moradores comentan que hace 2 años se presentó una falla en el tramo vial y con el pasar del tiempo la situación se agravó hasta suscitarse el macro deslizamiento que dejó: daños en el tramo vial, 1 vivienda afectada y 20 personas que pertenecen las 6 familias evacuadas (Pérez Bolívar, 2023).

### **3.13. Programación con Teledetección**

Se define a la teledetección como aquella facultad de obtener información de una zona de estudio con el uso de sensores, mismo que son procesados e interpretados para obtener información sobre sus características. Existen dos tipos de teledetección: pasiva y activa (Fonseca David, 2020). Por otro lado (Reyna Lizardo, 2017) señala que los sensores satelitales multiespectrales son utilizados en el caso de la teledetección pasiva, debido a que captan la energía proyectada por componentes de la superficie terrestre (nubosidad) los Satélites Landsat emplean sensores pasivos. Teniendo en cuenta que las imágenes satelitales en la actualidad son utilizadas como el principal material para la programación con teledetección (Reyna Lizardo, 2017).

Cabe recalcar que la teledetección ejerce un papel importante en el análisis de susceptibilidad a deslizamientos de cierto modo contribuye a definir los factores de inestabilidad, además de analizar los componentes de la zona de estudio como la litología, pendientes, geomorfología, entre otros componentes en base a la obtención de imágenes de teledetección. (Hervás Javier et al., 2002)

#### **3.13.1. Landsat 8**

Landsat es un programa estadounidense que consiste en la composición entre la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que brinda el servicio de catalogo que corresponde a observaciones de la tierra a nivel global (Instituto Geográfico Nacional, 2019). Por otro lado (EOS Data Analytics, Inc., 2024) nos menciona que el satélite Landsat consta de dos sensores OLI y TIRS, la fecha que fue lanzado al espacio fue el 11 de febrero del 2013, con el uso del sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) la resolución espacial de las imágenes es adquirida a 100m, teniendo en cuenta que su característica principal es generar los caracteres de temperatura de la superficie y analizar el proceso de transferencia de calor y humedad del suelo. Mientras que, con el uso del

sensor OLI (Operational Land Imager) la resolución espacial de las imágenes es adquirida a 30m (EOS Data Analytics, Inc., 2024).

Además, cabe recalcar que el sensor TIRS se caracteriza por realizar observación en dos combinaciones de 8 bandas de longitud de onda infrarroja, los dos sensores generan fotografías en modo de barrido obteniendo una disminución en la distorsión radiométrica, en relación al barrido transversal (Honra Durán, 2021).

**Ilustración 8**  
Representación del satélite Landsat 8.



Fuente: (NASA, 2019).

### 3.13.2. Bandas espectrales de Landsat 8

Las imágenes Landsat 8 están diseñadas con el objetivo de capturar la superficie terrestre que consta de 11 bandas espectrales, por lo general las imágenes Landsat 8 se adquieren del sensor (OLI) y (TIRS) (Honra Durán, 2021).

**Tabla 1**  
Especificaciones técnicas de las bandas espectrales del Satélite Landsat 8.

Sensor	Numero de Banda	Longitud de onda central ( $\mu\text{m}$ )	Resolución espacial (m)	Aplicaciones de Bandas
OLI	Banda 1 - costera	0.43-0.45	30	Estudios costeros y de aerosoles.
OLI	Banda 2 - azul	0.45-0.51	30	Cartografía batimétrica, distingue el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de la vegetación de coníferas.
OLI	Banda 3 – verde	0.53-0.51	30	Recalcan los picos de máxima vegetación, útiles para analizar el vigor de las plantas.

OLI	Banda 4 – rojo	0.63-0.67	30	Destaca las laderas de vegetación
OLI	Banda 5 – Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85-0.88	30	Diferencia el contenido de biomasa y las costas.
OLI	Banda 6 – Infrarrojo de Onda corta 1 (SWIR 2)	1.57-1.65	30	Distingue la humedad del suelo, vegetación penetra a través de nubes finas.
OLI	Banda 7 – Infrarrojo de Onda corta 2 (SWIR 2)	2.11-2.29	30	Mejora la lectura de humedad del suelo, vegetación penetra a través de nubes finas
OLI	Banda 8 – Pancromática	0.50-0.68	15	Resolución de 15 metros, definición de imagen mucho más nítida.
OLI	Banda 9 – Cirros	1.36-1.38	30	Mejor detección de la contaminación en cirros
TIRS	Banda 10 – Sensor Térmico 1 (TIRS 1)	10.60-11.19	30(100)	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo.
TIRS	Banda 11 – Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS 2)	11.50-12.51	30(100)	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo

Fuente: (Honra Durán, 2021).

### 3.13.3. Corrección Atmosférica de Imágenes Satelitales

Las Imágenes satelitales por lo general presentan efectos atmosféricos que no permiten obtener la información correcta, generando errores en la evaluación de variables biofísicas procedentes de datos espectrales. Además se debe recalcar que la atmosfera presenta gases que impiden la visualización de las imágenes, como son: el vapor de agua, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, del mismo modo los aerosoles que están suspendidos en la atmosfera se distribuye la luz en longitudes de onda (Palacios Luis et al., 2018). Por otro lado (Mogro Cepeda et al., 2022) nos indica que las imágenes satelitales comúnmente son obtenidas del portal web Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), debido a que cuenta con una abundante base de datos de imágenes adquiridas de satélites con registros del tiempo actual (Mogro Cepeda et al., 2022).

Además los parámetros que deben ser corregidos en las imágenes satelitales corresponden a: condiciones atmosféricas locales, variaciones estacionales y geométricas, nubosidad, lluvia (Ortiz José, 2019). Sin embargo (Aguilar Heileen et al., 2014) señala que el objetivo de la corrección atmosférica es minimizar o eliminar el efecto de los

parámetros que originan distorsiones en las imágenes como resultado de la conexión entre la atmosfera y el sensor (Aguilar Heileen et al., 2014).

Además las correcciones atmosféricas mediante el uso del software QGIS consiste en utilizar una caja de herramientas denominada: Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), que contiene herramientas para el uso de varios satélites, y así obtener las imágenes corregidas de factores atmosféricos que de cierto modo disminuyen la visibilidad y calidad de la imagen satelital a ser evaluada (Ortiz José, 2019).

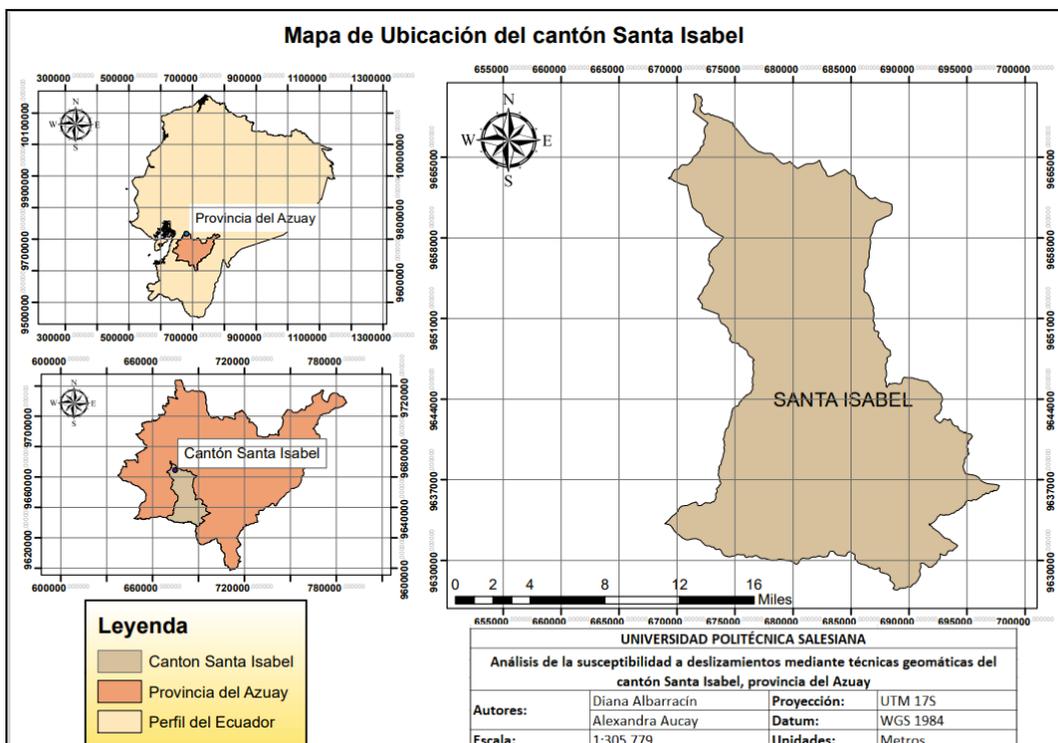
## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Delimitación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el Cantón Santa Isabel, Provincia del Azuay, con un área 771.42 km<sup>2</sup>, la misma que está de 700 a 4125msnm, sus limitaciones: al Norte el Cantón Cuenca, al Sur con Zaruma, Saraguro y Nabón, al Este con San Fernando, Girón y Nabón y al Oeste con Pucara y Balao.

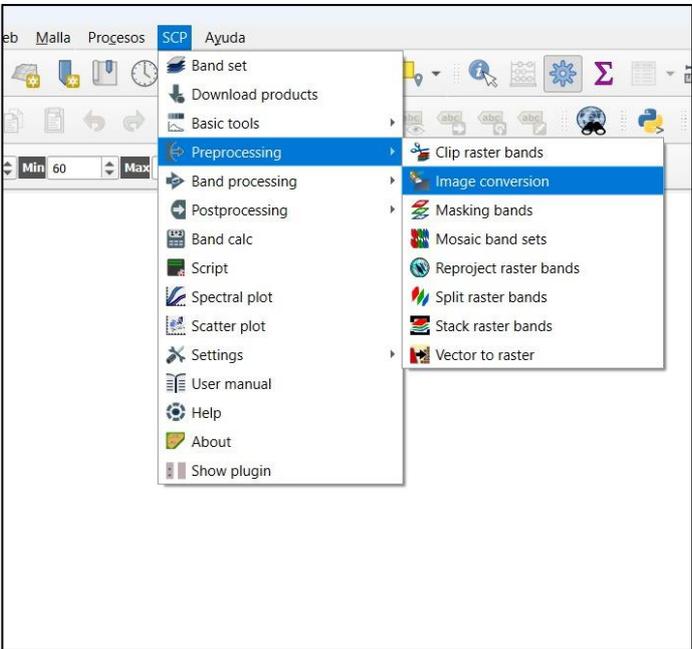
Esta extensión de territorio se constituye de las siguientes parroquias: Santa Isabel, Abdón calderón, San Salvador de Cañaribamba y San Pablo de Shaglli. Además, en términos hidrológicos, se encuentra en la cuenca alta y medio del Río Jubones. La zona de estudio se identificó mediante información satelital del Instituto Geográfico Militar.

**Ilustración 9**  
Mapa de Ubicación del cantón Santa Isabel



## 4.2. Adquisición y procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos, se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8, las mismas que se obtuvieron mediante la plataforma EarthExplorer. En la selección de las imágenes satelitales, se tomó en cuenta que la información satelital tenga bajo contenido de nubosidad. Los años seleccionados fueron del 2017, 2019, 2020 y 2021. Antes de procesarlas, fue necesario corregir los errores espectrales de tipo atmosférico, mediante la herramienta (SCP) “Semi-Automatic Classification Plugin” del software QGIS 3.28.12, permitiendo la corrección de tipo atmosférico y topográfico.

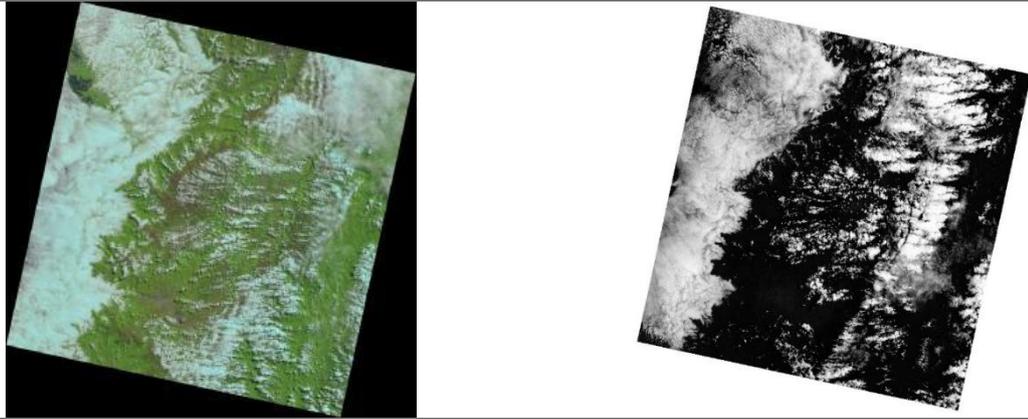
Adquisición de imágenes satelitales	Corrección de imágenes satelitales
<p data-bbox="279 815 627 869"><b>Ilustración 10</b> Adquisición de imágenes satelitales</p> 	<p data-bbox="975 815 1313 869"><b>Ilustración 11</b> Corrección de imágenes satelitales</p> 

Mediante la corrección de la información satelital, se logró mejorar la resolución de las imágenes de satélite, lo cual permitió recuperar información distorsionada por las

nubes. Este proceso fue fundamental, para recuperar diversas zonas de vegetación, masas de agua, zonas potencialmente erosionadas y zonas construidas, en base a la intensidad, contraste y brillo espectral, que poseen las imágenes satelitales. A continuación, se muestran las correcciones de satélite.

**Tabla 2**  
Imágenes Satelitales

Año	Imagen no corregida	Imagen corregida
<b>2017</b>		
<b>2019</b>		
<b>2020</b>		



### 4.3. Determinación de las Pendientes e Índices Espectrales

Para este apartado, se calcularon los índices de vegetación (EVI y SAVI) mediante las ecuaciones 1 y 2, en cambio las pendientes se calcularon en base a las curvas de nivel y modelo digital de terreno. Los datos resultantes se volvieron a clasificar según la "Tabla 3", identificando las zonas de vegetación y las áreas potencialmente erosionadas.

**Tabla 3**  
Reclasificación de Índices de Vegetación y Pendiente

SAVI	EVI	PENDIENTE
-1 a 0,15= Cuerpos de agua, zonas construidas y nubes.	-1 a 0,2= Suelos desnudos.	0° = Zonas horizontales y planas.
0,15 a 0,45= Procesos de movimientos de masas.	0,2 a 0,8= Cuerpos de agua y zonas de vegetación.	1 a 14°= Zonas de pendiente ligera.
0,45 a 0,75= Vegetación poco densa.	0,8 a 1= Nubes	>15°= Zonas inclinadas (Procesos de movimientos en masa)
0,75 a 1= Vegetación activa.		

Fuente: (Beltrán Rincón, 2019).

### 4.4. Índices de Vegetación de Diferencia Normalizado e Índices de Brillantez del SUELO

Los valores del SAVI se calcularon mediante la herramienta "Raster Calculator" del software ARCGISS 10.6. Este apartado generó información de tipo ráster con valores de -1 a 1, en donde a los valores cercanos a -1, se les asignó la descripción de erosión

avanzada y reducción de zonas de vegetación, en cambio a los valores cercanos a 1, se les asignó la descripción de vegetación vigorosa, especialmente de tipo arbustivo. Seguidamente, una vez que se obtuvieron esos valores, se reclasificaron según la "**Tabla 3**" utilizando la herramienta "Reclasificar". Finalmente, se generaron los mapas cartográficos del SAVI (**Ver ilustraciones 12, 13, 14,15**).

Ilustración 12

Mapa de los Índices SAVI y EVI del año 2017

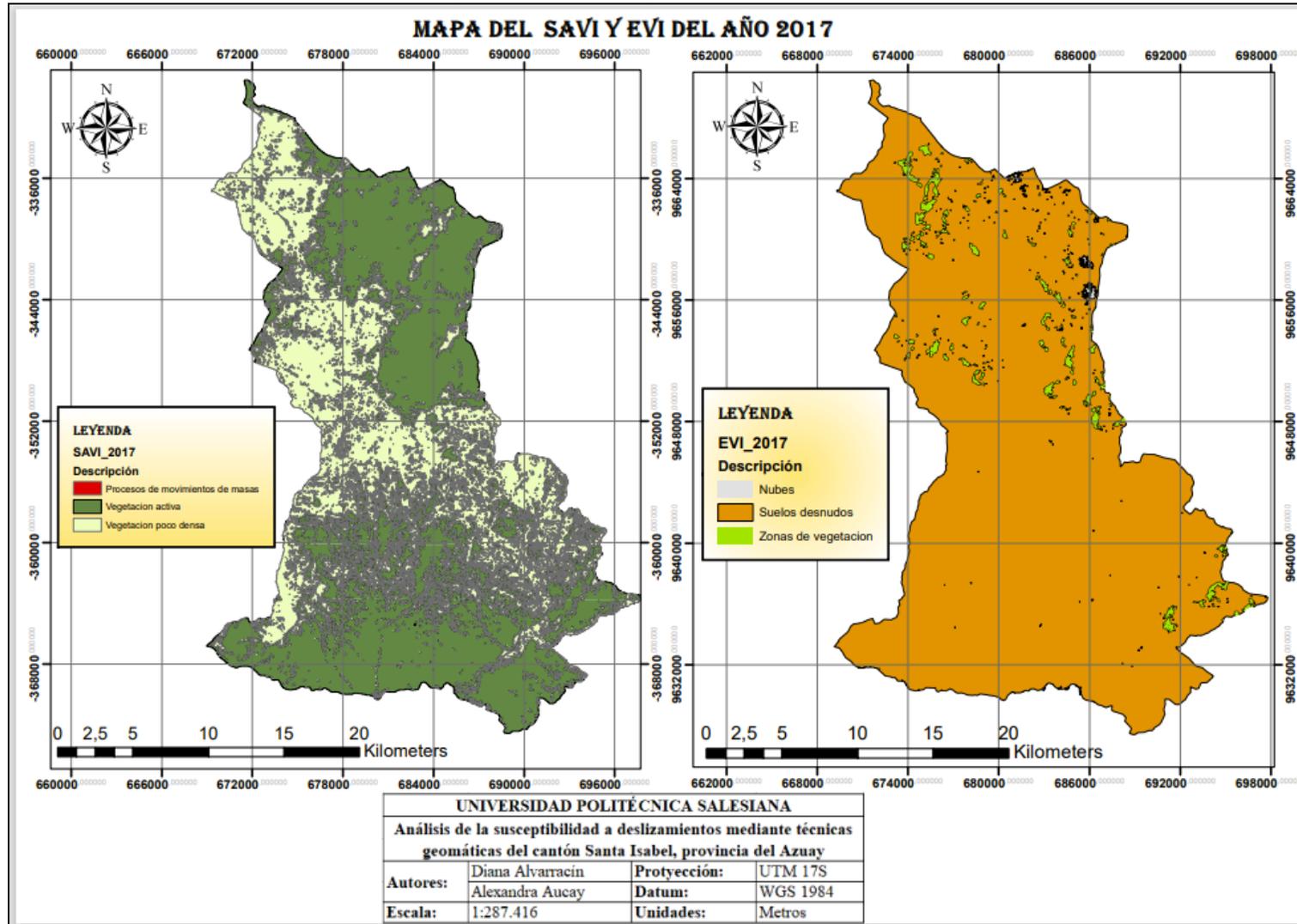


Ilustración 13

Mapa de los Índices SAVI y EVI del año 2019

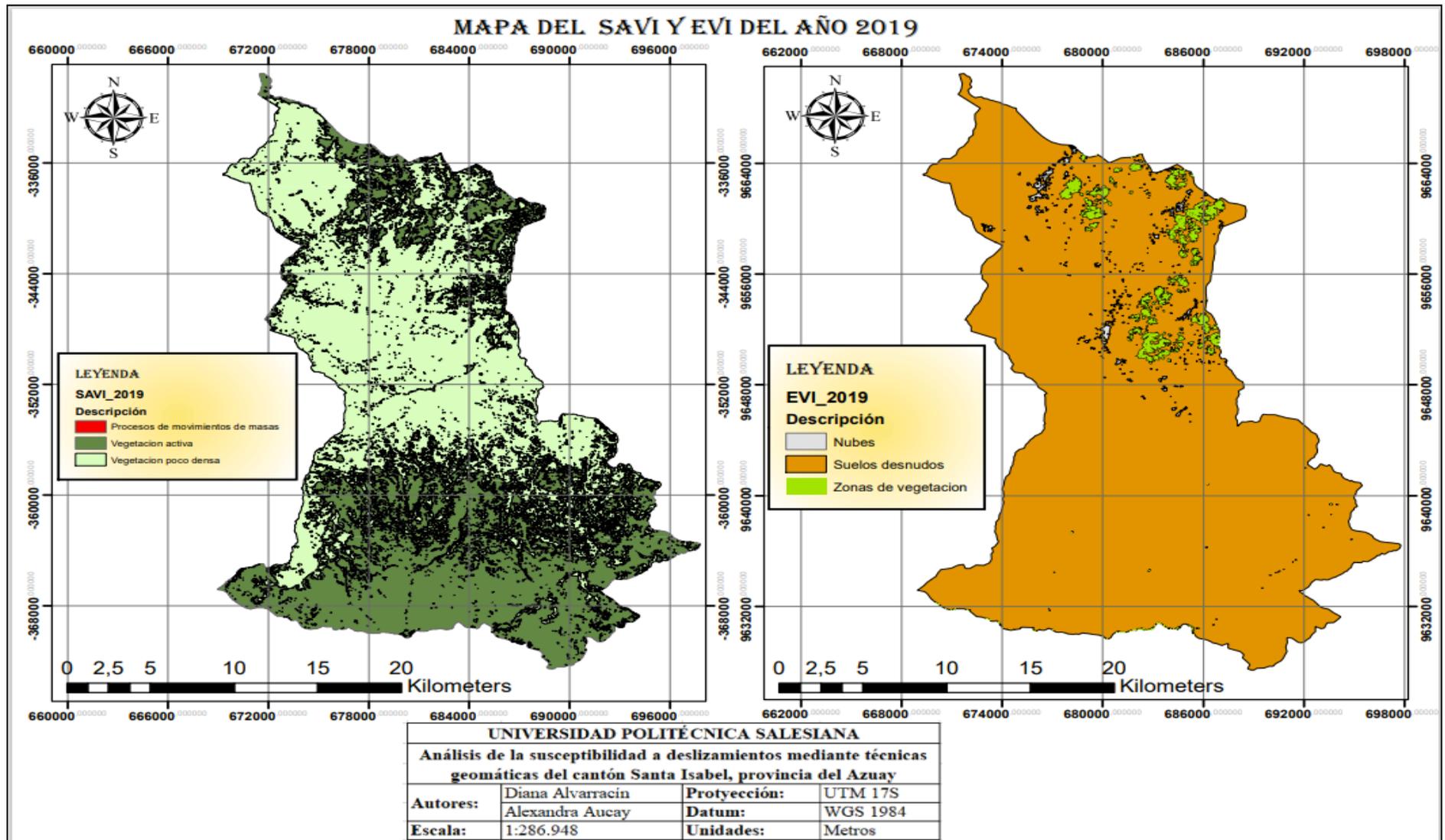


Ilustración 14

Mapa de los Índices SAVI y EVI del año 2020

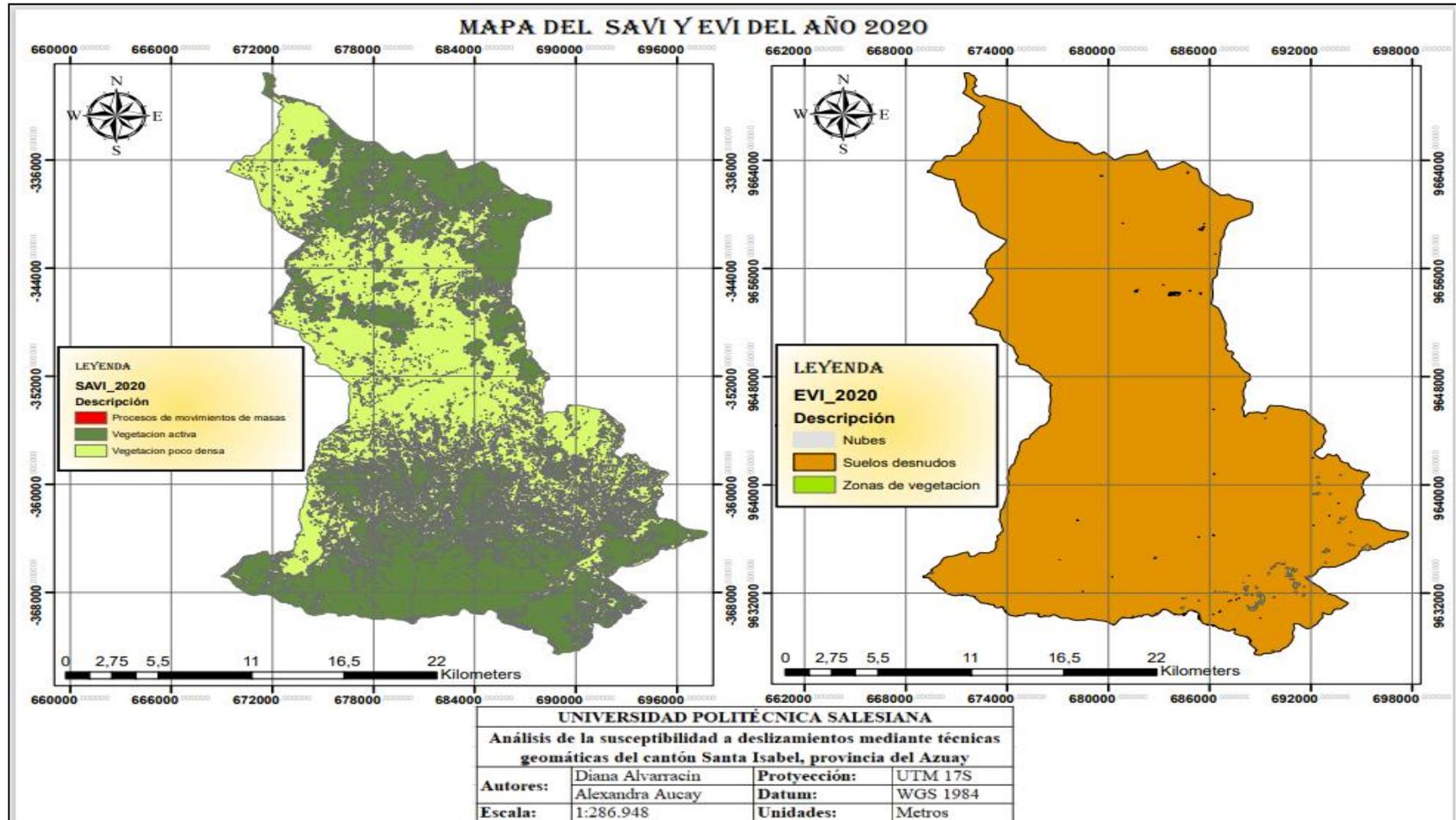
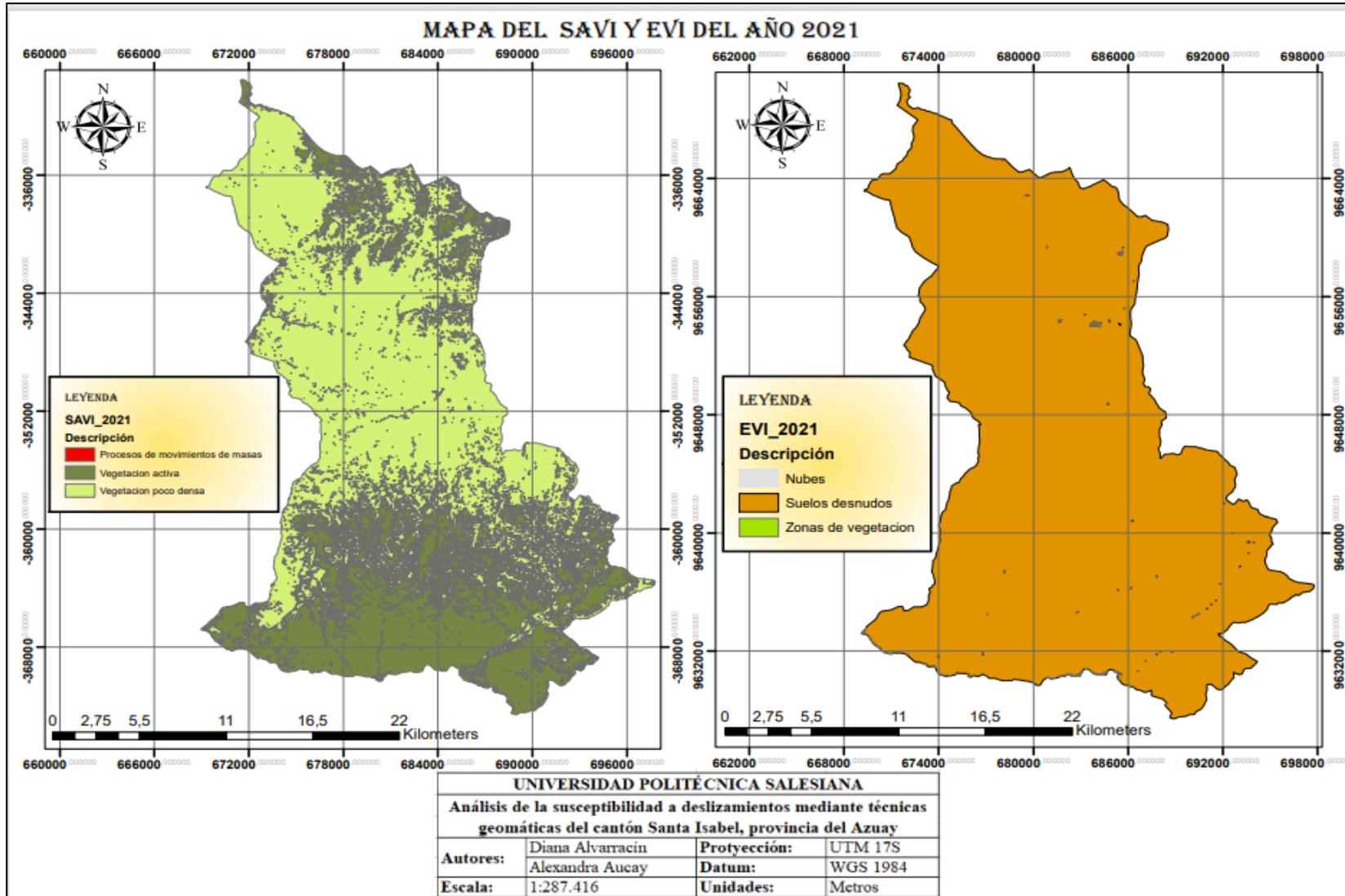


Ilustración 15

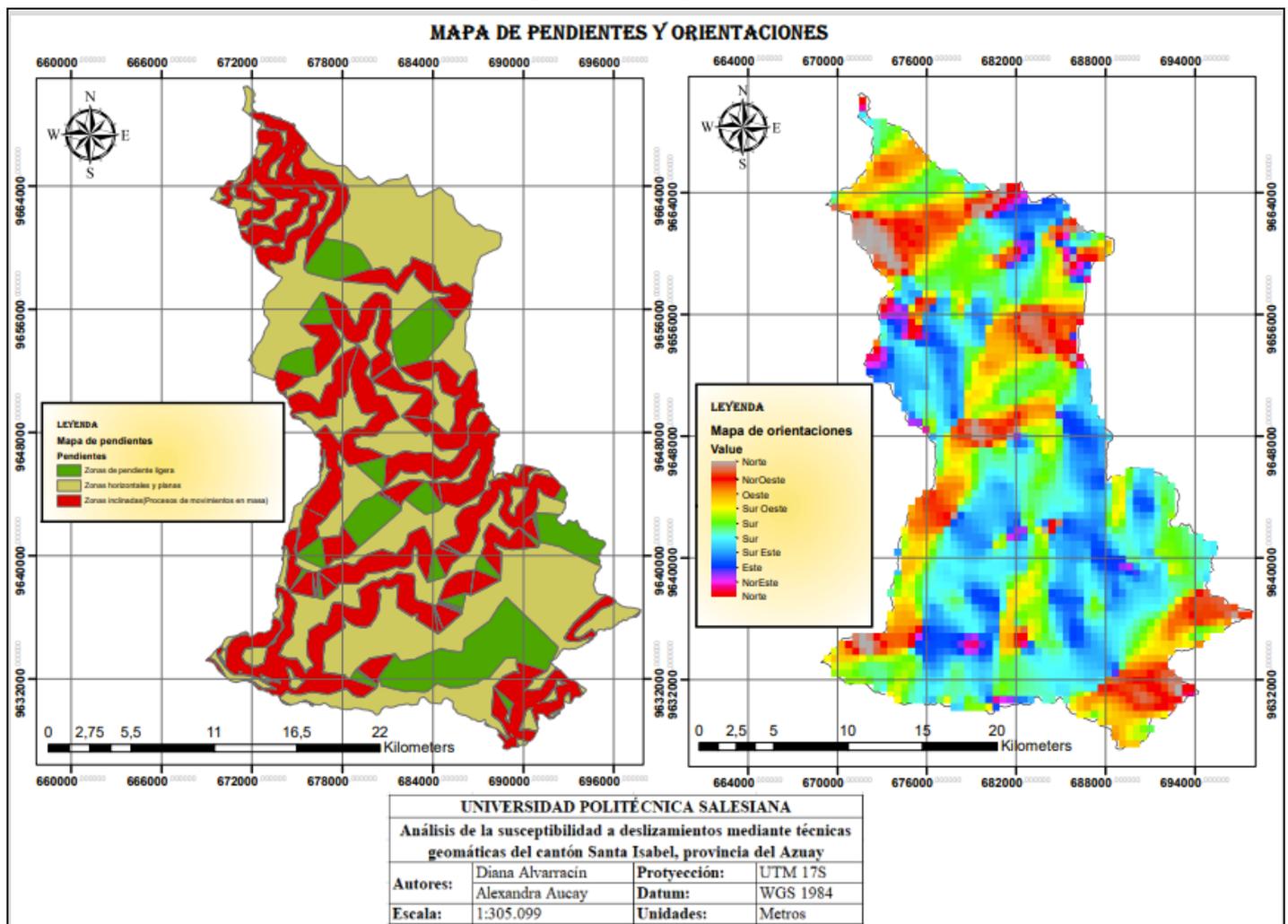
Mapa de los Índices SAVI y EVI del año 2021



#### 4.5. Mapa temático de Pendientes y Orientaciones

El parámetro de la pendiente modela la forma del terreno, identificando zonas vulnerables a deslizamientos. Para calcular la pendiente del terreno, se utilizaron las curvas de nivel y modelos digitales de elevación. Seguidamente, se reclasificaron en función de los criterios descritos en la "Tabla 3". Luego, se generó el mapa de orientaciones, evaluando la dirección de las pendientes. A continuación, el mapa temático de pendientes y orientaciones.

*Ilustración 16*  
Mapa de Pendientes y Orientaciones



#### 4.6. Extracción de los procesos a movimientos de masas por deslizamientos

Para extraer las trazas de movimientos de masas, se combinaron los parámetros de la pendiente del terreno con los índices de vegetación (SAVI y EVI).

#### 4.7. Combinaciones multitemporales

Para las combinaciones multitemporales, se combinó la pendiente con los índices de vegetación, mediante la herramienta "Combinar" del software ARCGIS 10.6, es decir, la pendiente se combinó con el EVI del 2017 y SAVI 2017, luego la pendiente se combinó con el EVI del 2019 y SAVI 2019, seguidamente la pendiente se combinó con el EVI 2020 y SAVI 2020, y finalmente la pendiente se combinó con el EVI 2021 y SAVI 2021, generando 4 mapas cartográficos de combinaciones multitemporales. Además, luego de este proceso, se obtuvo por cada combinación, un código de segmentos generados, seleccionando el código para el segmento 1 de EVY (-1 a 0,2), el segmento 1 de SAVI (-1 a 0,15), y el segmento 3 de pendiente ( $>15^\circ$ ), debido a que este parámetro representa comportamiento de la presencia de los deslizamientos activos, (3,1,1), el segmento 3 por la pendiente inclinada, y el segmento 1 por cada índice de vegetación, que representa áreas con ausencia de vegetación, o potencialmente erosionadas (**Ver Tabla 4**).

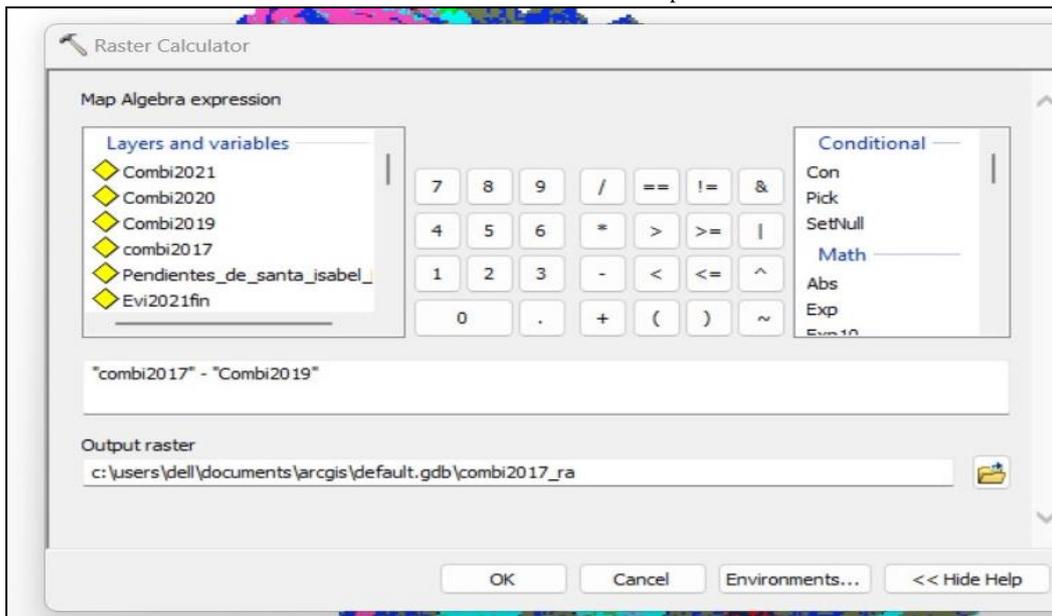
**Tabla 4**  
Combinación de segmentos del año 2017

Código	Pixeles	Pendiente	EVI	SAVI
0	12559	1	1	1
1	6887	1	1	4
2	4326	2	1	1
3	8152	3	1	1
4	7691	3	1	4
5	1979	2	1	4
6	120	1	3	4
7	157	3	3	4
8	13	2	3	4

#### 4.8. Diferencia de temporalidades

Se calcularon las diferencias de temporalidades, mediante la herramienta "Raster Calculator" de ArcGIS10.6, restando la combinación del año 2017 con la del 2019, luego se restó la combinación del 2019 con la del 2020, seguidamente se restó la combinación del 2020 con la del 2021. A continuación, se obtuvo tres mapas cartográficos, correspondientes a las diferencias de temporalidades (**Ver la ilustración 31, 32 y 33**).

**Tabla 5**  
Cálculo de las diferencias de temporalidades



Luego del proceso de diferencias de temporalidades, se realizó un traslape espacial de las diferencias de temporalidades, entendiéndose como traslape, a la suma o superposición de capas resultantes, estas son la suma de los mapas de diferencias de temporalidades, generando un mapa final denominado inventario de deslizamientos. El mismo, que se valida en campo y estadísticamente.

#### **4.9. Métodos de validación**

Para validar los datos, se aplicó tres métodos de verificación: validación en campo, análisis estadístico y comparación con deslizamientos históricos. Para el primer método, se generó puntos de validación mediante el muestreo estratificado, modelando el mismo mediante la herramienta Model, de ArcGIS 10.6 (Ver Ilustración 17).

El segundo método aplicado, fue el análisis estadístico denominado índice Kappa. Finalmente, el tercer método consistió en comparar la zona de estudio con el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT), que más adelante se explica a detalle.

#### **4.10. Muestreo estratificado**

Para generar los puntos de validación en campo se utilizó el lenguaje de programación "Model Builder", analizado con la herramienta "Create Fishnet" de la Arc Toolbox del software ArcGIS10.6 (véase la ilustración 17). El mismo determinó 100 puntos de muestreo, que se distribuyeron uniformemente por toda la zona de estudio (véase la ilustración 18).

**Ilustración 17**

Diagrama de flujo de la herramienta Model Builder

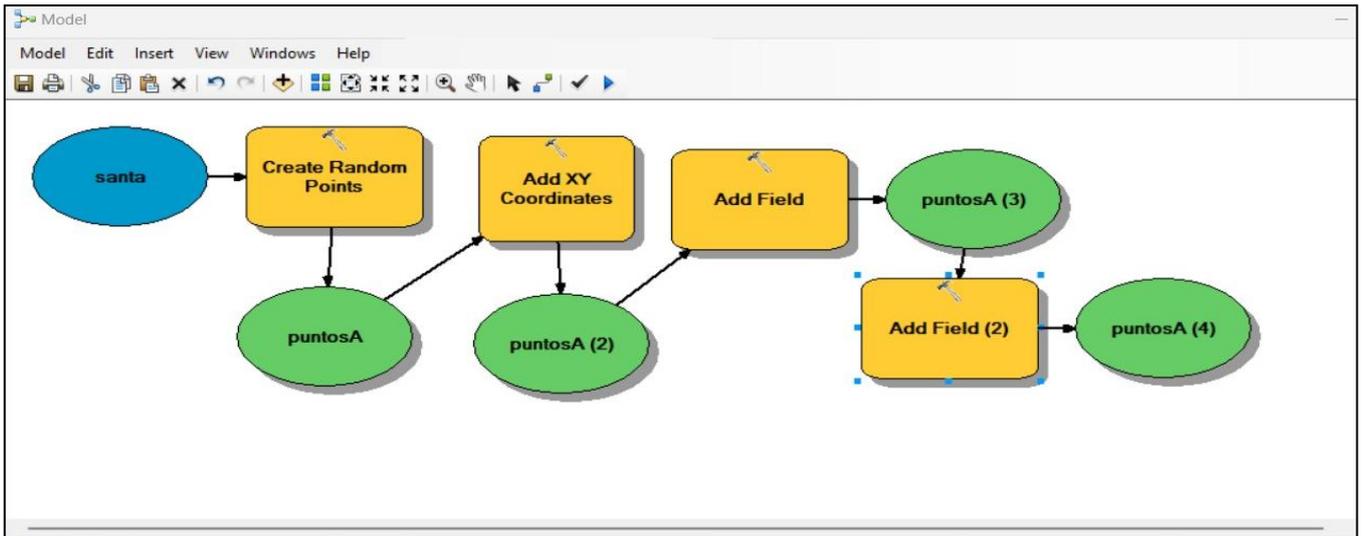


Ilustración 18

Mapa de muestreo de puntos Estratificado

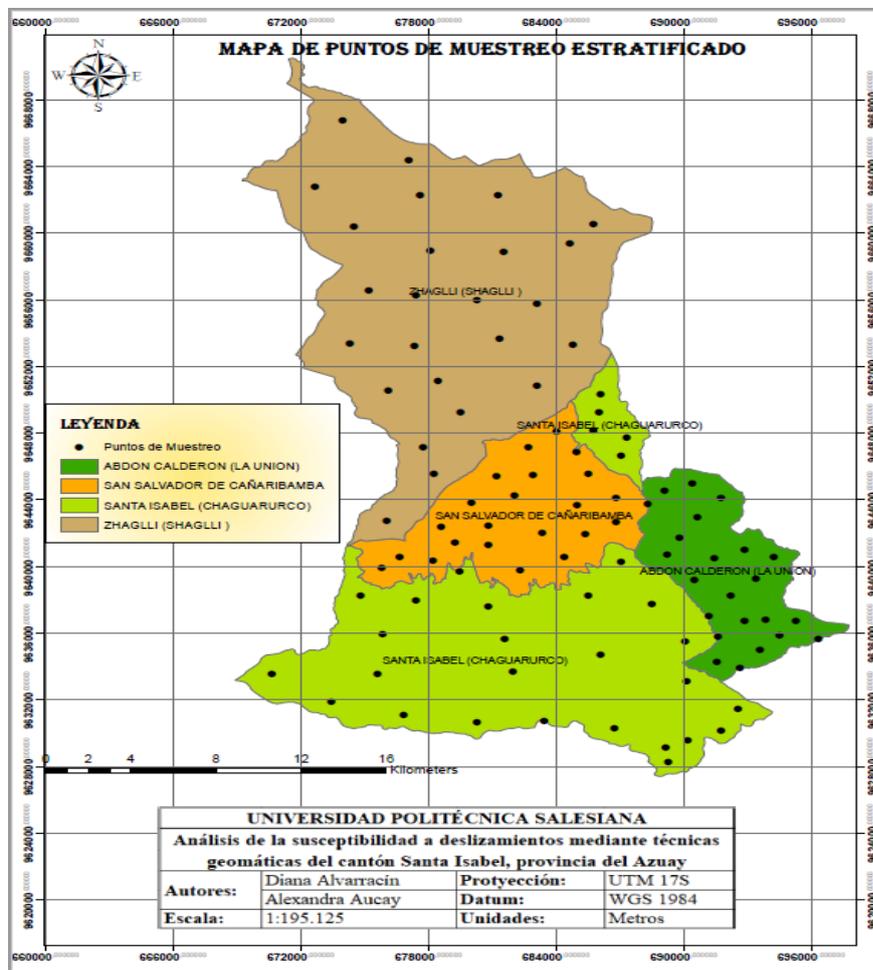


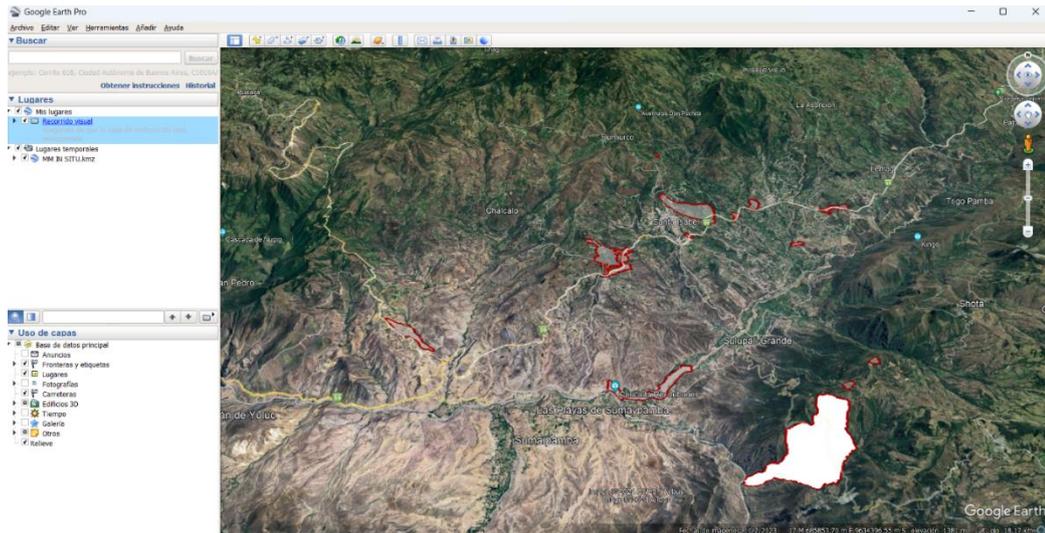
Ilustración 19



#### **4.11. Verificación mediante los deslizamientos históricos registrados**

Para validar los resultados mediante los deslizamientos históricos, fue necesario solicitar la respectiva información satelital al Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Isabel, en donde la jefa de la Unidad de Gestión ambiental, la Ing. Teresa Moscoso, manifestó que no existen deslizamientos analizados históricamente, pero manifestó que, en la actualidad, se está trabajando en la generación de esta información. Para ello dicha responsable, entregó de manera digital los avances de los estudios, que se resumen en aquellas zonas que tienen movimientos de masas, sin evaluar su nivel de susceptibilidad alta o baja, ni mucho menos dar coordenadas específicas de las zonas en peligro a deslizarse. Por lo tanto, no es posible validar mediante este método, ya que la información entregada, representa ser subjetiva, ya que el estudio está en operación, sin resultados definidos.

**Ilustración 20**  
**Información de los deslizamientos del GAD de Santa Isabel**



**4.12. Análisis estadístico del Índice Kappa de Cohen**

Se aplicó como tercer método, el análisis estadístico de índice de kappa. Para ello, fue necesario como información preliminar, los datos de la validación en campo. Seguidamente se aplicó la siguiente fórmula en ArcGIS 10.6.

**Ecuación 3**  
 Fórmula para el cálculo del índice de kappa

$$k = \frac{[(\sum \text{concordancias observadas}) - (\sum \text{concordancias atribuibles al azar})]}{[(\text{total de observaciones}) - (\sum \text{concordancias atribuibles al azar})]}$$

Fuente: (Mejía & Troya, 2021).

El índice de kappa, permite medir los valores de los números en términos de precisión. Los cuales, afirman que los valores que oscilan de 0,8 a 1 indican una concordancia casi perfecta, mientras que los valores de 0 a 0,6 indican una concordancia baja (ver la tabla 6).

**Tabla 6**  
 Valores del Índice de Kappa

<b>Estadística KappaRF</b>	<b>Fuerza de Acuerdo</b>
< 0,00	Pobre
0,00 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderado
0,61 – 0,80	Sustancial
0,81 – 1,00	Casi Perfecta

Fuente: (Mejía & Troya, 2021).

## 5. RESULTADOS

La pendiente y los índices espectrales de vegetación SAVI y EVI, permitieron identificar las trazas de movimientos de masas por deslizamientos, mediante el análisis multiespectral de imágenes satelitales.

### 5.1. Análisis de la pendiente

Mediante la generación de la pendiente, fue posible evaluar las características topográficas del terreno, el relieve y orografía de Santa Isabel, identificando zonas planas, de pendiente ligera y zonas de inclinación.

**Tabla 7**  
Clasificación de las pendientes

<b>Pendientes</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
Zonas Horizontales y planas (0°).	28272
Zonas de pendiente ligera (1° a 14°)	9064
Zonas inclinadas (> 15°)	23090

En la tabla 7, se observó que las zonas horizontales y planas tuvieron 28272ha, las zonas de pendiente ligera tuvieron 9064ha, y las zonas inclinadas tuvieron 23090ha, por lo cual, se puede decir que el territorio, posee una forma irregular, que responde a comportamientos físicos y geomorfológicos.

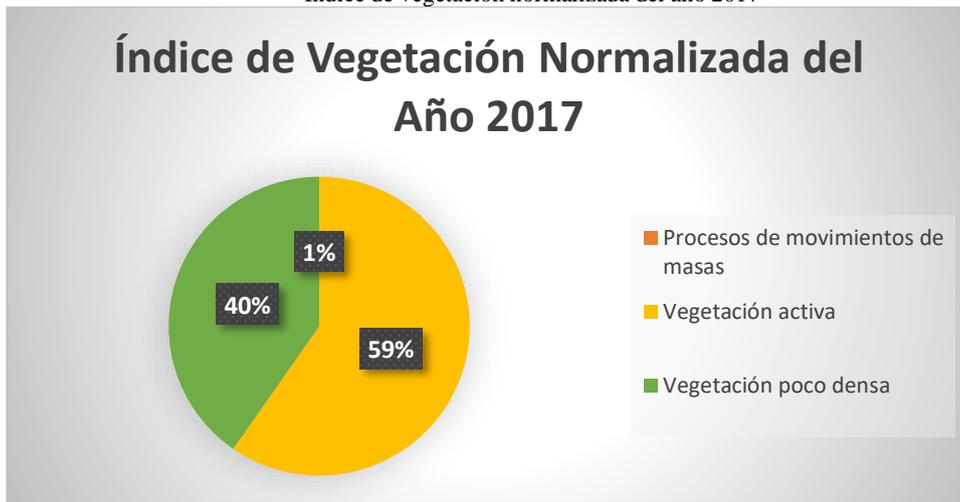
### 5.2. Análisis de los índices espectrales EVI y SAVI

Los índices de vegetación y suelo brillante (EVI y SAVI), permitieron identificar la variabilidad de la vegetación en el ecosistema, minimizando el efecto brillante del suelo sobre la atmosfera. Además, valoró el nivel de cobertura vegetal, zonas potencialmente erosionadas y áreas en pérdida de vegetación nativa, consiguiendo con ello identificar la presencia o ausencia de los deslizamientos. A continuación, se exponen los resultados obtenidos.

**Tabla 8**  
Índice de vegetación normalizada del año 2017

<b>Índice de Vegetación Normalizada del Año 2017</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
Procesos de movimientos de masas	1
Vegetación activa	36049
Vegetación poco densa	24358

**Ilustración 21**  
Índice de vegetación normalizada del año 2017

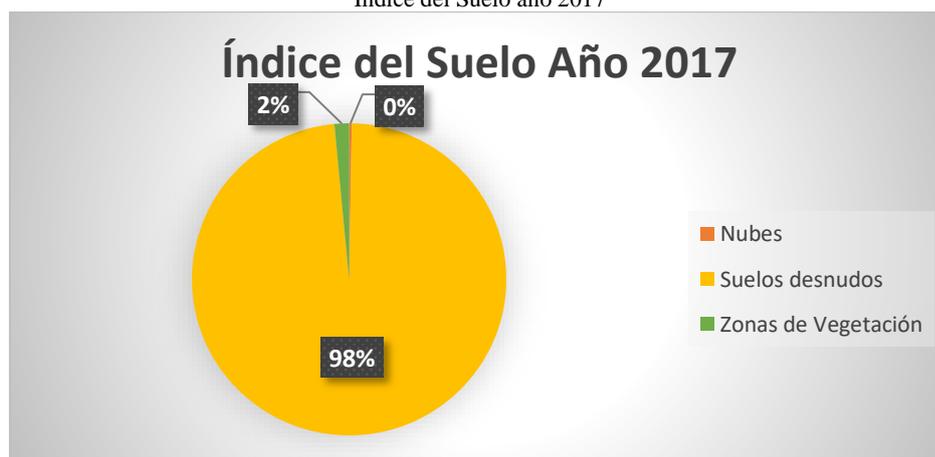


En la ilustración 21, puede observarse que las áreas con presencia de movimientos en masa tuvieron una superficie de 1 hectárea, lo que corresponde al 1% de la superficie total estudiada. Las zonas con poca vegetación, que cubren una superficie de 24358 hectáreas, que representa el 40% de la superficie total, mientras que las zonas con vegetación activa cubren una superficie de 36049 hectáreas, que representa el 59% de la superficie total.

**Tabla 9**  
Índice del Suelo año 2017

<b>Índice del Suelo Año 2017</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
<b>Nubes</b>	162
<b>Suelos desnudos</b>	59355
<b>Zonas de Vegetación</b>	905

**Ilustración 22**  
Índice del Suelo año 2017

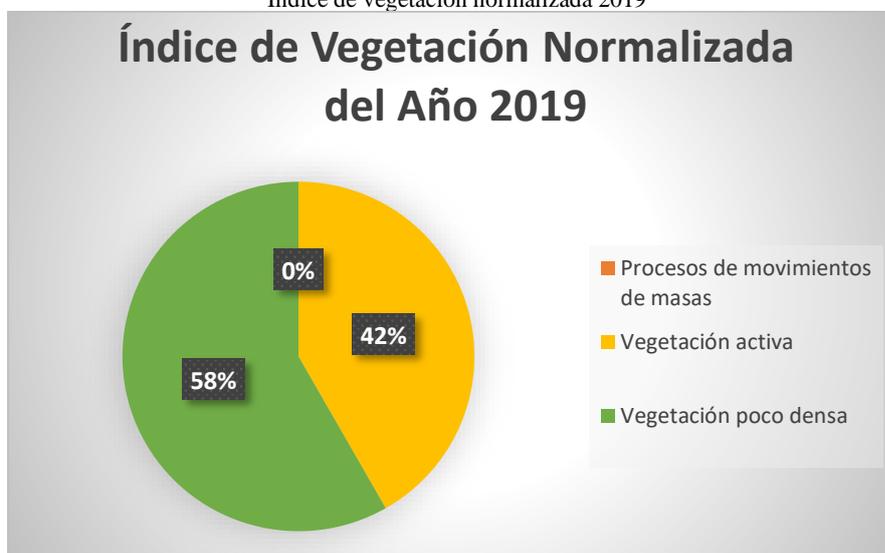


En la ilustración 22, se visualiza que los suelos desnudos cubren una superficie de 59355 hectáreas, lo que representa el 98% del área de estudio, mientras que las zonas de vegetación sólo tuvieron 905 hectáreas, lo que supone el 2%. Por consiguiente, los procesos de desertificación han hecho que los suelos desnudos prevalezcan sobre otras zonas identificadas.

**Tabla 10**  
Índice de vegetación normalizada 2019

<b>Índice de Vegetación Normalizada del Año 2019</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
<b>Procesos de movimientos de masas</b>	3
<b>Vegetación activa</b>	25221
<b>Vegetación poco densa</b>	35199

**Ilustración 23**  
Índice de vegetación normalizada 2019

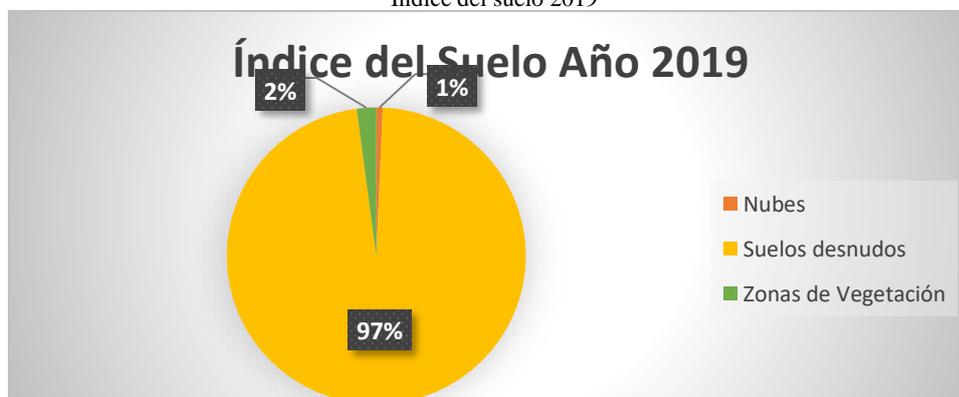


En la ilustración 23, se puede observar que las zonas con poca vegetación cubren una superficie de 25221 hectáreas, representando el 58% de la superficie total, mientras que las zonas con vegetación activa, que cubren una superficie de 25221 hectáreas, representan el 42% de la superficie total.

**Tabla 11**  
Índice del suelo 2019

<b>Índice del Suelo Año 2019</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
<b>Nubes</b>	415
<b>Suelos desnudos</b>	58728
<b>Zonas de Vegetación</b>	1265

**Ilustración 24**  
Índice del suelo 2019



En la ilustración 24, se visualiza que los suelos desnudos presentaron una superficie de 58728 hectáreas, lo que representa el 97% del área de estudio, mientras que las zonas de vegetación tuvieron 1265 hectáreas, lo que indicaban el 2% de la superficie total.

**Tabla 12**  
Índice de vegetación normalizada 2020

<b>Índice de Vegetación Normalizada del Año 2020</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
<b>Procesos de movimientos de masas</b>	2
<b>Vegetación activa</b>	29549
<b>Vegetación poco densa</b>	30867

**Ilustración 25**  
Índice de vegetación normalizada 2020

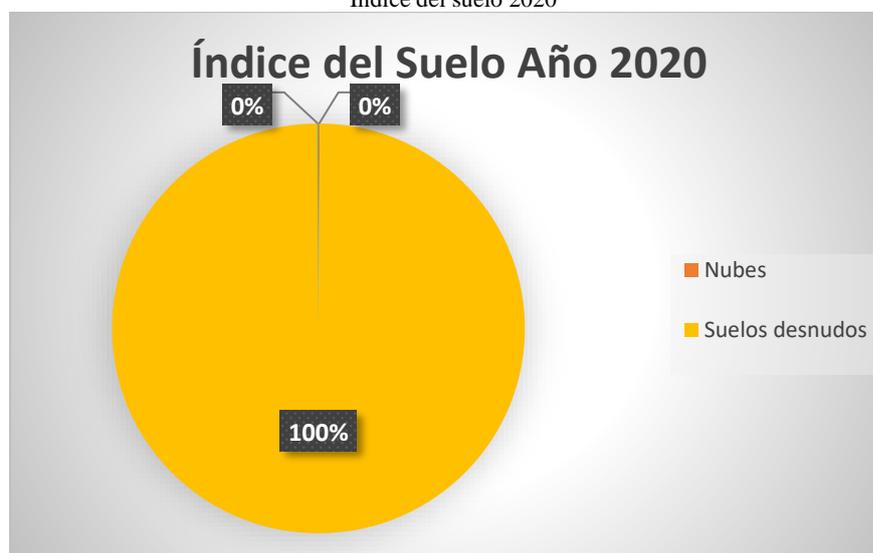


En la ilustración 25, se puede observar que las zonas con poca vegetación cubren una superficie de 30867 hectáreas, representando el 51% de la superficie total, mientras que las zonas con vegetación activa cubren una superficie de 29549 hectáreas, representando el 49% de la superficie total.

**Tabla 13**  
Índice del suelo 2020

<b>Índice del Suelo Año 2020</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
<b>Nubes</b>	61
<b>Suelos desnudos</b>	60301
<b>Zonas de Vegetación</b>	61

**Ilustración 26**  
Índice del suelo 2020



En la ilustración 26, se visualiza que las zonas de suelos desnudos cubren una superficie de 60301 hectáreas, lo que representa el 100% del área de estudio, mientras que las zonas de vegetación cubren una superficie de 61 hectáreas, que representa en porcentaje un valor insignificante igual o menor a 0.

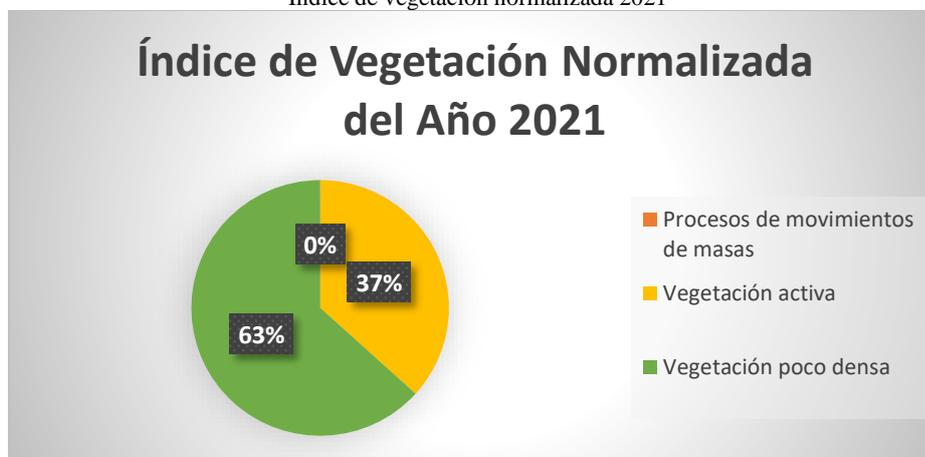
**Tabla 14**

Índice de vegetación normalizada 2021

<b>Índice de Vegetación Normalizada del Año 2021</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
<b>Procesos de movimientos de masas</b>	10
<b>Vegetación activa</b>	22172
<b>Vegetación poco densa</b>	38236

**Ilustración 27**

Índice de vegetación normalizada 2021



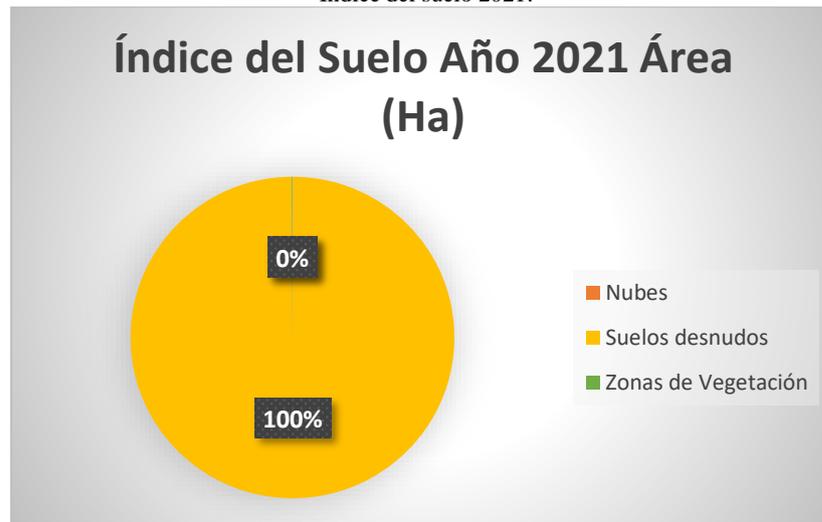
En la ilustración 27, se puede observar que las zonas con poca vegetación cubren una superficie de 38236 hectáreas, que representa el 63% de la superficie total, mientras que las zonas con vegetación activa cubren una superficie de 22172 hectáreas, que representa el 37% de la superficie total.

**Tabla 15**

Índice del suelo 2021

<b>Índice del Suelo Año 2021</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Área (Ha)</b>
Nubes	18
Suelos desnudos	60365
Zonas de Vegetación	43

**Ilustración 28**  
Índice del suelo 2021.

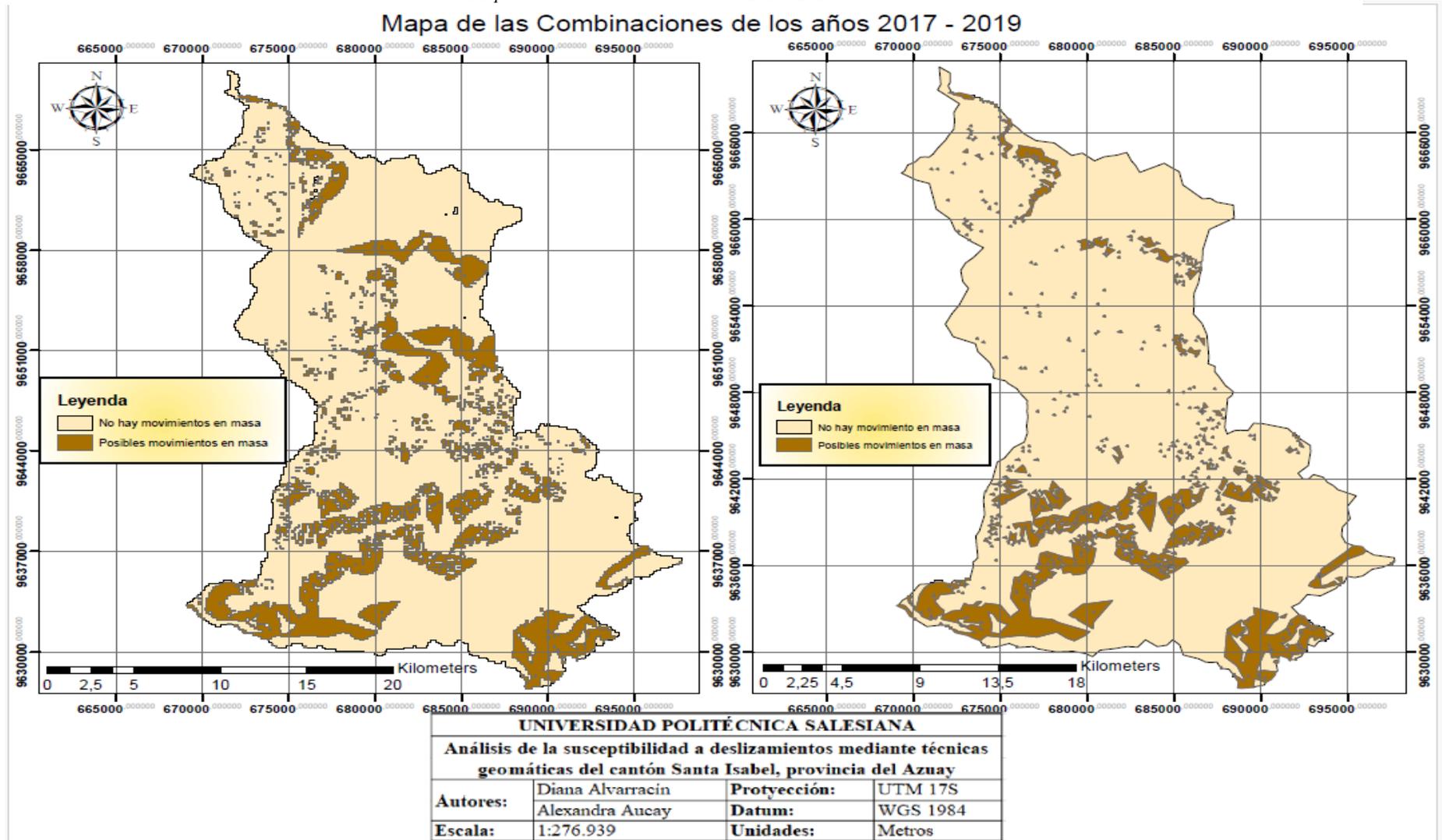


En la ilustración 28, se visualiza que las zonas con suelos desnudos cubren una superficie de 60365 hectáreas, lo que representa el 100% del área de estudio, mientras que las zonas de vegetación cubrieron 43 hectáreas, lo que se entiende en términos de porcentaje, un valor insignificante igual o menor a 0.

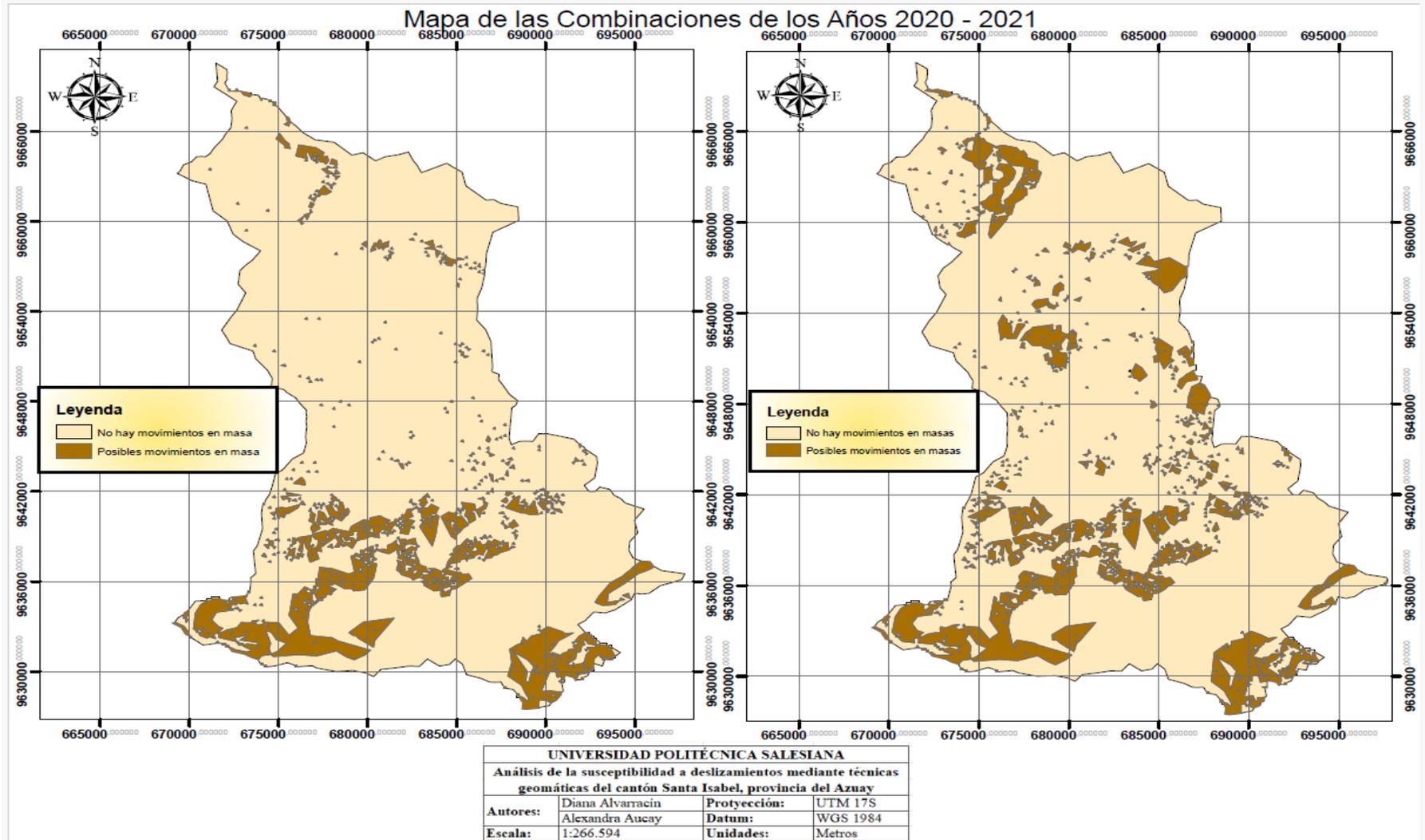
### **5.3. Análisis de las combinaciones**

La generación de los índices de vegetación, permitieron establecer la relación entre los índices espectrales y los valores de la pendiente, generando zonas susceptibles a deslizamientos en base a parámetros topográficos y cartográficos obtenidos de información satelital, permitiendo el análisis de las zonas eventualmente erosionadas, ricas en vegetación y suelos densos.

*Ilustración 29*  
 Mapa de Combinaciones de los años 2017 -2019.



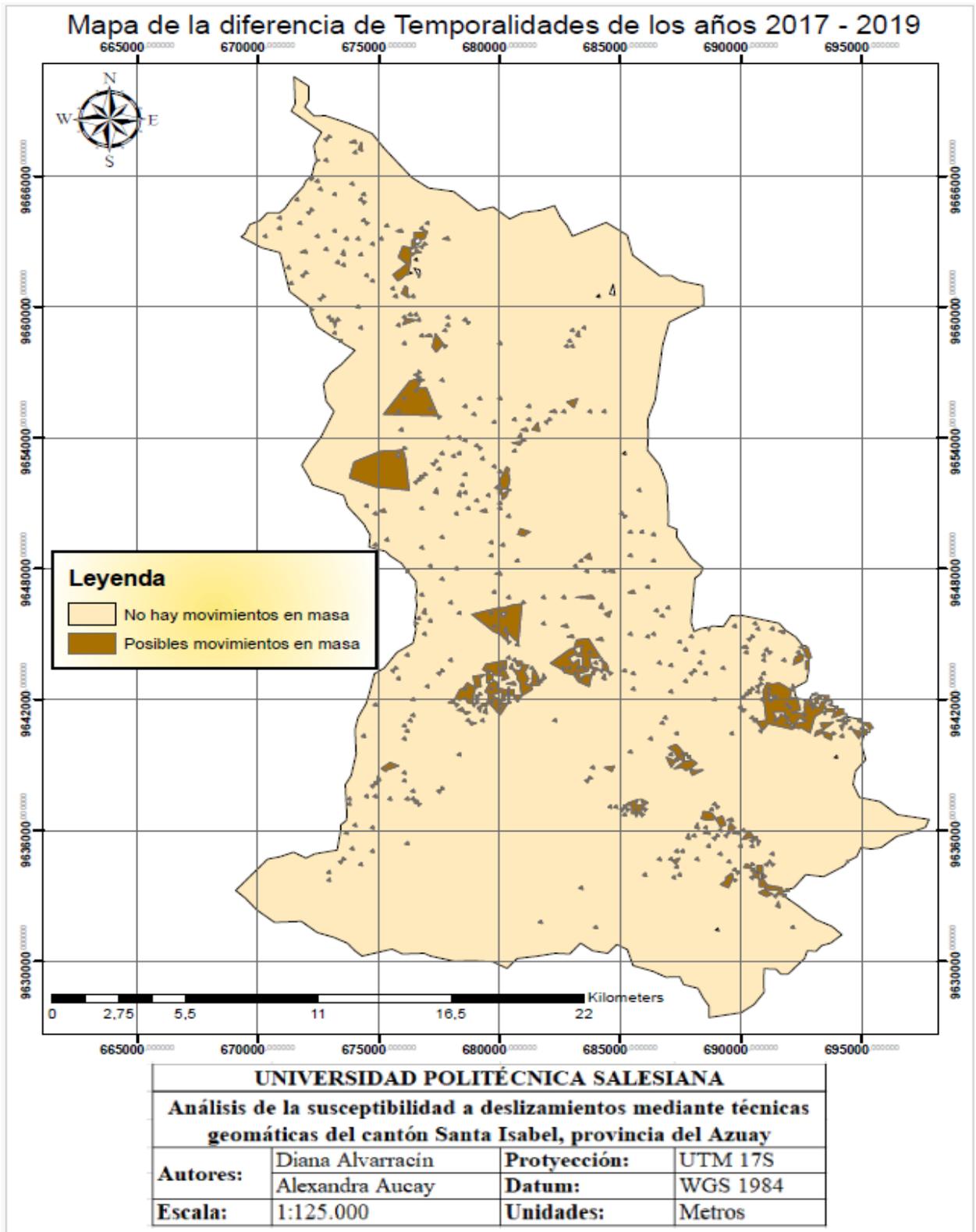
**Ilustración 30**  
 Mapa de Combinaciones de los años 2020-2021.



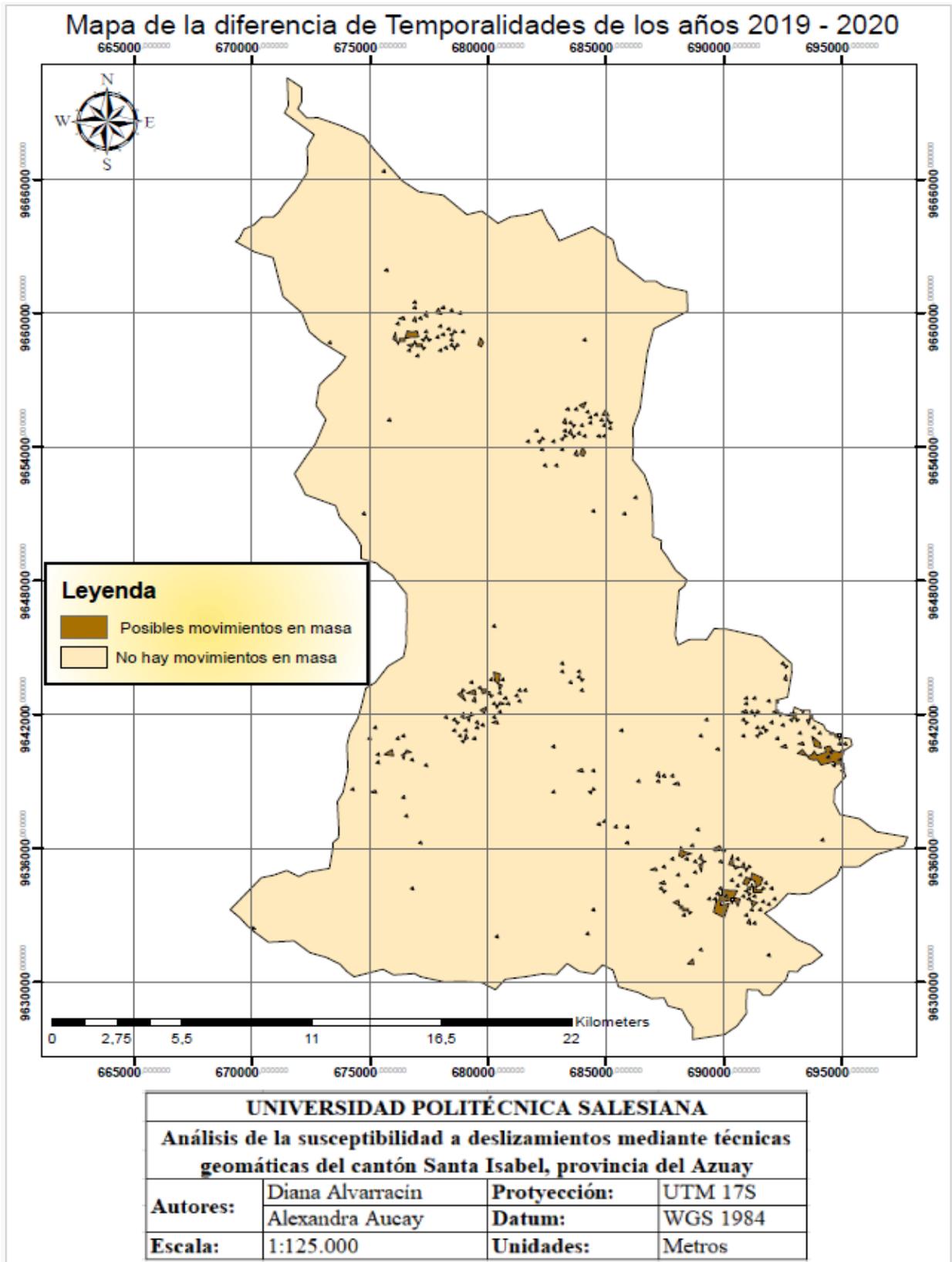
## 5.4. Análisis de la diferencia de temporalidades

Ilustración 31

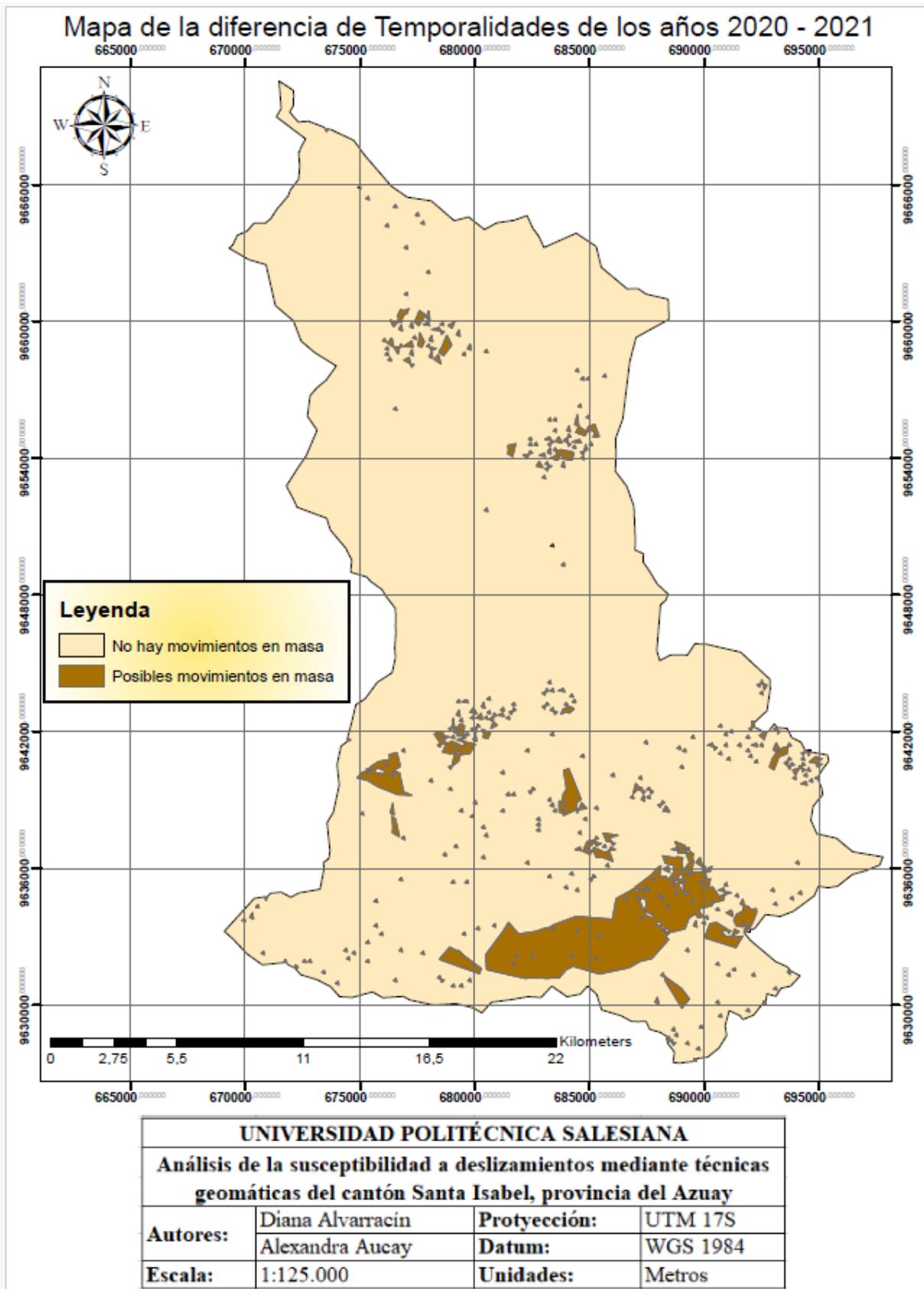
Mapa de diferencia de Temporalidades 2017-2019.



**Ilustración 32**  
 Mapa de diferencia de Temporalidades 2019-2020



**Ilustración 33**  
 Mapa de diferencia de Temporalidades 2020-2021



Al evaluar las diferencias de temporalidades (**Ver ilustración 31, 32, y 33**), se corrigió los errores espectrales, restando las combinaciones obtenidas una de otra, con la intención de que se eliminasen los errores espectrales, limitando de manera precisa los movimientos de masas.

**Tabla 16**  
Diferencia de Temporalidades 2017-2019

<b>Diferencia de Temporalidades de los Años 2017 - 2019</b>	
<b>Características</b>	<b>Área (Ha)</b>
Posibles movimientos en masa.	2415
No hay movimientos en masa.	57893

**Ilustración 34**  
Diferencia de Temporalidades 2017-2019

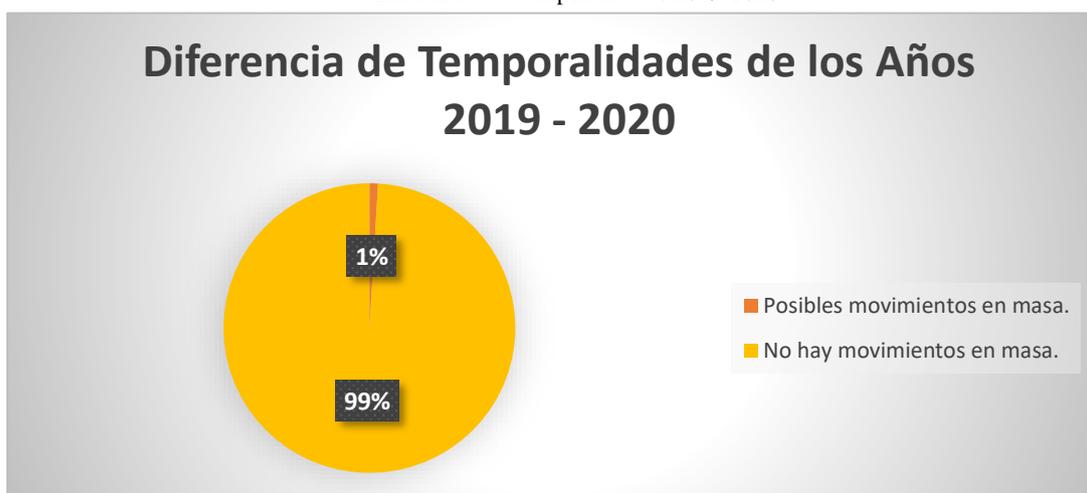


En la ilustración 34, se observó que en las diferencias de temporalidades del 2017 al 2019, las zonas libres de deslizamientos cubren una superficie de 57893ha, que representa el 96% y las zonas con movimientos de masas cubren una superficie de 2415ha que representa el 4%.

**Tabla 17**  
Diferencia de Temporalidades 2019-2020

<b>Diferencia de Temporalidades de los Años 2019 - 2020</b>	
<b>Características</b>	<b>Área (Ha)</b>
Posibles movimientos en masa.	571
No hay movimientos en masa.	59765

**Ilustración 35**  
Diferencia de Temporalidades 2019-2020



En la ilustración 35, se observó que para las diferencias de temporalidades del 2019 al 2020, las zonas sin deslizamientos cubren una superficie de 59765ha que representa el 99% y las zonas con movimientos de masas cubren una superficie de 571ha que representan el 1%.

**Tabla 18**  
Diferencia de Temporalidades 2020-2021

<b>Diferencia de Temporalidades de los Años 2020 - 2021</b>	
<b>Características</b>	<b>Área (Ha)</b>
Posibles movimientos en masa.	3680
No hay movimientos en masa.	56644

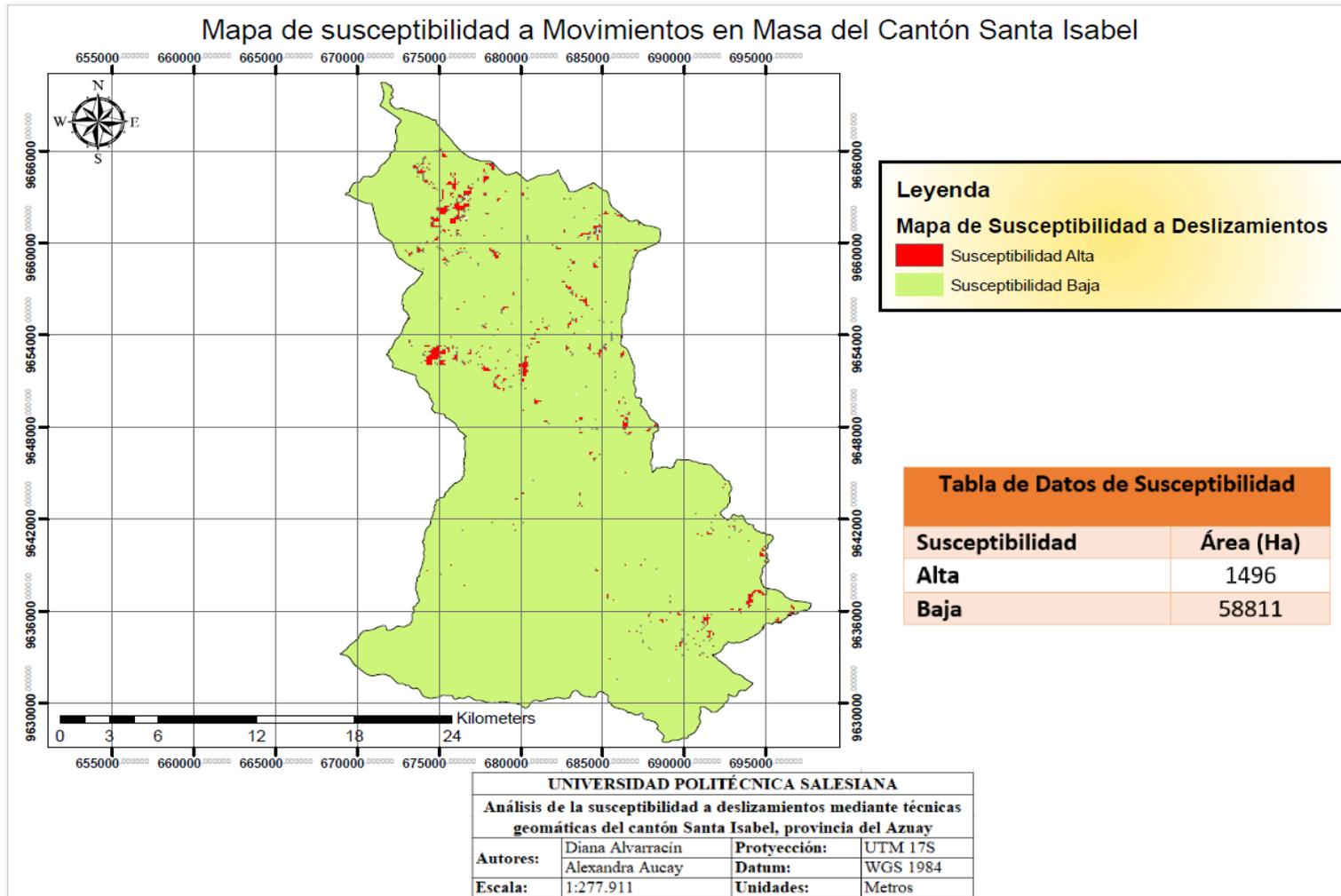
**Ilustración 36**  
Diferencia de Temporalidades 2020-2021



En la ilustración 36, se observó que para las diferencias de temporalidades del 2020 al 2021, las zonas sin deslizamientos cubren una superficie de 56644ha que representa el 94% y las zonas con movimientos de masas cubren una superficie de 3680ha que representa el 6%.

**Ilustración 37**

Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos del Cantón Santa Isabel



### 5.5. Análisis de las zonas susceptibles a deslizamientos

Para la identificación de las zonas susceptibles a deslizamientos, fue necesario un traslape de las diferencias de temporalidades, o en términos comunes lo que se llama a la superposición de capas o adición (suma) de las capas generadas preliminarmente, logrando eliminar los ráster mal identificados, obteniendo las zonas susceptibles a deslizamientos, en dos categorías, que son de susceptibilidad alta (Deslizamientos activos) y susceptibilidad baja (Deslizamientos temporales e inactivos).

**Tabla 19**  
Susceptibilidad a Deslizamientos del Cantón Santa Isabel

<b>Mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos del cantón Santa Isabel</b>	
<b>Susceptibilidad</b>	<b>Área (Ha)</b>
Alta	1496
Baja	58811

En la tabla 19, se observa que las zonas susceptibles a deslizamientos, de categoría alta tuvieron una superficie de 1496ha, y de susceptibilidad baja 58811 ha, lo cual se concluye que, en zonas altas, existe mayor riesgo del siniestro a un deslizamiento. Por ende, aquellas parroquias en riesgo se indican a continuación.

**Tabla 20**  
Zonas Susceptibles a Deslizamientos de Santa Isabel

<b>FID</b>	<b>Coordenad a X</b>	<b>Coordenad a Y</b>	<b>Característica s</b>	<b>Susceptibilida d</b>	<b>Parroquia</b>
<b>1</b>	695089,23	9637377,28	Deslizamiento Activo	Alta	Abdón Calderón (La Unión)
<b>2</b>	691456,5	9641063,92	Deslizamiento Activo	Alta	Abdón Calderón (La Unión)
<b>3</b>	673153,89	9663218,56	No hay Deslizamientos	Baja	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>4</b>	678974,73	9661673,39	No hay Deslizamientos	Baja	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>5</b>	691583,5	9641040,1	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>6</b>	684214,35	9646311,85	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)

<b>7</b>	691129,23	9640913,1	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>8</b>	692742,37	9640737,28	Deslizamiento Activo	Alta	Abdón Calderón (La Unión)
<b>9</b>	684306,96	9646315,16	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>10</b>	681789,91	9661715,73	No hay Deslizamientos	Baja	San Salvador de Cañaribamba
<b>11</b>	681578,24	9663155,06	No hay Deslizamientos	Baja	San Salvador de Cañaribamba
<b>12</b>	684237,51	9646206,01	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>13</b>	684502,09	9645977,81	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>14</b>	684475,63	9645852,13	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>15</b>	682444,31	9635617,18	No hay Deslizamientos	Baja	San Salvador de Cañaribamba
<b>16</b>	683689,23	9643497,28	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>17</b>	679249,23	9641937,28	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>18</b>	679720,96	9643377,28	Deslizamiento Activo	Alta	Abdón Calderón (La Unión)
<b>19</b>	680101,96	9643737,28	Deslizamiento Activo	Alta	Abdón Calderón (La Unión)
<b>20</b>	682100,35	9638712,81	No hay Deslizamientos	Baja	Shaglli
<b>21</b>	675057,96	9666013	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel Rural
<b>22</b>	675253,75	9665731,22	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel Rural
<b>23</b>	674025,87	9665446,84	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel Rural

<b>24</b>	674030,63	9665342,07	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel Rural
<b>25</b>	674127,47	9665591,31	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel Rural
<b>26</b>	685010,77	9641252,81	No hay Deslizamientos	Baja	Shaglli
<b>27</b>	689535,16	9641543,85	No hay Deslizamientos	Baja	Abdón Calderón (La Unión)
<b>28</b>	673897,28	9665149,98	Deslizamiento Activo	Alta	Abdón Calderón (La Unión)
<b>29</b>	673727,42	9664595,94	Deslizamiento Activo	Alta	Shaglli
<b>30</b>	676819,87	9663332,29	Deslizamiento Activo	Alta	Shaglli
<b>31</b>	686598,28	9642628,65	No hay Deslizamientos	Baja	San Salvador de Cañaribamba
<b>32</b>	676800,82	9663611,69	Deslizamiento Activo	Alta	Shaglli
<b>33</b>	676969,23	9663537,28	Deslizamiento Activo	Alta	Shaglli
<b>34</b>	676026,12	9662411,54	Deslizamiento Activo	Alta	Abdón Calderón (La Unión)
<b>35</b>	679476,92	9645339,67	No hay Deslizamientos	Baja	Shaglli
<b>36</b>	677582,59	9644853,52	No hay Deslizamientos	Baja	San Salvador de Cañaribamba
<b>37</b>	676727,62	9643395,04	No hay Deslizamientos	Baja	Shaglli
<b>38</b>	674763,68	9652859,32	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel Rural
<b>39</b>	674731,93	9652541,82	Deslizamiento Activo	Alta	Shaglli
<b>40</b>	674372,09	9652245,48	Deslizamiento Activo	Alta	Shaglli

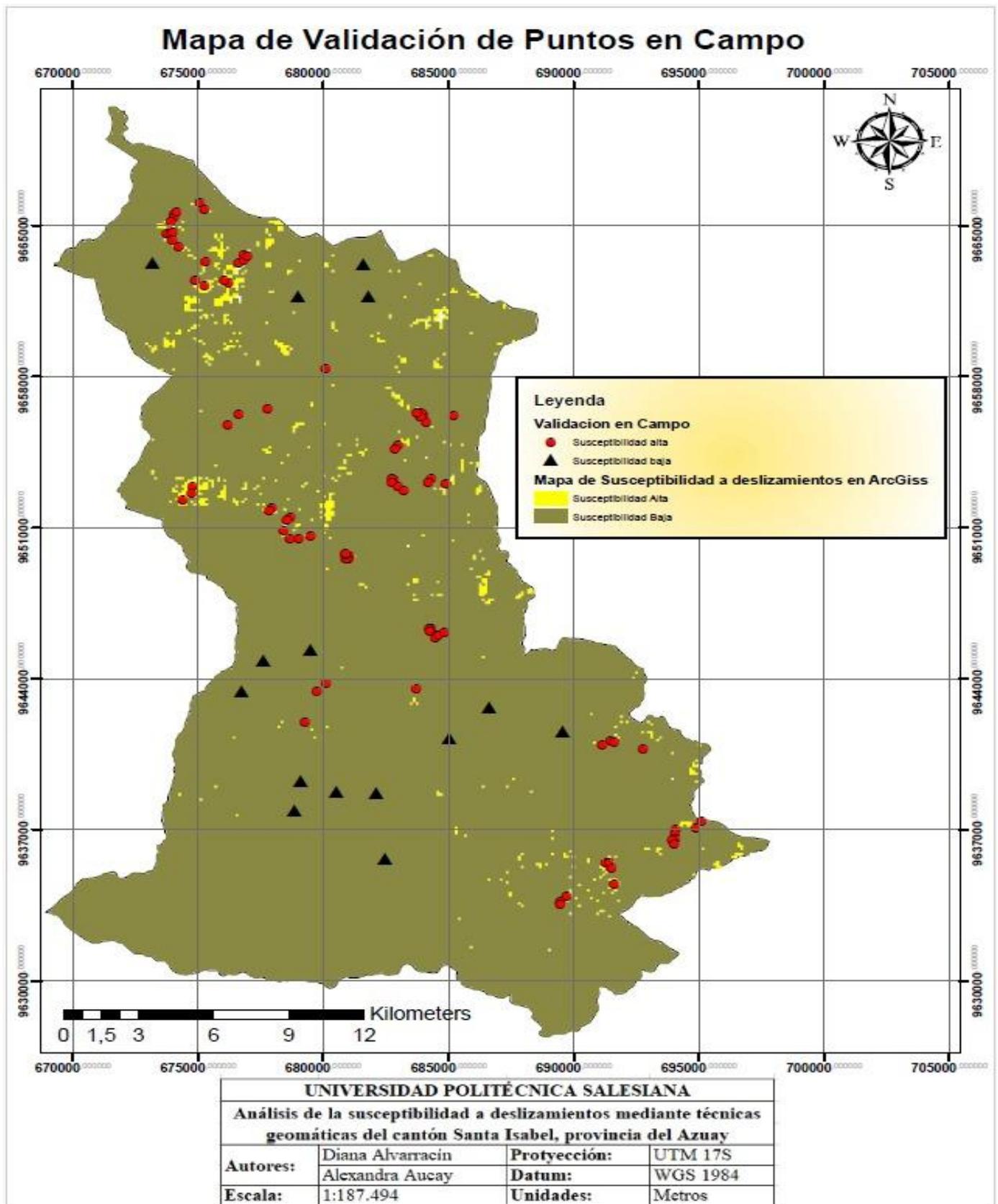
<b>41</b>	677928,1	9651897,28	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel Rural
<b>42</b>	680499,53	9638734,64	No hay Deslizamientos	Baja	Shaglli
<b>43</b>	688652	9650457,28	Deslizamiento Activo	Alta	Abdón Calderón (La Unión)
<b>44</b>	679009,23	9650458,59	Deslizamiento Activo	Alta	Abdón Calderón (La Unión)
<b>45</b>	678823,12	9637879,68	No hay Deslizamientos	Baja	San Salvador de Cañaribamba
<b>46</b>	679489,23	9650577,28	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel Rural
<b>47</b>	683982,27	9656233,44	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel Rural
<b>48</b>	679074,58	9639237,56	No hay Deslizamientos	Baja	Shaglli
<b>49</b>	682796,4	9653162,68	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)
<b>50</b>	682729,23	9653245,23	Deslizamiento Activo	Alta	Santa Isabel (Chaguarurco)

## 6. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Análisis de la validación de resultados

Para la validación de resultados se analiza el primer método de validación, que es en campo, mediante la verificación de cada uno de los puntos generando una característica específica, es decir, se le asignó la característica de deslizamiento inactivo y activo. Especificando la coordenada exacta del lugar evaluado. A continuación, se muestra el resultado.

Ilustración 38  
Validación en campo



**Ilustración 39**  
Validación en campo

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA			
FORMATO TÉCNICO DE LA VALIDACIÓN EN CAMPO			
Título de la tesis		Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas Geomáticas.	
Tesisistas		Alexandra Arcay Caallos Diana Albarracón Llivisaca	
Tutora		Ing. Estelania Aviles	
Coordenada x	Coordenada y	Observación/ Nivel de susceptibilidad a deslizamientos	Temperatura/Precipitación/Fecha
675057,96	9666013	Susceptibilidad Alta	17° - 4,7 mm - 14/12/2023
675253,75	9665731,22	Susceptibilidad alta	17° - 4,7 mm - 14/12/2023
674025,87	9665446,84	Susceptibilidad alta	17° - 4,7 mm - 14/12/2023
674030,63	9665342,07	Susceptibilidad alta	17° - 4,7 mm - 14/12/2023
674127,47	9665591,31	Susceptibilidad alta	17° - 4,7 mm - 14/12/2023
673897,28	9665149,98	Susceptibilidad alta	17° - 4,7 mm - 14/12/2023
673727,42	9664595,94	Susceptibilidad alta	15° - 5,1 mm - 15/12/2023
673879,82	9664608,64	Susceptibilidad alta	15° - 5,1 mm - 15/12/2023
673921,42	9664640,39	Susceptibilidad alta	15° - 5,1 mm - 15/12/2023
673969,23	9664265,74	Susceptibilidad alta	15° - 5,1 mm - 15/12/2023
674203,67	9663967,29	Susceptibilidad alta	15° - 5,1 mm - 15/12/2023
675289,23	9662411,54	Susceptibilidad alta	15° - 5,1 mm - 15/12/2023
675232,37	9662163,89	Susceptibilidad alta	12° - 9,2 mm - 16/12/2023
676184,87	9662297,24	Susceptibilidad alta	12° - 9,2 mm - 16/12/2023
676616,67	9663262,44	Susceptibilidad alta	12° - 9,6 mm - 16/12/2023
676819,87	9663332,29	Susceptibilidad alta	12° - 9,2 mm - 16/12/2023
676880,82	9663611,69	Susceptibilidad alta	12° - 9,2 mm - 16/12/2023
676969,23	9663537,28	Susceptibilidad alta	12° - 9,2 mm - 16/12/2023
676026,12	9662411,54	Susceptibilidad alta	22° - 6,1 mm - 17/12/2023
674763,68	9652859,32	Susceptibilidad alta	22° - 6,1 mm - 17/12/2023
674731,93	9652541,82	Susceptibilidad alta	22° - 6,1 mm - 17/12/2023
674372,09	9652245,48	Susceptibilidad alta	22° - 6,1 mm - 17/12/2023
677928,10	9651897,28	Susceptibilidad alta	22° - 6,1 mm - 17/12/2023

**Ilustración 40**  
Validación en campo

24	677820,15	9651734,94	Susceptibilidad alta	16,8° - 4,8 mm - 22/12/2023
25	678671,05	9651417,28	Susceptibilidad alta	16,8° - 4,8 mm - 22/12/2023
26	678529,23	9651297,28	Susceptibilidad alta	17,2° - 4,6 mm - 23-12-2023
27	678409,23	9650817,28	Susceptibilidad alta	17,2° - 4,6 mm - 23/12/2023
28	678652	9650457,28	Susceptibilidad alta	17,2° - 4,6 mm - 23/12/2023
29	679009,23	9650458,59	Susceptibilidad alta	17,2° - 4,6 mm - 23/12/2023
30	679489,23	9650577,28	Susceptibilidad alta	17,2° - 4,6 mm - 23/12/2023
31	683982,27	9656233,44	Susceptibilidad alta	17,2° - 4,6 mm - 23/12/2023
32	683990,27	9656174,38	Susceptibilidad alta	17,2° - 4,6 mm - 23/12/2023
33	684093,39	9655857,28	Susceptibilidad alta	17° - 7,5 mm - 26-12-2023
34	683887,02	9656251,25	Susceptibilidad alta	17° - 7,5 mm - 26-12-2023
35	683867,17	9656097,28	Susceptibilidad alta	17° - 7,5 mm - 26-12-2023
36	683720,33	9656289	Susceptibilidad alta	17° - 7,5 mm - 26-12-2023
37	685180,83	9656146,13	Susceptibilidad alta	17° - 7,5 mm - 26/12/2023
38	682969,23	9652777,28	Susceptibilidad alta	17° - 7,5 mm - 26/12/2023
39	682849,23	9654604,13	Susceptibilidad alta	17° - 7,5 mm - 26/12/2023
40	682796,40	9653762,68	Susceptibilidad alta	17° - 7,5 mm - 26/12/2023
41	682729,23	9653245,23	Susceptibilidad alta	16° - 5,1 mm - 27-12-2023
42	682729,23	9653042,03	Susceptibilidad alta	16° - 5,1 mm - 27-12-2023
43	682969,23	9652857,28	Susceptibilidad alta	16° - 5,1 mm - 27-12-2023
44	683209,23	9652699,13	Susceptibilidad alta	16° - 5,1 mm - 27-12-2023
45	684289,23	9653264,28	Susceptibilidad alta	16° - 5,1 mm - 27-12-2023
46	684169,23	9653035,68	Susceptibilidad alta	16° - 5,1 mm - 27-12-2023
47	684879,27	9652978,53	Susceptibilidad alta	16,8° - 5,3 mm - 28-12-2023
48	680924,38	9649624,25	Susceptibilidad alta	16,8° - 5,3 mm - 28-12-2023
49	681033,02	9649679,82	Susceptibilidad alta	16,8° - 5,3 mm - 28-12-2023
50	680992,01	9649547,52	Susceptibilidad alta	16,8° - 5,3 mm - 28-12-2023

**Ilustración 41**  
Validación en campo

687324,63	9637615,15	No hay Deslizamientos	22° - 6,1 mm - 17-12-2023
687264,90	9637725,37	No hay deslizamientos	21° - 6,6 mm - 18-12-2023
687590,04	9637770,14	No hay deslizamientos	27° - 6,6 mm - 18/12/2023
687082,26	9638087,88	No hay deslizamientos	27° - 6,6 mm - 18/12/2023
686846,98	9637990,88	No hay deslizamientos	27° - 6,6 mm - 18/12/2023
686742,50	9638118,27	No hay deslizamientos	27° - 6,6 mm - 18/12/2023
686592,22	9637947,64	No hay deslizamientos	27° - 6,6 mm - 18/12/2023
686657,05	9637637,35	No hay deslizamientos	25° - 3,5 mm - 19-12-2023
686742,26	9637782,19	No hay deslizamientos	25° - 3,5 mm - 19/12/2023
686640,28	9637530,88	No hay deslizamientos	25° - 3,5 mm - 19/12/2023
686832,26	9637565,41	No hay deslizamientos	25° - 3,5 mm - 19/12/2023
686643,02	9637529,38	No hay deslizamientos	25° - 3,5 mm - 19/12/2023
686935,43	9637529,42	No hay deslizamientos	25° - 3,5 mm - 19/12/2023
686473,47	9637475,91	No hay deslizamientos	3,5 mm - 16° - 20-12-2023
686424,45	9638214,30	No hay deslizamientos	3,5 mm - 16° - 20/12/2023
686471,59	9638405,87	No hay deslizamientos	3,5 mm - 16° - 20/12/2023
686830,71	9638274,17	No hay deslizamientos	3,5 mm - 16° - 20/12/2023
686637,75	9638705,46	No hay deslizamientos	3,5 mm - 16° - 20/12/2023
686493,97	9639017,13	No hay deslizamientos	3,5 mm - 16° - 20/12/2023
687114,77	9637138,39	No hay deslizamientos	3,9 mm - 16,2° - 21-12-2023
687008,61	9637030,76	No hay deslizamientos	3,9 mm - 16,2° - 21/12/2023
687398,13	9636969,87	No hay deslizamientos	3,9 mm - 16,2° - 21/12/2023
687602,36	9636972,90	No hay deslizamientos	3,9 mm - 16,2° - 21/12/2023
687620,74	9636858,25	No hay deslizamientos	3,9 mm - 16,2° - 21/12/2023
687586,65	9636750,97	No hay deslizamientos	3,9 mm - 16,2° - 21/12/2023
687338,13	9636681,06	No hay deslizamientos	16,8° - 4,8 mm - 22-12-2023
687484,01	9636567,64	No hay deslizamientos	16,8° - 4,8 mm - 22/12/2023
687397,30	9636283,04	No hay deslizamientos	16,8° - 4,8 mm - 22/12/2023
687453,83	9636440,23	No hay deslizamientos	16,8° - 4,8 mm - 22/12/2023
687619,57	9636551,95	No hay deslizamientos	16,8° - 4,8 mm - 22/12/2023

En la ilustración 38,39,40 y 41 se puede observar que, en la validación en campo, los puntos generados en el mapa de susceptibilidad a deslizamientos coincidieron con los registrados en campo. Para su análisis, las coordenadas de los 100 puntos que se tomaron en campo fueron cruzados con el mapa final de susceptibilidad a deslizamientos, verificando que coincidan entre sí, esto es los puntos validados en campo, con los generados por la metodología aplicada. Por lo tanto, se acepta el mapa generado, denominado como el inventario de la susceptibilidad a deslizamientos.

## 6.2. Análisis estadístico del Índice de kappa

Los análisis estadísticos son importantes para aquellos estudios que utilizan información satelital. Por ello, el índice de kappa de categoría estadístico permitió evaluar la confiabilidad de los resultados, tomando en cuenta la validación en campo. Generándose, la siguiente tabla del índice de Kappa.

**Tabla 21**  
Índice de Kappa

OBJECTID *	ClassValue	Susceptibilidad alta	Susceptibilidad baja	Total	U Accuracy	Índice de
1	C_1	12	0	12	1	0
2	C_2	3	25	28	0,892857	0
3	Total	15	25	40	0	0
4	P_Accuracy	0,8	1	0	0,925	0
5	Kappa	0	0	0	0	0,833333

En la tabla 21, se puede observar que el estudio de susceptibilidad a deslizamientos tuvo un valor de Kappa de 0,83, o, dicho de otra manera, en términos porcentuales del 83%, siendo un resultado aceptable, según la metodología aplicada.

### 6.3. Medidas de prevención frente a los deslizamientos

Tabla 22

Medidas de Prevención a ejecutarse para el cantón de Santa Isabel

Nombre	Tipo de medida	Actividad	Responsable	Indicador	Presupuesto (\$)
Poner a disposición al Municipio del cantón Santa Isabel el Mapa de Susceptibilidad ante deslizamientos, para prevención y control de los asentamientos humanos en zonas de alto riesgo	Prevención	1. Entregar al departamento de Gestión Ambiental el informe técnico, donde consten las zonas de alto riesgo a deslizamientos, con la respectiva documentación de los recursos generados.	Jefe del Departamento de Gestión Ambiental	Información documental	70
Implementar pantallas táctiles en donde conste el mapa referente a la vulnerabilidad frente a deslizamientos, indicando las parroquias de alto riesgo a nivel de zonas como de coordenadas, el mismo que deberá estar ubicado en el área de catastros del municipio de Santa Isabel	Prevención	1. Análisis económico de la adquisición de pantallas táctiles en base al tiempo de vida útil. 2. Coordinar la información de vulnerabilidad a deslizamientos con el departamento de sistemas, para la configuración de los mapas en las pantallas táctiles.	Jefe del departamento de sistemas informáticos apoyado por el Técnico ambiental	Facturas-Fotografías	2500
Reforestación de 1000 plantas nativas del lugar para luchar contra zonas de elevado porcentaje en erosión, así como en la lucha contra el cambio climático, que son los principales causantes de la activación de los deslizamientos.	Corrección	1. Sembrar diferentes especies nativas del lugar en el lapso de 15 días, previo a un cronograma de reforestación. 2. Realizar publicidad en las redes sociales, sobre la campaña de reforestación, con el lema, “un solo objetivo”.	Personal Técnico del Municipio de Santa Isabel	Fotografías	200
Revestimiento de los canales de riego, para que no exista el problema de la infiltración del agua.	Mitigación	1. Realizar un levantamiento topográfico de la zona, en base a las condiciones sociales, ambientales, y estructurales.	Directiva de la Junta de Agua	Informes-Fotografías-Facturación	1400
Capacitaciones sobre educación ambiental, referente a la protección del ecosistema, huella de carbono y capacidad hídrica, elementos fundamentales para proteger la vida.	Prevención	1. Realizar charlas dirigidas por un especialista en temas ambientales, tales como ecosistema, agua, contaminación, reforestación, etc.	Técnico Ambiental	Fotografías-Registro de capacitaciones	700
<b>Total (\$)</b>					<b>4870</b>

## 7. DISCUSIÓN

(Mejia & Troya, 2021) indican que, para el análisis de las combinaciones y las diferencias de temporalidades, se deberían generar en base a imágenes satelitales consecutivas, no mayor a 6 años entre una y otra, para conseguir de esta manera, valorar los diferentes cambios de la superficie del terreno. Además, para el análisis de confiabilidad de datos, mediante el índice Kappa, dicho estudio obtuvo una eficiencia del 96%, en cambio en nuestro trabajo encontramos una eficiencia mediante el índice de kappa del 83%.

(Castillo et al., 2022), realizaron un análisis multitemporal, mediante los índices de vegetación SAVI y EVI, permitiendo caracterizar geométricamente las distintas tipologías identificadas (colapsos, deslizamientos y flujos), concluyendo que la pendiente y los valores de vegetación densa y activa, son determinantes en la identificación de los deslizamientos. En cambio, nosotras, en nuestro trabajo, encontramos que, al calcular las pendientes del territorio, se identificó que en las pendientes inclinadas se encuentran mayor presencia de deslizamientos, además al calcular el índice SAVI, se determinaron las zonas de vegetación densas que significó aumento de movimientos de masas, encontrándose una relación directa entre la ausencia de vegetación con la presencia de los deslizamientos activos.

(Vásquez, 2023) , dice que, para evaluar la vulnerabilidad en deslizamientos activos, es necesario enfocarse en la remoción de masa específicamente en el desprendimiento del suelo y la actividad de la vegetación sobre una superficie. Por ende, en este trabajo se identificó las trazas de movimientos de masas, al caracterizar la brillantez del suelo mediante el índice EVI, debido a que dicho índice permitió la separación de la cobertura vegetal, con los procesos de remoción en masas e identificó la pérdida de vegetación de tipo nativa.

Finalmente, se puede decir que los índices espectrales EVI y SAVI, son capaces de identificar zonas donde existen ausencia o presencia de vegetación, que en conjunto con los valores de la pendiente y orientación de la misma, se puede determinar aquellas zonas que presentan áreas planas o irregulares, debido a que los movimientos de masa por deslizamientos especialmente cuando están activos, se dan sobre las pendientes irregulares o en el caso que presenten un alto nivel de erosión, reducción de vegetación y nivel de biomasa forestal.

## 8. CONCLUSIONES

- Los análisis espaciales son fundamentales para generar inventarios de movimientos de masa por deslizamientos, debido a que permiten generar información precisa en base al procesamiento de índices de vegetación EVI y SAVI, ya que su comportamiento depende exclusivamente de los valores de la pendiente del terreno, además, resulta ser eficiente, porque se puede acceder mediante las imágenes satelitales a terrenos de difícil acceso.
- Las imágenes satelitales Landsat 8, tienen la característica de tener longitud de onda definidas, que contienen información espectral, por lo cual, permitió identificar los espectros de los índices de vegetación en estudio, dando segmentos claves para la identificación del suelo desnudo, erosión y vegetación, siendo indicadores para la presencia de deslizamientos o mejor aún que pronostica los futuros deslizamientos de la zona.
- El método de validación en campo fue importante, debido a que observar directamente el lugar, no solo permitió analizar las variables topográficas o espaciales o si existe o no deslizamientos, sino que en la observación se identificaron el comportamiento de los deslizamientos, especialmente los que son de alto riesgo, en base a diferentes factores como temperatura, incremento de la actividad urbana y aumento de la erosión, permitiendo usar dicha información para generar el plan de prevención y mitigación.
- En la validación de resultados, se encontró coincidencias de un 100%, entre los deslizamientos activos, que se encontraron en campo con los generados mediante la metodología aplicada, sin embargo, al validar en campo los de susceptibilidad baja, en un 80% fueron los mismos que se generaron con la metodología aplicada, pero un 20% se identificaron erróneamente, deduciéndose que fue porque la última imagen satelital que se utilizó fue del 2021, siendo necesario como última imagen satelital del año actual, es decir, del año que se está realizando el estudio, ya que los procesos de movimientos de masa, se presentan debido a múltiples condiciones ambientales, las mismas que cambian constantemente.

- El cantón Santa Isabel, presenta zonas de susceptibilidad alta en las parroquias de Abdón Calderón, Santa Isabel Rural y Shaglli, con un área de 1496ha, mientras que las zonas de susceptibilidad baja corresponden a las parroquias de Santa Isabel (Chaguarurco) y San Salvador de Cañaribamba, con un área de 58811ha.

## **9. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a los Gobiernos Autónomos Descentralizados generar el mapa de pendientes mediante las curvas de nivel del IGM, ya que, si se utilizan ráster ya generado, pueden presentar información faltante, lo que no permitiría calcular de manera eficiente los índices de vegetación.
- Se recomienda al GAD de Santa Isabel, usar esta información como apoyo técnico, ya que en la actualidad se encuentran en la generación de dicha información.
- Se recomienda que, para identificar procesos de movimientos de masa, se utilice información actualizada al año que se está realizando dicho estudio, para que la precisión de los resultados sea cercana al 90% o mayor.
- El cantón Santa Isabel presenta suelos en proceso de erosión, mismos que son susceptibles a deslizamientos, por lo tanto, se recomienda trabajar en la cultura de concientización ambiental, en base a los principios básicos de protección, remediación y restauración de los ecosistemas, entendiendo a la madre naturaleza como el hábitat universal.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- GAD Santa Isabel. (2020). PDOT - Alcaldía Santa Isabel (PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN SANTA ISABEL 2020-2030; p. 883). Gobierno Autonomo Descentralizado. <https://santaisabel.gob.ec/pdot/>
- Jiménez Diana. (2011). Sistema de información geográfica de deslizamientos inducidos por sismo [Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1438>
- Aguilar Heileen, Mora Rodolfo, & Vargas Christian. (2014). METODOLOGÍA PARA LA CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA DE IMÁGENES ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 Y LANDSAT 8 CON EL MÓDULO FLAASH DEL SOFTWARE ENVI. 53, 39-59.
- Astudillo Ernesto, Medina Carlos, & Romero Eduardo. (2009). Ubicación e identificación de los principales deslizamientos en la vía Macará-Sabiango de la provincia de Loja. [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/16361>
- Avilés Lucía, Cañar Maribel, Andrade Sergio, Moreno Julio, López Adriana, & Pico Patricio. (2017, agosto 23). Vista de Identificación de amenaza por deslizamientos de tierra mediante información geo-espacial en el cantón Ibarra-Ecuador. Vol. 6(2). <https://www.cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/116/101>
- Beltrán Camila. (2019). Elaboración de un inventario de movimientos en masa mediante técnicas geomáticas en el municipio de Villeta—Cundinamarca [Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3135492?show=full>
- Beltrán Rincón, L. C. (2019). Elaboración de un inventario de movimientos en masa mediante técnicas geomáticas en el municipio de Villeta Cundinamarca.
- Calle Edwin. (2019). Localización estratégica de áreas para el asentamiento de nuevas comunidades en las Provincias de Guarayos, Nuflo de Chavez y Velasco del Departamento de Santa Cruz, (aplicación de programación en PYTHON). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/33347>
- Castillo, T. F. D., García, J. L. P., López, M. G., Escarcena, J. C., & Moya, F. (2022). INTEGRACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA Y LIDAR DE DISTINTA RESOLUCIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DE DESLIZAMIENTOS EN EL SECTOR DE LA GUARDIA (JAÉN).

- Chiquín Norma. (2017). Susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la Parroquia Pomasqui-Ecuador [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA]. PDF. <https://riunet.upv.es/handle/10251/86350>
- Contreras Félix & Odriozola Mariana. (2016). Aplicación de modelos de elevación digital para la delimitación de áreas de riesgo por inundaciones. San Luís del Palmar, Corrientes, Rca. Argentina. <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/27525>
- Corominas J., Westen P., & Frattini P. (2014, noviembre 24). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73, 209-263.
- Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2020). Evaluación de los deslizamientos en el centro poblado Santa Isabel. (Informe Técnico N° A7084; p. 29). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2845>
- Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. (2021). Deslizamientos en el sector Cujan, distrito de Santa Isabel de Siguan, provincia y región Arequipa (Informe Técnico A7146; p. 19). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3122>
- Dirección de Monitoreo de Amenazas y Eventos Peligrosos. (2023). Reportes de monitoreo de amenazas y eventos peligrosos – 2023 – Secretaría de Gestión de Riesgos. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/reportes-de-monitoreo-de-amenazas-y-eventos-peligrosos-2022/>
- EOS Data Analytics, Inc. (2024). El Satélite Landsat 8: Imágenes, Descripción Y Características. <https://eos.com/es/find-satellite/landsat-8/>
- Farias Bettys, Márquez Adriana, Rey Lago, & Guevara Edilberto. (2018). Caracterización espacio-temporal del uso de tierras en cuencas mediante técnicas geomáticas. 25(1). <https://www.redalyc.org/journal/707/70757668004/html/>
- Fonseca David. (2020). Uso de imágenes satelitales de radar para la identificación y monitoreo de deslizamientos en Antioquia. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/918335c6-edff-4e3c-9232-0dd3ef9e544b>
- GAD Santa Isabel. (2020). PDOT - Alcaldía Santa Isabel (PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN SANTA ISABEL 2020-2030; p. 883). Gobierno Autónomo Descentralizado. <https://santaisabel.gob.ec/pdot/>

- García Iván. (2022). "IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS EN EL TRAMO DE LA VÍA EL TORNEADO PERTENECIENTE AL CANTÓN SAN MIGUEL" [UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR]. <https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/5742>
- Gómez Bermeo Pablo. (2017). Análisis y comparación del índice kappa para la identificación de patrones en personas ancianas. [Universidad Técnica particular de Loja]. <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/16713>
- González de Vallejo, Ferrer Mercedes, Ortuño Luis, & Oteo Carlos. (2002). INGENIERIA GEOLOGICA GONZALES DE VALLEJO. PEARSON EDUCACIÓN. [https://www.academia.edu/50773034/INGENIERIA\\_GEOLOGICA\\_GONZALES\\_DE\\_VALLEJO](https://www.academia.edu/50773034/INGENIERIA_GEOLOGICA_GONZALES_DE_VALLEJO)
- Hervás Javier, Barredo José, & Lomoschitz Alejandro. (2002). Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio: Aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria) | accedaCRIS. <https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/1743>
- Honra Durán. (2021). Análisis de tendencias temporales del índice mejorado de la vegetación (EVI) en tres ecosistemas de la subcuenca del río Chambo durante el período 2013-2020. [ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15931>
- Instituto Geográfico Nacional. (2019). Plan Nacional de Teledetección. <https://pnt.ign.es/programa-landsat>
- Jiménez Cuenca. (2023, abril 3). Emergencia en La Cría-Santa Isabel | Gobierno Provincial del Azuay. Prefectura del Azuay. <https://www.azuay.gob.ec/index.php/2023/04/03/emergencia-en-la-cria-santa-isabel/>
- Jiménez Diana. (2011). Sistema de información geográfica de deslizamientos inducidos por sismo [Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1438>
- Juárez Eulalio & Rico Alfonso. (2012). Mecánica de Suelos II: Teoría y Aplicaciones. (Vol. 2). Editorial Limusa, S.A. de C.V. [https://www.academia.edu/29839924/Mec%C3%A1nica\\_de\\_suelos\\_Tomo\\_II\\_Eulalio\\_Ju%C3%A1rez\\_Badillo\\_y\\_Alfonso\\_Rico\\_Rodr%C3%ADguez\\_FREELIBROS\\_ORG](https://www.academia.edu/29839924/Mec%C3%A1nica_de_suelos_Tomo_II_Eulalio_Ju%C3%A1rez_Badillo_y_Alfonso_Rico_Rodr%C3%ADguez_FREELIBROS_ORG)

- López Juan Sebastián. (2012). Drenaje en sitios inestables de la vía Lentag -San Francisco. <http://192.188.48.14/handle/123456789/762>
- Mallitasig Nancy. (2011). MAPEO A ESCALA 1: 1.000.000 DE PELIGROS DE DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS EN EL ECUADOR CONTINENTAL [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8741>
- Mejia, L., & Troya, J. (2021). Evaluación de la susceptibilidad a movimientos de masas por deslizamientos mediante los índices de vegetación NDVI y SBI del cantón Alausí, provincia de Chimborazo.
- Mena Carlos, Molina Leonardo, Ormazábal Yony, & Morales Yohana. (2011). Generalización de modelo digital de elevación condicionada por puntos críticos de terreno Generalización de modelo digital de elevación condicionada por puntos críticos de terreno. 17(3), 439-457.
- Mogro Cepeda, Toaza Iza, & Jácome Mogro. (2022). Vista de Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020. 6(2). <http://investigacion.utc.edu.ec/index.php/ciya/article/view/443/452>
- Montero José. (2003). Riesgos de origen geológico y geomorfológico: Deslizamientos de tierras, identificación, análisis y prevención de sus consecuencias. Revista de Ciencias Sociales, 23, 33-64.
- NASA. (2019). WFIRST Artist's Concept—NASA/Goddard Space Flight Center/Conceptual Image Lab—Google Arts & Culture. [https://artsandculture.google.com/asset/wfirst-artist-s-concept-nasa-goddard-space-flight-center-conceptual-image-lab/GQFFGw\\_VA8Ckyw](https://artsandculture.google.com/asset/wfirst-artist-s-concept-nasa-goddard-space-flight-center-conceptual-image-lab/GQFFGw_VA8Ckyw)
- Ojeda María Fernanda. (2014). GESTIÓN DE RIESGOS PARA OBRAS GEOTÉCNICAS EN TALUDES [UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-013-0538-8>
- Ortiz José. (2019). Aplicabilidad del NDVI para la elaboración de un inventario de deslizamientos en el municipio de Albán, Cundinamarca [UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES]. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1388>
- Palacios Luis, Paz Fernando, Oropeza José Luis, Figueroa Benjamín, Martínez Mario, & García Adolfo. (2018). Corrector atmosférico en imágenes Landsat. [https://www.researchgate.net/publication/328622076\\_Corrector\\_atmosferico\\_en\\_imagenes\\_Landsat](https://www.researchgate.net/publication/328622076_Corrector_atmosferico_en_imagenes_Landsat)

- Pérez Bolívar. (2023, noviembre 15). 6 Familias dejan sus viviendas debido a Macrodeshlizamiento. <https://elmercurio.com.ec/2023/11/15/6-familias-dejan-sus-viviendas-debido-a-macrodeshlizamiento/>
- Quiñones Harold. (2011). Análisis de causas y efectos sociales de los deslizamientos de tierra en la Parroquia Simón Plata del Cantón Esmeraldas en los últimos 10 años. [Instituto de altos Estudios Nacionales Escuela de Gobierno y Administración Pública]. PDF. <https://repositorio.iaen.edu.ec/jspui/handle/24000/2617>
- Reyna Lizardo. (2017). Uso de teledetección y carbono orgánico del suelo para la evaluación de la degradación del bosque de Nothofagus obliqua de Chile. [Universidad de Concepción]. <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/2793>
- Rico Alfonso & Hermilo del Castillo. (2013). La Ingeniería de suelos las vías terrestres 1: Carreteras, Ferrocarriles y Autopistas. (9na ed., Vol. 3). Editorial Limusa, S.A. de C.V. [https://www.academia.edu/25685402/La\\_ingenieria\\_de\\_suelos\\_las\\_vias\\_terrestres\\_carreteras\\_ferrocarriles\\_aeropistas](https://www.academia.edu/25685402/La_ingenieria_de_suelos_las_vias_terrestres_carreteras_ferrocarriles_aeropistas)
- Roa José Gregorio. (2002). APROXIMACION AL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS DE LA CIUDAD DE TRUJILLO, VENEZUELA. <https://docplayer.es/72264892-Aproximacion-al-mapa-de-susceptibilidad-y-amenazas-por-deslizamientos-de-la-ciudad-de-trujillo-venezuela.html>
- SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS. (2012). SGR realiza inspección en deslizamiento suscitado en la vía Cuenca – Girón- Pasaje – Secretaría de Gestión de Riesgos. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/sgr-realiza-inspeccion-en-deslizamiento-suscitado-en-la-via-cuenca-giron-pasaje/>
- SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS. (2022). Trabajo articulado y respuesta por deslizamientos en Cuenca – Secretaría de Gestión de Riesgos. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/trabajo-articulado-y-respuesta-por-deslizamientos-en-cuenca/>
- Secretaría de gestión de Riesgos. (2023). Informes de Situación – Deslizamiento – Alausí, Chimborazo – Secretaría de Gestión de Riesgos. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-deslizamiento-alausi-chimborazo/>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2023). Secretaría de Gestión de Riesgos. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/>

- Sevillano Gustavo, Rodríguez Amariles, & Tapia Gustavo. (2012). ANÁLISIS DE AMENAZA POR TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA CANTÓN SANTA ELENA. PDF. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>
- Suárez Jaime. (1998). DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES. Ingeniería de Suelos Ltda. <https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=7918>
- U.S. Geological Survey. (2019). Landsat Enhanced Vegetation Index | U.S. Geological Survey [LANDSAT MISSIONS]. LANDSAT MISSIONS. [https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- Vahos Sabina. (2022). Automatización del cálculo de la amenaza por movimientos en masa a través de métodos determinísticos que involucren el modelo de lluvia-escorrentía, para la realización de estudios a escalas detalladas en Colombia. Caso de estudio: Municipio de Envigado [Universidad de San Buenaventura]. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/entities/publication/b3d35fb0-e39e-4ab1-bafa-d4df133ba00c>
- Varnes DJ. (1984). ZONACIÓN DEL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS: UNA REVISIÓN DE PRINCIPIOS Y PRÁCTICAS. *Revista Científica*, 3, 63.
- Vásquez, C. I. T. (2023). Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero en Topografía. 1.
- Villamil Julián, Pérez Uriel, & Ortiz Nidia. (2018, julio). Distribución espacial y temporal de deslizamientos (1999-2015) en la cuenca del río Combeima, Colombia. 59(2), 346-365.
- Wagner Peter, Stemberk Josef, & Rybár Jan. (2002). Landslides. 84. <https://doi.org/10.1201/9780203749197>
- Zeas Domínguez Rodrigo. (2013, junio). El Deslizamiento de la Josefina: «Tragedia Nacional». 23, 87-98.

## 11. ANEXOS

**Anexo 1** Oficio al GAD Municipal de Santa Isabel para la obtención de información.

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR



Santa Isabel, 4 de Noviembre de 2023

Doctora  
Anabel Lalvay  
ALCALDESA DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE SANTA ISABEL

Su Despacho

De nuestras consideraciones:

Reciba un atento y cordial saludo, deseándole éxitos en sus funciones diarias que viene desempeñando en el GAD de Santa Isabel. Le saludamos a las tesis de la Universidad Politécnica Salesiana; Diana Albarracín con cédula N° 010672216-8 y Alexandra Auca con cédula N°010581316-6, el presente oficio tiene como finalidad solicitar a usted señorita alcaldesa que nos proporcione información del Plan de Ordenamiento Territorial, también le pedimos encarecidamente nos facilite el transporte para podernos dirigirnos a los diferentes comunidades ya que tenemos que recopilar 100 puntos, debido a que estamos realizando nuestra Tesis de Titulación con el tema: ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS MEDIANTE TÉCNICAS GEOMÁTICAS DEL CANTÓN SANTA ISABEL, PROVINCIA DEL AZUAY (Los deslizamientos de manera general producen impactos severos como son la reducción de los recursos de la tierra, inundaciones y movimientos de ladera, que están principalmente relacionados con la aparición de derrumbes o escarpes, los cuales han impulsado cada vez más a buscar nuevas medidas de prevención y mitigación. Este proyecto servirá como aporte para la actualización del PDOT del cantón Santa Isabel correspondiente a los años actuales), con la tutoría de PhD. Estefanía Avilés Sacoto.

Por la favorable acogida le damos nuestros sinceros agradecimientos.

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR



  
Dr. Tony Viterbo  
Director de la Carrera de Ingeniería Ambiental

  
Alexandra Auca  
Tesis

  
Dra. Estefanía Avilés Sacoto  
Tutora de la Tesis de Titulación

  
Diana Albarracín  
Tesis

**Anexo 2** Evidencia fotográfica de los puntos validados en campo.





