



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRICOLA**



## **TESIS**

**Análisis de la erosión del suelo causados por el Fenómeno  
El Niño (ENOS) con imágenes satelitales, Piura, 2023**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**Autor(es):**

Bach. Asenjo Cieza Fernando Daniel

Bach. Bravo Villa Juan Manuel

**Asesor:**

Ing. Sánchez Ayén Jannier Avelino

**LAMBAYEQUE, PERÚ**

**2026**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“PEDRO RUIZ GALLO”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS**

Análisis de la erosión del suelo causados por el Fenómeno el Niño (ENOS) con imágenes satelitales, Piura, 2023

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**Autor(es):**

Bach. Asenjo Cieza Fernando Daniel  
Bach. Bravo Villa Juan Manuel

**Aprobado por:**

Ing. M.Sc. Jorge Cumpa Reyes

Presidente del jurado

Ing. Dr. Enoch A. Montes Bances

Secretario del Jurado

Ing. M.Sc. Juan V. Hernández Alcántara

Vocal del Jurado

Ing. M.Sc. Jannier A. Sánchez Ayén

Asesor



**ACTA DE SUSTENTACIÓN N°005-2026-UINV-FIA**

Siendo las 9.00 a.m. horas del día 14 de enero de 2026, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Agrícola, se reunieron los Miembros del Jurado designado mediante Resolución N355-2024-FIA, conformado por:



**ING. M.SC. JORGE SEGUNDO CUMPA REYES**

**Presidente**

**ING. DR. ENOCH ABRAHAM MONTES BANCES**

**Secretario**

**ING. M.I. JUAN VICENTE HERNANDEZ ALCANTARA**

**Vocal**

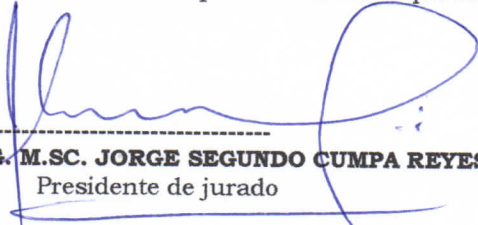



Para llevar a cabo la sustentación de tesis, citados mediante Resolución N°016-2026-FIA; denominado **"ANÁLISIS DE LA EROSION DEL SUELO CAUSADOS POR EL FENOMENO EL NIÑO (ENOS) CON IMÁGENES SATELITALES, PIURA, 2023"**, bajo la responsabilidad de los bachilleres: **Fernando Daniel Asenjo Cieza y Juan Manuel Bravo Villa**, asesorado por el **Ing. M.Sc. Jannier Avelino Sánchez Ayen**; para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola.

Luego de culminar la sustentación, el Jurado procedió a realizar las preguntas a los sustentantes y si hubiera observaciones, anotándolas para su corrección respectiva, el jurado luego de evaluar las rubricas decidió APROBAR la tesis con el calificativo de MUY BUENO correspondiente a la nota de 10 (diez).

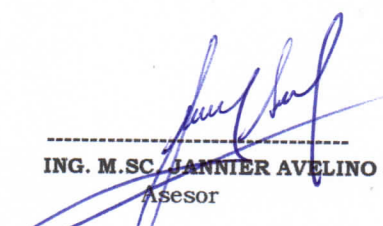
En consecuencia, los referidos Bachilleres quedan aptos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, de acuerdo a la Ley Universitaria N°30220, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.


Siendo las 10:30 horas del mismo día, se dio por finalizado el acto de sustentación y se procedió a firmar la presente acta los que en ella han intervenido.

  
-----  
**ING. M.SC. JORGE SEGUNDO CUMPA REYES**  
Presidente de jurado

  
-----  
**ING. DR. ENOCH ABRAHAM MONTES BANCES**  
Secretario de jurado

  
-----  
**ING. M.I. JUAN VICENTE HERNANDEZ ALCANTARA**  
Vocal del jurado

  
-----  
**ING. M.SC. JANNIER AVELINO SANCHEZ AYEN**  
Asesor

  
-----  
**Ing. Dr. Wilfredo Díaz Córdova**  
Director de la Unidad de Investigación -FIA

## ANEXO N°1


### **CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD**

Yo, Jannier Avelino Sánchez Ayén, usuario y revisor de tesis titulado: “ANÁLISIS DE LA EROSIÓN DEL SUELO CAUSADOS POR EL FENÓMENO EL NIÑO (ENOS) CON IMÁGENES SATELITALES, PIURA, 2023”, cuyos autores son: Asenjo Cieza Fernando Daniel, con DNI N° 74307155 y Bravo Villa Juan Manuel, con DNI N°73865653; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud 11%, verificables en el Resumen del reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó el reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el recibo digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 30 de Marzo del 2026



**JANNIER AVELINO SÁNCHEZ AYEN**  
DNI. N°45474367.  
Asesor

Adjunta:

- Resumen del Reporte automatizado de similitudes
- Recibo digital

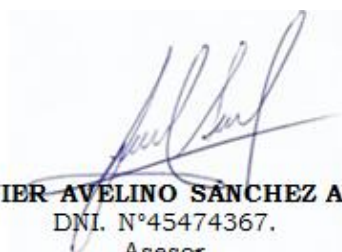
## Análisis de la erosión del suelo causados por el Fenómeno El Niño (ENOS) con imágenes satelitales, Piura, 2023

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>11</b> %	<b>11</b> %	<b>4</b> %	<b>4</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unprg.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4</b> %
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>www.tutiempo.net</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>dspace.unitru.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>6</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<b>acolita.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>repositorio.unc.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>9</b>	<b>sedici.unlp.edu.ar</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %



**JANNIER AVELINO SÁNCHEZ AYEN**  
DNI. N°45474367.  
Asesor

10	Najar Mendoza, William Lucio. "Aplicación de sistemas de información geográfica para la evaluación de riesgos por fenómenos naturales a inundación fluvial en la ciudad urbana del distrito de Iñapari, Madre de Dios - 2024", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru), 2025 Publicación	<1 %
11	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Regional Amazónica IKIAM Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad de La Salle Trabajo del estudiante	<1 %
15	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.upp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

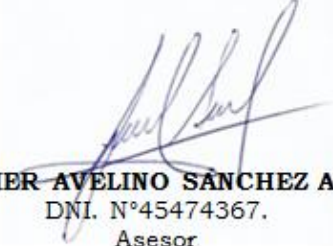
  
**JANNIER AVELINO SÁNCHEZ AYEN**  
 DNI. N°45474367.  
 Asesor

19	<a href="http://3b2017jacopo.blogspot.com">3b2017jacopo.blogspot.com</a> Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	<1 %
21	<a href="http://files01.core.ac.uk">files01.core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://repositorioinstitucional.uson.mx">repositorioinstitucional.uson.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://sigrid.cenepred.gob.pe">sigrid.cenepred.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://aysen.udec.cl">aysen.udec.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://www.geofocus.org">www.geofocus.org</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas  Activo

Excluir coincidencias  < 15 words

Excluir bibliografía  Activo

  
**JANNIER AVELINO SANCHEZ AYEN**  
 DNI. N°45474367.  
 Asesor



## Recibo digital

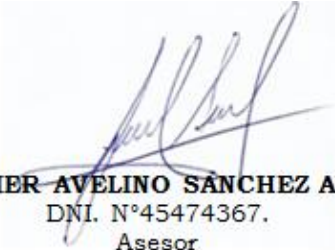
Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: FERNANDO ASENJO CIEZA  
Título del ejercicio: TESIS DE PREGRADO  
Título de la entrega: Análisis de la erosión del suelo causados por el Fenómeno El ...  
Nombre del archivo: TESIS\_3.docx  
Tamaño del archivo: 27.8M  
Total páginas: 74  
Total de palabras: 10,895  
Total de caracteres: 59,030  
Fecha de entrega: 29-mar-2026 08:08a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2346469266



Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

  
**JANNIER AVELINO SANCHEZ AYEN**  
DNI. N°45474367.  
Asesor

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a DIOS, por brindarnos sabiduría, amor, soporte y paciencia para perseverar en el camino de la vida y obtener esta meta académica. A mi FAMILIA por su apoyo constante y comprensión en los momentos más complicados. A mi MADRE por su gran dedicación por darnos lo mejor para poder llegar a triunfar en la vida. A mi NOVIA por ser fuente de motivación y uno de los pilares para lograr mis metas. Que este trabajo sea una muestra a todas las personas que nos han ayudado en el camino y que sea un compromiso para seguir adelante en la búsqueda constante del conocimiento y contribuir en el bienestar de la humanidad.

FERNANDO D. ASENJO CIEZA

Dedico este trabajo en primer lugar a dios, por poner todos los medios necesarios a mi disposición, desde que lo empecé, hasta que lo culmine. A mis padres por ser el soporte que en muchas noches de desvelo necesité, a mi novia por la paciencia y empatía, y por último a mis hermanos que confiaron en mí, mostrándome su apoyo incondicional.

JUAN M. BRAVO VILLA

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecemos a Dios, quien nos ha guiado y fortalecido a lo largo de todo este proceso académico, brindándonos la sabiduría y perseverancia para alcanzar este importante logro en nuestras vidas.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, quienes, con su apoyo incondicional, paciencia y comprensión, han sido pilares fundamentales en este camino, sin su amor y confianza, no habría sido posible llegar hasta aquí.

Agradecemos también a la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, nuestra alma mater, por brindarnos la oportunidad de formarnos académica y profesionalmente, y por ser el espacio donde hemos podido crecer tanto personal como intelectualmente.

De manera especial, extendemos nuestro agradecimiento a nuestro asesor de tesis, cuyo valioso tiempo, conocimientos y guía constante fueron determinantes para la culminación de este trabajo.

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la erosión hídrica del suelo causados por el Niño con imágenes satelitales en la región Piura. Para ello se realizó la descarga de imágenes Landsat 5 y 8 del USGS, los cuales fueron analizados según los índices de composición de bandas espectrales NDVI y BSI, para los años 1997 – 1998 y 2016 – 2017. Se encontró en el análisis antes, durante y después de El Niño, que este evento climatológico causa erosión hídrica en toda la región Piura, sin embargo, a su vez también con la acumulación atípica de volumen de agua provoca el aumento de la vegetación en la región, por lo que este evento genera altos índices de suelo desnudo, y que El Niño de 1998 fue el año más devastador en términos de daño ambiental, con suelos más expuestos y mayor erosión hídrica debido a las intensas lluvias. Concluyendo que la recuperación, aunque presente, fue más lenta, en cambio, 2017 mostró una recuperación más rápida de los suelos y la vegetación, aunque con un impacto menor.

Palabras clave: ENOS, BSI, NDVI, Imágenes Landsat

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to analyze soil water erosion caused by El Niño using satellite images in the Piura region. Landsat 5 and 8 images from the USGS were downloaded and analyzed using the NDVI and BSI spectral band composition indices for the years 1997-1998 and 2016-2017. The analysis conducted before, during, and after El Niño revealed that this climatological event causes water erosion throughout the Piura region. However, it also leads to an increase in vegetation due to the atypical accumulation of water volume. As a result, the event generates high levels of bare soil, with the 1998 El Niño being the most devastating year in terms of environmental damage, as it left soils more exposed and caused greater water erosion due to intense rainfall. In conclusion, although soil recovery occurred, it was slower in 1998, whereas the 2017 event showed a faster recovery of soils and vegetation, with a lesser impact.

Keywords: ENSO, BSI, NDVI, Landsat images

## INDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN .....	4
ABSTRACT .....	5
INDICE.....	6
INDICE DE TABLAS .....	8
INDICE DE FIGURAS .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
1.1. Planteamiento de la investigación.....	11
1.1.1. Síntesis de la situación problemática.....	11
1.1.2. Formulación del problema de investigación.....	13
1.1.3. Objetivos.....	13
CAPÍTULO II: DISEÑO TEÓRICO .....	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.2. Bases teóricas .....	18
2.2.1. Erosión del suelo .....	18
2.2.2. Fenómeno el niño (FEN).....	19
2.2.3. Últimas tres fechas de El Niño en la región Piura .....	20
2.2.4. Sistemas de información geoespacial en análisis multitemporal .....	21
2.2.5. Imágenes satelitales .....	21
2.2.6. Erosión y transporte de sedimentos del suelo .....	23
2.3. Definición de términos .....	24
2.4. Operacionalización de variables .....	25
2.5. Hipótesis .....	26
CAPÍTULO III: DISEÑO TEÓRICO .....	27

3.1. Diseño de contrastación de hipótesis / procedimientos a seguir en la investigación .....	27
3.2. Población, muestra .....	27
3.3. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales .....	29
3.4. Validez y confiabilidad del instrumento .....	29
3.5. Procesamiento de datos .....	30
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	32
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....	61
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES .....	67
REFERENCIAS.....	69

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3</b> .....	22
<b>Tabla 4</b> .....	24
<b>Tabla 5</b> .....	26
<b>Tabla 4</b> .....	32
<b>Tabla 5</b> .....	34
<b>Tabla 6</b> .....	36
<b>Tabla 7</b> .....	38

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> .....	28
<b>Figura 2</b> .....	33
<b>Figura 3</b> .....	35
<b>Figura 4</b> .....	37
<b>Figura 5</b> .....	39
<b>Figura 6</b> .....	40
<b>Figura 7</b> .....	42
<b>Figura 8</b> .....	44
<b>Figura 9</b> .....	45
<b>Figura 10</b> .....	47
<b>Figura 11</b> .....	49
<b>Figura 12</b> .....	51
<b>Figura 13</b> .....	53
<b>Figura 14</b> .....	54
<b>Figura 15</b> .....	56
<b>Figura 16</b> .....	58
<b>Figura 17</b> .....	59

## INTRODUCCIÓN

El proyecto busca abordar un problema de alta relevancia ambiental y agrícola en el norte del Perú. El fenómeno de El Niño es un evento climatológico cíclico que afecta gravemente esta región, provocando intensas precipitaciones que alteran los ecosistemas, los suelos agrícolas y la infraestructura local, donde uno de los impactos más severos es la erosión hídrica del suelo, que compromete la fertilidad y la estabilidad del terreno, afectando tanto la productividad agrícola como la seguridad alimentaria.

La erosión hídrica del suelo, potenciada por la intensidad de las lluvias, ha sido un tema de preocupación durante varios episodios de El Niño, como el ocurrido en 2017, es así que el estudio se basa en el uso de imágenes satelitales Landsat 8, que permiten realizar un análisis multitemporal para cuantificar y caracterizar los efectos del fenómeno en el suelo de la región Piura. El uso de índices espectrales como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Suelo Desnudo (BSI) será clave para identificar cambios en la cobertura vegetal y áreas afectadas por la erosión.

Este trabajo busca aportar conocimiento sobre la magnitud y distribución espacial de la erosión del suelo en respuesta a El Niño.

## **1.1. Planteamiento de la investigación**

### **1.1.1. Síntesis de la situación problemática**

La problemática para el proyecto "Análisis de la erosión hídrica del suelo causado por el fenómeno del niño con imágenes satelitales" radica en la poca comprensión referente a cómo los cambios ambientales asociados con el fenómeno del niño pueden afectar la calidad del suelo a escala global. La escasez de investigaciones que aborden esta conexión específica deja lagunas significativas en nuestro entendimiento de los efectos que pueden aparecer a largo plazo en la salud humana. Este proyecto busca abordar esta brecha al emplear tecnología avanzada, como las imágenes Landsat 8, para realizar un análisis detallado de los patrones ambientales y su correlación con la erosión hídrica del suelo en diversas regiones afectadas por el fenómeno del niño a nivel mundial.

En Lima un estudio en el distrito de Palpa, se tuvo la necesidad de detectar cambios en el suelo, para poder identificar la degradación por fenómenos naturales y actividades antropogénicas, por lo que se vio la necesidad de utilizar datos Landsat 8, y analizarlos con métodos de índice de erosión, índice de vegetación, índice del suelo desnudo, para que se realice un mapeo del suelo de manera general (Molina, 2019).

En Lambayeque según Nuñez (2023), la aparición de "El Niño" no es un evento raro o extraño para ser nombrado como "fenómeno", sino que por el contrario es algo cíclico que se aparece en las costas peruanas del norte después de 6 a 12 meses de su aparición en Sídney - Australia, por lo que se considera un evento climatológico. El impacto de El Niño se manifiesta de manera especialmente devastadora en el sector agrícola. Las pérdidas en cultivos vitales como el limón y el mango generan escasez a nivel nacional, comprometiendo la seguridad alimentaria y provocando graves consecuencias económicas para los agricultores locales, además, las intensas precipitaciones asociadas con El Niño causan estragos en la infraestructura de la región, inundando ciudades, obstruyendo drenajes y provocando daños generalizados que afectan la movilidad y la calidad de vida de la población.

Los eventos extremos asociados al Fenómeno El Niño, como los que ocurrieron entre enero y marzo del 2017, han causado daños considerables en extensas áreas de todo el Perú, estos eventos climáticos no solo han provocado la erosión hídrica del suelo, sino que también han arrastrado consigo los nutrientes del suelo, se resalta que la erosión hídrica resultante de estos eventos climáticos causa un daño permanente al suelo, lo que implica que, incluso con la aplicación de insumos adicionales, el suelo no puede recuperarse por completo (Torres, 2020).

Los últimos episodios de El Niño en la región de Lambayeque han causado daños considerables, especialmente en el ámbito agrícola. Las pérdidas de cultivos representan una amenaza significativa para la seguridad alimentaria local y resultan en pérdidas económicas considerables para la región en su conjunto. Por esta razón, es imperativo cuantificar la erosión hídrica del suelo causada por este fenómeno en la región, mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales, esta cuantificación resulta esencial para comprender la magnitud del impacto de El Niño en la erosión hídrica del suelo y para implementar estrategias de mitigación adecuadas que contribuyan a preservar la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria tanto en Lambayeque como en todo el país (Torres, 2020).

Sin embargo, la problemática se extiende más allá, en la región de Piura, es crucial entender el impacto específico de las precipitaciones asociadas con El Niño en el suelo, estas precipitaciones intensas y persistentes pueden desencadenar procesos de erosión hídrica del suelo, representando una amenaza adicional para la sostenibilidad ambiental y la productividad agrícola a largo plazo. La erosión hídrica compromete la capa fértil del suelo, aumentando el riesgo de deslizamientos de tierra y la pérdida de tierras agrícolas. Para abordar esta compleja problemática, es necesario realizar análisis espectrales detallados que permitan comprender el impacto de las precipitaciones de El Niño en el suelo de Piura, estos análisis proporcionarán información valiosa sobre la salud y la estabilidad del suelo, facilitando la formulación de estrategias de mitigación y adaptación para proteger la productividad agrícola y la salud ambiental de la región frente a los efectos devastadores de El Niño.

Este estudio es relevante porque aborda el análisis de la erosión hídrica del suelo utilizando tecnologías de teledetección que permiten obtener datos precisos sobre los efectos del fenómeno El Niño en la región Piura. Además, cabe mencionar que el monitoreo de las condiciones oceanográficas y atmosféricas del fenómeno El Niño en Perú está a cargo del Comité Multisectorial (ENFEN), que agrupa a varias instituciones nacionales, este ente es clave para la toma de decisiones, ya que proporciona información oportuna sobre los posibles impactos del fenómeno en distintas regiones del país. Sin embargo, es necesario complementar estos estudios con análisis a nivel local que utilicen tecnologías de percepción remota para evaluar el impacto directo en el suelo. Y los resultados de esta investigación proporcionarán información valiosa para la planificación y mitigación de riesgos, permitiendo a las autoridades locales y nacionales tomar medidas preventivas y de adaptación que minimicen los efectos negativos de futuros eventos de El Niño sobre los recursos naturales y las actividades agrícolas en Piura.

### **1.1.2. Formulación del problema de investigación**

¿Es posible analizar la erosión hídrica de suelos causado por El Niño con imágenes satelitales de la región Piura?

### **1.1.3. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Analizar la erosión hídrica del suelo causados por el Niño con imágenes satelitales en la región Piura.

### **Objetivos específicos**

- Identificar las últimas fechas de El Niño en la región Piura 1997-1998 y 2016-2017.
- Analizar las imágenes satelitales de la región Piura para los últimos tres eventos El Niño, con los índices espectrales NDVI.
- Analizar las imágenes satelitales de la región Piura para los últimos tres eventos El Niño, con los índices espectrales BSI.
- Analizar el efecto de El Niño en la erosión hídrica del suelo de la región Piura.

## CAPÍTULO II: DISEÑO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Niño (2020), realizó una investigación en Colombia, titulada como “Análisis Multitemporal Mediante Imágenes De Sensores Remotos Para La Determinación De Los Cambios De Uso De Suelo En El Municipio De San Francisco De Sales, Cundinamarca (Colombia) Entre Los Años 90’s Y 2018”, el cual su objetivo principal es identificar la distribución espacial y analizar la dinámica de cambio del uso del suelo mediante un análisis multitemporal, donde mediante la observación de las imágenes r TM de Landsat 4 se clasificó en 10 categorías, teniendo como resultado el identificar el orden económico, social y ambiental de estos factores permitiendo reconocer los fenómenos o determinantes que ha tenido un impacto en la región durante el periodo de estudio. En primer lugar, la crisis agraria de los años 1970, la revaluación de los tipos de cambio, los altos tipos de interés acabaron afectando negativamente a la rentabilidad de la agricultura, además, la falta de políticas de apoyo en el sector provocó la desaparición de los cultivos y a partir de ahí estas tierras fueron utilizados para otros usos más rentables.

En Arequipa, Herrera (2023), realizó un estudio el cual tuvo como objetivo evaluar la caracterización de erosión de suelos causada por la actividad agrícola mediante el uso de imágenes satelitales en el Fundo Santa María, Arequipa, en 2022. La metodología adoptada fue aplicada con un diseño cuasiexperimental. Se utilizaron imágenes satelitales y el software Google Earth Engine para identificar y evaluar la erosión de suelos, además, se aplicó la ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) para calcular la masa de suelo erosionado en toneladas por hectárea al año (Tn/ha. año) en los años 2012, 2017, y 2022. Los resultados revelaron cambios significativos en la erosión del suelo en el Fundo Santa María, destacándose una erosión en 2012 de 30.13 Tn/(ha. año), en 2017 de 59 Tn/(ha. año), y una notable reducción en 2022 a 7.12 Tn/(ha. año), estos datos evidenciaron la dinámica de erosión del suelo en relación con las prácticas agrícolas implementadas en el área de estudio. Se concluyó que la erosión de suelos causada por la actividad agrícola en el Fundo Santa María es notoriamente evidente en los años 2012, 2017, y 2022,

según los cálculos realizados, la utilización de imágenes satelitales y el software Google Earth Engine demostraron ser herramientas eficaces para la caracterización y evaluación de la erosión de suelos, permitiendo una comprensión más profunda de los impactos de la actividad agrícola en la degradación del suelo.

Molina (2019), realizó una investigación que tuvo como objetivo aplicar la teledetección multitemporal para la determinación de suelos degradados en el distrito de Palpa en el año 2019. La metodología empleada en esta investigación fue de tipo aplicativo, con un enfoque mixto, utilizando el software ENVI para aplicar el método de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el software ArcGis para aplicar el índice de salinidad (IndSal) y el índice de erosión (IE). Los resultados obtenidos a través del uso combinado de teledetección y análisis de laboratorio mostraron la efectividad de los programas utilizados en la investigación, con una validación de la información de teledetección por parte de los análisis fisicoquímicos realizados en muestras de suelo, se generó un mapa de indicadores de degradación del suelo en el distrito de Palpa, evidenciando cambios significativos en la salinidad, vegetación y erosión a lo largo de los años estudiados. La investigación concluyó que la teledetección multitemporal es una herramienta viable y efectiva para determinar los suelos degradados en el distrito de Palpa, permitiendo identificar las áreas afectadas por la degradación y analizar los niveles de degradación del suelo a lo largo del tiempo.

Cahuas (2021), realizó una investigación en Ucayali – Perú, titulada “Análisis multitemporal de deforestación de la cuenca Aguaytía mediante imágenes satelitales (1995-2020)”, en el cual su propósito principal es analizar la deforestación y el cambio en la cobertura forestal de la cuenca Aguaytía, región Ucayali, Perú, donde mediante la observación de las imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 se determinó la variación multitemporal en un periodo de tiempo de 1995-2020, teniendo como resultado que, el 9.16% de la cuenca estaba deforestada en el periodo de 1995, mientras que ha ido aumentando hasta alcanzar el 19.43% del total de la superficie en 2020, Además, se observó que la deforestación aumentó

como lo indica la parcela de cobertura forestal, que tuvo una correlación positiva muy alta ( $R^2 = 0,95$ ).

En la investigación de Butrich (2018), titulada “Impacto del Niño Costero (2016/2017) en tierras agrícolas de la parte baja del valle del Río Huarmey, Ancash”, tuvo como finalidad analizar el efecto del Fenómeno del Niño en las particularidades del terreno y la expansión de espacios agrarios con la intención de que la población pueda tomar las acciones correspondientes de acuerdo con los desastres ocurridos en la localidad del valle del Río Huarmey. Para esta investigación el método investigativo empleado por los autores se basó en reconocer y delimitar la figura geodésica, donde recogieron muestras de la tierra para ser analizadas, además realizaron un estudio estelar-eventual empleando técnicas de recepción remota. Entre sus resultados obtuvieron que las particularidades del suelo fueron heterogéneas. Por otro lado, no se logró calcular el impacto ya que no tuvieron mucha información previa al evento, así también no se alcanzó a diferenciar un patrón definido entre superficies afectadas y no afectadas. Con lo antes mencionado llegaron a concluir que las consecuencias de las crecidas durante el fenómeno costero se presentaron, con pérdidas de tierras agrícolas, los conductos entrelazados reordenados y mecanismos geográficos, además pese a que no pudieron evaluar el impacto de los suelos agrarios.

En Lambayeque Torres (2020), realizó un estudio con el objetivo principal de realizar un análisis temporal empleando imágenes satelitales para investigar cómo este fenómeno climático interactúa con la erosión hídrica del suelo a lo largo del tiempo. Para lograrlo, se aplicó una metodología que se centró en el procesamiento de estas imágenes, permitiendo evaluar la evolución tanto del suelo como de la vegetación mediante técnicas especializadas de composición de bandas espectrales y análisis de índices, como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI) y el Índice de Suelo desnudo (ISD). Los resultados revelaron que El Niño produjo efectos beneficiosos en los índices de IVDN y ISD, lo que se tradujo en una recuperación temporal de la cobertura vegetal y una mejora en la composición mineralógica del suelo. Sin embargo, se observó una degradación progresiva de

estos indicadores con el tiempo, hasta la ocurrencia de un nuevo evento de El Niño. En consecuencia, se concluyó que El Niño, como fenómeno climático recurrente, desempeña un papel significativo en la recuperación y el mantenimiento del ecosistema y el medio ambiente en Lambayeque. No obstante, se resaltó la necesidad de implementar estrategias de desarrollo que consideren la dinámica cíclica de El Niño, con el fin de prevenir y adaptarse a sus efectos adversos, promoviendo así la sostenibilidad ambiental y el bienestar de la comunidad local.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Erosión del suelo**

Según IAEA (2022), explica que es el proceso geológico que le ocurre al suelo, lo cual su pérdida se considera como irreversible. El suelo es un recurso no renovable que se agota muy rápido; mientras que otros recursos que si son renovables. La degradación de la tierra ataca a un gran porcentaje de personas, ya que muchas de ellas viven en países en desarrollo; de manera que el proceso de restauración del suelo puede tardar décadas, el estudio y control de la erosión hídrica son de gran importancia. Se pueden realizar muchos experimentos utilizando métodos nucleares o isotópicos, como el análisis de especies radiactivas en ríos radiactivos (FRN) o isótopos de compuestos estables (CSSI).

Además, EOS data analytics (2022) señala que se refiere a la degeneración del suelo y eliminación de fragmentos pequeños de tierra.

Factores causantes de la erosión hídrica del suelo, hay diferentes tipos de factores de predominan de forma natural y antropogénica, donde tenemos a los:

#### **Tipos de erosión del suelo**

El viento y el agua son los dos agentes principales de la erosión, y en ocasiones se pueden combinar.

Erosión Hídrica: El golpe provoca un movimiento violento del agua en la superficie del terreno, lo que provoca el desprendimiento de partículas de suelo (Espinosa et al., 2022).

Erosión Eólica: La erosión resulta de la intensidad del agente erosivo y de las cualidades del terreno, y se produce debido al viento que degrada, separa y arrastra diversas partículas de suelo (Espinosa et al., 2022).

### **2.2.2. Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú**

El Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú es un documento técnico importante para el estudio de la degradación del suelo en diversas regiones del país, este atlas proporciona información detallada sobre los niveles de erosión en distintas cuencas hidrográficas, basándose en datos recopilados a través de estudios científicos y mediciones de campo, la importancia del atlas radica en su capacidad para identificar áreas vulnerables a procesos de erosión, lo cual es crucial para la planificación de medidas de conservación y uso sostenible del suelo (Sabino et al., 2017).

El atlas clasifica las regiones según el grado de erosión, considerando factores como la precipitación, la topografía, el uso del suelo y la cobertura vegetal, además, su enfoque en las regiones hidrológicas permite una visión integrada de las interacciones entre los recursos hídricos y la dinámica del suelo, lo que resulta esencial para entender cómo eventos climáticos extremos, como el fenómeno El Niño, pueden agravar la erosión del suelo en determinadas zonas. Este documento es una herramienta indispensable para tomadores de decisiones, investigadores y autoridades locales, ya que proporciona una base de datos que facilita la comparación entre estudios previos y actuales, como los que se pueden realizar sobre los efectos del fenómeno El Niño en la región de Piura, asimismo, el Atlas de Erosión de Suelos es clave para diseñar estrategias de mitigación que busquen prevenir la pérdida de suelo y promover prácticas agrícolas sostenibles en las áreas más afectadas por la erosión (Sabino et al., 2017).

### **2.2.3. Fenómeno el niño (FEN)**

Según Núñez (2023), El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es un evento climático natural desarrollado en el océano Pacífico ecuatorial central. El Niño, o conocido como ENOS, que se causa por el aumento de TSM y reducción de vientos alisios. Ilustra así las condiciones anormales necesarias para provocar fuertes precipitaciones, cambios climáticos notorios y un declive significativo de

la industria pesquera, se desarrolla no solo en los países costeros sino también en otros lugares del mundo.

Torres (2020), manifiesta que El Niño es un patrón climático natural en el Océano Pacífico que es provocado por TSM, afectando totalmente al clima, lo cual afecta a una cantidad grande de personas. El viento occidental del Pacífico sopla de este en oeste, empujando el agua cálida hacia adelante, suele ser el agua más cálida del océano. En el oeste de los Estados Unidos hasta la costa occidental de América del Sur, la corriente en chorro, una estrecha banda de fuertes vientos sobre la parte superior del Océano Pacífico, se fortalece y provoca tormentas más frecuentes y fuertes.

También el SENAMHI (2017), nos menciona que, El Niño de 2017 fue uno de los más intensos que ha sido registrado en Perú, provocando deslizamientos de tierra, inundaciones y fuertes lluvias en muchas áreas del país. Esto se debe a la divergencia en el calentamiento entre las aguas superficiales del Océano Pacífico, así como un aumento de la humedad y fuertes olas.

### **Causas Del Fenómeno El Niño**

Según CENEPRED (2012), para que el fenómeno El Niño sobreviva, el océano y las atmósferas deben poseer las siguientes condiciones:

Debilitamiento de los vientos Alisios: Como resultado tenemos la disminución y aumento de presión del aire, se produce un aumento de la presión atmosférica, lo que conduce a la formación de nubes debido al aumento de la masa de aire. Esta es la razón por la que el agua cálida en Oceanía se mueve de este a oeste, elevando la temperatura superficial del mar (TSM) y desalojando masas de agua fría. Este proceso continúa hasta la costa peruana, donde resulta en la evaporación y formación de núcleos de precipitación (CENEPRED, 2012).

Variación de la Presión Atmosférica en Indonesia y Sudamérica: El desplazamiento de las especies marinas hacia áreas más profundas u otras áreas geográficas de aguas frías se debe a la corriente fría de Humboldt, la cual no alcanza las costas peruanas. Como resultado, ha habido una disminución en la producción extractiva de pescado (CENEPRED, 2012).

#### **2.2.4. Últimas tres fechas de El Niño en la región Piura**

Según Rojas (2023), nos describe que los años 1891, 1925 y 2017, se han mostrado daños críticos, en los que se han experimentado varios daños debido a las condiciones climatológicas propias de este evento relacionado con el calentamiento global; además, señalamos que la región norte encabeza el índice de regiones con mayor riesgo de precipitaciones, teniendo una cantidad de 369 mil habitantes que podrían ser susceptibles a inundaciones y deslizamientos de tierra; Teniendo un promedio de 90 mil hogares.

### **2.2.5. Sistemas de información geoespacial en análisis multitemporal**

Para poder realizar el análisis multitemporal se usan diferentes herramientas. Algunos de ellos son:

ENVI: Es un programa que interpreta las imágenes y datos recibidos, donde se ocupa en procesar, analizar y visualizar los datos enviados para que se pueda hacer un estudio eficaz encargándose del estudio de la gestión ambiental y la planificación urbana (Castro, 2016).

ARGIS: Es un programa que es usado para reunir, organizar, analizar y distribuir la información geográfica que se ha obtenido mediante las imágenes, además que también se le utiliza para crear sistemas de información geográfica (SIGSA, 2023).

QGIS: es un programa donde te da la facilidad de poder crear, visualizar o analizar información geoespacial, además de tiene un código abierto para diferentes plataformas (CEUPE, 2022).

Google earth engine (motor terrestre en Google): Herramienta desarrollada por el sistema de Google, la cual es usada para el estudio geoespacial, dando como resultado final respuesta a escala planetaria (Losada, 2020).

### **2.2.6. Imágenes satelitales**

Las imágenes satelitales se consideran una representación visual de la información obtenida a través de sensores conectados a satélites artificiales. Estos sensores recopilan datos reflejados desde la superficie de la Tierra, que se envían de regreso a la Tierra y se procesan en imágenes en consecuencia. (UGSS, 2020).

#### **Imágenes Landsat**

Son datos de imágenes de satélite recopilados por un sensor acoplado o ensamblado a un satélite artificial, luego son delegados a una estación terrestre en la cual es procesado y convertido en imágenes; los satélites reciben los datos en el corto periodo de tiempo que se pueda y así poder visualizar el desarrollo del fenómeno, gracias a el avance tecnológico, cada día se obtienen imágenes con mayor calidad de resolución, más franjas en el espectro electromagnético y más accesibilidad para los cibernautas, ampliando sus posibilidades de uso para diversos fines, como por ejemplo la investigación científica (UGSS, 2020).

### **Landsat 8**

Landsat 8, también conocida como Misión de Continuidad de Datos Landsat, se lanzó por primera vez el 11 de febrero de 2013 desde la Base Espacial Vandenberg, una base espacial militar estadounidense en el condado de Santa Bárbara, California, utilizando un cohete Atlas-V.; la cámara operativa de imágenes geodésicas y el detector térmico de infrarrojos se encuentran dentro del satélite. El satélite Landsat 8 orbita la Tierra en una órbita casi polar alineada con el Sol con una altitud de 705 kilómetros y una inclinación de 98,2 grados. Orbita la Tierra cada 98,9 minutos con un período de repetición de 16 días. El intervalo de tiempo para cruzar el ecuador es: 10:00 // - 15 minutos (UGSS, 2020).

**Tabla 1**

*Bandas de frecuencia, LandSat 8.*

<b>LANDSAT 8 (OLI/TIRS)</b>	
<b>Resolución (30 m) a través de Bandas (B):</b>	<b>Rango Espectral (mm)</b>
B 1 - Aerosol Costero (Coastal aerosol)	0.00041 - 0.00045
B 2 - Azul (Blue)	0.00045 - 0.00051
B 3 - Verde (Green)	0.00053 - 0.00059
B 4 - Rojo (Red)	0.00064 - 0.00067

B 5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.00085 - 0.00088
B 6 - Infrarrojo de Onda Corta (SWIR-1)	0.00157 - 0.00165
B 7 - Infrarrojo de Onda Corta (SWIR-2)	0.00211 - 0.00229
B 9 – Cirrus	0.00136 - 0.00138
<b>Resolución (15 m):</b>	
B 8 - Pancromático (Pan)	0.00050 - 0.00068
<b>Resolución (100 m):</b>	
B 10 - Infrarrojo Térmico (TIR-1)	0.01060 - 0.01119
B 11 - Infrarrojo Térmico (TIR-2)	0.01150 - 0.01251

*Nota.* Se muestran las Bandas de frecuencia LandSat 8, con una resolución de 30 m y un rango Espectral medido en mm. Tomado de (UGSS, 2020).

### **2.2.7. Erosión y transporte de sedimentos del suelo**

El manejo en el adecuado y la adopción de prácticas sostenibles son fundamentales para controlar la erosión y el transporte de sedimentos, asimismo para preservar la condición del suelo y mantener la salud del medio ambiente, la erosión hídrica puede ocurrir en forma de erosión en láminas, surcos y cárcavas, dependiendo de las precipitaciones, propiedades del suelo, la cobertura vegetal y la pendiente; en general la erosión más grave se genera cuando las lluvias son de corta duración pero de alta intensidad. La acción de las gotas de lluvia sumada a una proporción de agua mayor a la que puede infiltrar el suelo puede generar grandes volúmenes de escorrentía superficial y pérdida de suelo (MINAGRI, 2014).

La erosión causada por el agua a menudo comprende un proceso de dos etapas:

La lluvia que cae en la superficie terrestre, hacen que las partículas se rompan y reboten hacia arriba.

Las partículas caen de nuevo en la tierra, se dispersan y obstruyen los poros del suelo, ocasionando la formación de costras superficiales y una reducción de la tasa de infiltración del suelo.

Las barreras para el control de sedimentos son estructuras provisionales ubicadas en la misma elevación a lo largo de un área para captar, acumular el flujo laminar, reducir la velocidad de la escorrentía y el desplazamiento de

sedimentos, liberando el agua lentamente para evitar la erosión en una pendiente (MINAGRI, 2014).

**Tabla 2**

*Parámetros para barreras de control de sedimentos*

<b>Barreras para Control de Sedimentos</b>		
<b>Barreras</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Intervalo Máximo (pies)</b>
Sacos de Arena	< 25 %	20
	25 % - 50 %	15
	> 50 %	10
Pacas de Paja	< 10 %	50
	> 10 %	No se recomienda
Rollos de Fibra	< 25 %	20
	25 % - 50 %	15
	> 50 %	10

*Nota.* Se muestran los parámetros aceptables para diversas pendientes de terrenos, con intervalos máximos (pies) para diferentes barreras.

## **2.3. Definición de términos**

### **2.2.1. Erosión**

Proceso natural que implica la remoción progresiva de partículas del suelo o material rocoso de un lugar, desprendidos y transportados por agentes externos, ocasionando pérdida de suelo fértil, degradación del paisaje, precipitación en elementos de agua y cambios en la topografía del terreno (RCDMC, 2016).

### **2.2.2. Imágenes landsat**

Imágenes capturadas por los satélites Landsat, encargados de la monitorización y estudio de la superficie terrestre, proporcionan información multiespectral, capturando datos en diferentes bandas del espectro electromagnético (NASA, 2021).

### **2.2.3. Escorrentía**

Cuando la precipitación excede la capacidad de absorción del suelo, el agua comienza a fluir hacia áreas más bajas, el agua fluye sobre la superficie en lugar de ser absorbida por el suelo (RCDMC, 2016).

### **2.2.4. Datos de sensores remotos**

Según Veneros et al. (2020), los datos de sensores remotos son datos recopilados por instrumentos que no están en contacto directo con el objeto de que se está midiendo, los datos de sensores remotos pueden provenir de satélites, aviones o drones.

### **2.2.5. Espectro electromagnético**

El espectro electromagnético es el rango de longitudes de onda de la radiación electromagnética, el espectro electromagnético se puede dividir en varias regiones, cada una de las cuales tiene sus propias características (Courba et al., 2023).

### **2.2.6. Suelo**

El suelo es la capa superior de la corteza terrestre que está formada por materiales orgánicos e inorgánicos, el suelo es un sistema complejo que está influenciado por una variedad de factores, incluidos el clima, la vegetación, la topografía y la actividad humana (do Prado y da Veiga, s. f.).

## **2.4. Operacionalización de variables**

### **2.2.1. Variables**

*Variable independiente:* Evento climatológico el Niño.

*Variable dependiente:* Erosión hídrica del suelo en la región Piura.

## 2.2.2. Operacionalización de variables

**Tabla 3**

*Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnica de recolección de datos</b>
Variable independiente: Evento climatológico El Niño	El Niño es un evento climatológico que provoca intensas lluvias en el norte del Perú	El Niño	Últimos eventos extremos	Revisión bibliográfica / observación
		Imágenes satelitales	Análisis multiespectral es	
Variable dependiente: Erosión hídrica del suelo en la región Piura	Determinación de la erosión hídrica del suelo en la región Piura, causado por lluvias intensas durante el período de El Niño.	Mapa de tipo de suelo de la región Piura	Tipos de suelo	Revisión bibliográfica / observación
		Erosión de suelo del a región Piura	Erosión hídrica	

## 2.5. Hipótesis

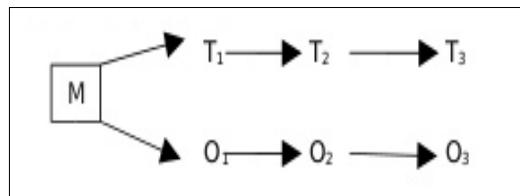
El análisis de las imágenes satelitales, permiten hallar la erosión hídrica del suelo causados por El Niño en la región Piura.

## CAPÍTULO III: DISEÑO TEÓRICO

### 3.1. Diseño de contrastación de hipótesis / procedimientos a seguir en la investigación

El diseño de la investigación fue de tipo descriptivo, no experimental, porque se pretendió observar y mencionar el problema de la realidad actual tal como se presentaba sin manipular las variables.

Además, se realizó un análisis retrospectivo ya que se observaron los 3 eventos del Niño pasados.



Donde:

M: Representa la muestra

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>: Representa los tiempos

O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>: Representa las observaciones

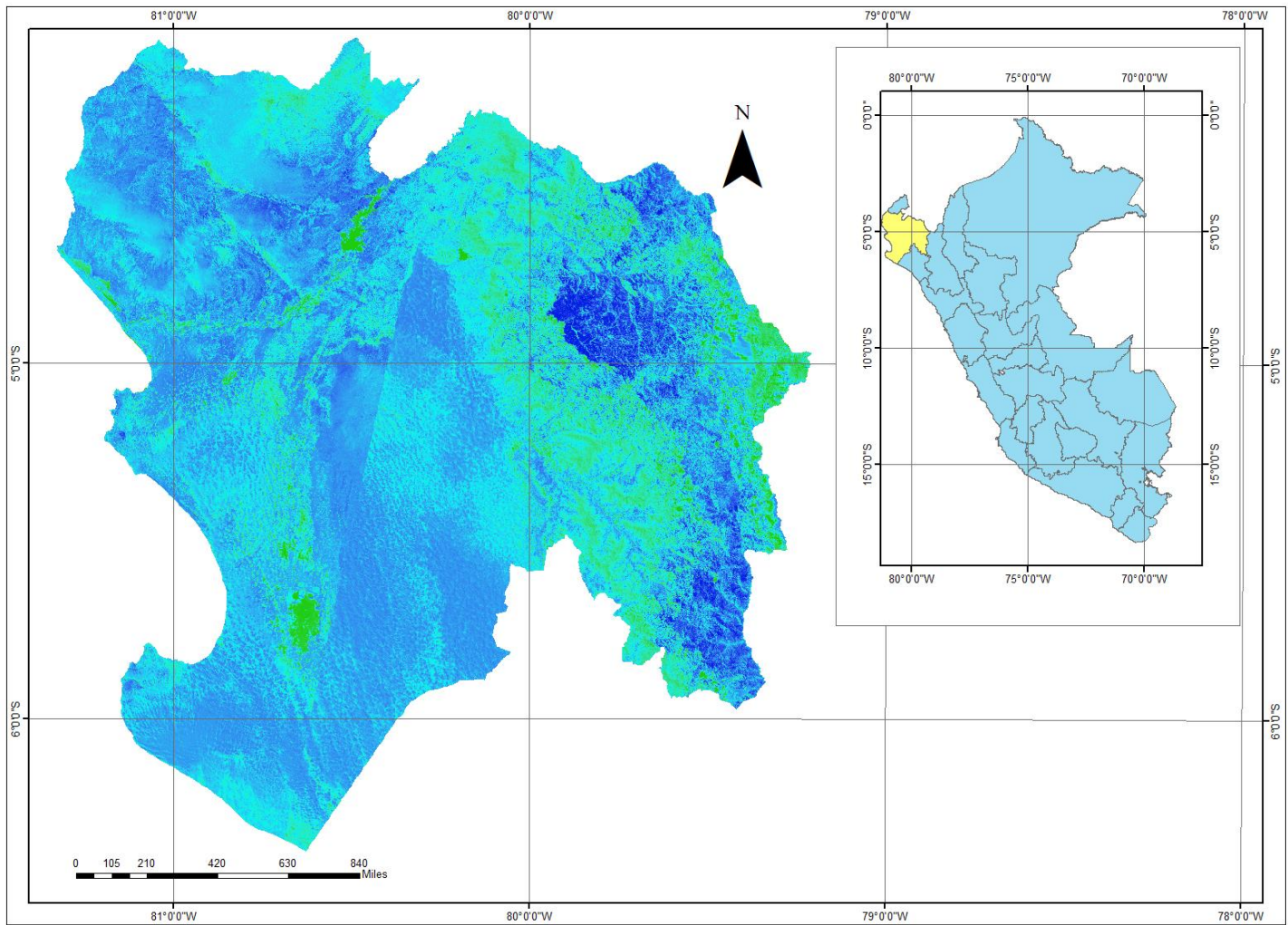
### 3.2. Población, muestra

Población: Imágenes satelitales de la Región Piura

Muestra: Imágenes satelitales de la Región Piura de los últimos eventos de El Niño

# Figura 1

## Mapa de ubicación



Nota. Elaborado a partir de imágenes satelitales

### **3.3. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales**

#### **Técnicas:**

- Observación: Se empleó para la revisión de las imágenes satelitales Landsat de la región Piura.
- Análisis documental: Se empleó para la revisión de bibliografía relevante para este estudio con relación a la erosión hídrica de suelos, y el Fenómeno El Niño en la región Piura.

#### **Instrumentos:**

- Ficha de observación: Se empleó para realizar las anotaciones de la información encontrada durante la observación.
- Guía de análisis documental: Se empleó para mantener un orden durante la revisión de la bibliografía.

#### **Equipos:**

- Computadora

#### **Herramientas:**

- Se emplearon los softwares ArcGis, Hojas de cálculo, imágenes satelitales Landsat.

### **3.4. Validez y confiabilidad del instrumento**

El presente estudio se basó en el análisis de imágenes satelitales Landsat 8, utilizando fórmulas probadas para la medición de la erosión hídrica del suelo mediante índices espectrales como el Índice de Suelo Desnudo (BSI) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). La confiabilidad de estos instrumentos radica en su comprobada validez en múltiples estudios científicos y su capacidad para detectar con precisión cambios en la cobertura del suelo y la

vegetación. Ambos índices han sido utilizados en estudios previos, y su robustez está sustentada por la consistencia de los resultados obtenidos en diferentes condiciones ambientales y geográficas. Además, las fórmulas empleadas en el cálculo del BSI y el NDVI han sido validadas en la comunidad científica para evaluar los impactos ambientales, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados en este contexto. El uso de estas metodologías asegura que los datos analizados reflejan de manera precisa la magnitud de la erosión hídrica del suelo causada por el fenómeno de El Niño en la región Piura.

**Fórmula del BSI** =  $((\text{Red} + \text{SWIR}) - (\text{NIR} + \text{Blue})) / ((\text{Red} + \text{SWIR}) + (\text{NIR} + \text{Blue}))$

**BSI (Landsat 8)** =  $((B6 + B4) - (B5 + B2)) / ((B6 + B4) + (B5 + B2))$

**BSI (Landsat 5)** =  $((B5 + B3) - (B4 + B1)) / ((B5 + B3) + (B4 + B1))$

**Fórmula del NDVI** =  $\text{Float}(\text{NIR} - \text{Red}) / \text{Float}(\text{NIR} + \text{Red})$

**NDVI (Landsat 8)** =  $\text{Float}(B5 - B4) / \text{Float}(B5 + B4)$

**NDVI (Landsat 5)** =  $\text{Float}(B4 - B3) / \text{Float}(B4 + B3)$

### 3.5. Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos en esta investigación se realizó en varias etapas, desde la recolección de las imágenes hasta el análisis final en el software ArcGIS.

- **Recolección de datos:** Se recopiló imágenes satelitales Landsat 5 y 8 de la región de Piura, correspondientes a los meses antes, durante y después del fenómeno de El Niño en 1998 y 2017. Estas imágenes fueron descargadas desde la plataforma de acceso libre proporcionada por el United States Geological Survey (USGS). Las fechas seleccionadas permitieron realizar un análisis multitemporal que abarca diferentes periodos clave.
- **Preprocesamiento de imágenes:** Las imágenes satelitales fueron corregidas atmosféricamente para eliminar interferencias atmosféricas, tales como polvo o vapor de agua, que podrían afectar la calidad de los datos. Este paso fue crucial

para garantizar que los valores espectrales representen adecuadamente las características de la superficie terrestre.

- Cálculo de índices espectrales: Se aplicaron las fórmulas para el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Suelo Desnudo (BSI) a las imágenes preprocesadas. Para el cálculo del NDVI, se utilizaron las bandas NIR y Red, mientras que para el BSI se emplearon las bandas NIR, SWIR y Blue. Estos índices permitieron identificar áreas con cobertura vegetal y suelos desnudos, respectivamente, en diferentes momentos del año.
- Análisis en ArcGIS: Con los índices calculados, se procedió a cargar las imágenes en el software ArcGIS. En esta etapa, se emplearon herramientas como el Raster Calculator para obtener resultados de los índices y generar mapas temáticos. Se realizó un análisis comparativo entre las diferentes fechas para observar los cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo.
- Análisis multitemporal: A través de la herramienta de diferencia de raster, se identificaron las variaciones en el índice BSI antes, durante y después del fenómeno El Niño, esto permitió visualizar las áreas afectadas por la erosión hídrica del suelo y cuantificar el impacto del evento climático.
- Interpretación de resultados: Finalmente, se interpretaron los mapas generados, destacando las áreas con mayor y menor exposición de suelo desnudo a lo largo del tiempo, estos resultados fueron utilizados para elaborar conclusiones sobre la magnitud de la erosión hídrica y las zonas más afectadas en la región Piura durante el evento de El Niño en 1998 y 2017.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Últimas fechas de El Niño en la región Piura

**Tabla 4**

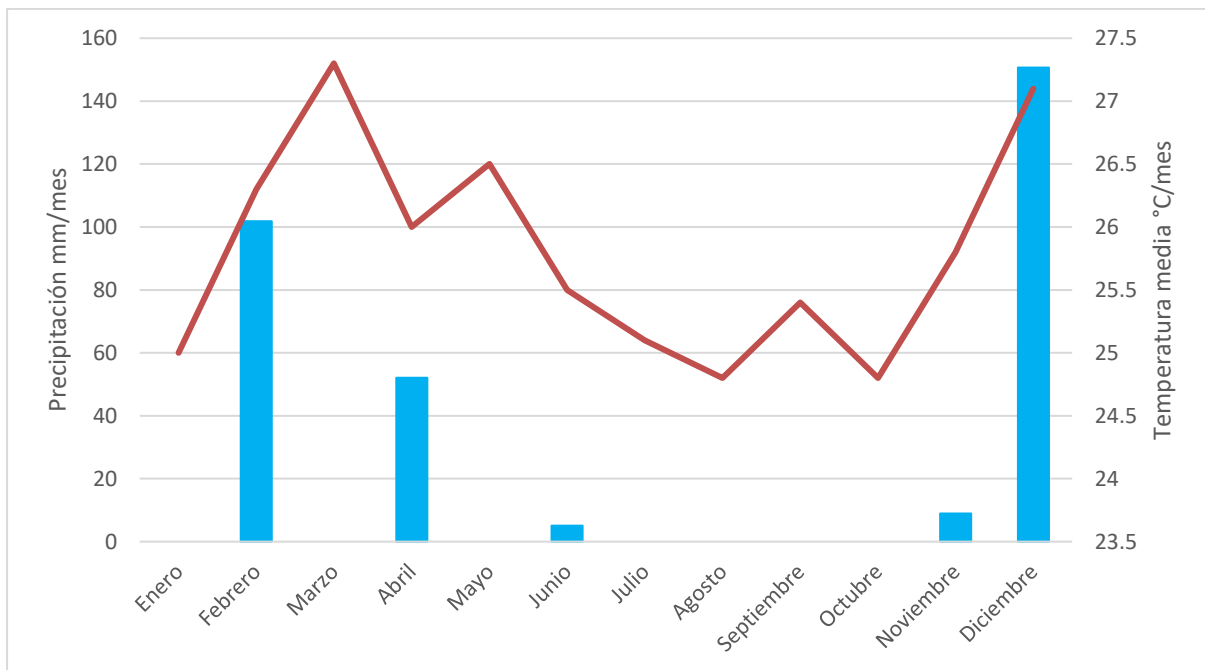
*Temperatura media y precipitación mensual de 1997 - Piura*

<b>1997</b>	<b>Temperatura Media (C°)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>Enero</b>	25	0
<b>Febrero</b>	26.3	101.86
<b>Marzo</b>	27.3	0
<b>Abril</b>	26	52.06
<b>Mayo</b>	26.5	0
<b>Junio</b>	25.5	5.07
<b>Julio</b>	25.1	0
<b>Agosto</b>	24.8	0
<b>Septiembre</b>	25.4	0
<b>Octubre</b>	24.8	0
<b>Noviembre</b>	25.8	8.9
<b>Diciembre</b>	27.1	150.63
<b>ANUAL</b>	<b>25.8</b>	<b>318.52</b>

*Nota.* Elaborado a partir de datos del SENAMHI

**Figura 2**

*Temperatura media y precipitación mensual de 1997 - Piura*



*Nota.* Elaborado a partir de datos del SENAMHI

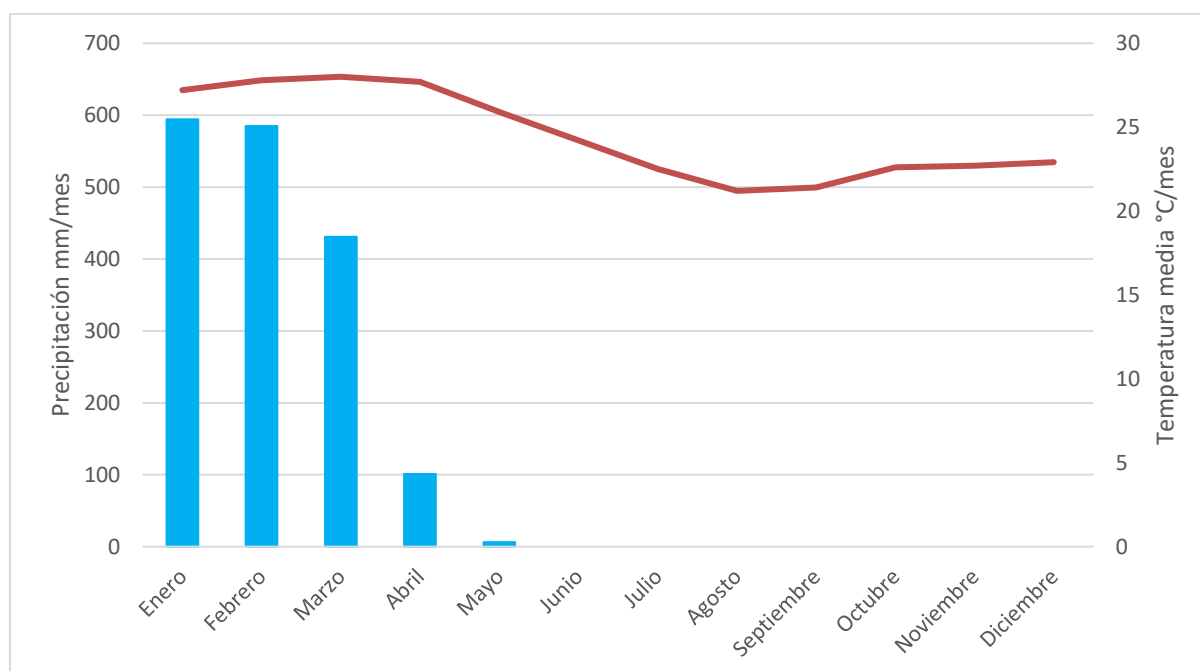
**Tabla 5***Temperatura media y precipitación mensual de 1998 - Piura*

<b>1998</b>	<b>Temperatura Media (C°)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>Enero</b>	27.20	594.38
<b>Febrero</b>	27.80	584.97
<b>Marzo</b>	28.00	430.78
<b>Abril</b>	27.70	100.84
<b>Mayo</b>	25.90	6.10
<b>Junio</b>	24.20	0.00
<b>Julio</b>	22.50	0.00
<b>Agosto</b>	21.20	0.00
<b>Septiembre</b>	21.40	0.00
<b>Octubre</b>	22.60	0.00
<b>Noviembre</b>	22.70	0.00
<b>Diciembre</b>	22.90	0.00
<b>ANUAL</b>	<b>24.508</b>	<b>1717.1</b>

*Nota.* Elaborado a partir de datos del SENAMHI

**Figura 3**

*Temperatura media y precipitación mensual de 1998 - Piura*



*Nota.* Elaborado a partir de datos del SENAMHI

Durante el periodo de 1997-1998, El Niño mostró un comportamiento extremo, con precipitaciones acumuladas de 1717.1 mm en 1998, lo que contrasta de manera amplia con los 318.52 mm registrados en 1997. Es así que los meses de enero a abril de 1998 fueron particularmente intensos, con precipitaciones elevadas en enero (594.38 mm), febrero (584.97 mm), marzo (430.78 mm) y abril (100.84 mm). La temperatura también mostró un aumento, con picos de 28°C en marzo de 1998, reflejando las condiciones cálidas típicas de El Niño. Este fenómeno afectó drásticamente la región de Piura, causando inundaciones, erosión hídrica del suelo y grandes pérdidas en la agricultura.

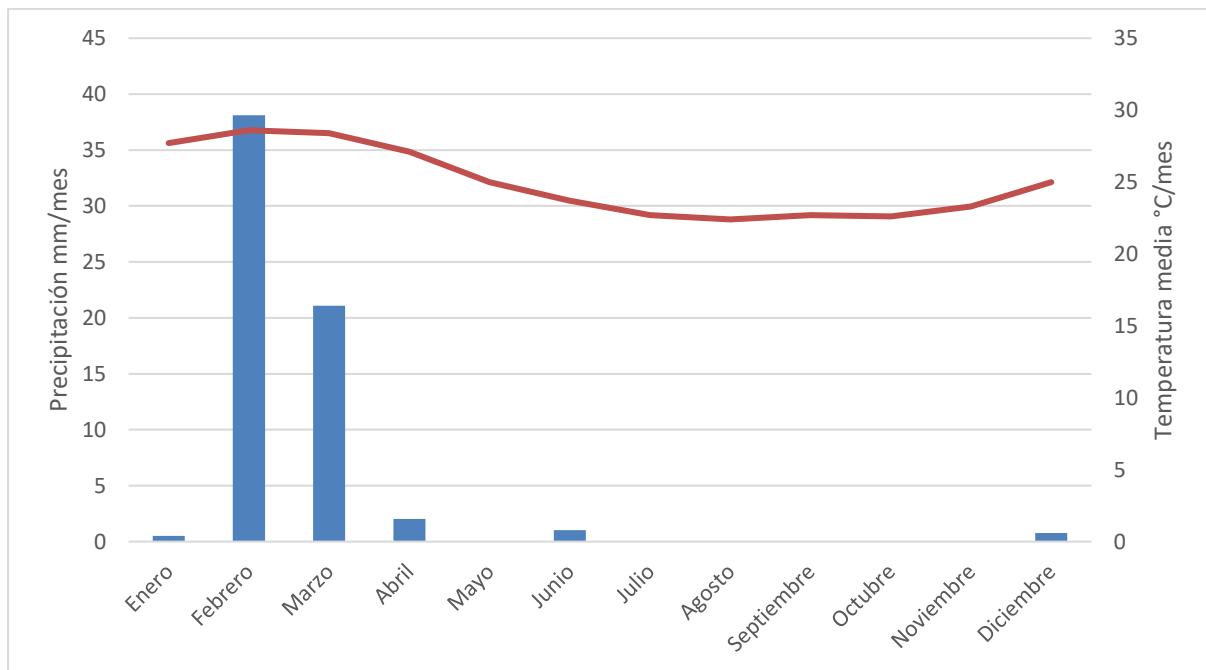
**Tabla 6***Temperatura media y precipitación mensual de 2016 - Piura*

<b>2016</b>	<b>Temperatura Media (C°)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>Enero</b>	27.7	0.51
<b>Febrero</b>	28.6	38.1
<b>Marzo</b>	28.4	21.08
<b>Abril</b>	27.1	2.04
<b>Mayo</b>	25	0
<b>Junio</b>	23.7	1.02
<b>Julio</b>	22.7	0
<b>Agosto</b>	22.4	0
<b>Septiembre</b>	22.7	0
<b>Octubre</b>	22.6	0
<b>Noviembre</b>	23.3	0
<b>Diciembre</b>	25	0.76
<b>ANUAL</b>	<b>24.933</b>	<b>63.51</b>

*Nota.* Elaborado a partir de datos del SENAMHI

**Figura 4**

Temperatura media y precipitación mensual de 2016 - Piura



*Nota.* Elaborado a partir de datos del SENAMHI

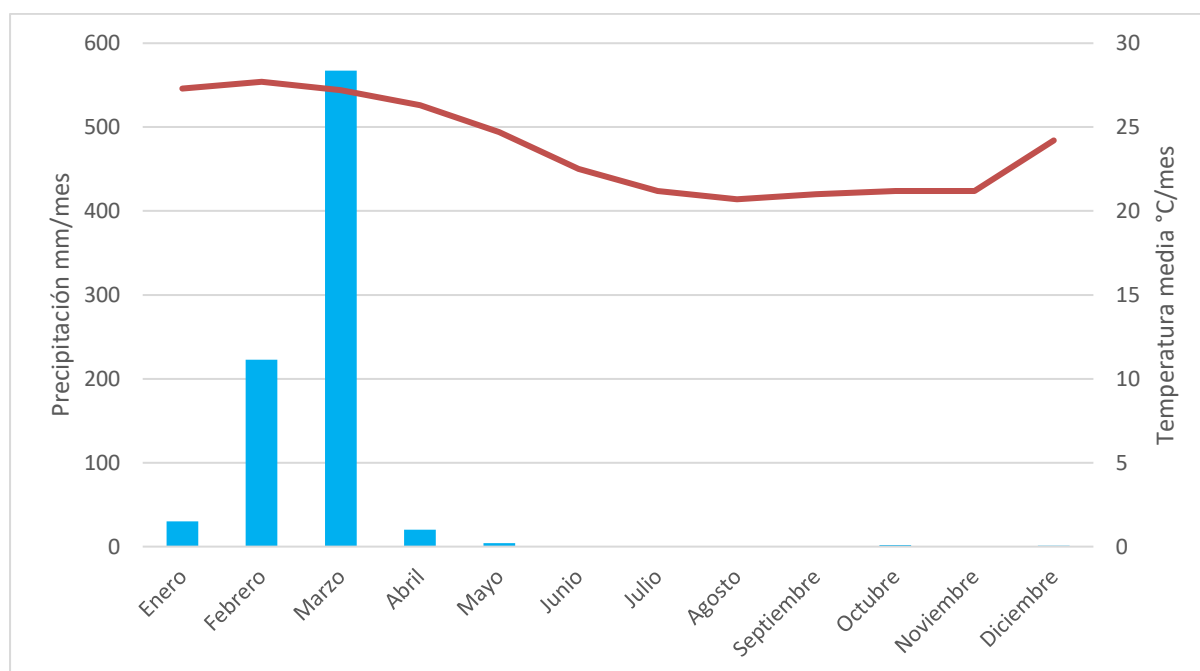
**Tabla 7***Temperatura media y precipitación mensual de 2017 - Piura*

<b>2017</b>	<b>Temperatura Media (C°)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>Enero</b>	27.3	29.98
<b>Febrero</b>	27.7	222.76
<b>Marzo</b>	27.2	567.44
<b>Abril</b>	26.3	20.07
<b>Mayo</b>	24.7	4.07
<b>Junio</b>	22.5	0
<b>Julio</b>	21.2	0.51
<b>Agosto</b>	20.7	0
<b>Septiembre</b>	21	0
<b>Octubre</b>	21.2	2.03
<b>Noviembre</b>	21.2	0
<b>Diciembre</b>	24.2	1.02
<b>ANUAL</b>	<b>23.767</b>	<b>847.88</b>

*Nota.* Elaborado a partir de datos del SENAMHI

**Figura 5**

Temperatura media y precipitación mensual de 2017 - Piura



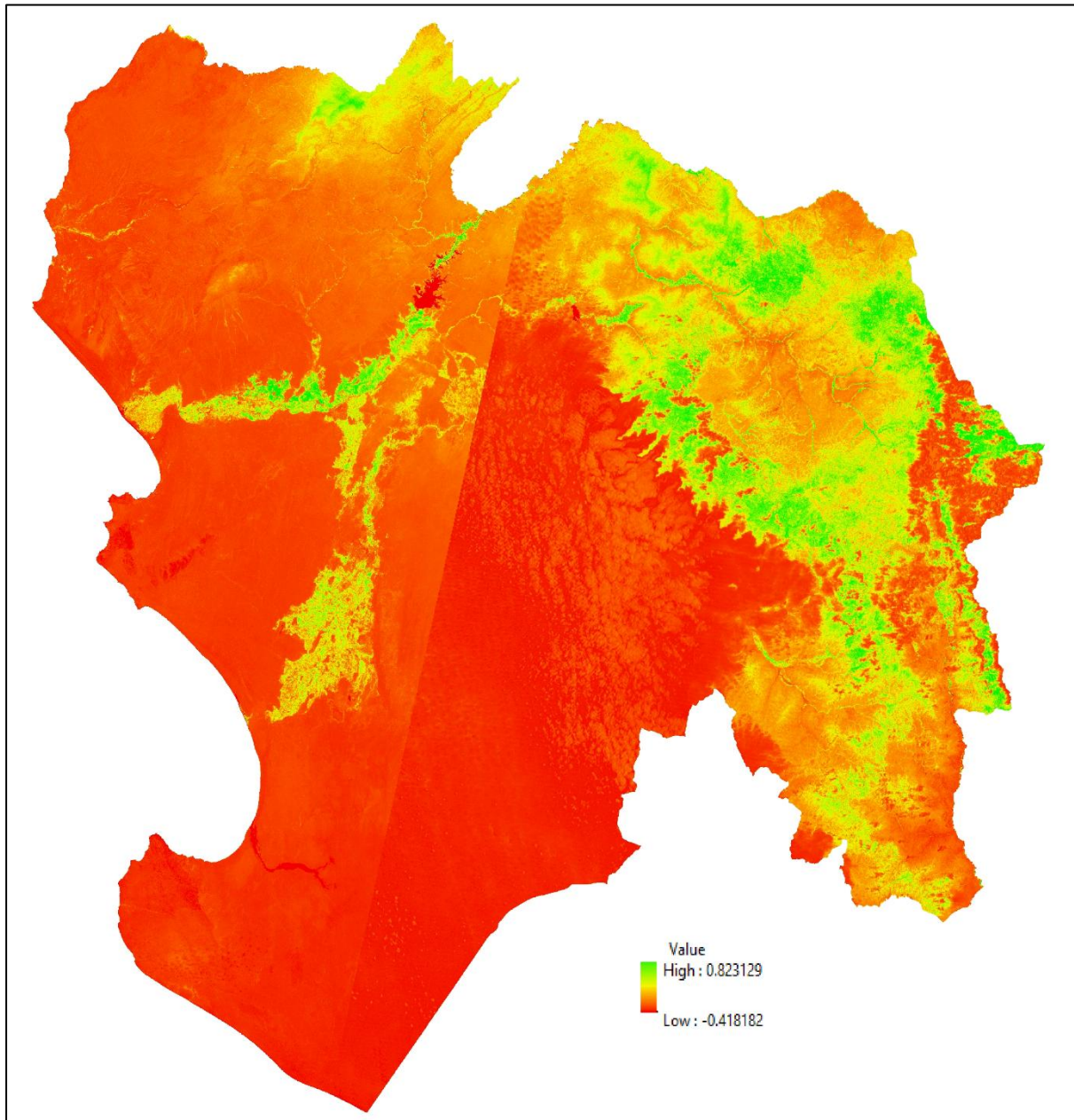
*Nota.* Elaborado a partir de datos del SENAMHI

El periodo de 2016-2017 también presentó condiciones de El Niño, aunque de menor intensidad comparado con 1997-1998. En 2016, las precipitaciones fueron significativamente bajas, acumulando solo 63.51 mm en todo el año, lo que significa un año seco en la región. Sin embargo, en 2017, se experimentó un incremento considerable en las lluvias, con un total anual de 847.88 mm. Los meses más críticos fueron marzo con 567.44 mm y febrero con 222.76 mm, lo que provocó inundaciones importantes, aunque no tan severas como las de 1998. La temperatura también mostró un ligero descenso, con una media anual de 23.77°C en 2017, más baja en comparación con 1998.

#### 4.2. Análisis de imágenes satelitales de la región Piura para los últimos eventos El Niño, con los índices espectrales NDVI

**Figura 6**

*Análisis NDVI de Piura de Octubre de 1997*

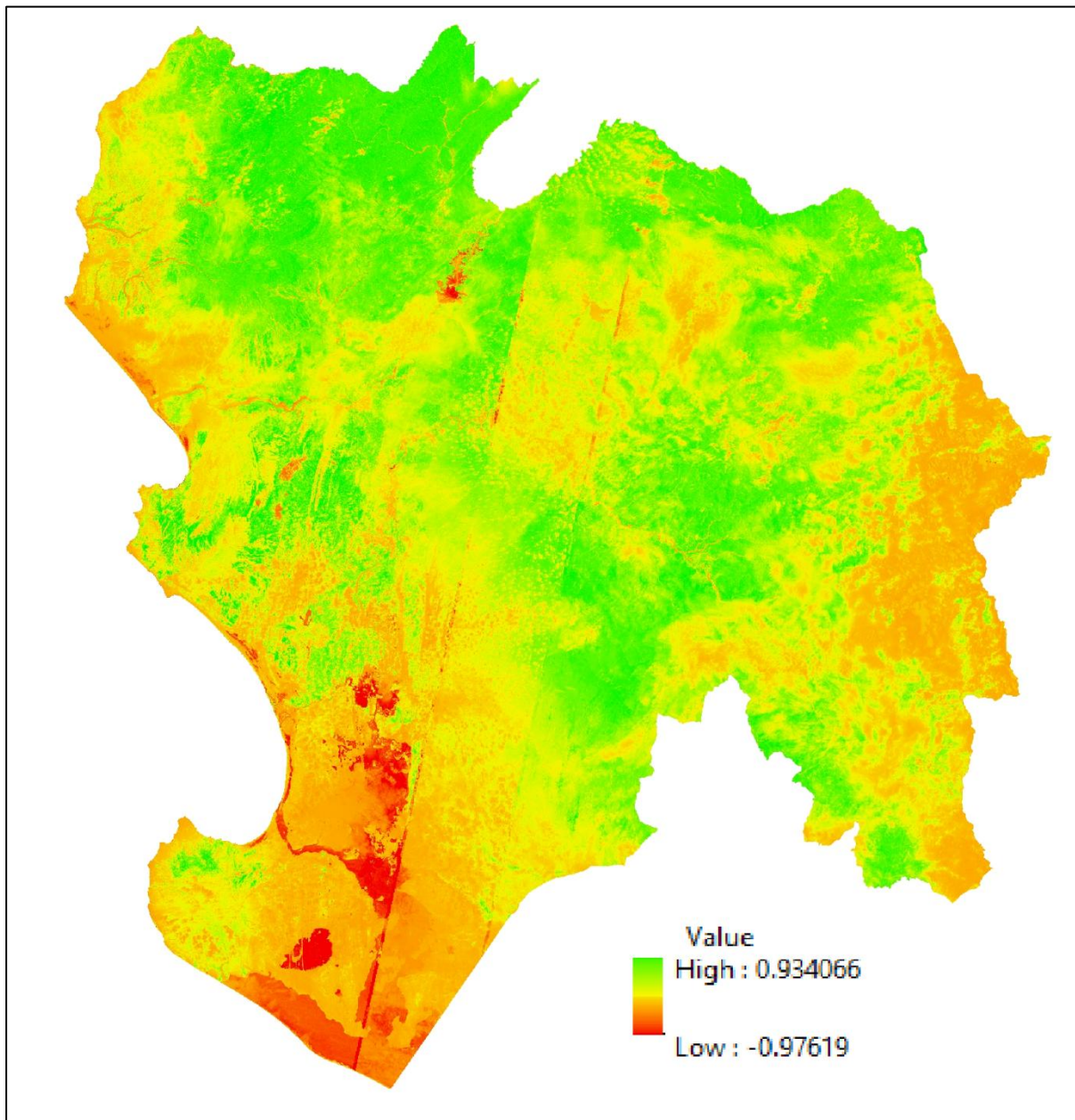


*Nota.* NDVI-1997-Octubre (antes del evento El Niño)

En la figura 6, de octubre de 1997, se observan áreas predominantemente naranjas y rojas en la parte occidental de la región, lo que indica baja cobertura vegetal o suelo expuesto. Este patrón es típico de áreas áridas o semidesérticas, como las que se encuentran en el norte de Perú antes de la temporada de lluvias. Las zonas verdes dispersas en la parte noreste sugieren que algunas áreas cuentan con cobertura vegetal moderada a alta, quizás debido a la proximidad de cuerpos de agua o zonas montañosas con condiciones más húmedas.

## Figura 7

Análisis NDVI de Piura de Marzo de 1998



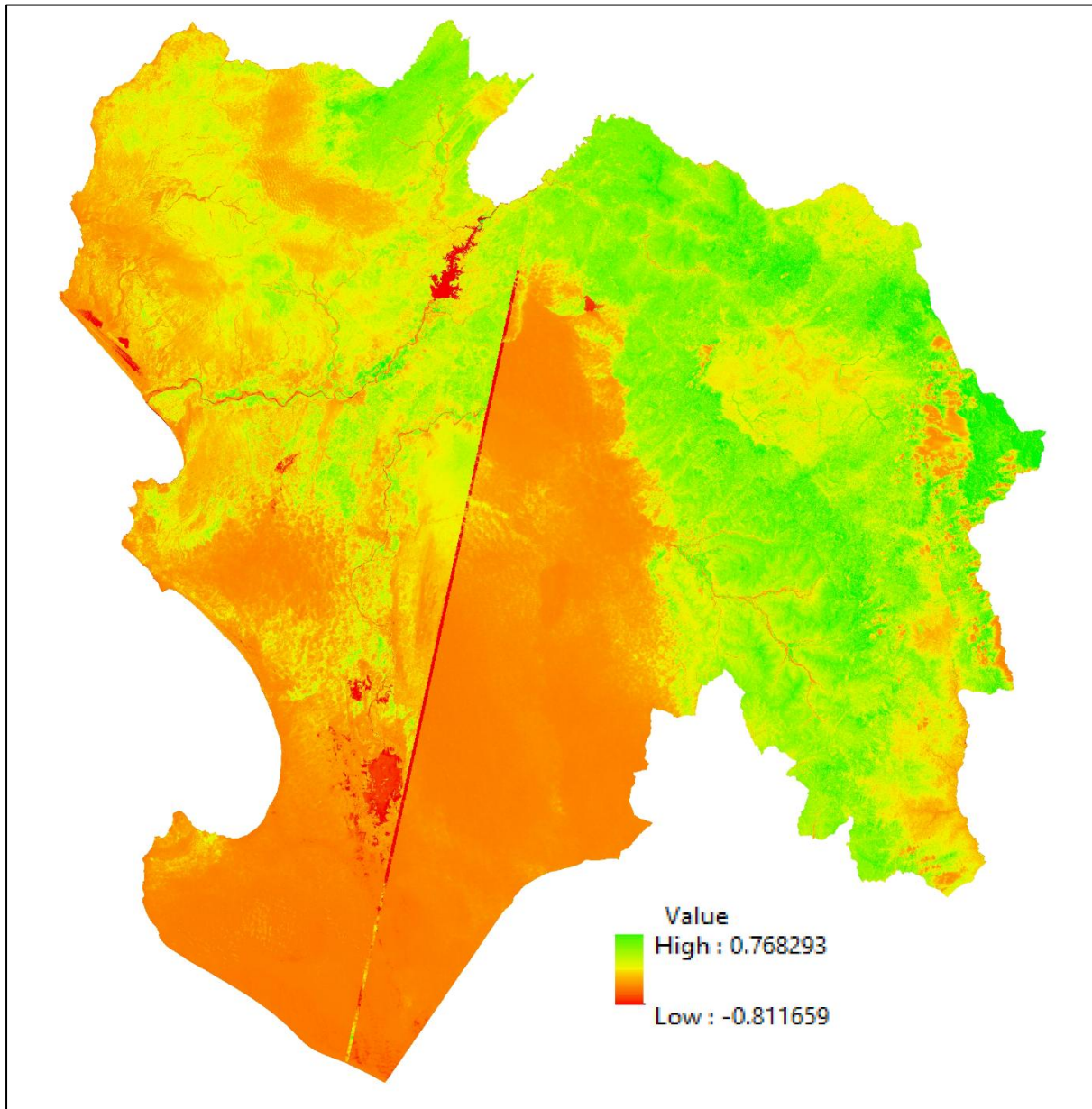
Nota. NDVI-1998-Marzo (Durante El Niño)

En la figura 7, de marzo de 1998, en justo cuando acaba de pasar El Niño, se observa una notable transición hacia áreas más verdes. Las zonas que previamente eran naranjas y rojas han comenzado a recuperar vegetación debido a las intensas lluvias de El Niño, esto debido a que la humedad aumentó drásticamente,

favoreciendo el crecimiento de plantas en áreas que generalmente permanecían secas. Sin embargo, las zonas rojas que aún permanecen pueden representar áreas donde las precipitaciones fueron tan intensas que causaron erosión hídrica del suelo, impidiendo el crecimiento de vegetación, además puede ser una señal de inundaciones en ciertas áreas donde el exceso de agua impide el crecimiento de plantas, como es el caso de la laguna la Niña que se forma en el suroeste límite con la región Lambayeque y el océano Pacífico.

## Figura 8

Análisis NDVI de Piura de Agosto de 1998



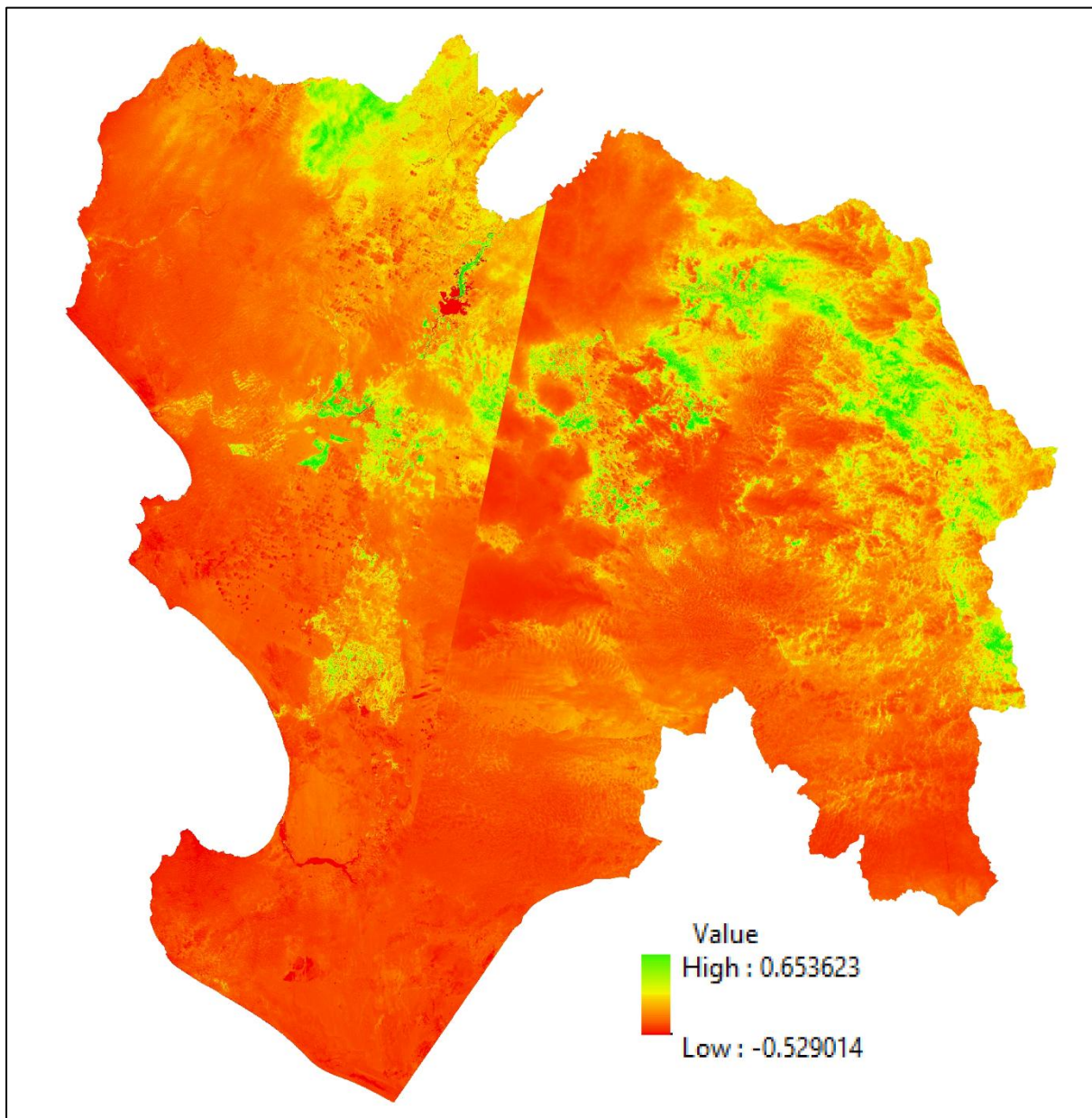
*Nota.* NDVI-1998-Agosto (Después de El Niño)

Para agosto de 1998, después de que el evento El Niño finalizó, se aprecia una reducción vegetal significativa, con amplias áreas naranjas en toda la región. Si bien las condiciones climáticas posteriores a El Niño favorecieron el restablecimiento de la vegetación en áreas que anteriormente eran secas, con el pasar de los meses las

zonas áridas vuelven a estarlo, ya que representan suelos afectados permanentemente por la erosión hídrica o áreas donde la vegetación no logró recuperarse completamente.

### Figura 9

*Análisis NDVI de Piura de Diciembre de 2016*

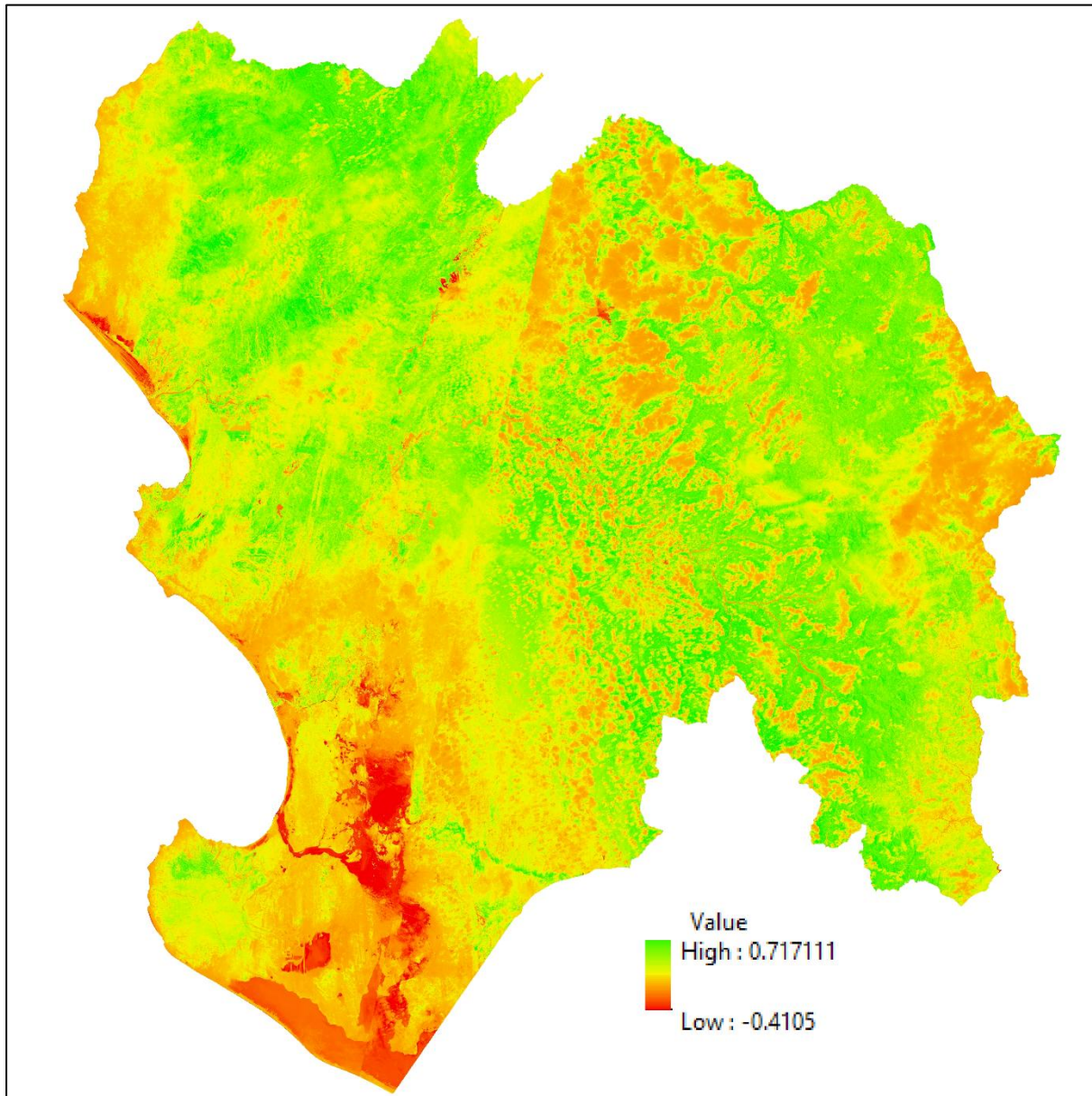


*Nota.* NDVI-2016-Diciembre (Antes del fenómeno El Niño)

En la figura 9, de diciembre del 2016, se observa un predominio de tonos rojizos y anaranjados en muchas áreas de la región, indicando bajos valores de NDVI, lo que sugiere poca cobertura vegetal o suelo desnudo. Donde las áreas verdes están presentes de manera dispersa, principalmente en las zonas montañosas o en áreas cercanas a cuerpos de agua, lo que sugiere que estas áreas tienen una vegetación más estable o no tan afectada por las condiciones secas de la temporada previa a El Niño.

## Figura 10

Análisis NDVI de Piura de Abril de 2017



*Nota.* NDVI-2017-Abril (Después del fenómeno El Niño)

Para abril de 2017, posterior a la manifestación del fenómeno El Niño en febrero y marzo, se observa un aumento notable en las áreas verdes en toda la región, indicando un incremento significativo de la vegetación. Las lluvias intensas del fenómeno El Niño contribuyeron a una recuperación temporal de la cobertura

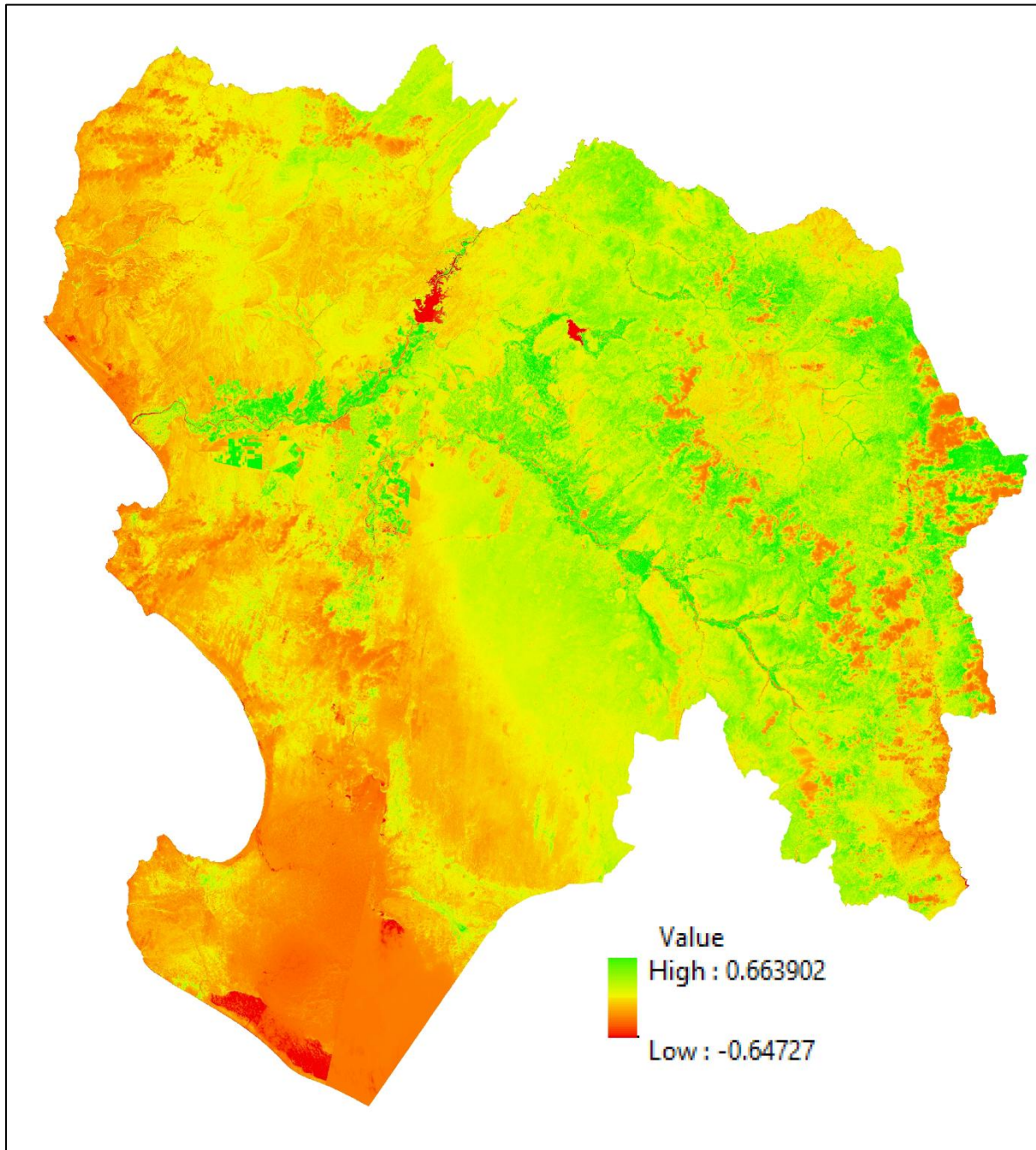
vegetal, especialmente en las zonas que anteriormente presentaban bajos valores de NDVI.

Las áreas que permanecen en rojo o naranja podrían ser zonas donde la erosión hídrica causada por las lluvias fue tan severa que la vegetación no pudo regenerarse adecuadamente. También podrían representar áreas inundadas o con una saturación excesiva de agua que impidió el crecimiento vegetativo.

En resumen, abril de 2017 refleja el impacto positivo de las lluvias en muchas áreas de la región, aumentando la cobertura vegetal temporalmente.

## Figura 11

Análisis NDVI de Piura de Octubre de 2017



*Nota.* NDVI-2017-Octubre (Después del fenómeno El Niño y recuperación)

En octubre de 2017, se observa un retroceso de las áreas verdes en comparación con abril. Las zonas que presentaban una alta actividad vegetativa después de las

lluvias de El Niño muestran ahora un retorno a valores más bajos de NDVI, con la reaparición de tonos rojizos y anaranjados en varias áreas.

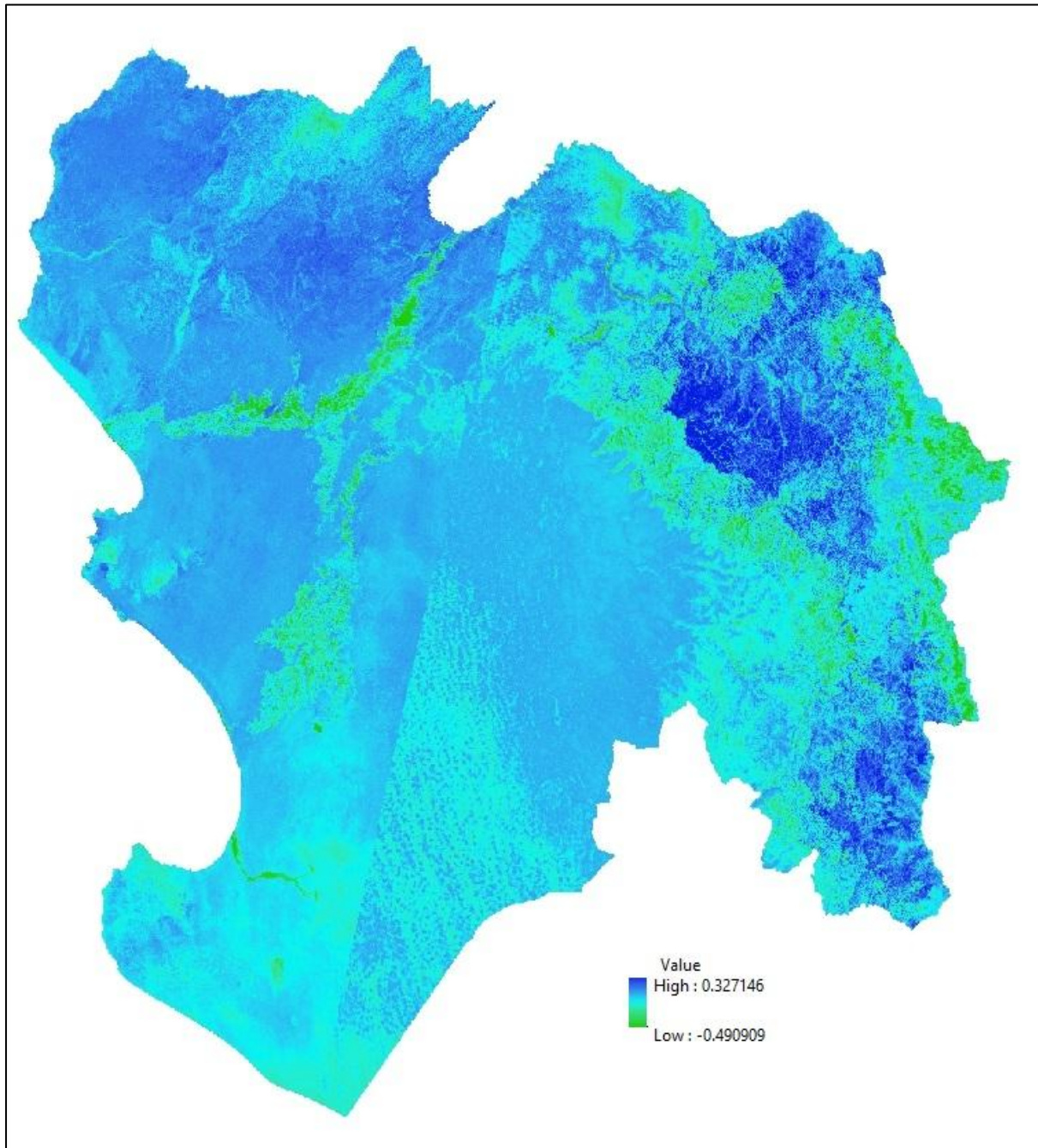
Esto sugiere que la recuperación vegetativa fue temporal y que las condiciones secas típicas de la región volvieron a dominar. Las áreas que permanecen verdes podrían estar en zonas que han retenido más humedad o donde la erosión hídrica no fue tan severa.

Esta imagen muestra cómo, a medida que la humedad disminuyó, la vegetación que había crecido durante el evento de El Niño empieza a disminuir, regresando a las condiciones más áridas típicas de la región.

### 4.3. Análisis de imágenes satelitales de la región Piura para los últimos eventos El Niño, con los índices espectrales BSI

**Figura 12**

*Análisis BSI de Piura de Octubre de 1997*

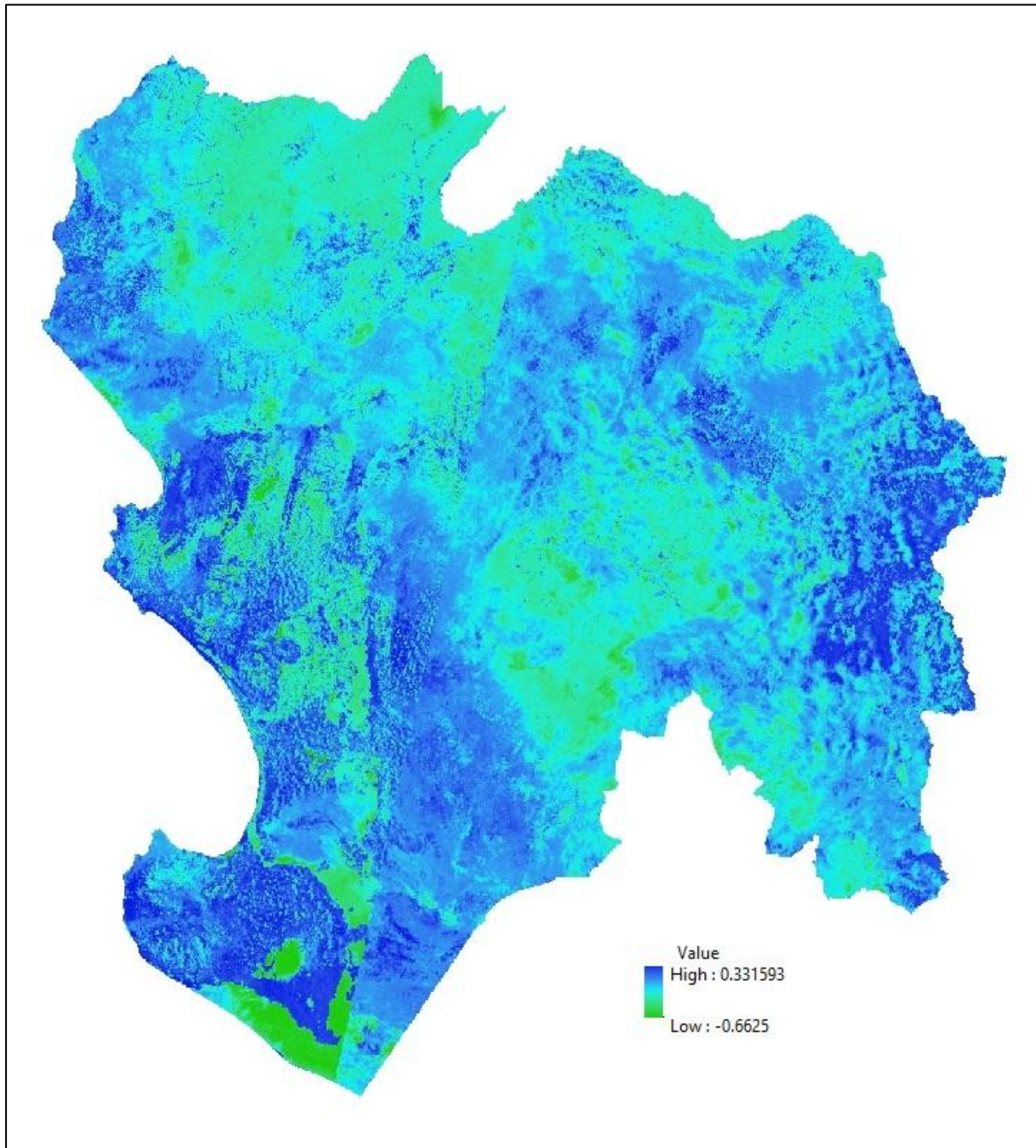


*Nota.* BSI-1997-Octubre (antes del evento El Niño)

En la imagen anterior, se observa un predominio del color azul en esta imagen, sugiriendo que en octubre de 1997 ya había una gran área con suelo desnudo. Esto podría deberse a la estacionalidad seca o a la preparación de terrenos para cultivos, lo cual es común en la región.

### Figura 13

Análisis BSI de Piura de Marzo de 1998



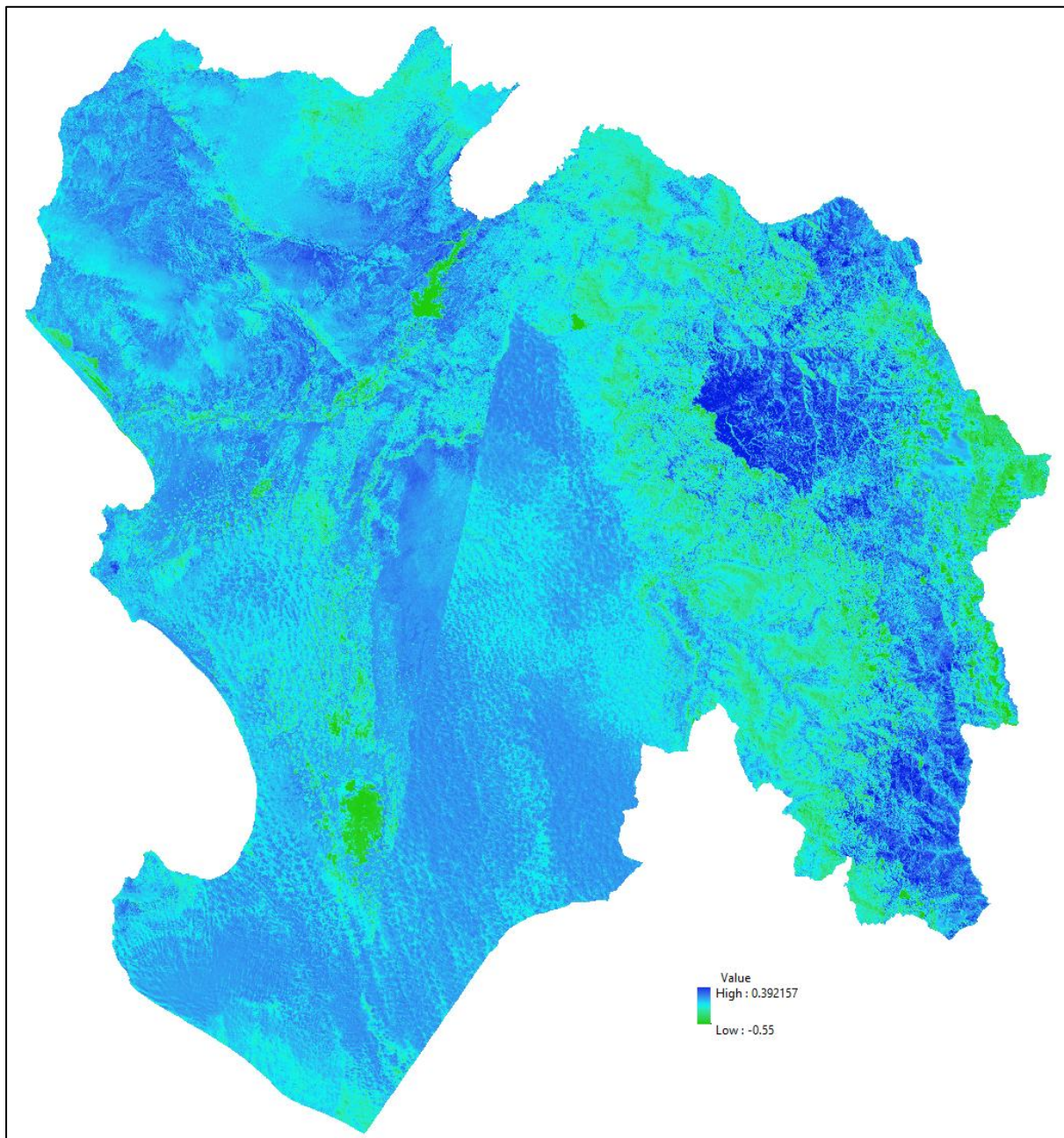
*Nota.* BSI-1998-Marzo (máximo impacto de El Niño)

En la figura 13, se observa áreas azules más extendidas, por lo que esto es un claro indicativo de la erosión hídrica que El Niño ha causado, particularmente debido a la intensidad de las lluvias, lo cual deja al descubierto grandes extensiones de suelo

desnudo. Además, las zonas verdes se reducen un poco, siendo un signo de que la vegetación ha sido barrida o destruida por la erosión hídrica y las inundaciones.

### Figura 14

*Análisis BSI de Piura de Agosto de 1998*

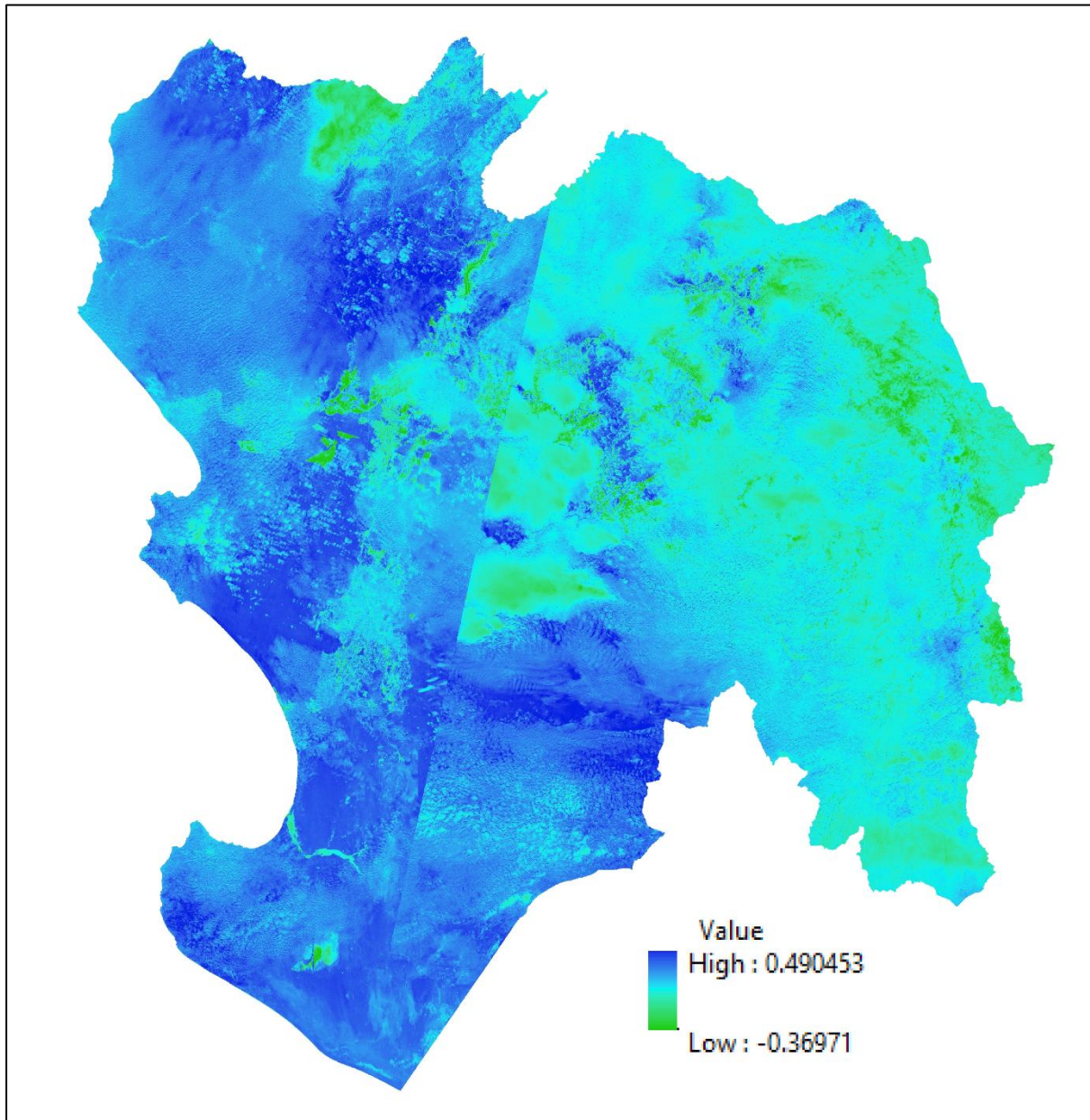


*Nota.* BSI-1998-Agosto (después del fenómeno El Niño)

En la figura 14, se observa un incremento de zonas verdes, esto puede indicar una recuperación de la vegetación después de las lluvias, ya que las áreas con vegetación pueden recuperarse rápidamente una vez que las condiciones climáticas se estabilizan. Además, aún existen zonas con azul dominante, dichas áreas son debido a que se restablece sus valores áridos comunes para la región, donde la vegetación no ha podido recuperarse y el suelo desnudo persiste debido a la erosión. Además la erosión hídrica más intensa como se observa corresponde a sierra de la región Piura, coincidiendo esta con las zonas con mayor pendiente.

## Figura 15

Análisis BSI de Piura de Diciembre de 2016



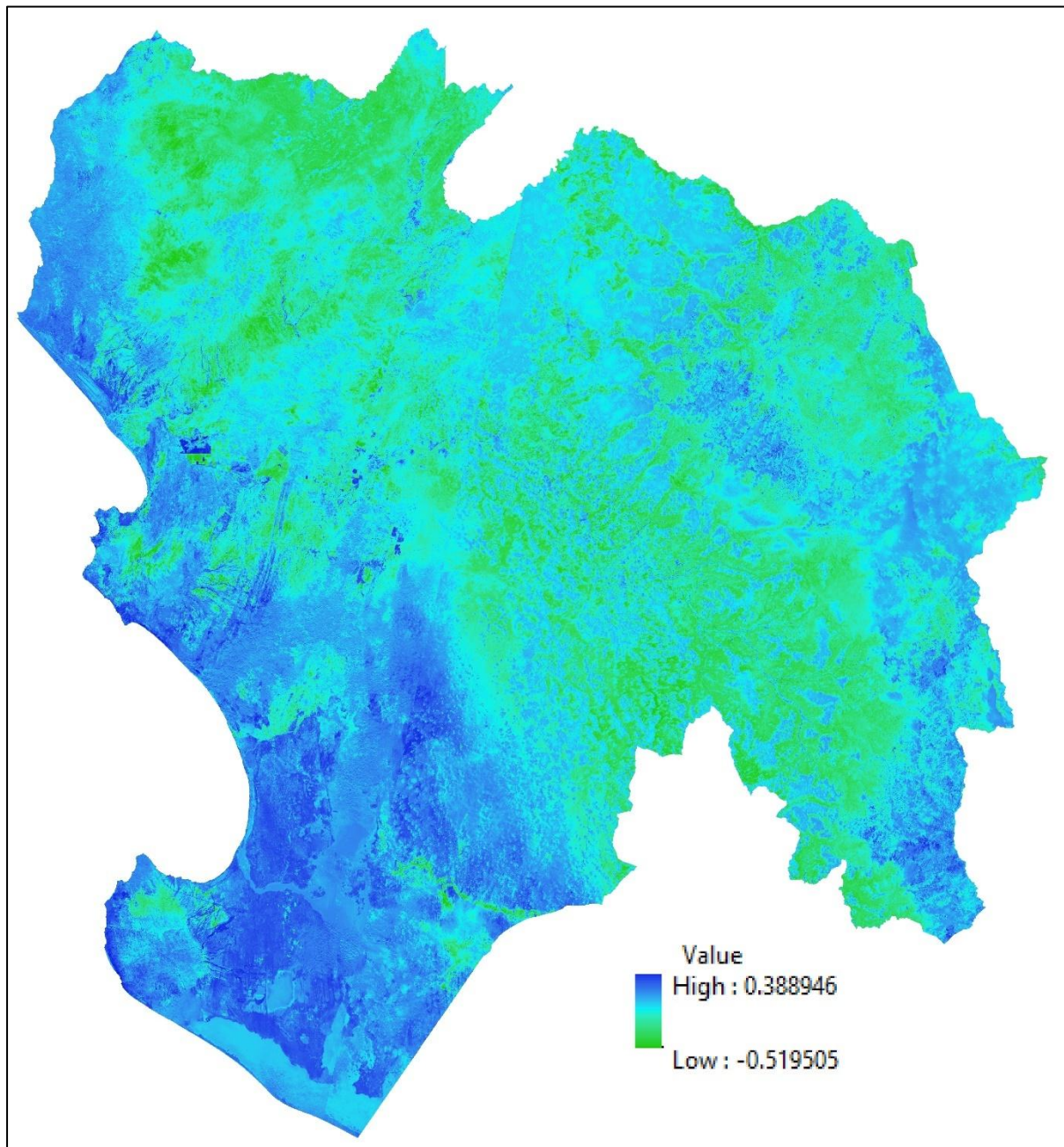
*Nota.* BSI-2016-Diciembre (Antes del fenómeno El Niño)

En la figura 15, de diciembre del 2016, se observó una predominancia de tonos azules en varias áreas de la región, lo que indica valores por encima de 0. Estos valores positivos reflejan una mayor exposición de suelo desnudo o áreas sin vegetación. Las condiciones de sequía previas al fenómeno El Niño suelen dar lugar

a grandes extensiones de suelo sin cubrir, lo que concuerda con la representación de esta figura. Las zonas verdes, aunque dispersas, muestran áreas con vegetación o cubierta vegetal, posiblemente en zonas cercanas a cuerpos de agua o con mayor retención de humedad, donde la vegetación aún no ha sido completamente afectada por la falta de lluvias.

## Figura 16

Análisis BSI de Piura de Abril de 2017



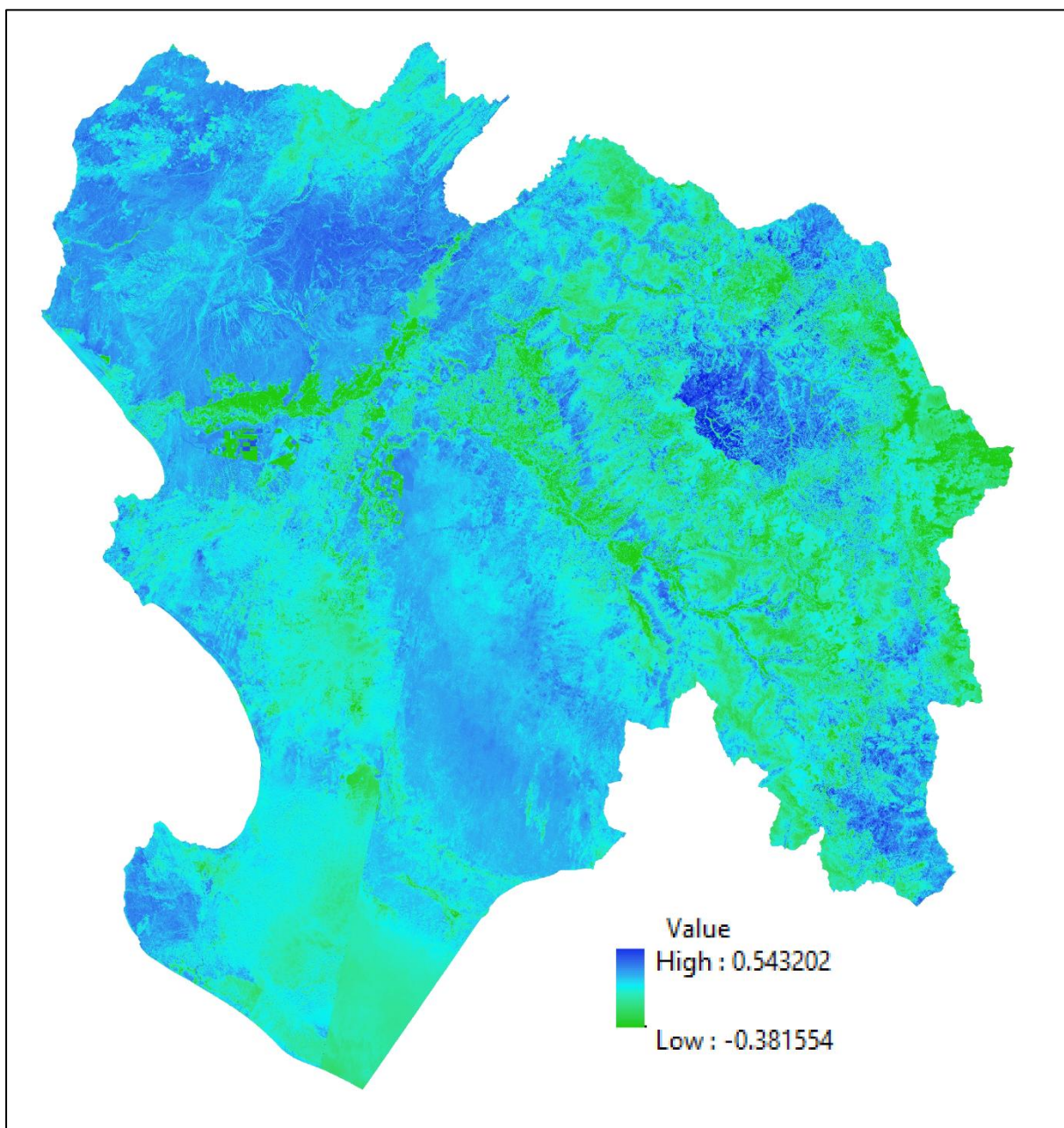
*Nota.* BSI-2017-Abril (Después del fenómeno El Niño)

La figura 16, de abril de 2017, justo después de las lluvias intensas provocadas por El Niño, muestra una disminución significativa de las áreas azules, lo que sugiere que las lluvias promovieron un incremento en la cobertura vegetal, esto redujo la exposición de suelo desnudo en muchas partes de la región, evidenciado por el

aumento de tonos verdes en la imagen. El cambio de azul a verde indica que la vegetación se ha recuperado gracias a la abundante lluvia. Sin embargo, las áreas que permanecen azules podrían haber sufrido erosión hídrica significativa o condiciones extremas (como inundaciones) que inhibieron el crecimiento de vegetación.

**Figura 17**

*Análisis BSI de Piura de Octubre de 2017*



*Nota.* BSI-2017-Octubre (Recuperación posterior)

Para octubre de 2017, se observó un incremento en las áreas azules en comparación con abril, lo que indica que, tras el evento de El Niño, muchas áreas que habían recuperado vegetación ahora muestran signos de retroceso en la cobertura vegetal; esto es típico de las condiciones post-El Niño, donde la humedad se disipa y el suelo vuelve a estar expuesto a la erosión hídrica. Las zonas verdes aún persisten en ciertas áreas, lo que sugiere que la vegetación sigue estable en algunas partes, probablemente debido a una mayor retención de humedad o mejores condiciones locales. Esta imagen muestra cómo las condiciones áridas vuelven gradualmente, exponiendo nuevamente el suelo desnudo en gran parte de la región.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Analizando las diferencias del análisis NDVI, entre los años 1997-1998 y 2016-2017, se pudo observar que el fenómeno de El Niño en 1997-1998 mostró un impacto devastador en la región de Piura, donde las imágenes de NDVI de octubre de 1997 antes del fenómeno, muestran una cobertura vegetal moderada, con algunas áreas en rojo indicando baja vegetación o suelo desnudo. Durante el fenómeno (marzo de 1998), las intensas lluvias aumentaron temporalmente la vegetación en ciertas áreas, observándose zonas verdes en áreas previamente más áridas. Sin embargo, la imagen de agosto de 1998 mostró una pérdida significativa de vegetación en comparación con marzo, lo que indica el deterioro del suelo tras el evento. El fenómeno de El Niño en 2016-2017 fue menos severo en términos de impacto general. En diciembre de 2016, justo antes del evento, la cobertura vegetal ya mostraba un deterioro en algunas áreas, aunque las zonas verdes eran más prominentes. En abril de 2017, se observó una recuperación notable de la vegetación, con amplias zonas verdes debido a las lluvias intensas. Para octubre de 2017, aunque algunas áreas habían vuelto a mostrar suelo desnudo, muchas zonas conservaron una cobertura vegetal considerable.

Continuando con las diferencias del análisis BSI, entre los años 1997-1998 y 2016-2017. En octubre de 1997, el BSI muestra un patrón donde los valores altos (áreas en tonos más oscuros de azul) corresponden a áreas con menor cobertura de vegetación, probablemente suelos expuestos o sin vegetación significativa. Esto es antes de que el fenómeno de El Niño impacte con fuerza en la región, por lo que los suelos están en condiciones relativamente estables, aunque algunas áreas ya muestran ciertos signos de estrés ambiental. En marzo de 1998, cuando el

fenómeno El Niño estaba en su máximo apogeo, los valores del BSI muestran áreas con una mayor exposición de suelo desnudo debido a la erosión hídrica y la pérdida de vegetación a causa de las intensas precipitaciones. El BSI en esta etapa evidencia un claro incremento en las zonas afectadas, mostrando un daño significativo a la vegetación y exposición de suelos en zonas que anteriormente mostraban mayor cobertura. En diciembre del 2016 y abril del 2017, los valores de BSI muestran signos de degradación del suelo en áreas específicas, aunque en menor intensidad en comparación con 1998. Para octubre, las áreas con valores bajos del índice (menor exposición de suelo desnudo) empiezan a recuperarse. Este patrón sugiere que el impacto del fenómeno El Niño fue menos severo en 2017, pero aún afectó zonas importantes, que muestran pérdida de cobertura vegetal y suelos expuestos.

Analizando las imágenes NDVI, del año que causó más daño, se puede ver que los datos revelan que el fenómeno de El Niño en 1997-1998 causó más daño a los suelos en la región de Piura en comparación con 2016-2017. La cantidad de precipitaciones extremadamente altas en 1998 (superior a 1700 mm) provocó erosión hídrica severa y daños permanentes en áreas extensas, como se evidencia en la imagen de agosto de 1998, donde muchas áreas permanecen con suelo expuesto (rojo) incluso después de las lluvias. En 2017, aunque hubo un aumento significativo de lluvias, el impacto fue menos destructivo y las áreas afectadas mostraron signos de recuperación más rápidamente.

Y analizando las imágenes BSI, del año que causó más daño, se puede decir que el fenómeno de 1998 fue el que causó más daño, lo cual se refleja en los mapas BSI

donde hay una mayor exposición de suelo desnudo, evidenciada por los valores altos de BSI. Las precipitaciones intensas que ocurrieron durante ese año, como se observa en los datos de precipitación, provocaron una mayor erosión hídrica y pérdida de cobertura vegetal, dejando más áreas expuestas.

Posteriormente comparando el tiempo de recuperación de los suelos de las imágenes NDVI, Tras el fenómeno de El Niño en 1998, las imágenes de agosto muestran un deterioro significativo, con muchas áreas que no recuperaron su vegetación rápidamente. Lo que significa que el proceso de recuperación de los suelos fue más lento y complicado debido a la intensidad de las lluvias y el nivel de erosión hídrica. En cambio, las imágenes de octubre de 2017 mostraron una recuperación más rápida en muchas áreas que experimentaron lluvias intensas. Aunque algunas zonas aún permanecían afectadas, en general se ve una mejora notable en la cobertura vegetal, lo que indica que los suelos pudieron regenerarse de manera más eficiente que en 1998.

Y comparando el tiempo de recuperación de los suelos de las imágenes BSI, en 1998 se mostró la mayor degradación del suelo en marzo y para agosto, aunque hay algunos signos de recuperación, muchas áreas aún permanecen afectadas. Por otro lado, en 2017 se muestra signos de afectación significativa en enero y abril, pero para octubre ya se nota una recuperación más rápida en comparación con 1998. Por lo que, aunque el impacto en 2017 fue fuerte, la región pudo recuperarse de manera más efectiva, probablemente debido a un fenómeno de menor intensidad en comparación con 1998.

## CONCLUSIONES

Se concluye que los eventos de El Niño en la región de Piura han causado fluctuaciones dramáticas tanto en la cantidad de lluvias como en la temperatura, con 1998 siendo uno de los episodios más devastadores en comparación con 2017, que, aunque severo, fue menos catastrófico. Ambos eventos, sin embargo, dejaron una huella significativa en los ecosistemas y las actividades humanas en la región.

El análisis multitemporal de NDVI revela que el fenómeno El Niño de 1998 tuvo un impacto significativo en la cobertura vegetal de la región de Piura. Antes de El Niño (octubre de 1997), había predominio de suelo desnudo o con vegetación escasa, mientras que durante el fenómeno (marzo de 1998), las lluvias intensas promovieron una recuperación temporal de la vegetación, aunque en algunas áreas hubo erosión hídrica o inundaciones que impidieron el crecimiento. Finalmente, para agosto de 1998, la vegetación había logrado recuperarse considerablemente, con una mayor cobertura vegetal en comparación con el periodo anterior al evento climático.

El análisis multitemporal de las imágenes NDVI de diciembre de 2016 y abril a octubre de 2017 muestra claramente el impacto del fenómeno El Niño en la cobertura vegetal de la región. En diciembre de 2016, antes de las lluvias, había baja actividad vegetativa en gran parte de la región. En abril de 2017, las lluvias intensas provocaron un aumento significativo de la vegetación, con amplias áreas que se volvieron verdes. Para octubre de 2017, la vegetación que había crecido gracias a las lluvias comenzó a retroceder, y muchas áreas volvieron a los valores bajos de NDVI típicos de condiciones secas o erosionadas. Este análisis reveló

cómo El Niño puede causar fluctuaciones significativas en la vegetación de la región a lo largo del tiempo, con un crecimiento temporal seguido por un regreso a condiciones más áridas.

Es así que el fenómeno de El Niño de 1997-1998 causó un mayor daño en la región de Piura debido a las precipitaciones extremas y la erosión hídrica resultante, afectando severamente la capacidad de recuperación de los suelos, en comparación, el evento de 2016-2017 fue menos destructivo y permitió una recuperación más rápida de la vegetación. Las imágenes de NDVI confirman que, aunque ambos eventos afectaron la cobertura vegetal, la magnitud y la duración del impacto fueron mayores en 1998.

Concluyendo del análisis de los valores de BSI a lo largo del tiempo te permitió evaluar cómo el fenómeno El Niño impactó las áreas de suelo desnudo y vegetación. En los meses más cercanos a las lluvias (enero-marzo), es probable que se vea un aumento en la exposición del suelo desnudo (azul), mientras que meses posteriores (como agosto de 1998) podrían mostrar signos de recuperación en forma de áreas verdes si la vegetación logra regenerarse. Además, el análisis de las imágenes BSI a lo desde finales del 2016 y parte del 2017 reveló cómo el fenómeno El Niño tuvo un impacto significativo en la exposición del suelo. En diciembre 2016, antes del evento, había un alto nivel de suelo desnudo debido a la falta de lluvias, reflejado en los tonos azules. En abril 2017, las lluvias de El Niño provocaron un aumento en la vegetación, lo que redujo la cantidad de suelo expuesto, como se observa en el predominio de tonos verdes. Para octubre 2017, muchas áreas que habían recuperado vegetación tras el evento muestran nuevamente signos de deterioro en la cobertura vegetal, lo que sugiere una vuelta a condiciones secas y más exposición del suelo en amplias zonas. Este análisis

multitemporal del BSI permitió identificar claramente cómo las lluvias intensas de El Niño redujeron temporalmente la exposición del suelo, pero las condiciones áridas típicas de la región eventualmente regresaron, causando nuevamente la exposición del suelo.

El análisis NDVI y BSI permite obtener información detallada sobre la cobertura vegetal y las áreas de suelo desnudo. En los años más críticos, como 1998, las imágenes mostraron erosión hídrica severa, mientras que en el 2017, aunque hubo un impacto significativo, la recuperación fue más rápida.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda al Ministerio del ambiente (MINAM), fortalecer y promover el uso de tecnologías de teledetección y análisis satelital, como NDVI y BSI, para la planificación territorial y el monitoreo de la erosión hídrica del suelo antes, durante, y después de eventos extremos como El Niño. Estas herramientas pueden ser utilizadas para identificar áreas vulnerables y tomar decisiones informadas sobre las acciones preventivas y de recuperación.

Se recomienda también al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Integrar los índices NDVI y BSI en los modelos predictivos y en los informes periódicos de riesgo de eventos de El Niño y otros eventos climatológicos.

Se recomienda al Gobiernos Regionales y Locales (Gobierno Regional de Piura), desarrollar políticas de gestión de riesgos y programas de recuperación de suelos post-El Niño, basadas en los datos obtenidos del análisis multitemporal de NDVI y BSI, donde se incluyan estrategias de revegetación y control de la erosión hídrica, especialmente en áreas donde la exposición de suelo desnudo ha sido mayor.

Se recomienda al Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), implementar un sistema de monitoreo constante de la erosión hídrica de suelos en regiones propensas a eventos de El Niño utilizando imágenes satelitales Landsat y análisis espectrales como el BSI, por

lo que estos datos deberían formar parte de las evaluaciones de riesgo y planes de acción a largo plazo

Se recomienda al Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), fomentar el uso de tecnologías de teledetección para desarrollar programas de conservación de suelos y protección de tierras agrícolas, especialmente en áreas donde los mapas de BSI han mostrado una erosión hídrica más intensa. Asimismo, promover la implementación de prácticas agrícolas sostenibles para minimizar el impacto de la erosión hídrica durante eventos de lluvias extremas.

## REFERENCIAS

- Butrich Cisneros, M. (2018). *El impacto de el niño costero (2016/2017) en los suelos agrícolas de la parte baja del valle del río Huarmey, Ancash*.  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/12769>
- Cahuas, A. (2021). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN DE LA CUENCA AGUAYTÍA MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES (1995-2020)*.  
[https://www.academia.edu/54128187/AN%C3%81LISIS\\_MULTITEMPORAL\\_DE\\_DEFORESTACION\\_DE\\_LA\\_CUENCA\\_AGUAYTIA\\_MEDIANTE\\_IMAGENES\\_SATELITALES\\_1995\\_2020](https://www.academia.edu/54128187/AN%C3%81LISIS_MULTITEMPORAL_DE_DEFORESTACION_DE_LA_CUENCA_AGUAYTIA_MEDIANTE_IMAGENES_SATELITALES_1995_2020)
- Castro, R. (2016). *ENVI software*. Geospace-Solutions. <https://www.geospace-solutions.com/envi>
- CENEPRED. (2012). *Escenarios de Riesgos ante la Probabilidad de Ocurrencia del Fenomeno El Nino*. <https://aquadocs.org/handle/1834/6812>
- CEUPE. (2022). *QGIS: ¿Qué es y qué ventajas ofrece?* Ceupe.  
<https://www.ceupe.com/blog/qgis.html>
- Courba, S., Youssef, H., Jamal, A., Abdessalam, O., Mohamed, E. A., Larbi, B., Assia, I., Zineb, A., Slimane, S., Lahcen, O., Taha, G., Aziza, L., & Moulay Ahmed, B. D. (2023). Litho-structural and hydrothermal alteration mapping for mineral prospection in the Maider basin of Morocco based on remote sensing and field investigations. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31, 100980. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100980>
- do Prado, W. L., & da Veiga, M. (s. f.). *Tema 2: Erosión y pérdida de fertilidad del Suelo*. FAO. Recuperado 22 de marzo de 2024, de <https://www.fao.org/3/t2351s/T2351S06.htm>

- EOS data analytics. (2022, octubre 19). *Erosión Del Suelo Agrícola: Tipos, Efectos, Cómo Evitarla*. <https://eos.com/es/blog/erosion-del-suelo/>
- Espinosa, J., Haro, R., Moreno Izquierdo, J., Amores, F., & Ayala, O. (2022). *Erosión del Suelo en Ecuador* (pp. 243-323).
- FAO. (2023). *El fenómeno de El Niño en agricultura, ganadería, pesca y acuicultura: Pronósticos y recomendaciones para la acción*. FAO.  
<https://doi.org/10.4060/cc7897es>
- Herrera Chirinos, L. F. (2023). Caracterización de la erosión de suelos causada por la actividad agrícola utilizando imágenes satelitales del fundo Santa María, Arequipa, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/113158>
- IAEA. (2022, octubre 28). *¿Qué es la erosión del suelo? ¿Cómo se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares?* [Text]. Organismo Internacional de Energía Atómica; IAEA. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-erosion-del-suelo>
- Losada, N. (2020). *Google Earth Engine, una herramienta más de descarga de imágenes satelitales—Geoinnova*.  
<https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/erosion-suelo.pdf>
- MINAGRI. (2014). *La erosión del suelo*.  
[http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/erosion\\_suelo.pdf](http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/erosion_suelo.pdf)
- Molina Luna, K. M. (2019). Teledetección multitemporal para la determinación de suelos degradados en el distrito de Palpa 2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91906>

NASA. (2021, noviembre 30). *History | Landsat Science*.

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/history/>

Niño Martínez, Y. M. (2020). *Análisis multitemporal mediante imágenes de sensores remotos para la determinación de los cambios de uso de suelo en el municipio de San Francisco de Sales, Cundinamarca (Colombia) entre los años 90's y 2018*. <https://doi.org/10.35537/10915/111198>

Núñez León, J. L. (2023). *Relación entre el Fenómeno El Niño en Perú y las sequías en Australia*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11250>

RCDMC. (2016). *Guía de prácticas para el manejo de erosión y escorrentía agrícola en laderas*. Resource Conservation District Monterrey Country. [https://www.rcdmonterey.org/pdf/rcdmc\\_hillslope\\_guide\\_en\\_espanol-10-5-16-final.pdf](https://www.rcdmonterey.org/pdf/rcdmc_hillslope_guide_en_espanol-10-5-16-final.pdf)

Rojas Berríos, P. M. R. (2023, septiembre 20). *Fenómeno El Niño causaría más daños en Piura y Puno en el verano del 2024*. infobae. <https://www.infobae.com/peru/2023/09/20/fenomeno-el-nino-causaria-mas-danos-en-piura-y-puno-en-el-verano-del-2024/>

SENAMHI. (2017). *El Niño 2017*.

[https://ideseq.senamhi.gob.pe/portalideseq/ideseq\\_tema\\_evento\\_el\\_nino\\_la\\_nina\\_nino\\_2017.jsp](https://ideseq.senamhi.gob.pe/portalideseq/ideseq_tema_evento_el_nino_la_nina_nino_2017.jsp)

SIGSA. (2023). *¿Qué es ArcGIS?* Sigsa.info. [https://www.sigsa.info/es-](https://www.sigsa.info/es-mx/arcgis/about-arcgis/overview#:~:text=ArcGIS%20proporciona%20herramientas%20para%20el,compartir%20y%20distribuir%20informaci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica)

[mx/arcgis/about-](https://www.sigsa.info/es-mx/arcgis/about-arcgis/overview#:~:text=ArcGIS%20proporciona%20herramientas%20para%20el,compartir%20y%20distribuir%20informaci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica)

[arcgis/overview#:~:text=ArcGIS%20proporciona%20herramientas%20para%20el,compartir%20y%20distribuir%20informaci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica](https://www.sigsa.info/es-mx/arcgis/overview#:~:text=ArcGIS%20proporciona%20herramientas%20para%20el,compartir%20y%20distribuir%20informaci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica)

Torres Requejo, G. A. (2020). *Análisis multitemporal de la erosión del suelo mediante imágenes satelitales y su relación con el fenómeno El Niño, Lambayeque 2019*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9128>

UGSS. (2020). *Landsat 8 | U.S. Geological Survey*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>

Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., López-Morales, F., Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López-Morales, F. (2020). Application of remote sensors for the analysis of vegetation cover and water bodies. *Idesia (Arica)*, 38(4), 99-107. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>