

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**"El uso de los índices espectrales para la evaluación de
suelos húmedos de movimientos de tierra en
Ayna - Ayacucho, 2025"**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
Bach. Jehisen Clever CISNEROS CHUMBILE

ASESOR:
MSc. Ing. Saúl Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ

**AYACUCHO - PERÚ
2025**

Resumen

Estacionariamente cada año se observa los deslizamientos de tierras en los puntos de control de Ccano, Tutumbaru y Machente ocasionando grandes pérdidas materiales aveces hasta pérdidas humanas ocasionado por la baja resistencia del suelos generando movimientos de tierra, donde se logró como objetivo evaluar la estabilidad e inestabilidad de las condiciones de los movimientos de tierra, con los índices espectrales calculados donde el índice espectral NDWI= 0.2994 para el punto de monitoreo Ccano, NDWI= 0.4148 para Tutumbaru y NDWI= 0.3011 para el punto de monitoreo de Machente, nos muestran que los valores espectrales mencionados se encuentran en los rangos de valores de la inestabilidad de los movimientos de tierra en condiciones de riesgo, donde la técnica de investigación utilizada en la investigación es no experimental longitudinal con datos tomados en varios momentos de la investigación. .

Palabras clave: movimiento de tierra, deslizamiento, índices espectrales, resistencia de suelo , puntos de control.

Abstract

Seasonally, landslides are observed each year at the control points of Ccano, Tutumbaru, and Machente, causing significant material losses and, at times, even human losses. These events are caused by the low shear strength of the soils, which generates ground movements. The objective of this study was to evaluate the stability and instability conditions of ground movements using calculated spectral indices. The spectral index values obtained were NDWI = 0.2994 for the Ccano monitoring point, NDWI = 0.4148 for Tutumbaru, and NDWI = 0.3011 for the Machente monitoring point. These spectral values indicate that the studied areas fall within the value ranges associated with unstable ground movement conditions under risk scenarios. The research methodology employed was a non-experimental longitudinal design, using data collected at multiple points in time throughout the study.

Keywords: earth movement , landslide, spectral indices,soil resistance, checkpoints .

Introducción

En el presente trabajo se tiene lo siguiente:

- **Capítulo I: Planteamiento del problema.** En que medida las firmas espectrales pueden evaluar los índices espectrales de suelos húmedos que provocan movimiento de tierra y deslizamientos utilizando teledetección satelital para optimizar costos y evaluación en tiempo real?.
- **Capítulo 2: Marco Teórico.** El marco teórico nos ayuda a comprender las variables que se van operacionalizar, y a entender y desarrollar la variable a investigar es por ello que el marco teórico nos ayuda a profundizar los conceptos básicos de lo que se quiere investigar.
- **Capítulo 3: Metodología de Investigación.** El enfoque a desarrollarse es cuantitativo porque los valores de los índices espectrales son cuantificables para determinar las condiciones del suelo, El alcance de investigación es un nivel aplicativo porque la teledetección ya ha sido investigada por lo que para la presente investigación se aplicará para la cuenca de Ayna para los puntos de control de Ccano, Tutumbaru y Machente puntos críticos donde cada año hay derrumbes, el diseño de investigación es no experimental longitudinal porque la recolección de la dataset de imágenes satelitales son obtenidos para varios momentos de la investigación, La población incluida para la cuenca en estudio es la cuenca del bajo Apurimac según la Autoridad Nacional del Agua y para la muestra elegida tenemos la cuenca de Ayna delimitado del punto de interés, para la hipótesis creemos que con la teledetección y los índices espectrales generados por los satelites podemos evaluar los movimientos de tierra para mapear que lugares son altamente riesgosas.
- **Capítulo 4: Análisis de resultado de la investigación.** Se logró los siguientes resultados evaluar las condiciones de los movimientos de tierra, con los índices espectrales de $NDVI > 0.4$ con una alta vegetación generando estabilidad y un $NDVI < 2$ o negativo generando posibles deslizamiento, y para para el índice espectral $NDWI$ de -0.1 a 0.2 condiciones normales y para valores $NDWI > 0.3$ exceso de humedad o saturación con riesgo de deslizamiento y para el índice espectral $NDSI < 0.2$ áreas estables y para $NDSI > 0.4$ suelos desnudos y para el índice $NBR > 0.2$ estable y para $NBR < 0$ o negativo zona alterada o deslizada.
- **Conclusiones y recomendaciones.** Se concluye que con la presente investigación se puede monitorear los movimientos de tierra en toda la cuenca de Ayna, para poder mapear y reconocer que puntos son altamente riesgosas.
- **Referencias bibliográficas.** La investigación toma como cabecera los Paper de investigación de países donde buscar desarrollar altamente la teledetección y aplicarlos a diferentes puntos del mundo con diferentes fines.

- **Anexos** Para la presente investigación se obtuvieron panel fotográfico de campo para los puntos de control de Ccano, Tutumbaru y Machente en la cuenca de Ayna además de mapas temáticos.

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía en cada paso de este camino, por darme fortaleza en los momentos difíciles, sabiduría para seguir adelante y bendecirme con la oportunidad de cumplir uno de mis mayores sueños.

A mi madre Nancy Chumbile Salcedo, a mi padre Ever Cisneros García y a mis hermanos Joungh Cisneros Chumbile y Jesleydi Cisneros Chumbile por su apoyo y amor incondicional, por creer en mí incluso cuando dudaba, por su apoyo constante, sus consejos y sacrificios. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, institución que me brindó la oportunidad de formarme profesionalmente, proporcionándome los conocimientos y valores necesarios para desarrollarme como futuro profesional comprometido con el progreso de nuestra sociedad..

De manera especial, quiero agradecer a los docentes de la universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por su dedicación, esfuerzo y compromiso en la enseñanza. Su orientación, paciencia y vocación académica fueron fundamentales para mi aprendizaje y crecimiento personal. Cada una de sus enseñanzas ha dejado una huella significativa en mi formación profesional y humana.

A mis jurados el Msc. Ing. Jose Ernesto Estrada Cárdenas y Msc. Ing. Edmundo Canchari Gutiérrez y el Ing. Saúl Walter Retamozo Fernández, por el aporte en la mejora de la presente investigación con sus observaciones y mejoras.

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Ayacucho, 2025

Jehisen Clever Cisneros Chumbile

Índice general

Resumen	i
Introducción	ii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Índice de figuras	x
Índice de tablas	xv
Glosario	xvi
Acrónimos	xvii
Símbolos	xviii
1 Planteamiento del problema	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Delimitación del problema	2
1.2.1 Espacial	2
1.2.2 Temporal	6
1.2.3 Temática y unidad de análisis	6
1.3 Formulación del problema	6
1.3.1 Problema general	6
1.3.2 Problemas específicos	6
1.4 Justificación e importancia	6
1.5 Limitaciones o restricciones	7
1.6 Objetivos	7
1.6.1 Objetivo general	7
1.6.2 Objetivos específicos	7
2 Marco teórico	8
2.1 Antecedentes	8
2.1.1 Antecedentes internacionales	8
2.1.2 Antecedentes nacionales	9
2.2 Bases teóricas	9

2.2.1	Movimiento de tierra	9
2.2.1.1	Tipos de movimiento	10
2.3	La teledetección	17
2.3.1	Radiación electromagnética y espectro electromagnético	17
2.3.2	Tipos de teledetección	19
2.3.3	Interacción de la energía electromagnética	19
2.3.3.1	Reflexión	20
2.3.3.2	Trasmisión	21
2.3.3.3	Firma espectral	21
2.3.3.4	Refracción	22
2.3.4	Características de reflectancia de los tipos de cobertura de la Tierra	22
2.3.4.1	Vegetación	23
2.3.4.2	Agua	23
2.3.4.3	Suelo	23
2.3.5	Sensores de teledetección	24
2.3.5.1	Resolución	24
2.3.5.2	Resolución espacial	24
2.3.5.3	Resolución espectral	25
2.3.5.4	Resolución radiométrica	25
2.3.5.5	Resolución temporal	25
2.3.6	Índices para clasificar imágenes satelitales	25
2.3.6.1	Índice de cuerpos de agua y contenido de agua en las plantas	26
2.3.6.2	Índice de agua de diferencia normalizada modificada (MNDWI)	27
2.3.6.3	Índices para vegetación	27
3	Método de la investigación	29
3.1	Enfoque	29
3.2	Alcance	29
3.3	Diseño de investigación	29
3.4	Población y muestra	29
3.4.1	Población	29
3.4.2	Muestra	29
3.5	Hipótesis	30
3.5.1	Hipótesis general	30
3.5.2	Hipótesis específicas	30
3.6	Operacionalización de variables	30
3.6.1	Variables e indicadores	30

3.7	Técnicas e instrumentos	30
3.7.1	Técnicas	30
3.7.2	Instrumentos	31
3.8	Desarrollo de la Investigación	32
3.8.1	Delimitación del área de estudio	32
3.8.1.1	Cargando el formato DEM(Digital elevation modeling)	32
3.8.1.2	Uniendo los DEM para el área de estudio	32
3.8.1.3	Mosaico Unido para el área de estudio	33
3.8.1.4	Click Mosaico recortado para el área de estudio	33
3.8.1.5	Conversión de coordenada Geográfica a WGS84 UTM 18S	34
3.8.1.6	Flow Accumulation o acumulación de flujo	34
3.8.1.7	Delimitación de la cuenca en formato GRID	35
3.8.1.8	Cuenca en maskara vectorial	36
3.8.1.9	Cuenca en formato Ráster	36
3.8.1.10	Orden de la red Hídrica	37
3.8.1.11	Subcuencas	37
3.8.2	Puntos de Monitoreo	38
3.8.2.1	Punto de control Ccano	39
3.8.2.2	Punto de control Tutumbaru	40
3.8.2.3	Puntos de control Machente	40
3.8.3	Descripción de los índices espectrales	41
3.8.3.1	NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada)	41
3.8.3.2	NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)	41
3.8.3.3	SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo)	41
3.8.3.4	NBR (Índice de Quemado de Diferencia Normalizada)	41
3.8.3.5	NDSI (Índice de Nieve de Diferencia Normalizada))	42
3.8.4	Calculo de los indices espectrales para la temporada Junio	43
3.8.4.1	Calculando el indice espectral NDVI	43
3.8.4.2	Calculando el indice espectral NDWI	46
3.8.4.3	Calculando el indice espectral SAVI	49
3.8.4.4	Calculando el indice espectral NDSI	52
3.8.4.5	Calculando el indice espectral NBR	55
3.8.5	Calculo de los indices espectrales para la temporada Agosto	58
3.8.5.1	Calculando el índice espectral NDVI	58
3.8.5.2	Calculando el indice espectral NDWI de Agosto	61
3.8.5.3	Calculando el indice espectral SAVI de Agosto	64

3.8.5.4	Calculando el índice espectral NDSI de Agosto	67
3.8.5.5	Calculando el índice espectral NBR de Agosto	70
3.8.6	Detección de deslizamientos de masas entre el 2019 al 2020	73
3.8.7	Detección de deslizamientos de masas entre el 2021 al 2022	77
3.8.8	Detección de deslizamientos de masas entre el 2022 al 2023	81
3.8.9	Detección de deslizamientos de masas entre el 2023 al 2024	85
3.8.10	Detección de deslizamientos de masas entre el 2024 al 2025	89
4	Resultados	93
4.1	Análisis e interpretación	93
4.1.1	Monitoreo para el punto de control de Ccano temporada Junio	93
4.1.2	Monitoreo para el punto de control de Tutumbaru junio	94
4.1.3	Monitoreo para el punto de control de Machente temporada junio	94
4.1.4	Monitoreo para el punto de control de Ccano temporada Agosto	95
4.1.5	Monitoreo para el punto de control de Tutumbaru temporada Agosto	95
4.1.6	Monitoreo para el punto de control de Machente temporada Agosto	96
4.1.7	Estabilidad e inestabilidades de deslizamientos	97
4.1.8	Estabilidad e inestabilidades para la temporada Junio	98
4.1.9	Estabilidad e inestabilidades para la temporada Agosto	99
5	Conclusiones	100
	Conclusiones	100
5.1	Conclusiones	100
	Conclusiones	100
5.1.1	Conclusiones general	100
5.1.2	Conclusiones específicos	100
	Referencias Bibliográficas	101
A	Anexos	106
A.1	Ubicación de la cuenca Ayna	106
A.2	Delimitación de la cuenca de Ayna	107
A.3	Visita e inspección de campo	108
A.4	Obtención de datos comprados online	114

Índice de figuras

Figura 1	Mapa de ubicación de la cuenca de Ayna	3
Figura 2	Delimitación de la Cuenca de Ayna	4
Figura 3	Deslizamientos	11
Figura 4	Partes de un deslizamiento.	12
Figura 5	Partes de un deslizamiento.	12
Figura 6	Partes de un deslizamiento.	13
Figura 7	Partes de un deslizamiento.	14
Figura 8	Partes de un deslizamiento.	14
Figura 9	Partes de un deslizamiento.	15
Figura 10	Partes de un deslizamiento.	16
Figura 11	Partes de un deslizamiento.	16
Figura 12	Onda electromagnética tiene dos componentes campo eléctrico (E) y campo magnético(M) ambos perpendicular a la dirección de propagación.	17
Figura 13	Onda electromagnética tiene dos componentes campo eléctrico (E) y campo magnético(M) ambos perpendicular a la dirección de propagación.	18
Figura 14	Interacción de la energía con la superficie terrestre	20
Figura 15	Fenómeno de reflexión	20
Figura 16	Curvas típicas de reflectancia espectral para la vegetación, el suelo y el agua . .	22
Figura 17	cargando al programa SAGAGIS	32
Figura 18	Uniendo los formatos DEM para la delimitación	32
Figura 19	Mosaico creado para delimitar el área de trabajo	33
Figura 20	MOsaico recortado con herramienta Clic	33
Figura 21	Conversión de coordenadas Geográficas a UTM	34
Figura 22	Conversión de coordenadas Geográficas a UTM	34
Figura 23	Conversión de coordenadas Geográficas a UTM	35
Figura 24	Conversión de coordenadas Geográficas a UTM	35

Figura 25	Conversión de coordenadas Geográficas a UTM	36
Figura 26	Conversión de coordenadas Geográficas a UTM	36
Figura 27	Conversión de coordenadas Geográficas a UTM	37
Figura 28	Conversión de coordenadas Geográficas a UTM	37
Figura 29	Úbicación de la Cuenca Tutumbaru	38
Figura 30	Puntos de control	39
Figura 31	punto de control de Ccano	39
Figura 32	punto de control de Ccano	39
Figura 33	punto de control de Tutumbaru	40
Figura 34	punto de control de Tutumbaru	40
Figura 35	punto de control de Machente	40
Figura 36	punto de control de Machente	40
Figura 37	Índice espectral NDVI	43
Figura 38	Píxeles para el índice NDVI	44
Figura 39	banda de la longitud de onda del índice espectral NDVI	44
Figura 40	Mapa temático del índice espectral NDVI	45
Figura 41	Índice espectral NDWI	46
Figura 42	Píxeles para el índice NDWI	47
Figura 43	banda de la longitud de onda del índice espectral NDWI	47
Figura 44	Mapa temático del índice espectral NDWI	48
Figura 45	Índice espectral SAVI	49
Figura 46	Píxeles para el índice SAVI	50
Figura 47	banda de la longitud de onda del índice espectral SAVI	50
Figura 48	Mapa temático del índice espectral SAVI	51
Figura 49	Índice espectral NDSI	52
Figura 50	Píxeles para el índice NDSI	53
Figura 51	banda de la longitud de onda del índice espectral NDSI	53
Figura 52	Mapa temático del índice espectral NDSI	54
Figura 53	Índice espectral NBR	55
Figura 54	Píxeles para el índice NBR	56

Figura 55	banda de la longitud de onda del índice espectral NBR	56
Figura 56	Mapa temático del índice espectral NBR	57
Figura 57	Índice espectral NDVI	58
Figura 58	Píxeles para el índice NDVI	59
Figura 59	banda de la longitud de onda del índice espectral NDVI	59
Figura 60	Mapa temático del índice espectral NDVI	60
Figura 61	Índice espectral NDWI	61
Figura 62	Píxeles para el índice NDWI	62
Figura 63	banda de la longitud de onda del índice espectral NDWI	62
Figura 64	Mapa temático del índice espectral NDWI	63
Figura 65	Índice espectral SAVI	64
Figura 66	Píxeles para el índice SAVI	65
Figura 67	banda de la longitud de onda del índice espectral SAVI	65
Figura 68	Mapa temático del índice espectral SAVI	66
Figura 69	Índice espectral NDSI	67
Figura 70	Píxeles para el índice NDSI	68
Figura 71	banda de la longitud de onda del índice espectral NDSI	68
Figura 72	Mapa temático del índice espectral NDSI	69
Figura 73	Índice espectral NBR	70
Figura 74	Píxeles para el índice NBR	71
Figura 75	banda de la longitud de onda del índice espectral NBR	71
Figura 76	Mapa temático del índice espectral NBR	72
Figura 77	Deslizamiento potencial del 2019	73
Figura 78	Deslizamiento potencial del 2020	73
Figura 79	Píxeles de la variación del deslizamiento potencial	74
Figura 80	Bandas de la variación del deslizamiento potencial	74
Figura 81	Área de la variación del deslizamiento potencial	75
Figura 82	Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial	76
Figura 83	Deslizamiento potencial del 2021	77
Figura 84	Deslizamiento potencial del 2022	77

Figura 85	Píxeles de la variación del deslizamiento potencial	78
Figura 86	Bandas de la variación del deslizamiento potencial	78
Figura 87	Área de la variación del deslizamiento potencial	79
Figura 88	Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial	80
Figura 89	Deslizamiento potencial del 2022	81
Figura 90	Deslizamiento potencial del 2023	81
Figura 91	Píxeles de la variación del deslizamiento potencial	82
Figura 92	Bandas de la variación del deslizamiento potencial	82
Figura 93	Área de la variación del deslizamiento potencial	83
Figura 94	Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial	84
Figura 95	Deslizamiento potencial del 2023	85
Figura 96	Deslizamiento potencial del 2024	85
Figura 97	Píxeles de la variación del deslizamiento potencial	86
Figura 98	Bandas de la variación del deslizamiento potencial	86
Figura 99	Área de la variación del deslizamiento potencial	87
Figura 100	Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial	88
Figura 101	Deslizamiento potencial del 2024	89
Figura 102	Deslizamiento potencial del 2025	89
Figura 103	Píxeles de la variación del deslizamiento potencial	90
Figura 104	Bandas de la variación del deslizamiento potencial	90
Figura 105	Área de la variación del deslizamiento potencial	91
Figura 106	Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial	92
Figura 107	Valores de los índices espectrales para el punto Ccano	93
Figura 108	Valores de los índices espectrales para el punto Tutumbaru	94
Figura 109	Valores de los índices espectrales para el punto Machente	94
Figura 110	Valores de los índices espectrales para el punto Ccano	95
Figura 111	Valores de los índices espectrales para el punto Tutumbaru	95
Figura 112	Valores de los índices espectrales para el punto Machente	96
Figura 113	Mapa de ubicación de la cuenca de Ayna	106

Figura 114	Delimitación de la Cuenca de Ayna	107
Figura 115	Visita de inspección in situ	108
Figura 116	Visita de inspección in situ	109
Figura 117	Visita de inspección in situ	110
Figura 118	Visita de campo reconocimiento de los puntos de control	110
Figura 119	Visita de campo reconocimiento de los puntos de control	111
Figura 120	Visita de campo reconocimiento de los puntos de control	112
Figura 121	Visita de campo reconocimiento de los puntos de control	112
Figura 122	Visita de campo reconocimiento de los puntos de control	113
Figura 123	Obtención de datos con pago	114
Figura 124	Obtención de datos con pago	114
Figura 125	Obtención de datos con pago	115
Figura 126	Obtención de datos con pago	115

Índice de tablas

Tabla 1	Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca de Ayna	5
Tabla 2	Delimitación de las Subcuencas de Ayna de la provincia La Mar Ayacucho	5
Tabla 3	División principal de los espectros electromagnéticos	18
Tabla 4	Variables, Dimensiones, indicadores y unidades	30
Tabla 5	Resumen de los índices espectrales del mes de Junio	95
Tabla 6	Resumen de los índices espectrales del mes de Agosto	96
Tabla 7	Estimación de área para deslizamiento potencial de la cuenca de Ayna	96
Tabla 8	Patrones para la estabilidad e inestabilidad de deslizamiento	97
Tabla 9	Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Ccano	98
Tabla 10	Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Tutumbaru	98
Tabla 11	Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Machente	98
Tabla 12	Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Ccano	99
Tabla 13	Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Tutumbaru	99
Tabla 14	Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Machente	99
Tabla 15	Matriz de consistencia	116
Tabla 16	Matriz de operacionalización de variables	117

Glosario

ALOS: Advanced Land Observing Satellite (JAXA, Japón)..

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer..

AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer.

ENVISAT: Environmental Satellite Satélite Ambiental (ESA)..

Landsat: Land Satellite Satélite Terrestre (Programa NASA/USGS).

MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada..

LULC: Uso de Suelo y Cobertura Terrestre..

LUCC: Cambio de Uso y Cobertura del Suelo..

Bloque deslizante: Masa de terreno o roca que se mueve de forma relativamente coherente sobre un plano de falla o deslizamiento..

Banco: Nivel o capa en que se divide un talud o corte para facilitar la excavación o estabilidad..

Colapso: Hundimiento súbito del terreno debido a pérdida de soporte o saturación del suelo..

Corte (cut): Excavación realizada para nivelar o reducir el relieve del terreno.

Derrumbe: Movimiento rápido de masas de suelo o roca que caen libremente o ruedan pendiente abajo..

Deslizamiento: Desplazamiento de una masa de terreno sobre una superficie de falla, generalmente en sentido descendente.

Drenaje: Sistema o proceso para eliminar el agua superficial o subterránea que afecta la estabilidad del suelo..

Talud natural: Pendiente del terreno formada por procesos geológicos o erosivos sin intervención humana..

Erosión: Desgaste del suelo o roca causado por el agua, viento u otros agentes naturales.

Escarpe: Superficie expuesta o escarpada generada por un deslizamiento o corte natural...

Falla geológica: Fractura en la roca con desplazamiento de un bloque respecto al otro.

Geomorfología: Ciencia que estudia las formas del relieve terrestre y los procesos que las modelan..

Hundimiento: Movimiento descendente del terreno por consolidación, extracción de agua o colapso de cavidades..

Masa deslizante: Volumen total de material que se desplaza durante un movimiento de ladera..

Movimiento de masa: Desplazamiento de materiales superficiales bajo la influencia de la gravedad (deslizamientos, flujos, derrumbes, etc.).

Acrónimos

BSI	Bare Soil Index
EVI	Enhanced Vegetation Index
GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index
GSI	Geological Strength Index
GSI	Índice de Masa de Roca
LHM	Landslide Hazard Map
LHZ	Zona de Deslizamiento
LHZM	Mapa de zonificación de amenaza por deslizamientos
MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index
MTI	Índice de Movimiento de Tierra
NDBI	Normalized Difference Built-up Index
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NDSI	Normalized Difference Snow Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
PWP	Presión de Poros
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SCM	Modelo de Círculo de Deslizamiento
SFP	Superficie Potencial de Falla
SFP	Plano de Falla Potencial
SMA	Análisis de Movimiento de Suelos
SMR	Slope Mass Rating
UGL	Modelo de elevación digital

Símbolos

<i>C</i>	Corte (excavación)
<i>R</i>	Relleno
<i>Z</i>	Profundidad
<i>BR</i>	Depósito de excedentes
<i>BF</i>	Banco de filtración o drenaje
<i>PT</i>	Punto topográfico
<i>n</i>	Porosidad
<i>S</i>	Grado de saturación
<i>UV</i>	Ultravioleta
<i>w</i>	Contenido de agua
<i>VIS</i>	Visible
<i>B</i>	Blue
<i>G</i>	Green
<i>R</i>	Red
<i>NIR</i>	Infrarrojo cercano
<i>SWIR</i>	Infrarrojo de onda corta
<i>TIR</i>	Infrarrojo térmico
<i>MIR</i>	Infrarrojo medio
<i>UI</i>	Urban Index
<i>BSI</i>	Bare Soil Index
<i>CI</i>	Clay index
<i>UV</i>	Ultravioleta
<i>AOD</i>	Aerosol optical depth
<i>c</i>	Velocidad de la luz
<i>E</i>	Energía del fotón

h	Constante Planck
M	Exitancia radiante
L	Radiancia
I	Intensidad radiante

“Empieza por el principio,” – dijo el Rey con gravedad – “y sigue hasta llegar al final; allí te paras.”

– Lewis Carroll, *Alice in Wonderland*

1 Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

Los movimientos de tierra, tales como deslizamientos, flujos de detritos y hundimientos, representan una amenaza significativa para la seguridad de la población, la infraestructura y el medio ambiente. Uno de los factores más determinantes en la ocurrencia de estos fenómenos es la humedad presente en el suelo, ya que influye directamente en su peso unitario, cohesión y resistencia al corte. El exceso de agua reduce la estabilidad de los taludes y favorece la ocurrencia de fallas geotécnicas.

Tradicionalmente, la identificación de zonas con suelos húmedos se realiza mediante trabajos de campo, perforaciones y ensayos de laboratorio, los cuales resultan costosos, de cobertura limitada y poco oportunos frente a la dinámica de los eventos naturales. En este contexto, la teledetección y el uso de índices espectrales se presentan como una alternativa eficaz para caracterizar y monitorear la humedad del suelo de manera espacial y temporal.

Sin embargo, la aplicación de índices espectrales como el NDMI (Normalized Difference Moisture Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), LSWI (Land Surface Water Index) y otros derivados de sensores ópticos y de radar, enfrenta limitaciones técnicas y metodológicas. Entre ellas destacan la variabilidad espectral de diferentes tipos de suelos, la interferencia de la cobertura vegetal, la resolución espacial de las imágenes y la dificultad para establecer umbrales precisos que correlacionen los valores de los índices con condiciones críticas de inestabilidad.

En consecuencia, existe una brecha entre la información espectral disponible y la capacidad de predecir de manera confiable las zonas de riesgo de movimientos de tierra asociados a suelos húmedos. Este vacío dificulta la implementación de sistemas de alerta temprana, la planificación territorial y la gestión de desastres en regiones vulnerables ([Padarian et al. 2015](#)).

1.2 Delimitación del problema

1.2.1 Espacial

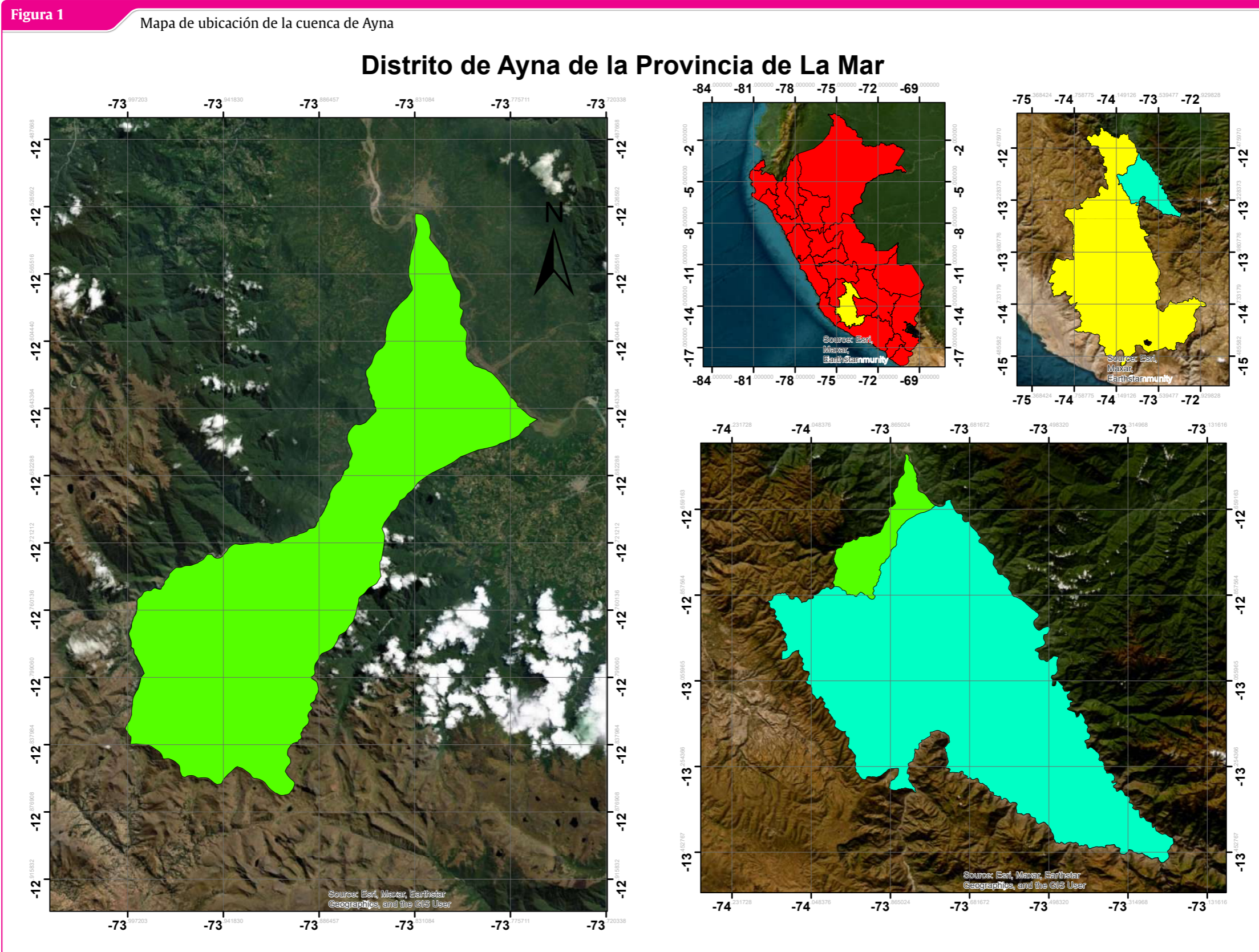
La presente investigación se realizará en:

Departamento: Ayacucho

Provincia: La Mar

Distrito: Ayna

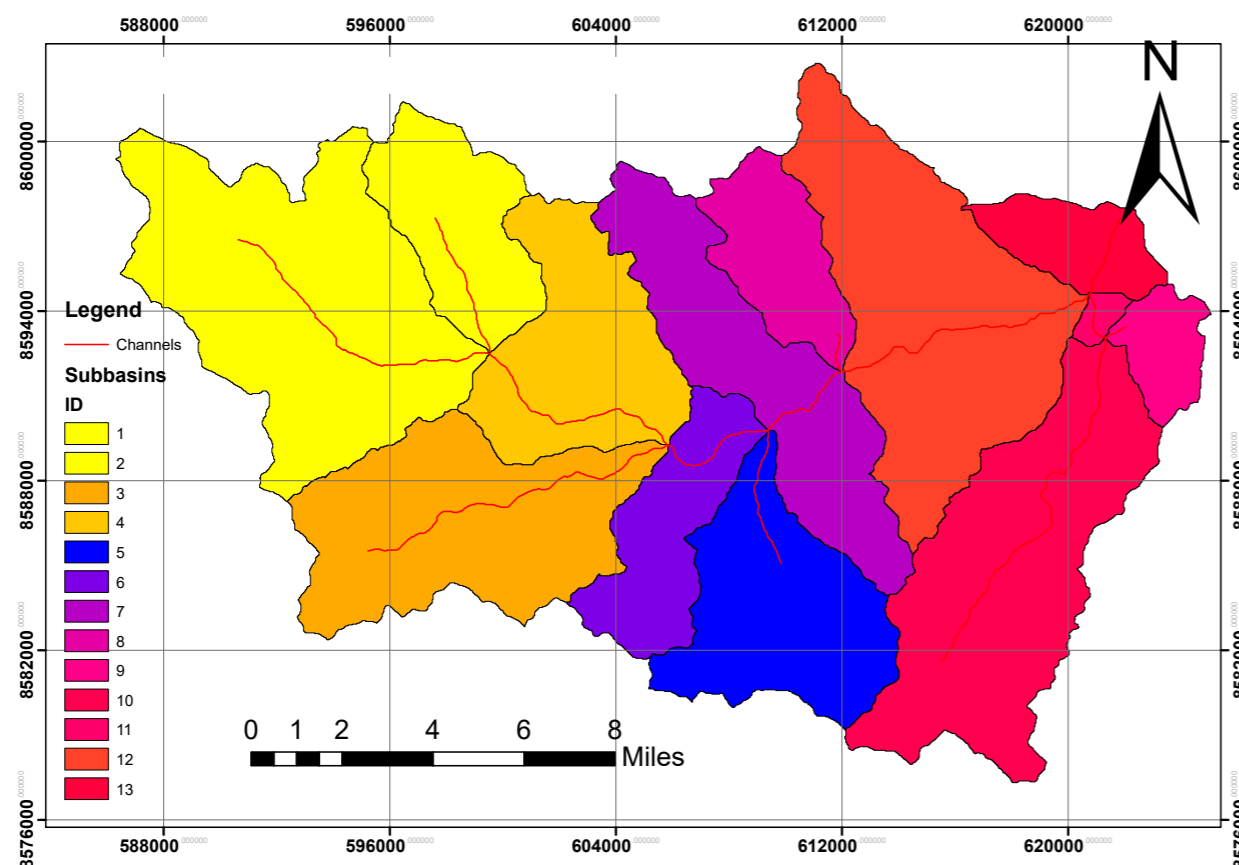
El presente trabajo esta parametrizado y se desarrolla en la cuenca de Ayna con el punto de interés y salida de la cuenca en el punto de aforo E(622261.00 m), S(8597636.00 m) donde para la presente investigación se tomará 3 puntos de control en Ccano, Tutumbaru y Machente para poder evaluar la estabilidad e inestabilidad de deslizamiento potencial para la presente investigación se menciona en la figura la ubicación de la cuenca de Ayna como se aprecia, además de la delimitación de la cuenca para la creación de mapas de índices espectrales para la evaluación de los puntos a monitorear..



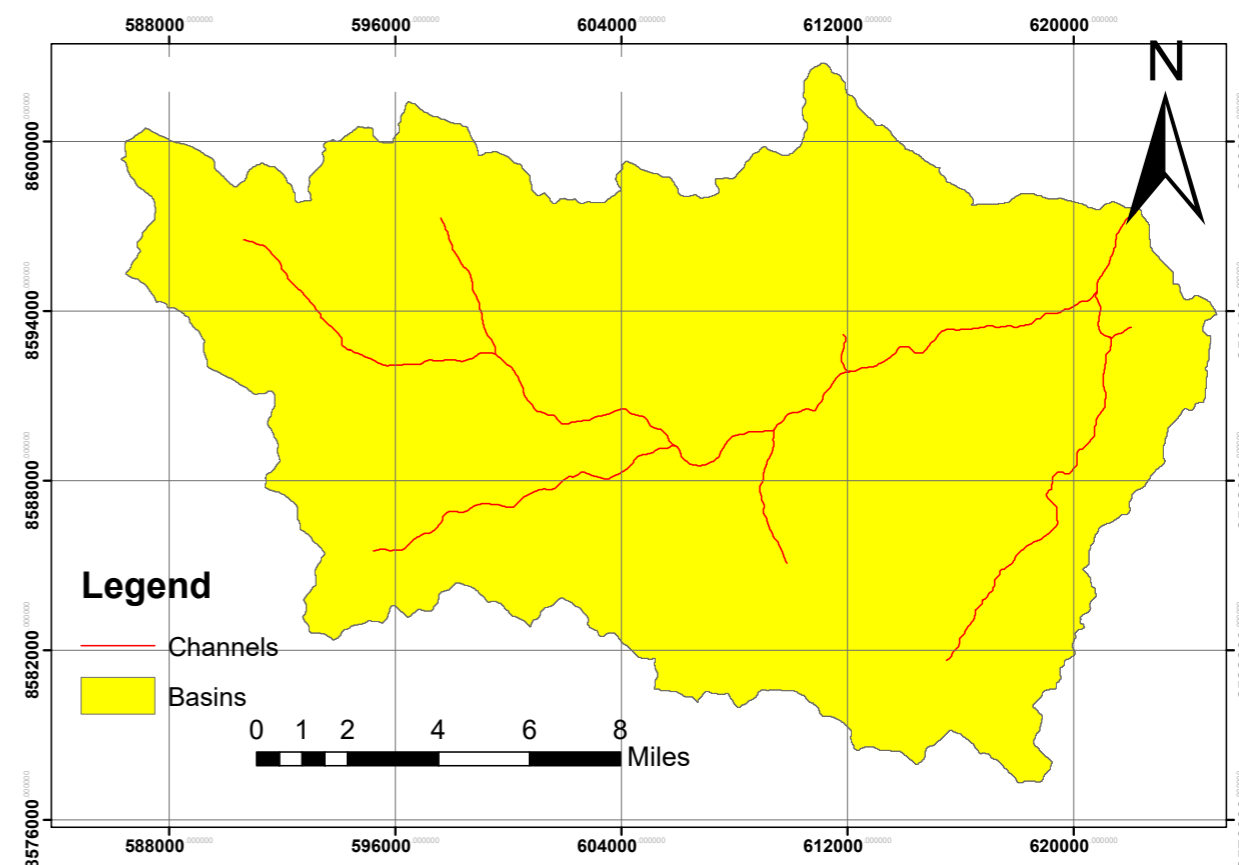
Fuente: (Sivakumar et al. 2004)

Figura 2

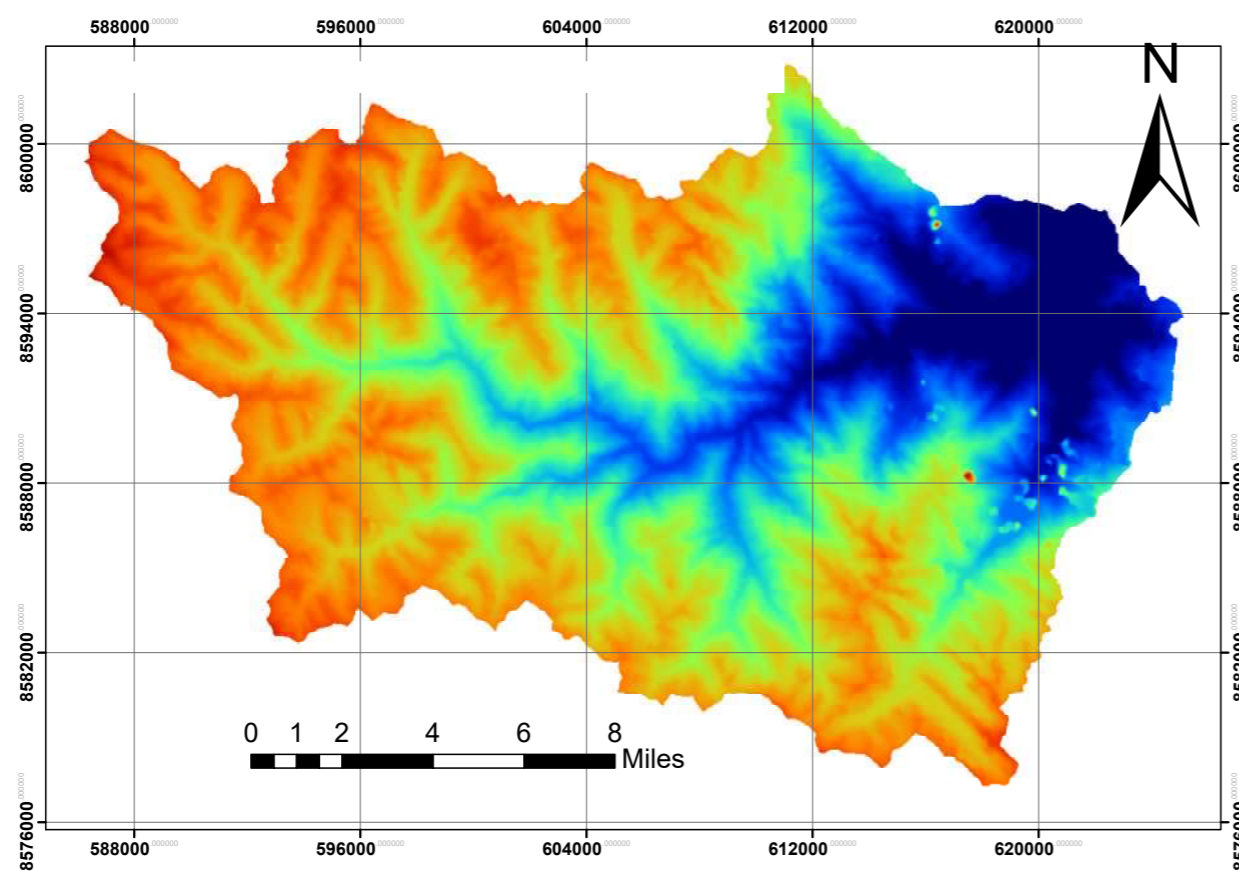
Delimitación de la Cuenca de Ayna



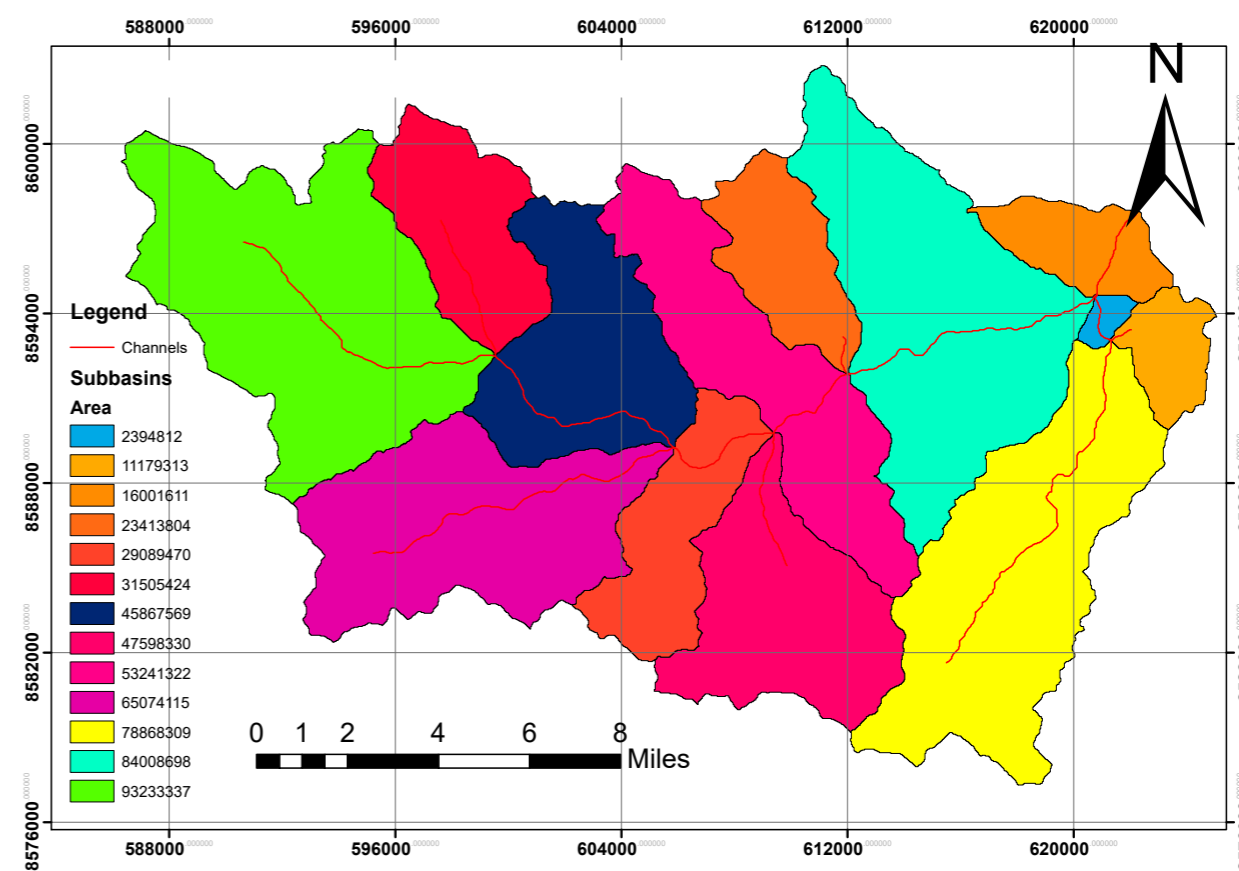
(a) Subcuencas de Ayna



(b) Delimitación de la cuenca de Ayna



(c) Formato ráster para la delimitación de la cuenca Aynau



(d) Áreas de las subcuencas de Ayna

Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca de Ayna

Son todos los parámetros que nos indican a cerca de toda la cuenca de Ayna donde se realizará la investigación tomando en cuenta nuestra área de estudio para enmarcar nuestra investigación y clasificar los usos de suelos y coberturas de suelos.

Tabla 1: Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca de Ayna

Salida X	Salida Y	Perimetro (Km)	Area(Km2)
622256.1968	8597604.615	176.018	581.48
Centroide X	Centroide Y	Elevación Media (m.s.n.m)	Elevación (m.s.n.m)
606834.0149	8590687.714	3326.171938	3532.493164
flujo Medio	flujo Máximo	Tiemp. Concentr. (Hrs)	tipo de cuenca
25131.13748	49311.39453	3.681779	rectangular

Fuente: Elaboración Propia tomado de GRASS GIS del complemento de Rbasin wikipedia

Parámetros morfométricos de las subcuenca de Ayna

Tabla 2: Delimitación de las Subcuencas de Ayna de la provincia La Mar Ayacucho

shape	ID	Perímetro (m)	Área (m2)	Centroide X	Centroide Y	elevación media(m.s.n.m)	Elevación (m.s.n.m)	flujo medio	Tiempo de concentración (Hrs)
Subcuenca1	1	67208	93233337	592807.2289	8594351.149	3944.506212	1583.130615	9769.661518	1.585397
Subcuenca2	2	34038	31505424	598424.9014	8597044.8	3863.617558	1391.709717	5917.8443	0.910671
Subcuenca3	3	54374	65074115	598529.999	8586445.532	3745.980623	1984.764404	10309.65554	1.325003
Subcuenca4	4	43152	45867569	602639.6242	8592632.889	3485.599048	1880.191406	6620.949639	0.963143
Subcuenca5	5	44702	47598330	609783.3415	8583446.842	3521.675696	1966.837646	8149.741203	0.975965
Subcuenca6	6	38440	29089470	605923.3444	8586277.5	3267.86911	1872.155029	6840.021991	0.951418
Subcuenca7	7	60078	53241322	609106.4944	8591738.102	3309.5879	2316.567505	7281.113384	1.024897
Subcuenca8	8	30504	23413804	609788.8121	8595936.784	3350.196161	2248.056397	5801.237503	0.707532
Subcuenca9	9	19096	11179313	623374.1288	8592629.988	2084.343502	1457.435669	3239.692506	0.429116
Subcuenca10	10	63674	78868309	618015.0112	8584768.435	3267.290121	3244.860596	11763.30442	1.476442
Subcuenca11	11	8246	2394812	621127.0603	8593789.053	1491.003569	829.987183	1440.95307	0.259223
Subcuenca12	12	62124	84008698	614997.9329	8594085.577	2518.559684	3283.532715	9208.382866	1.06059
Subcuenca13	13	23188	16001611	620244.6745	8596397.842	1717.94678	2505.537598	3877.917229	0.503127

Fuente: Elaboración Propia tomado de (Sivakumar et al. 2004)

1.2.2 Temporal

El estudio se llevará a cabo entre octubre y diciembre de 2025. Durante este período, la investigación se centrará en determinar los usos del suelo y sus coberturas predominantes, utilizando para ello mapas generados a partir de índices espectrales aplicados a suelos húmedos.

1.2.3 Temática y unidad de análisis

La unidad de análisis de esta investigación corresponde a los índices espectrales de los suelos húmedos de la cuenca Ayna. Específicamente, se analiza cada sector de suelo húmedo detectado mediante teledetección en dicha cuenca que presente riesgo de falla o inestabilidad debido a las precipitaciones. El punto de análisis se centra en la falla ubicada en la coordenada correspondiente a la salida de la cuenca.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿ En qué medida las firmas espectrales pueden evaluar los suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025 ?

1.3.2 Problemas específicos

- ① ¿ Se puede determinar la variación temporal de suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025 ?
- ② ¿ Se pueden realizar mapas temáticos que muestren la evaluación de los suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025 ?
- ③ ¿ Se pueden realizar la relación entre los suelos húmedos y la cobertura vegetal en Ayna - Ayacucho, 2025 ?

1.4 Justificación e importancia

El estudio se justifica porque permitirá elaborar mapas de zonas inundables en la cuenca de Ayna mediante el uso de teledetección satelital. Conocer estas áreas facilitará la toma de decisiones y la implementación de medidas para la prevención de desastres naturales.

1.5 Limitaciones o restricciones

Las limitaciones de la presente investigación están relacionadas con el uso de formatos de información geográfica como rásteres, shapefile, DEM, TIFF, entre otros, los cuales en ocasiones presentan una resolución limitada. No obstante, estos insumos serán empleados para alcanzar los objetivos planteados, garantizando un nivel de confiabilidad estadística alto en los resultados.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Aplicar las firmas espectrales para evaluar los suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025.

1.6.2 Objetivos específicos

- ① Determinar la variación temporal de suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025.
- ② Realizar mapas temáticos que muestren la evaluación de los suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025.
- ③ Analizar la relación entre los suelos húmedos y la cobertura vegetal en Ayna - Ayacucho, 2025.

“El aspecto más triste de la vida actual es que la ciencia gana en conocimiento más rápidamente que la sociedad en sabiduría.”

— Isaac Asimov

2 Marco teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según [Nocentini et al. \(2023\)](#), aunque los modelos de aprendizaje automático se han consolidado globalmente para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos, estos mapas presentan la limitación de ser exclusivamente espaciales al basarse en factores estáticos, por lo que en años recientes se han explorado metodologías que incorporan umbrales de precipitación para lograr predicciones espacio-temporales, aunque la generación de mapas dinámicos de probabilidad aún es incipiente; en este contexto, el presente trabajo contribuye a dicha brecha mediante el algoritmo Random Forest (RF), que integra un índice estático de susceptibilidad con variables dinámicas como estacionalidad y precipitación acumulada, aplicado en la Ciudad Metropolitana de Florencia (Italia), donde el cálculo del error Out-of-Bag y los gráficos de dependencia parcial permitieron validar la coherencia del modelo con los mecanismos de activación observados, siendo su objetivo principal no construir un mapa de probabilidad, sino comprender la conformación de conjuntos de entrenamiento espacio-temporales, identificar las variables de precipitación más relevantes y ensayar la aplicación dinámica del RF en pronóstico, obteniendo resultados alentadores y consistentes con procesos físicos de deslizamientos superficiales asociados a lluvias cortas e intensas, además de identificar configuraciones de referencia prometedoras para futuras aplicaciones regionales orientadas a evaluación dinámica y sistemas de alerta temprana.

Según [Luo et al. \(2024\)](#), La estabilidad temporal de la distribución de la humedad del suelo es crucial para comprender los procesos hidrológicos en taludes, pero rara vez se considera en la restauración ecológica de taludes de ingeniería. En este estudio, se evaluaron los efectos de la restauración ecológica con diferentes coberturas vegetales sobre la distribución de la humedad del suelo mediante el análisis de estabilidad temporal. Primero, se construyeron modelos de taludes ecológicos con cobertura de pasto y arbustos para explorar la distribución de la humedad del suelo en una profundidad de 0 a 100 cm. Luego, se analizaron la variabilidad espacial y la correlación de la humedad del suelo en el talud ecológico. La similitud de los patrones de distribución espacial en diferentes periodos se exploró mediante índices de estabilidad temporal. Finalmente, se identificaron y discutieron los puntos representativos de humedad del suelo para cada tipo de talud ecológico. Los resultados mostraron que la distribución de la humedad del suelo estuvo

fuertemente influenciada por la vegetación y la lluvia. La similitud de los patrones espaciales de distribución en taludes ecológicos con distintas coberturas vegetales difirió entre sí, debido a sus efectos hidrológicos. La distribución espacial de la humedad fue menos estable en el tiempo bajo cobertura de *Cynodon dactylon*, mientras que mostró mayor estabilidad bajo *Magnolia multiflora*. Con base en la diferencia relativa y el índice de estabilidad temporal, la mayoría de los puntos representativos se ubicaron en la parte superior del talud, seguidos por la zona media. El estudio proporciona una base teórica para el diseño racional de puntos de monitoreo de humedad del suelo y una guía práctica para la restauración ecológica de taludes de ingeniería.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Según [Jalcao y Cruz \(2024\)](#), en la investigación: Evaluación por riesgos por deslizamiento de tierra en las viviendas del AA.HH. Nuevo Amanecer, Distrito de San Juan de Lurigancho, Lima -2024, menciona que tuvo como objetivo evaluar los riesgos por deslizamiento de tierra en las viviendas del AA. HH Nuevo Amanecer, distrito de San Juan de Lurigancho, Lima – 2024. Para lo cual se consideró como base el manual de CENEPRED para determinar los niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos. De tal manera, la metodología fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, transversal – descriptivo; se utilizó como población de estudio a 102 viviendas. Los resultados de investigación mostraron que, el nivel de peligrosidad en las viviendas de la zona fue de 5.88% nivel muy alto, 12.75% de nivel alto, 41.18% de nivel medio y 40.19% de nivel bajo. Respecto al nivel de vulnerabilidad, se obtuvo 27.45% de nivel muy alto y 72.55% de nivel alto. Asimismo, los niveles de riesgo se obtuvieron 7.84% nivel muy alto, 17.65% nivel alto, 50% nivel medio y 24.51% nivel bajo. En conclusión, las viviendas muestran una construcción inadecuada, debido a la falta de materiales resistentes y escasa planificación urbana. Además, las viviendas ubicadas en los sectores más elevados y de difícil acceso son las más vulnerables, dado que carecen de infraestructura de soporte y rutas de evacuación claras.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Movimiento de tierra

El relieve y la forma de las laderas son modelados por procesos geológicos y climáticos, ajustándose continuamente para buscar el equilibrio. Cuando las condiciones cambian, la ladera se modifica, y es en este proceso donde ocurren los movimientos de ladera o deslizamientos, que son esencialmente reajustes del terreno para alcanzar una nueva estabilidad. Las zonas más propensas a la inestabilidad son las montañosas, las de fuerte erosión, los valles fluviales, los acantilados costeros, las áreas con materiales blandos o rocas alterables (como arcillas y esquistos), y las regiones sísmicas o de

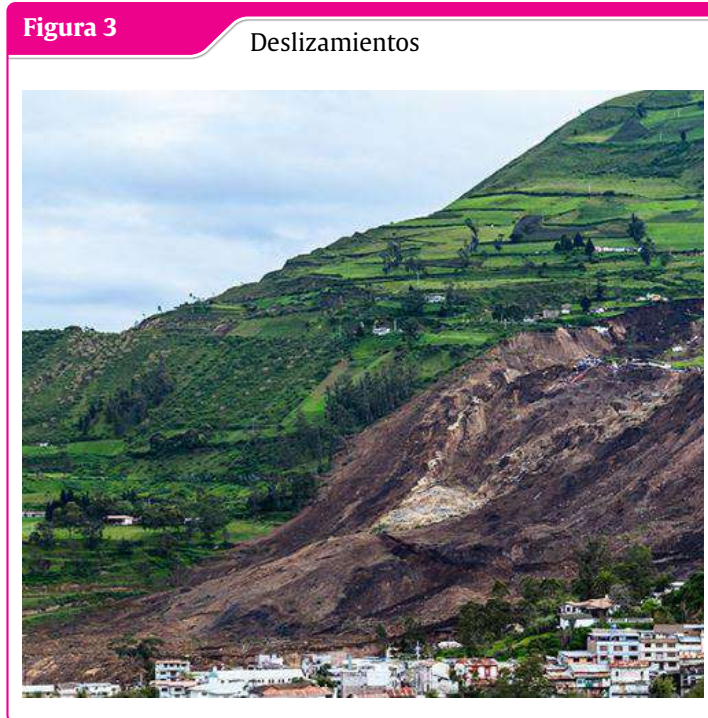
alta precipitación. El estudio de estos movimientos tiene una estrecha relación con el análisis de la estabilidad de taludes (de Vallejo et al. 2002).

2.2.1.1 Tipos de movimiento

Para estudiar los movimientos de ladera, se utilizan clasificaciones que consideran principalmente dos aspectos: el tipo de material que se desplaza (diferenciado en roca, derrubio o suelo) y el mecanismo que provoca la rotura, sin olvidar factores como la humedad del terreno, la velocidad del movimiento o su magnitud. En este campo, destacan las clasificaciones de autores como Varnes, Hutchinson son herramientas clave para analizar estos fenómenos y el comportamiento de los materiales implicados. Además, existen sistemas más específicos diseñados para ciertos materiales, como las arcillas, o para tipos concretos de movimiento, como los flujos. Las imágenes ofrecen una visión simplificada de estas tipologías, organizando los distintos movimientos de ladera según el mecanismo de rotura y la naturaleza del material afectado (de Vallejo et al. 2002).

Deslizamientos

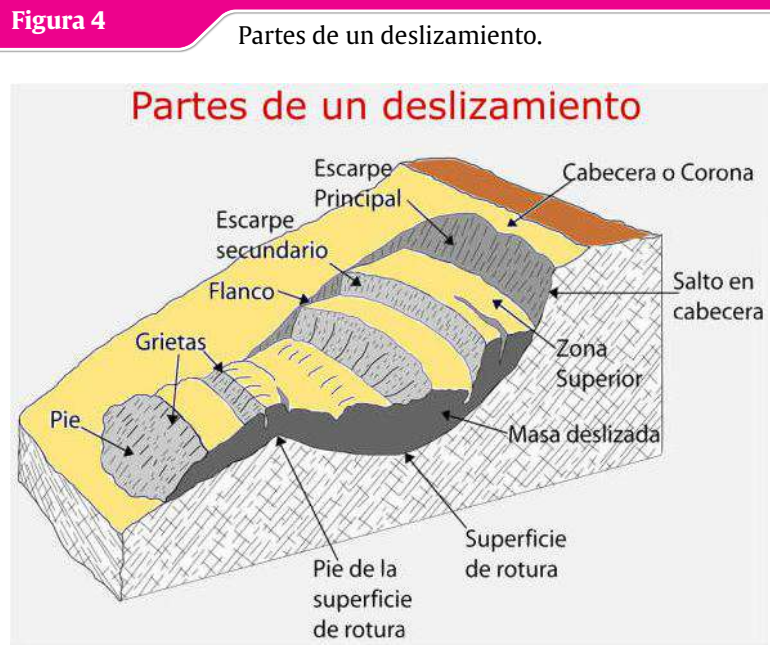
Son movimientos masivos de suelo o roca que se desplazan como una unidad coherente sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. Este fenómeno ocurre cuando se supera la resistencia al corte del material. Suelen caracterizarse por ser rápidos y alcanzar volúmenes considerables, de hasta varios millones de metros cúbicos. Bajo ciertas condiciones, como la pérdida de resistencia, un alto contenido de agua o pendientes pronunciadas, la masa desplazada puede no estabilizarse al pie de la ladera. En estos casos, puede continuar su recorrido cientos de metros a velocidades muy elevadas, transformándose en un flujo o incluso dando lugar a una avalancha rocosa (de Vallejo et al. 2002)..



Fuente: de Vallejo et al. (2002)

partes del Deslizamientos

- ☞ Cabecera o corona
- ☞ Escarpe principal
- ☞ Escarpe secundario
- ☞ Flanco
- ☞ Grietas
- ☞ Pie
- ☞ Pie de la superficie de rotura
- ☞ Superficie de rotura
- ☞ Zona superior
- ☞ Masa de tierra deslizada

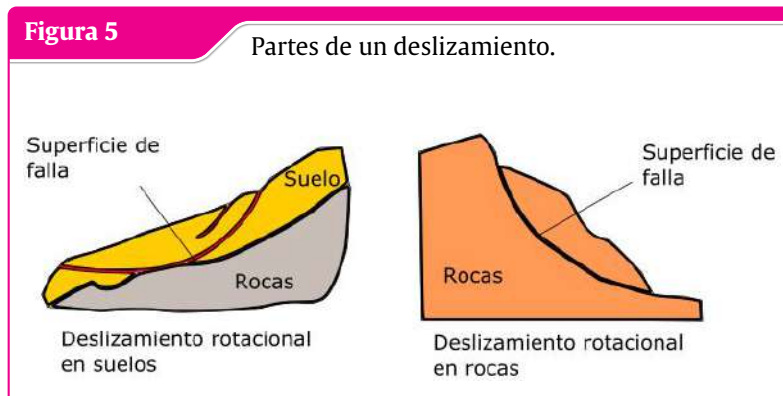


Fuente: de Vallejo et al. (2002)

Tipos de deslizamiento

Deslizamientos rotacionales

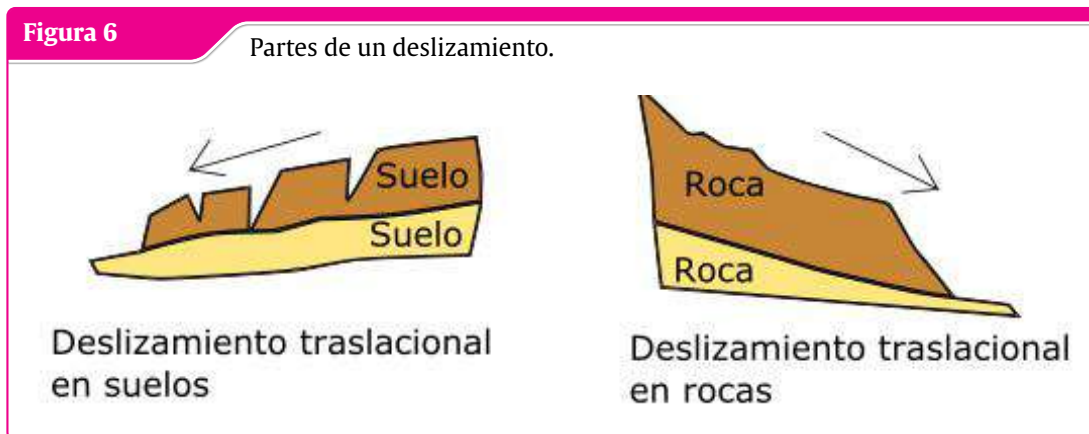
La ruptura, ya sea superficial o profunda, ocurre a lo largo de un plano de falla curvo o con forma de cuchara, lo que provoca que la masa de terreno gire sobre sí misma y se fragmente en bloques independientes que se deslizan entre sí, generando un relieve escalonado con superficies inclinadas hacia la ladera y grietas de tracción estriadas. Estos movimientos, que pueden alcanzar desde decenas hasta cientos de metros de longitud y anchura, y clasificarse como superficiales o profundos con un límite aproximado de 10 metros, desplazan el material hacia la base de la pendiente, donde se acumula formando un depósito lobular con grietas de tracción transversales. Dependiendo de las propiedades del suelo y su grado de saturación, este depósito puede evolucionar y transformarse en flujos. (de Vallejo et al. 2002).



Fuente: de Vallejo et al. (2002)

Deslizamientos traslacionales

Los deslizamientos traslacionales se producen cuando la rotura aprovecha planos de debilidad preexistentes en el terreno, como estratificaciones, contactos litológicos o estructuras geológicas, donde a menudo una delgada capa de arcilla entre estratos más resistentes actúa como superficie de falla. Aunque su profundidad suele ser limitada, estos movimientos pueden alcanzar gran extensión lateral y recorrer distancias considerables, afectando tanto a suelos como a rocas; en estas últimas, las masas desplazadas suelen corresponder a bloques rectangulares delimitados por discontinuidades o grietas de tracción, dando lugar a los denominados deslizamientos de bloques. El desplazamiento puede ocurrir de forma impulsiva o en fases sucesivas, influenciado por las variaciones de resistencia a lo largo del plano de deslizamiento, el cual no requiere necesariamente una pendiente pronunciada, y debido a su mecanismo cinemático, estos deslizamientos suelen alcanzar velocidades superiores a las de los rotacionales (de Vallejo et al. 2002).



Fuente: de Vallejo et al. (2002)

Flujos

Los flujos o coladas son movimientos en masa de suelo, derrubios o fragmentos de roca que, al estar altamente saturados en agua, adquieren un comportamiento fluido y se deforman de forma continua sin mostrar planos de rotura definidos, siendo el agua el principal agente desencadenante al reducir drásticamente la resistencia de materiales poco cohesivos. Este fenómeno afecta especialmente a suelos arcillosos susceptibles, que pierden gran parte de su resistencia al ser movilizados, y presenta una morfología similar a la de un glaciar, caracterizándose por ser poco profundo en relación con su extensión, pudiendo incluso producirse en laderas con pendientes inferiores a 10° y desplazarse a lo largo de varios kilómetros (de Vallejo et al. 2002).



Fuente: de Vallejo et al. (2002)

Desprendimientos

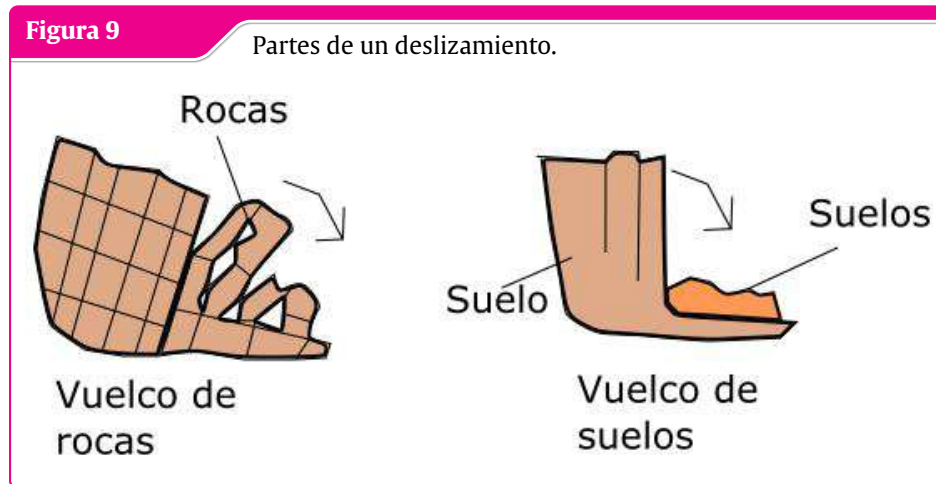
Los desprendimientos consisten en la caída libre y repentina de bloques o masas de roca que se separan de la matriz principal a través de planos de discontinuidad preexistentes, como fallas, estratificación o grietas de tracción, siendo frecuentes en laderas escarpadas, acantilados y paredes rocosas donde suelen presentarse como cuñas o bloques delimitados por múltiples familias de discontinuidades. Factores como la erosión basal, la infiltración de agua en las grietas o los movimientos sísmicos actúan como desencadenantes, y aunque el volumen desprendido puede ser pequeño, su naturaleza imprevisible los convierte en una amenaza significativa para infraestructuras y edificaciones en zonas montañosas o al pie de acantilados. Este tipo de movimiento también puede ocurrir en suelos de taludes verticales, generalmente aprovechando grietas de tracción originadas por el estado tensional del terreno o por retracción debida a la desecación (de Vallejo et al. 2002).



Fuente: de Vallejo et al. (2002)

Vuelcos

Los vuelcos de estratos o fragmentos de roca, categorizados como un tipo de desprendimiento, ocurren cuando las capas geológicas presentan una inclinación opuesta a la de la ladera, ya sea debido a su fragmentación en bloques discretos o a la rotura de la zona de soporte en la base. Este mecanismo de inestabilidad es característico de frentes rocosos donde los estratos se encuentran en posición vertical o subvertical. (de Vallejo et al. 2002).



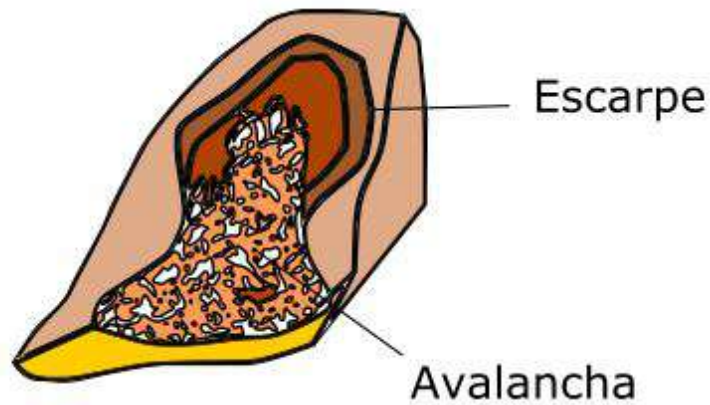
Fuente: de Vallejo et al. (2002)

Avalanchas

Estos fenómenos, clasificados en algunos sistemas como desprendimientos o movimientos complejos, son extremadamente rápidos e implican la caída de masas de roca o derrubios desde laderas escarpadas, pudiendo incorporar hielo y nieve. Durante el descenso, las rocas se fragmentan y pulverizan, generando depósitos caóticos con bloques de tamaños heterogéneos, carentes de estructura interna, con abrasión mínima y una elevada porosidad. Las avalanchas suelen originarse a partir de deslizamientos o desprendimientos de gran escala que, debido a la fuerte pendiente y la baja cohesión del material, se desplazan a velocidades que pueden superar los 100 km/h, incluso en ausencia de agua. Esta alta velocidad se explica por la reducción de la fricción, causada por el aire atrapado entre los fragmentos. Factores como la lluvia, el deshielo, la actividad sísmica o las erupciones volcánicas pueden actuar como detonantes de estos procesos. (de Vallejo et al. 2002).

Figura 10

Partes de un deslizamiento.



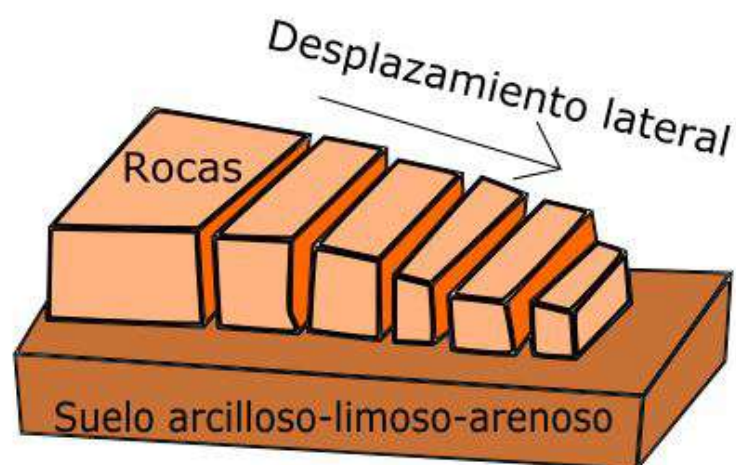
Fuente: de Vallejo et al. (2002)

Desplazamientos laterales

Este tipo de movimiento, denominado en algunas clasificaciones como extensión lateral o lateral spreading, consiste en el desplazamiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente y cementado que descansan sobre un material blando y deformable, desplazándose muy lentamente incluso en pendientes muy suaves. El fenómeno se origina por la pérdida de resistencia del material subyacente, que fluye o se deforma bajo el peso de los bloques rígidos, pudiendo también ser causado por licuefacción del estrato inferior o por extrusión lateral de arcillas blandas y húmedas. Estos movimientos, que pueden alcanzar gran extensión en laderas de poca pendiente, provocan la fragmentación de las capas superiores, generando grietas, desplazamientos diferenciales y vuelcos, lo que confiere a las zonas afectadas un aspecto caótico (de Vallejo et al. 2002).

Figura 11

Partes de un deslizamiento.



Fuente: de Vallejo et al. (2002)

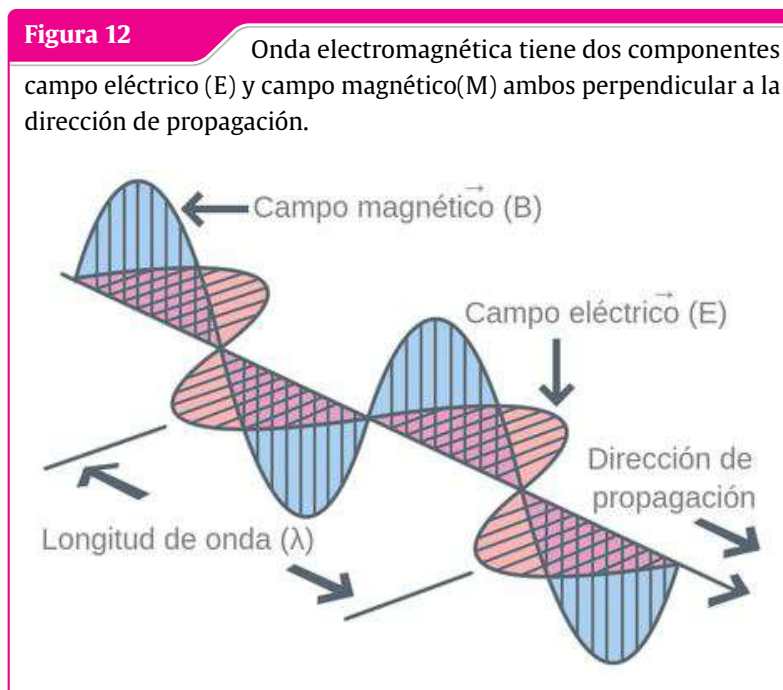
2.3 La teledetección

La teledetección, también conocida como observación terrestre, consiste en obtener información sobre objetos o áreas de la superficie del planeta a partir de imágenes satelitales captadas mediante sensores que operan en distintas bandas del espectro electromagnético. Estas técnicas permiten registrar la superficie en diversas longitudes de onda: algunas imágenes recogen la radiación solar reflejada en el visible e infrarrojo cercano, mientras que otras captan la energía emitida por la propia Tierra en el infrarrojo térmico. En la región de las microondas, la energía medida proviene del retorno de una señal transmitida desde el propio sensor, lo que se denomina teledetección activa, al depender de una fuente de energía propia de la plataforma. En cambio, los sistemas que utilizan una fuente externa, como la radiación solar, reciben el nombre de teledetección pasiva.

2.3.1 Radiación electromagnética y espectro electromagnético

Según Sivakumar et al. (2004) La radiación electromagnética consiste en energía que se desplaza mediante ondas a una determinada velocidad de $c = 3 * 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$. Uno de los parámetros fundamentales que describe el movimiento ondulatorio es la longitud de onda como se representa en la ecuación:

$$c = v \cdot \lambda \quad (2.1)$$



Fuente: (Sivakumar et al. 2004)

La radiación electromagnética se propaga siguiendo los principios de la teoría ondulatoria, la cual la representa viajando de manera sinusoidal y armónica a la velocidad de la luz. Si bien esta

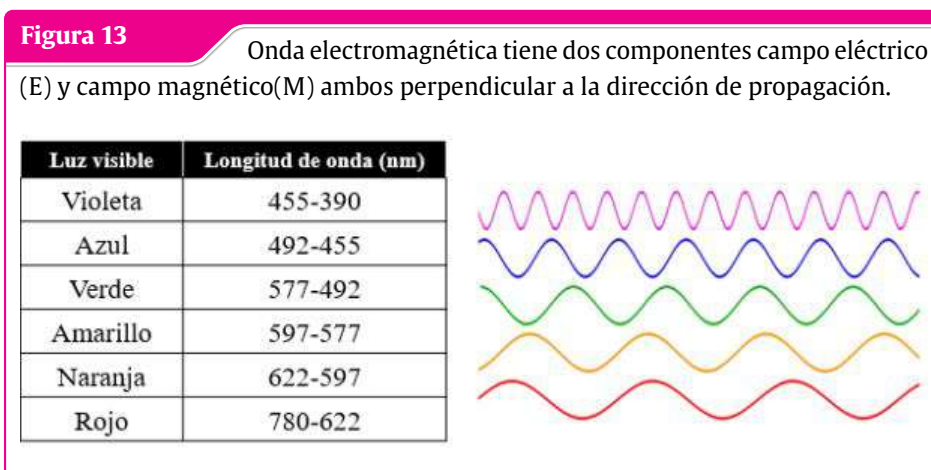
teoría explica adecuadamente numerosas propiedades de la energía electromagnética, la teoría corpuscular o de partículas proporciona una perspectiva complementaria sobre su interacción con la materia. Esta última postula que la radiación está constituida por numerosas unidades discretas denominadas fotones o cuantos. La energía de un fotón se calcula mediante la expresión:

$$Q = \frac{hc}{\lambda} = h * \nu \tag{2.2}$$

Donde:

Q es la energía del quantum.

h = constante de Planck's .



Fuente: (Sivakumar et al. 2004)

Tabla 3: División principal de los espectros electromagnéticos

Longitud de onda	Descripción
Rayos Gamma	Rayos Gamma
Rayos X	Rayos X
Ultravioleta(UV) región 0.30 μm-0.38μm (1μm=10E-6m)	Esta región está más allá de la porción violeta de la longitud de onda y de ahí su nombre. Algunos materiales de la superficie terrestre superficie de la Tierra, principalmente rocas y minerales, emiten visible. Sin embargo, la radiación UV se dispersa en gran medida por la atmósfera terrestre y, por tanto, no se utiliza en el campo de la teledetección.
Espectro Visible 0.40 μm-0.7μm Violeta 0.40 μm-0.446μm	El espectro infrarrojo comprende las longitudes de onda más largas que las correspondientes a la luz roja visible, y fue descubierto por el astrónomo británico

Azul 0.446 μm - 0.5 μm	William Herschel. Esta region se divide en dos categorías según sus propiedades: el infrarrojo reflejado, que abarca de 0.7 μm a 3.0 μm y se emplea en teledetección, y el infrarrojo térmico, que va de 3 μm a 35 μm y corresponde a la radiación emitida por la superficie terrestre en forma de calor, siendo también utilizado en aplicaciones de teledetección para diferente índices espectrales.
Verde 0.5 μm - 0.578 μm	
Amarillo 0.578 μm - 0.592 μm	
Anaranjado 0.592 μm - 0.62 μm	
Rojo 0.62 μm - 0.7 μm	
Infrarojo(IR) espectro 0.7 μm - 100 μm	Esta porción del espectro corresponde a las longitudes de onda más largas empleadas en teledetección, donde las más cortas dentro de este rango presentan un comportamiento similar al infrarrojo térmico. Su principal ventaja radica en la capacidad de atravesar las nubes, lo que permite la observación de la superficie terrestre.
Ondas de radio (>1m)	Esta banda, que corresponde a la porción más larga del espectro, se emplea fundamentalmente en aplicaciones meteorológicas.

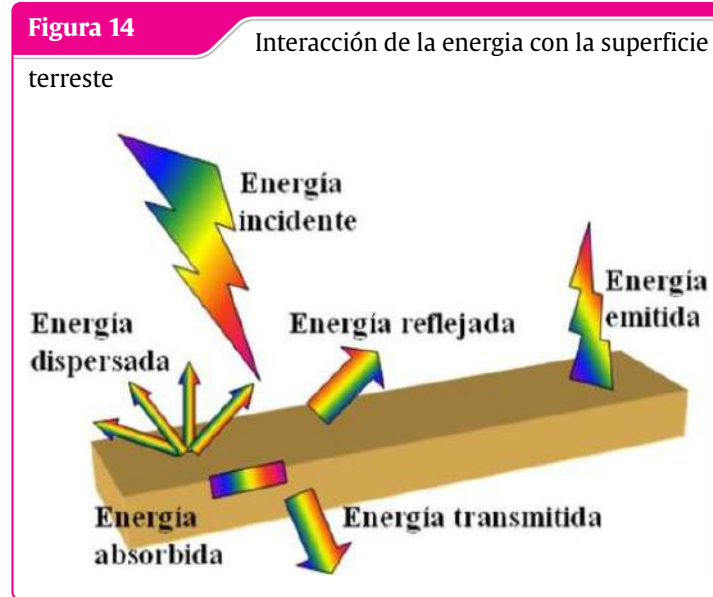
Fuente: Elaboración Propia tomado de (Sivakumar et al. 2004)

2.3.2 Tipos de teledetección

Según (Sivakumar et al. 2004), existen dos modalidades de teledetección: la activa, donde los sistemas disponen de una fuente de energía propia (como el RADAR), y la pasiva, que depende de una fuente externa, como la radiación solar, o de la emisión natural de los objetos para captar información.

2.3.3 Interacción de la energía electromagnética

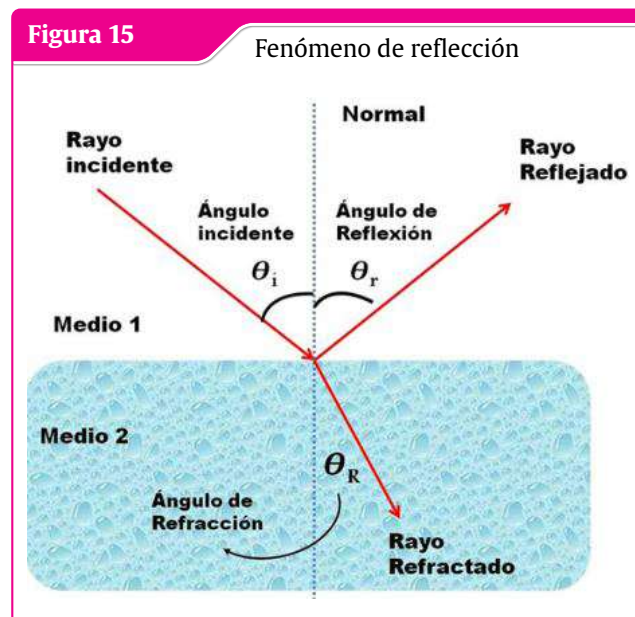
La interacción de la radiación solar con la superficie terrestre genera procesos de reflexión, transmisión, absorción y reemisión de energía. Cuando la energía electromagnética interactúa con los objetos, experimenta modificaciones en sus propiedades físicas como longitud de onda, polarización, dirección, y fase. Estas alteraciones son captadas por los sensores remotos, permitiendo extraer información relevante sobre los elementos observados. Los productos de teledetección integran simultáneamente información espacial (atributos geométricos como dimensiones, forma y orientación) y espectral (características cromáticas, tonalidades y firmas espectrales distintivas) (Sivakumar et al. 2004).



Fuente: (Sivakumar et al. 2004)

2.3.3.1 Reflexión

En el ámbito de la teledetección, las reflexiones que ocurren en la superficie constituyen el tipo de interacción más significativo dentro del espectro de reflexión. Este proceso físico se manifiesta cuando la luz incidente cambia de dirección al encontrar un material no transparente. La magnitud de la energía reflejada varía en función de propiedades ópticas del material como su índice de refracción y capacidad de absorción, además de la geometría definida por los ángulos de llegada y salida del haz luminoso.



Fuente: (Sivakumar et al. 2004)

2.3.3.2 Trasmisión

Se habla de transmisión de la radiación cuando esta logra atravesar una sustancia sin experimentar una atenuación considerable. La transmitancia es la magnitud que cuantifica, para un espesor o profundidad determinados, la capacidad de dicho medio para permitir el paso de la energía (τ).

$$\tau = \frac{\text{Radiacion transmitida}}{\text{Radiacion de incidencia}} \quad (2.3)$$

2.3.3.3 Firma espectral

La reflectancia espectral, denotada como $[p(\lambda)]$, se define como la proporción entre la energía lumínica reflejada y la energía incidente para cada longitud de onda. Esta propiedad varía significativamente entre los distintos materiales de la cobertura terrestre, determinando el color o tonalidad que presentan en una imagen fotográfica. Por ejemplo, la vegetación arbórea adquiere su característico color verde debido a que refleja preferentemente las longitudes de onda correspondientes a ese segmento del espectro. Cuando se promedian estos valores de reflectancia en bandas espectrales específicas, se obtiene la denominada firma espectral, que actúa como un identificador único para cada tipo de objeto. La compilación sistemática de estas características espectrales en elementos naturales constituye el fundamento esencial para la correcta interpretación de las imágenes multiespectrales. (Sivakumar et al. 2004).

La capacidad de reflexión de un elemento de la superficie terrestre varía según la longitud de onda, presentando valores distintos en diferentes bandas del espectro electromagnético. Este comportamiento óptico característico de los objetos se cuantifica mediante la reflectancia espectral, la cual se define matemáticamente mediante la siguiente expresión:

$$p(\lambda) = \frac{E_R(\lambda)}{E_1(\lambda)} * 100 \quad (2.4)$$

Donde:

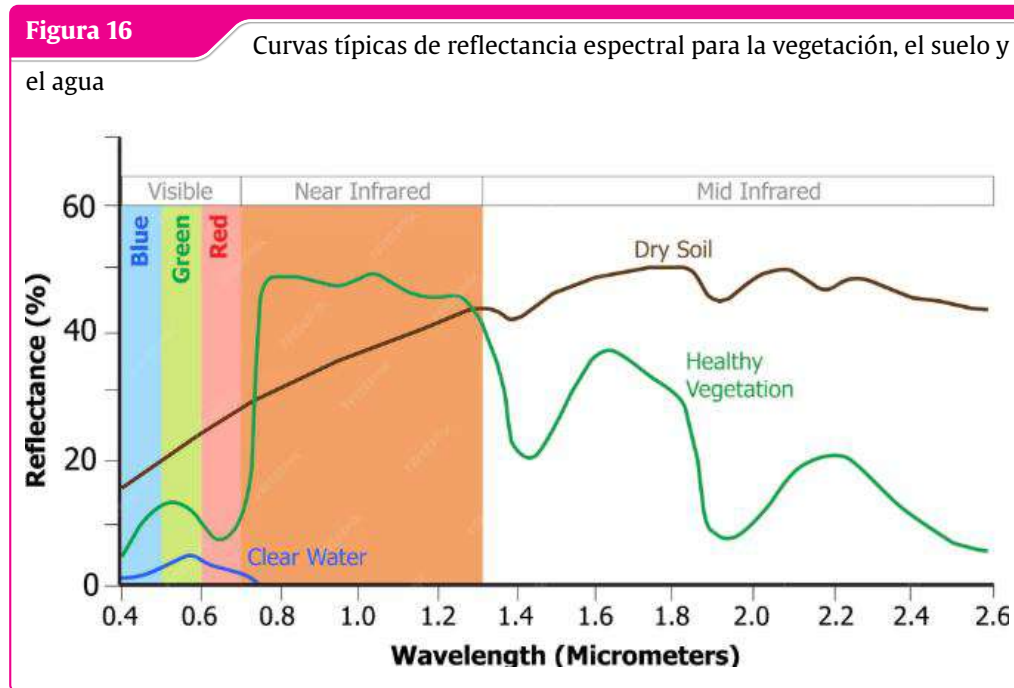
$p(\lambda)$ = Reflectancia espectral (reflectividad) en una determinada longitud de onda.

$E_R(\lambda)$ = Energía de la longitud de onda reflejada por el objeto

$E_1(\lambda)$ = Energía de la longitud de onda que incide sobre el objeto

La representación gráfica de la relación entre $p(\lambda)$ y λ constituye una curva de reflectancia espectral. Esta curva presenta variaciones según la composición química y el estado físico de los materiales, generando un espectro de valores diferenciado. Los patrones de reflectancia individuales se promedian para establecer un modelo representativo, conocido como patrón de respuesta

espectral generalizado para cada elemento. El concepto de firma espectral describe precisamente este patrón único de reflectancia que identifica inequívocamente un tipo de cobertura terrestre. La figura adjunta ilustra las curvas espectrales características de tres cubiertas superficiales fundamentales: vegetación en estado saludable, suelo árido sin cubierta vegetal (de tonalidad gris-parduzca y textura limosa) y aguas lacustres con alta transparencia. (Sivakumar et al. 2004).



Fuente: (Sivakumar et al. 2004)

2.3.3.4 Refracción

El fenómeno de refracción, que consiste en la desviación de la trayectoria luminosa al cruzar la interfaz entre dos medios, ocurre igualmente en la atmósfera cuando la luz atraviesa capas aéreas con diferencias de transparencia, humedad y temperatura. Estas variaciones modifican la densidad de las capas atmosféricas, generando como consecuencia la curvatura de los haces de luz al transitar entre ellas. Las manifestaciones más frecuentes de este principio óptico son los espejismos, que suelen hacerse visibles en el horizonte durante los días calurosos de verano. (Sivakumar et al. 2004).

2.3.4 Características de reflectancia de los tipos de cobertura de la Tierra

Las características espectrales de las tres principales características de la superficie terrestre son las siguientes:

2.3.4.1 Vegetación

El comportamiento espectral de la vegetación presenta variaciones significativas a lo largo del espectro electromagnético. La clorofila, pigmento predominante en las hojas, absorbe intensamente la radiación en las bandas del rojo y el azul, mientras que refleja predominantemente las longitudes de onda verdes. Por otra parte, la estructura celular interna del follaje saludable funciona como un reflector difuso eficiente en la región del infrarrojo cercano. La cuantificación y monitoreo de la reflectancia en esta banda espectral constituye uno de los métodos fundamentales que utilizan los investigadores para evaluar el estado fitosanitario de la cobertura vegetal (Sivakumar et al. 2004).

2.3.4.2 Agua

El cuerpo de agua presenta un comportamiento óptico particular donde la mayor parte de la energía incidente es absorbida o transmitida en lugar de reflejada. Las longitudes de onda más extensas del espectro visible y la radiación infrarroja cercana experimentan una absorción más intensa que las bandas espectrales más cortas. Esta propiedad explica la coloración azulada o verde-azulada característica del agua, resultado de su mayor reflectancia en las longitudes de onda cortas, mientras que en el rojo e infrarrojo cercano aparece notablemente más oscura. La reflectancia de una masa de agua está sujeta a variaciones determinadas por factores como la profundidad, la presencia de materiales en suspensión y el grado de rugosidad superficial (Sivakumar et al. 2004).

2.3.4.3 Suelo

La interacción de la radiación con la superficie del suelo se caracteriza principalmente por procesos de reflexión y absorción, con una transmisión energética mínima. Las propiedades reflectantes del terreno están determinadas por múltiples factores como la humedad presente, el contenido de materia orgánica, la textura, la estructura del suelo y la concentración de óxidos de hierro. La curva espectral del suelo se distingue por presentar menos fluctuaciones pronunciadas en comparación con otros elementos, mientras que el aumento de humedad reduce significativamente su reflectancia. La construcción de firmas espectrales específicas se logra midiendo la energía reflejada por los objetos terrestres en múltiples longitudes de onda. Esta técnica permite diferenciar entre diversos elementos mediante la comparación de sus patrones de respuesta espectral, lo que resultaría imposible analizando una sola banda del espectro. Un ejemplo ilustrativo es la similitud entre agua y vegetación en el rango visible, contraste que se hace evidente al examinar su comportamiento diferenciado en la región infrarroja (Sivakumar et al. 2004).

2.3.5 Sensores de teledetección

Un sensor es un dispositivo que capta energía, como la radiación electromagnética, la convierte en señal y la traduce en información útil sobre el objeto observado. Según la fuente de energía que emplean, los sensores se clasifican en activos y pasivos. Los activos poseen su propia fuente de iluminación, con la cual irradian la superficie terrestre y luego detectan la fracción reflejada para obtener datos. En cambio, los pasivos dependen de una fuente externa, como la radiación solar reflejada por la superficie o la energía emitida naturalmente por los objetos, por lo que —salvo en el caso de los sensores térmicos no pueden operar durante la noche. Tanto los sensores activos como los pasivos pueden ser de tipo imagen, como cámaras y escáneres que generan representaciones visuales del terreno, o no imagen, como radiómetros fijos y sondas diseñadas para realizar mediciones atmosféricas (Rafik Bouhennache y Chaddad, 2018).

2.3.5.1 Resolución

La resolución se conceptualiza como la aptitud de un sistema de teledetección para discriminar y representar los detalles más finos en diversas dimensiones de medición. Esta capacidad se manifiesta en cuatro modalidades principales: la separación de elementos cercanos en el espacio (resolución espacial), la distinción entre intervalos específicos del espectro electromagnético (resolución espectral), la capacidad de registrar cambios a través del tiempo (resolución temporal) y la sensibilidad para detectar mínimas variaciones en la intensidad energética (resolución radiométrica). (Rafik Bouhennache y Chaddad, 2018).

2.3.5.2 Resolución espacial

La resolución espacial representa la dimensión en terreno que corresponde a un solo elemento del detector o a la apertura de barrido del sensor. Equivalentemente, define la porción de superficie que el escáner es capaz de capturar en cada instante de medición, concepto técnicamente conocido como Elemento de Resolución en Terreno (GRE). El nivel de detalle espacial en la adquisición de datos influye en dos aspectos fundamentales: la posibilidad de discriminar entre distintos elementos del paisaje y la exactitud en la determinación de sus dimensiones. El primer aspecto determina la confiabilidad en la clasificación temática, mientras que el segundo afecta la precisión en la cuantificación geométrica. Las imágenes que únicamente permiten reconocer elementos de gran tamaño se consideran de resolución gruesa o baja, mientras que aquellas que posibilitan la identificación de objetos pequeños se clasifican como de resolución fina. (Rafik Bouhennache y Chaddad, 2018).

2.3.5.3 Resolución espectral

Las firmas espectrales de los materiales describen su comportamiento de reflexión y emisión a lo largo del espectro electromagnético. Para diferenciar distintos tipos de coberturas en una imagen, se analizan sus comportamientos característicos en diversas regiones del espectro. Si bien categorías amplias como cuerpos de agua o masas vegetales pueden identificarse mediante análisis de porciones extensas del espectro, como el visible o el infrarrojo cercano, la identificación de tipos específicos, como distintos tipos de formaciones rocosas, exige el examen de intervalos espectrales reducidos. Por ello, la resolución espectral del sensor determina su aptitud para detectar porciones angostas de longitud de onda, al capturar la escena en bandas delimitadas, permitiendo así la cuantificación exacta de la energía espectral recibida en cada una de ellas (Rafik Bouhennache y Chaddad, 2018).

2.3.5.4 Resolución radiométrica

La resolución radiométrica se refiere a la sensibilidad de un sensor para detectar diferencias sutiles en la magnitud de la energía electromagnética proveniente de las superficies. Esta facultad depende tanto del intervalo de reflectancias que el instrumento es capaz de registrar como del número de niveles digitales en que dicho intervalo es subdividido. Así, un equipo diseñado para alcanzar su punto de saturación en condiciones de reflectancia del 100 %, empleando una codificación de 8 bits, ofrecerá una precisión mucho menor que otro calibrado para saturarse a un nivel de reflectancia del 20 %, aunque utilice una resolución de 7 bits, lo que evidencia el papel crucial que juega la correcta definición del rango dinámico en la fidelidad de las mediciones radiométricas. (Rafik Bouhennache y Chaddad, 2018).

2.3.5.5 Resolución temporal

La capacidad de recopilar información espacial y espectral en momentos específicos define la resolución temporal, también conocida como frecuencia de revisita. Este parámetro indica la periodicidad con la que un satélite puede capturar imágenes de una misma área geográfica manteniendo idénticas condiciones de observación. La frecuencia de adquisición depende de múltiples variables técnicas, incluyendo las especificaciones del satélite y su sensor, el solapamiento entre órbitas consecutivas y la localización latitudinal de la zona de estudio (Rafik Bouhennache y Chaddad, 2018).

2.3.6 Índices para clasificar imágenes satelitales

En el procesamiento de imágenes satelitales, un índice representa una transformación matemática aplicada a dos o más bandas espectrales. Su desarrollo se fundamenta en los patrones espectrales

únicos que presenta cada tipo de cobertura terrestre, aprovechando las respuestas diferenciadas que muestran las distintas características del terreno en diversas longitudes de onda.

2.3.6.1 Índice de cuerpos de agua y contenido de agua en las plantas

El Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI, por sus siglas en inglés) es un indicador cuantitativo obtenido mediante teledetección que evalúa las variaciones en la humedad foliar mediante la combinación de la banda del infrarrojo cercano (NIR) y la banda del infrarrojo de onda corta (SWIR). Esta herramienta es particularmente útil para monitorear el estado hídrico de la vegetación y de masas de agua, dada su alta sensibilidad a los cambios en la concentración de humedad presente en estos elementos.

$$\text{NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}} \quad (2.5)$$

Donde:

La porción del infrarrojo cercano (NIR) comprende longitudes de onda que van desde 0.841 hasta 0.876 micrómetros

El infrarrojo de onda corta (SWIR) abarca el intervalo espectral de 1.628 a 1.652 micrómetros

Para Landsat 4-7 tenemos:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Band4} - \text{Band5}}{\text{Band4} + \text{Band5}} \quad (2.6)$$

Para Landsat 8 tenemos:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Band5} - \text{Band6}}{\text{Band5} + \text{Band6}} \quad (2.7)$$

Aplicación de NDWI

Esta técnica permite realizar el seguimiento de fenómenos de sequía, la valoración de la probabilidad de incendios forestales, el examen del estrés en la disponibilidad hídrica, la cartografía y gestión de embalses, la cuantificación de pérdidas en la productividad agrícola, el control del descenso de los niveles freáticos y la observación de procesos de degradación del suelo, entre otras aplicaciones.

2.3.6.2 Índice de agua de diferencia normalizada modificada (MNDWI)

Según Rafik Bouhennache y Chaddad (2018), el índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado (MNDWI) representa una optimización en la detección de recursos hídricos mediante percepción remota. Esta metodología emplea la reflectancia de la banda verde en combinación con el infrarrojo de onda corta (SWIR) para perfeccionar la delimitación de superficies acuáticas en paisajes antropizados. Su eficacia se manifiesta en la atenuación de señales espurias procedentes de infraestructuras, vegetación y suelos no consolidados, permitiendo una caracterización más fidedigna de los elementos hídricos en el territorio.

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{GREEN} - \text{SWIR}}{\text{GREEN} + \text{SWIR}} \quad (2.8)$$

Para Landsat 4-7 tenemos:

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Band2} - \text{Band5}}{\text{Band2} + \text{Band5}} \quad (2.9)$$

Para Landsat 8 tenemos:

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Band3} - \text{Band6}}{\text{Band3} + \text{Band6}} \quad (2.10)$$

La escala de valores del Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado (MNDWI) oscila entre -1.0 y +1.0. Cuando se registran valores positivos mayores a 0.5, normalmente se identifican masas de agua; las lecturas en el rango de 0 a 0.2 comúnmente representan áreas con desarrollo urbano, mientras que los valores negativos típicamente se asocian con superficies cubiertas por vegetación.

Aplicación de MNDWI

Esta metodología permite realizar la cartografía de masas de agua, la identificación de rasgos hídricos en zonas con alta densidad de construcción, y el seguimiento de las variaciones temporales en la humedad del terreno.

2.3.6.3 Índices para vegetación

El Índice de Agua por Diferencia Normalizada (NDWI) constituye un indicador empleado en percepción remota para evaluar las variaciones en el contenido hídrico foliar, mediante la utilización de las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). Este índice resulta

particularmente útil para examinar la cantidad de agua presente en la vegetación, dada su alta sensibilidad tanto a la humedad de las hojas como a la presencia de masas de agua.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} \quad (2.11)$$

Donde:

La banda del infrarrojo cercano (NIR) cubre el espectro comprendido entre 0.841 y 0.876 micrómetros. En tanto, la banda del infrarrojo de onda corta (SWIR) se sitúa en el intervalo de 1.628 a 1.652 micrómetros.

Para Landsat 4-7 tenemos:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Band4} - \text{Band3}}{\text{Band4} + \text{Band3}} \quad (2.12)$$

Para Landsat 8 tenemos:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Band5} - \text{Band4}}{\text{Band5} + \text{Band4}} \quad (2.13)$$

“La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.”

— Aristóteles

3 Método de la investigación

3.1 Enfoque.

El estudio adoptará un enfoque metodológico cuantitativo, fundamentado en el procesamiento numérico de los valores pixel de las imágenes satelitales. Estos datos, organizados en matrices bidimensionales, representan mediciones de la reflectancia espectral que serán procesadas como variables continuas para ejecutar la clasificación de coberturas terrestres y calcular los índices espectrales correspondientes a suelos con humedad.

3.2 Alcance

El presente estudio se desarrollará con un enfoque aplicativo, orientado a la estimación de índices espectrales para la identificación de suelos con humedad en la cuenca de Ayna. A partir del procesamiento de información satelital, se elaborarán mapas de susceptibilidad a deslizamientos y movimientos de tierra, tomando como variable fundamental el análisis de la humedad del suelo.

3.3 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental longitudinal de nivel aplicativo porque la investigación se necesitará recabar la datos para la investigación en un varios momentos de la investigación.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

El ámbito de estudio comprende las zonas clasificadas mediante índices espectrales de humedad del suelo correspondientes a la cuenca del Bajo Apurímac, la cual abarca una extensión territorial de 6728 kilómetros cuadrados.

3.4.2 Muestra

Se eligió el muestreo no probabilístico discreto por conveniencia, donde la muestra elegida son las áreas generadas con índices espectrales de suelos húmedos de la cuenca de Ayna Ayacucho con un área de 93.23 km².

3.5 Hipótesis

3.5.1 Hipótesis general

Las firmas espectrales evaluarán los suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025.

3.5.2 Hipótesis específicas

- ① La variación temporal de suelos húmedos a través de imágenes satelitales en épocas lluviosas y de estiaje nos ayuda a evaluar los suelos húmedos en Ayna - Ayacucho, 2025.
- ② Los mapas temáticos nos ayudarán a identificar la evaluación de los suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025.
- ③ La relación entre los suelos húmedos y la cobertura vegetal nos ayudara a entender la variación de los suelos húmedos en Ayna Ayacucho, 2025.

3.6 Operacionalización de variables

3.6.1 Variables e indicadores

A continuación, se presenta en la tabla la descripción detallada de cómo se han definido y medido las variables del estudio.

Tabla 4: Variables, Dimensiones, indicadores y unidades

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Índices espectrales	Índices de suelos húmedos	Valores del NDSI	(μm)
		Bandas del NDSI	(μm)
	Índice combinado (NDWI)	Valores del NDWI	(μm)
		Bandas del NDWI	(μm)
	Índice de vegetación (NDVI)	Valores del NDVI	(μm)
		Bandas del NDVI	(μm)
Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Suelos húmedos	Superficie de suelo húmedo	área de suelo húmedo por pixel	(μm)

3.7 Técnicas e instrumentos

3.7.1 Técnicas

1. La técnica del procesamiento de información de las imágenes satelitales .

2. La técnica para el cálculo de índices espectrales.
3. La técnica empleada consistió en el procesamiento de datos mediante la plataforma Google Earth Engine, utilizando el lenguaje de programación JavaScript para el análisis de la información satelital..
4. la técnica de Machine learning para la clasificación de imágenes satelitales.

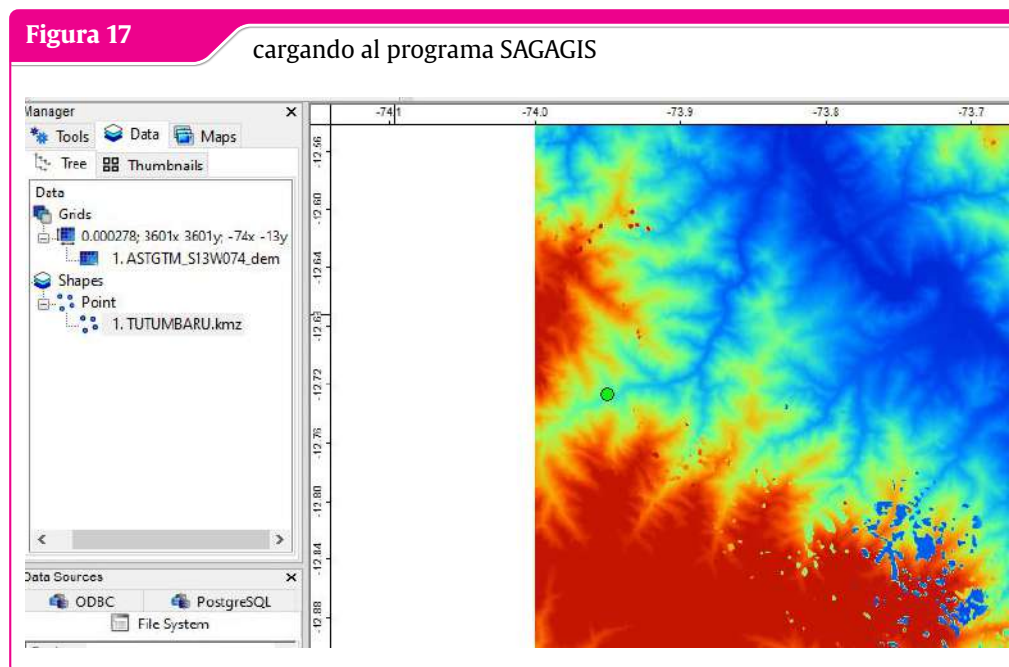
3.7.2 Instrumentos

- Las imágenes satelitales en su diferentes formatos como imágenes multiespectrales e hiperespectrales .
- Google earth engine .
- Servidor satelital de la USGS.
- Ráster (TIFF).
- Shapefile (shp).

3.8 Desarrollo de la Investigación

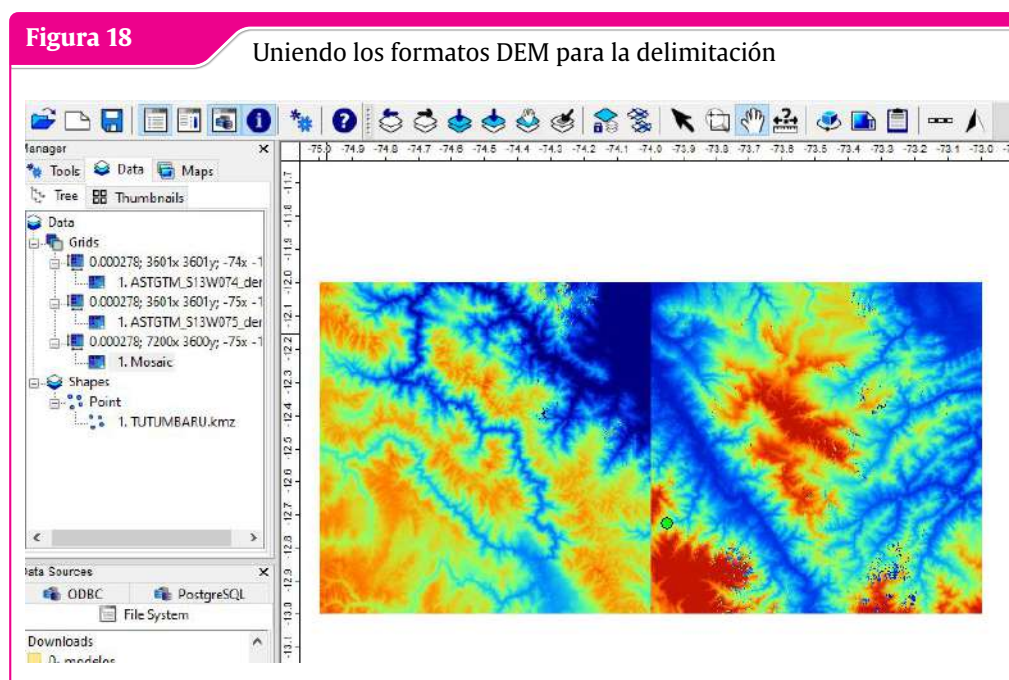
3.8.1 Delimitación del área de estudio

3.8.1.1 Cargando el formato DEM(Digital elevation modeling)



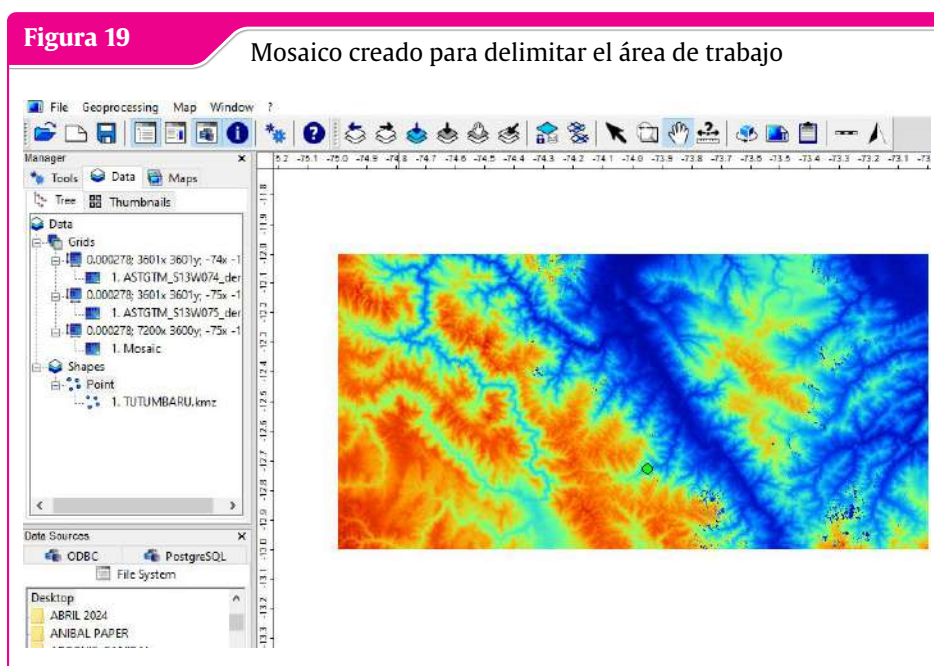
Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS

3.8.1.2 Uniendo los DEM para el área de estudio



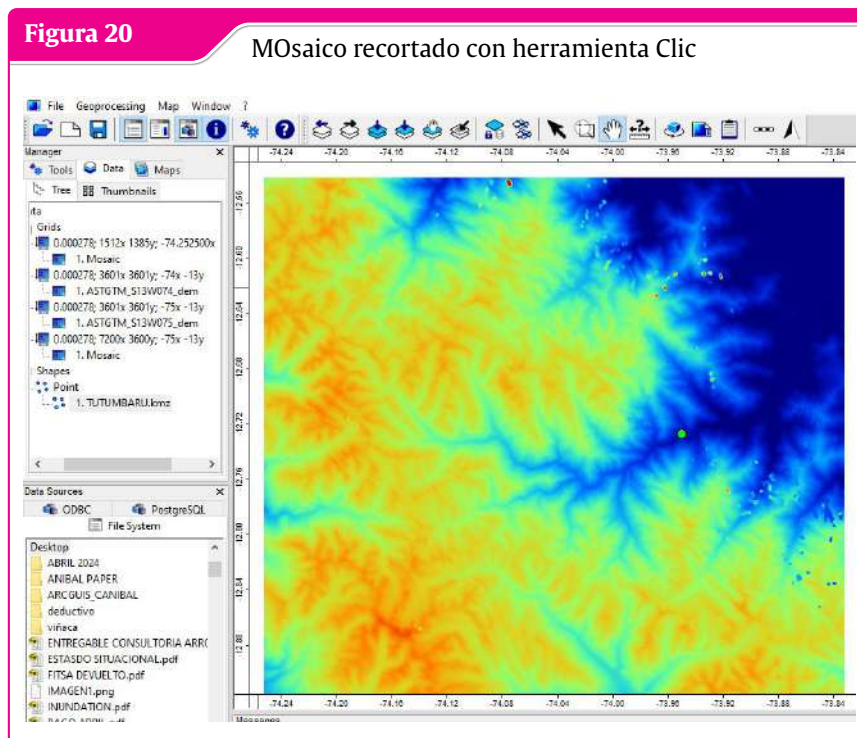
Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS

3.8.1.3 Mosaico Unido para el área de estudio



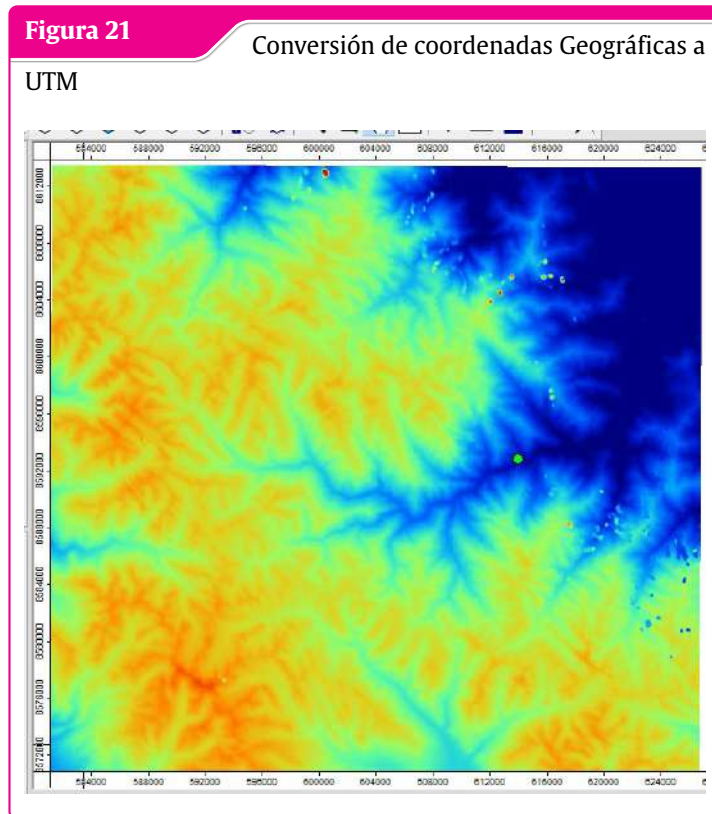
Fuente: Elaboración Propia con SAGAGIS

3.8.1.4 Click Mosaico recortado para el área de estudio



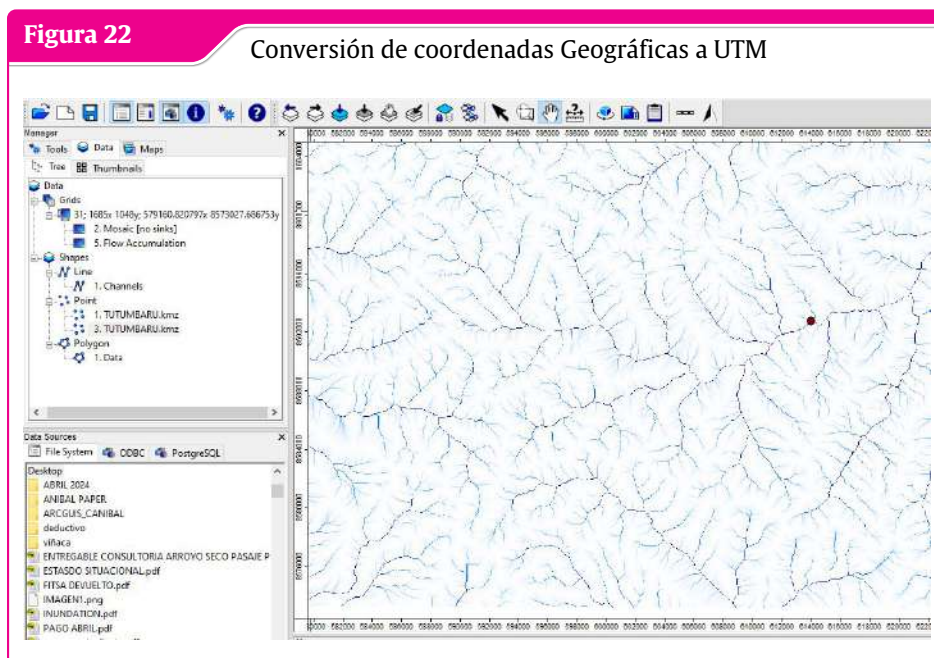
Fuente: Elaboración Propia con SAGAGIS

3.8.1.5 Conversión de coordenada Geográfica a WGS84 UTM 18S

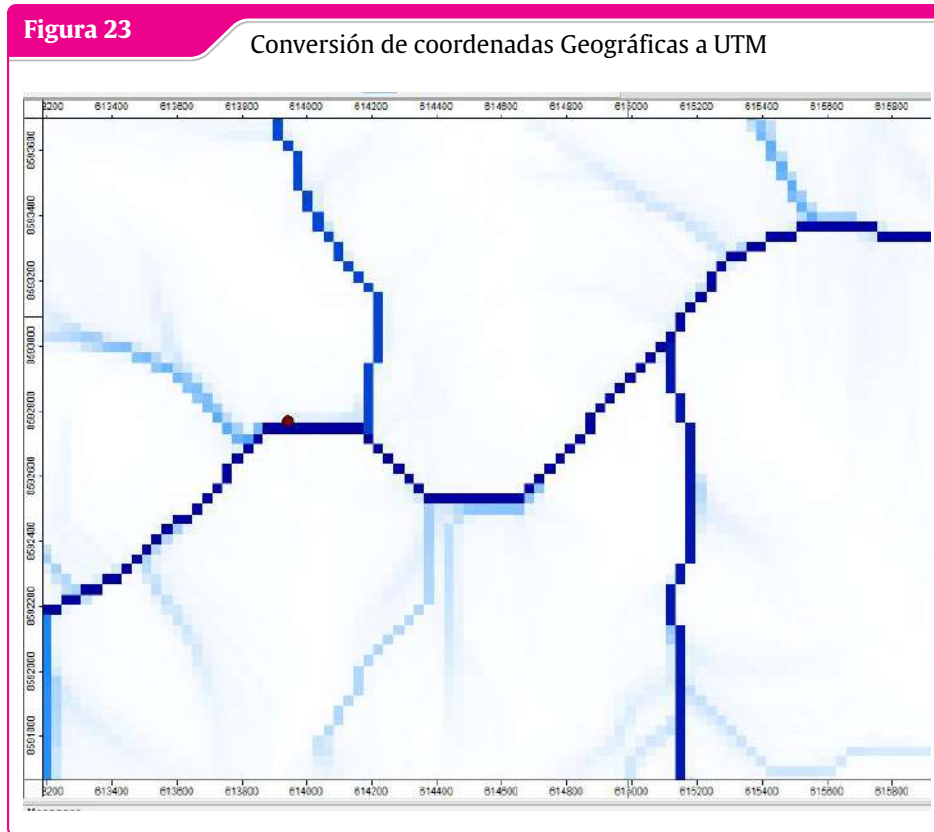


Fuente: Elaboracion Propia con SAGGIS

3.8.1.6 Flow Accumulation o acumulación de flujo

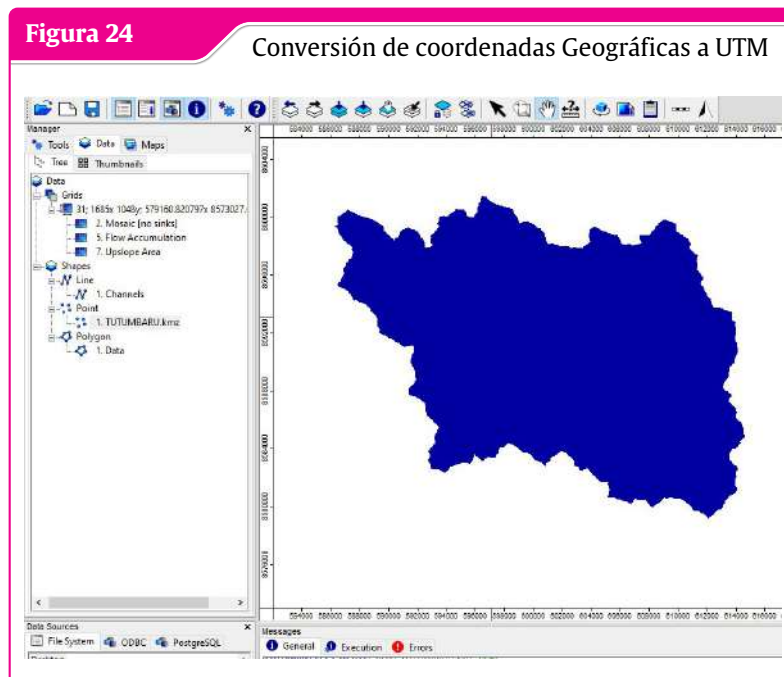


Fuente: Elaboracion Propia con SAGGIS

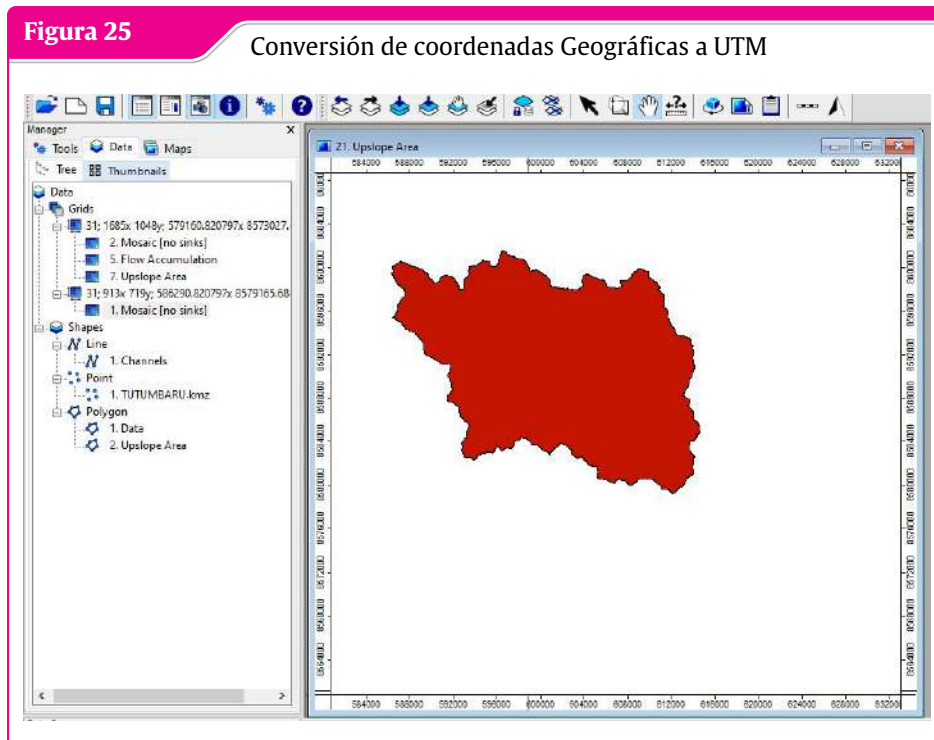


Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS

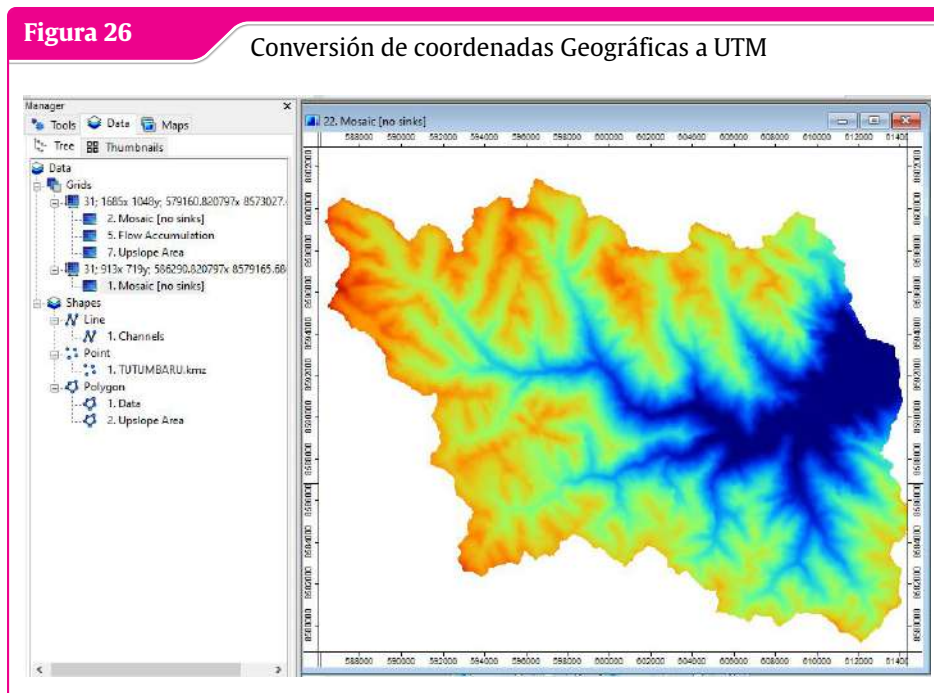
3.8.1.7 Delimitación de la cuenca en formato GRID



Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS

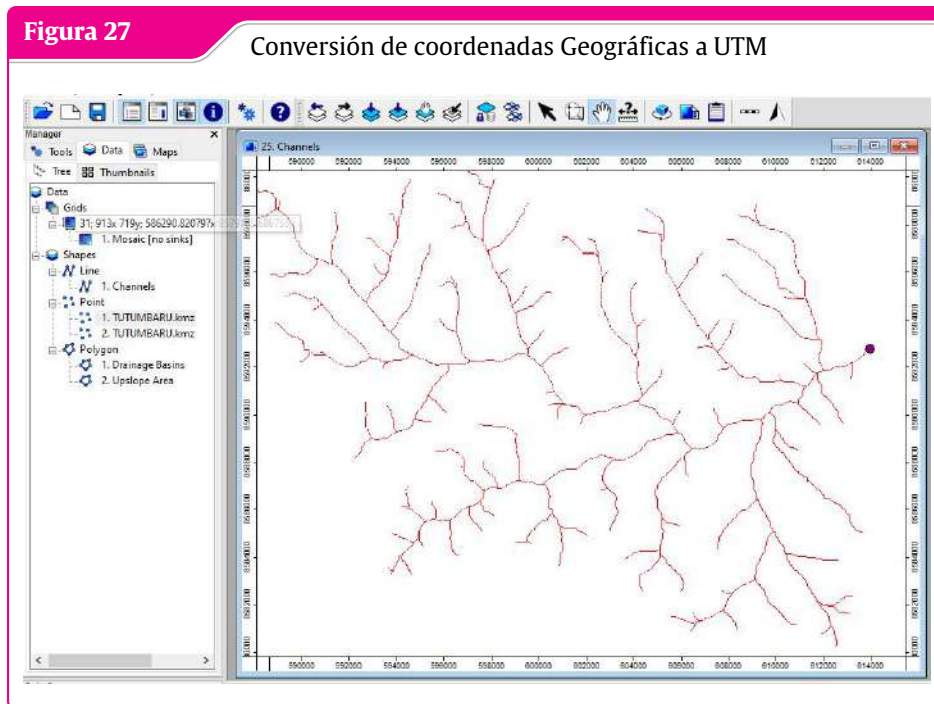
3.8.1.8 Cuenca en maskara vectorial

Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS

3.8.1.9 Cuenca en formato Ráster

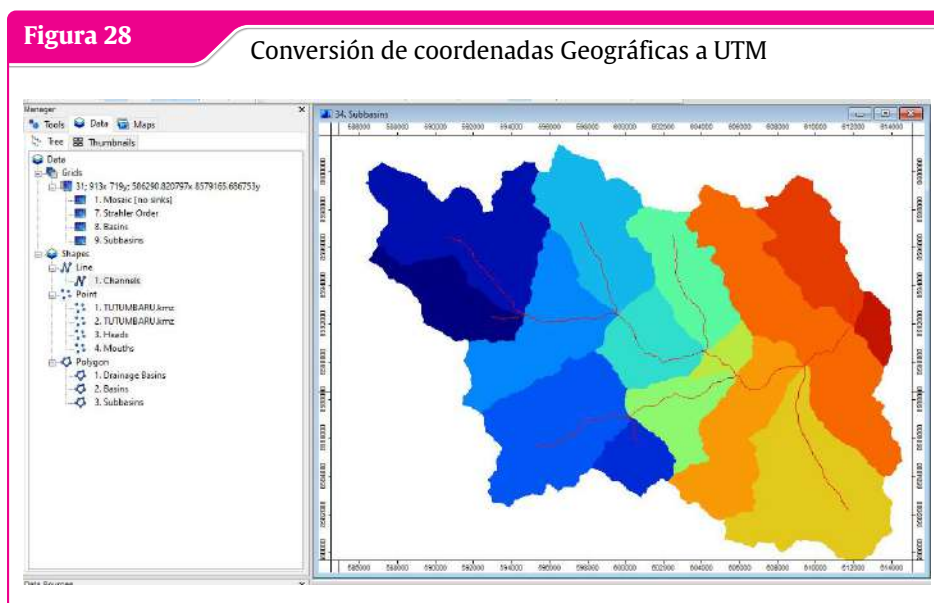
Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS

3.8.1.10 Orden de la red Hídrica

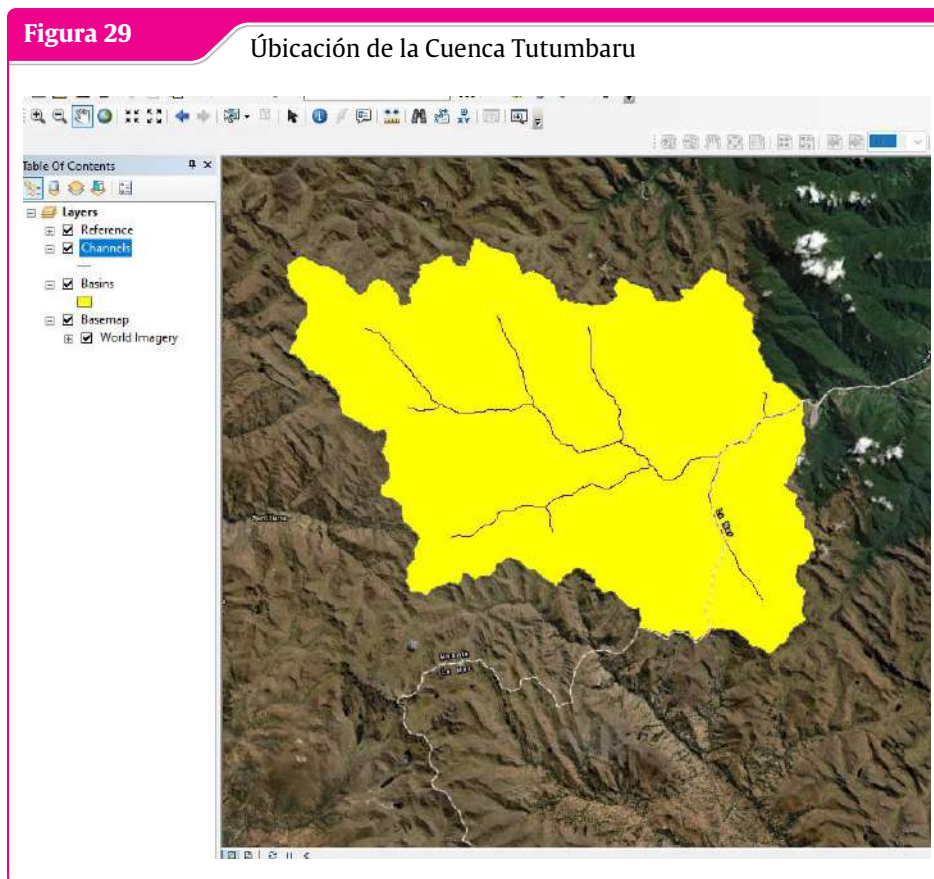


Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS

3.8.1.11 Subcuencas



Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS



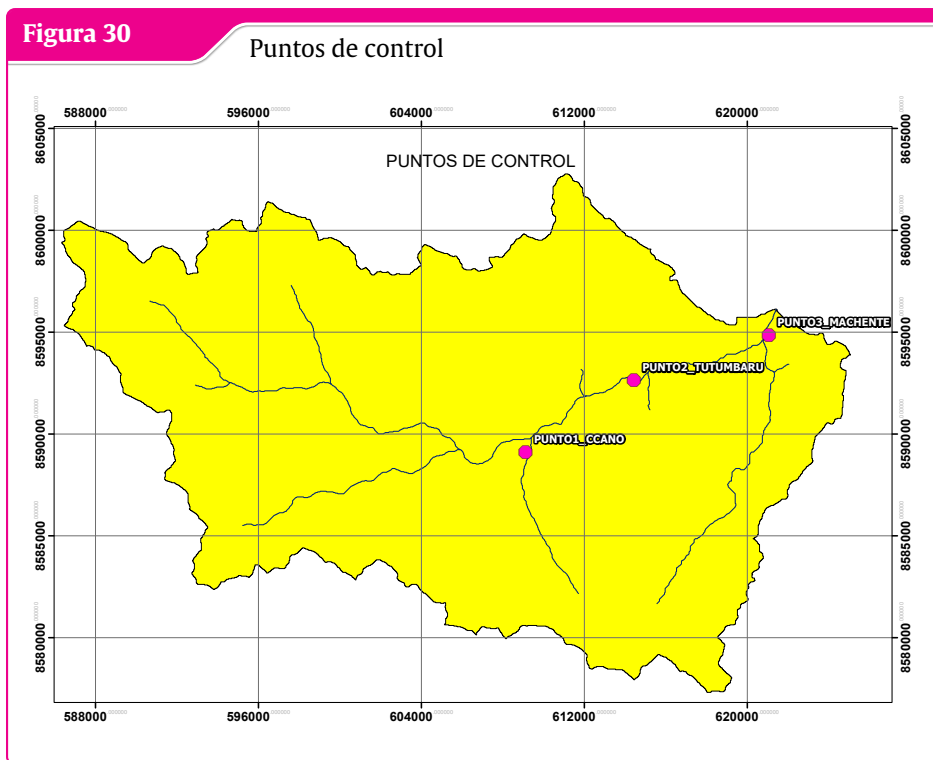
Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS

3.8.2 Puntos de Monitoreo

Para la presente investigación se tomarán 3 puntos de control principalmente los lugares estratégicos donde periódicamente se registran derrumbes y movimientos de tierra estos puntos son:

- 📍 Coordenada Ccano : $12^{\circ}45'37.27''$ S $73^{\circ}59'39.61''$ W
- 📍 Coordenada Tutumbaru : $12^{\circ}45'13.49''$ S $73.59.41.86''$ W
- 📍 Coordenada Machente : $12^{\circ}44'23.58''$ S $73^{\circ}58'23.33''$ W

Puntos donde se evaluarán los índices espectrales para determinar la estabilidad o inestabilidad de los desplazamientos potenciales de la cuenca de Aynas tomando como muestras estos tres puntos de control para la evaluación de dichos índices espectrales.



Fuente: Elaboracion Propia con SAGAGIS

3.8.2.1 Punto de control Ccano



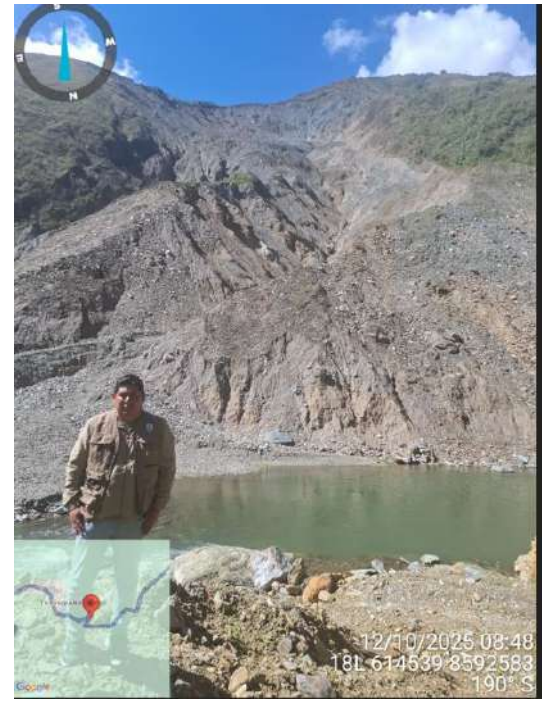
Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

3.8.2.2 Punto de control Tutumbaru

Figura 33 punto de control de Tutumbaru



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34 punto de control de Tutumbaru



Fuente: Elaboración Propia

3.8.2.3 Puntos de control Machente

Figura 35 punto de control de Machente



Fuente: Elaboración Propia

Figura 36 punto de control de Machente



Fuente: Elaboración Propia

3.8.3 Descripción de los índices espectrales

3.8.3.1 NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada)

- Qué mide: Contenido de agua en la vegetación y humedad superficial del suelo.
- Inestabilidad: Es uno de los indicadores más directos. Un aumento sostenido del NDWI (mayor humedad) previo a un evento lluvioso intenso señala suelos cercanos a la saturación. Esto reduce la fricción interna y aumenta el peso de la masa de suelo, llevándola al límite de falla. Un NDWI persistentemente alto puede identificar zonas de descarga de agua subterránea o áreas propensas a saturación.

3.8.3.2 NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)

- Qué mide: Salud, densidad y vigor de la vegetación (biomasa).
- Estabilidad: Una cubierta vegetal densa y sana (NDVI alto) indica un sistema radicular profundo y extenso que cohesiona el suelo, reduce la erosión e intercepta el agua de lluvia. Es un factor de estabilización clave.
- Una disminución abrupta del NDVI puede señalar la muerte de la vegetación por inicio de movimientos (grietas, hundimientos) o por estrés hídrico, alertando sobre una posible inestabilidad.
- En un deslizamiento activo, el NDVI suele ser muy bajo (suelo expuesto, vegetación destruida). El seguimiento temporal muestra la evolución de la cicatriz del deslizamiento.

3.8.3.3 SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo)

- Qué mide: Similar al NDVI, pero corrige la influencia del brillo del suelo desnudo.
- Estabilidad/Inestabilidad: Es crucial en zonas áridas, semiáridas o en laderas con poca cobertura vegetal (como la cicatriz de un deslizamiento antiguo). Proporciona una estimación más realista de la biomasa en estas áreas, permitiendo evaluar mejor la capacidad de revegetación natural (estabilización) o detectar pérdidas sutiles de vegetación que preceden a un fallo.

3.8.3.4 NBR (Índice de Quemado de Diferencia Normalizada)

- Qué mide: Severidad de incendios forestales (pérdida de biomasa viva y aumento de material carbonizado).
- Inestabilidad (Factor desencadenante retardado): Su aporte es indirecto pero poderoso. Un NBR que indica un incendio severo (NBR alto) señala la eliminación de la cubierta vegetal protectora.

- Las laderas quemadas son extremadamente inestables en las temporadas lluviosas posteriores al incendio. El NBR permite mapear zonas de alto riesgo post-incendio.

3.8.3.5 NDSI (Índice de Nieve de Diferencia Normalizada)

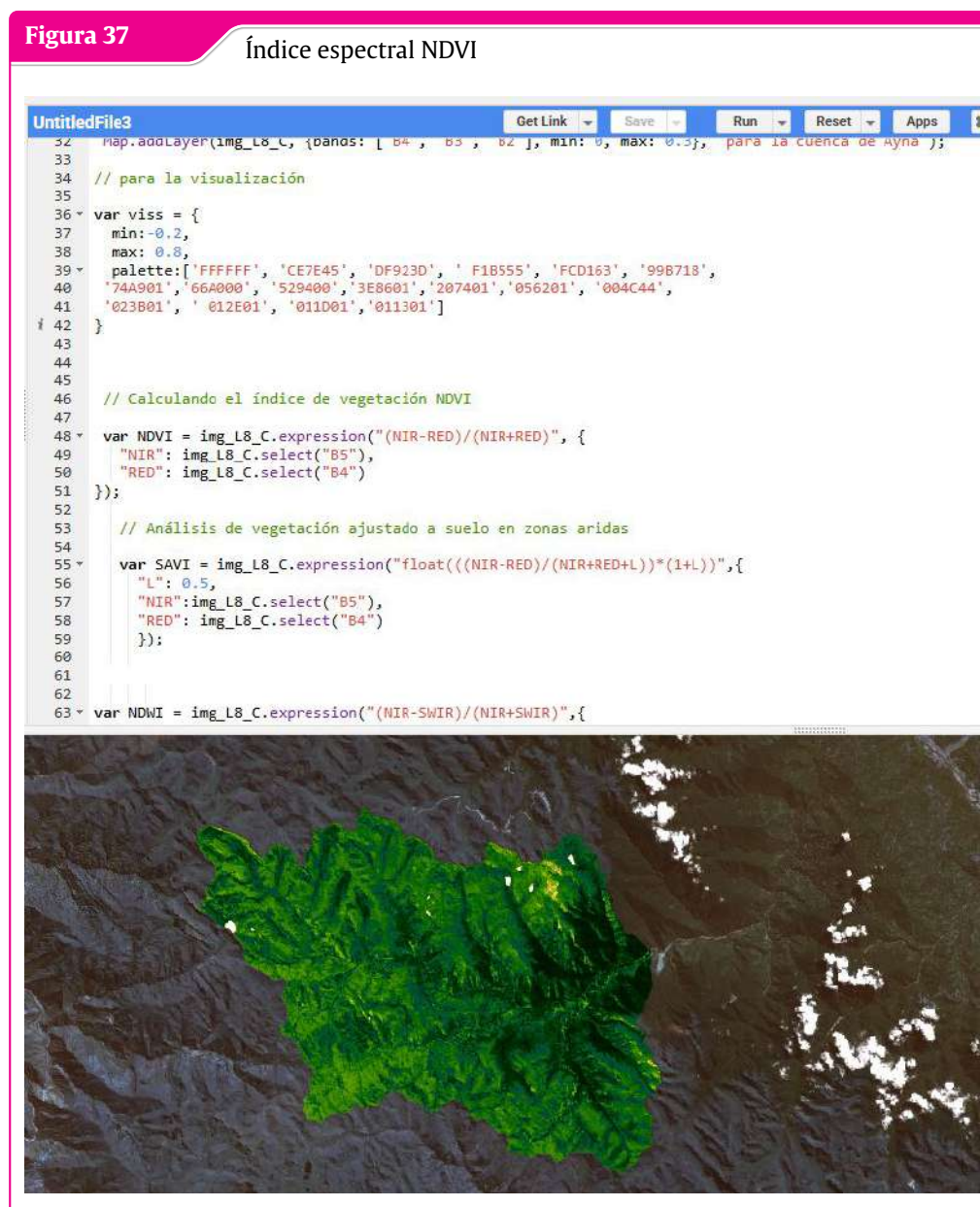
- Qué mide: Presencia y cobertura de nieve/hielo.
- Permite monitorear el retroceso de glaciares y la exposición de laderas inestables (morrenas) antes no soportadas por el hielo.
- Detecta la acumulación de nieve. Su fusión rápida (detección de una disminución del NDSI) puede aportar grandes volúmenes de agua al suelo, elevando el nivel freático y desencadenando deslizamientos.

3.8.4 Cálculo de los índices espectrales para la temporada Junio

Para el cálculo de los índices espectrales se utiliza el programa de Google Earth Engine con lenguaje de programación de JAVA SCRIPT, donde se calculan los 5 índices espectrales de NDVI, NDWI, SAVI, NBR y el índice espectral NDSI.

3.8.4.1 Calculando el índice espectral NDVI

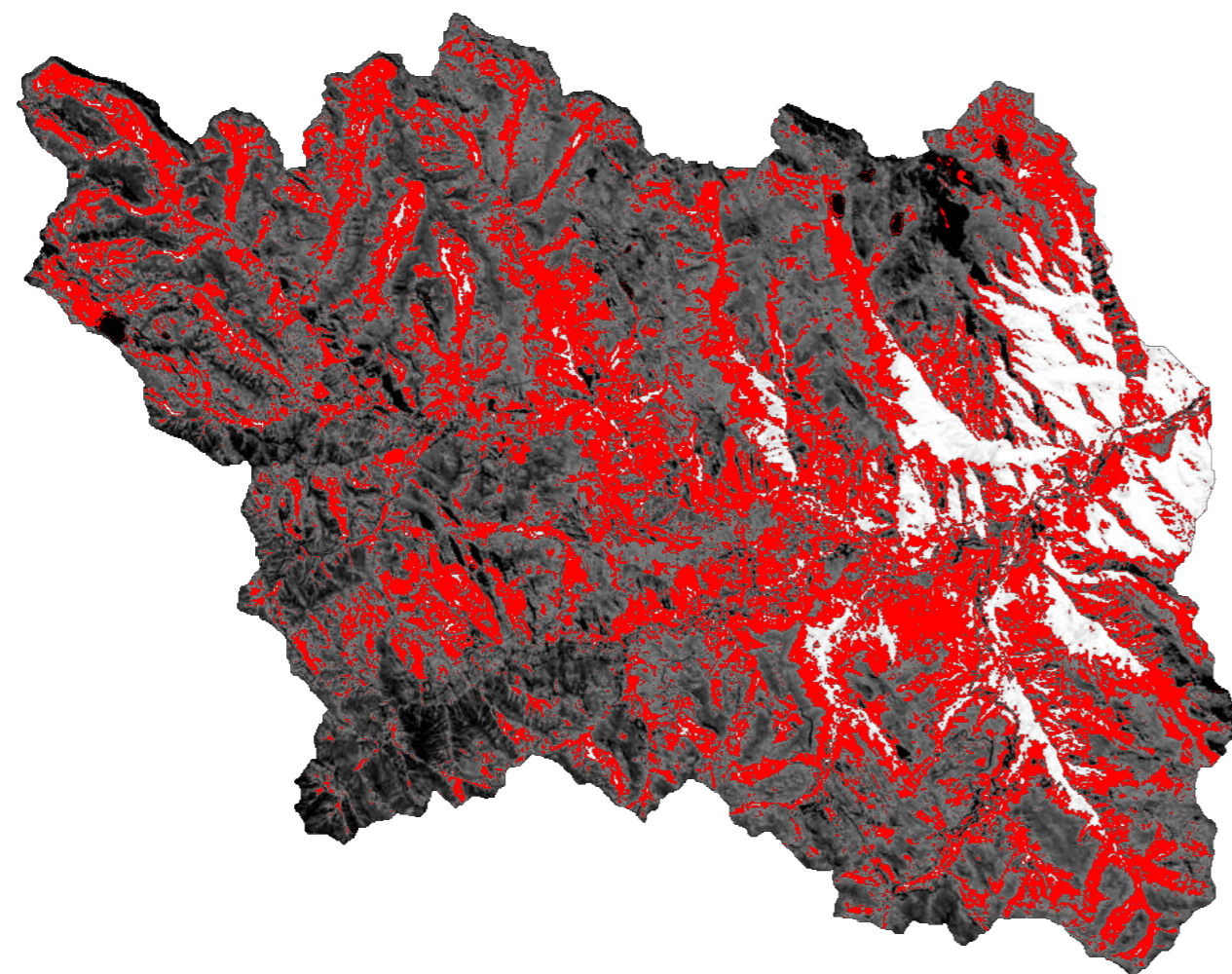
EL índice NDVI es el índice de vegetación normalizada diferenciada para determinar el grado de vegetación en el terreno para la estabilidad o inestabilidad de los movimientos de masas donde es un indicador clave para determinar el deslizamiento.



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

Figura 38

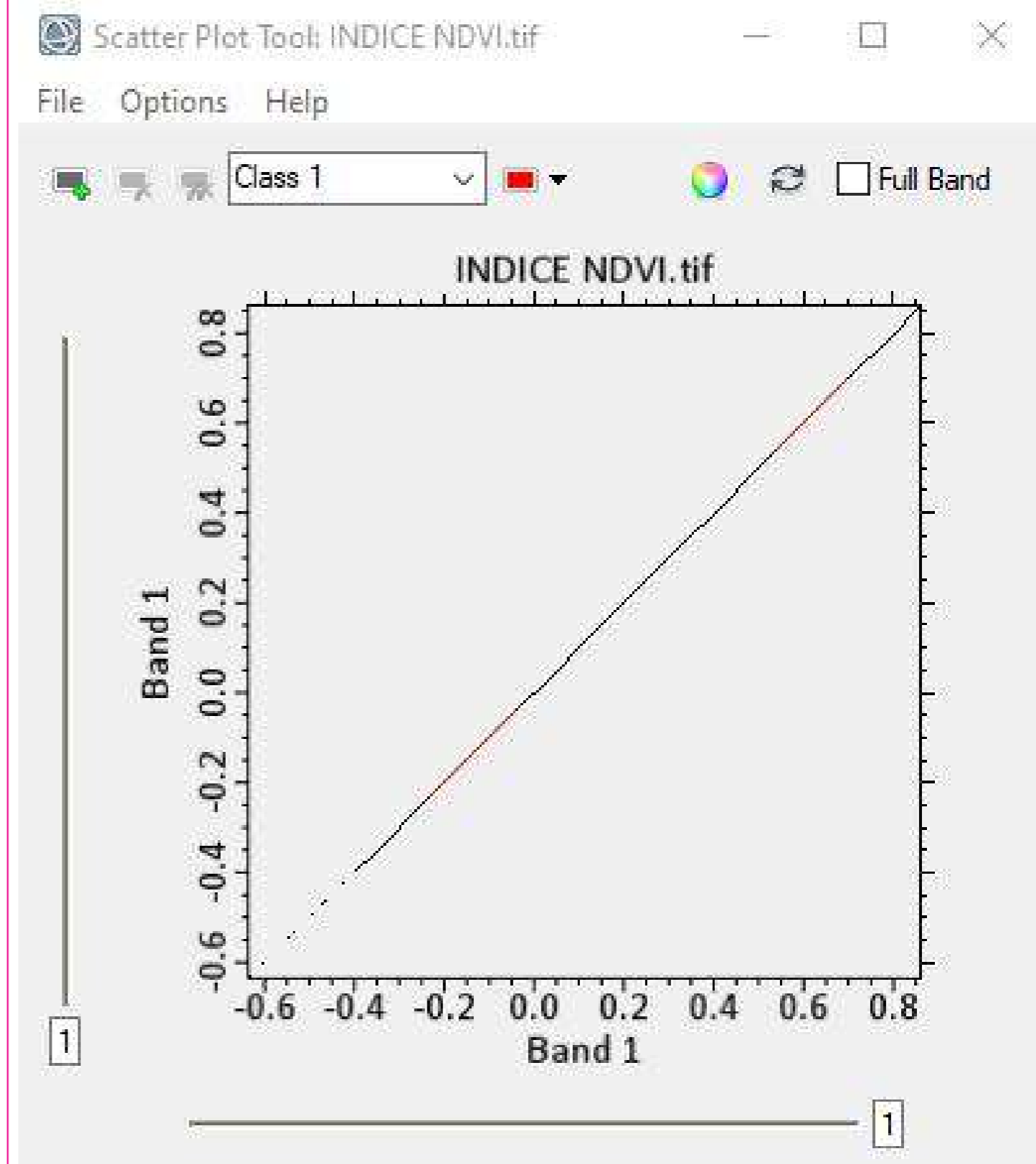
Píxeles para el índice NDVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 39

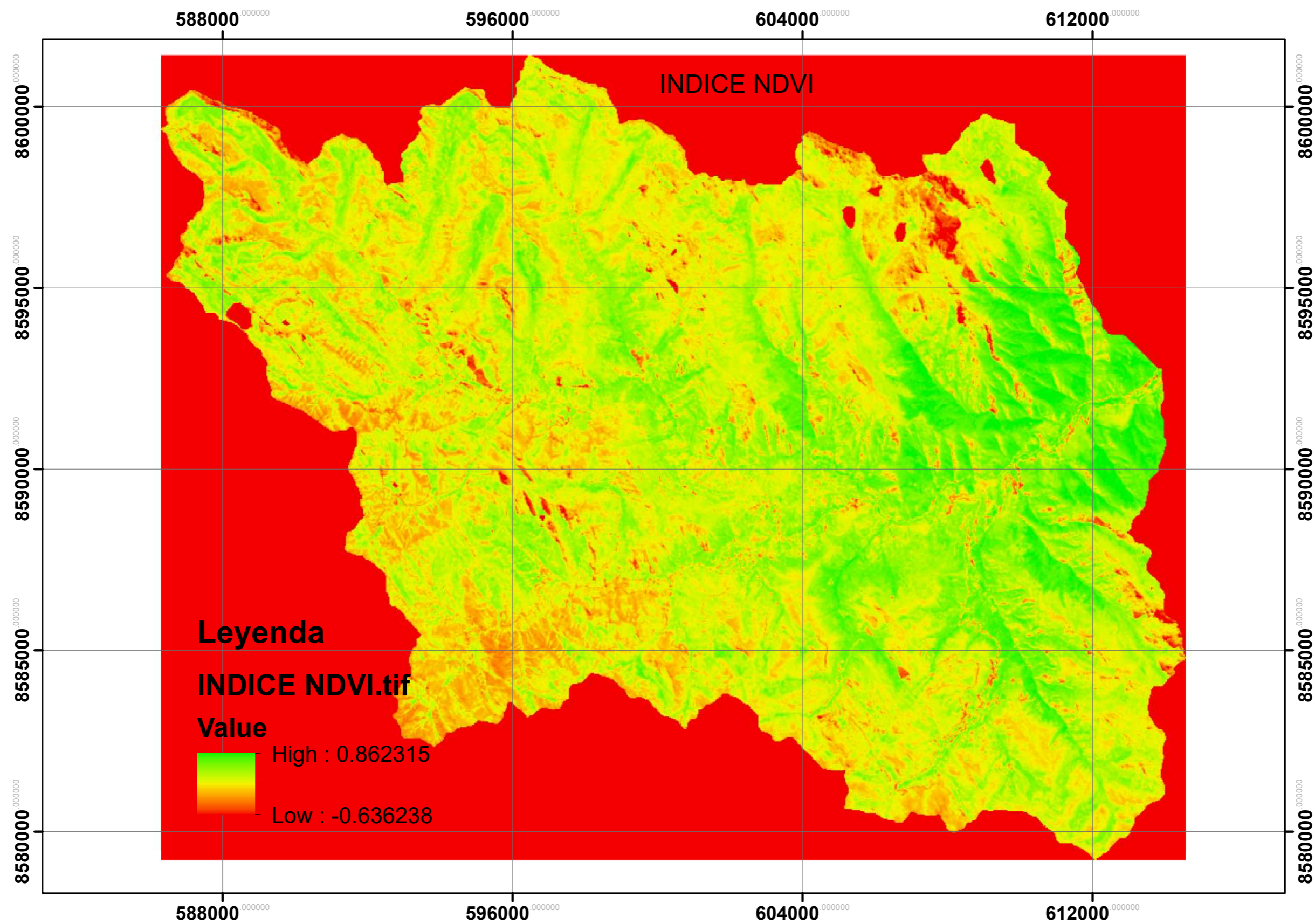
banda de la longitud de onda del índice espectral NDVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 40

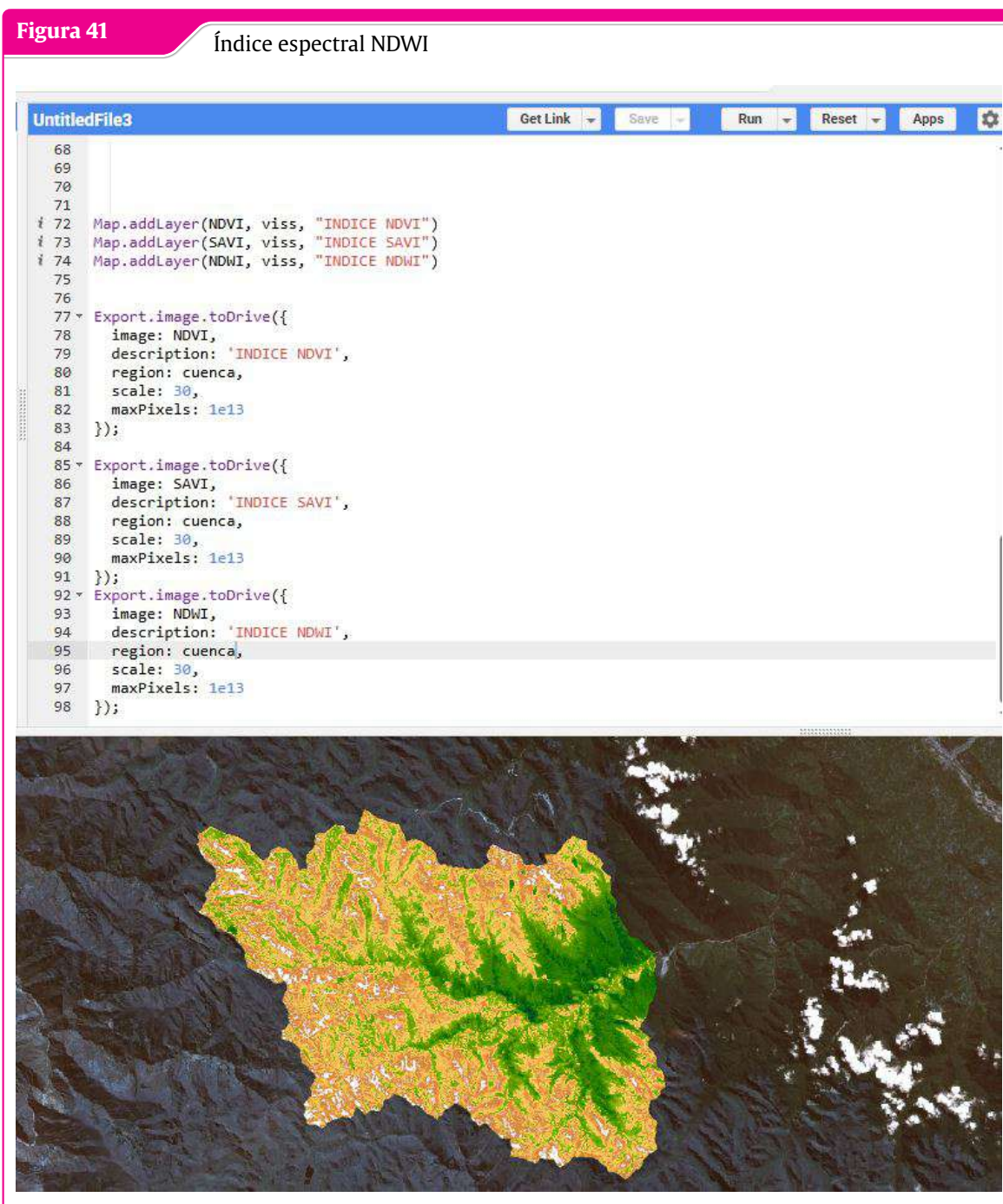
Mapa temático del índice espectral NDVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

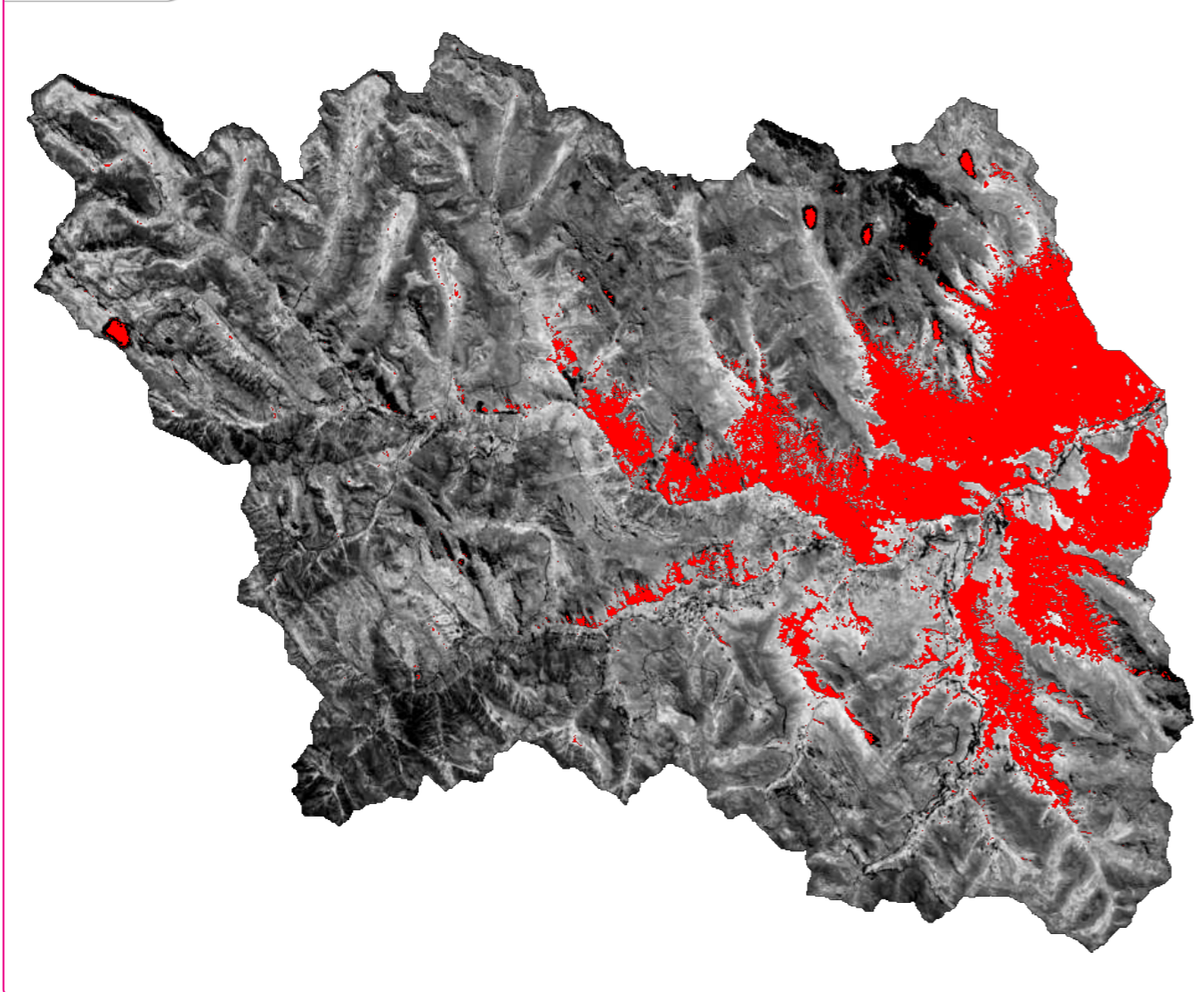
3.8.4.2 Calculando el índice espectral NDWI

El fragmento de código diseñado en JavaScript permite acceder y extraer las imágenes de humedad del suelo (Soil Moisture) del sensor SMAP, enfocándose en la zona de la cuenca de Tutumbaru mediante el uso de Google Earth Engine.



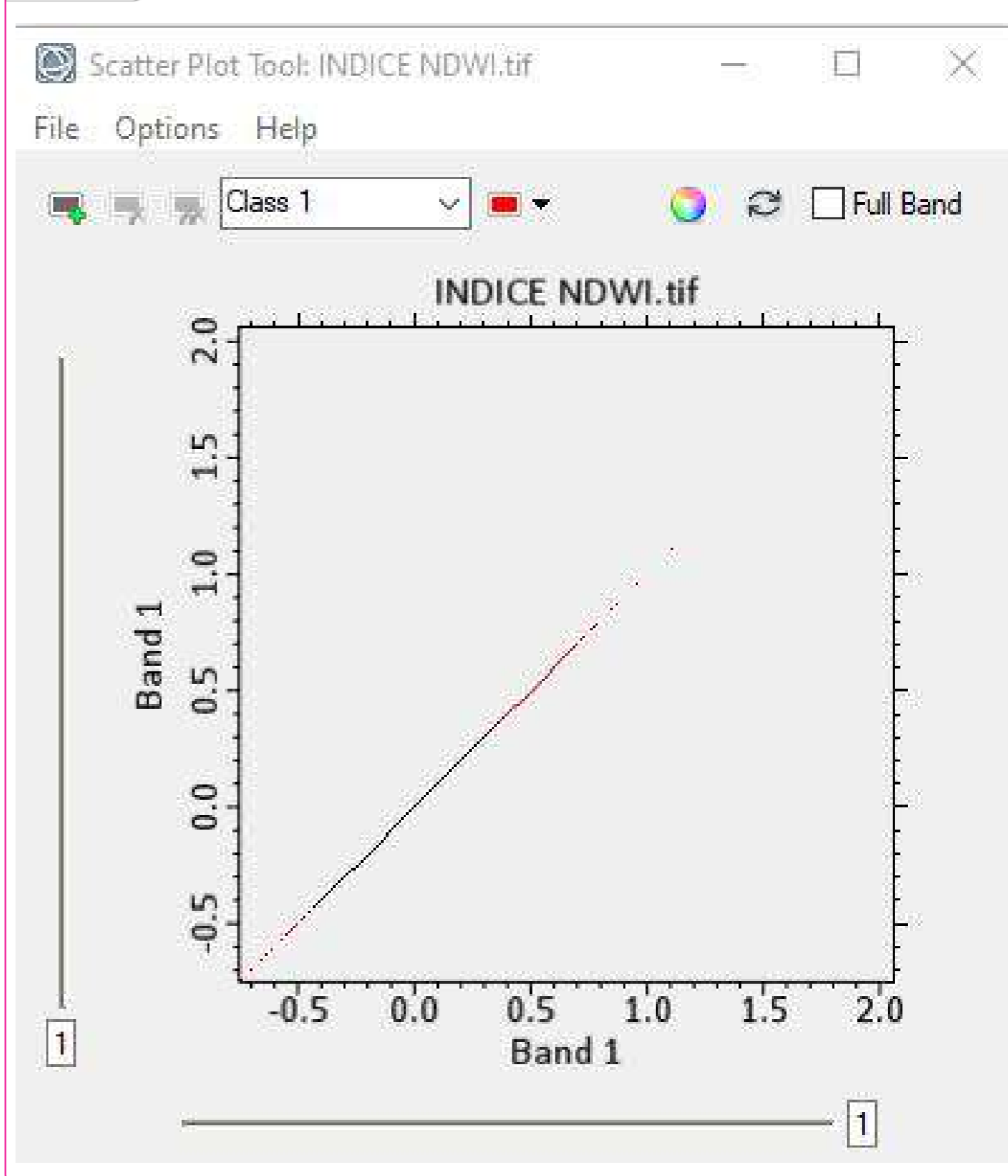
Fuente: Elaboración Propia con GEE

Figura 42 Pixeles para el indice NDWI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

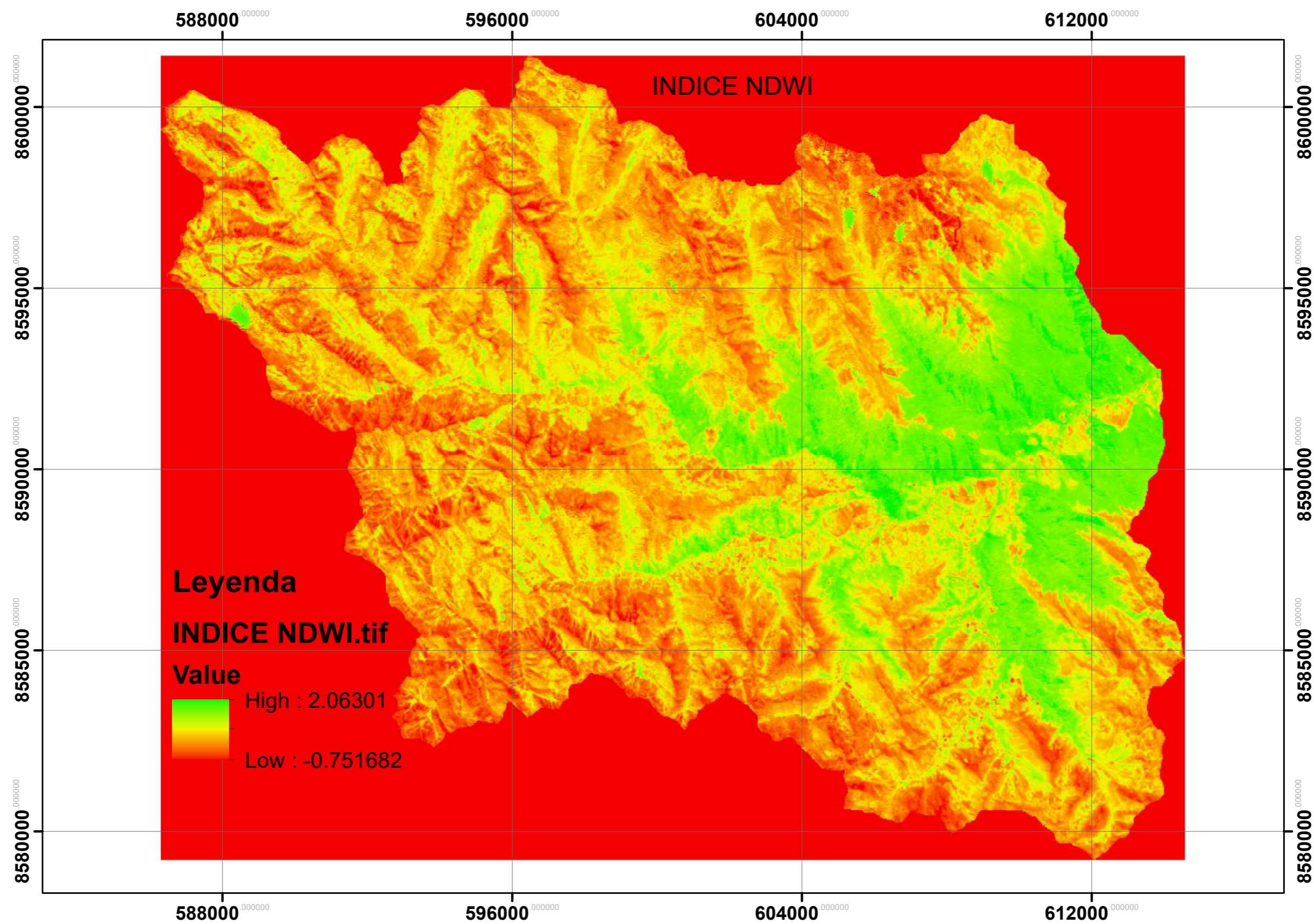
Figura 43 banda de la longitud de onda del indice espectral NDWI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 44

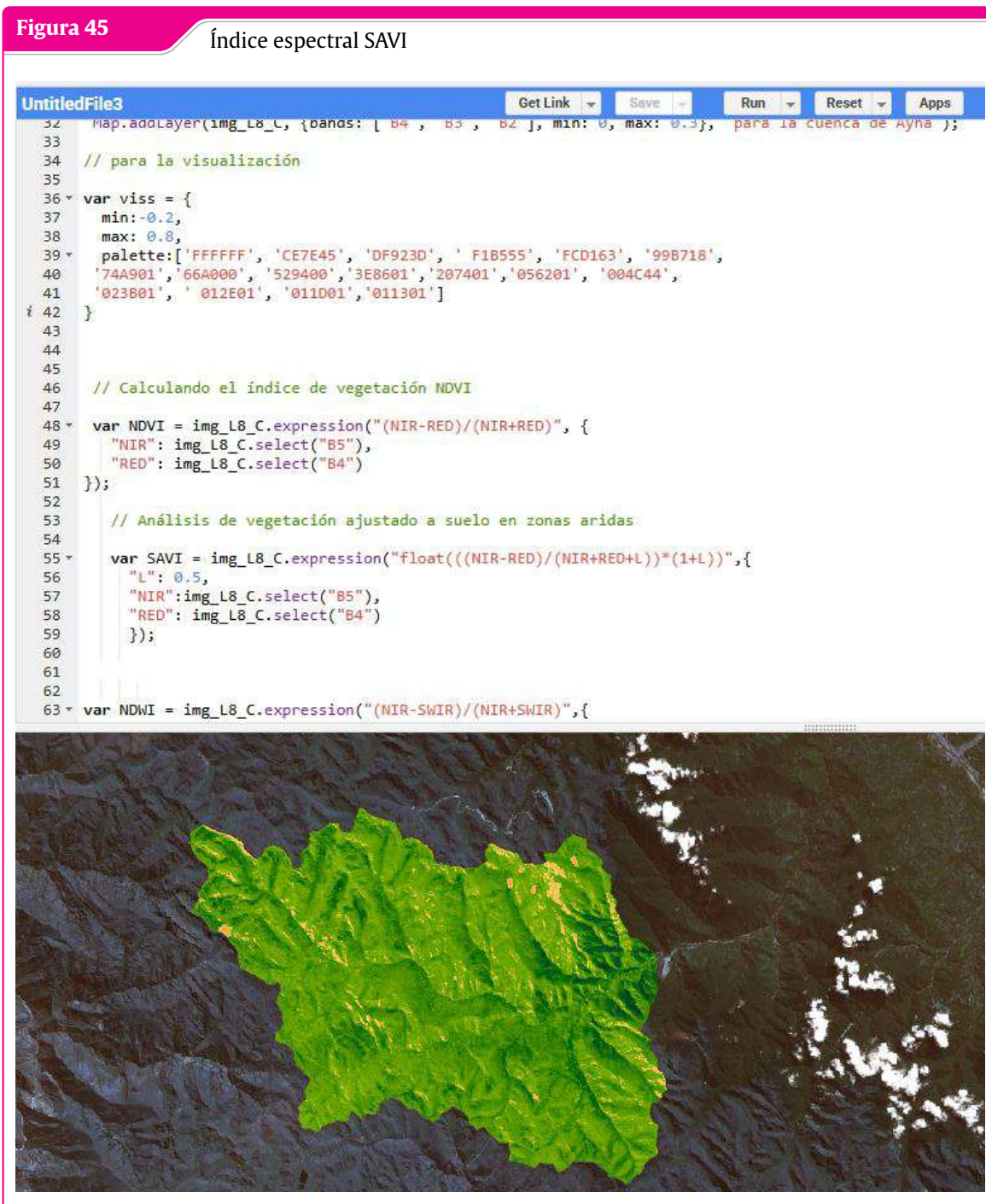
Mapa temático del índice espectral NDWI



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

3.8.4.3 Calculando el índice espectral SAVI

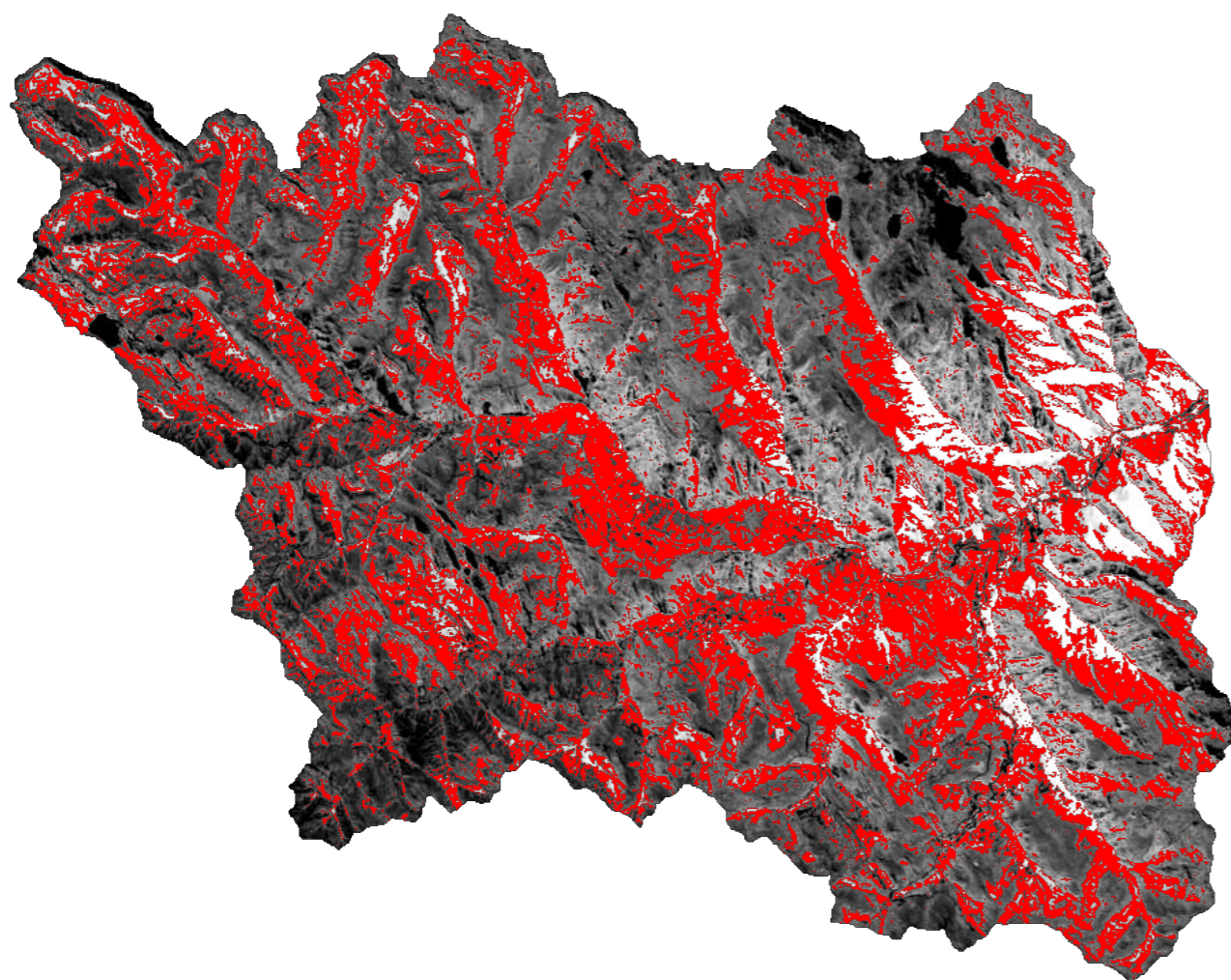
Se elaboraron conjuntos de instrucciones en lenguaje JavaScript orientados a la descarga y procesamiento de imágenes satelitales con datos de humedad del suelo (Soil Moisture) provenientes del sensor SMAP, delimitando el análisis al área correspondiente a la cuenca de Tutumbaru.



Fuente: Elaboración Propia con GEE

Figura 46

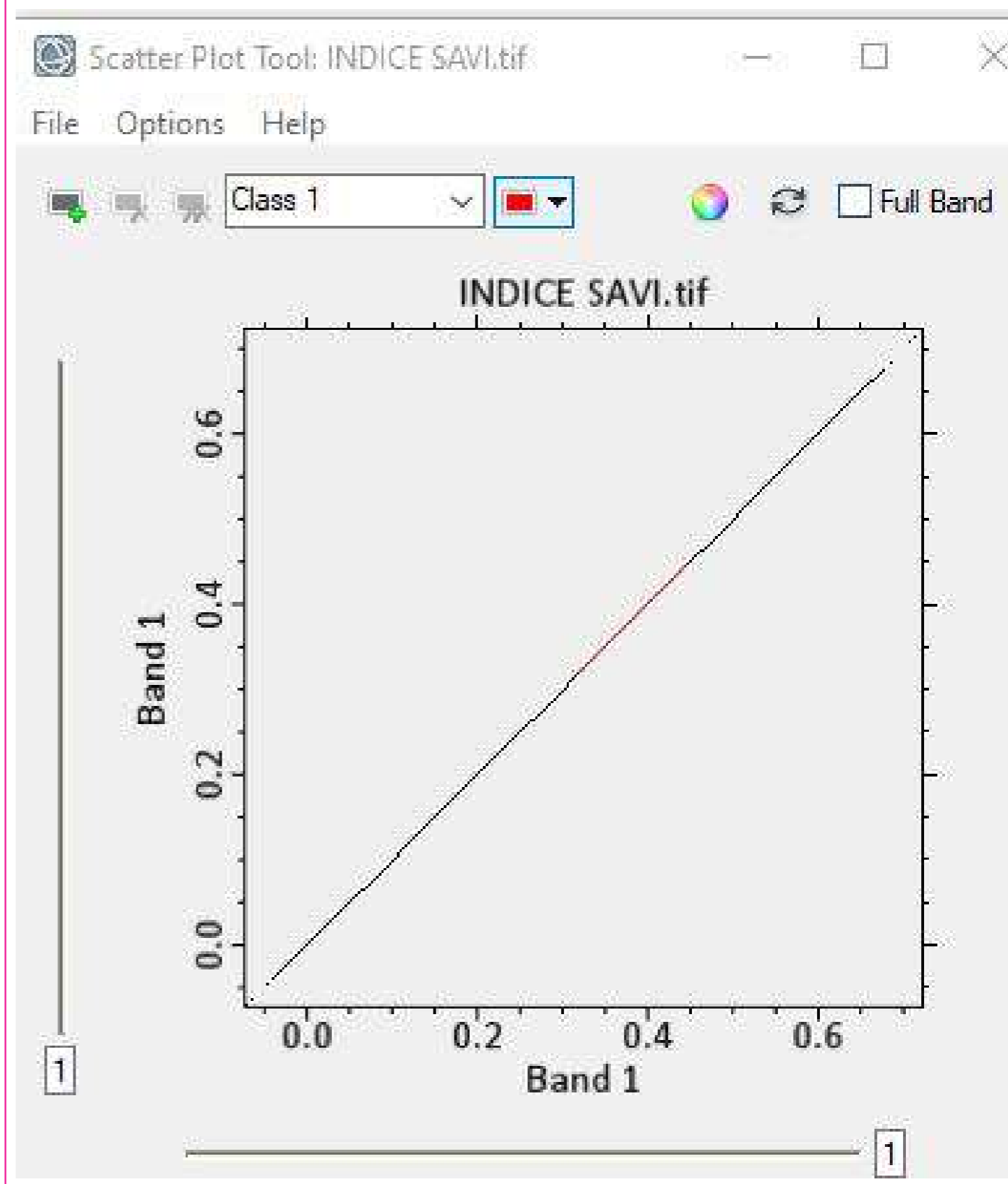
Pixeles para el índice SAVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 47

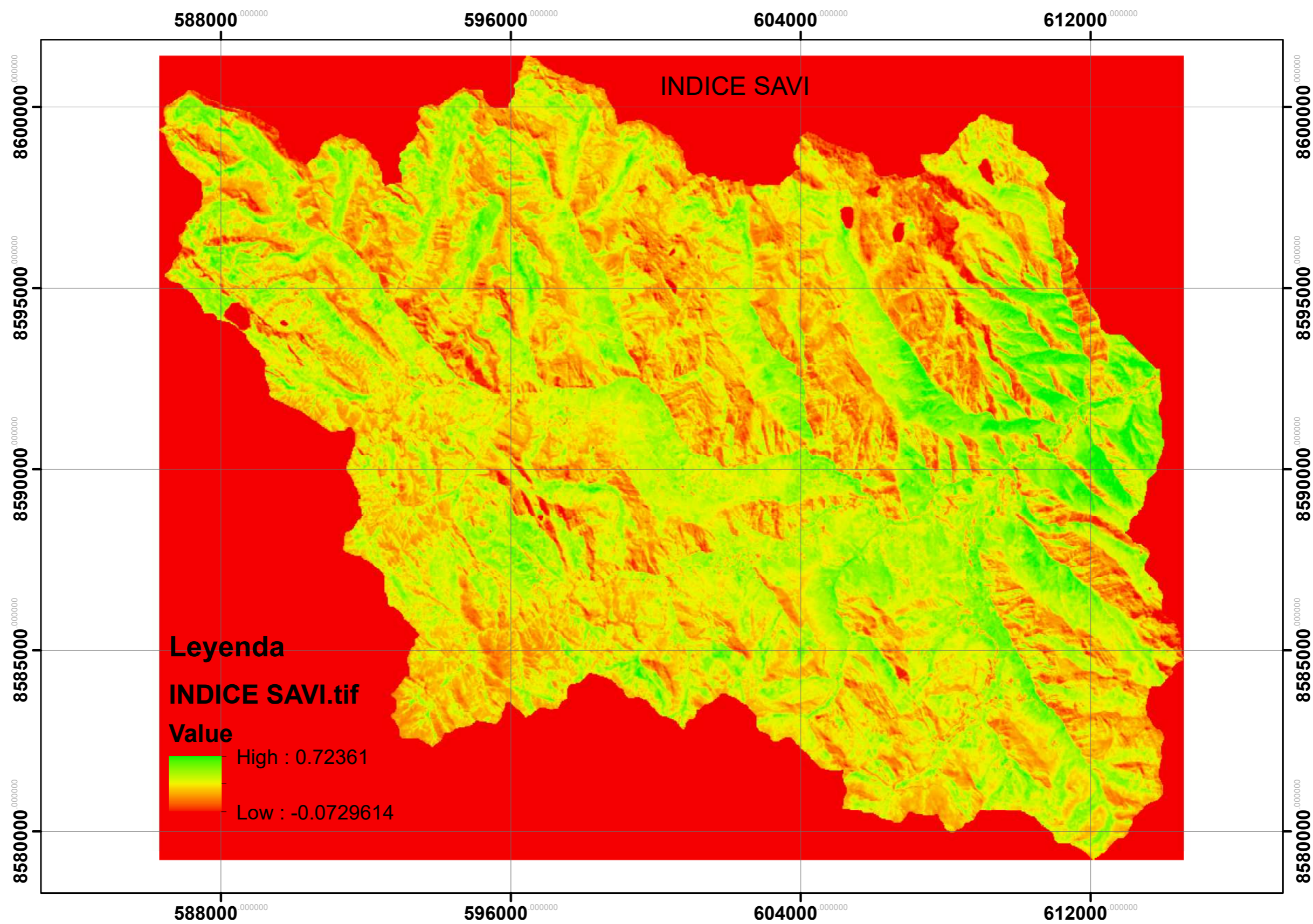
banda de la longitud de onda del índice espectral SAVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 48

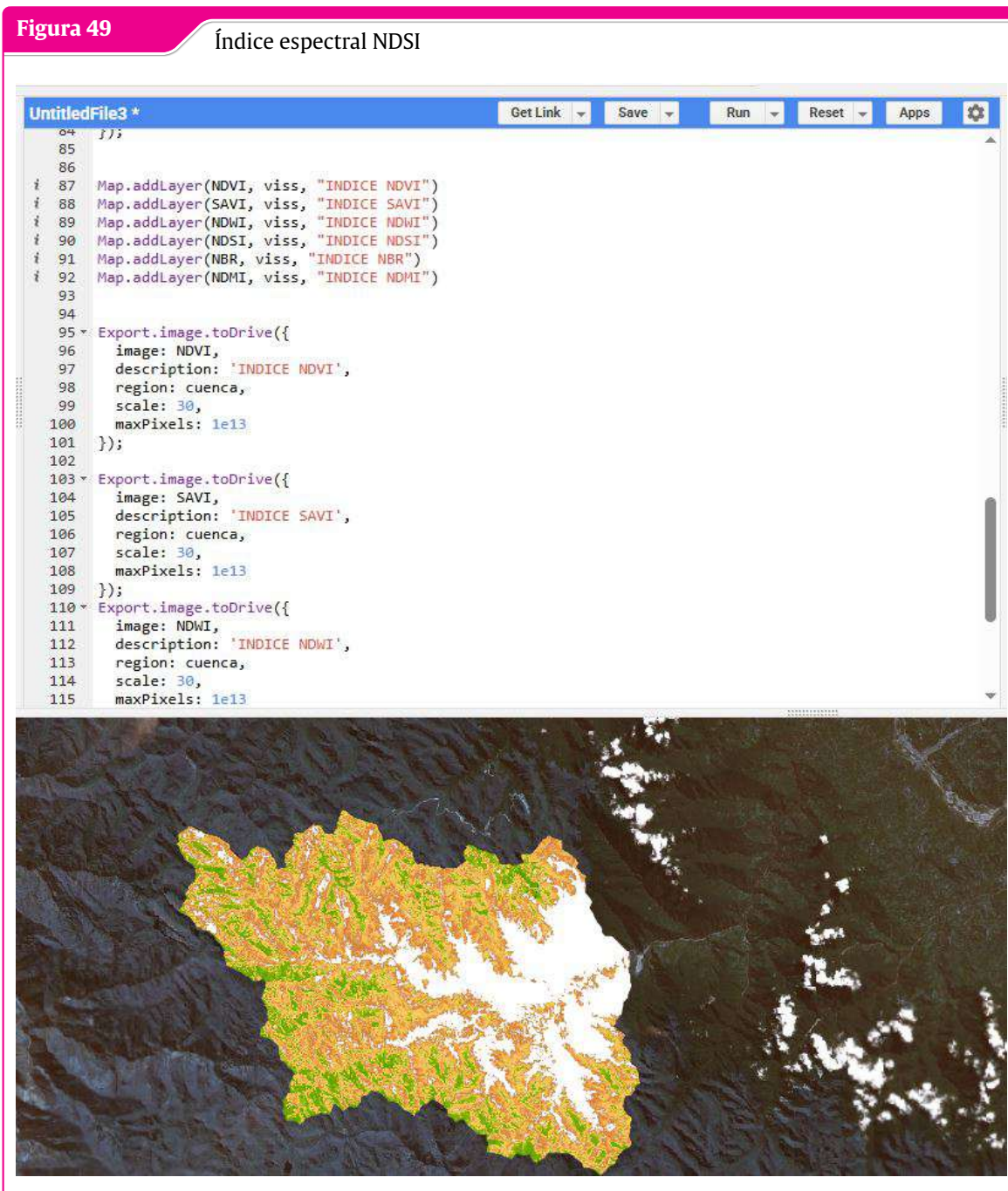
Mapa temático del índice espectral SAVI



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

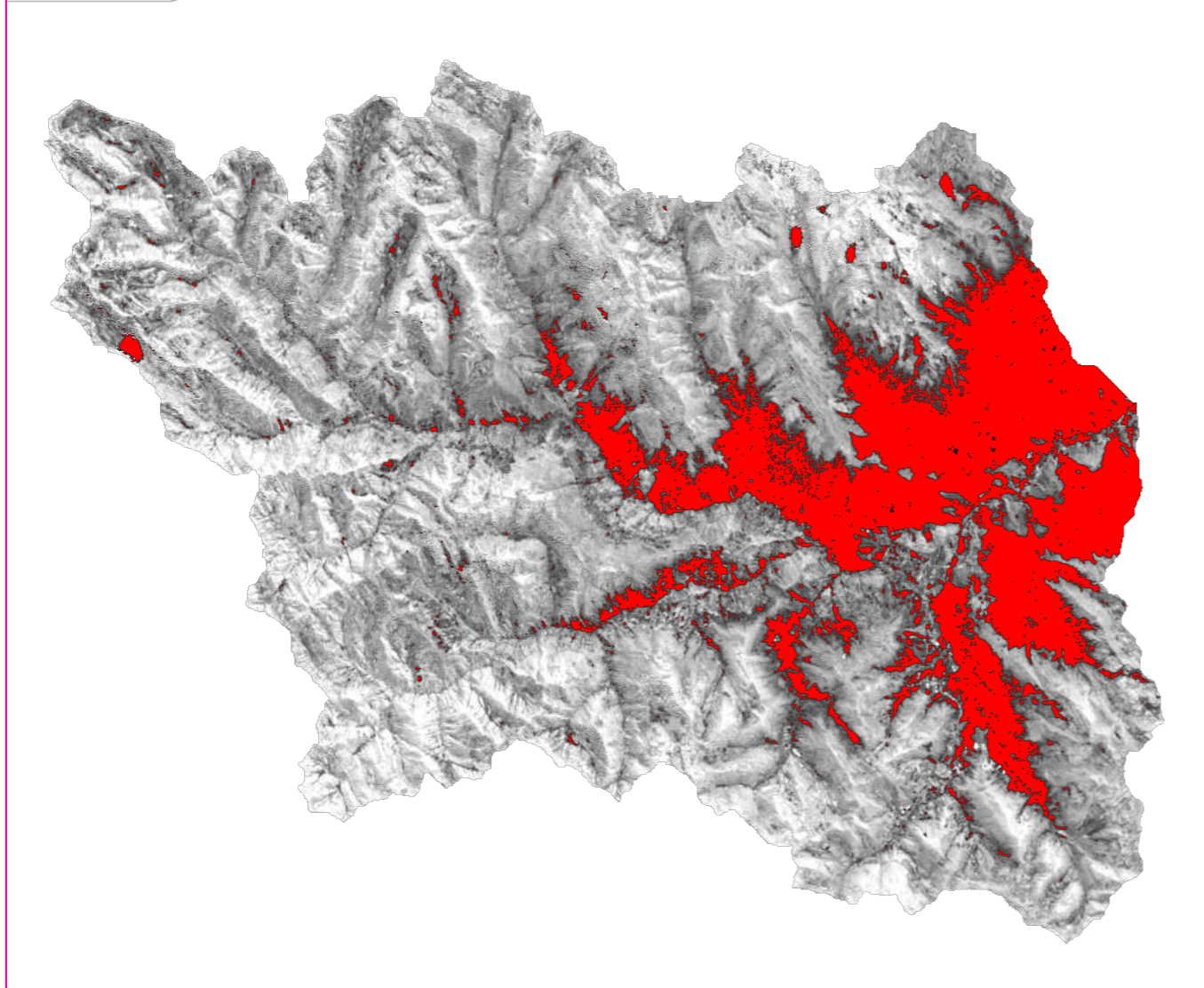
3.8.4.4 Calculando el índice espectral NDSI

Mediante el uso de JavaScript, se desarrollaron secuencias de código destinadas a la adquisición de imágenes que contienen datos de humedad del suelo (Soil Moisture) del satélite SMAP, restringiendo la extracción a la región de la cuenca de Tutumbaru.



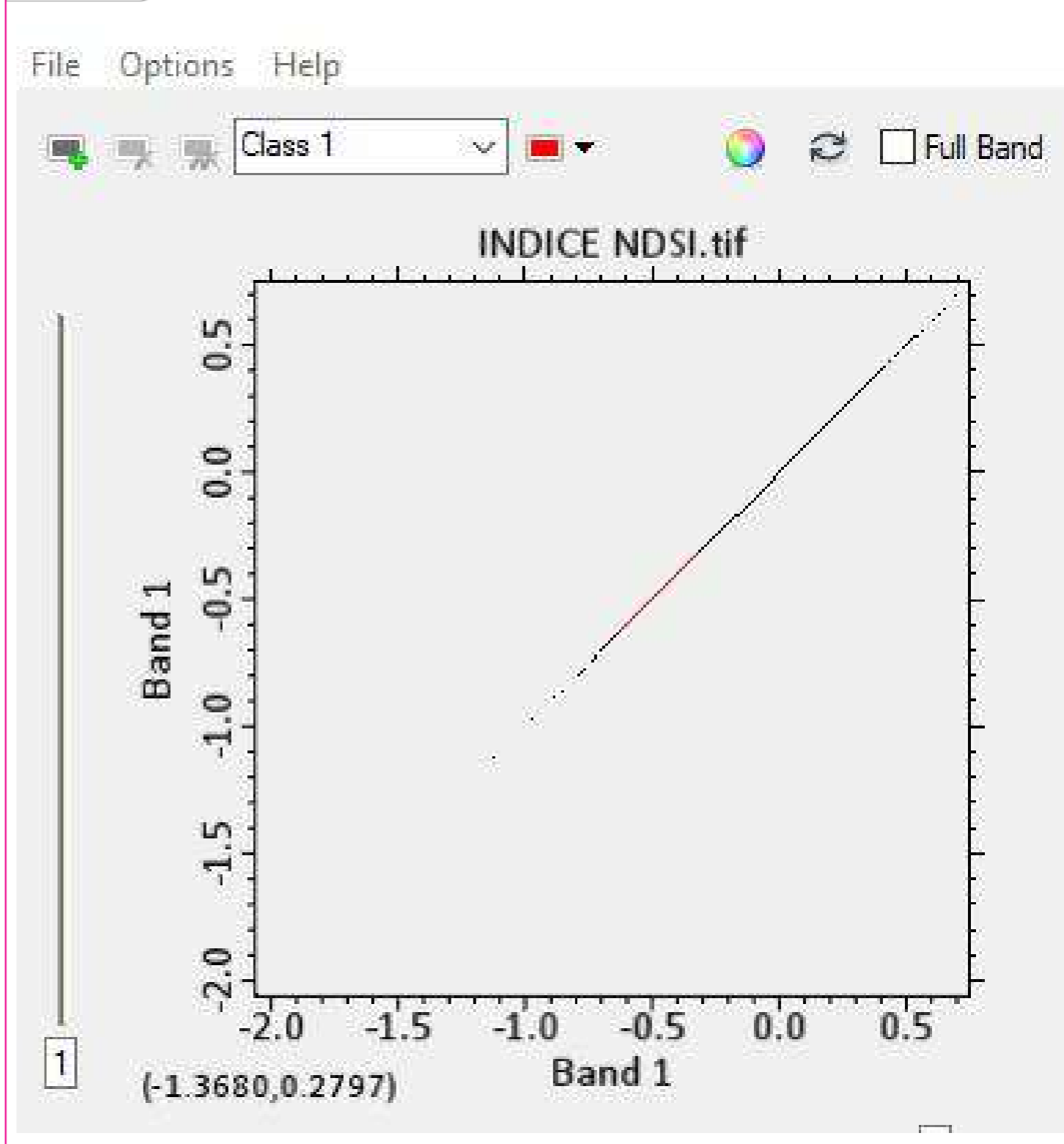
Fuente: Elaboracion Propia con GEE

Figura 50 Pixeles para el indice NDSI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

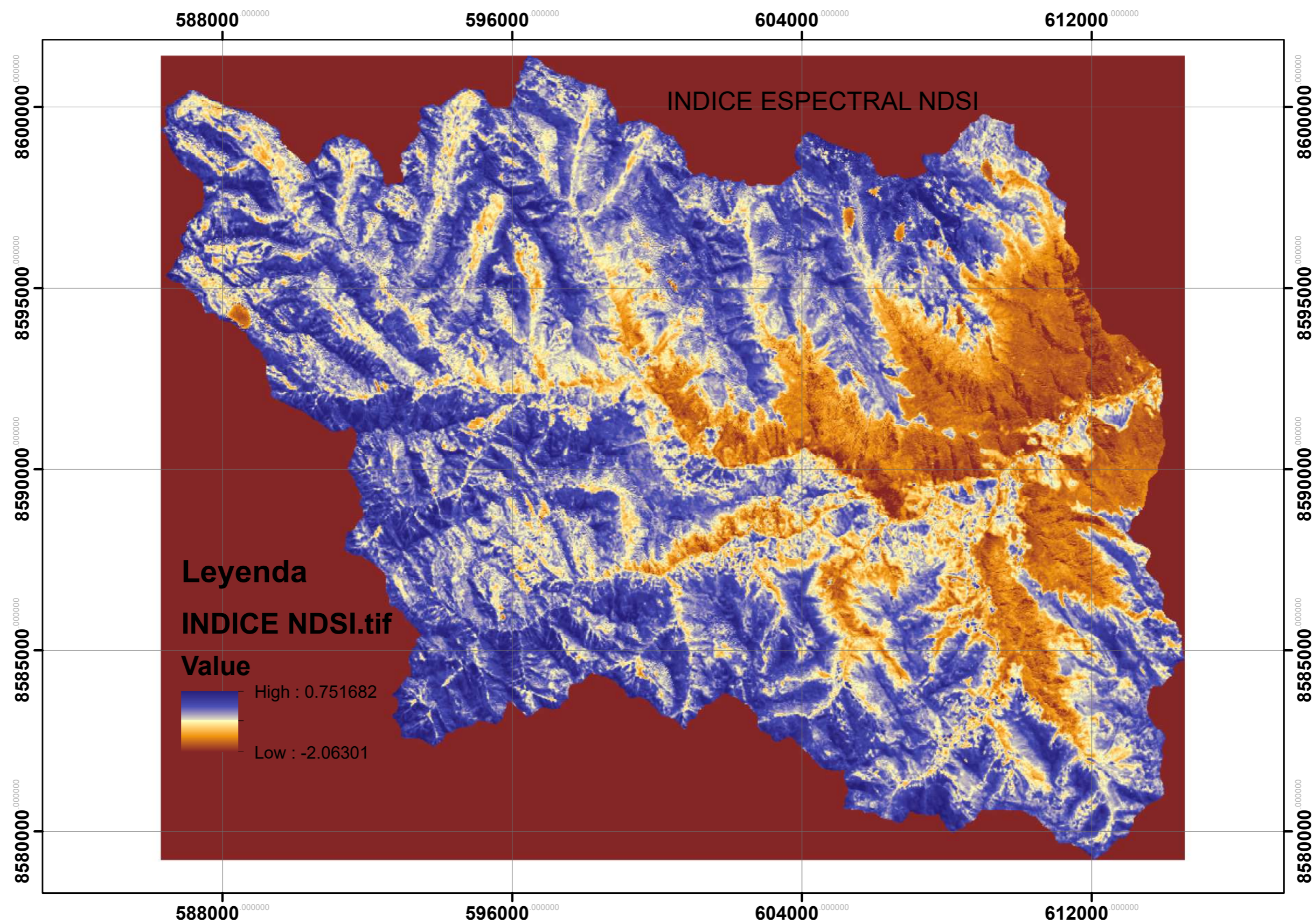
Figura 51 banda de la longitud de onda del indice espectral NDSI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 52

Mapa temático del índice espectral NDSI



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

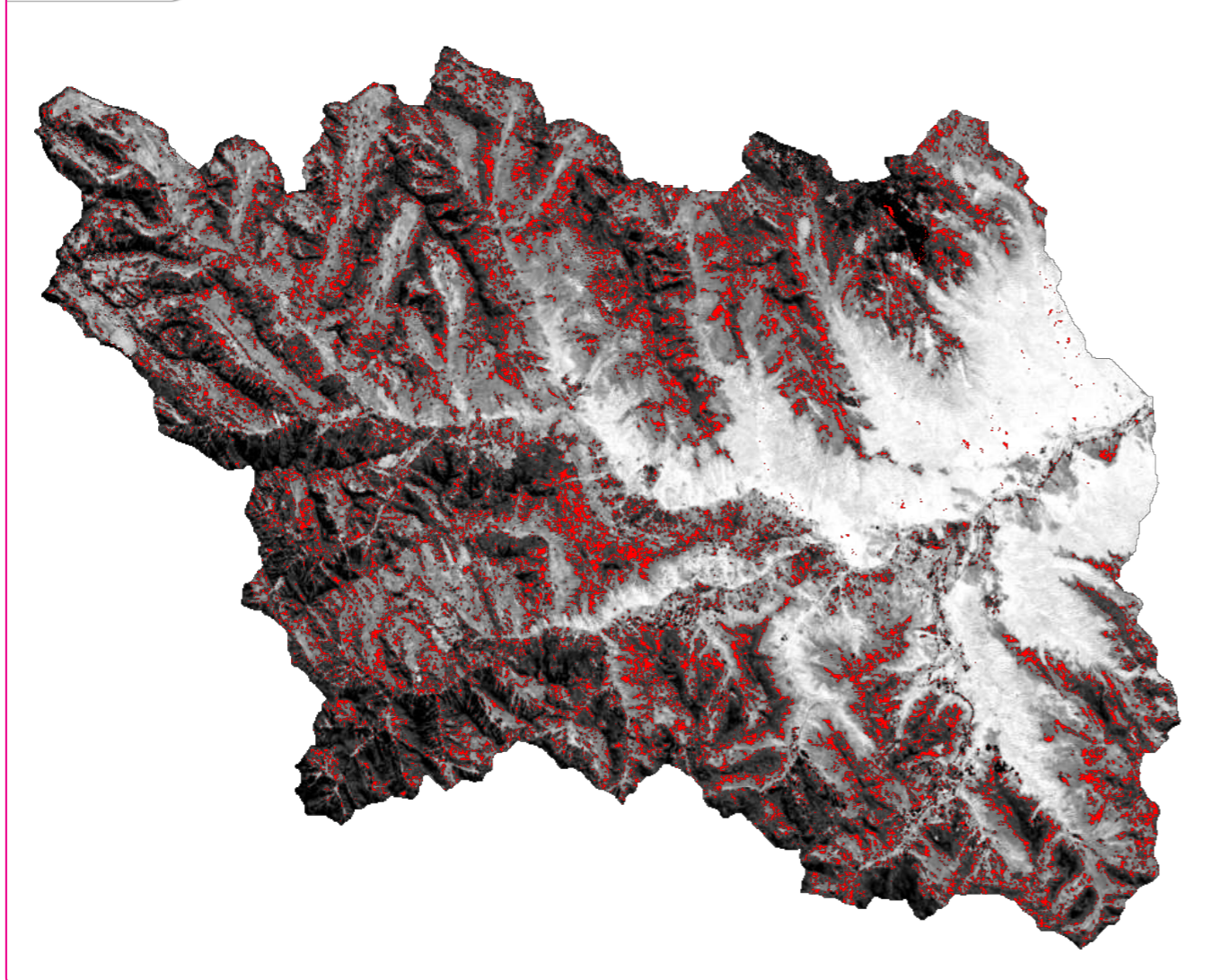
3.8.4.5 Calculando el índice espectral NBR

Se implementaron rutinas de programación en JavaScript para obtener imágenes con datos de humedad del suelo (Soil Moisture) del sensor SMAP, delimitando el área de estudio a la cuenca de Tutumbaru.



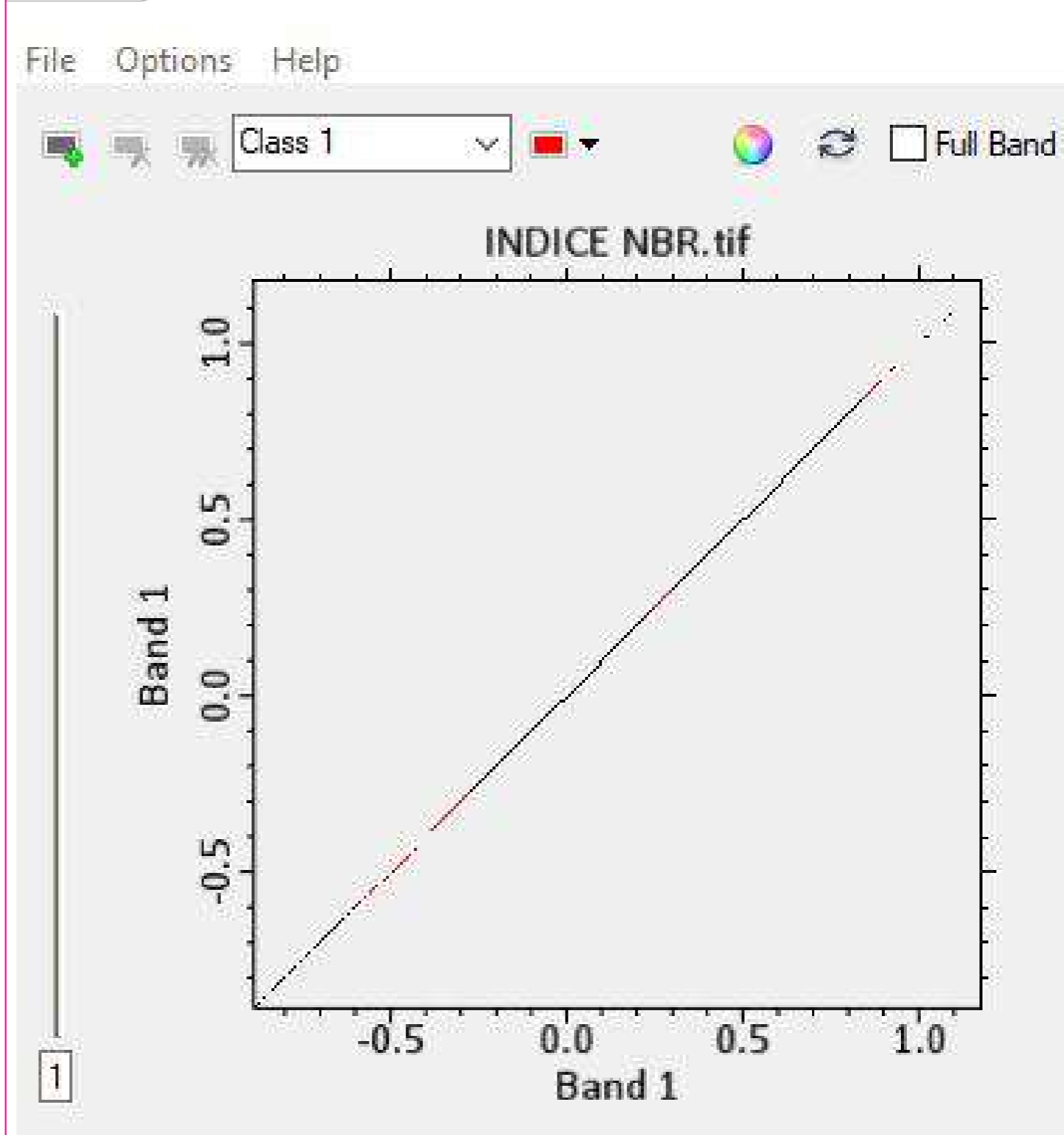
Fuente: Elaboracion Propia con GEE

Figura 54 Pixeles para el índice NBR



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

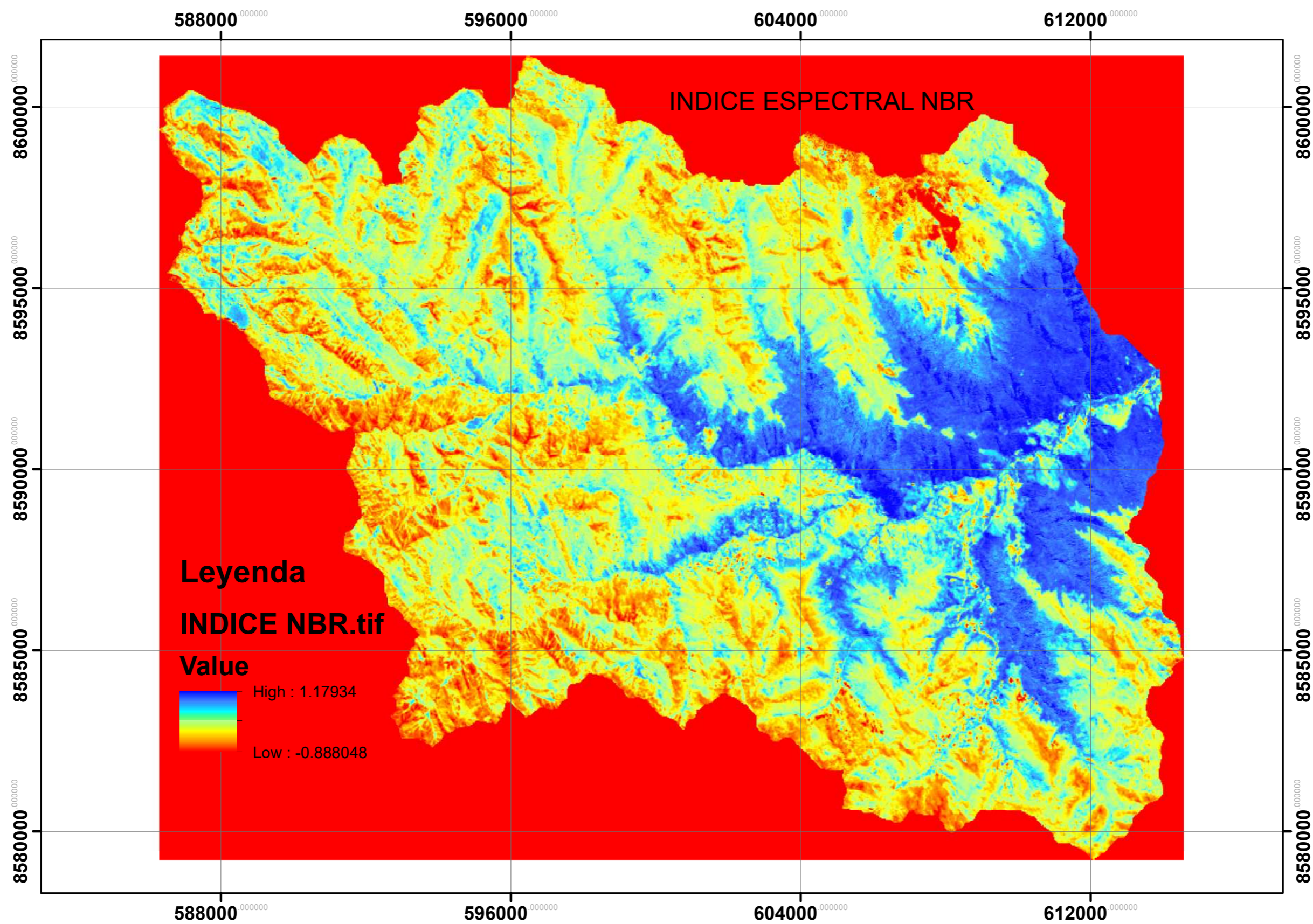
Figura 55 banda de la longitud de onda del índice espectral NBR



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 56

Mapa temático del índice espectral NBR

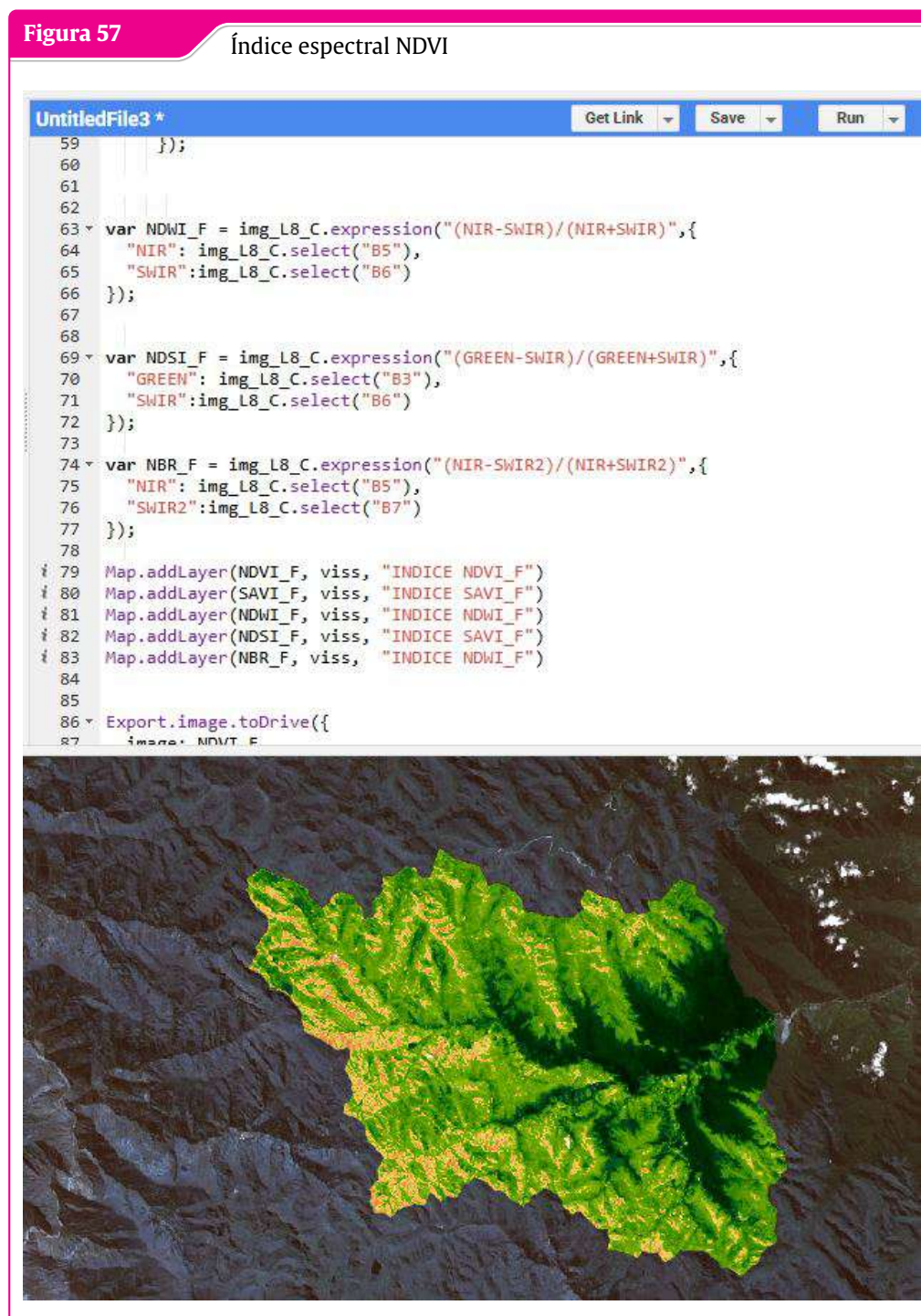


Fuente: Elaboracion Propia con GEE

3.8.5 Cálculo de los índices espectrales para la temporada Agosto

3.8.5.1 Calculando el índice espectral NDVI

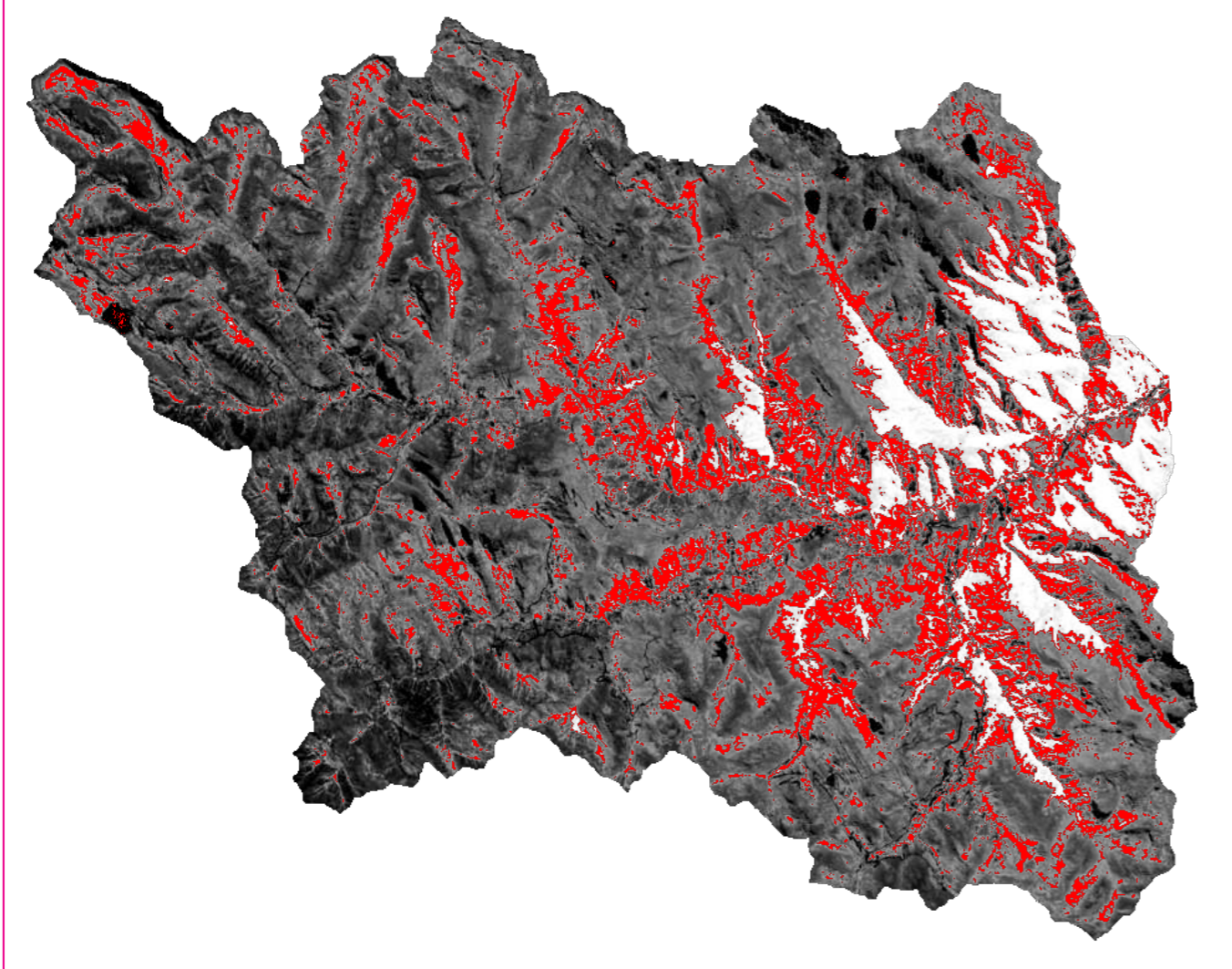
Se emplea el lenguaje de programación JavaScript en la plataforma Google Earth Engine con el propósito de calcular el índice espectral correspondiente a la temporada del mes de agosto.



Fuente: Elaboración Propia con GEE

Figura 58

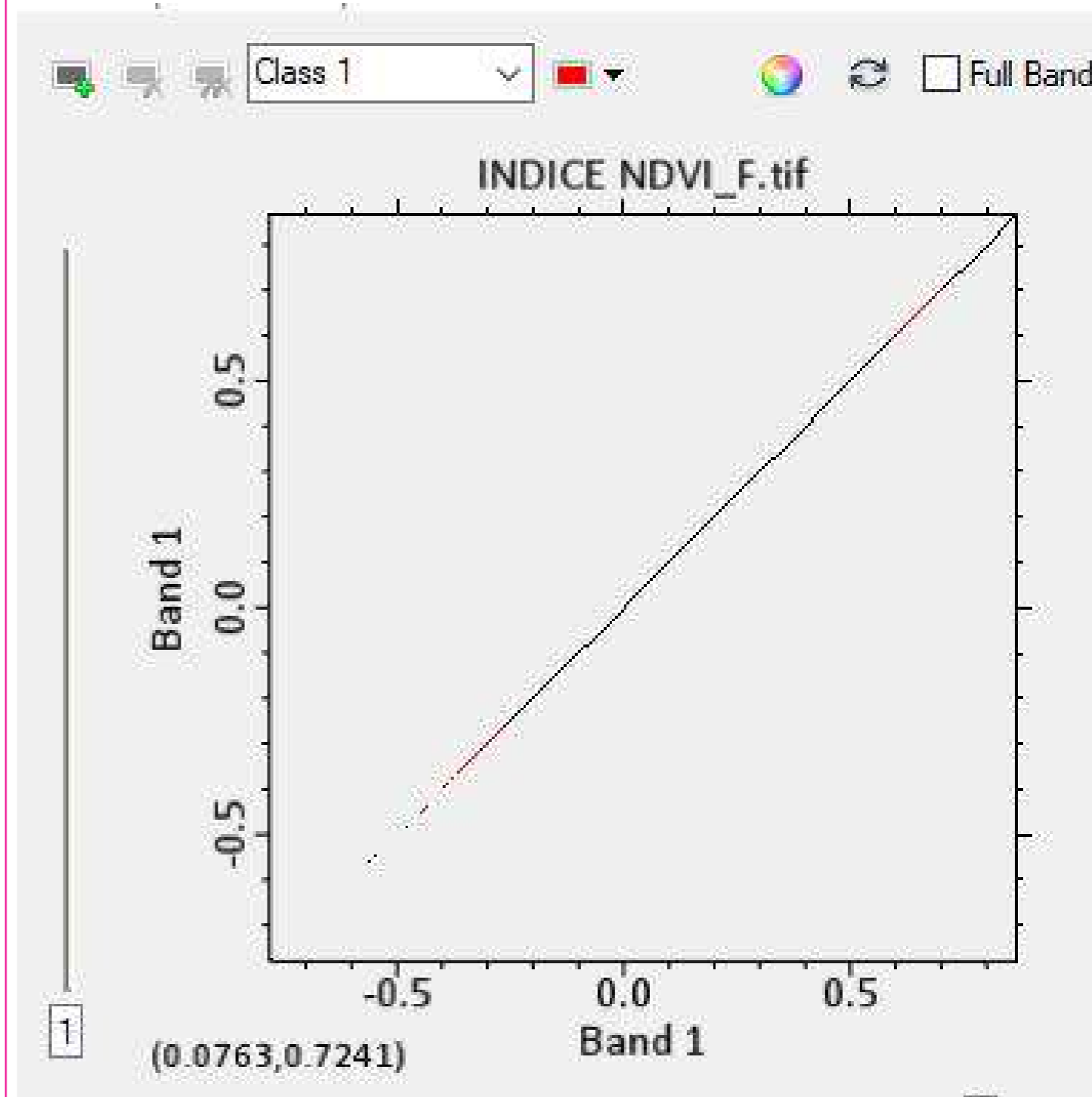
Píxeles para el índice NDVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 59

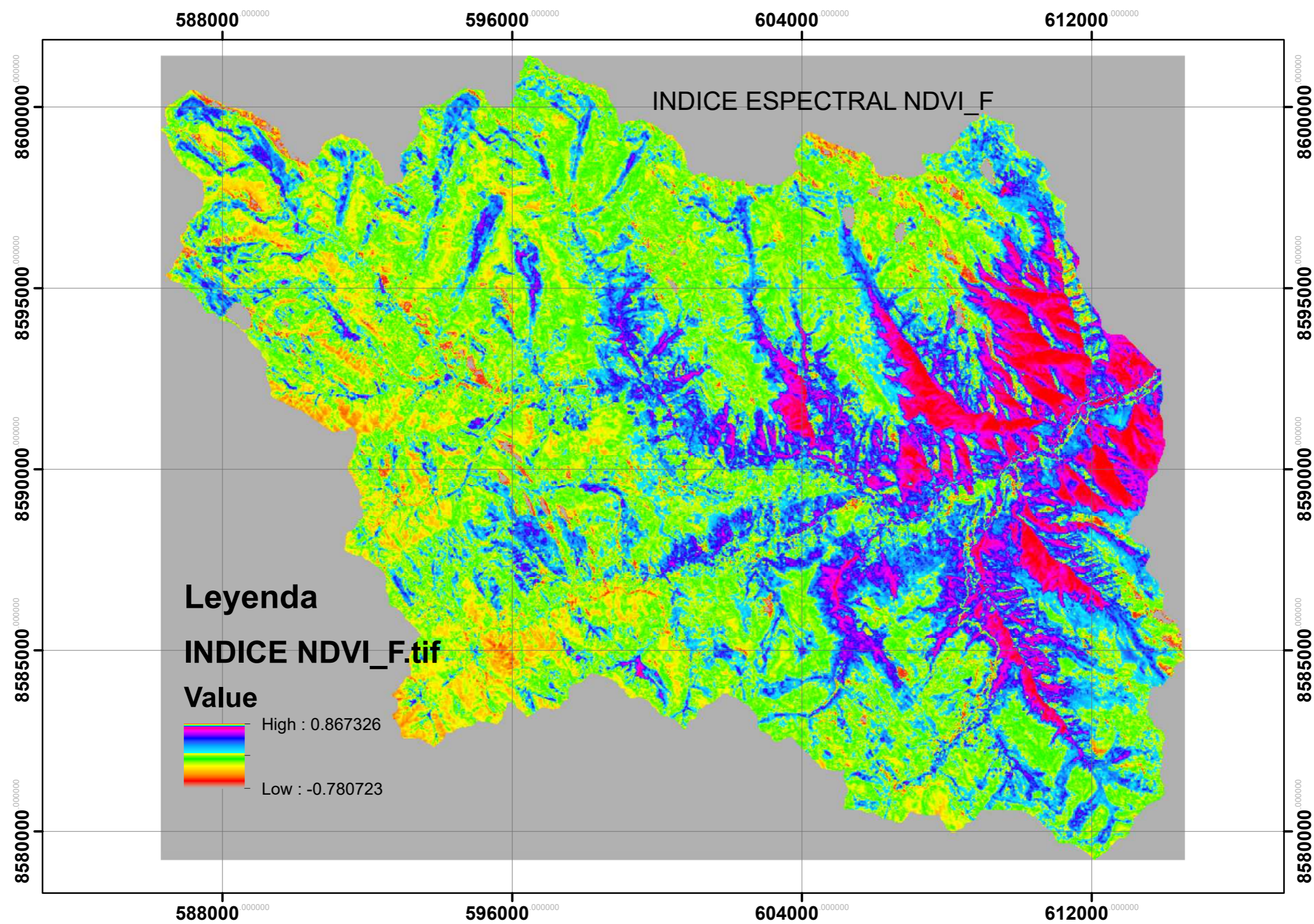
banda de la longitud de onda del índice espectral NDVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 60

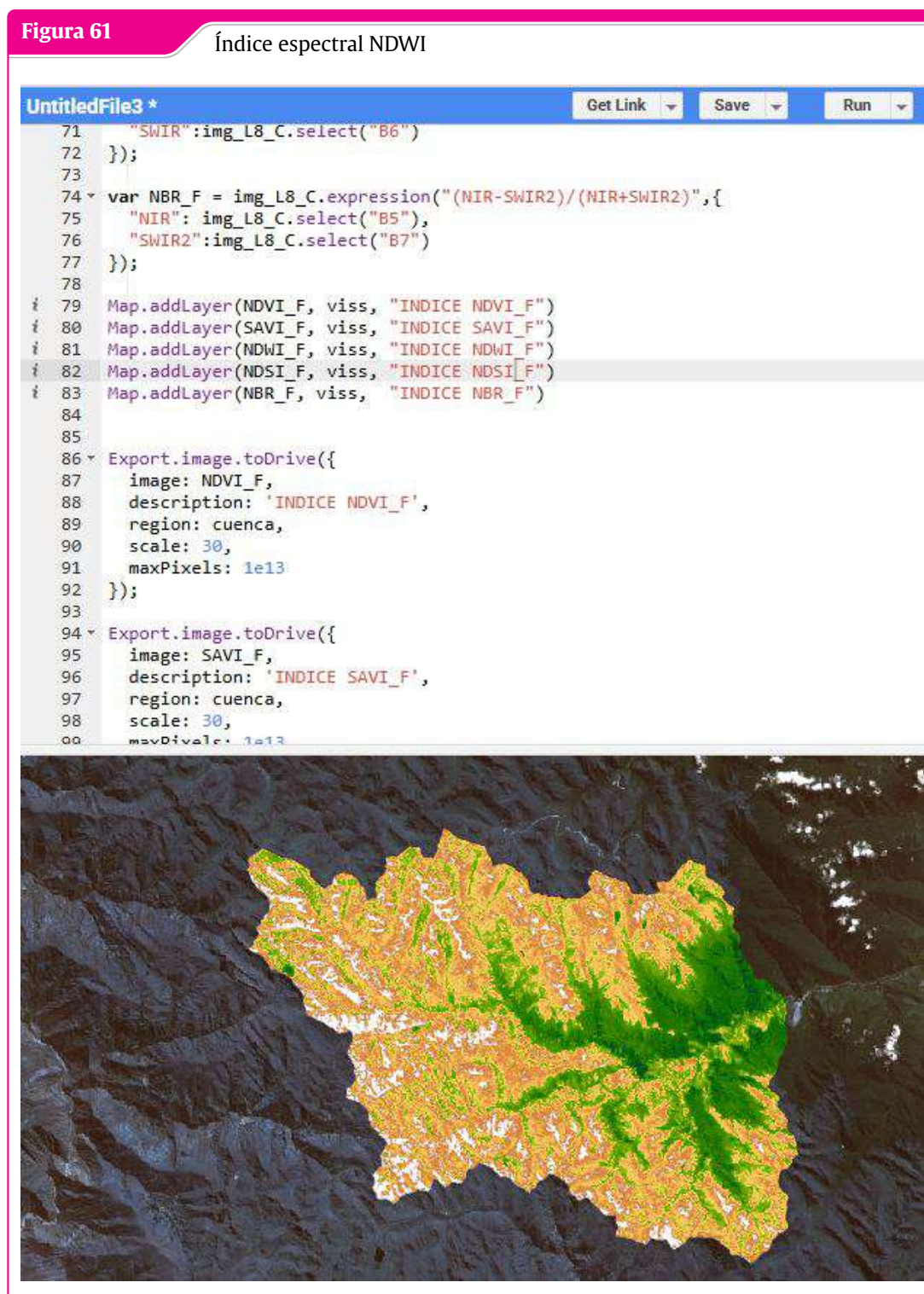
Mapa temático del índice espectral NDVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

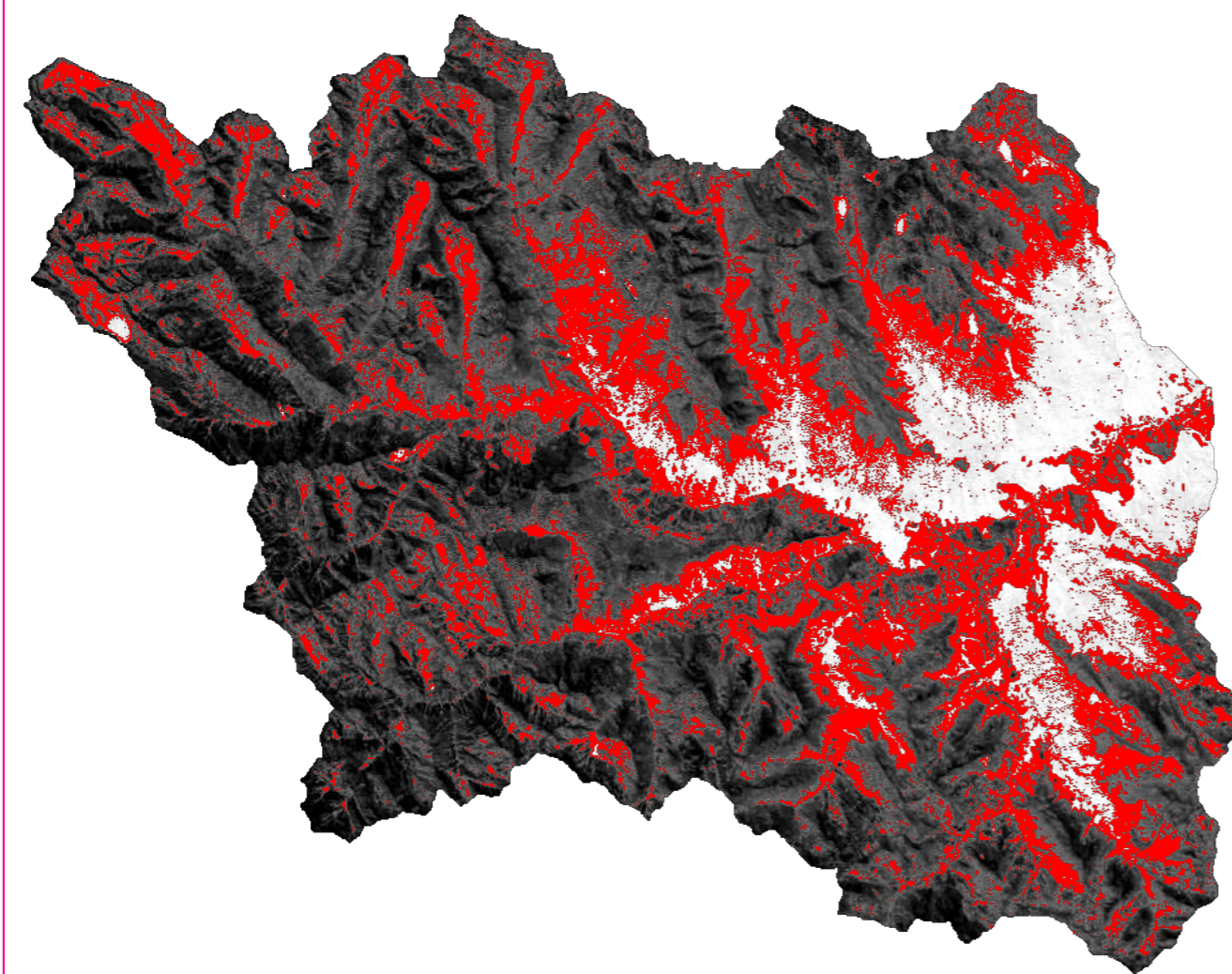
3.8.5.2 Calculando el índice espectral NDWI de Agosto

Se utiliza el lenguaje de programación de JAVA SCRIPT



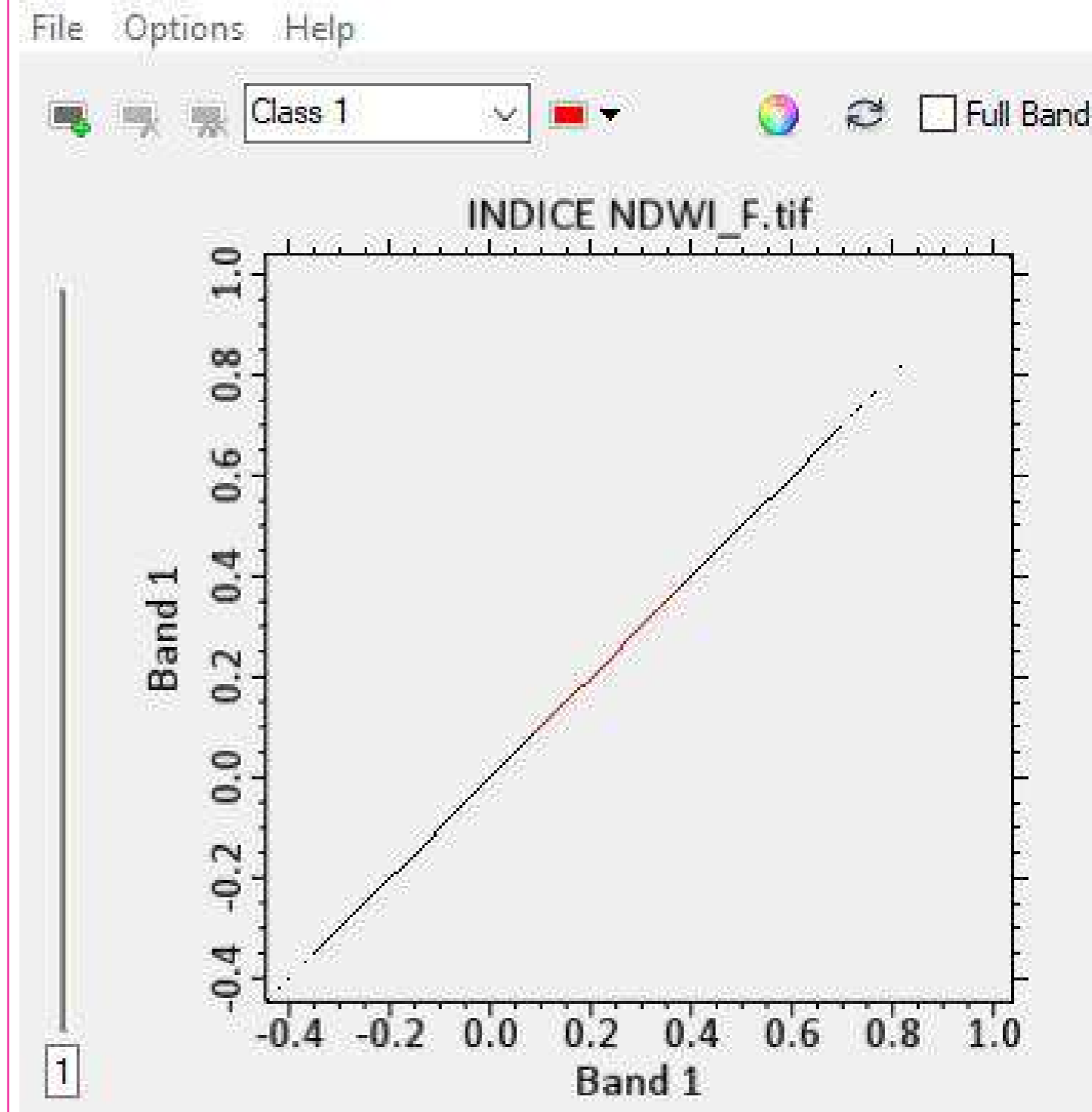
Fuente: Elaboracion Propia con GEE

Figura 62 Pixeles para el indice NDWI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

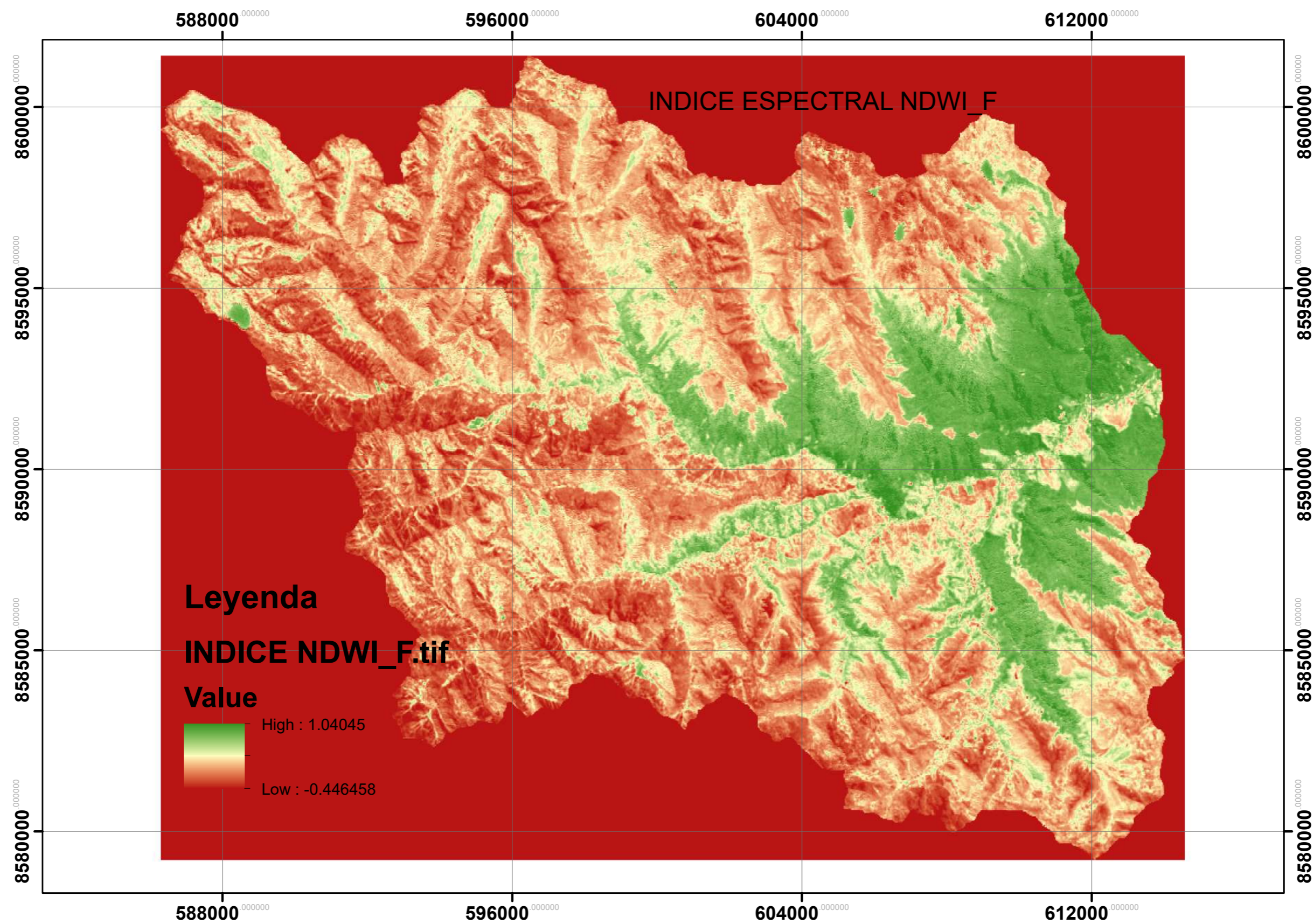
Figura 63 banda de la longitud de onda del indice espectral NDWI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 64

Mapa temático del índice espectral NDWI



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

3.8.5.3 Calculando el índice espectral SAVI de Agosto

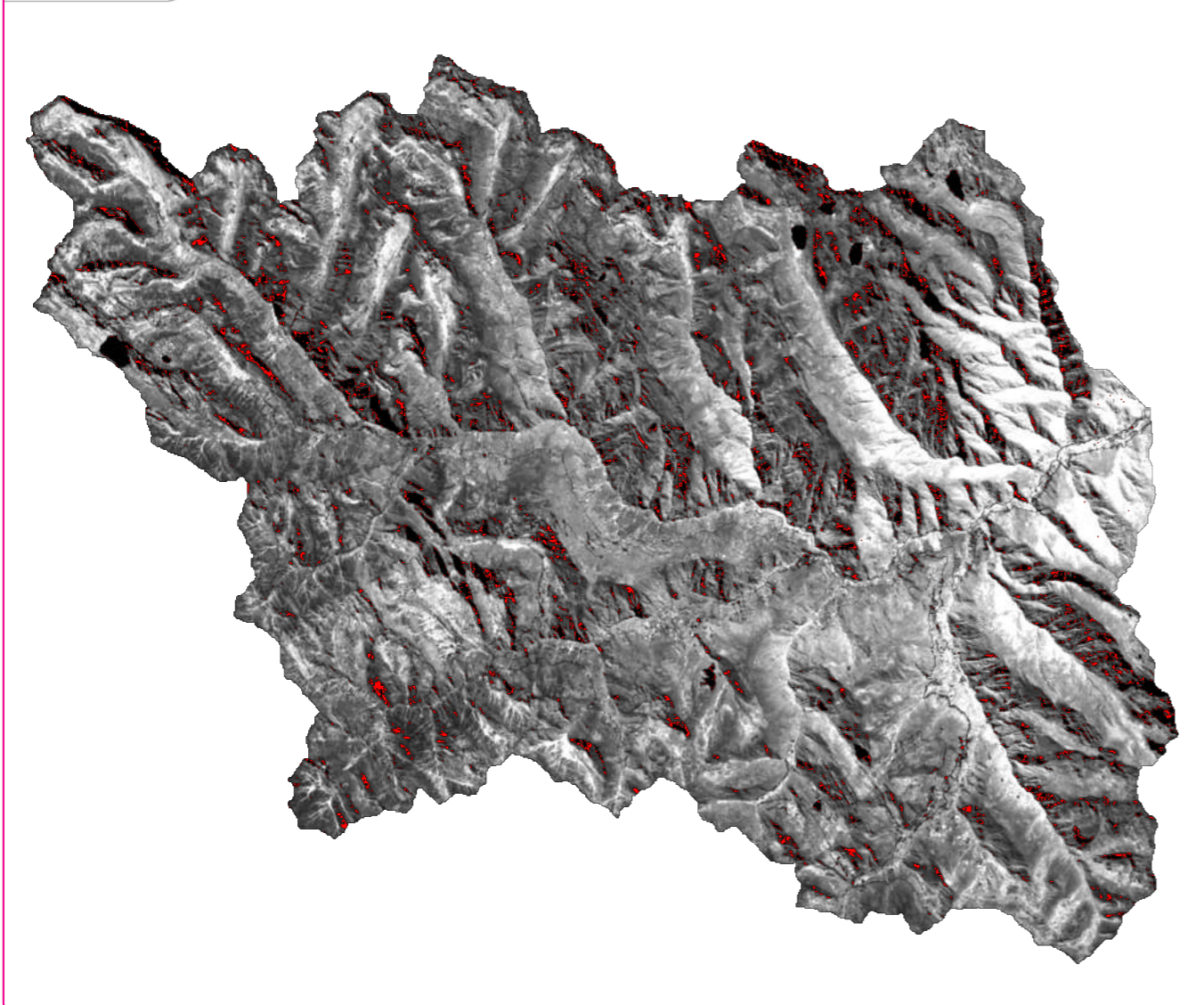
Se utiliza el lenguaje de programación de JAVA SCRIP



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

Figura 66

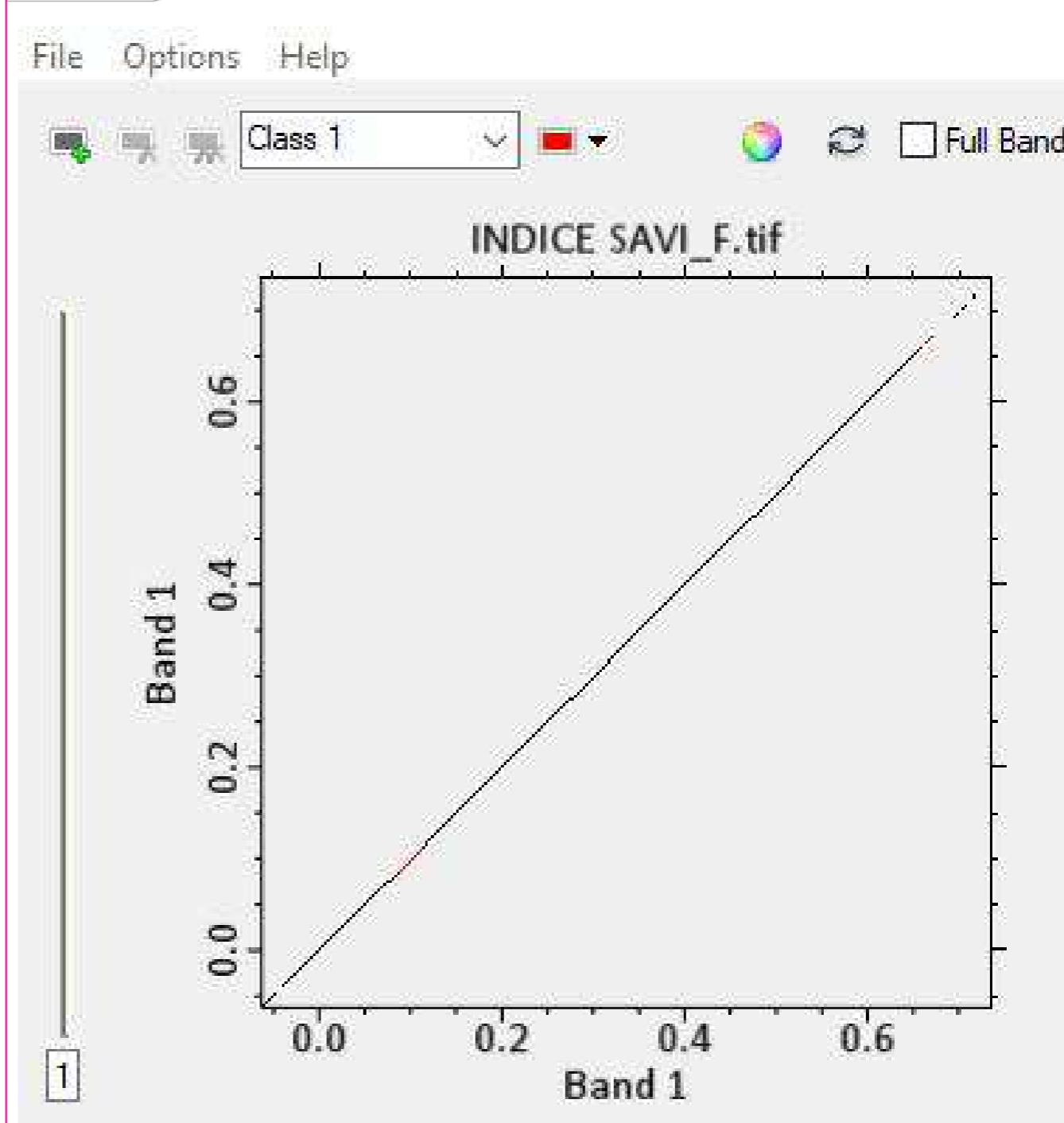
Píxeles para el índice SAVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 67

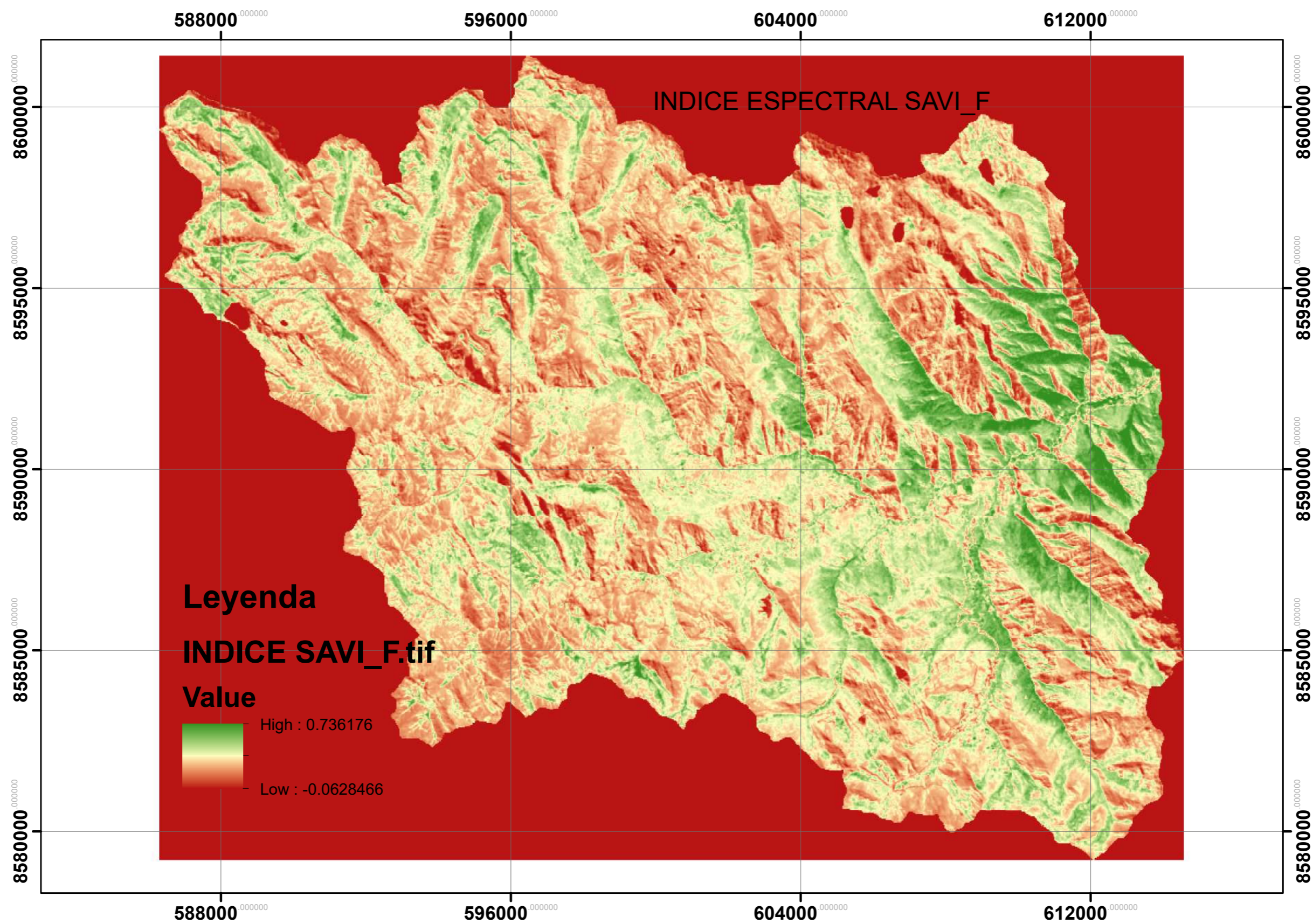
banda de la longitud de onda del índice espectral SAVI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 68

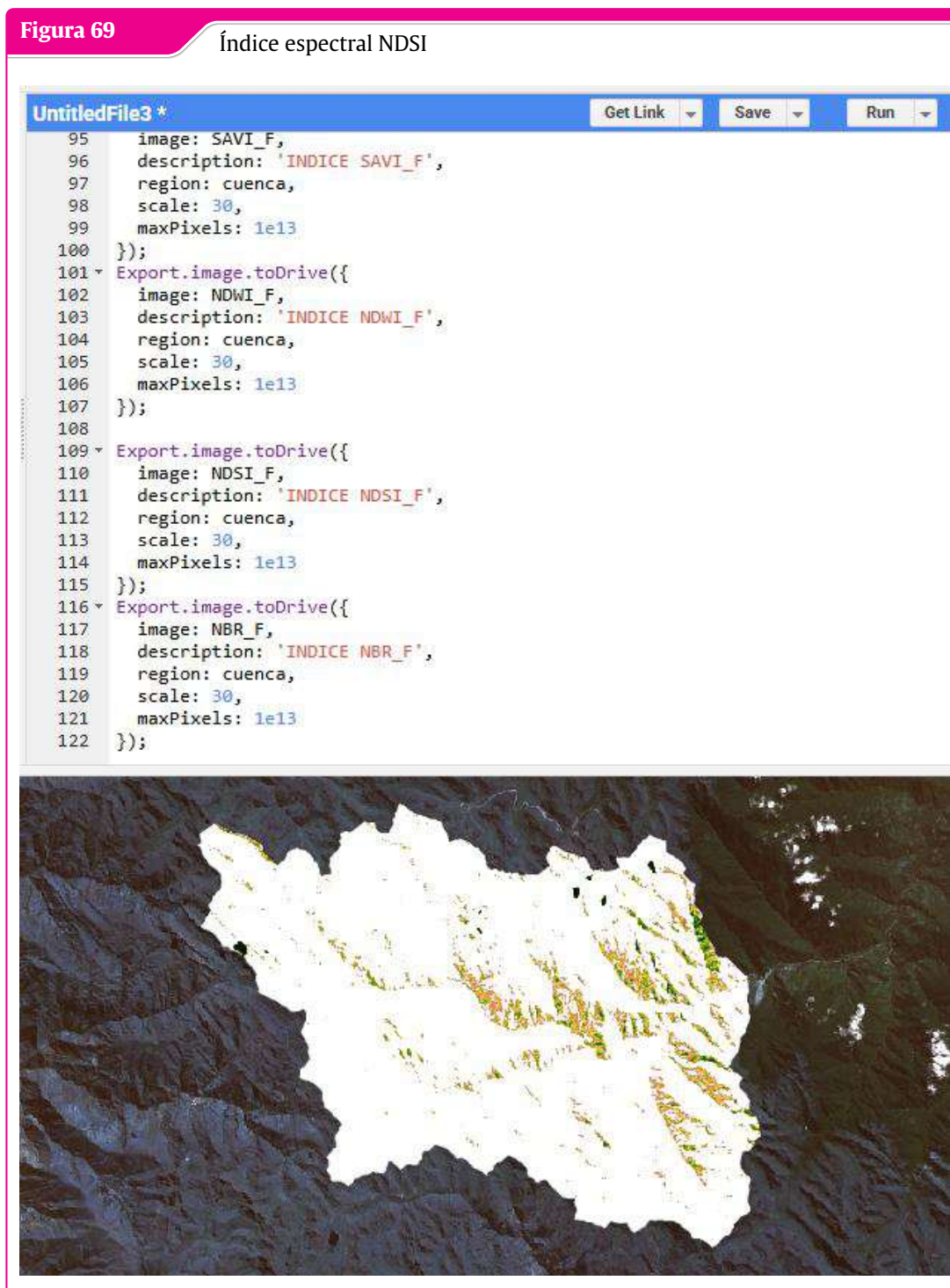
Mapa temático del índice espectral SAVI



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

3.8.5.4 Calculando el índice espectral NDSI de Agosto

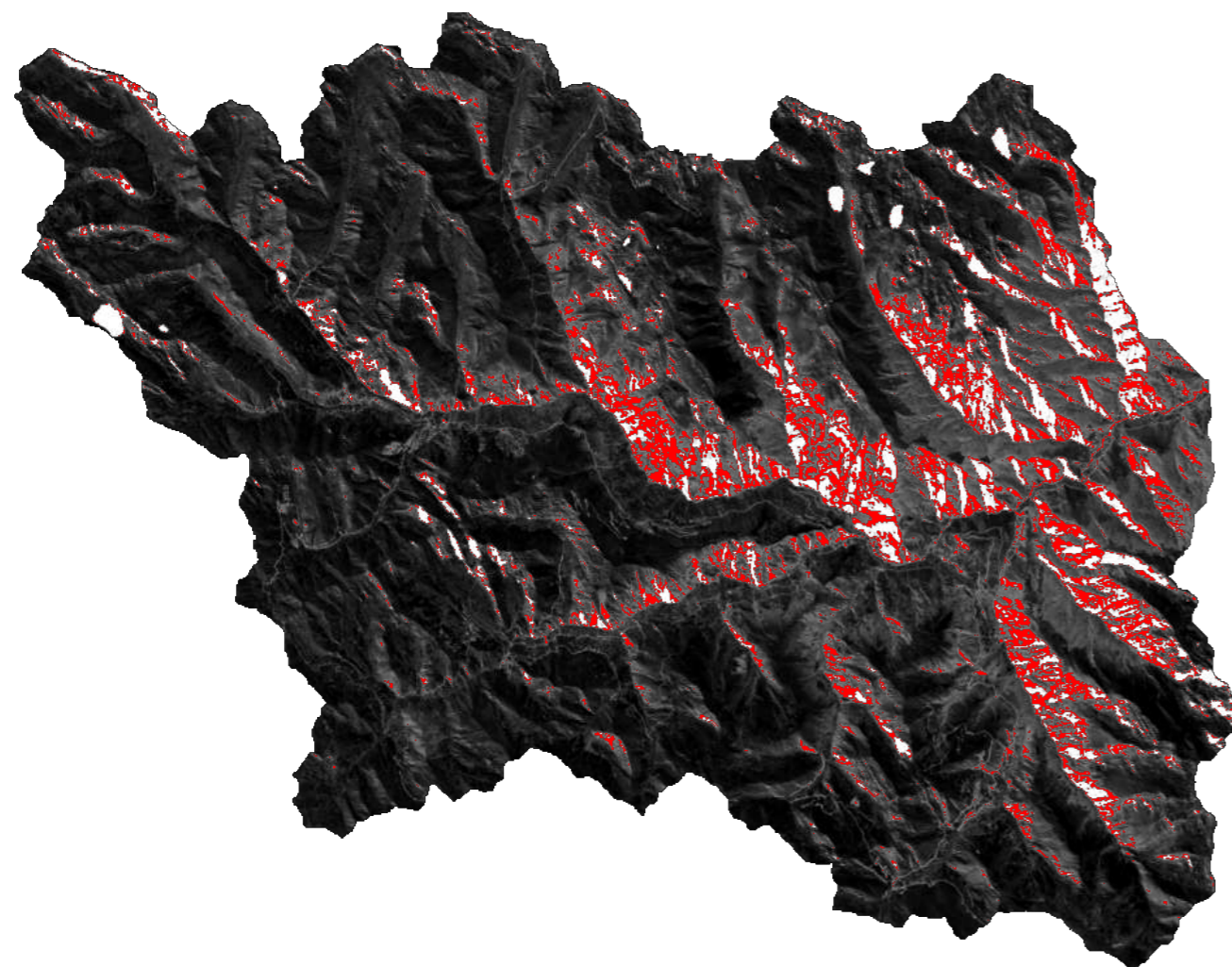
Para la adquisición de imágenes que contienen datos de humedad del suelo (Soil Moisture) del sensor SMAP en la cuenca de Tutumbaru, se desarrollaron scripts en lenguaje JavaScript.



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

Figura 70

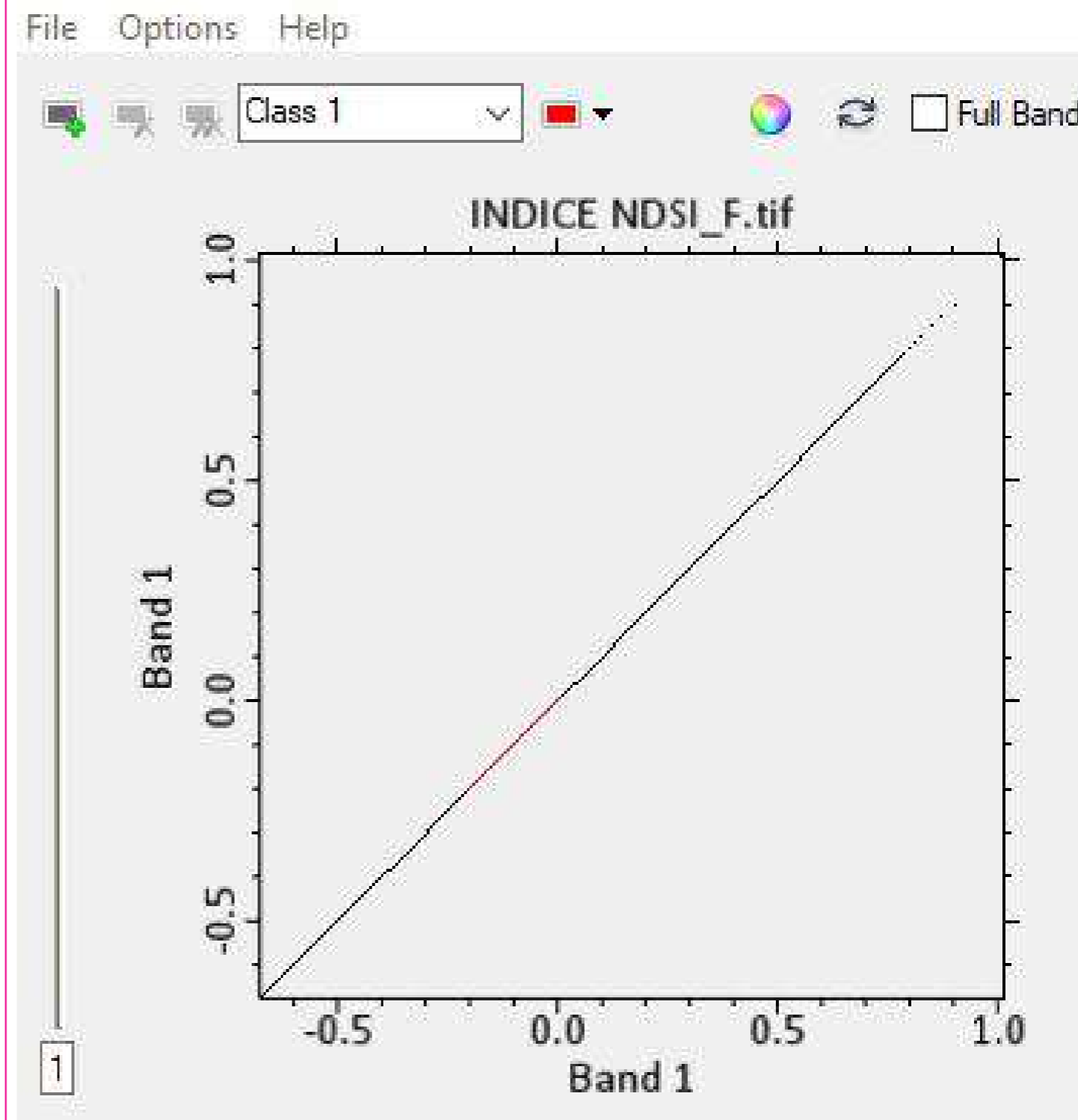
Píxeles para el índice NDSI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 71

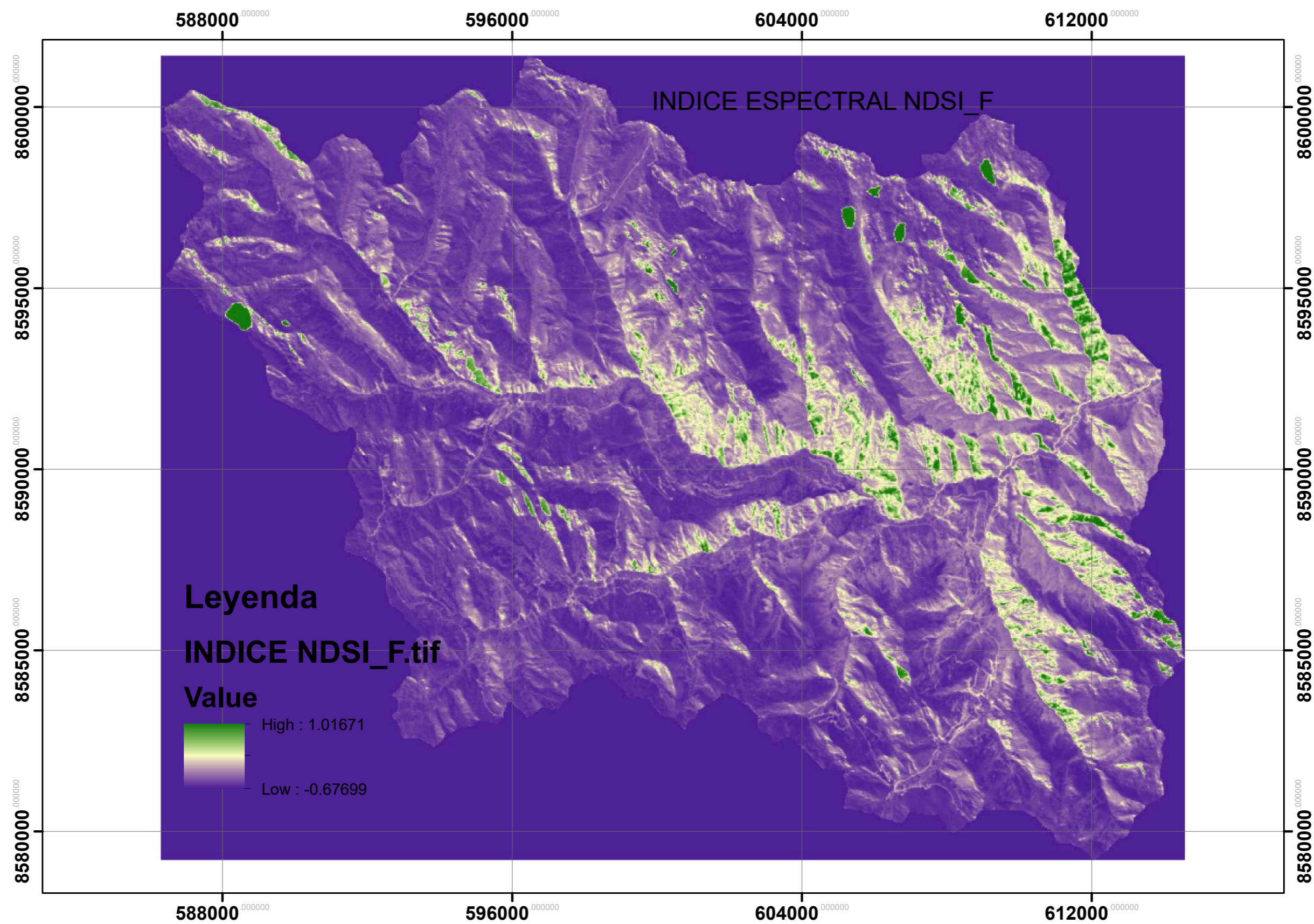
banda de la longitud de onda del índice espectral NDSI



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 72

Mapa temático del índice espectral NDSI



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

3.8.5.5 Calculando el índice espectral NBR de Agosto

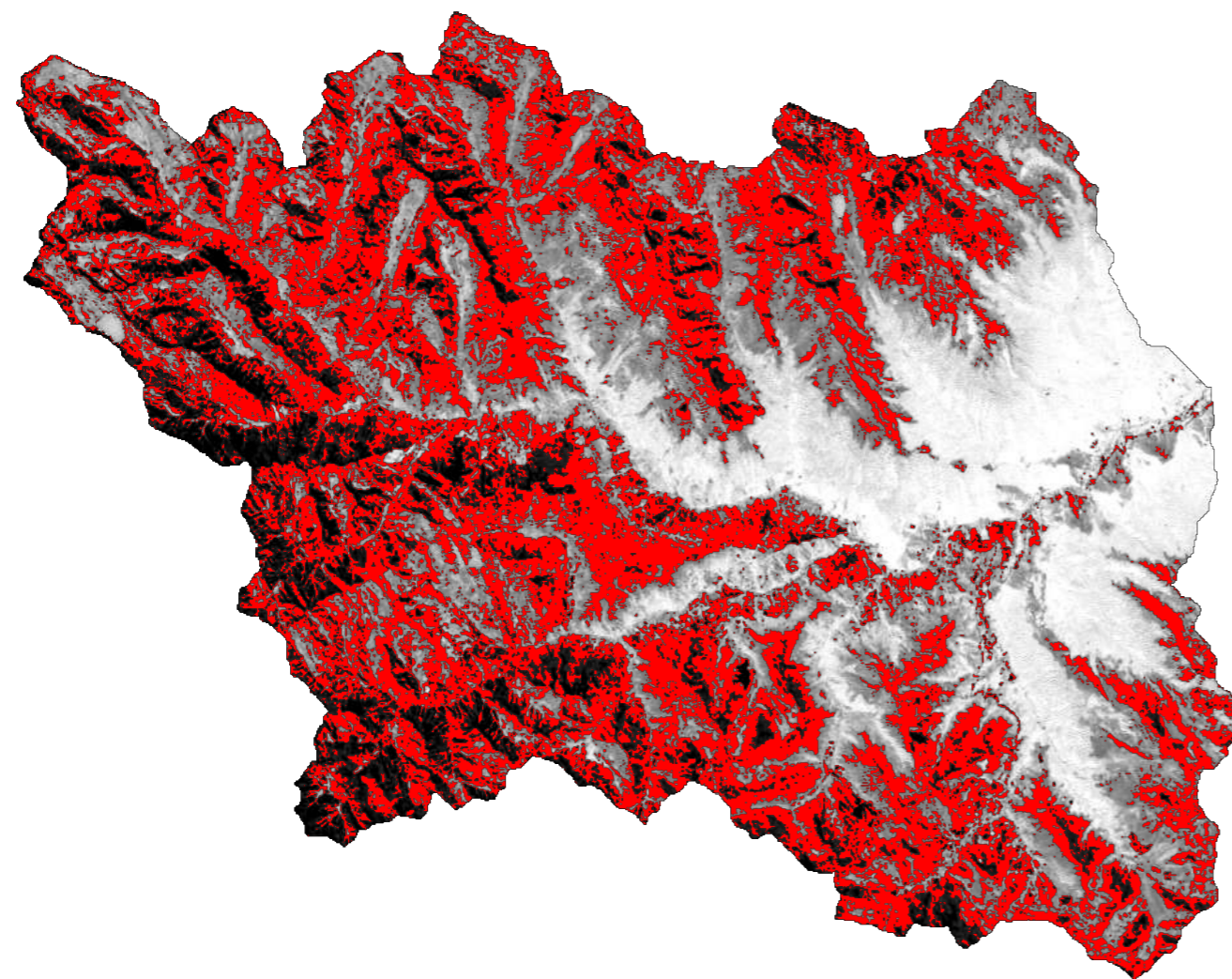
Mediante el uso de JavaScript, se generaron secuencias de código destinadas a extraer imágenes con datos de humedad del suelo (Soil Moisture) del satélite SMAP, enfocadas en la cuenca de Tutumbaru.



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

Figura 74

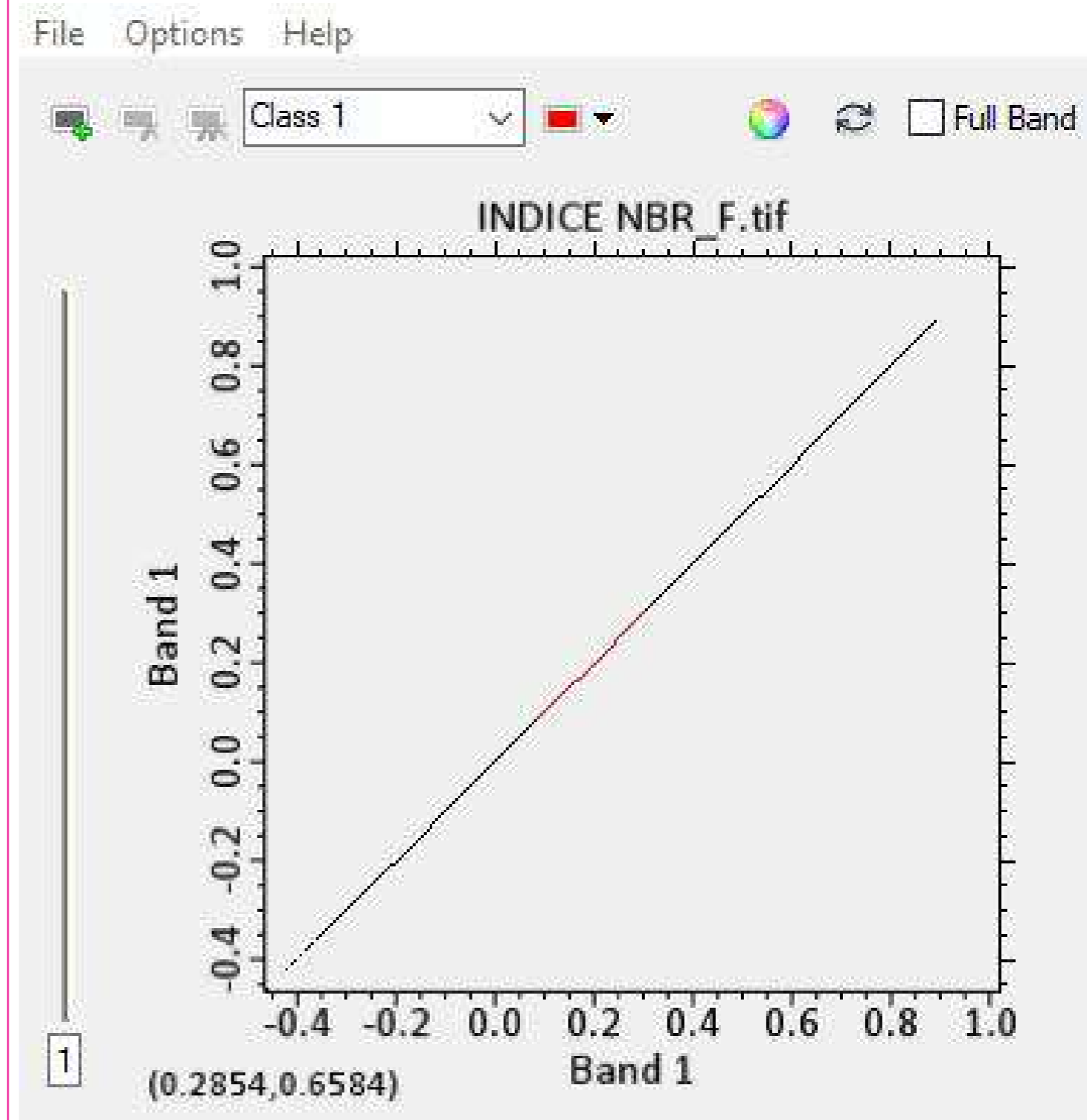
Pixeles para el índice NBR



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 75

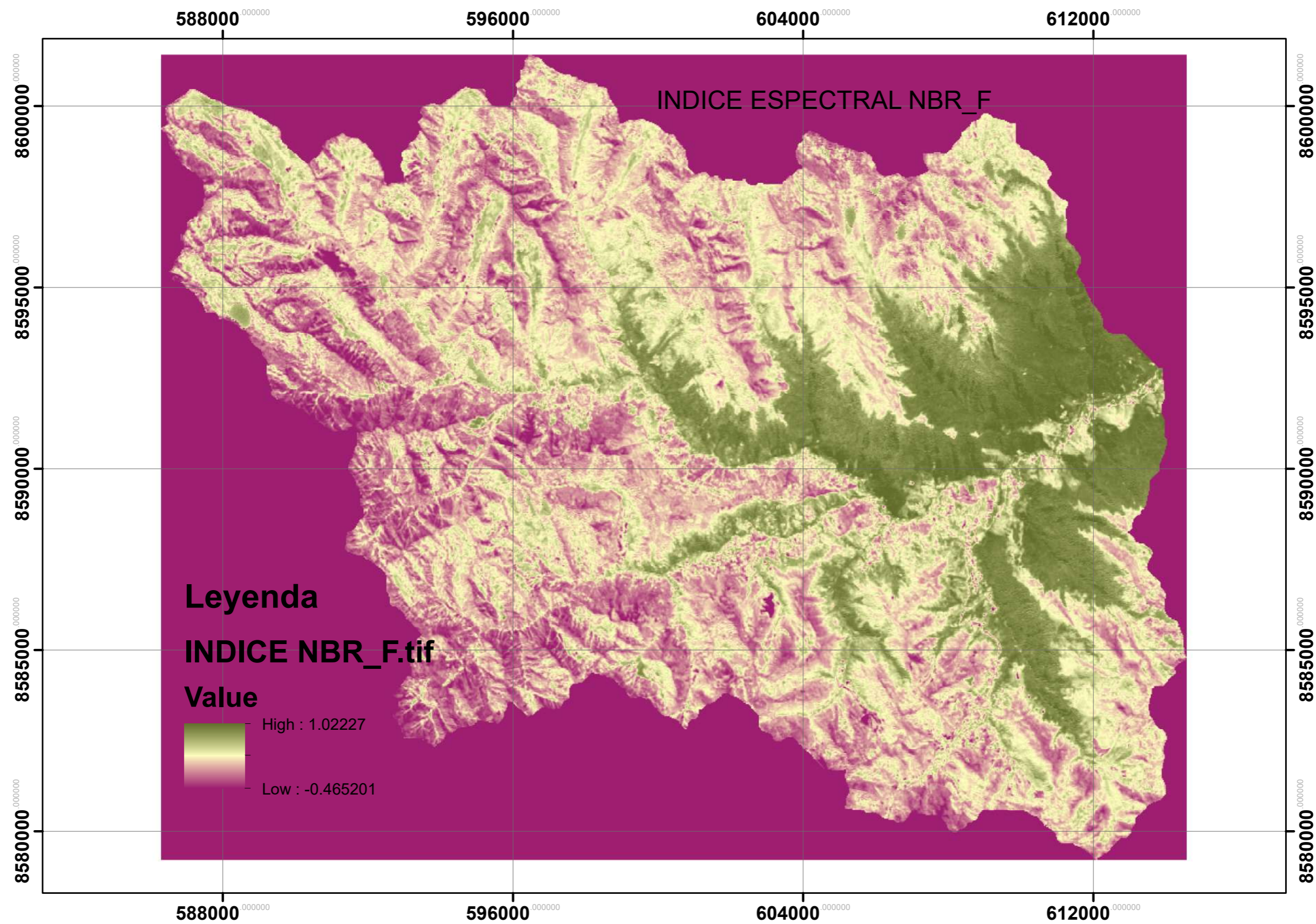
banda de la longitud de onda del índice espectral NBR



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 76

Mapa temático del índice espectral NBR

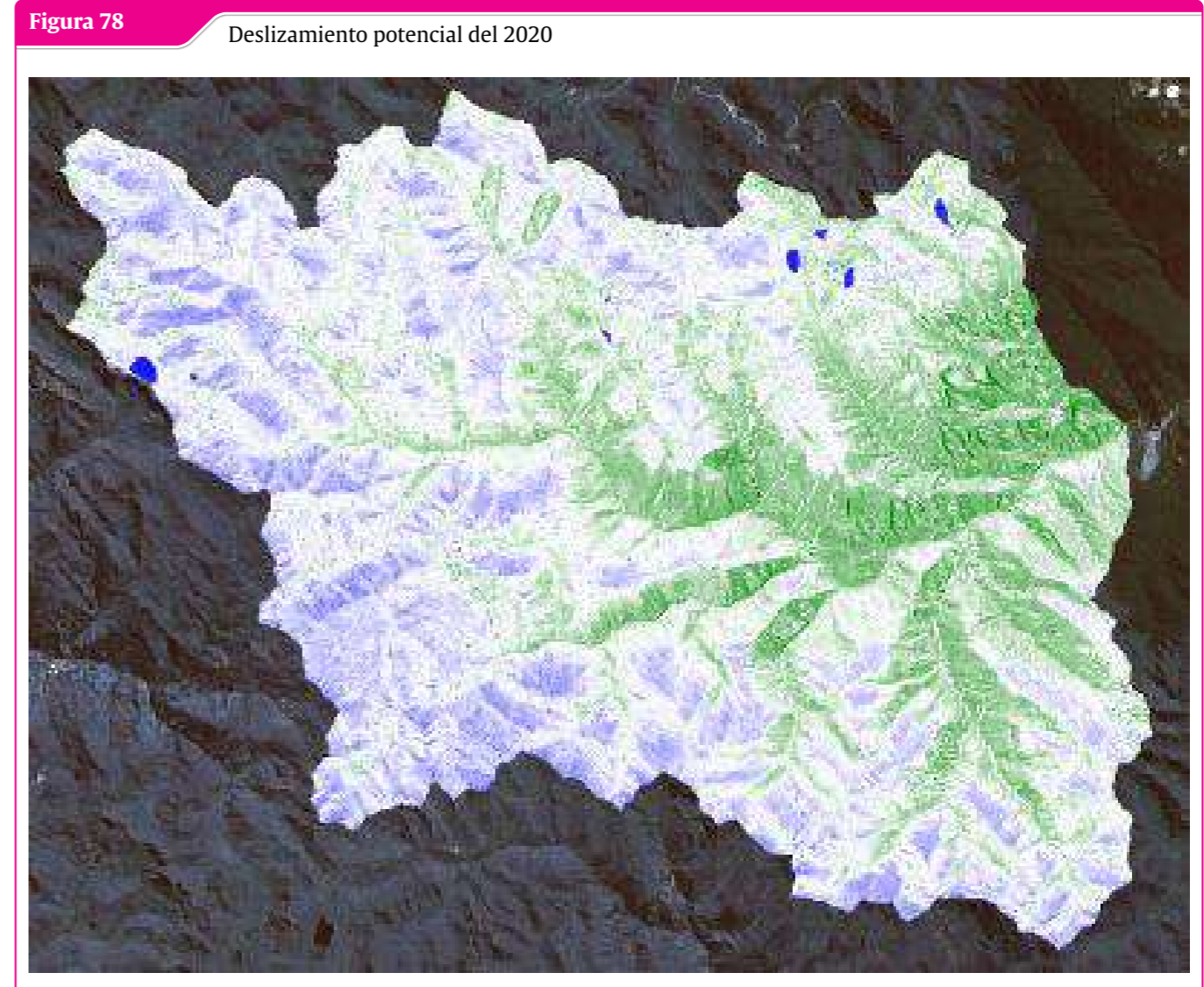


Fuente: Elaboracion Propia con GEE

3.8.6 Detección de deslizamientos de masas entre el 2019 al 2020



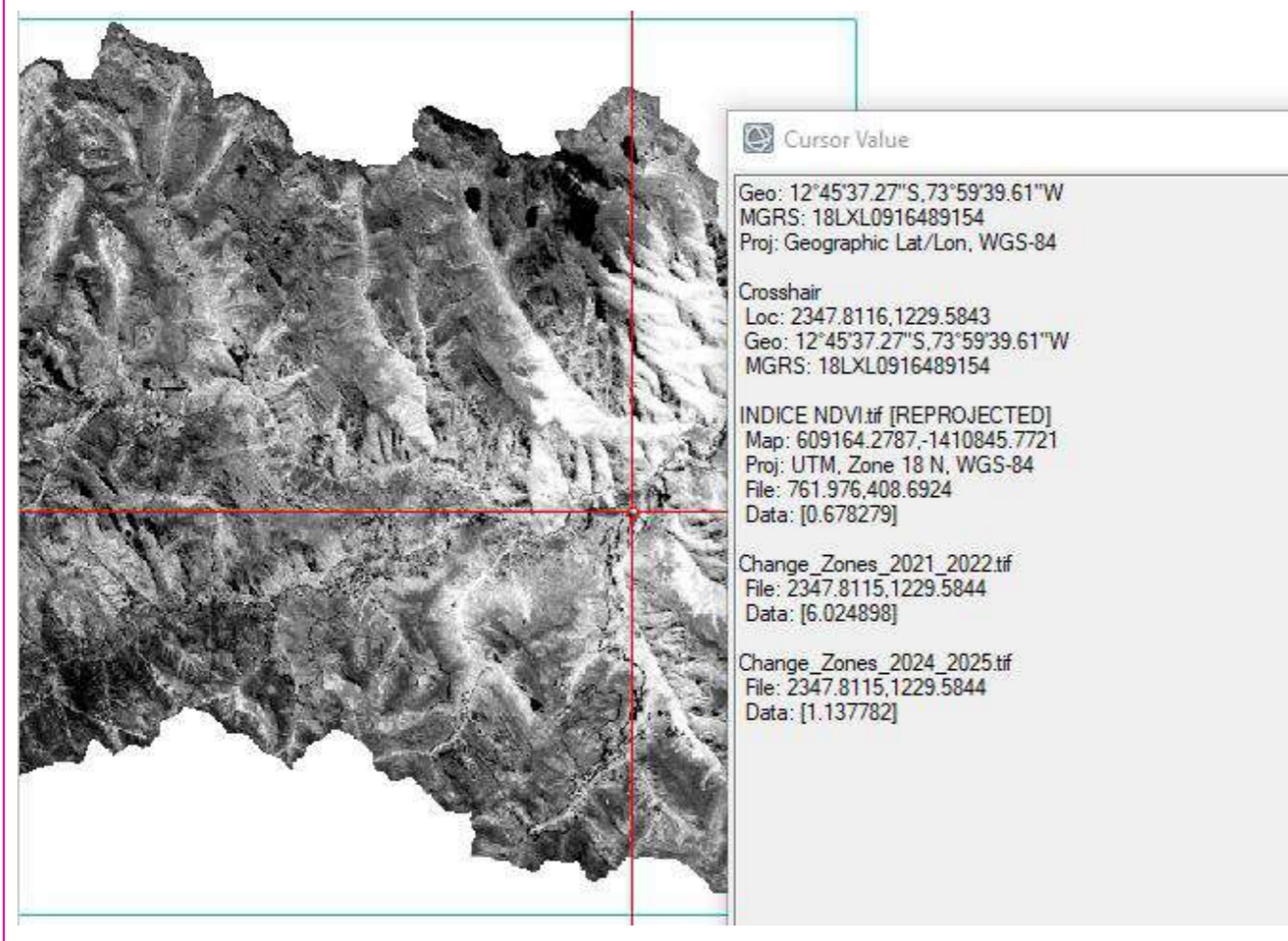
Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 79

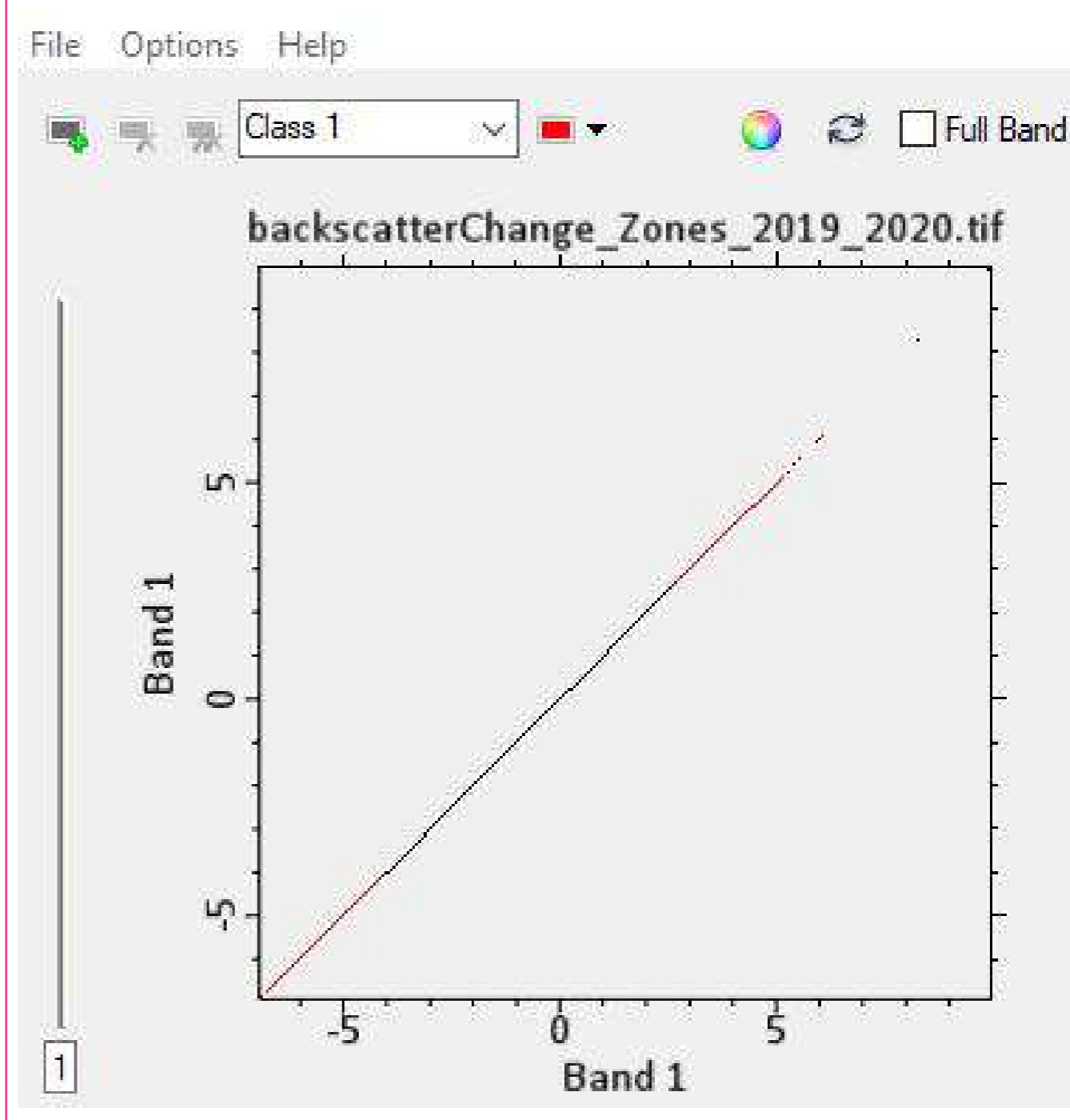
Píxeles de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 80

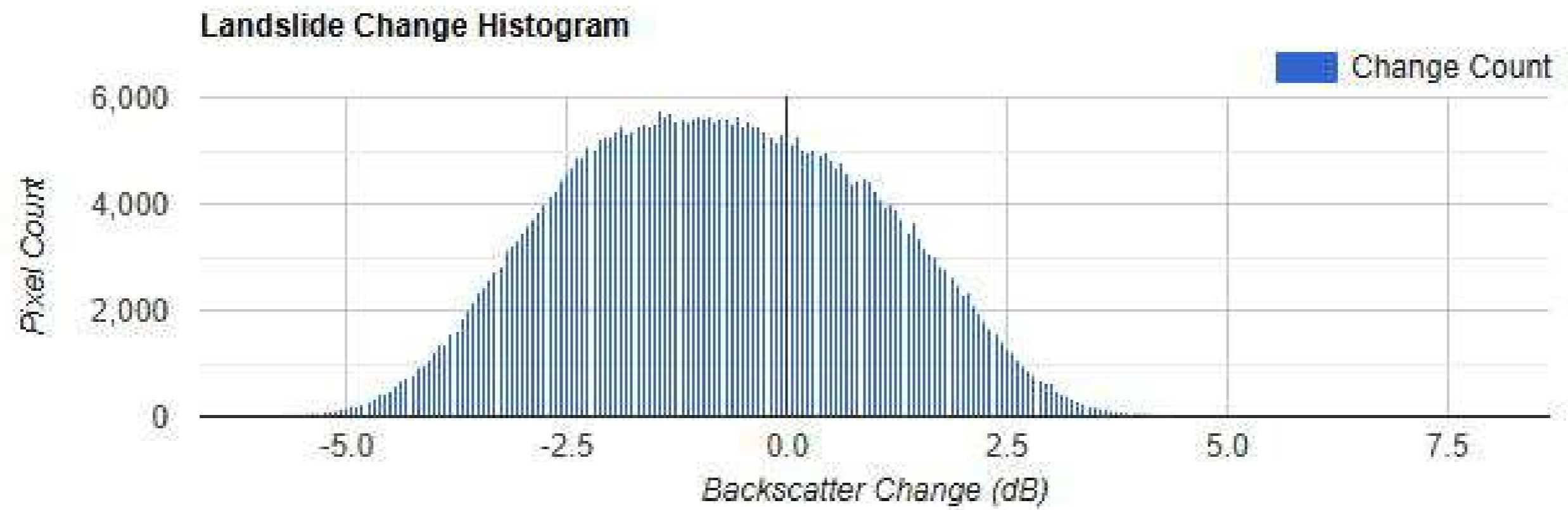
Bandas de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 81

Área de la variación del deslizamiento potencial

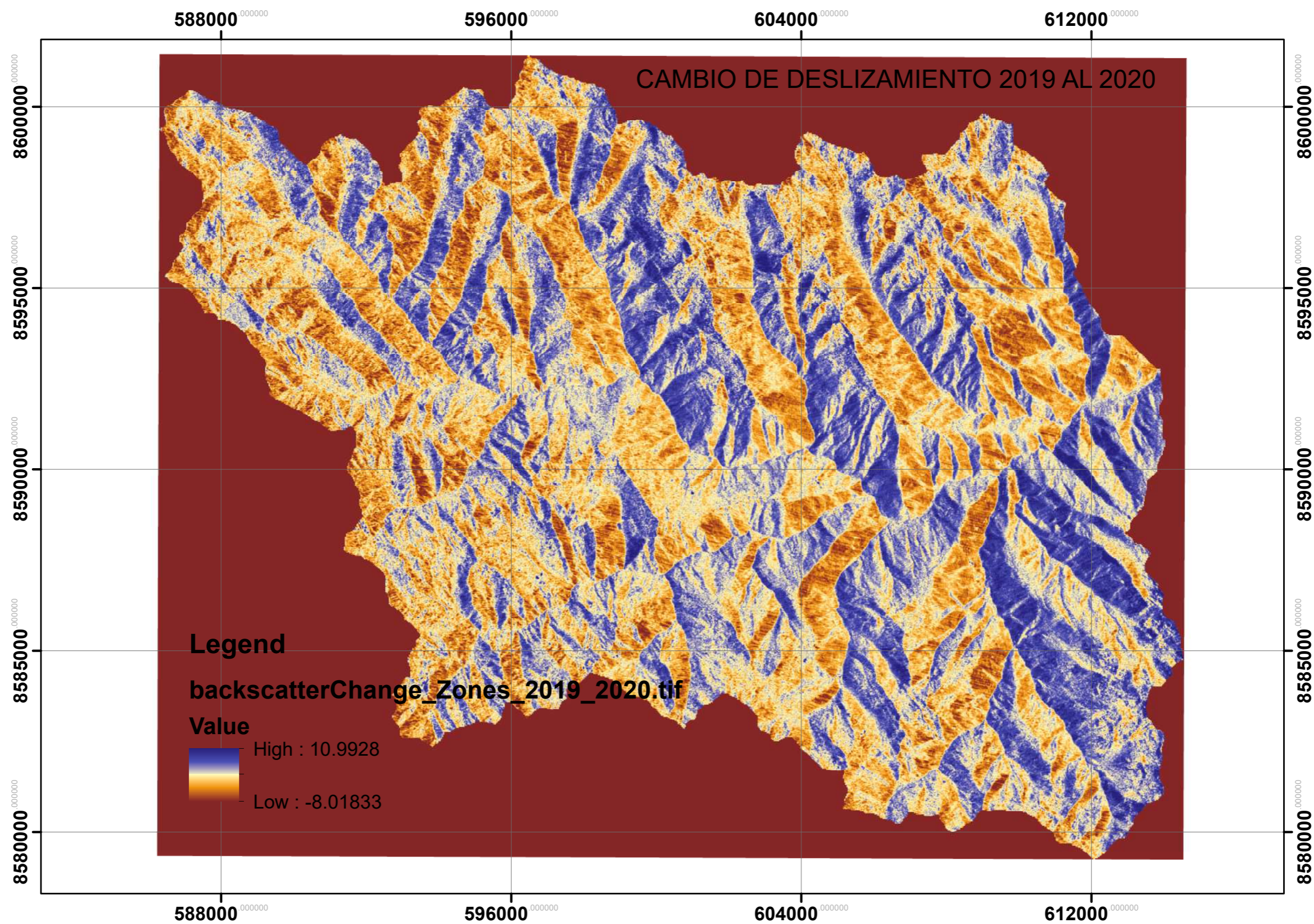


Estimated Landslide Area (km²):
97

Fuente: Elaboración Propia con GEE

Figura 82

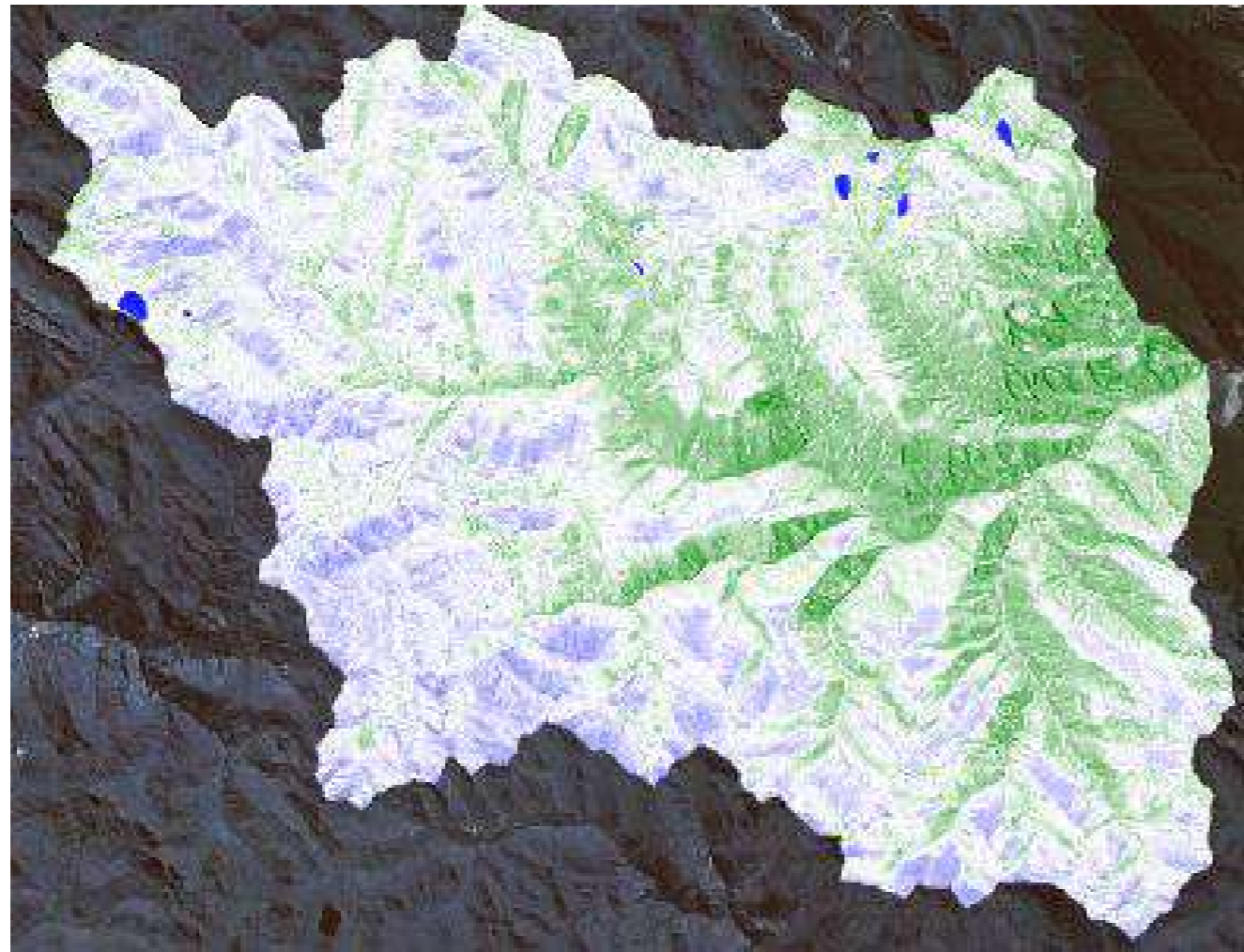
Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

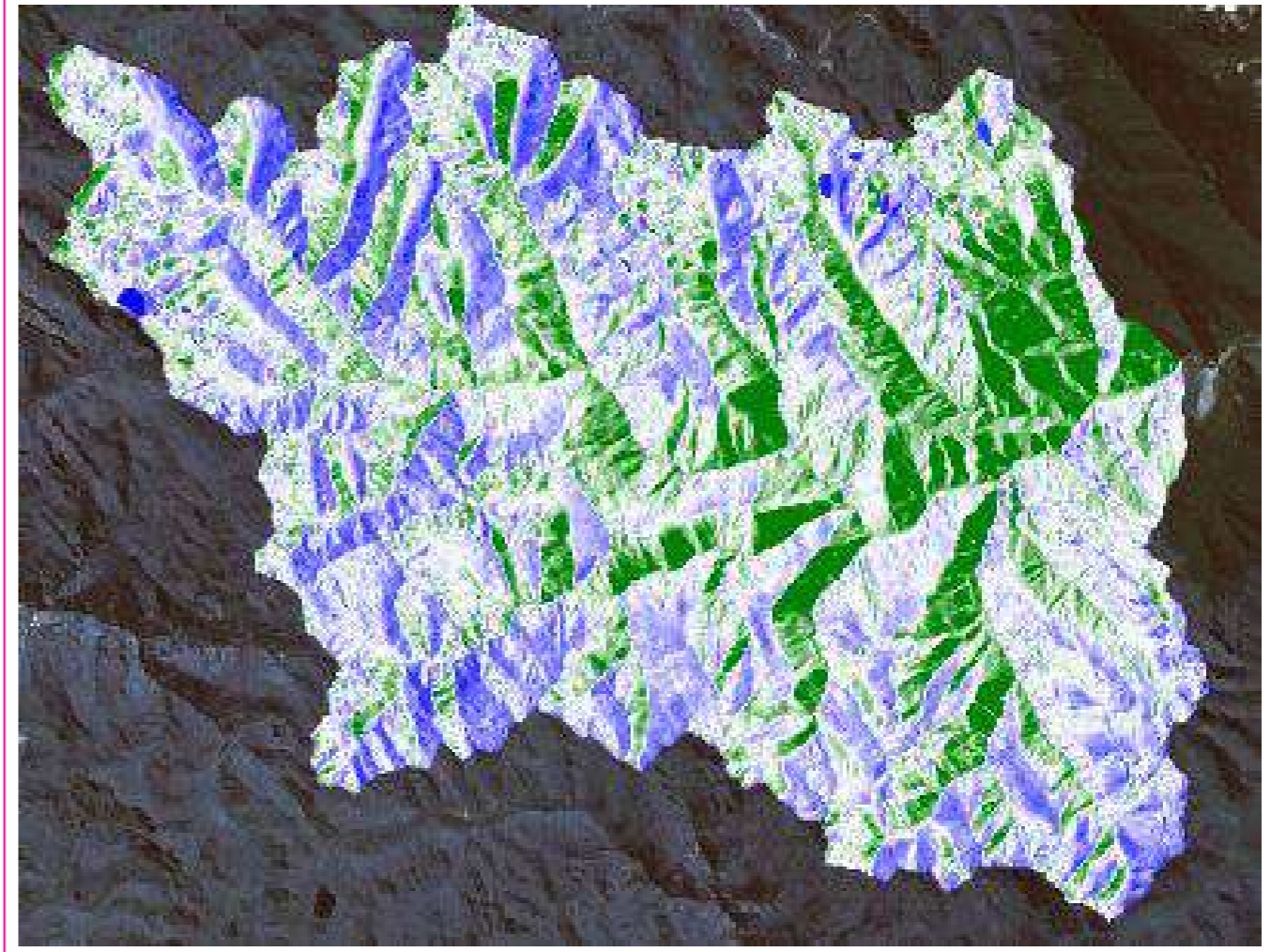
3.8.7 Detección de deslizamientos de masas entre el 2021 al 2022

Figura 83 Deslizamiento potencial del 2021



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 84 Deslizamiento potencial del 2022



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 85

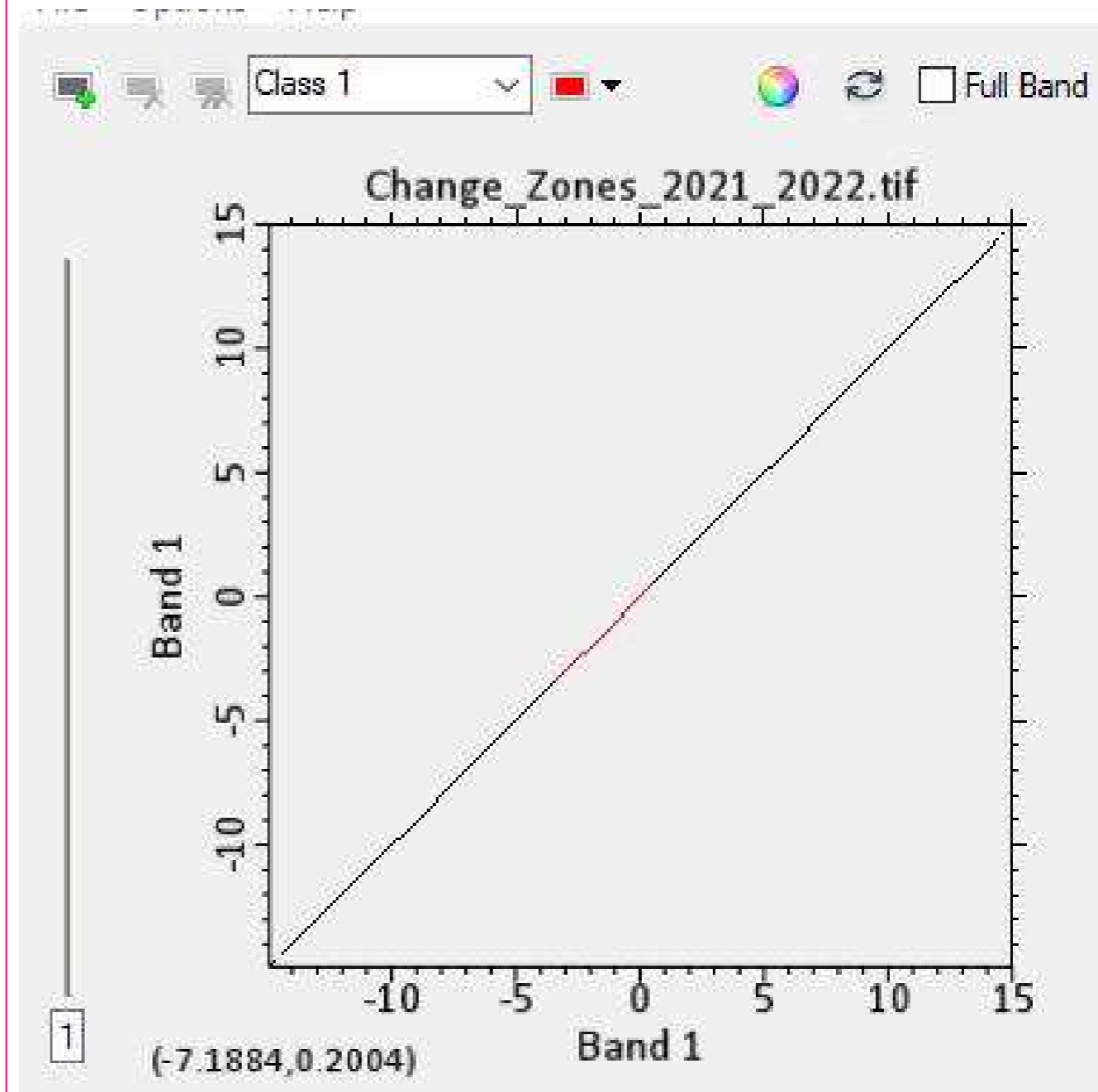
Píxeles de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 86

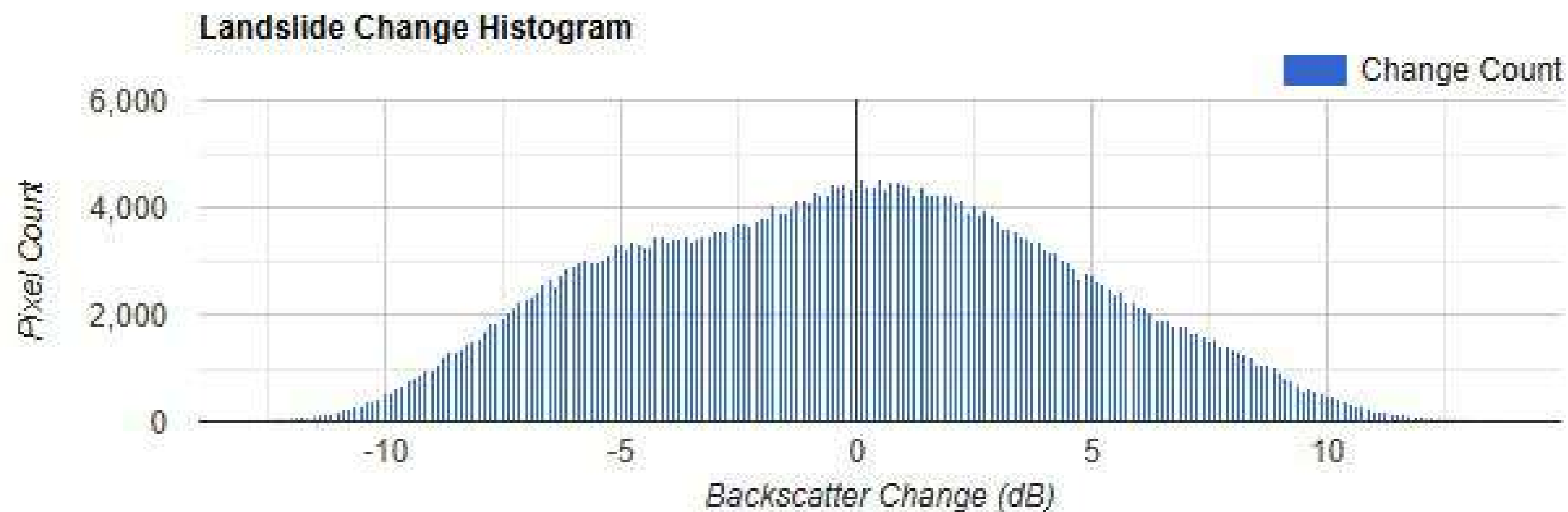
Bandas de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 87

Área de la variación del deslizamiento potencial

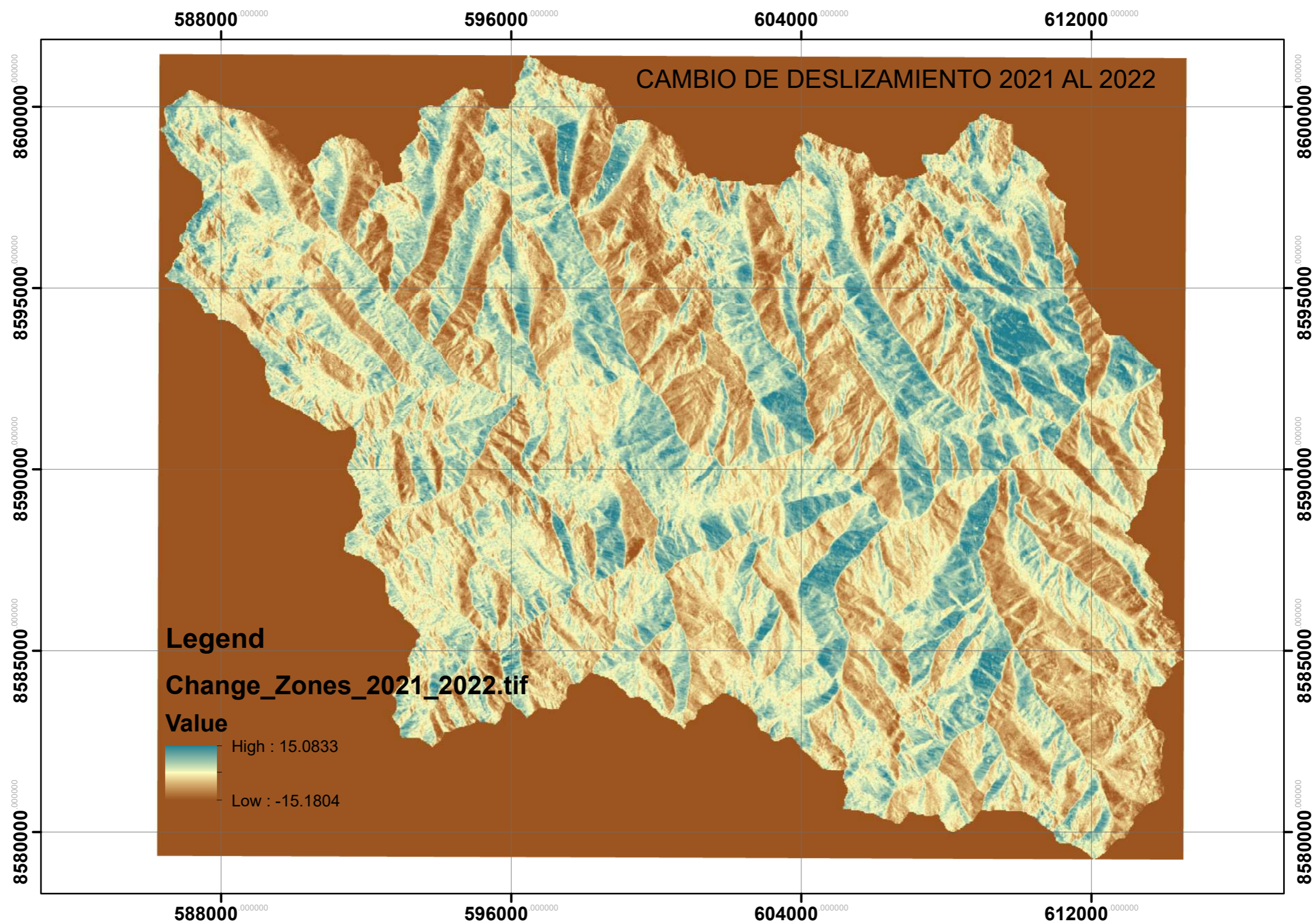
Estimated Landslide Area (km²):

140

Fuente: Elaboración Propia con GEE

Figura 88

Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial

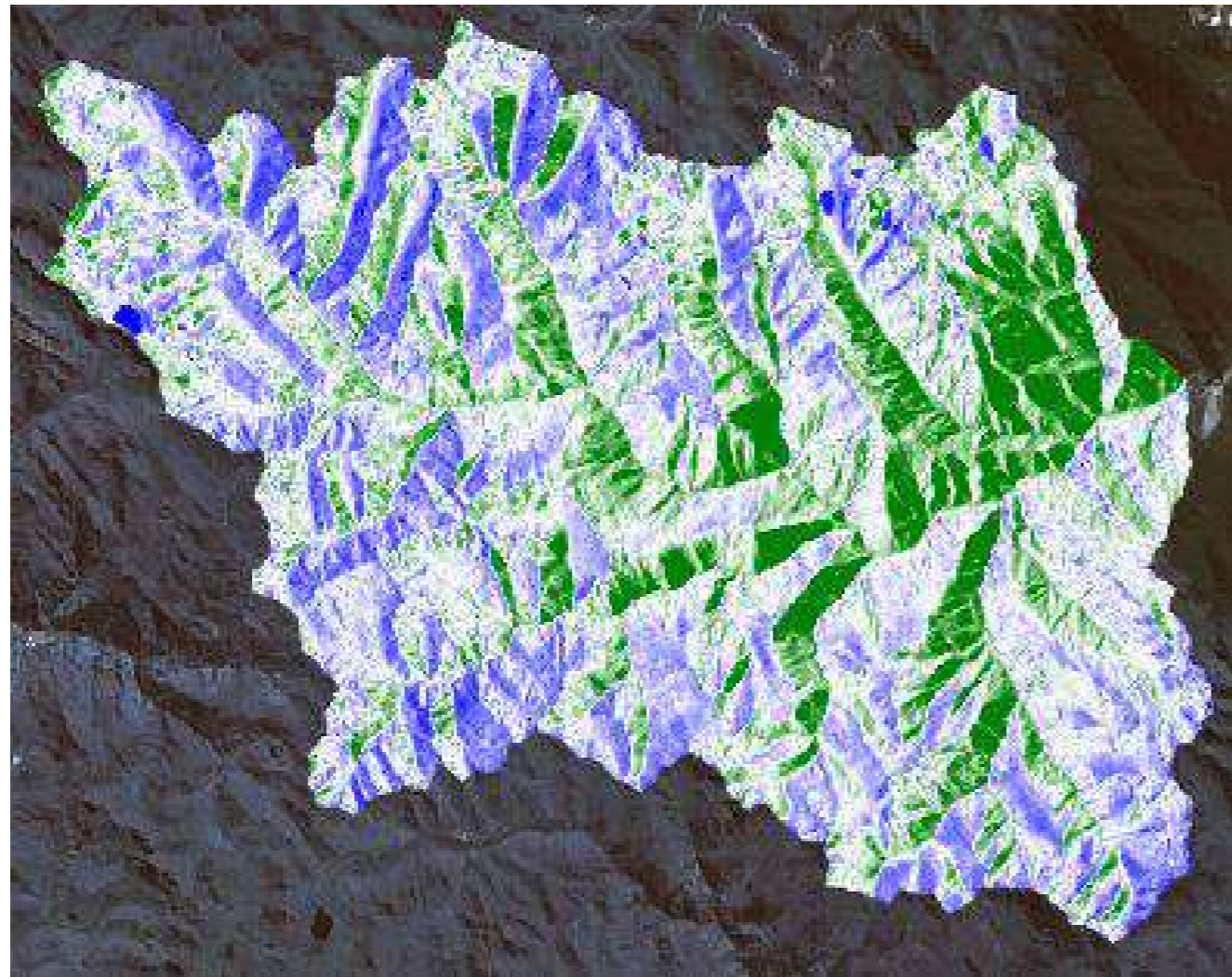


Fuente: Elaboracion Propia con GEE

3.8.8 Detección de deslizamientos de masas entre el 2022 al 2023

Figura 89

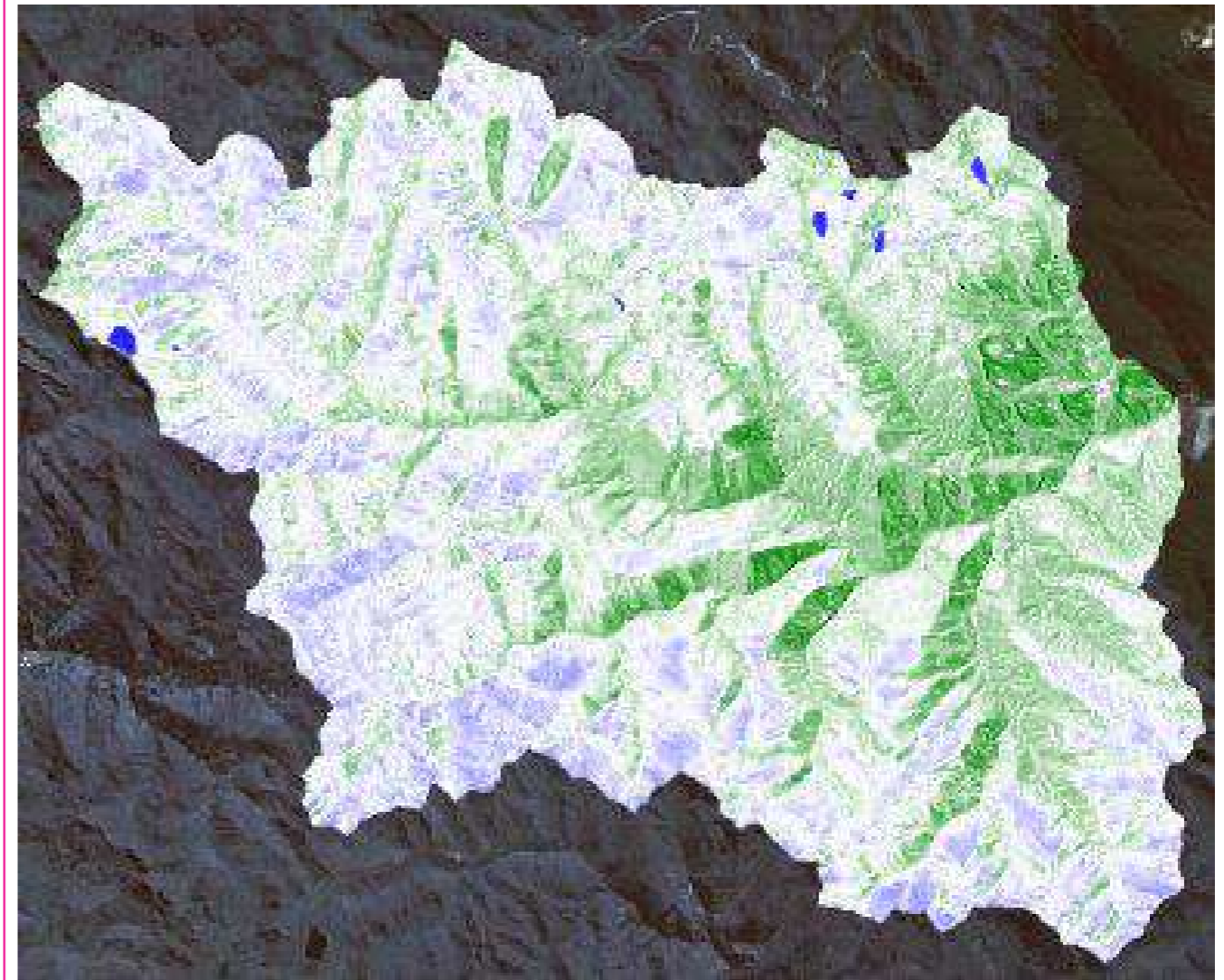
Deslizamiento potencial del 2022



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 90

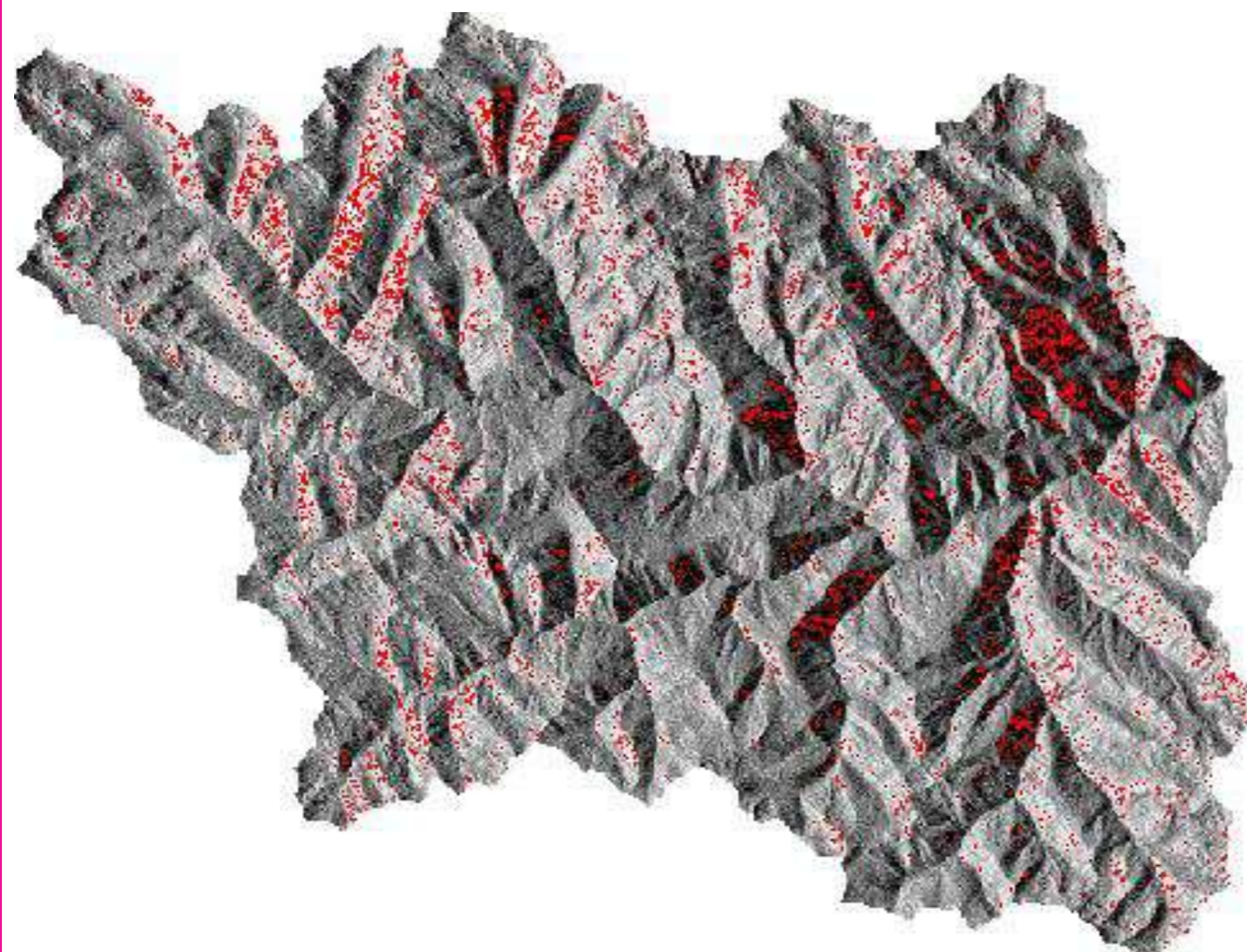
Deslizamiento potencial del 2023



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 91

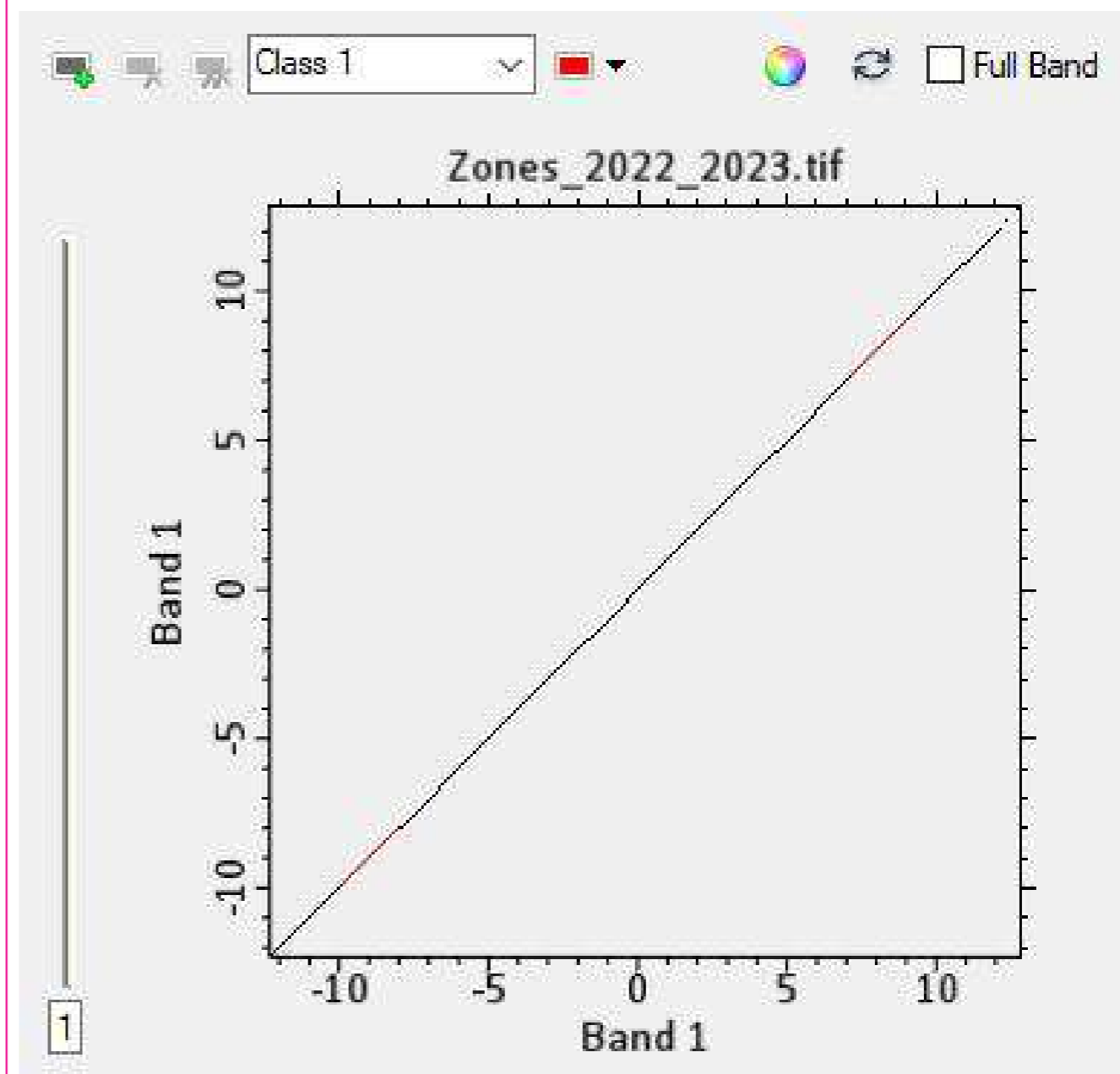
Píxeles de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 92

Bandas de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 93

Área de la variación del deslizamiento potencial

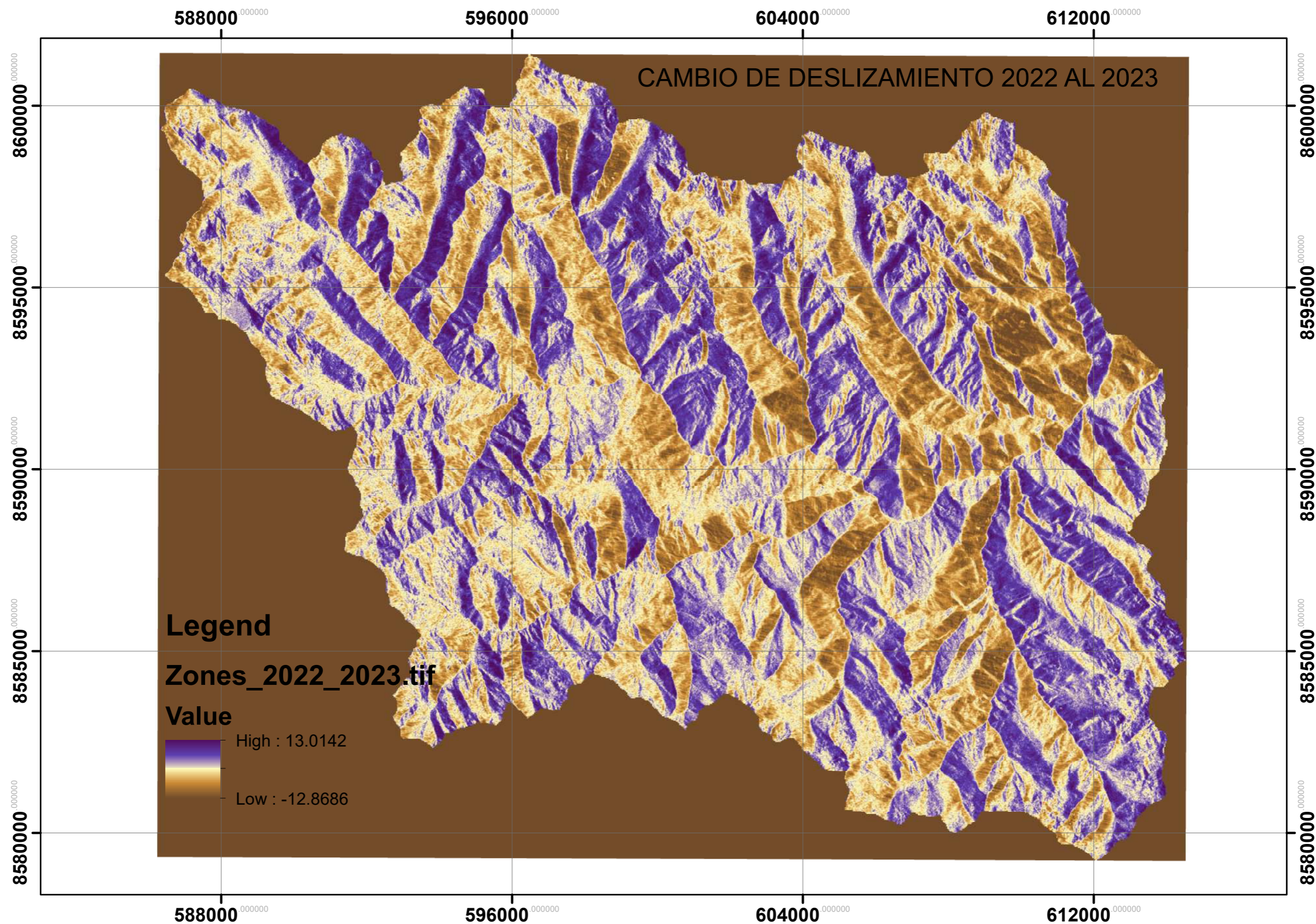
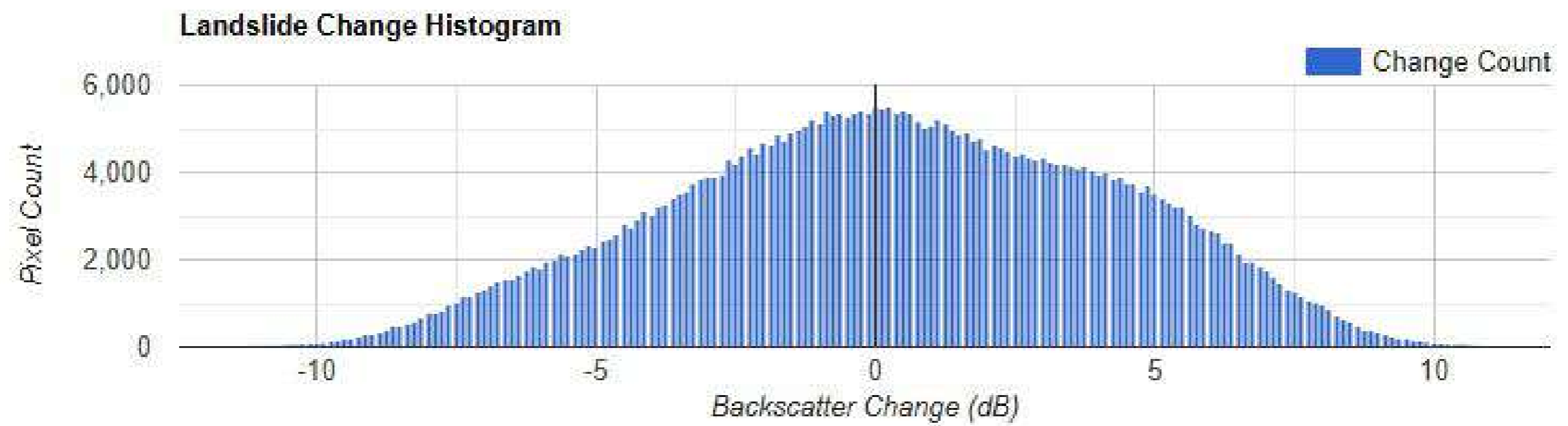


Figura 94

Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial



Estimated Landslide Area (km²):
104

Fuente: Elaboracion Propia con GEE

3.8.9 Detección de deslizamientos de masas entre el 2023 al 2024



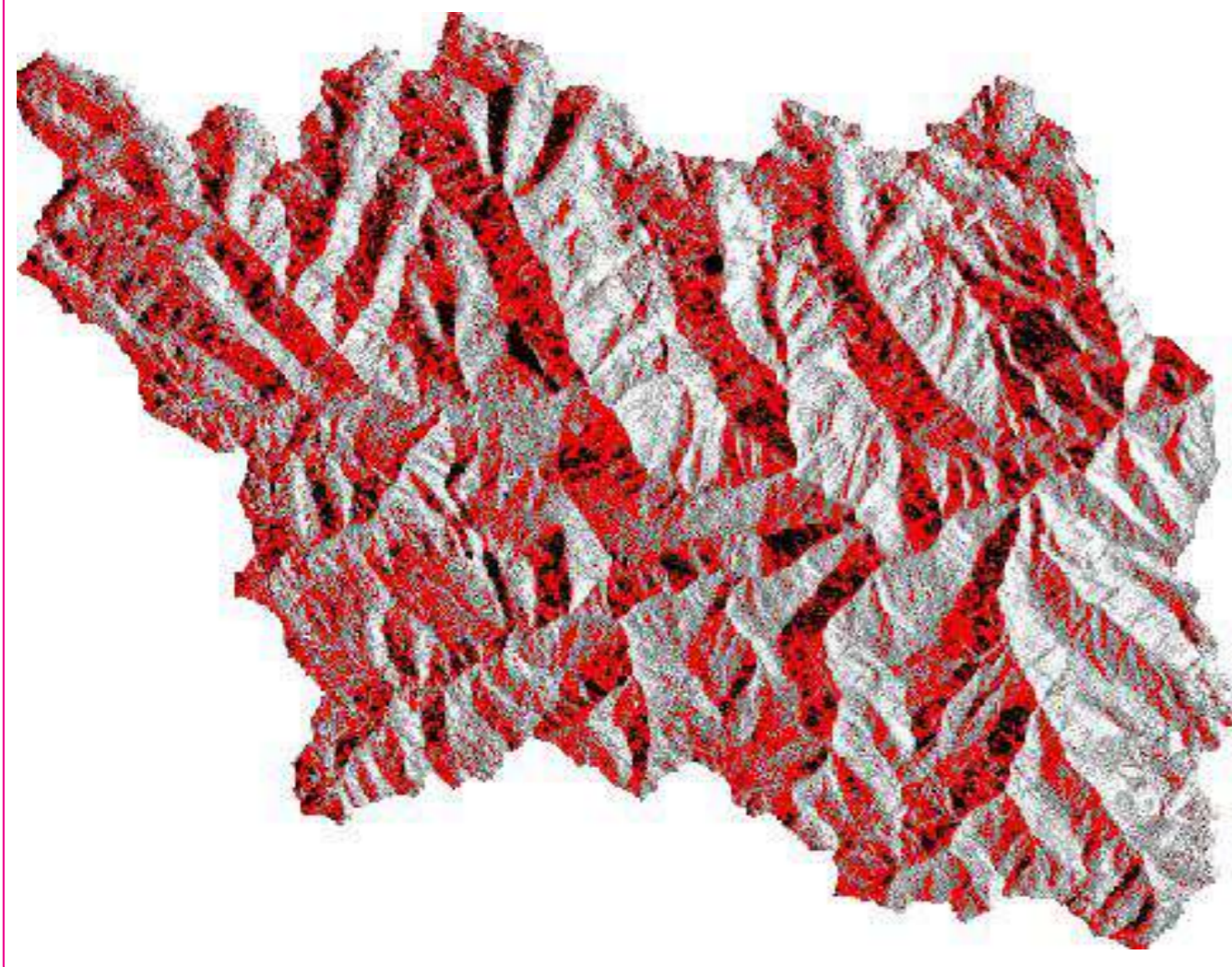
Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 97

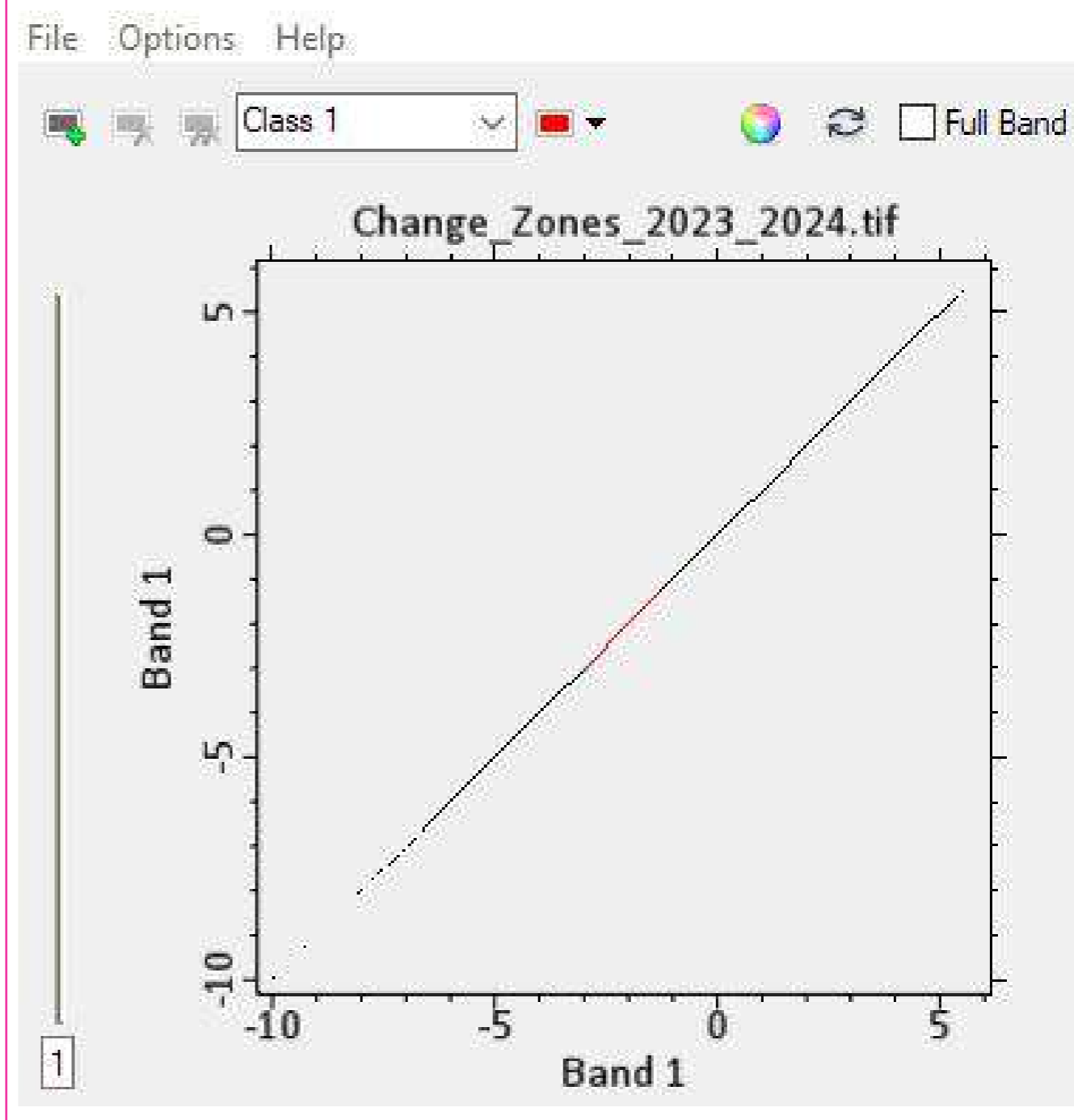
Píxeles de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 98

Bandas de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 99

Área de la variación del deslizamiento potencial

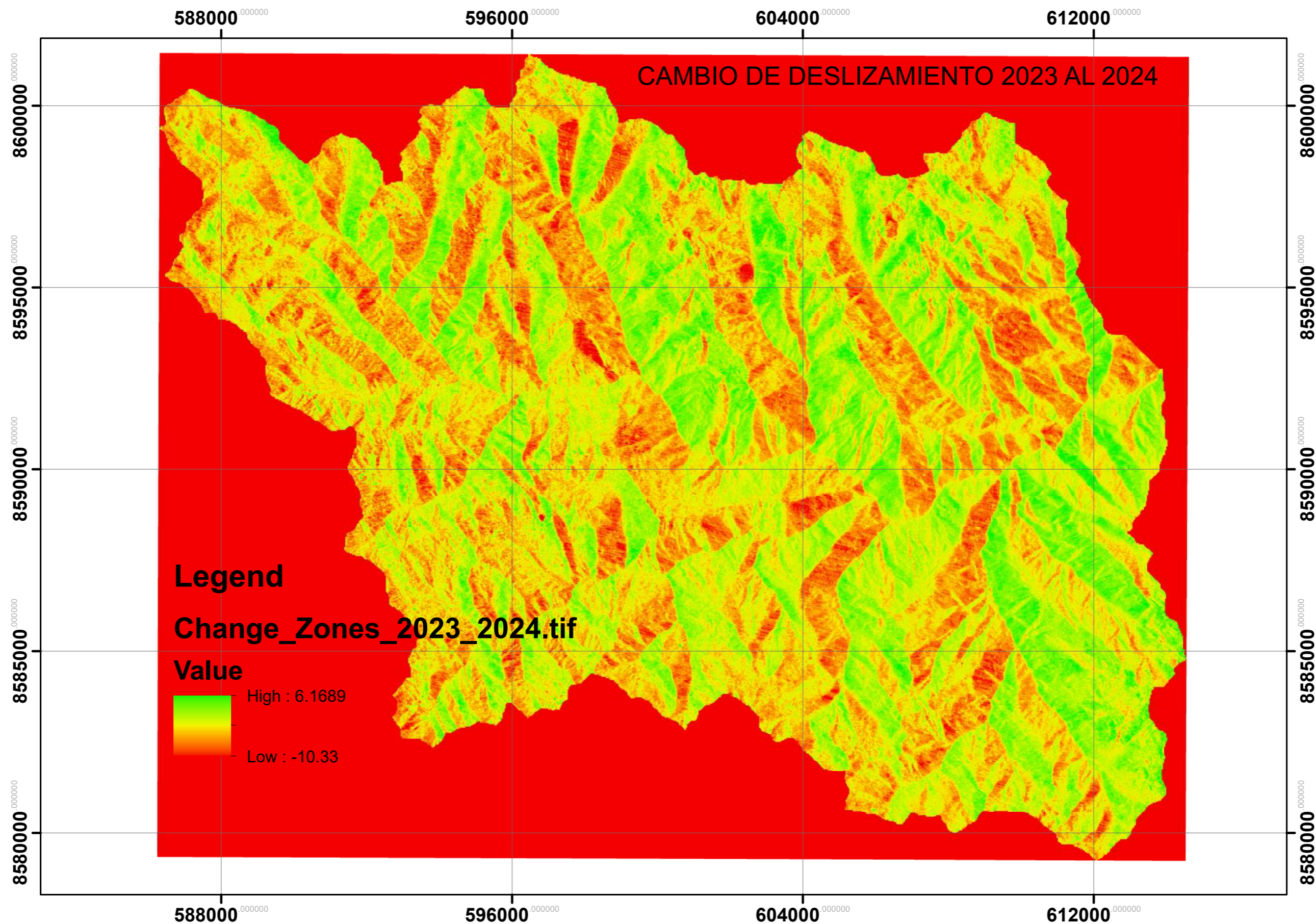
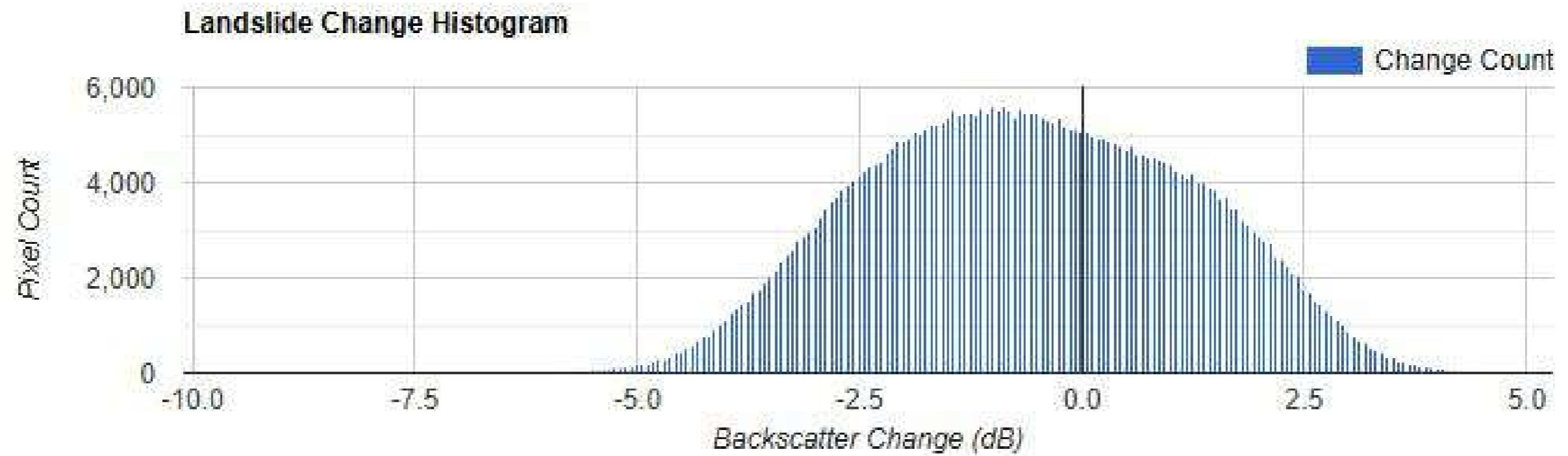


Figura 100

Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial



Estimated Landslide Area (km²):
86

Fuente: Elaboración Propia con GEE

3.8.10 Detección de deslizamientos de masas entre el 2024 al 2025



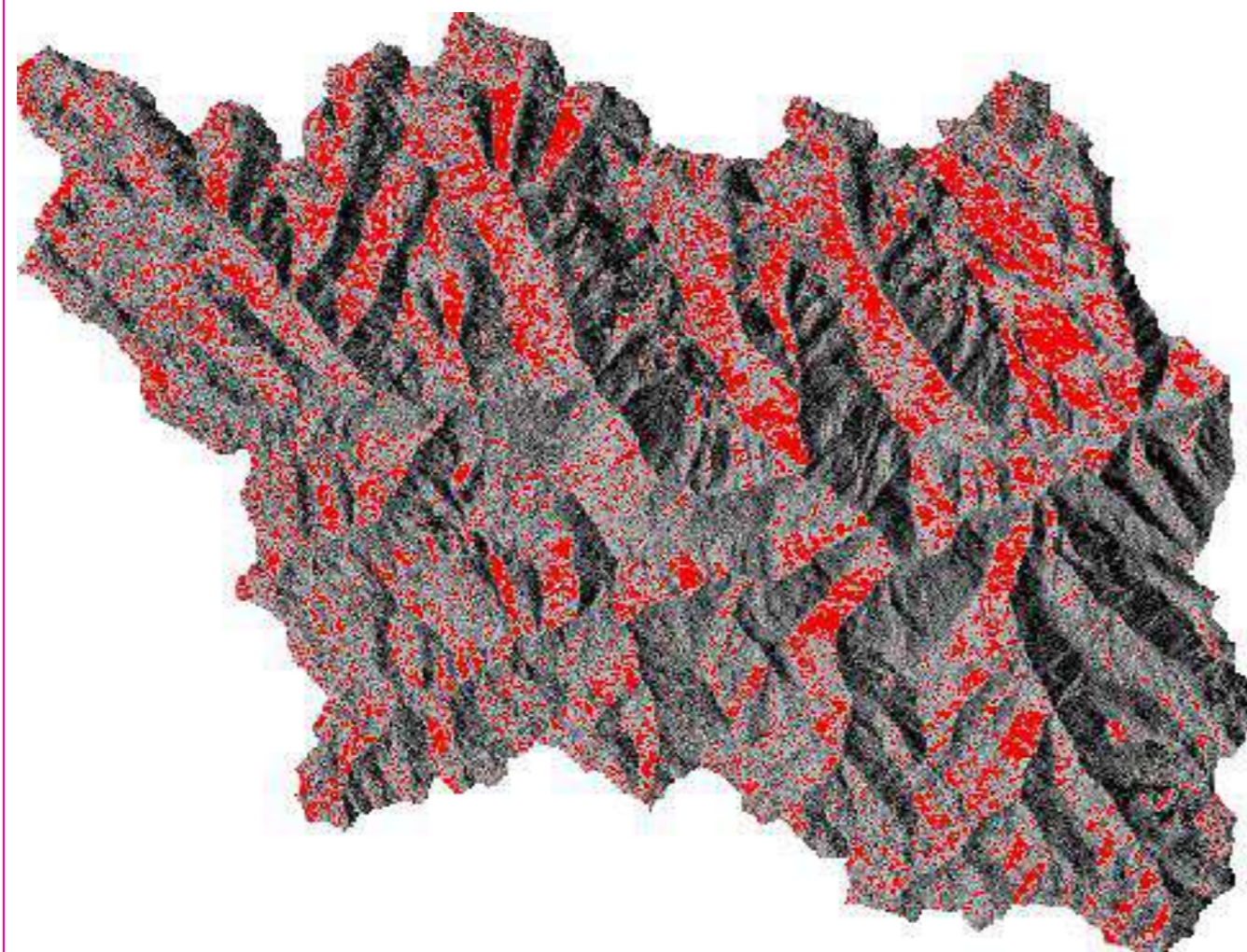
Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 103

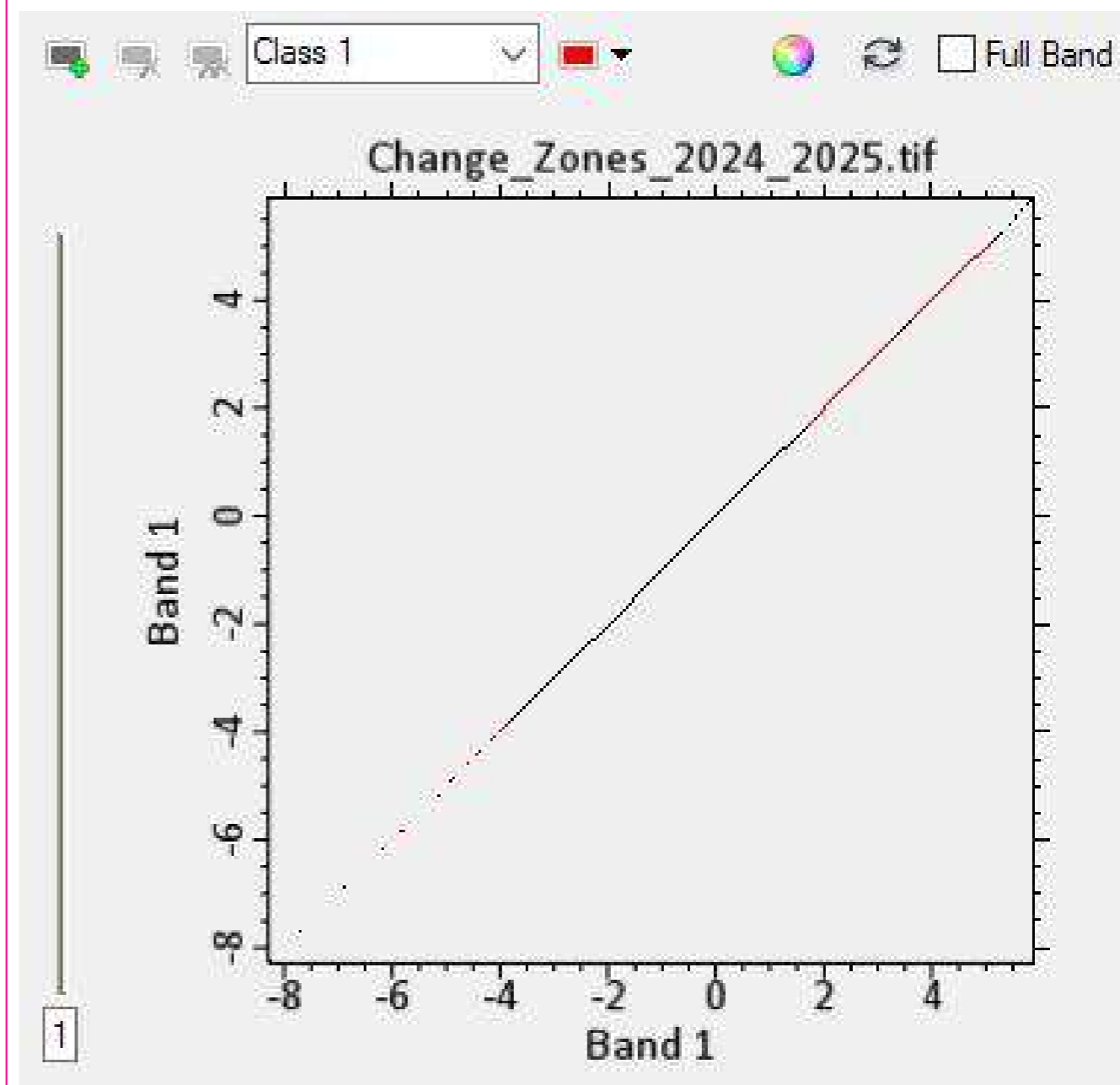
Píxeles de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 104

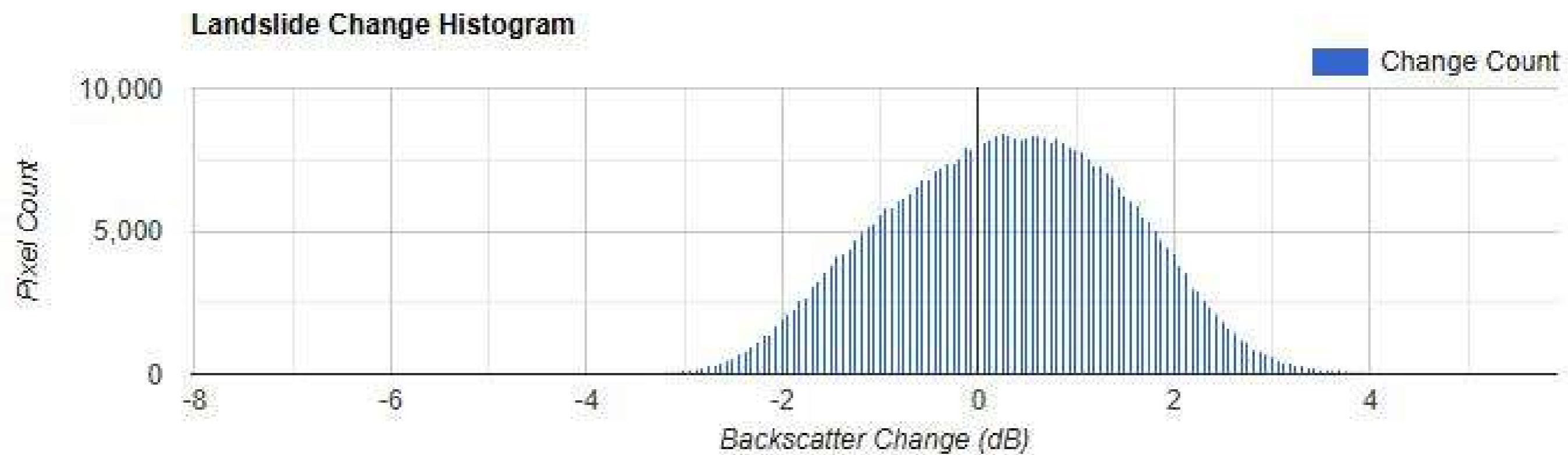
Bandas de la variación del deslizamiento potencial



Fuente: Elaboración Propia con ENVI y Arcmap

Figura 105

Área de la variación del deslizamiento potencial

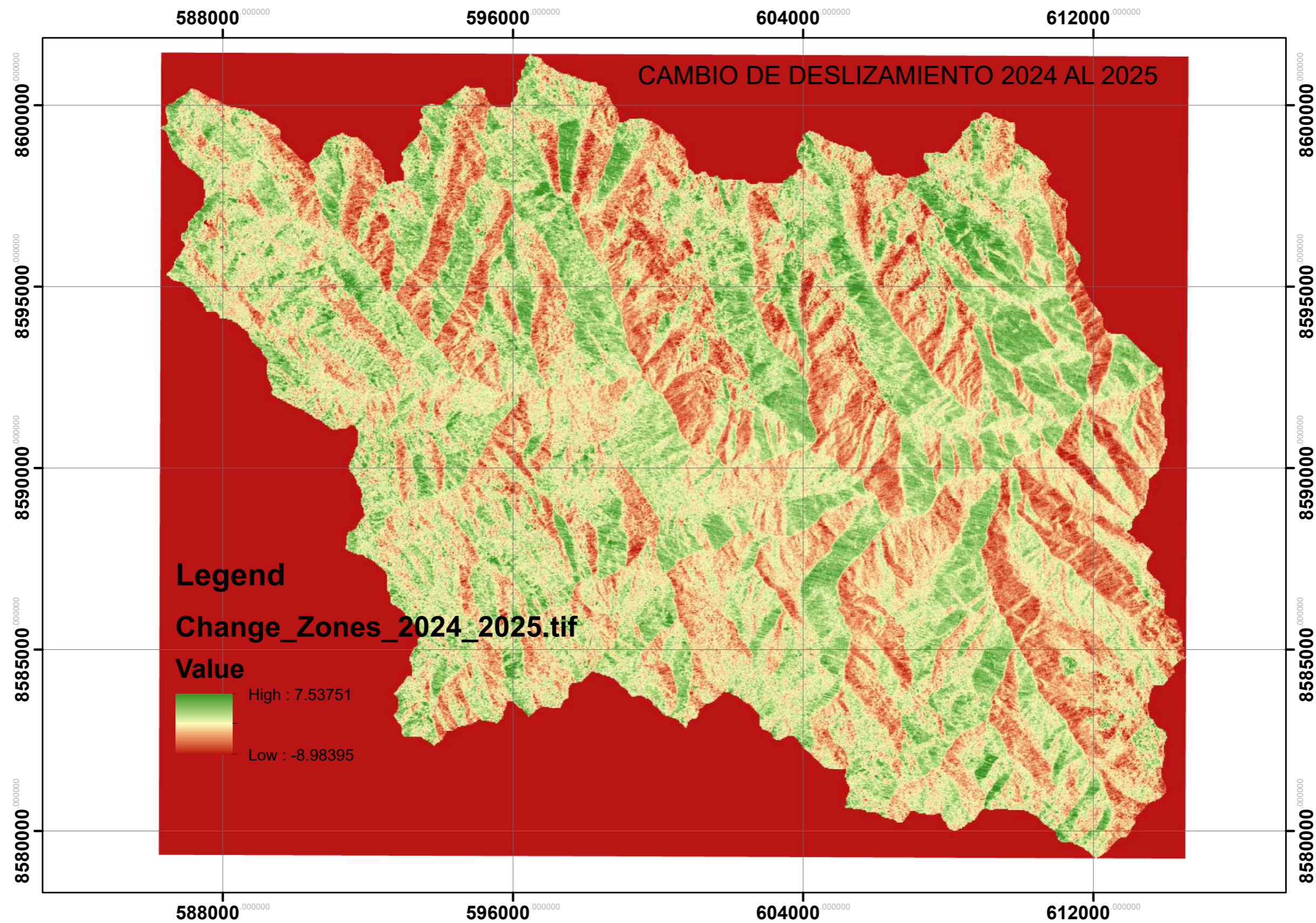
Estimated Landslide Area (km²):

4

Fuente: Elaboración Propia con GEE

Figura 106

Mapa temático de la variación de deslizamiento potencial



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

“La imaginación es más importante que el conocimiento. El conocimiento es limitado, mientras que la imaginación no tiene límites.”

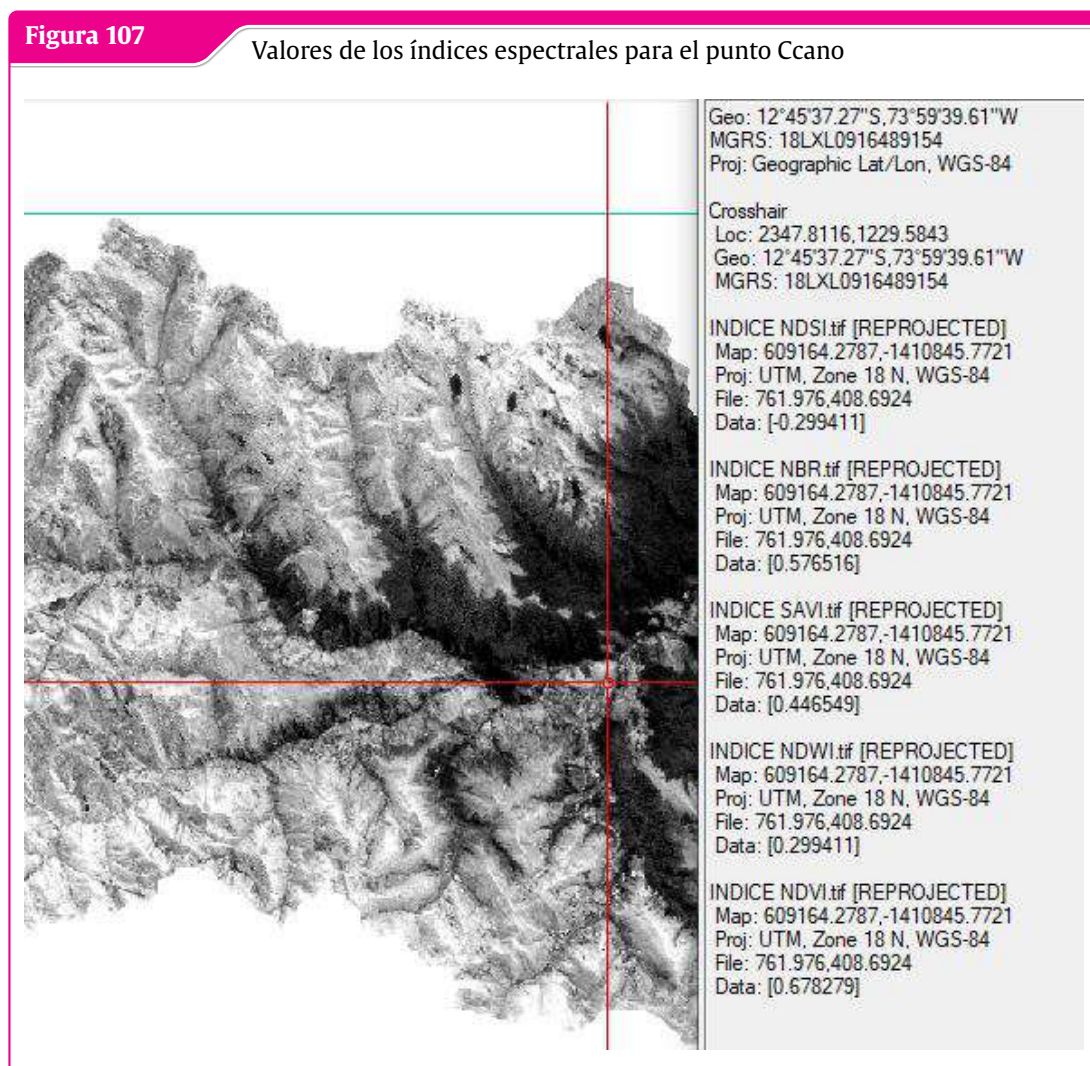
– Albert Eisnten

4 Resultados

4.1 Análisis e interpretación

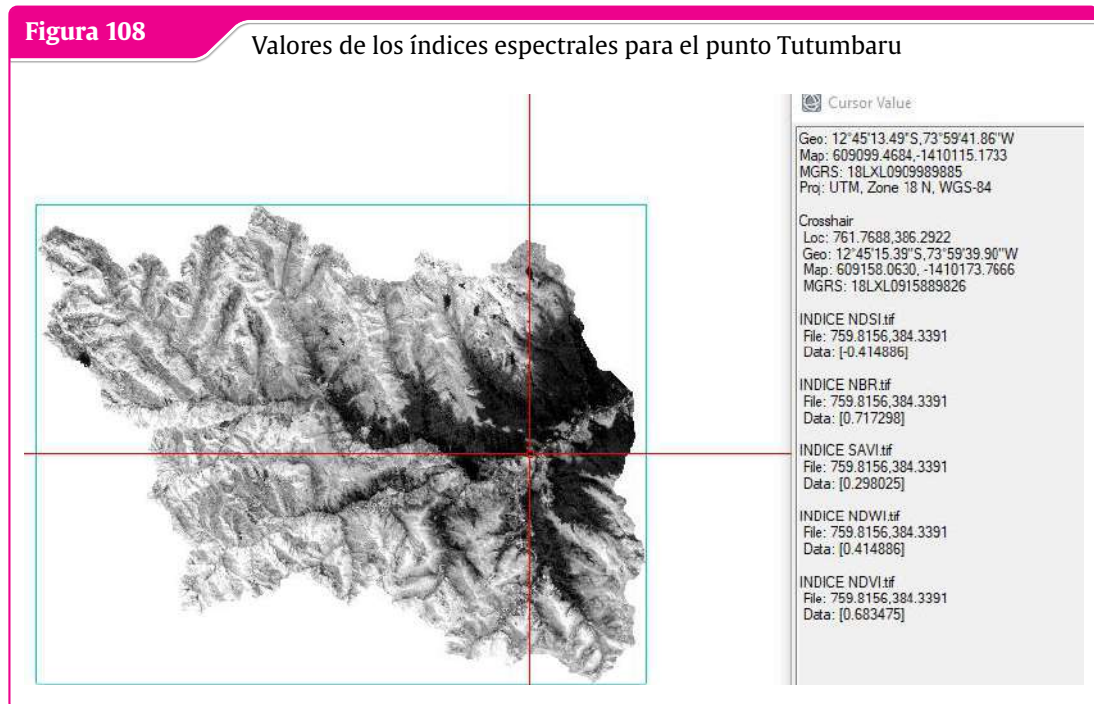
Luego de hallar los índices espectrales de NDVI, NDWI, SAVI, NBR Y NDSI, para la evaluación de la estabilidad y deslizamientos de tierra en los puntos de control de Ccano, Tutumbaru y Machente se detecto los siguientes valores como se muestran acontinuación.

4.1.1 Monitoreo para el punto de control de Ccano temporada Junio



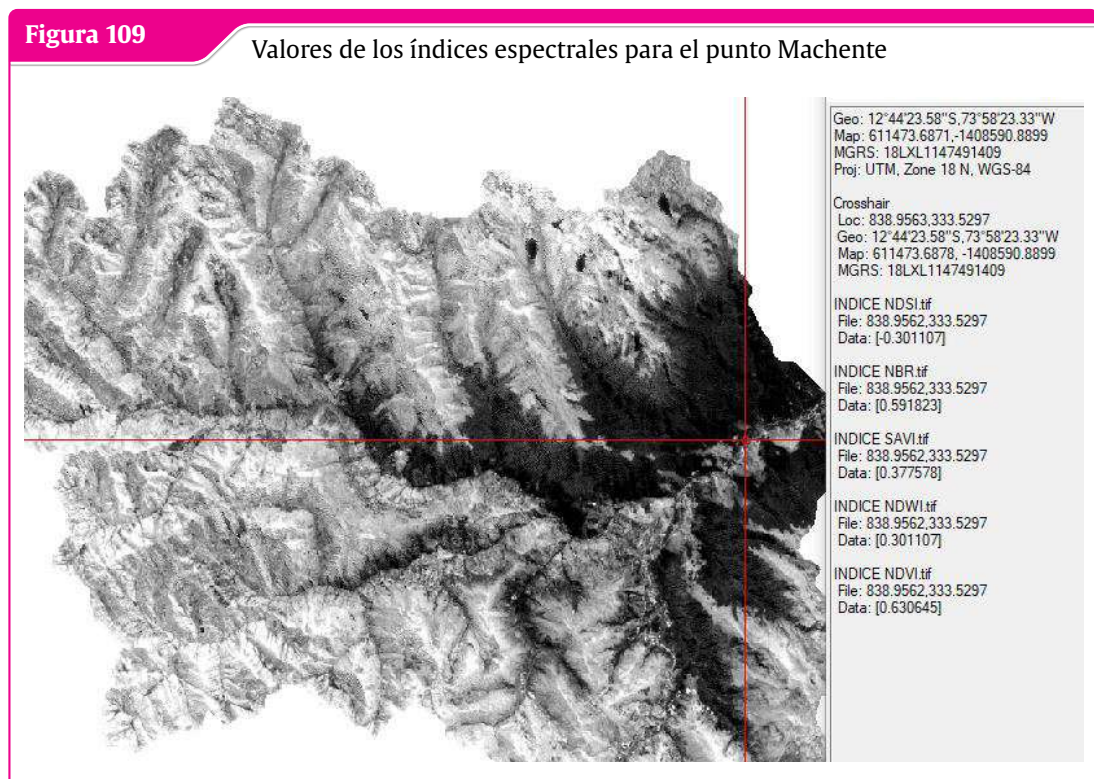
Fuente: Elaboracion Propia con GEE

4.1.2 Monitoreo para el punto de control de Tutumbaru junio



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

4.1.3 Monitoreo para el punto de control de Machente temporada junio



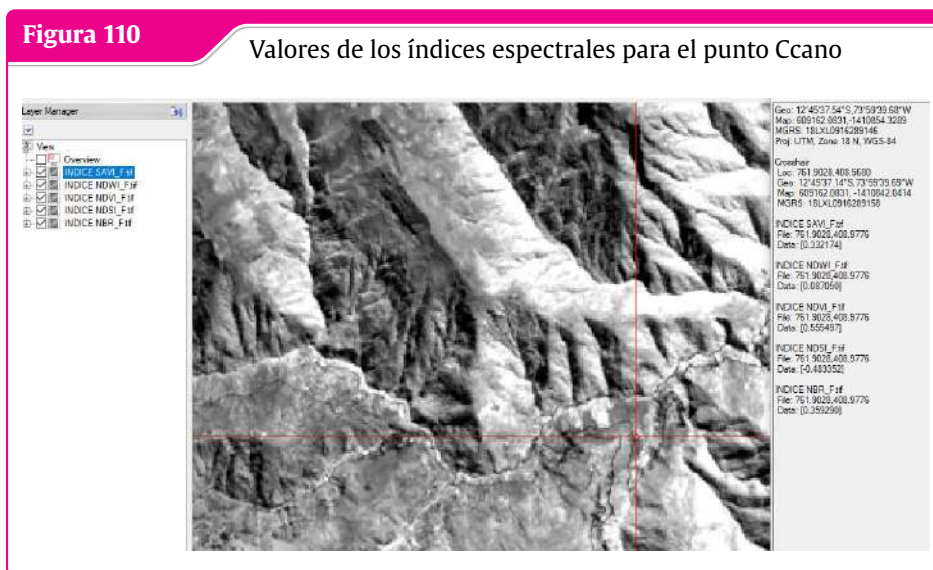
Fuente: Elaboracion Propia con GEE

Tabla 5: Resumen de los índices espectrales del mes de Junio

Índices espectrales	NDVI	NDWI	SAVI	NBR	NDSI
Punto de control Ccano	0.6783	0.2994	0.4465	0.5765	-0.2994
Punto de control Tutumbaru	0.6834	0.4148	0.298	0.7172	-0.4148
Punto de control Machente	0.6306	0.3011	0.3775	0.5918	-0.3011

Fuente: Elaboración Propia

4.1.4 Monitoreo para el punto de control de Ccano temporada Agosto



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

4.1.5 Monitoreo para el punto de control de Tutumbaru temporada Agosto



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

4.1.6 Monitoreo para el punto de control de Machente temporada Agosto



Fuente: Elaboracion Propia con GEE

Tabla 6: Resumen de los índices espectrales del mes de Agosto

Índices espectrales	NDVI	NDWI	SAVI	NBR	NDSI
Punto de control Ccano	0.55	0.087	0.3321	0.3592	-0.4833
Punto de control Tutumbaru	0.7037	0.4661	0.3118	0.7349	-0.1445
Punto de control Machente	0.5435	0.3492	0.3179	0.5960	-0.1399

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Estimación de área para deslizamiento potencial de la cuenca de Ayna

Periodo	Estimación de deslizamiento (Km2)
2019-2020	97
2021-2022	140
2022-2023	104
2023-2024	86
2024-2025	4

Fuente: Elaboración Propia

4.1.7 Estabilidad e inestabilidades de deslizamientos

La evaluación de la estabilidad superficial de taludes mediante teledetección satelital se fundamenta con los siguientes índices Según [Ehsan et al. \(2025\)](#) para NDVI la alta vegetación estabiliza el suelo Los valores de NDVI varían de -1 a +1, donde <0.1 indica suelo desnudo o superficies rocosas, 0.1 a 0.3 indica vegetación escasa, y más de 0.6 significa una cobertura vegetal densa. ; Según [Ullah, Aslam, Shah et al. \(2022\)](#) La presencia de cuerpos de agua se identifica con un NDWI mayor a 0.5, Las áreas con menor contenido de agua se representan con valores positivos entre 0 y 0.2, y el mapa de NDWI se clasifica en categorías de valores altos y bajos; Según [Bhagya et al. \(2023\)](#) para SAVI La probabilidad de deslizamientos es alta en zonas con valores bajos de SAVI, donde los valores de SAVI oscilan entre - 0.09 y 0.88, Según [Bhagya et al. \(2023\)](#) para el índice NBR, los valores más altos de NBR indican zonas quemadas, las cuales son más vulnerables a deslizamientos, ya que el fuego reduce la capacidad de infiltración del suelo y aumenta su erodabilidad al eliminar la cobertura vegetal y superficial, haciendo que el área sea más propensa a deslizamientos, los valores de NBR varían entre -0.56 y 0.56 y finalmente Según [Tong et al. \(2020\)](#) los valores de NDSI entre 0.00 y 1.00 se encuentran dentro del rango teóricamente posible para nieve , Sin embargo, las nubes también pueden presentar valores positivos de NDSI, los cuales normalmente varían entre -0.4 y 0.4.

Tabla 8: Patrones para la estabilidad e inestabilidad de deslizamiento

Indice	Estable	Inestable/Falla
NDVI	>0.6	<0.1
NDWI	0 a 0.2	>0.5
SAVI	>0.88	-0.09 a 0.88
NBR	>0.56	-0.56 a 0.56
NDSI	<-0.4	0 a 1

Fuente: Elaboración Propia

4.1.8 Estabilidad e inestabilidades para la temporada Junio

Tabla 9: Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Ccano

Temporada Junio Ccano		
Indice	Estable	Inestable/Falla
NDVI	SI	
NDWI		SI
SAVI	SI	
NBR	SI	
NDSI	SI	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10: Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Tutumbaru

Temporada Junio Tutumbaru		
Indice	Estable	Inestable/Falla
NDVI	SI	
NDWI		SI
SAVI	transición	
NBR	SI	
NDSI	SI	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Machente

Temporada Junio Machente		
Indice	Estable	Inestable/Falla
NDVI	SI	
NDWI		SI
SAVI	transición	
NBR	SI	
NDSI	SI	

Fuente: Elaboración Propia

4.1.9 Estabilidad e inestabilidades para la temporada Agosto

Tabla 12: Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Ccano

Temporada Agosto Ccano		
Indice	Estable	Inestable/Falla
NDVI	SI	
NDWI		SI
SAVI	transición	
NBR	SI	
NDSI	SI	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13: Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Tutumbaru

Temporada Agosto Tutumbaru		
Indice	Estable	Inestable/Falla
NDVI	SI	
NDWI		SI
SAVI	transición	
NBR	SI	
NDSI	SI	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14: Estabilidad e inestabilidad para el punto de control de Machente

Temporada Agosto Machente		
Indice	Estable	Inestable/Falla
NDVI	SI	
NDWI		SI
SAVI	transición	
NBR	SI	
NDSI	SI	

Fuente: Elaboración Propia

“La imaginación es más importante que el conocimiento. El conocimiento es limitado, mientras que la imaginación no tiene límites.”

– Albert Eisnten

5 Conclusiones

5.1 Conclusiones

Se logró los objetivos de la siguiente manera:

5.1.1 Conclusiones general

1. Para el objetivo general se logró aplicar las firmas espectrales calculando los índices de NDVI, NDWI, SAVI, NBR y NDSI y la áreas de deslizamiento para toda la cuenca y las mapas de deslizamiento potencial determinando las condiciones de riesgo en los 3 puntos de monitoreo de la cuenca de Ayna.

5.1.2 Conclusiones específicos

1. Para el objetivo específico 1, se logra realizar la variación temporal para los meses de junio y agosto calculando evaluando los valores de las mapas temáticos de los índices espectrales donde se calcula el área para el deslizamiento potencial entre los años 2019 al 2025 para la cuenca de Ayna.
2. Para el objetivo específico 2, se realizan los mapas temáticos para los índices espectrales de NDVI, NDWI, SAVI, NBR y NDSI de los meses de junio y agosto y las mapas para el deslizamiento potencial de la cuenca de Ayna.
3. Para el objetivo específico 3, se realiza el mapa de índice espectral NDVI, índice de vegetación normalizada diferenciada, donde los valores encontrados en los puntos de control nos muestran la relación entre la vegetación y el deslizamiento del suelo .

Referencias Bibliográficas

- Ahmed, N., Mahmud, S., Elahi, M. L., Ahmed, S. y Sujauddin, M. (2019). Forecasting river sediment deposition through satellite image driven unsupervised machine learning techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* (vid. pág. 100).
- Bhagya, S. B., Sumi, A. S., Balaji, S. y Danumah, J. H. (2023). Landslide Susceptibility Assessment of a Part of the Western Ghats (India) Employing the AHP and F-AHP Models and Comparison with Existing Susceptibility Maps. *Land MDPI* (vid. pág. 97).
- Biswas, R. N., Islam, M. N., Islam, M. N. y Shawon, S. S. (2020). Modeling on approximation of fluvial landform change impact on morphodynamics at Madhumati River Basin in Bangladesh. *Modeling Earth Systems and Environment* (vid. pág. 100).
- Bouzekri, S., Lasbet, A. A. y Lachehab, A. (2015). A New Spectral Index for Extraction of Built-Up Area Using Landsat-8 Data. *J Indian Soc Remote Sens - ISRS - SHORT NOTE* (vid. pág. 100).
- Canty, M. J. (2019). *Image Analysis, Classification, and Change Detection in Remote Sensing With Algorithms for Python Fourth edition*. (Vid. pág. 100).
- Cavalli, R. M. (2021). Capability of Remote Sensing Images to Distinguish the Urban Surface Materials: A Case Study of Venice City. *Remote sensing MDPI* (vid. pág. 100).
- Chen, F., de Voorde, T. V., Roberts, D., Zhao, H. y Chen, J. (2021). Detection of Ground Materials Using Normalized Difference Indices with a Threshold: Risk and Ways to Improve. *remote sensing MDPI* (vid. pág. 100).
- Cordeiro, M. C., Martinez, J.-M. y Luque, S. P. (2021). Automatic water detection from multidimensional hierarchical clustering for Sentinel-2 images and a comparison with Level 2A processors. *Elsevier Remote Sensing of Environment* (vid. pág. 100).
- de Vallejo, L. G., Ferre, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. (Vid. págs. 10-16, 100).
- Ehsan, M., Anees, Bakar y Ahmed. (2025). A review of geological and triggering factors influencing landslide susceptibility: artificial intelligence-based trends in mapping and prediction. *International Journal of Environmental Science and Technology* (vid. pág. 97).
- Gao, B. C. (1996). NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *ELSEVIER* (vid. pág. 100).

- Gavankar, N. L. y Ghosh, S. K. (2018). Extracción automática de la huella del edificio a partir de una imagen de satélite de alta resolución con morfología matemática. *Revista Europea de Teledetección* (vid. pág. 100).
- Guha, S., Govil, H., Dey, A. y Gill, N. (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing* (vid. pág. 100).
- Hashim, H., Latif, Z. A. y Adnan, N. A. (2019). URBAN VEGETATION CLASSIFICATION WITH NDVI THRESHOLD VALUE METHOD WITH VERY HIGH RESOLUTION (VHR) PLEIADES IMAGERY. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing* (vid. pág. 100).
- Hemanth, D. J. (2020). *Artificial Intelligence Techniques for Satellite Image Analysis*. (Vid. pág. 100).
- Jalcao, E. y Cruz, E. F. (2024). *EVALUACIÓN DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN LAS VIVIENDAS DEL AA.HH. NUEVO AMANECER, DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO, LIMA - 2024* (paper). Universidad Privada del Norte. (Vid. págs. 9, 100).
- Jiang, H., Feng, M., Zhu, Y., Lu, N., Huang, J. y Xiao, T. (2014). An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery. *OPEN ACCESS REMOTE SENSING* (vid. pág. 100).
- Kang, D., Dan, S., Hua, Z., Jingyi, L., Chenlu, W., Zhenguang, W. y Shaohua, W. (2025). Study on landslide hazard risk in Wenzhou based on slope units and machine learning approaches. *scientific reports* (vid. pág. 100).
- Laachrate, H., Fadil, A. y Ghafiri, A. (2018). Soil Moisture Mapping Using SMOS applied to flood monitoring in the Moroccan context. *The international archive of the photogrammetry , Remote sensing and Spatial Information Sciences , 5ta International Conference on Geoinformation Science GeoAdvances 2018. 10-11 October 2018 Casablanca Morocco* (vid. pág. 100).
- Lei, X., Liub, H., Chen, Z. y Li, S. (2025). Investigating the landslide susceptibility assessment methods for multi-scale slope units based on SDGSAT-1 and Graph Neural Networks. *Taylor and Francis research letter* (vid. pág. 100).
- Lemenkova, P. (2020). GRASS GIS FOR CLASSIFICATION OF LANDSAT TM IMAGES BY MAXIMUM LIKELIHOOD DISCRIMINANT ANALYSIS, TOKYO AREA, JAPAN. *Book* (vid. pág. 100).
- Li, H., Song, K., Zhai, X. y Liang, M. (2024). Landslide susceptibility mapping using multiple combination weighting determination: a case study of collector roads in Pingshan County, Hebei Province, China. *Frontiers* (vid. pág. 100).

- Lome, J. A. (2014). *Evolución de la temperatura de suelos 'del Perú a partir de imágenes LST del sensor . MODIS a bordo del satélite Terra durante el periodo 2000-2012* (Paper). UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE ING. MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL Escuela de Formación Profesional de Ciencias Físico-Matemáticas. (Vid. pág. 100).
- Luo, X., Zhou, X., Xiao, H., Ma, Q., Yang, Y. y Hu, K. (2024). Experiment study on temporal stability of soil moisture content in ecological slopes under different vegetation covers. *Environmental Research Communications* (vid. págs. 8, 100).
- Maciel, D., Novo, E., de Carvalho, L. S., Barbosa, C., Júnior, R. F. y de Lucia Lobo, F. (2019). Retrieving Total and Inorganic Suspended Sediments in Amazon Floodplain Lakes: A Multisensor Approach. *Remote sensing* (vid. pág. 100).
- MEI, S., GENG, Y., HOU, J. y DU, Q. (2021). Learning hyperspectral images from RGB images via a coarse-to-fine CNN. *SCIENCE CHINA Information Sciences* (vid. pág. 100).
- Mengistu, M. y Senamaw, A. (2020). Remote Sensing and GIS Based Potential Landslide Hazard Zonation in Ambo Woreda: Central Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science* (vid. pág. 100).
- Mezaal, M. R., Pradhan, B., Shafri, H. Z. M. y Yuso, Z. M. (2017). Detección automática de deslizamientos usando la teoría de Dempster-Shafer a partir de datos derivados de LiDAR y ortofotos. *Geomática, riesgos naturales y riesgo* (vid. pág. 100).
- MORALES, N. F. B. (2017). *TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL2, ASTER L1T y MODIS*. (Vid. pág. 100).
- Nocentini, N., Fanti, R., Rosi, A. y Segoni, S. (2023). Towards landslide space-time forecasting through machine learning: the influence of rainfall parameters and model setting. *Frontier in Earth Science* (vid. pág. 8).
- Padarian, J., Minasny, B. y McBratney, A. (2015). Using Google's cloud-based platform for digital soil mapping. *Elsevier* (vid. págs. 1, 100).
- Rafik Bouhennache, A. T.-A., Toufik Bouden y Chaddad, A. (2018). A new spectral index for the extraction of built-up land features from Landsat 8 satellite imagery. *Geocarto International* (vid. págs. 24, 25, 27, 100).
- Rajan Girija Rejith, L. G., Mayappan Sundararajan y Loveson, V. J. (2020). Satellite-based spectral mapping (ASTER and landsat data) of mineralogical signatures of beach sediments: a precursor insight. *Geocarto International* (vid. pág. 100).

- Rishikeshan, C. A. y Ramesh, H. (2017). An ANN supported mathematical morphology based algorithm for lakes extraction from satellite images. *ISH Journal of Hydraulic Engineering* (vid. pág. 100).
- RODRIGUEZ, J. L. L. (2015). *EVOLUCION TEMPORAL DEL INDICE DE VEGETACION DE DIFERENCIA NORMALIZADA MEDIANTE IMAGENES SATELITALES, VALLE MUYURINA, DISTRITO TAMBILLO - AYACUCHO, 2008-2013* (Paper). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE CIENCIAS FISICO MATEMATICAS. (Vid. pág. 100).
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación*. (Vid. pág. 100).
- Scheffler, D. y Frantz, D. (2022). Improved burn severity estimation by using Land Surface Phenology metrics and red edge information estimated from Landsat. *ELSEVIER* (vid. pág. 100).
- Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A. y Skakun, S. (2017a). Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping. *Frontier in Earth Sciences* (vid. pág. 100).
- Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A. y Skakun, S. (2017b). LARGE SCALE CROP CLASSIFICATION USING GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORM. *Space Research Institute NASU-SSAU, Kyiv, Ukraine* (vid. pág. 100).
- Sivakumar, M., Roy, P., Harmsen, K. y Saha, S. (2004). *Satellite remote Sensing and GIS applications in agricultural meteorology*. (Vid. págs. 3, 5, 17-23).
- Tong, Parajka, Komma y Bloschl. (2020). Mapping snow cover from daily Collection 6 MODIS products over Austria. *Elsevier* (vid. pág. 97).
- Ullah, I., Aslam, B. y Shah, S. H. I. A. (2022). An Integrated Approach of Machine Learning, Remote Sensing, and GIS Data for the Landslide Susceptibility Mapping. *Land MDPI* (vid. pág. 100).
- Ullah, I., Aslam, B., Shah, S. H. I. A., Qin, S., Majeed, M. y Havenith, H. B. (2022). An Integrated Approach of Machine Learning, Remote Sensing, and GIS Data for the Landslide Susceptibility Mapping. *Land* (vid. pág. 97).
- Yuzhong, K., Hua, W., Chong, X., Jingjing, S. y Kangcheng, Z. (2025). Landslide susceptibility mapping using an entropy index-based negative sample selection strategy: A case study of Luolong county. *PLOS .one* (vid. pág. 100).
- Zang, N., Hong, Y., QIN, Q. y Zhu, L. (2013). Evaluación of the Visible and shortwave infrared Drought index in China. *Institute of Remote Sensing and GIS Peking University Beijing 100871 China*,

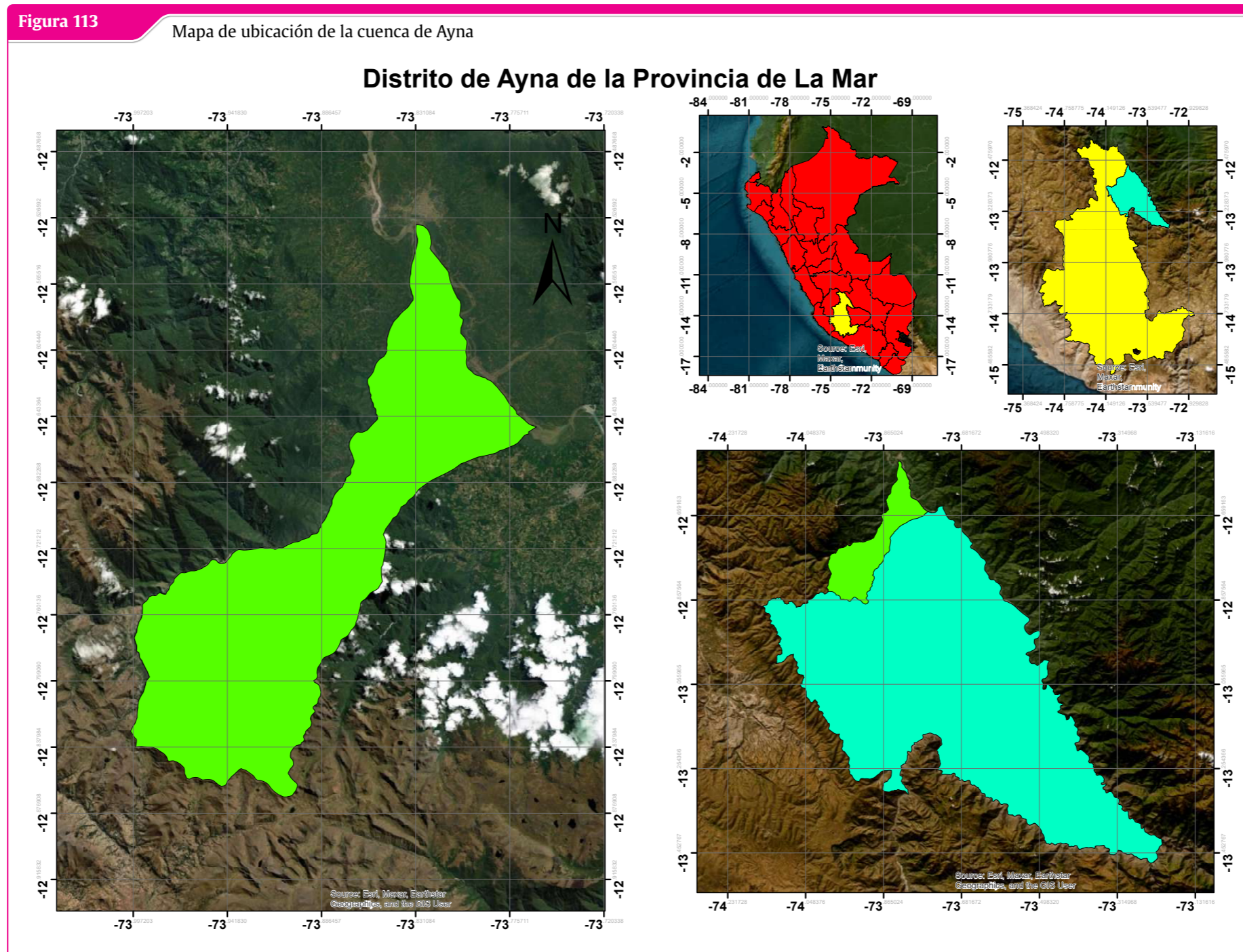
school of Civil Engineering and Environment Sciences University of Oklahoma OK 73072 USA
National Satellite Meteorological center of China Meteorological Administración Beijing 100081,
China (vid. pág. 100).

“La imaginación es más importante que el conocimiento. El conocimiento es limitado, mientras que la imaginación no tiene límites.”

— Albert Eisnten

A Anexos

A.1 Ubicación de la cuenca Ayna

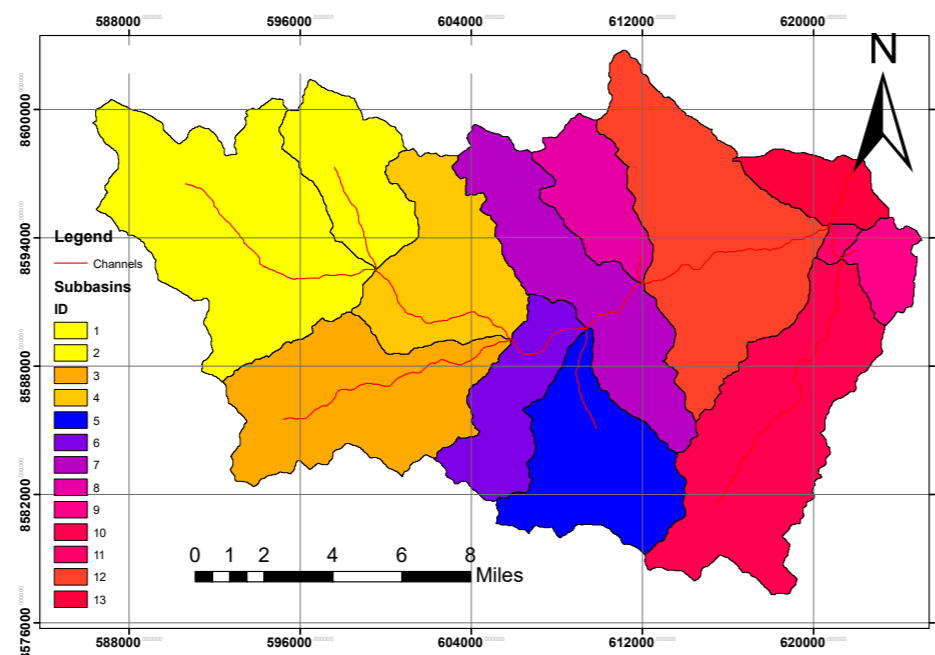


Fuente: Elaboración propia

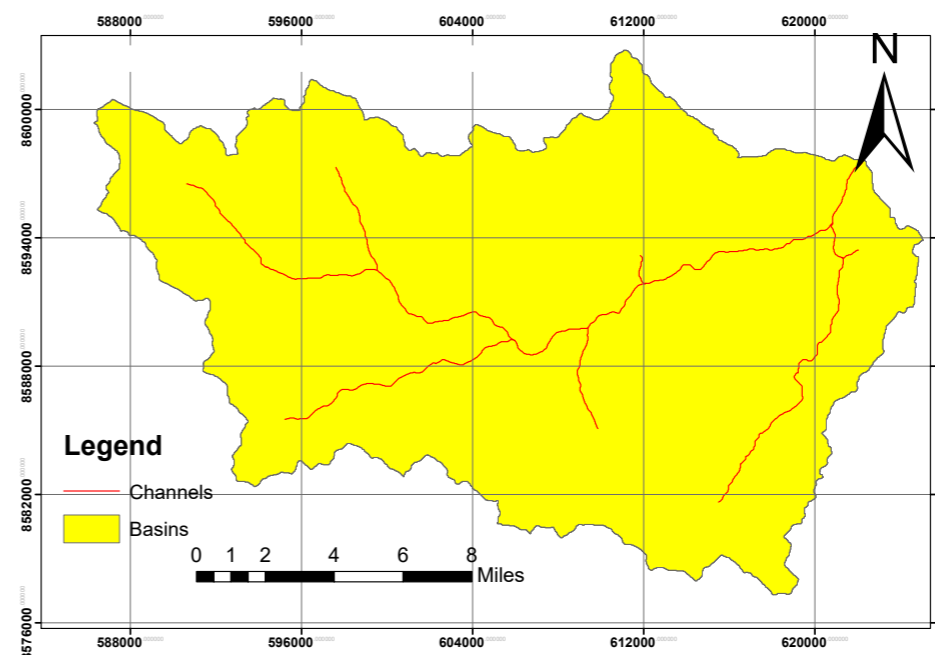
A.2 Delimitación de la cuenca de Ayna

Figura 114

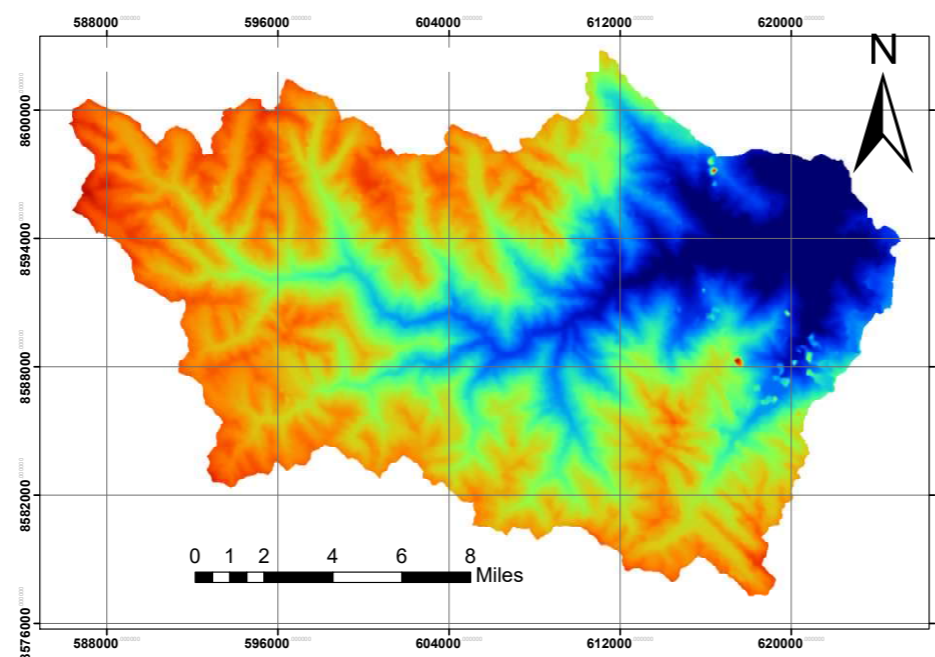
Delimitación de la Cuenca de Ayna



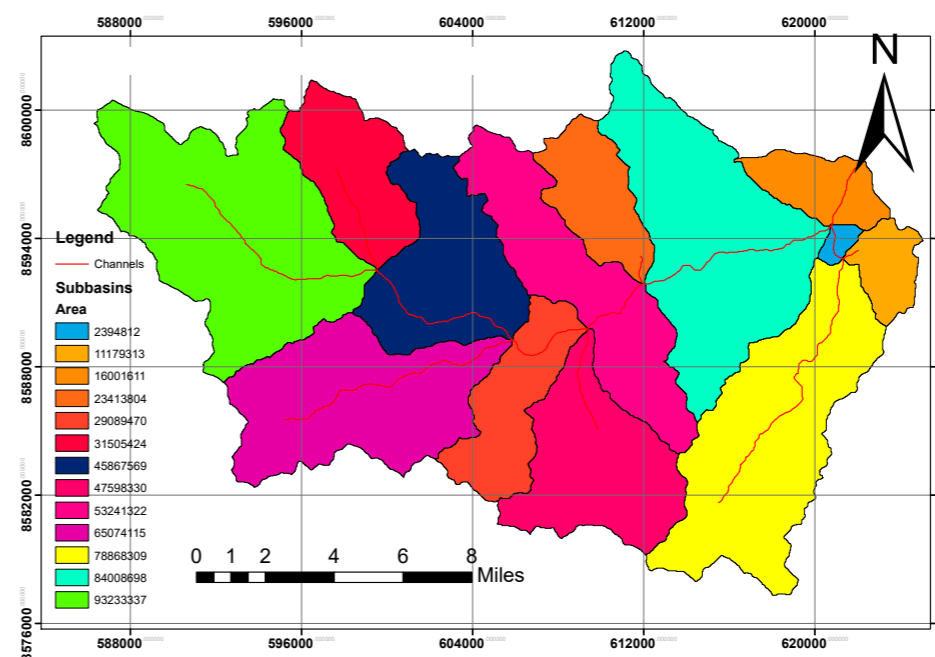
(a) Subcuencas de Ayna



(b) Delimitación de la cuenca de Ayna



(c) Formato ráster para la delimitación de la cuenca Aynau



(d) Áreas de las subcuencas de Ayna

Fuente: Elaboración propia

A.3 Visita e inspección de campo

Figura 115

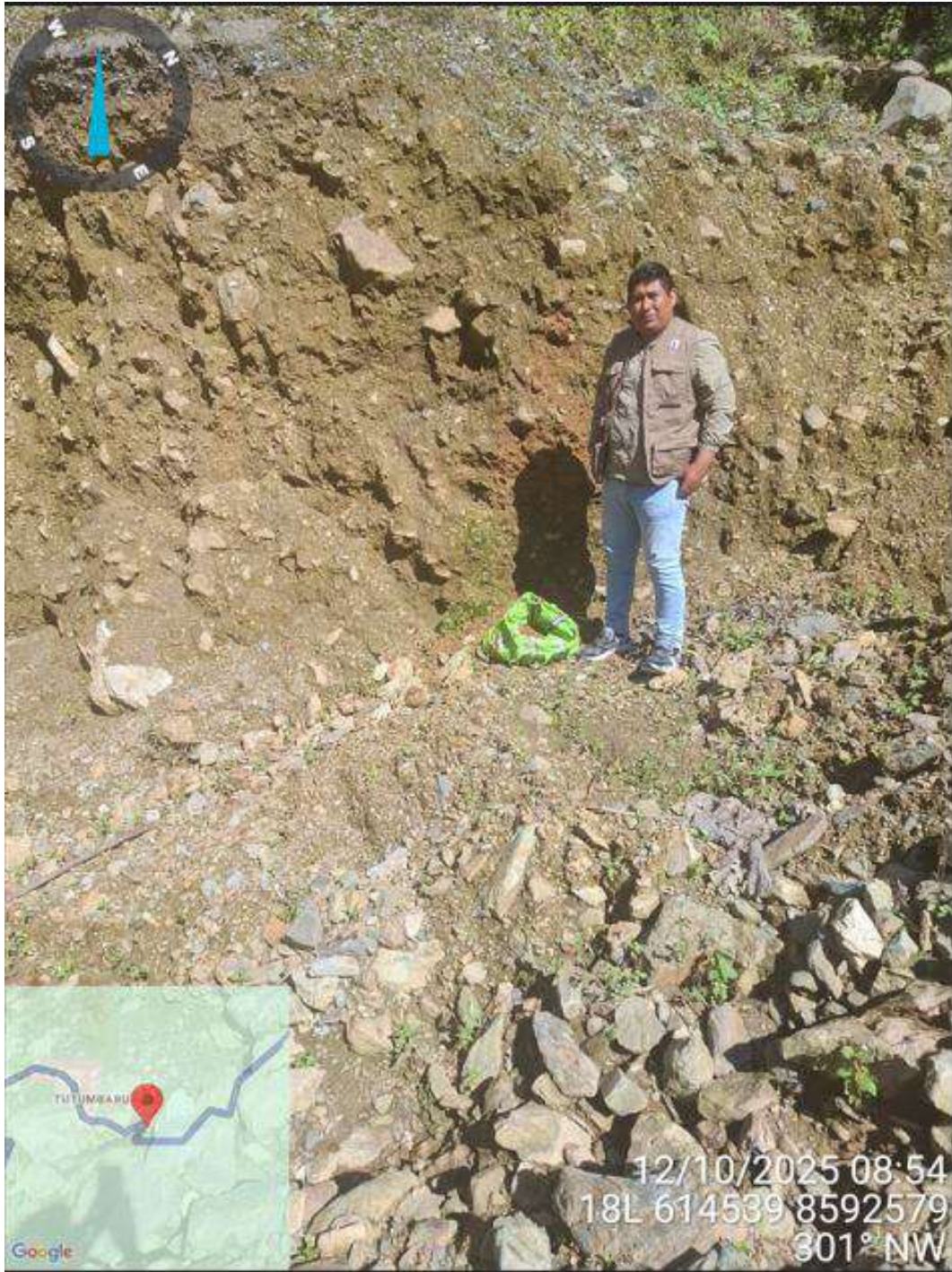
Visita de inspección in situ



Fuente: Elaboración Propia

Figura 116

Visita de inspección in situ



Fuente: Elaboración Propia

Figura 117

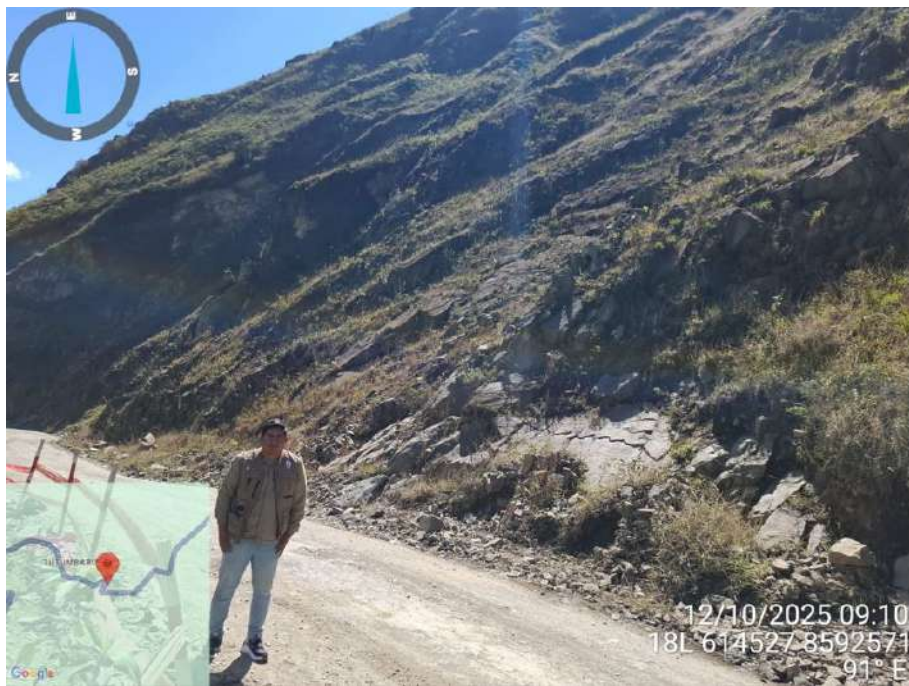
Visita de inspección in situ



Fuente: Elaboración Propia

Figura 118

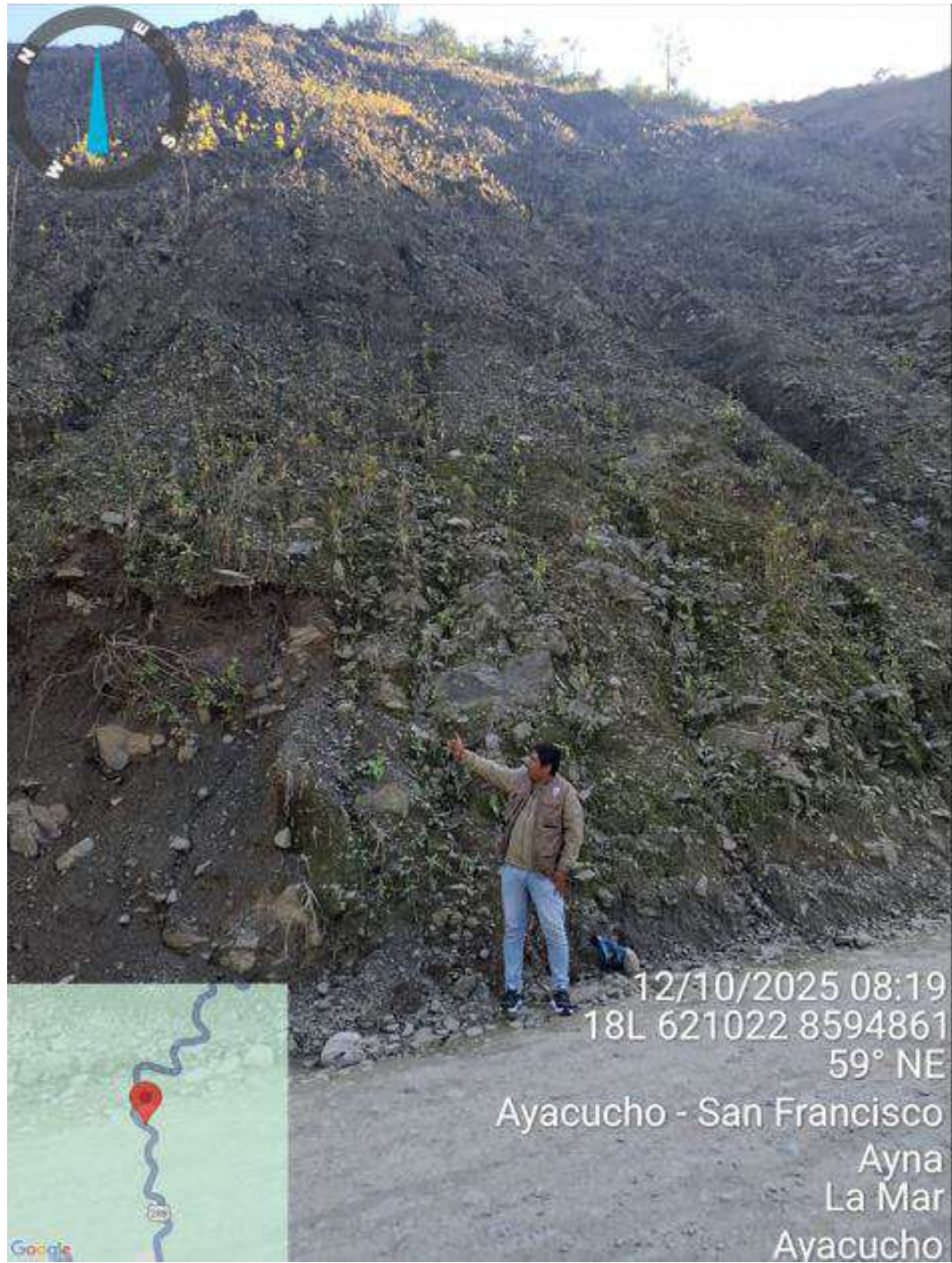
Visita de campo reconocimiento de los puntos de control



Fuente: Elaboración Propia

Figura 119

Visita de campo reconocimiento de los puntos de control



Fuente: Elaboración Propia

Figura 120

Visita de campo reconocimiento de los puntos de control



Fuente: Elaboración Propia

Figura 121

Visita de campo reconocimiento de los puntos de control



Fuente: Elaboración Propia

Figura 122

Visita de campo reconocimiento de los puntos de control



Fuente: Elaboración Propia

A.4 Obtención de datos comprados online

Figura 123

Obtención de datos con pago

Imágenes Satelitales De Alta Resolución

Los sensores de satélites de alta resolución proporcionan una resolución espacial mejorada para obtener los datos más precisos, fiables y oportunos. Con LandViewer, puede obtener fácilmente imágenes de los principales proveedores de imágenes satelitales de alta resolución del mundo, todo ello en línea, en una única plataforma y con un solo clic.

- ✓ Imágenes satelitales de alta resolución (hasta 30 cm/px)
- ✓ Abundante material de archivo para análisis históricos
- ✓ Entrega continua de imágenes de alta resolución
- ✓ Asignación de tareas para la adquisición de nuevas imágenes previa solicitud

[ORDENAR AHORA](#) [HABLAR CON NUESTRO EXPERTO](#)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 124

Obtención de datos con pago

Opciones De Imágenes De Satélite De Alta Resolución

Imágenes Disponibles

Navegue por nuestro extenso archivo para descargar imágenes satelitales de alta resolución tomadas desde 2006. Esta opción es perfecta cuando necesita:

- Aplicaciones de un solo uso y transaccionales (por ejemplo, imágenes satelitales de alta calidad para medios de comunicación)
- Reconocimiento visual (por ejemplo, localización de objetos específicos)
- Creación de un mapa base (por ejemplo, para planificación urbana)
- Detección de cambios históricos (por ejemplo, en el desarrollo de infraestructuras)

Nombre de la ubicación o coordenadas

Seleccione la fecha exacta o el periodo

Fuente: Elaboración Propia

Figura 125

Obtención de datos con pago

Elija el satélite según la resolución que necesite

Beijing-3N	0.3 m
SuperView NEO-1	0.3 m
KOMPSAT-3A	0.4 m
SuperView-2	0.4 m
Rainbow-TA	0.5 m

Solicite una nueva imagen del satélite elegido

Imágenes Nuevas

Solicite la asignación de tareas seleccionando uno de nuestros satélites para captar nuevas imágenes de su área de interés. La asignación de tareas es la solución ideal cuando:

- Las imágenes del periodo de tiempo requerido no están disponibles en los datos de archivo.
- Es necesaria una mejor cobertura del área de interés
- La calidad de las imágenes de archivo es insuficiente
- Es necesaria una monitorización regular y visitas programadas a su área de interés
- Se requiere un tipo de imagen específico (por ejemplo, panorámica, multispectral, etc.).

Fuente: Elaboración Propia

Figura 126

Obtención de datos con pago

Precios

Explore nuestra lista de precios de imágenes satelitales de alta resolución y seleccione las resoluciones espaciales y temporales en función de sus necesidades.

Resolución de la imagen de satélite	0,3 m	0,4 m	0,5 m	0,65 m
Revisita	diaria	2 días	diaria	5 días
Precio por kilómetro cuadrado, Imagen de archivo	16 - 20\$	16 - 18\$	11 - 14\$	10\$
Precio por kilómetro cuadrado, Imagen nueva (encargo)	24 - 30\$	24 - 27\$	16 - 23\$	16\$
Resolución de la imagen de satélite	0,75 m	0,8 m	1 m	2 m
Revisita	2 días	diaria	5 días	4 días
Precio por kilómetro cuadrado, Imagen de archivo	5\$	4.5 - 6\$	5.50\$	1.7 - 2.7\$
Precio por kilómetro cuadrado, Imagen nueva (encargo)	12\$	10\$	8\$	-

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Matriz de consistencia

Título: " El uso de los índices espectrales para la evaluación de suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025 "						
Autor: Jehisen Clever Cisneros Chumbile						
Matriz de consistencia						
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Metodología	Población y muestra	Técnicas e Instrumentos de investigación
¿ En qué medida las firmas espectrales pueden evaluar los suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025 ?	Aplicar las firmas espectrales para evaluar los suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025.	Las firmas espectrales evaluarán los suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025.	Variable independiente Firmas espectrales	Tipo de investigación Investigación Cuantitativa.	Población : La población son las áreas generadas con índices espectrales de suelos húmedos de la cuenca de bajo Apurimac con un área de 6728km ² .	Técnicas: Análisis documental, la técnica del procesamiento de datos, la técnica de simulación y modelación .
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos	Variable dependiente Suelos húmedos	Nivel de investigación Aplicativo.	Enfoque de investigación Cuantitativo.	Instrumentos: Registro, modelo digital de terreno (DEM), formato TIFF y ráster.
1 ¿ Se puede determinar la variación temporal de suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025 ?	Determinar la variación temporal de suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025.	La variación temporal de suelos húmedos a través de imágenes satelitales en épocas lluviosas y de estiaje nos ayuda a evaluar los suelos húmedos en Ayna - Ayacucho, 2025.		Diseño de la investigación No experimental longitudinal.	Muestra : Se eligió el muestreo no probabilístico discreto por conveniencia, donde la muestra elegida son las áreas generadas con índices espectrales de suelos húmedos de la cuenca de Ayna Ayacucho con un área de 93.23 km ² .	
2 ¿ Se pueden realizar mapas temáticos que muestren la evaluación de los suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025 ?	Realizar mapas temáticos que muestren la evaluación de los suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025.	Los mapas temáticos nos ayudarán a identificar la evaluación de los suelos húmedos a través de imágenes satelitales en Ayna - Ayacucho, 2025.				
3 ¿ Se pueden realizar la relación entre los suelos húmedos y la cobertura vegetal en Ayna - Ayacucho, 2025 ?	Analizar la relación entre los suelos húmedos y la cobertura vegetal en Ayna - Ayacucho, 2025.	La relación entre los suelos húmedos y la cobertura vegetal nos ayudara a entender la variación de los suelos húmedos en Ayna Ayacucho, 2025.				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Matriz de operacionalización de variables

Título : " El uso de los índices espectrales para la evaluación de suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025 "					
Autor : Jehisen Clever Cisneros Chumbile					
Matriz de operacionalización de variables					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Variables	Dimesiones	Indicadores
índices espectrales	Cálculos derivados de combinaciones de bandas espectrales que permiten resaltar índices espectrales de suelos húmedos, Vegetación y diferentes índices espectrales para usos y coberturas de suelos.	Aplicación de fórmulas espectrales a imágenes satelitales (NDVI, NDBI, IBI, MNDWI) para discriminar áreas construidas y realizar análisis multitemporal.	Variable independiente índices espectrales	Índices de suelos húmedos (LSWI)	valores de LSWI (µm) Bandas del LSWI (µm)
Suelos húmedos	Se entiende por suelos húmedos aquellos que presentan un alto contenido de agua en sus poros, producto de la infiltración de lluvias, escorrentía, ascenso capilar o proximidad al nivel freático. Esta condición hídrica no siempre implica saturación total, pero sí una disminución de la resistencia mecánica del suelo, lo que puede generar cambios en sus propiedades físicas (plasticidad, densidad aparente, conductividad hidráulica) y afectar su estabilidad.	La operacionalización de suelos húmedos es el paso metodológico que permite convertir un concepto cualitativo en una variable observable, cuantificable y comparable, asegurando que pueda ser analizada en una investigación sobre riesgo de derrumbes e inestabilidad de laderas. La operacionalización de suelos húmedos es el paso metodológico que permite convertir un concepto cualitativo en una variable observable, cuantificable y comparable, asegurando que pueda ser analizada en una investigación sobre riesgo de derrumbes e inestabilidad de laderas.	Variable dependiente Suelos húmedos	Índice normalizado de agua (NDWI) Índices de vegetación (NDVI) Superficie de suelo húmedo	valores de IBI (µm) Bandas del IBI (µm) valores de NDVI (µm) Bandas del NDVI (µm) área de suelo húmedo por pixel (µm)

Fuente: Elaboración propia.



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 074-2025-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 530-2025-FIMGC-D**, a los **treinta días del mes de diciembre de 2025**, siendo las **08:00 a.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil**, bajo la presidencia del **MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO** y los miembros: **MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS**; **Ing. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ** y **Ing. Saúl Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ**, actuando como secretario docente encargado el **Ing. Daniel FERRÚA CARRIÓN**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**, del bachiller:

JEHISEN CLEVER CISNEROS CHUMBILE

Quien presentó la tesis denominada:

“El uso de los índices espectrales para la evaluación de suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho 2025”

Los señores miembros del jurado, luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

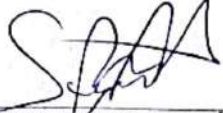
Aprobado con dieciséis (16)

Siendo las **10:00 a.m.** del día **30 de diciembre de 2025**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad con lo actuado, los miembros del jurado firman al pie del presente.


MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO
Presidente


MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS
Miembro


Ing. Edmundo CANCHARI GUTIERREZ
Miembro


Ing. Saúl Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ
Miembro - Asesor


Ing. Daniel FERRÚA CARRIÓN
Secretario docente Encargado de la FIMGC



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 07-2026-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-UNSCH-D**, dejo constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : Jehisen Clever CISNEROS CHUMBILE
Escuela Profesional : INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis : "El uso de los índices espectrales para la evaluación de suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025"
Evaluación de la Originalidad : 21 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2924621880

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 07 de abril del 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Alex Sander IRCANAUPA HUAMANT
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

"El uso de los índices espectrales para la evaluación de suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025"

por Jehisen Clever CISNEROS CHUMBILE

Fecha de entrega: 07-abr-2026 12:03a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2924621880

Nombre del archivo: Tesis_Jehisen_Clever_Cisneros_Chumbile.pdf (19.35M)

Total de palabras: 19558

Total de caracteres: 112292

"El uso de los índices espectrales para la evaluación de suelos húmedos de movimientos de tierra en Ayna - Ayacucho, 2025"

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

18%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	16%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.udec.cl Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1%
6	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
7	ig.conae.unc.edu.ar Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología (NO TOCAR)	<1%

9

www.tdx.cat

Fuente de Internet

<1 %

10

zaguan.unizar.es

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo