



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



**TESIS**

**“Análisis multitemporal de la erosión del suelo mediante imágenes satelitales y su relación con el fenómeno El Niño, Lambayeque 2019”**

**Para optar el título profesional de:  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**Autor:**

**Bach. Gilmer Alberto Torres Requejo**

**Asesor:**

**M.Sc. Jorge Segundo Cumpa Reyes.**

**Lambayeque -Perú  
2020**



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



**TESIS**

**“Análisis multitemporal de la erosión del suelo mediante imágenes satelitales y su relación con el fenómeno El Niño, Lambayeque 2019”**

**Para optar el título profesional de:  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**Autor:**

**Bach. Gilmer Alberto Torres Requejo**

**Aprobado por:**

**DR. OSCAR SAAVEDRA TAFUR**  
Presidente del jurado

**DR. WILFREDO DÍAZ CÓRDOVA**  
Secretario del Jurado

**M.SC. VICTORIANO CELIS JIMENEZ**  
Vocal del Jurado

**ING. JORGE SEGUNDO CUMPA REYES**  
Patrocinador

**Lambayeque – Perú**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por guiarme y darme fuerzas día tras día para seguir trabajando y luchando para cumplir mis metas, por su protección y su bendición a lo largo de mi vida.

A mis padres, porque son mi principal motivación para todo lo que realizo, por el amor que me han dado y siguen demostrando día a día y su apoyo que recibo siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la vida y ser mi guía en todo momento, y por ser en quien confío en todos los momentos de dificultad.

A mis padres, porque son mi principal motor para cumplir mis sueños, por haber puesto su confianza en mí para alcanzar todas mis metas, por sus consejos, valores y principios que me enseñaron.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló para poder estudiar más de cerca el comportamiento del evento climatológico El Niño y como este interactúa a través del tiempo con la erosión de los suelos en la región Lambayeque.

El cual tuvo como objetivo Realizar el análisis multitemporal con imágenes satelitales de la región Lambayeque para hallar la relación entre la erosión del suelo y el Fenómeno El Niño. Para ello se utilizó la metodología de procesamiento de imágenes satelitales y así se evaluó la variación del suelo y vegetación a través del tiempo, mediante el uso de software y composición de bandas espectrales donde se visualizó el índice de cada variable estudiada.

Se tuvo como resultados que El Niño, genera una variación favorable para los índices de IVDN y IBS, que mostraron una recuperación de la cobertura vegetal y de composición mineralógica de los suelos, los que se van degradando con forme pasa el tiempo, hasta la llegada de otro Niño.

Se concluye que El Niño es un evento climatológico que ocurre de manera cíclica, y favorece a la recuperación y mantenimiento del ecosistema y medio ambiente. Por lo que se recomienda enfocar los proyectos de desarrollo a prevenir e ir de la mano con este evento.

**Palabras claves:** Fenómeno El Niño, IVDN, IBS, Erosión del suelo.

## **ABSTRACT**

This research was developed to study the behavior of the El Niño weather event closely, and how it interacts over the time with soil erosion in the Lambayeque region.

The research was aimed at conducting the multitemporal analysis with satellite images of the Lambayeque region to find the relationship between soil erosion and the El Niño phenomenon. For this, the satellite image processing methodology was used and thus the variation of the soil and vegetation was evaluated over time, through the use of software and composition of spectral bands where the index of each variable studied was visualized.

The results were that El Niño, generates a favorable variation for the NDVI and BSI indices, which showed a recovery of the vegetation cover and the mineralogical composition of the soils, which are degraded as time passes, until the arrival from another child.

It is concluded that El Niño is a weather event that occurs cyclically, and favors the recovery and maintenance of the ecosystem and environment. So it is recommended to focus development projects to prevent and go hand in hand with this event.

**Keywords:** El Niño Southern oscillation, NDVI, BSI, Soil erosion.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
INTRODUCCION .....	12
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION .....	13
1.1    Planteamiento del problema .....	13
1.1.1.    Formulación del problema.....	14
1.2.    Objetivos .....	15
1.2.1.    Objetivo General.....	15
1.2.2.    Objetivos Específicos .....	15
1.3.    Justificación .....	15
1.4.    Limitaciones de la investigación.....	16
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	16
2.1.    Antecedentes del estudio.....	16
2.2.    Bases teóricas .....	20
2.2.1.    Erosión del suelo .....	20
2.2.2.    Fenómeno El Niño (FEN) .....	21
2.2.3.    Análisis multitemporal.....	22
2.2.4.    Imágenes satelitales .....	22
2.2.5.    Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) .....	24
2.2.6.    Bare Soil Index (BSI) .....	25
2.2.7.    Sistema de información Geográfica (SIG) .....	25
2.3.    Definición de términos .....	26
2.4.    Variables .....	26
2.4.1.    Definición conceptual de la variable. ....	26

2.4.2. Definición operacional de la variable. ....	27
2.4.3. Operacionalización de la variable. ....	28
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	29
3.1. Tipo y nivel de investigación .....	29
3.2. Descripción del ámbito de la investigación .....	29
3.3. Población y muestra. ....	29
3.3.1. Población.....	29
3.3.2. Muestra.....	29
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	30
3.4.1. Técnicas para la recolección de datos .....	30
3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos .....	30
3.5. Validez y confiabilidad del instrumento .....	30
3.5.1. Validez del instrumento .....	30
3.5.2. Confiabilidad del instrumento .....	31
3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos.....	31
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	32
CAPITULO V: DISCUSIÓN .....	65
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES .....	67
BIBLIOGRAFIA .....	68
ANEXOS .....	72



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Bandas de frecuencia LandSat 5 .....	23
Tabla 2: Bandas de frecuencia LandSat 8 .....	24
Tabla 3: Operacionalización de las variables .....	28
Tabla 4: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 1996 .....	32
Tabla 5: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 1997 .....	35
Tabla 6: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 1998 .....	38
Tabla 7: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 1999 .....	41
Tabla 8: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2000 .....	44
Tabla 9: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2008 .....	47
Tabla 10: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2016 .....	50
Tabla 11: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2017 .....	53
Tabla 12: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2018 .....	58
Tabla 13: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2019 .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de NDVI de Lambayeque 1996 .....	32
Figura 2: Mapa de BSI de Lambayeque 1996 .....	33
Figura 3: Mapa en RGB de Lambayeque 1996 .....	34
Figura 4: Mapa de NDVI de Lambayeque 1997 .....	35
Figura 5: Mapa de BSI de Lambayeque 1997 .....	36
Figura 6: Mapa en RGB de Lambayeque 1997 .....	37
Figura 7: Mapa de NDVI de Lambayeque 1998 .....	38
Figura 8: Mapa de BSI de Lambayeque 1998 .....	39
Figura 9: Mapa en RGB de Lambayeque 1998 .....	40
Figura 10: Mapa de NDVI de Lambayeque 1999 .....	41
Figura 11: Mapa de BSI de Lambayeque 1999 .....	42
Figura 12: Mapa en RGB de Lambayeque 1999 .....	43
Figura 13: Mapa de NDVI de Lambayeque 2000 .....	44
Figura 14: Mapa de BSI de Lambayeque 2000 .....	45

Figura 15: Mapa en RGB de Lambayeque 2000	46
Figura 16: Mapa de NDVI de Lambayeque 2008	48
Figura 17: Mapa de BSI de Lambayeque 2008	48
Figura 18: Mapa en RGB de Lambayeque 2008	49
Figura 19: Mapa de NDVI de Lambayeque 2016	51
Figura 20: Mapa de BSI de Lambayeque 2016	51
Figura 21: Mapa en RGB de Lambayeque 2016	52
Figura 22: Mapa de NDVI de Lambayeque 2017	54
Figura 23: Mapa de BSI de Lambayeque 2017	54
Figura 24: Mapa en RGB de Lambayeque 2017	55
Figura 25: Mapa de NDVI de Lambayeque 2017	56
Figura 26: Mapa de BSI de Lambayeque 2017	56
Figura 27: Mapa en RGB de Lambayeque 2017	57
Figura 28: Mapa de NDVI de Lambayeque 2018	59
Figura 29: Mapa de BSI de Lambayeque 2018	59
Figura 30: Mapa en RGB de Lambayeque 2018	60
Figura 31: Mapa de NDVI de Lambayeque 2019	62
Figura 32: Mapa de BSI de Lambayeque 2019	62
Figura 33: Mapa en RGB de Lambayeque 2019	63

## **INTRODUCCION**

El presente trabajo de investigación realizado, aborda la situación de la erosión de los suelos en la región Lambayeque y su relación con el Fenómeno El Niño a través del tiempo, analizado con imágenes satelitales.

El interés de este trabajo empieza por el pasado Fenómeno El Niño que, según estudios, a causa del cambio climático, ocurrirá con mayor frecuencia en menor cantidad de tiempo. Además, a causa del crecimiento poblacional y la deforestación, se ha erosionado el suelo, dejando menos área para cultivo de alimentos y más población por alimentar.

Es por ello que esta investigación es una de las primeras en la región que busca encontrar el impacto del tan temido Fenómeno El Niño en las ciudades y su impacto en la erosión del suelo para de tal manera poder plantear mejores soluciones a futuro.

## **CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1 Planteamiento del problema**

#### **Internacional**

En Argentina, el único estudio de erosión fue realizado por Prosa en 1988, de acuerdo a ese estudio la principal erosión fue hídrica y que hasta ese entonces era de 25 millones de hectáreas; en las últimas décadas Argentina ha transitado un proceso de agriculturización, favorecido por la macroeconomía y la adopción de nuevas tecnologías, como genética, agroquímicos y siembra directa. Sin embargo, la extensión de tierras agrícolas como por ejemplo la siembra de soja, produjo la reducción de los bosques naturales, incrementado la erosión hídrica del suelo. (Gaitán , y otros, 2017)

El Centro-Norte de la Amazonía Ecuatoriana, es considerado una de las zonas tropicales de gran concentración de biodiversidad a nivel global, dicha zona forma parte de las áreas de amortiguamiento y transición de la Reserva de la Biosfera Sumaco, el cual tiene una extensión de 931,930 ha, esta zona fue reconocido por la UNESCO por el programa El Hombre y la Biosfera en el año 2000, sin embargo en el 2008 un estudio multitemporal reveló que el 8.35% de la zona, fue cubierta por sistemas ganaderos, no obstante para el 2013, estos sistemas alcanzaron el 9.40% de toda la superficie; es por eso que dado al incremento del sistema ganadero, se busca mejorar la calidad del suelo y evitar los procesos erosivos. (Bravo, y otros, 2017)

En Valencia – España, el agua y suelo son los recursos básicos del paisaje de rambla, sin embargo, los procesos de escorrentía y erosión desde 1956 al 2011, evidencian que la escorrentía reacciona a los cambios de uso más rápidamente que la erosión, donde el 36% de la cuenca es estable y el 64% del área presenta cambios que afectan conjuntamente a los procesos de erosión y escorrentía, con sinergias negativas hacia la degradación en un 20% y otras positivas hacia la mejoría en un 6%. (Camarasa-Belmonte, López, & García , 2018)

## **Nacional**

De acuerdo a un estudio realizado por el SENAMHI sobre las tasas de erosión del suelo en el Perú en una cronología de 30 años, se evidenció un grave problema en el país, debido a que afecta y pone en riesgo la seguridad hídrica y seguridad alimentaria, ya que el área más afectada por la erosión es la zona alto andina que provee de recurso hídrico y productos agrícolas a las zonas costeras; siendo las precipitaciones el mayor agente que contribuye al proceso de erosión. (SENAMHI, 2017)

El Fenómeno El Niño entre enero y marzo del 2017, provocaron severos daños a cientos de hectáreas en todo el Perú, lo que erosionó el suelo, lavando los nutrientes a su paso, además la erosión causada, es un daño irreversible, puesto que no vuelve a ser igual por más insumos que se agreguen. (BioVerdePerú, 2017)

Con los últimos Fenómeno El Niño ocurridos en la región Lambayeque, ha producido daños en diferentes aspectos, afectando en gran medida el sector agrícola, con pérdidas de cultivos que representan a su vez pérdidas económicas para la región, para ello se busca cuantificar la erosión del suelo producido por este fenómeno en la región, mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales.

### **1.1. Formulación del problema**

¿Es posible hallar la relación entre la erosión de suelos y el Fenómeno El Niño mediante análisis multitemporal de imágenes satelitales de la región Lambayeque?

### **1.2. Hipótesis**

El análisis multitemporal de imágenes satelitales de la región Lambayeque permite hallar la relación de la erosión de suelos con el Fenómeno el Niño.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

Realizar el análisis multitemporal con imágenes satelitales de la región Lambayeque para hallar la relación entre la erosión del suelo y el Fenómeno El Niño.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar las últimas fechas de fenómeno El Niño en la región Lambayeque.
- Analizar las imágenes satelitales de la región Lambayeque durante los años 1996-2000, 2008, 2016-2019, con los índices espectrales IVDN
- Analizar las imágenes satelitales de la región Lambayeque durante los años 1996-2000, 2008, 2016-2019, con los índices espectrales IBS.
- Analizar la relación entre la erosión del suelo y el Fenómeno el Niño en la región Lambayeque.

### 1.4. Justificación

El presente trabajo de investigación se justifica porque muestra aspectos favorables en el desarrollo de la producción agrícola tales como:

**Agrícola:** el estudio es importante para el desarrollo agrícola ya que permite determinar el efecto que tiene el fenómeno El Niño para la producción agrícola midiendo el efecto en los recursos agua y suelo.

**Técnica:** este estudio muestra una gran importancia en el aspecto técnico, ya que permite usar la tecnología como facilitador en el proceso de la información a nivel regional y se puede tener una visión general del fenómeno El Niño.

**Social:** esta investigación tiene un impacto social ya que permite ver el efecto a nivel regional del fenómeno del niño y poder comprender como actuar y que acciones tomar

en adelante para convivir con el fenómeno El Niño ya que es un evento climatológico cíclico que ocurre en un intervalo de años y seguirá ocurriendo.

**Económica:** el presente estudio permite evaluar los efectos del fenómeno El Niño y recomendar qué medidas tomar para la realización de obras en infraestructura sin que salgan perjudicados ante la llegada del fenómeno El Niño.

### **1.5. Limitaciones de la investigación**

La presente investigación tuvo la limitación al momento de recopilar imágenes satelitales, ya que para la región Lambayeque con menos del 50% de nubosidad, había pocas imágenes, siendo escasas para los años 2000-2015.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del estudio**

#### **Internacional**

Pinos (2015), realizó un estudio de investigación en Cuenca – Ecuador, titulado “Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial Caso cantón Cuenca”, el cual tuvo como objetivo evaluar la cobertura y el uso del suelo del cantón para la construcción de escenarios futuros del 2010 al 2030, para ello se utilizó imágenes satelitales Landsat de 1991 – 2001. El trabajo tuvo como resultado que el desarrollo de la construcción de los modelos del 2010 al 2030, tienen la misma tendencia de la disminución de la cobertura de paramo en 17,000 ha aproximadamente.

Arboit y Maglione (2018), desarrollaron una investigación en Santa Cruz – Argentina, el cual fue “Análisis multitemporal y multiespacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (IVDN) y del índice de vegetación ajustado al suelo (IVAS) en centros urbanos forestados y oasis irrigados, con climas secos”, tuvo como objetivo estudiar el índice (IVDN) y el índice (IVAS) en el área metropolitana de Mendoza, se tomó como muestra imágenes satelitales Landsat

5 del período 1986 – 2011. Los resultados indicaron una pendiente general descendente de los valores medios de IVDN Y IVAS en todos los sitios analizados.

Rosero (2017), realizó un estudio en Ibarra – Ecuador, titulado “Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura”, tuvo como objetivo evidenciar los cambios producidos en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo, se tomó como muestra imágenes satelitales Landsat de los años 1991 – 2017. Se tuvo como resultado que la agricultura ocupó 16.826 hectáreas; la ganadería ocupó una superficie de 2.479 hectáreas; en las zonas pobladas se evidenció 3.719 hectáreas, los cuerpos de agua ocuparon 232 hectáreas, y la cobertura vegetal 11.801 hectáreas, y la tasa de deforestación fue de -0.12% disminuyendo 15 ha/año de la cobertura vegetal.

Amin Beiranvand Pour y Mazlan Hashim (2015), realizaron un trabajo de investigación en el sureste de Irán, en el distrito de minería de cobre Sar Cheshmeh en el cinturón volcánico Urumieh-Dokhtar, estudio titulado "Hydrothermal alteration mapping using Landsat-8 data, Sar Cheshmeh copper mining district, SE Iran", el cual tuvo como objetivo estudiar la aplicación de los datos del Landsat-8 para mapear áreas de alteración hidrotermal y unidades litológicas asociados con la explotación de pórfido de cobre en regiones áridas y semiáridas. Para el proceso de las imágenes Landsat-8 se usaron las proporciones de las bandas espectrales (4/2, 6/7, 5 y 10 en RGB), las cuales permitieron la identificación de las rocas alteradas, unidades litológicas y vegetación a escala regional. Se tuvo como resultado que las bandas infrarrojas térmicas usadas en el estudio, permitieron la identificación de las alteraciones en el suelo y los daños causados por la minería.

## **Nacional**

Gonzales (2018), desarrolló un estudio en Lima – Perú, denominado “Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la provincia de Manu, 2000-2016”, el cual tuvo como objetivo de determinar, cuantificar y visualizar la deforestación y pérdida de cobertura boscosa, se tuvo como



muestra las imágenes satelitales del sensor landsat 5 y landsat 8 de los años 2000 al 2016, y se tuvo como resultado que la elaboración de mapas de deforestación por cada año, muestran la frecuencia de deforestación entre los años establecidos.

Condori (2018), realizó una investigación en Lima – Perú, titulado “Estimación de la pérdida de cobertura boscosa por actividades antrópicas en el distrito Nueva Requena, mediante análisis multitemporal de imágenes satelitales, 2018”, el cual tuvo como objetivo estimar la pérdida de cobertura boscosa por actividades antrópicas en el distrito de Nueva Requena, se tomó como muestra las imágenes satelitales Landsat 5 y 8 del período 2011 – 2017, y después de ser procesados en los programas Erdas Imagine y ArcMap, se tuvo como resultado que en el distrito de Nueva Requena, al cabo de seis años de medición y observación de imágenes satelitales, la pérdida de cobertura boscosa fue a causa de actividades antrópicas, representando 13.04% del área de todo el distrito.

Prado (2017), desarrolló un estudio en Lima – Perú, titulado “Dinámica de cobertura vegetal debido al cambio de uso del suelo, a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales del distrito de Yurimaguas, 2017”, el cual tuvo como objetivo evaluar la dinámica de cobertura vegetal debido al cambio de uso de suelo. Se trabajó con las imágenes satelitales de los años 1900 al 2016, descargadas de la plataforma landsat 5, 7 y 8. El estudio tuvo como resultado que la cobertura vegetal del distrito de Yurimaguas muestran un retroceso en gran magnitud, producido por índole natural o antrópica, principalmente el cambio de uso de suelo natural se produjo por la dinámica de los pastizales y del cuerpo hídrico; y de origen antrópico producido por la expansión urbana y la agricultura intensiva que se desarrolló desde la década del 2000 hasta la actualidad, este último factor de cambio presentó cifras alarmantes de deforestación, siendo la principal causa de pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Yurimaguas.

Montaño (2019), realizó un trabajo de investigación en Puno – Perú, titulado “Análisis dinámico multitemporal del río Piura aplicando teledetección, en el distrito de Piura, provincia de Piura, departamento de Piura”, tuvo como objetivo

identificar mediante teledetección el índice diferencial de agua normalizado mediante la técnica de análisis multitemporal, donde se usó imágenes satelitales del sensor Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM y Sentinel 2, de los años 1997 – 2017. Donde se tuvo como resultado que la teledetección y el análisis multitemporal fueron efectivos para el cálculo del área que legó a cubrir el agua en los márgenes del río Piura, siendo éstas 39.776 ha y 134.054 ha las áreas mínimas y máximas respectivamente.

Mamani y Servan (2017), desarrollaron un estudio en Chachapoyas – Perú, denominado “Evaluación multitemporal de la deforestación en el distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, departamento Amazonas, 2015”, cuyo objetivo fue evaluar los factores que inciden en la deforestación mediante la aplicación de sistemas de información geográfica, se tomó como muestra imágenes satelitales del período 1986 – 2015 de los satélites Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI. Donde se tuvo como resultado que la tasa de deforestación de 110.82 ha/año fue en el período de 1986 a 1996, la cual es la más elevada, y se debió al aumento de área para pastoreo y el crecimiento urbano.

Lozano (2016), desarrolló un trabajo de investigación en Ayacucho – Perú, titulado “Evaluación del impacto de uso de suelos según el índice de vegetación de diferencia normalizada (IDVN), mediante imágenes satelitales en el distrito de Tambillo - Ayacucho, 2000 - 2014”, tuvo como objetivo evaluar el impacto de uso de suelos a partir de imágenes satelitales, para lo cual se usaron 341 imágenes satelitales MODIS de la página de la NASA de los años 2000 – 2014. Se tuvo como resultado que el área de vegetación se divide en: suelo agrícola (IDVN de 0,320 a 0,379), bosques de hoja ancha y perenne (IDVN de 0,380 a 0,439) y prado andino con bosque de hoja perenne (IDVN de 0,440 a 0,500).

Núñez (2018), realizó una investigación en Lambayeque – Perú, titulado “Relación entre el fenómeno El Niño en Perú y las sequías en Australia”, el cual tuvo como objetivo determinar la relación entre el Fenómeno El Niño (FEN) en Perú y las sequías en Australia. Tuvo como resultados que después de cada sequía de manera severa en Australia, llegaba un evento El Niño de manera extraordinaria. Y Concluyó mencionando que la manera correcta de nombrar el

FEN es como Evento Climatológico El Niño, ya que es algo que ocurrirá cada cierto tiempo y no un fenómeno de una sola vez.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Erosión del suelo**

Ellison en 1947 menciona que la erosión del suelo se define como un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo causado por agentes erosivos. (do Prado wildner & da Veiga)

La erosión es el desprendimiento y arrastre (lavado) del suelo de un lugar a otro causado por la lluvia, el viento, o por, malas prácticas que realiza el hombre en sus terrenos agrícolas. Por estas pérdidas disminuye poco o poco la profundidad del suelo y hace que pierda su fertilidad. (MINAGRI, 2014)

La erosión del suelo puede clasificarse de 3 formas: (MINAGRI, 2014)

- Erosión hídrica, cuando el agente causante del arrastre del suelo es el agua.
- Erosión eólica, cuando el agente causante es el viento.
- Erosión antrópica, cuando el efecto del agua o viento es aumentado por las malas prácticas agrícolas como las quemas, labranza excesiva, sobrepastoreo, etc. que son realizadas por el hombre.

#### **Factores de la erosión hídrica del suelo**

De acuerdo al MINAGRI (2014), los factores son:

- Lluvias.
- Características del suelo.
- Pendiente del terreno (derrumbes).
- Vegetación.
- Manejo del suelo.

### **2.2.2. Fenómeno El Niño (FEN)**

Es uno de los ciclos climáticos irregulares que son provocadas por la interacción del océano con la atmósfera. Es un fenómeno propio de la variabilidad climática, que se manifiesta a través de los cambios en las corrientes oceánicas, el flujo del viento y la distribución de precipitaciones y la temperatura. (CONICIT, 1998)

El Fenómeno El Niño surge debido a las interacciones entre la atmósfera y el océano, por las cuales los vientos crean cambios en la temperatura del mar. El Fenómeno El Niño se refiere a las temperaturas del mar excepcionalmente cálidas en el Pacífico tropical las cuales están vinculadas a cambios importantes en la atmósfera a través de las Oscilaciones del Sur (SO – Southern Oscillation), por lo que todo este fenómeno es llamado por la comunidad científica El Niño – Oscilaciones del Sur (ENSO – El Niño Southern Oscillation). (Trenberth, 2017)

#### **Características del Fenómeno el Niño**

De acuerdo al Ministerio de Educación del Perú (2015), las características de este ciclo climático, son:

- Aumento de la temperatura superficial del mar peruano.
- Aumento de la temperatura del aire en la costa.
- Disminución de la presión atmosférica en la costa.
- Vientos débiles.
- Reducción del afloramiento marino.
- Aumento del nivel del mar frente a la costa del Perú.

#### **¿Cómo influye en el clima?**

Si bien influye en una buena parte del sistema climático mundial, los países que más sufren las consecuencias son los que se encuentran en la cuenca del Pacífico, que generalmente se dan entre el periodo de Diciembre – Abril. Entre los efectos más relevantes se encuentran: (CONICIT, 1998)

- Sequías al este de Australia e Indonesia.
- Incremento de precipitaciones en la costa pacífica de América, de forma concreta en Perú y Ecuador.

- Aumento de la incidencia de tormentas tropicales y huracanes en el Pacífico.

### **2.2.3. Análisis multitemporal**

La metodología de análisis multitemporal, consiste en obtener resultados y conclusiones de los cambios físicos-espaciales de una región, a través de la observación de los datos a través del tiempo provenientes de diferentes fechas, haciendo una secuencia, convirtiéndose en un conjunto único de datos. (Gonzales Alarcón, 2018)

### **2.2.4. Imágenes satelitales**

Una imagen satelital es el producto obtenido por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial mediante la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo celeste, esta imagen satelital se transmite posteriormente a las estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis. (TELEDET, 2019)

#### **Imágenes Landsat**

Son datos de una imagen satelital, capturados por un sensor montado en un satélite artificial, después son enviados a una estación terrena en donde se procesan y se convierten en imágenes; los satélites obtienen datos en el menor tiempo posible para dar seguimiento a la evolución de un fenómeno, con el avance tecnológico cada vez tenemos imágenes de mayor resolución, con mayor cantidad de bandas en el espectro electromagnético y mayor disponibilidad para los usuarios, lo que amplía su potencial de aprovechamiento para fines diversos como la investigación. (INEGI, 2019)

## Landsat 5

El Landsat 5 se lanzó desde la Base Vandenberg de la Fuerza Aérea en California el 1 de marzo de 1984 y, al igual que el Landsat 4, llevaba los instrumentos Multispectral Scanner (MSS) y Thematic Mapper (TM). Landsat 5 entregó datos de imágenes de la Tierra durante casi 29 años, y estableció un récord mundial Guinness para el 'Satélite de observación de la Tierra en funcionamiento más largo', antes de ser dado de baja el 5 de junio de 2013. (USGS, 2019)

**Tabla 1:** Bandas de frecuencia LandSat 5

BANDA	LONGITUD DE ONDA	ESPECTRO
1	0.45-0.52 $\mu\text{m}$	luz visible, azul
2	0.52-0.60 $\mu\text{m}$	luz visible, verde
3	0.63-0.69 $\mu\text{m}$	luz visible, roja
4	0.76-0.90 $\mu\text{m}$	infrarrojo cercano
5	1.55-1.75 $\mu\text{m}$	infrarrojo medio
6	10.4-12.5 $\mu\text{m}$	infrarrojo térmico
7	2.08-2.35 $\mu\text{m}$	infrarrojo medio

## Landsat 8

Landsat 8 (conocido por primera vez como la Misión de Continuidad de Datos Landsat) se lanzó el 11 de febrero de 2013 desde la Base Vandenberg de la Fuerza Aérea, California, en un cohete Atlas-V; el satélite lleva el generador de imágenes terrestres operacionales y el sensor infrarrojo térmico. El satélite Landsat 8 órbita alrededor de la Tierra en una órbita sincrónica al sol, casi polar, a una altitud de 705 km (438 millas), inclinada a 98.2 grados, y rodea la Tierra cada 99 minutos, además tiene un ciclo de repetición de 16 días con un tiempo de cruce ecuatorial: 10:00 am +/- 15 minutos. (USGS, 2019)

**Tabla 2:** Bandas de frecuencia LandSat 8

BANDA	LONGITUD DE ONDA	ESPECTRO
1	0.43-0.45 $\mu\text{m}$	aerosol costero
2	0.45-0.51 $\mu\text{m}$	azul
3	0.53-0.59 $\mu\text{m}$	verde
4	0.64-0.67 $\mu\text{m}$	rojo
5	0.85-0.88 $\mu\text{m}$	infrarrojo cercano (NIR)
6	1.57-1.65 $\mu\text{m}$	SWIR 1
7	2.11-2.29 $\mu\text{m}$	SWIR 2
8	0.50-0.68 $\mu\text{m}$	pancromático
9	1.36-1.38 $\mu\text{m}$	cirrus
10	10.60-11.19 $\mu\text{m}$	infrarrojo térmico (TIRS) 1
11	11.50-12.51 $\mu\text{m}$	infrarrojo térmico (TIRS) 2

### 2.2.5. Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (IDVN)

Los incendios forestales son un fenómeno natural o provocado por el hombre que destruye los recursos naturales, el ganado vivo, desequilibra el medio ambiente local, libera una gran cantidad de gases de efecto invernadero, etc. El Índice de Calcinación Normalizado (ICN), aprovecha las bandas espectrales de infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta, que son sensibles a los cambios en la vegetación, para detectar áreas quemadas y monitorear la recuperación del ecosistema. (Geo University, 2008)

- Fórmula del **IVDN = Float(NIR – Red) / Float (NIR + Red)**
- **IVDN (Landsat 8) = Float (B5 – B4) / Float (B5 + B4)**
- **IVDN (Landsat 5) = Float (B4 – B3) / Float (B4 + B3)**

### 2.2.6. Índice de Suelo Desnudo (ISD)

El Índice de Suelo Desnudo (ISD) es un indicador numérico que combina bandas espectrales azules, rojas, infrarrojas cercanas e infrarrojas de onda corta para capturar las variaciones del suelo. Estas bandas espectrales se utilizan de manera normalizada. Las bandas de infrarrojos de onda corta y las bandas espectrales rojas se utilizan para cuantificar la composición mineral del suelo, mientras que las bandas azules y las bandas espectrales de infrarrojos cercanos se utilizan para mejorar la presencia de vegetación. (Geo University, 2008)

- Fórmula del **ISD** =  $((\text{Red} + \text{SWIR}) - (\text{NIR} + \text{Blue}) / (\text{Red} + \text{SWIR}) + (\text{NIR} + \text{Blue})) + 1$
- ISD (Landsta 8) =  $((B6 + B4) - (B5 + B2) / (B6 + B4) + (B5 + B2)) + 1$
- ISD (Landsta 5) =  $((B5 + B3) - (B4 + B1) / (B5 + B3) + (B4 + B1)) + 1$

### 2.2.7. Sistema de información Geográfica (SIG)

Es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión, además el sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma. (Laboratorio Unidad Pacífico Sur CIESAS, 2010)



### **2.3. Definición de términos**

- Escorrentía: corriente de agua que se desborda al rebasar su depósito o cauce natural o artificial, puede ser difusa o concentrada. (Rodríguez Vaquero, 2000)
- Aguas pluviales: las procedentes de precipitaciones en forma de lluvia. (Rodríguez Vaquero, 2000)
- Avenida: crecida irregular e intensa de un curso de agua. (Rodríguez Vaquero, 2000)
- Recarga: la recarga natural es la cantidad de agua que penetra por infiltración en un embalse subterráneo a lo largo de un período de tiempo. Es sinónimo de infiltración eficaz. (Rodríguez Vaquero, 2000)

### **2.4. Variables**

Variable independiente: Análisis multitemporal de las imágenes satelitales de la Región Lambayeque.

Variable dependiente: Relación entre la erosión del suelo y el Fenómeno El Niño.

#### **2.4.1. Definición conceptual de la variable.**

- Análisis multitemporal de imágenes satelitales de la Región Lambayeque: Es el análisis de imágenes satelitales de diferentes años para evaluar la erosión de los suelos con el paso del tiempo.
- Relación entre la erosión del suelo y el fenómeno El Niño: Es la evaluación de la erosión del suelo y el impacto que tiene el fenómeno El Niño.

#### **2.4.2. Definición operacional de la variable.**

- Análisis multitemporal de imágenes satelitales de la región Lambayeque:  
Se analizan multitemporalmente las imágenes satelitales de la región Lambayeque para encontrar la relación entre la erosión de los suelos y el fenómeno El Niño.
- Relación entre la erosión del suelo y el Fenómeno El Niño: Se realiza para verificar el impacto que tiene el fenómeno El Niño en la erosión de los suelos.

### 2.4.3. Operacionalización de la variable.

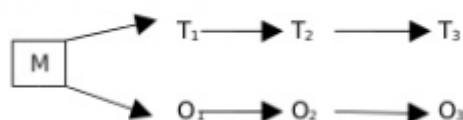
**Tabla 3:** Operacionalización de las variables

<b>Variables</b>	<b>Definición</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnica de recolección de datos</b>
V. independiente: Análisis multitemporal de las imágenes satelitales de la Región Lambayeque.	Es el análisis multitemporal de los cambios físicos-espaciales de las imágenes satelitales de la Región Lambayeque	Análisis multitemporal	Cambios físicos-espaciales en la región	Análisis documental / Observación
		Imágenes satelitales	Imágenes Landsat	
V. dependiente: Relación entre la erosión del suelo y el Fenómeno El Niño.	Es determinar qué tipo de vínculo existe entre El Fenómeno El Niño y la erosión hídrica del suelo en la Región Lambayeque	Erosión del suelo	Erosión hídrica	Análisis documental / Observación
		Fenómeno El Niño	Consecuencias en la Región Lambayeque	

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo descriptivo y nivel longitudinal ya que observa el comportamiento de una variable a través del tiempo.



M: representa la muestra

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

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

### 3.2. Descripción del ámbito de la investigación

La investigación se realizó mediante el procesamiento de imágenes satelitales recopiladas de la agencia científica USGS, y procesadas en el programa de SIG, ArcGis 10.5, el que permitió transformar digitalmente la situación año tras año de la región Lambayeque.

### 3.3. Población y muestra.

#### 3.3.1. Población.

Imágenes satelitales de la Región Lambayeque.

#### 3.3.2. Muestra.

Imágenes satelitales de la Región Lambayeque de los años 1996-2000, 2008, 2016-2019.

### **3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas para la recolección de datos**

**Observación:** Se empleó para la revisión de las imágenes satelitales Landsat de la región Lambayeque durante los años 2000 al 2019.

**Análisis documental:** Se empleó para la revisión de bibliografía relevante para este estudio con relación a la erosión de suelos, y el Fenómeno El Niño.

#### **3.4.2. Instrumentos para la recolección de datos**

**Ficha de observación:** Se empleó para realizar las anotaciones de la información encontrada durante la observación.

**Guía de análisis documental:** Se empleará para mantener un orden durante la revisión de la bibliografía.

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

#### **3.5.1. Validez del instrumento**

El instrumento aplicado fue sometido a evaluación, siguiendo estos criterios:

**Validez de contenido:** Se realizó una ficha de recolección de datos, con información recopilada de revisión bibliográfica.

**Validez de criterio:** Se comparó la validez de las fórmulas aplicadas con otras investigaciones para poder validar la información de los resultados.

### **3.5.2. Confiabilidad del instrumento**

Para determinar la confiabilidad del instrumento se empleó el método de las mitades partidas, que consiste en que el instrumento de medición fue aplicado una sola vez, con lo cual el total de indicadores fue dividido en dos mitades, para luego ser comparados entre sí, de manera que las mismas estén fuertemente relacionadas.

### **3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos**

La recolección y procesamiento de datos se realizó de la siguiente manera:

#### **Recolección de datos**

Imágenes satelitales landsat 4-5: estas imágenes satelitales de los años 1996-2000 y 2008, fueron recopilados de la agencia científica USGS, con el criterio de menos del 50% de nubosidad.

Imágenes satelitales landsat 8: estas imágenes satelitales de los años 2016-2019, fueron recopilados de la agencia científica USGS, con el criterio de menos del 50% de nubosidad.

#### **Procesamiento de datos**

ArcGis 10.5: este programa ayuda en el proceso de información de sistemas de información geográfica (SIG), el cual permitió hallar los índices espectrales, Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (IVDN) e Índice de Suelo Desnudo (ISD), mediante los cálculos matemáticos realizados por el programa con las bandas de frecuencia de cada imagen satelital.

Photoshop: permitió realizar un post proceso de imagen para eliminar los contornos oscuros de las imágenes, dejándolos sin fondo, para una mejor visualización en el presente trabajo.

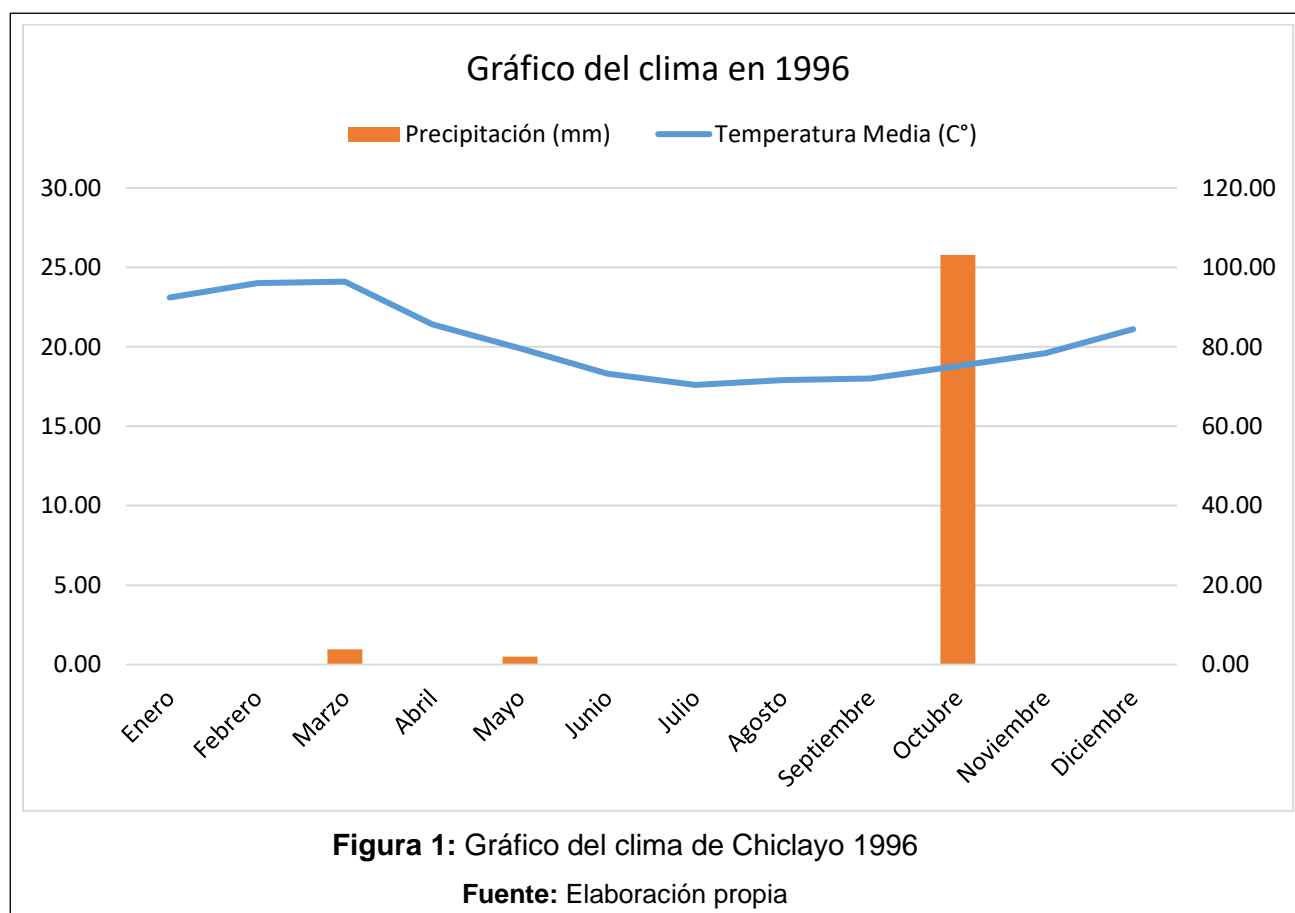
## CAPITULO IV: RESULTADOS

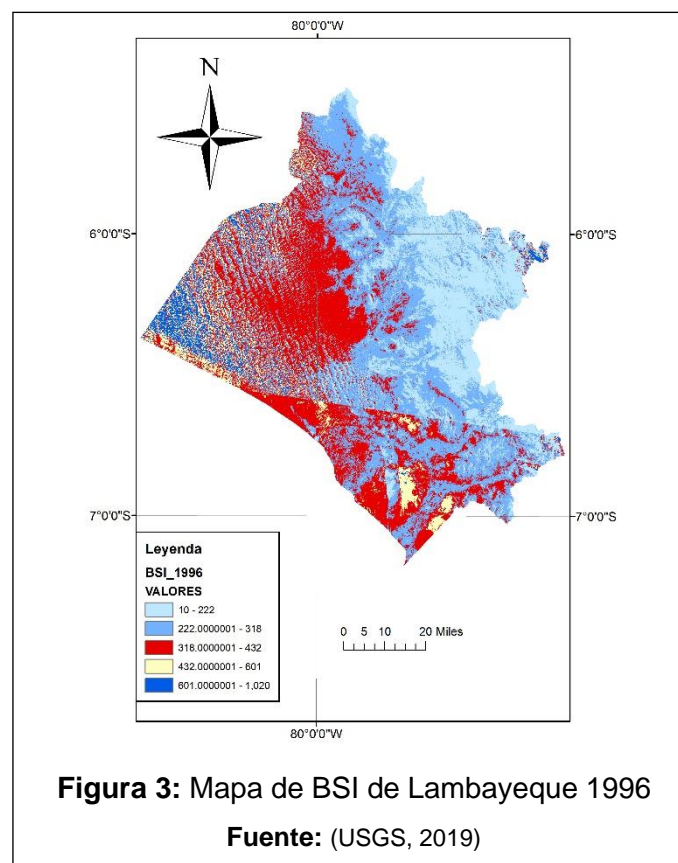
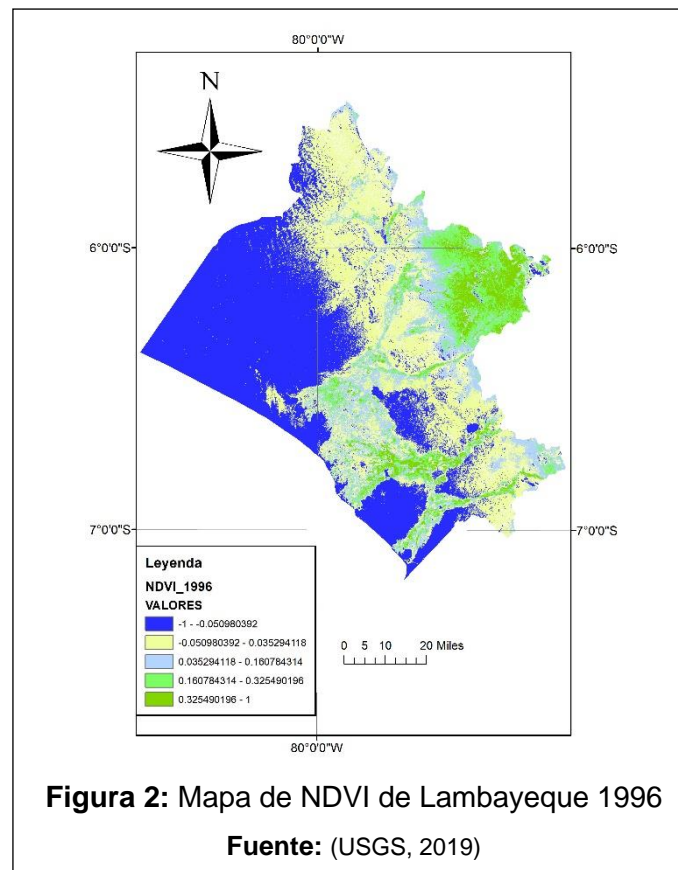
### Imagen Landsat 5 de la región Lambayeque del 08-07-1996

Tabla 4: Datos meteorológicos de Chiclayo del año 1996

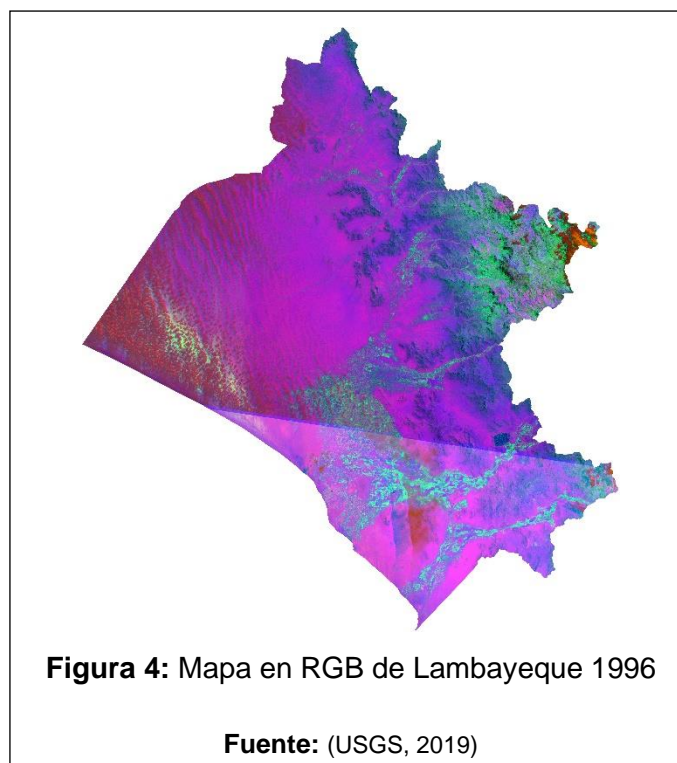
1996	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
Enero	23.10	0.00	12.20
Febrero	24.00	0.00	11.00
Marzo	24.10	3.81	10.50
Abril	21.40	0.00	10.40
Mayo	19.90	2.03	13.30
Junio	18.30	0.00	11.90
Julio	17.60	0.00	10.90
Agosto	17.90	0.00	13.10
Septiembre	18.00	0.00	13.40
Octubre	18.80	103.13	14.00
Noviembre	19.60	0.00	13.20
Diciembre	21.10	0.00	14.60
ANUAL	20.32	108.97	12.38

Fuente: Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**







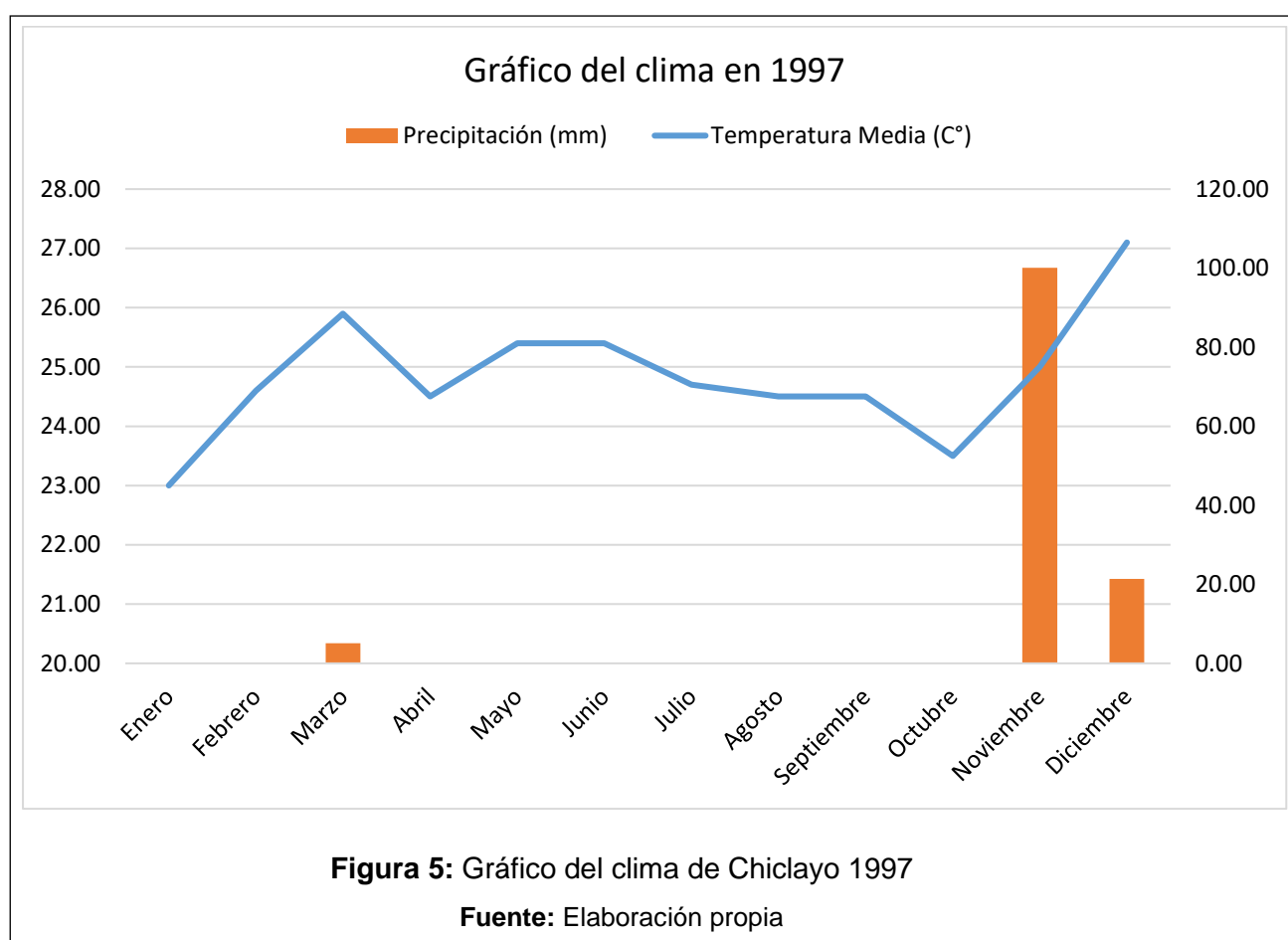


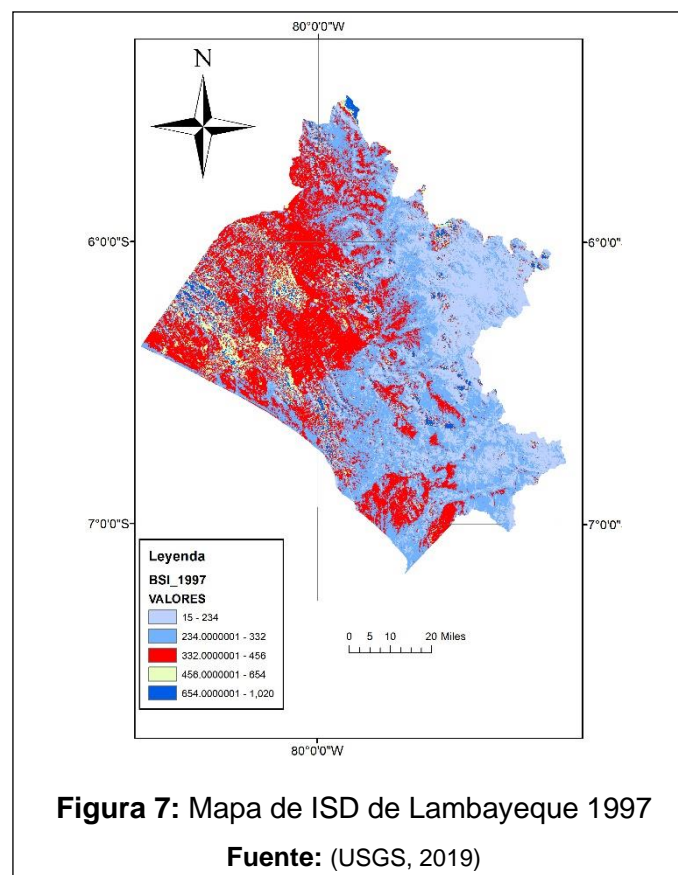
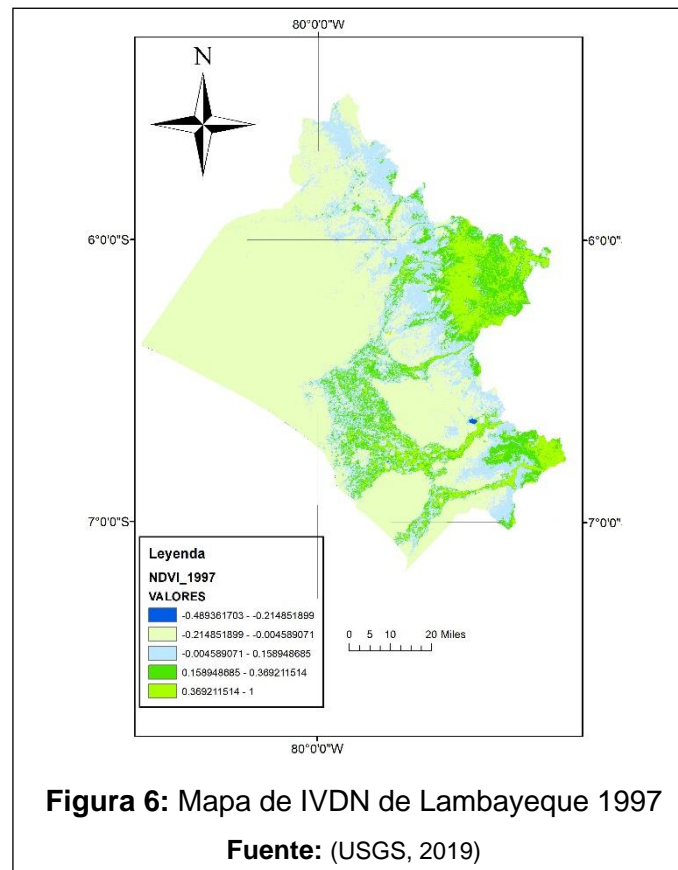
## Imagen Landsat 5 de la región Lambayeque del 09-06-1997

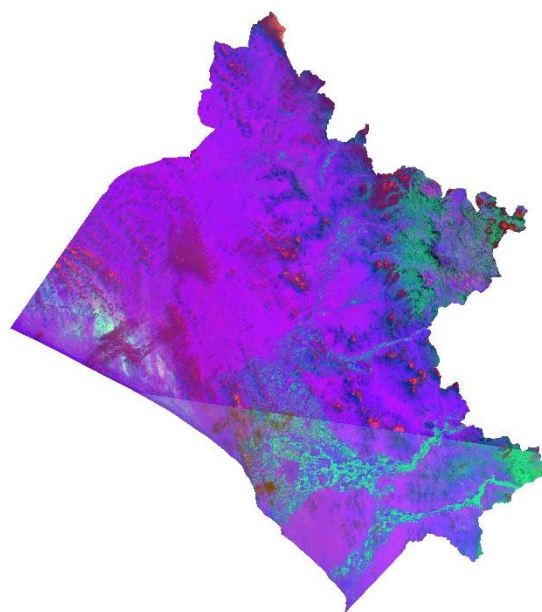
**Tabla 5:** Datos meteorológicos de Chiclayo del año 1997

1997	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
Enero	23.00	0.00	11.10
Febrero	24.60	0.00	12.10
Marzo	25.90	5.08	11.10
Abril	24.50	0.00	12.00
Mayo	25.40	0.00	13.10
Junio	25.40	0.00	10.10
Julio	24.70	0.00	7.30
Agosto	24.50	0.00	9.80
Septiembre	24.50	0.00	13.10
Octubre	23.50	0.00	16.20
Noviembre	25.00	100.08	13.80
Diciembre	27.10	21.34	12.40
ANUAL	24.84	126.50	11.84

**Fuente:** Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**







**Figura 8:** Mapa en RGB de Lambayeque 1997

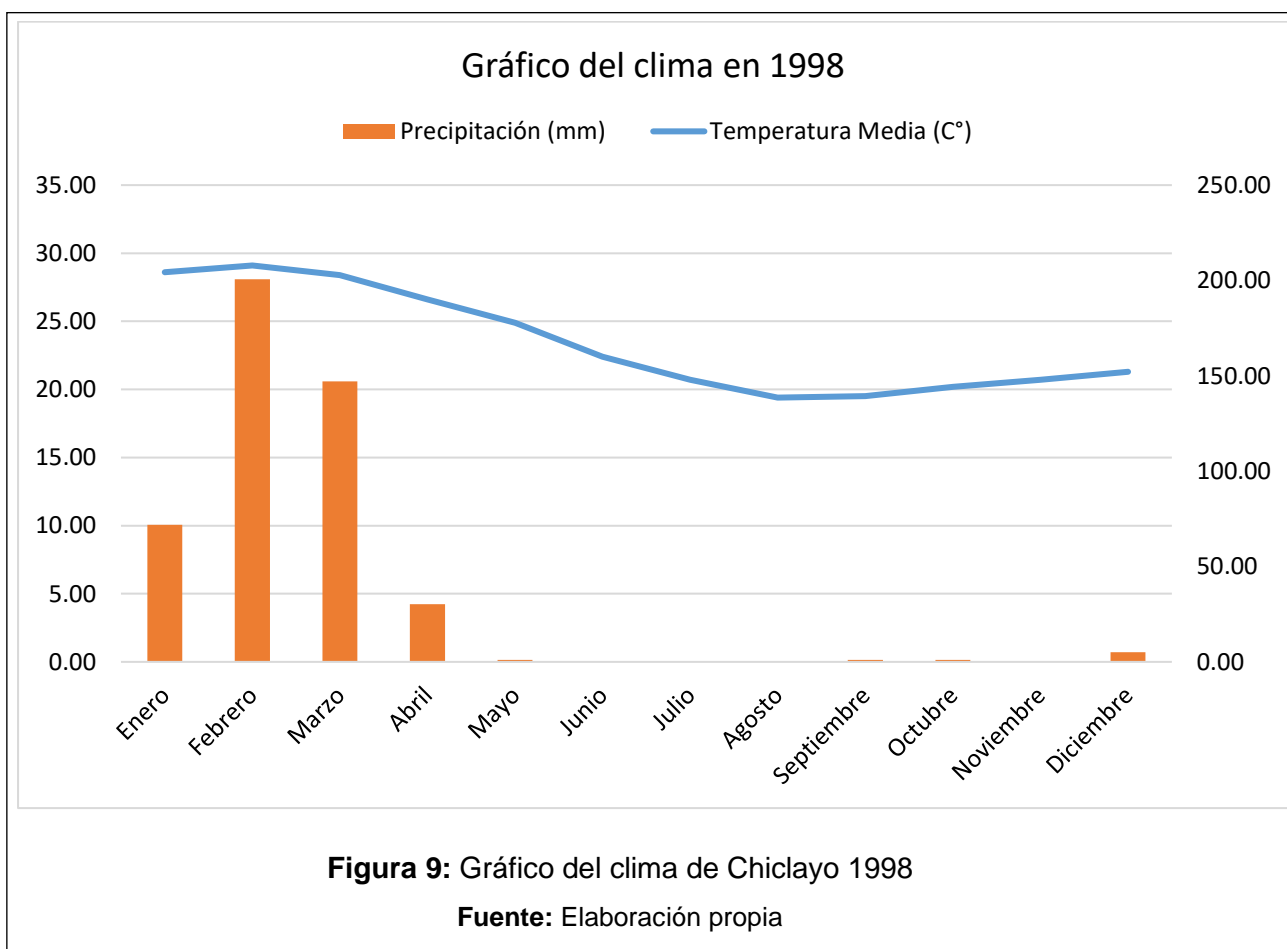
**Fuente:** (USGS, 2019)

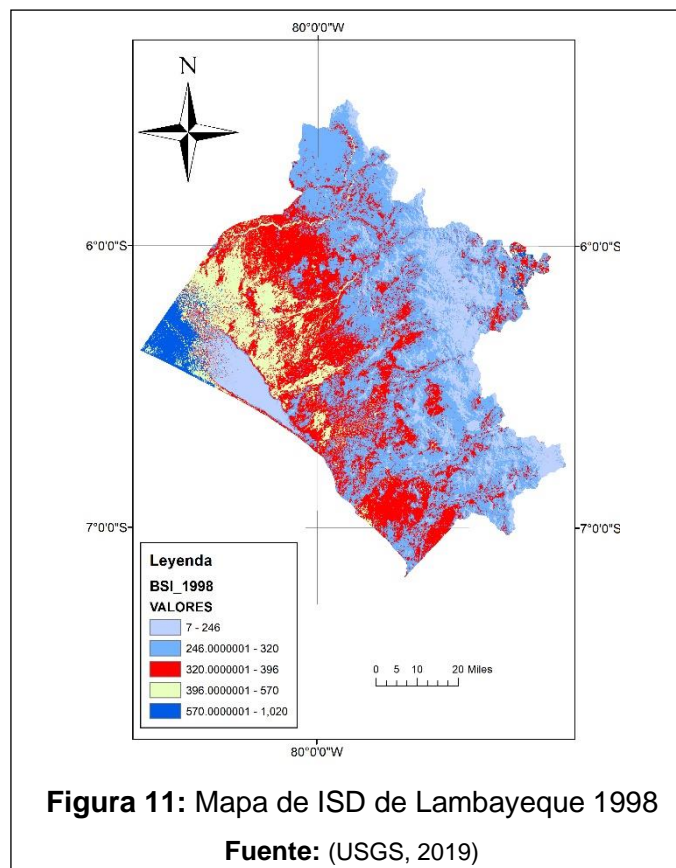
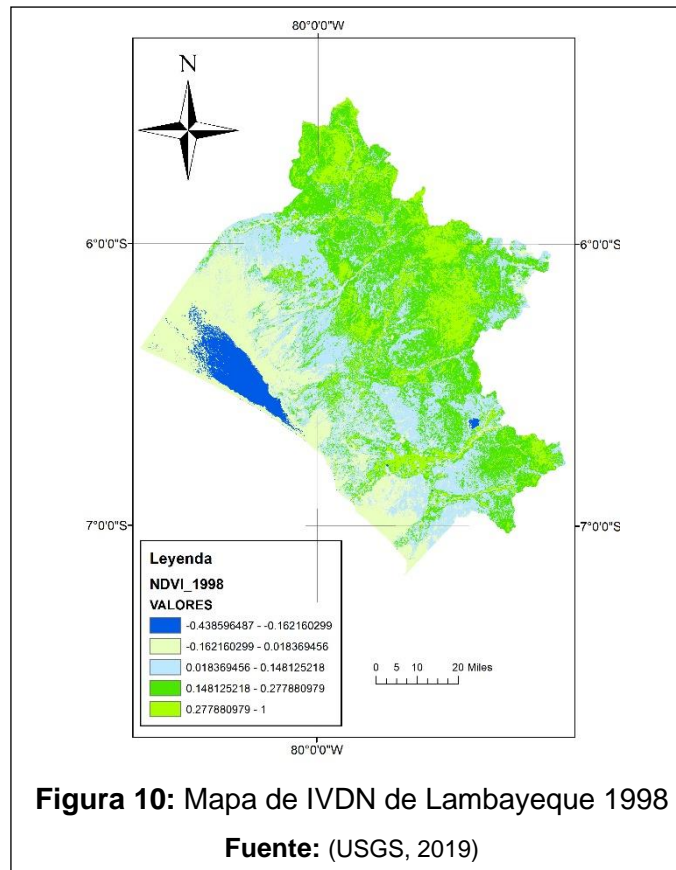
## Imagen Landsat 5 de la región Lambayeque del 31-08-1998

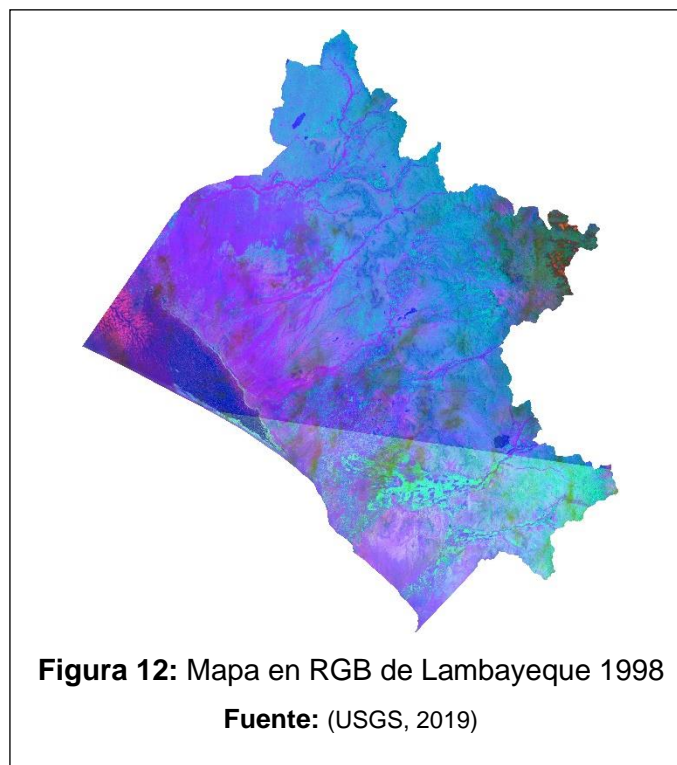
**Tabla 6:** Datos meteorológicos de Chiclayo del año 1998

1998	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
Enero	28.60	71.88	9.40
Febrero	29.10	200.66	6.40
Marzo	28.40	147.04	6.10
Abril	26.60	30.23	9.60
Mayo	24.90	1.02	10.60
Junio	22.40	0.00	14.00
Julio	20.70	0.00	13.50
Agosto	19.40	0.00	14.80
Septiembre	19.50	1.02	13.50
Octubre	20.20	1.02	12.80
Noviembre	20.70	0.00	14.90
Diciembre	21.30	5.08	18.10
<b>ANUAL</b>	<b>23.48</b>	<b>457.95</b>	<b>11.98</b>

**Fuente:** Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**





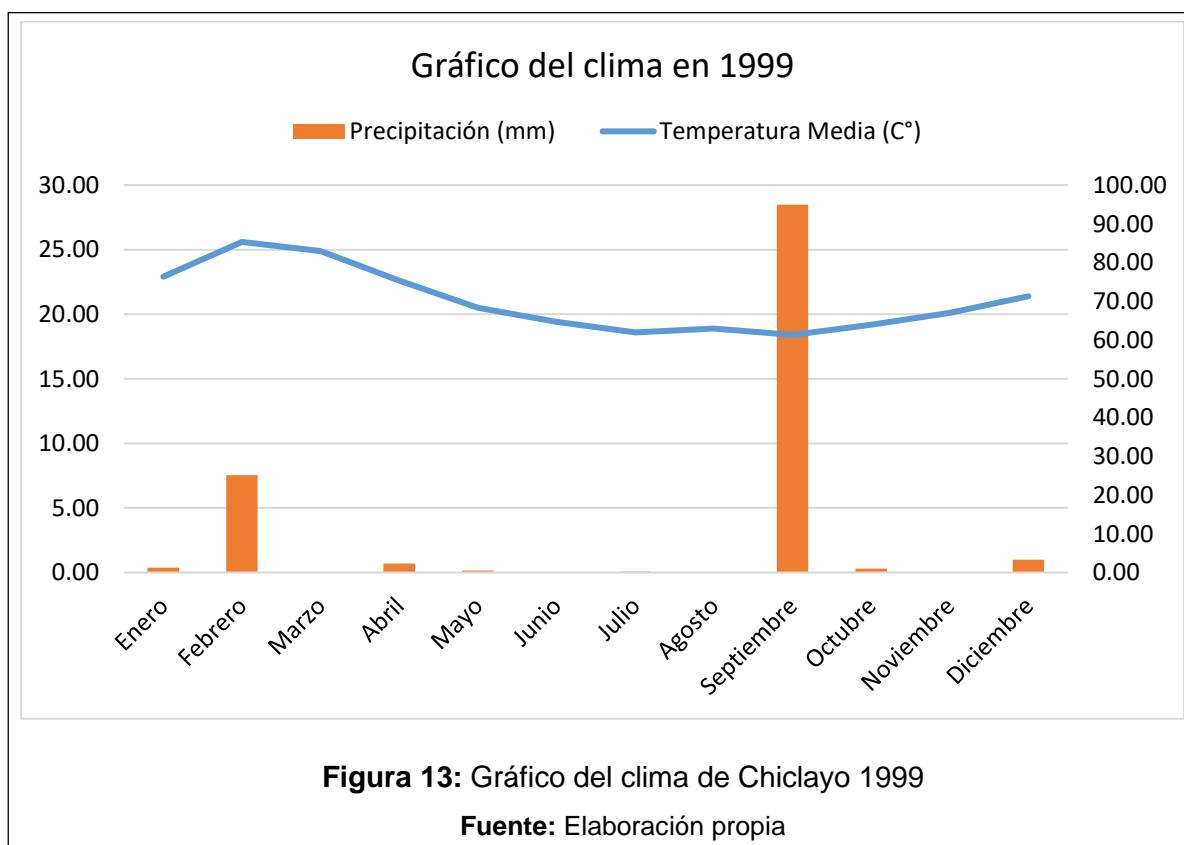


## Imagen Landsat 5 de la región Lambayeque del 06-01-1999

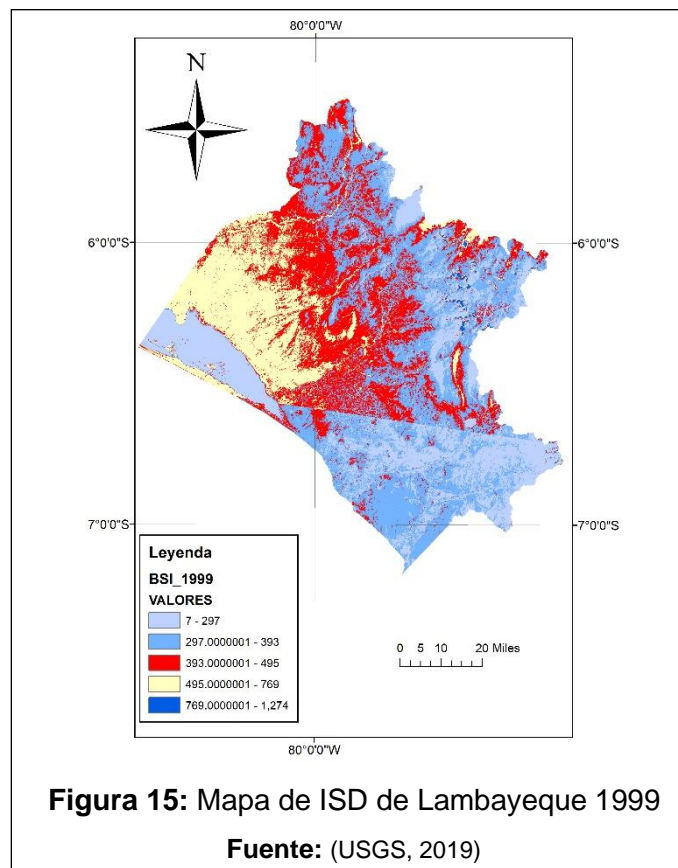
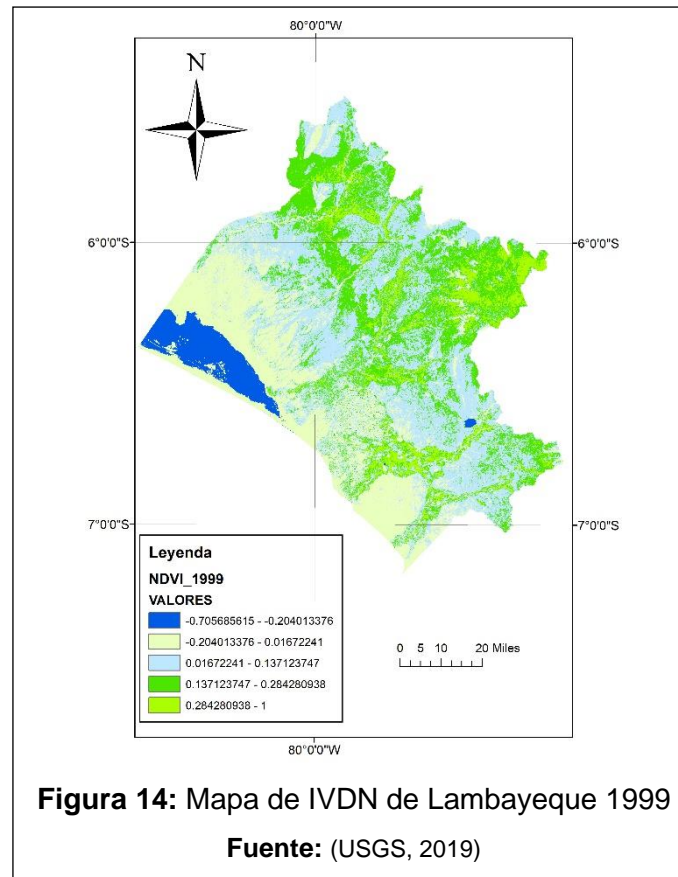
**Tabla 7:** Datos meteorológicos de Chiclayo del año 1999

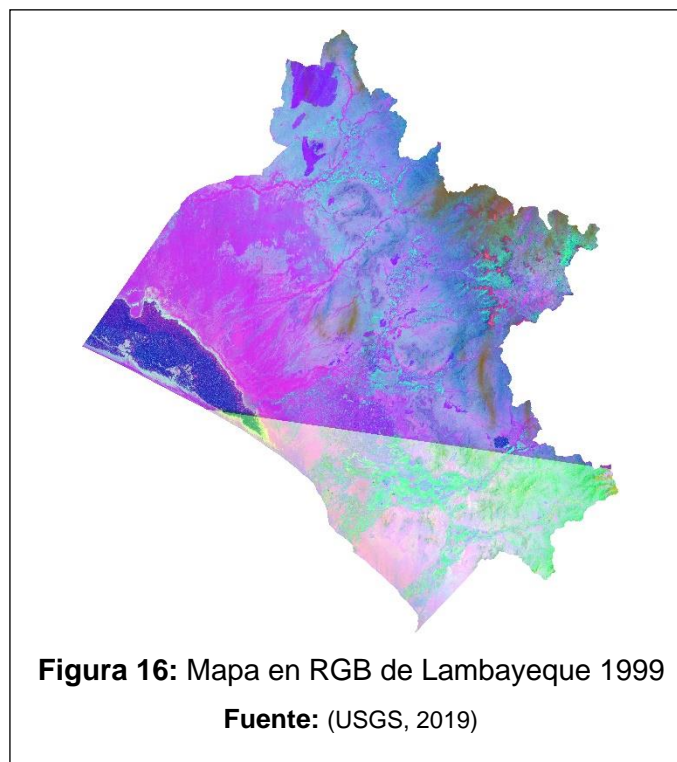
1999	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
<b>Enero</b>	22.90	1.26	19.30
<b>Febrero</b>	25.60	25.16	12.50
<b>Marzo</b>	24.90	0.00	15.40
<b>Abril</b>	22.60	2.28	18.30
<b>Mayo</b>	20.50	0.51	19.90
<b>Junio</b>	19.40	0.00	20.20
<b>Julio</b>	18.60	0.25	19.60
<b>Agosto</b>	18.90	0.00	17.70
<b>Septiembre</b>	18.40	94.99	20.70
<b>Octubre</b>	19.20	1.02	21.50
<b>Noviembre</b>	20.10	0.00	21.80
<b>Diciembre</b>	21.40	3.30	20.60
<b>ANUAL</b>	21.04	128.77	18.96

**Fuente:** Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**







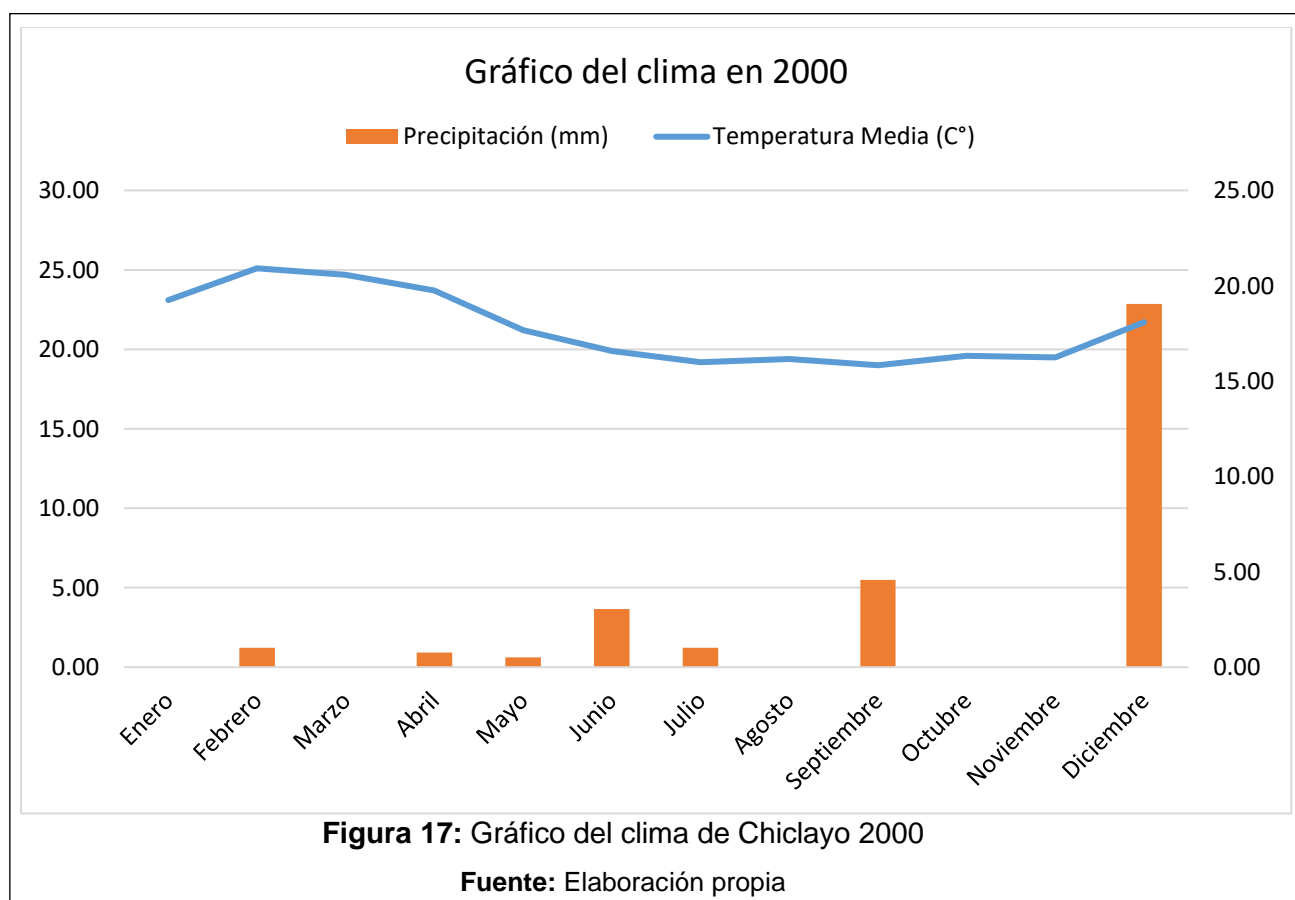


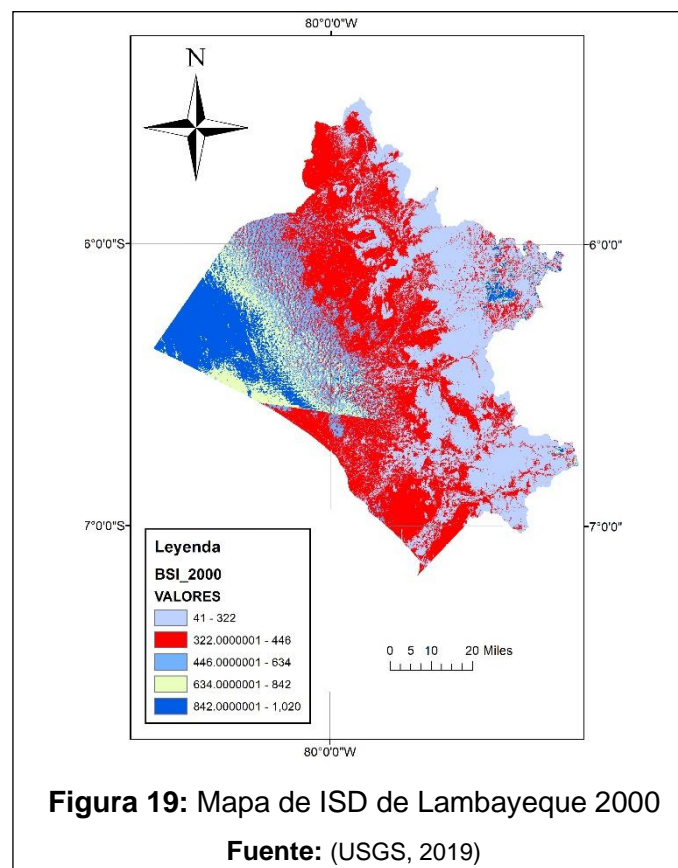
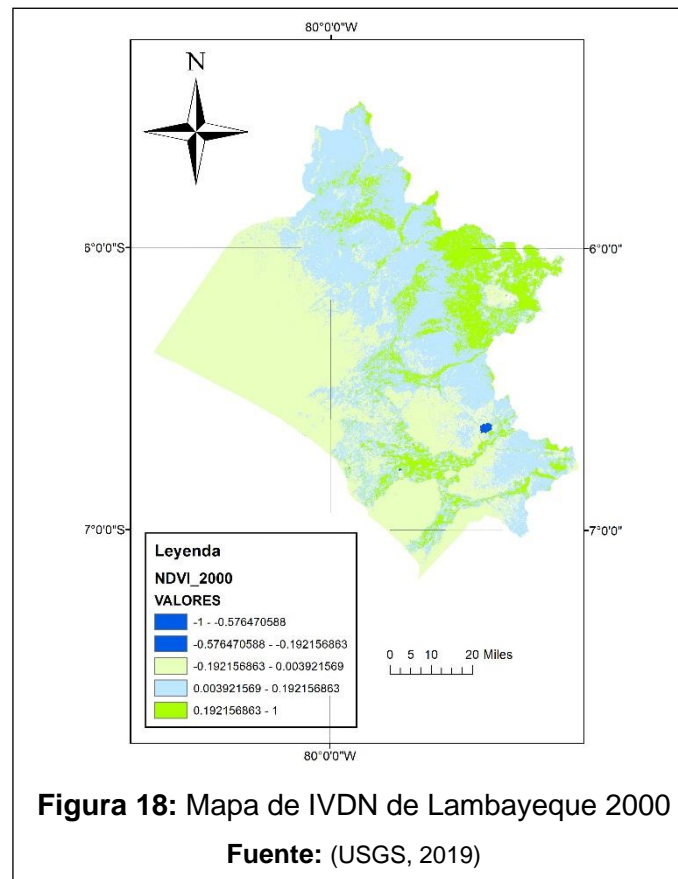
## Imagen Landsat 5 de la región Lambayeque del 23-10-2000

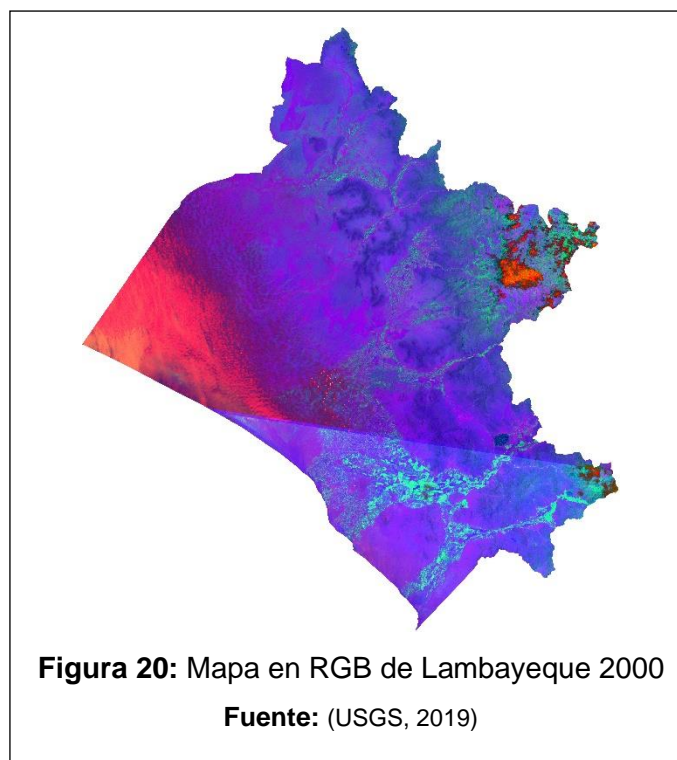
**Tabla 8:** Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2000

2000	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
Enero	23.10	0.00	16.50
Febrero	25.10	1.02	15.50
Marzo	24.70	0.00	14.60
Abril	23.70	0.76	16.00
Mayo	21.20	0.51	20.90
Junio	19.90	3.05	18.60
Julio	19.20	1.02	15.40
Agosto	19.40	0.00	17.50
Septiembre	19.00	4.57	22.60
Octubre	19.60	0.00	21.30
Noviembre	19.50	0.00	20.50
Diciembre	21.70	19.05	18.90
<b>ANUAL</b>	<b>21.34</b>	<b>29.98</b>	<b>18.19</b>

**Fuente:** Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**





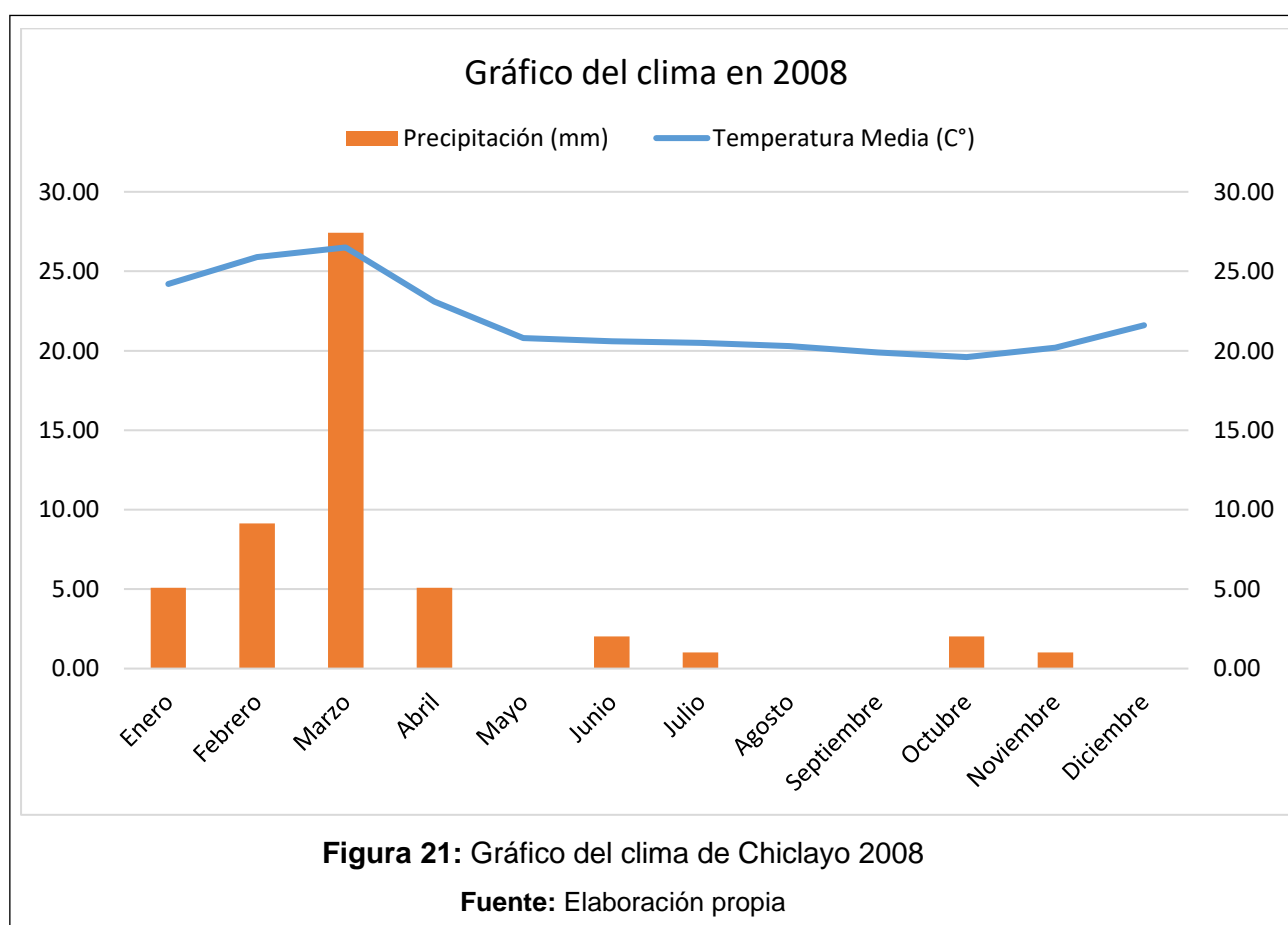


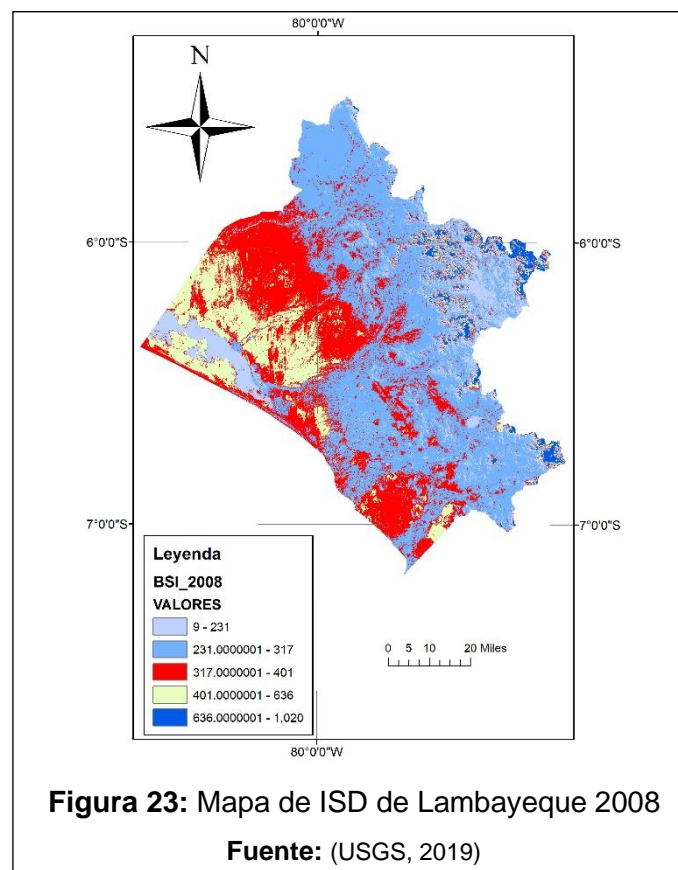
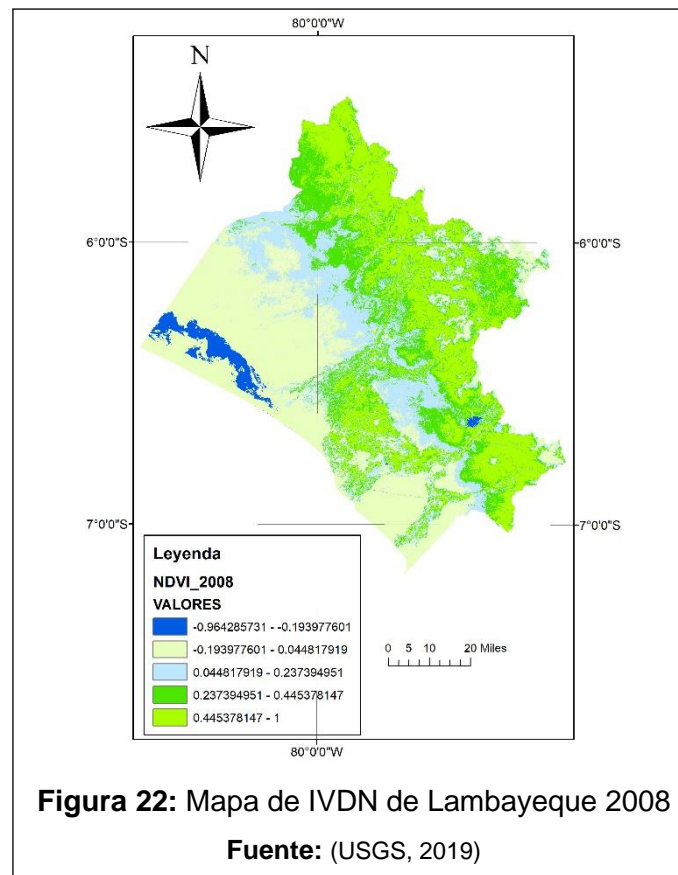
## Imagen Landsat 5 de la región Lambayeque del 06-05-2008

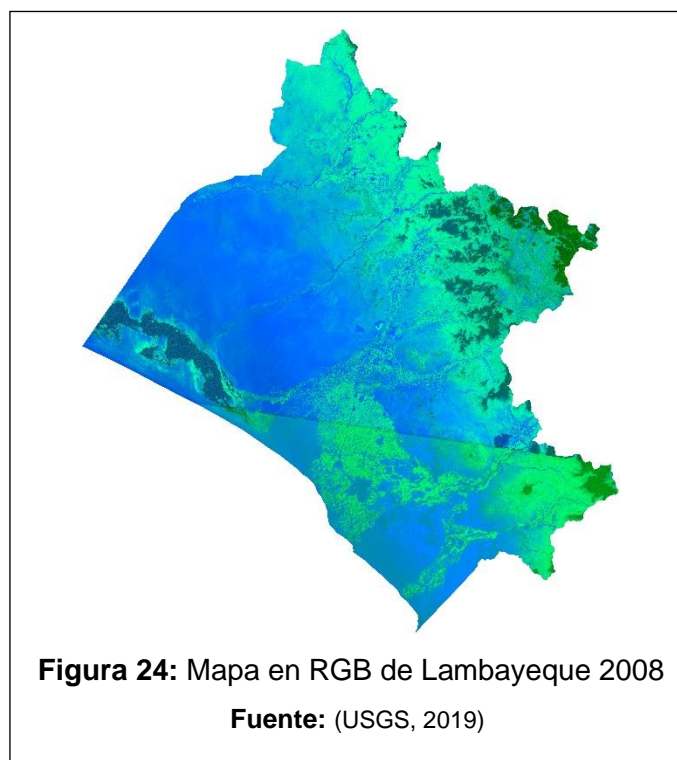
**Tabla 9:** Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2008

2008	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
Enero	24.20	5.08	18.30
Febrero	25.90	9.14	12.40
Marzo	26.50	27.43	12.60
Abril	23.10	5.08	15.70
Mayo	20.80	0.00	19.50
Junio	20.60	2.03	18.60
Julio	20.50	1.02	16.60
Agosto	20.30	0.00	17.60
Septiembre	19.90	0.00	20.70
Octubre	19.60	2.03	22.20
Noviembre	20.20	1.02	20.50
Diciembre	21.60	0.00	20.40
<b>ANUAL</b>	<b>21.93</b>	<b>52.83</b>	<b>17.93</b>

Fuente: Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**







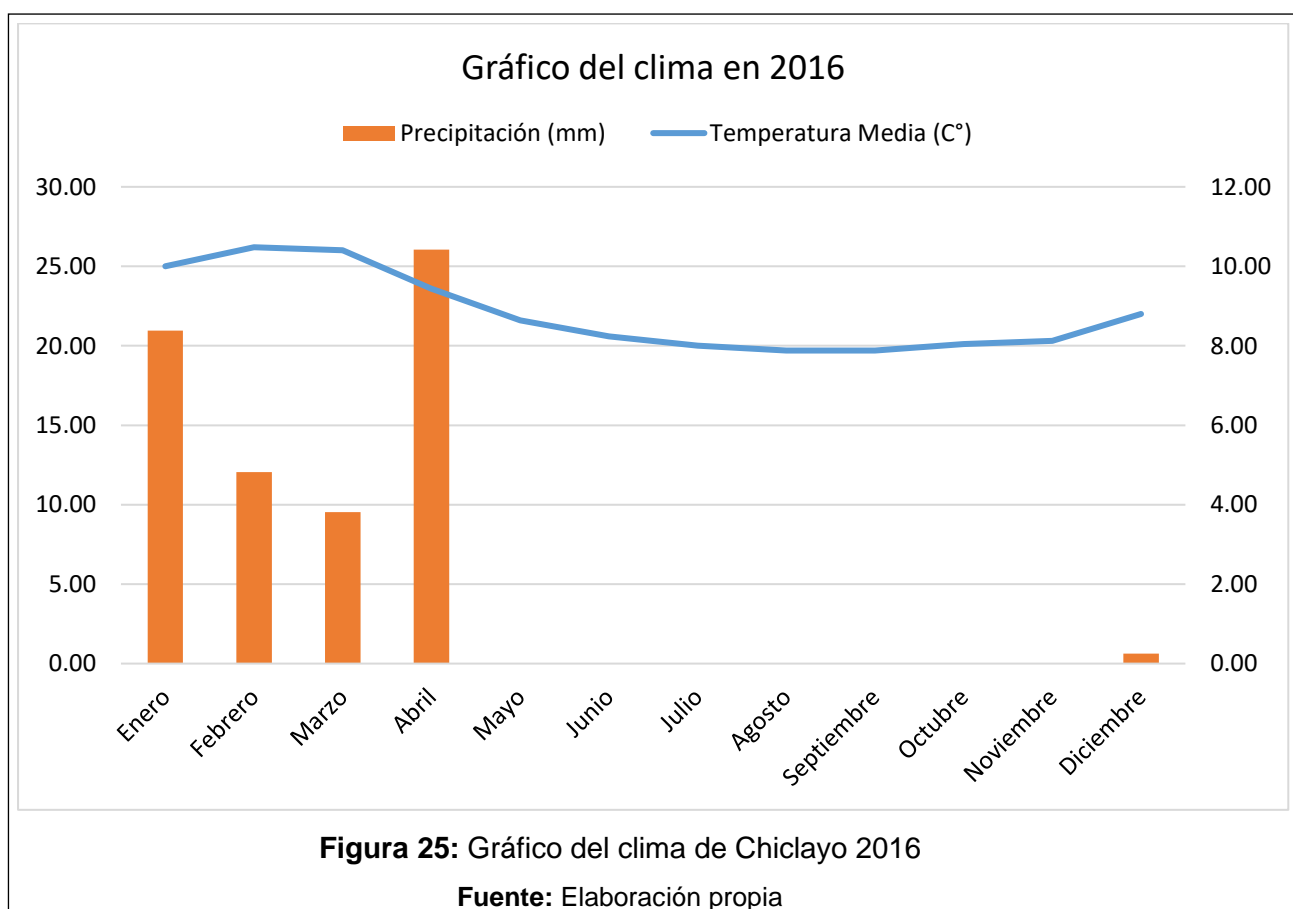


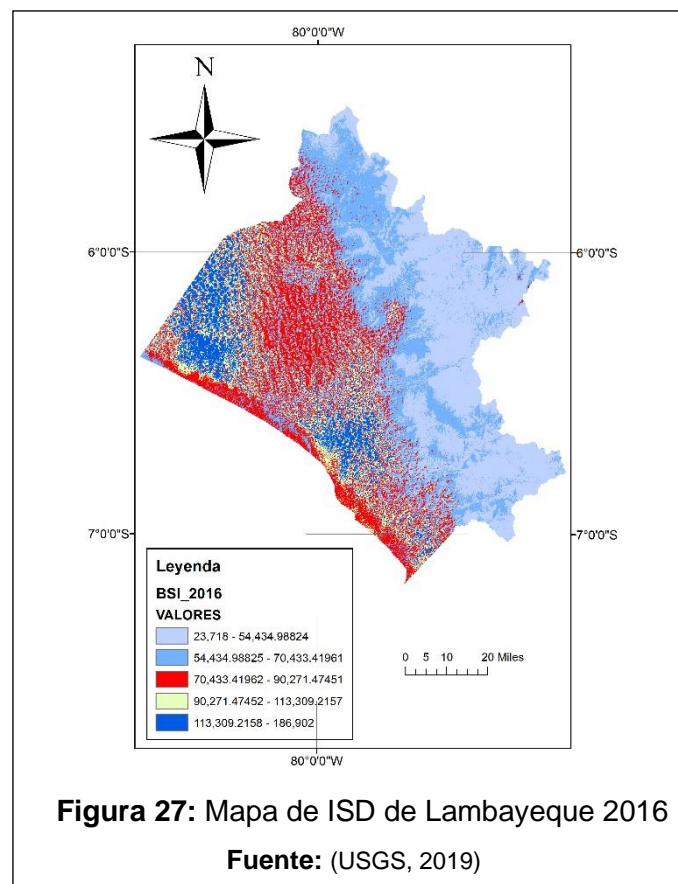
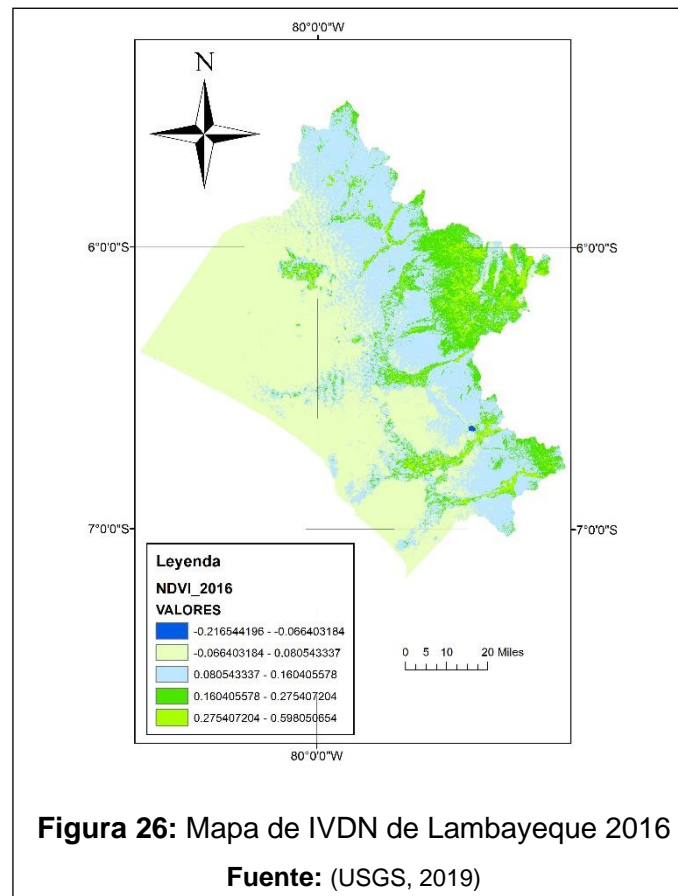
## Imagen Landsat 8 de la región Lambayeque del 20-11-2016

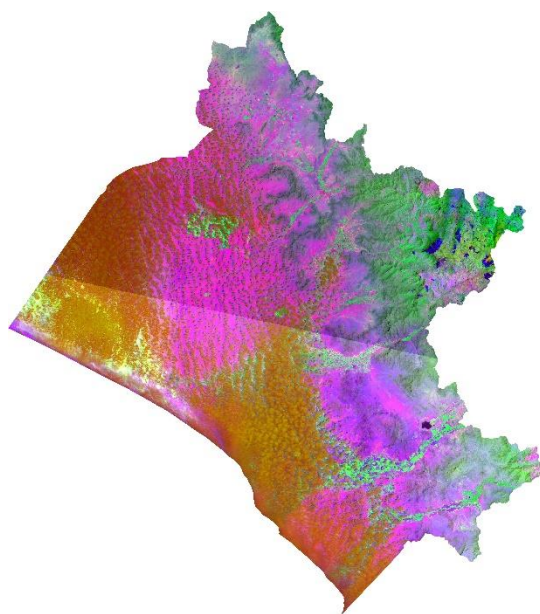
**Tabla 10:** Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2016

2016	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
Enero	25.00	8.38	20.30
Febrero	26.20	4.82	19.10
Marzo	26.00	3.81	18.20
Abril	23.60	10.42	21.20
Mayo	21.60	0.00	21.70
Junio	20.60	0.00	22.10
Julio	20.00	0.00	21.90
Agosto	19.70	0.00	21.40
Septiembre	19.70	0.00	22.70
Octubre	20.10	0.00	22.20
Noviembre	20.30	0.00	21.40
Diciembre	22.00	0.25	22.80
ANUAL	22.07	27.68	21.25

Fuente: Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**







**Figura 28:** Mapa en RGB de Lambayeque 2016

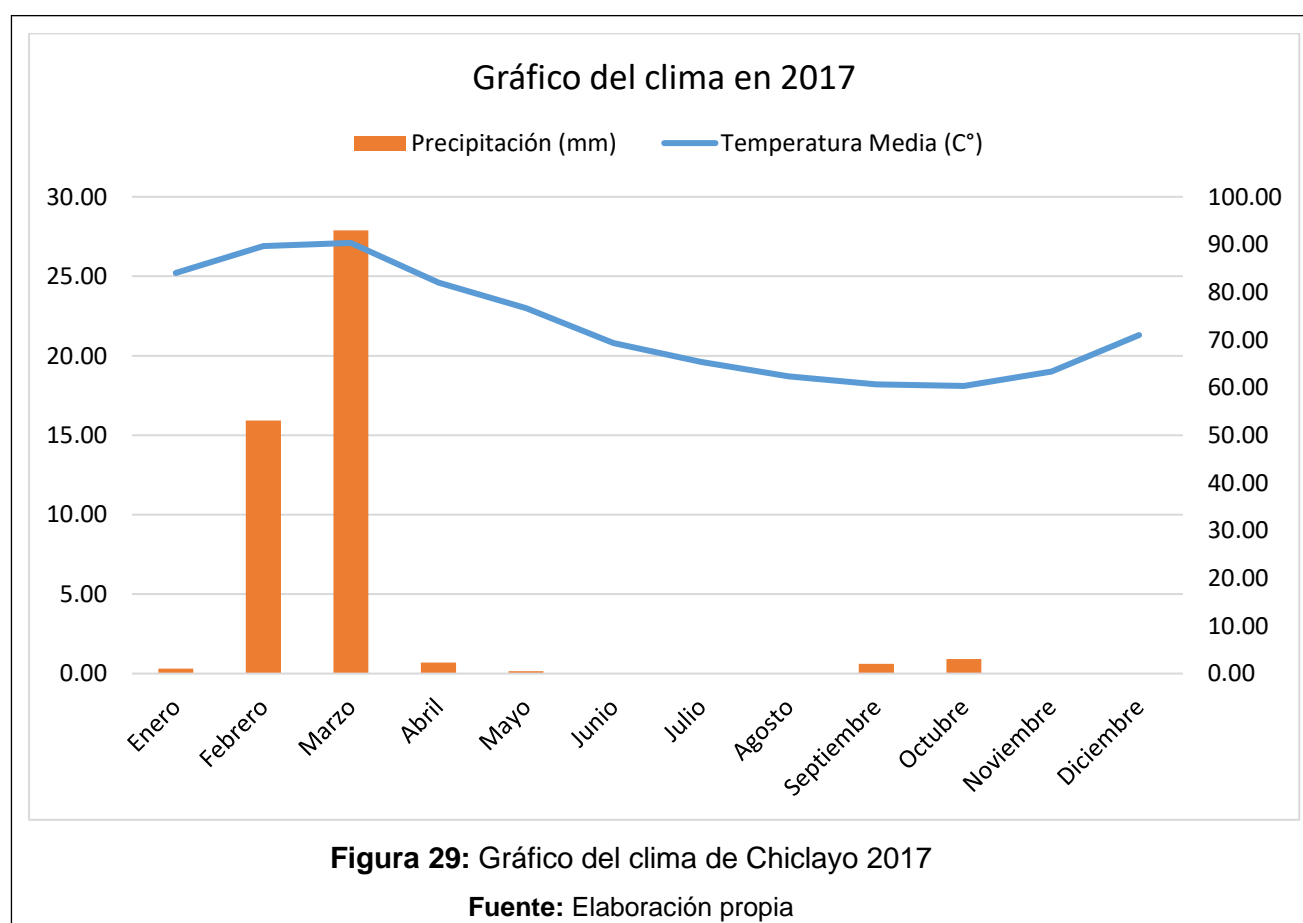
**Fuente:** (USGS, 2019)

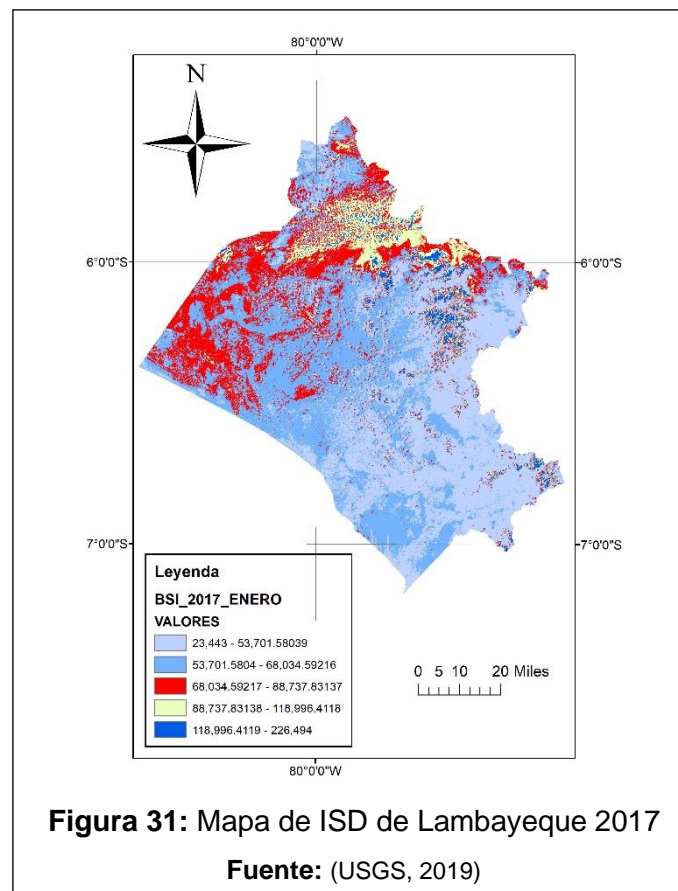
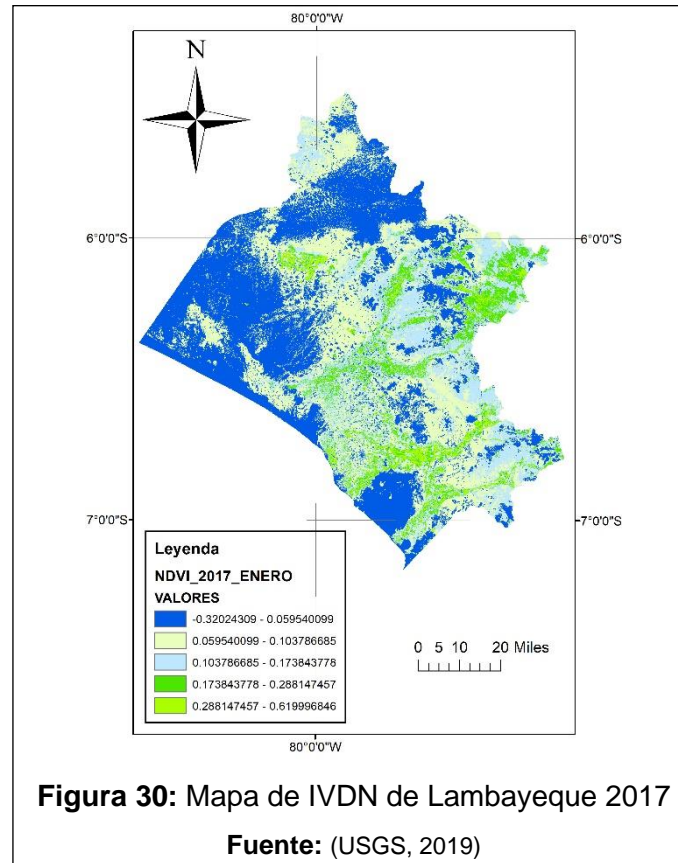
## Imagen Landsat 8 de la región Lambayeque del 23-01-2017

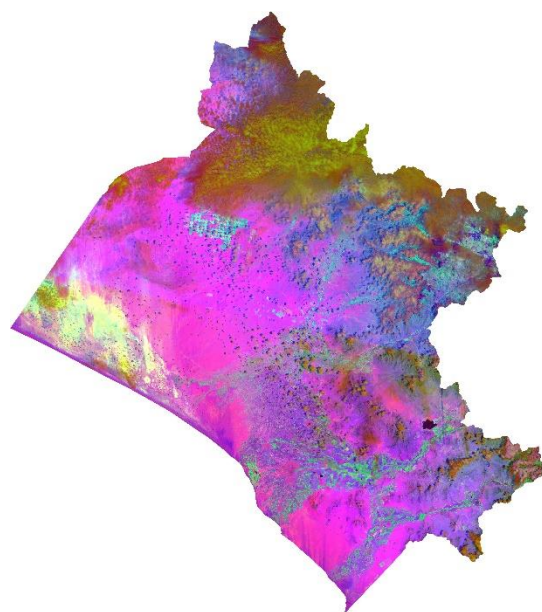
**Tabla 11:** Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2017

2017	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
Enero	25.20	1.02	17.50
Febrero	26.90	53.08	13.10
Marzo	27.10	92.98	11.20
Abril	24.60	2.28	19.20
Mayo	23.00	0.51	20.60
Junio	20.80	0.00	19.00
Julio	19.60	0.00	16.80
Agosto	18.70	0.00	20.60
Septiembre	18.20	2.03	21.60
Octubre	18.10	3.05	22.20
Noviembre	19.00	0.00	20.00
Diciembre	21.30	0.00	22.40
<b>ANUAL</b>	<b>21.88</b>	<b>154.95</b>	<b>18.68</b>

**Fuente:** Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**



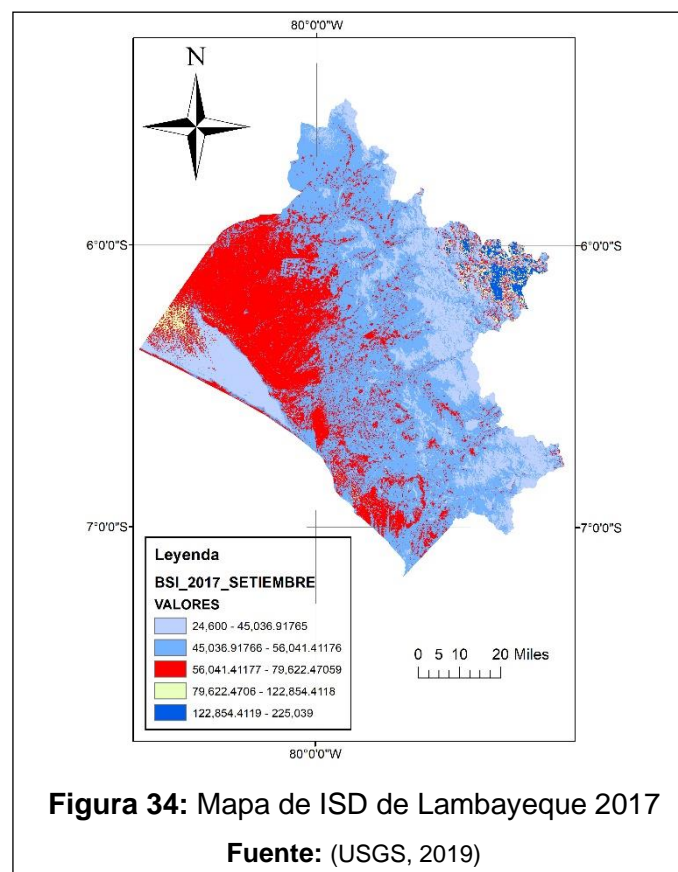
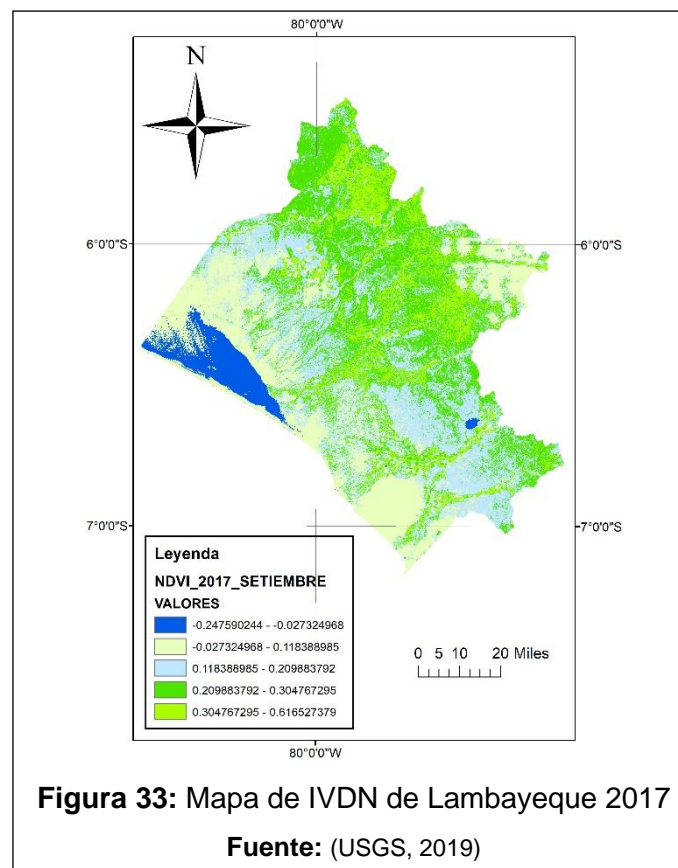


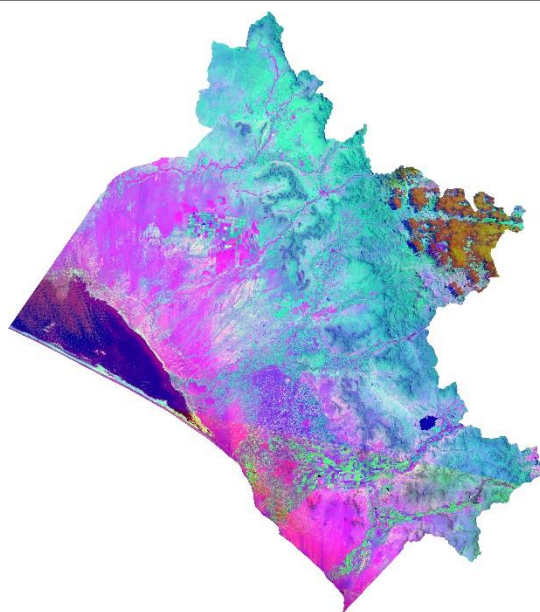


**Figura 32:** Mapa en RGB de Lambayeque 2017

**Fuente:** (USGS, 2019)

## Imagen Landsat 8 de la región Lambayeque del 04-09-2017





**Figura 35:** Mapa en RGB de Lambayeque 2017

**Fuente:** (USGS, 2019)

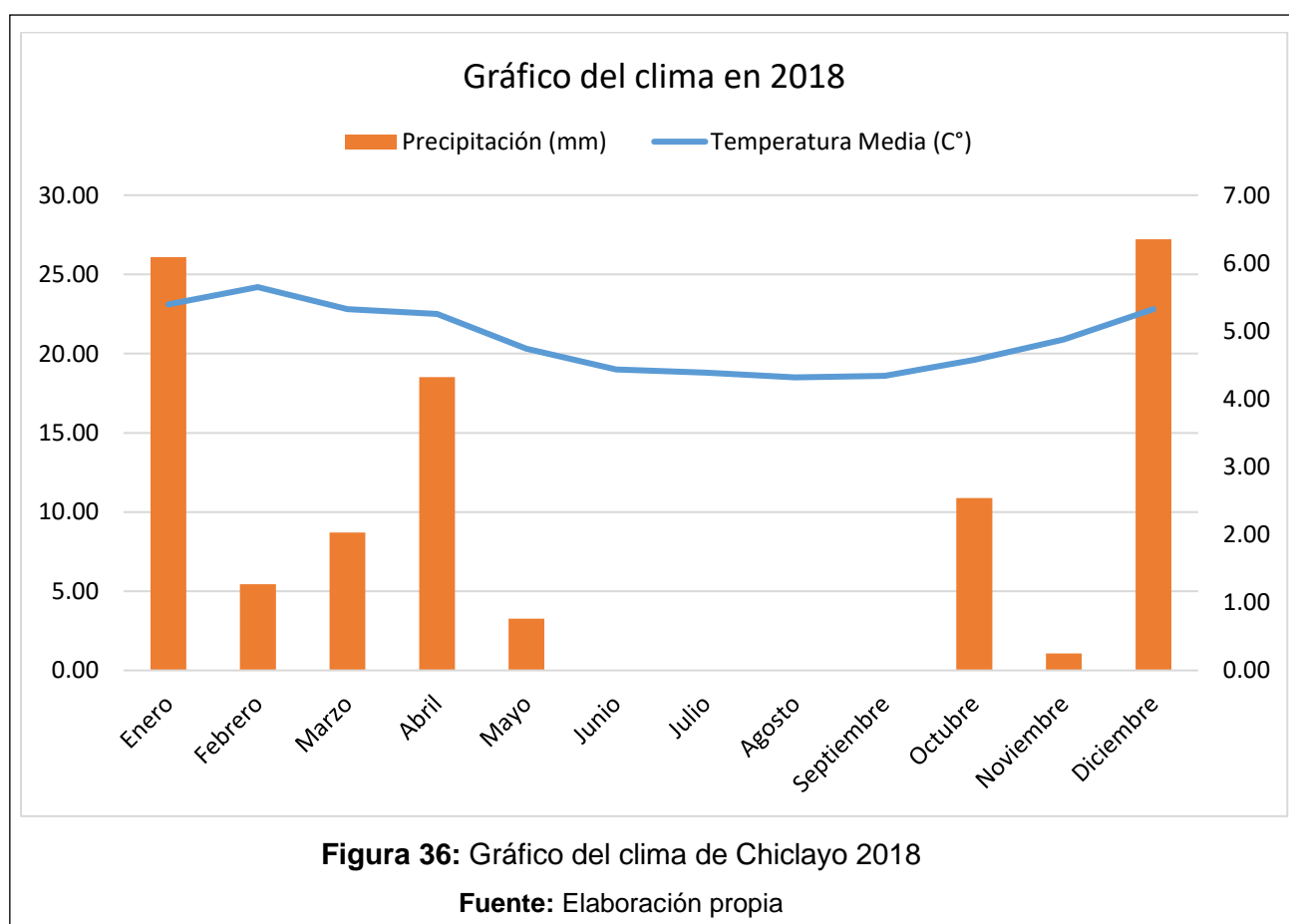


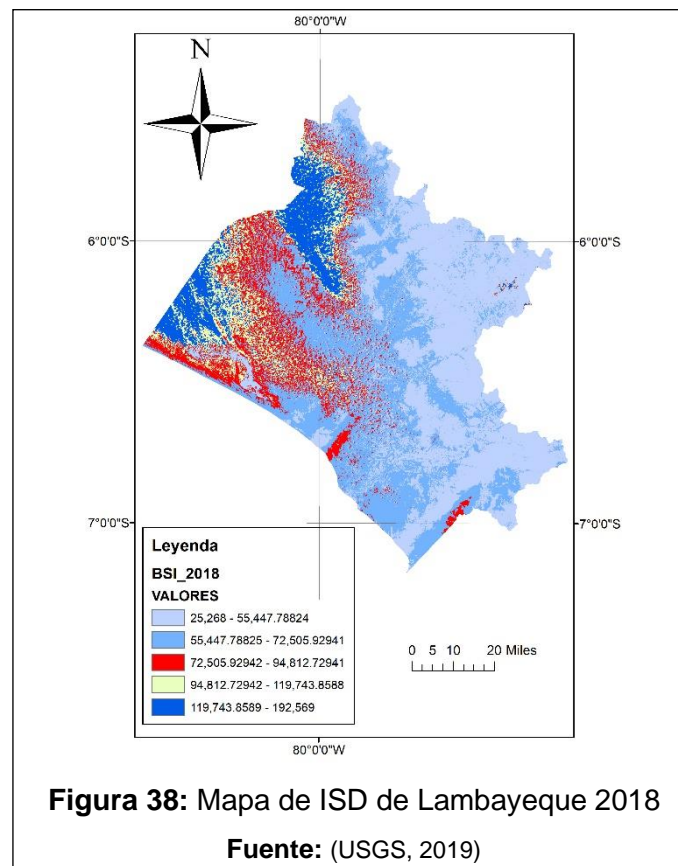
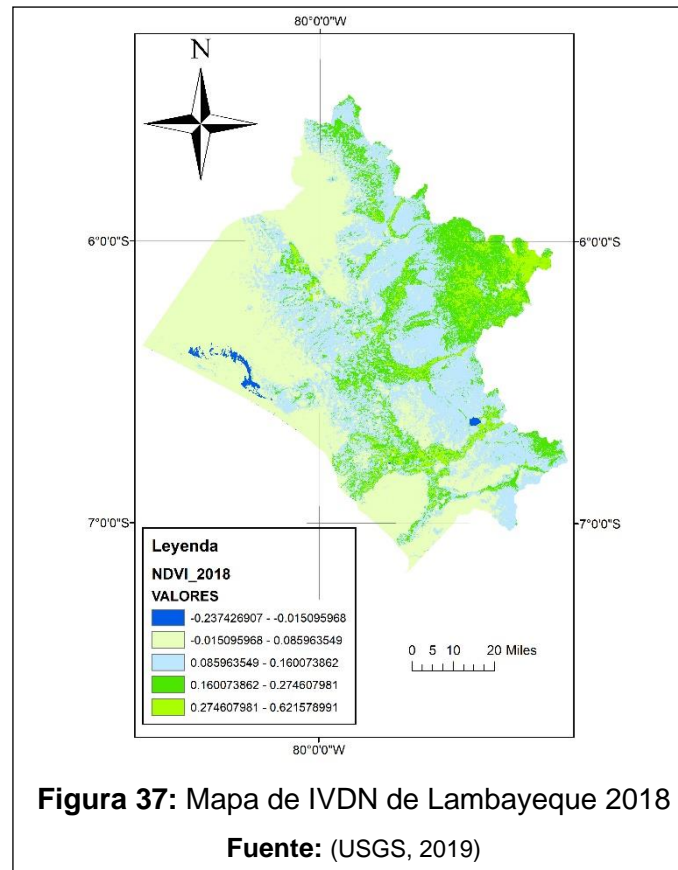
## Imagen Landsat 8 de la región Lambayeque del 25-10-2018

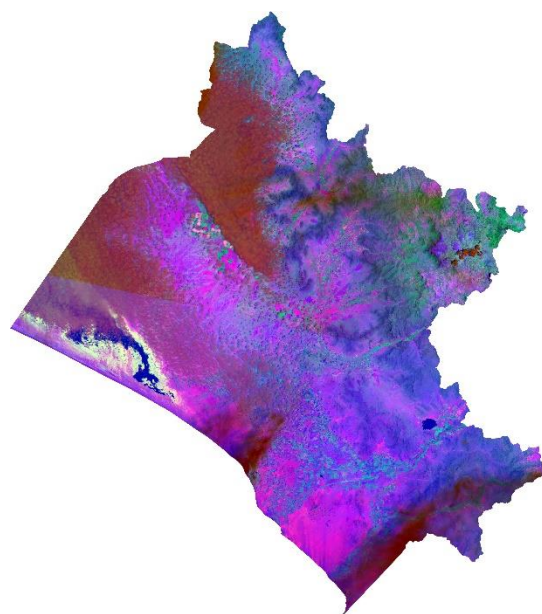
**Tabla 12:** Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2018

2018	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
Enero	23.10	6.09	19.60
Febrero	24.20	1.27	16.80
Marzo	22.80	2.03	17.70
Abril	22.50	4.32	18.10
Mayo	20.30	0.76	21.20
Junio	19.00	0.00	17.70
Julio	18.80	0.00	18.10
Agosto	18.50	0.00	19.50
Septiembre	18.60	0.00	20.90
Octubre	19.60	2.54	20.00
Noviembre	20.90	0.25	20.80
Diciembre	22.80	6.35	20.00
ANUAL	20.93	23.61	19.20

Fuente: Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**







**Figura 39:** Mapa en RGB de Lambayeque 2018

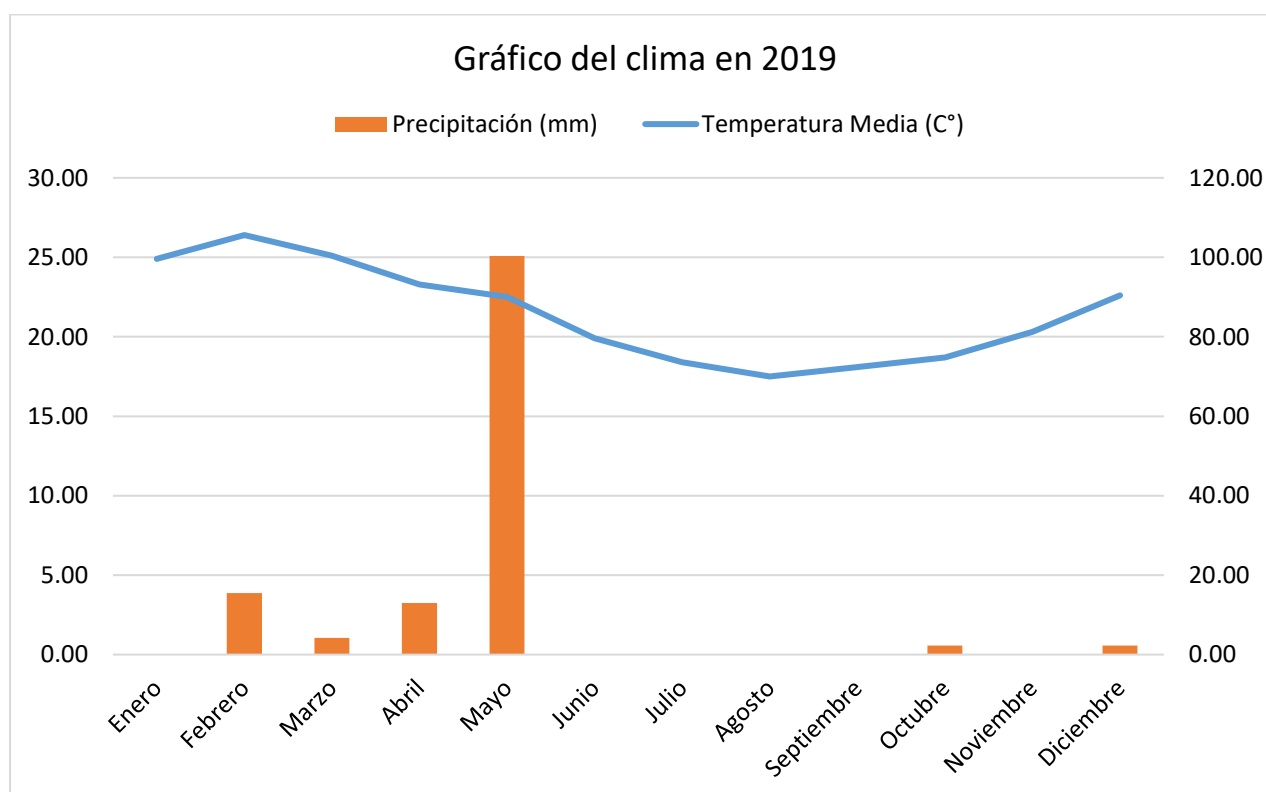
**Fuente:** (USGS, 2019)

## Imagen Landsat 8 de la región Lambayeque del 12-10-2019

**Tabla 13:** Datos meteorológicos de Chiclayo del año 2019

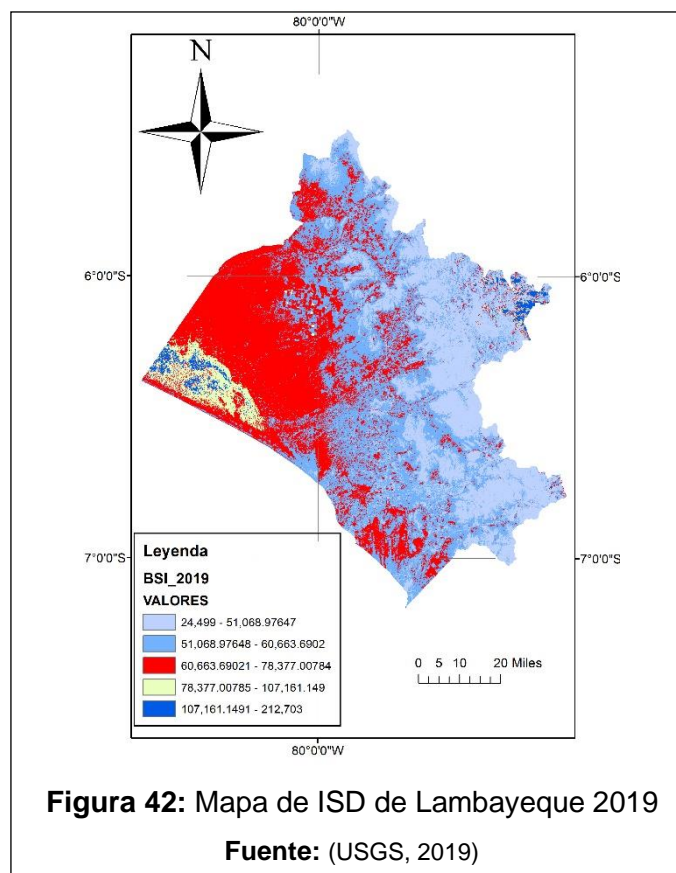
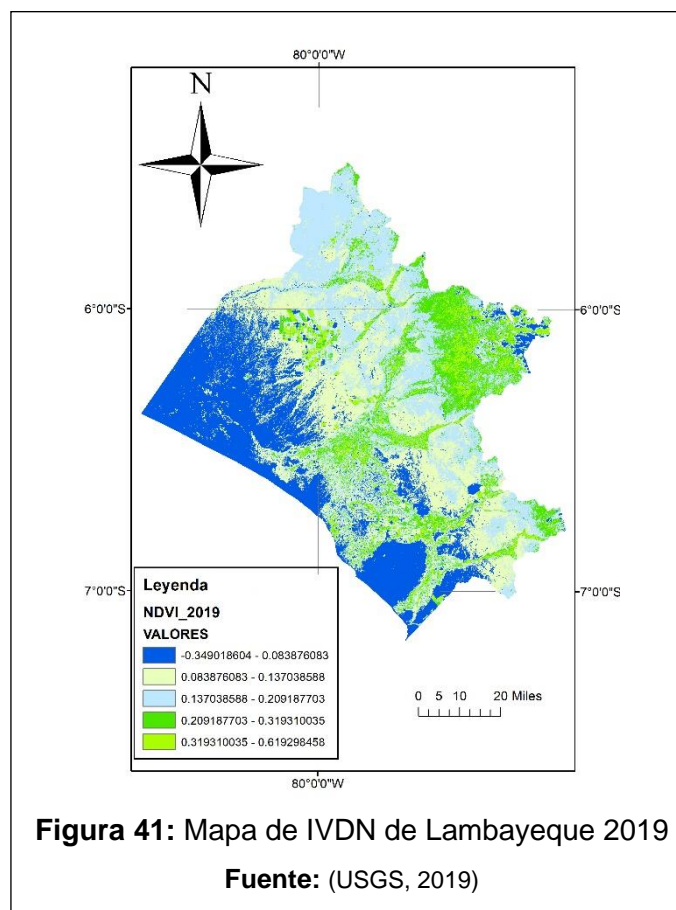
2019	Temperatura Media (C°)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (Km/h)
Enero	24.90	0.00	19.80
Febrero	26.40	15.49	15.90
Marzo	25.10	4.23	18.30
Abril	23.30	12.96	21.20
Mayo	22.50	100.33	21.20
Junio	19.90	0.00	21.60
Julio	18.40	0.00	20.50
Agosto	17.50	0.00	17.80
Septiembre	18.10	0.00	21.50
Octubre	18.70	2.28	22.90
Noviembre	20.30	0.00	20.20
Diciembre	22.60	2.28	21.90
<b>ANUAL</b>	<b>21.48</b>	<b>137.57</b>	<b>20.23</b>

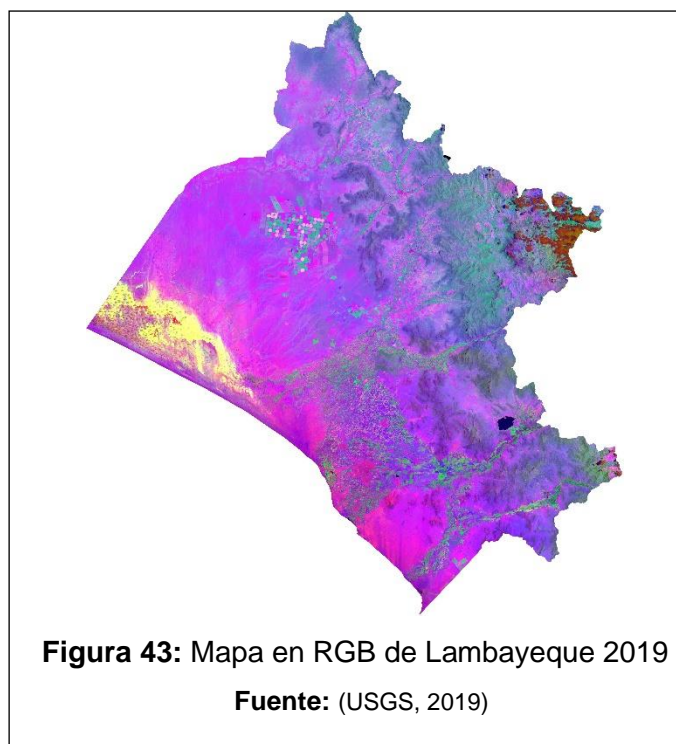
Fuente: Datos reportados por la estación meteorológica: **844520 (SPHI)**



**Figura 40:** Gráfico del clima de Chiclayo 2019

Fuente: Elaboración propia





Se investigó los dos últimos fenómenos del niño, determinado que fueron en los años 1998 y 2017 de acuerdo a la revisión de datos meteorológicos históricos en la ciudad de Chiclayo, obtenidos de la estación meteorológica 844520 (SPHI).

Además, se procesó y se analizó las imágenes satelitales correspondientes a la región Lambayeque de los años 1996-2000, 2008, 2016-2019.

El Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (IVDN), muestra que, a mayor espectro de infrarrojo cercano, corresponde a una vegetación más densa y saludable. En las figuras (2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 33, 37, 41) se puede observar que esa vegetación está representada por colores de tonos verdosos (Quetzal Green y Peridot Green), siendo éstos los dos cuadros de la leyenda más cercanos al valor 1.

El Índice de Suelo Desnudo (ISD), muestra que las bandas de infrarrojos de onda corta y las bandas espectrales rojas cuantifican la composición mineral del suelo, mientras que las bandas azules y las bandas espectrales de infrarrojos cercanos muestran la presencia de vegetación. En las figuras (3, 7, 11, 15, 19, 23, 27, 31, 34, 38, 42) se puede observar cómo los tonos azules corresponden a las bandas azules y bandas espectrales de infrarrojos cercanos, el color rojo representa las bandas de infrarrojo de onda corta y las bandas espectrales rojas, además también están representados como amarillo y azul, pero éstos muestran en su mayoría, los cuerpos de agua y nubes. El color Mars Red, representa en su mayoría un índice de suelo desnudo y poca composición mineralógica, siendo también muestras de la erosión en algunas partes de la región. Lo que evidencia que la llegada del FEN erosionó más el suelo.

Finalmente tenemos las figuras (4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 35, 39, 43) con los mapas de la región Lambayeque en formato RGB, con la combinación de las bandas (B3/B1, B5/B7, B6) para las imágenes LandSat 5, ya que éstas tienen 7 bandas en total; y para las imágenes LandSat 8, las cuales tienen 11 bandas, se usó la combinación RGB, con las bandas (B4/B2, B6/B7, B10). Ya que dichas combinaciones mostraron una mejor claridad para la visualización de la vegetación, de los cambios y alteraciones en el suelo, además de los cuerpos de agua.

## CAPITULO V: DISCUSIÓN

De acuerdo al primer objetivo específico de la investigación, se determinó los últimos Fenómenos El Niño siendo en el 1998 y 2017 en la región Lambayeque, además que es un evento que ocurre con cierta frecuencia y tendrá su aparición creando un ciclo, por lo que no se debería llamar fenómeno, más bien debería ser llamado, evento climatológico El Niño, tal como lo propone Núñez (2018) en su investigación.

Se analizó las imágenes satelitales de acuerdo al segundo y tercer objetivo específico de la investigación, donde se usó una fórmula para la composición de las bandas espectrales para determinar el IVDN y el ISD de acuerdo a (Geo University, 2008), los cuales permitieron determinar la evolución a través del tiempo del área vegetal y el área mineral del suelo, donde se pudo observar que en cada evento climatológico El Niño, el área de la cobertura vegetal en la región Lambayeque aumentó significativamente a causa de las precipitaciones y luego dicha área fue decreciendo gradualmente hasta la aparición de un nuevo Niño. Además para el análisis del suelo, cada Niño evidenció mejoras en la composición mineralógica y recuperación de los suelos, mientras que las épocas de estiaje la degradación del suelo se evidencia más incrementando hasta la llegada de nuevas lluvias, demostrando que El Niño es una respuesta de la naturaleza para la recuperación de la cobertura vegetal y por ende también de la composición mineral del suelo, por lo que este evento representa un ciclo beneficioso para la recuperación y mantenimiento del ecosistema de la región.

Finalmente se analizó las imágenes de la región Lambayeque con forme al cuarto objetivo específico donde se analizó las imágenes multitemporales de la región Lambayeque, donde se utilizó la composición de las bandas espectrales (B4/B2, B6/B7, B10) en RGB para las imágenes Landsat 8 con 11 bandas espectrales, tal como se realizó en la investigación de (Beiranvand Pour & Hashim, 2015). Y para el análisis de las imágenes Landsat 5 con 7 bandas espectrales, se realizó una nueva fórmula basada en la anterior obteniendo (B3/B1, B5/B7, B6) en RGB, obteniendo resultados similares, estas imágenes mostraron alteraciones en el suelo y la cobertura vegetal de la región.



## **CONCLUSIONES**

De acuerdo al primer objetivo específico, se concluye con el análisis de las últimas fechas del fenómeno El Niño, que es un evento climatológico que ocurre de manera cíclica y cada vez con menos frecuencia.

De acuerdo al segundo objetivo específico, El Niño, es un evento climatológico por el cual el ecosistema y la cobertura vegetal en la región Lambayeque se recupera de manera natural, y en época de estiaje vuelve a reducirse, por lo que la naturaleza genera un ciclo para su recuperación y mantenimiento tal como se evidenció en los mapas IVDN.

De acuerdo al tercer objetivo específico, la composición mineralógica de los suelos en la región Lambayeque ven una mejora con cada evento climatológico El Niño y volviendo a degradarse en cada estiaje, siendo El Niño un ciclo de recuperación natural para los suelos y ecosistema, así como se pudo observar en los mapas ISD.

De acuerdo al cuarto objetivo específico, el análisis de las imágenes multitemporales de Lambayeque en RGB evidenció una erosión en la parte alta de la región después de cada Niño, así como una recuperación leve en la parte baja, y una reforestación natural por así decirlo, con cada aparición de El Niño, concluyendo de manera general que El Niño es un evento climatológico cíclico que la naturaleza provee para la recuperación y mantenimiento del ecosistema en la región Lambayeque.

## **RECOMENDACIONES**

Sabiendo que El Niño es un evento climatológico que ocurre de manera cíclica, se recomienda enfocar los esfuerzos y trabajos de la agricultura e infraestructuras de riego de tal manera en que estén prevenidos para la llegada de este evento, y así poder tener proyectos de desarrollo que vayan en armonía con la población y cuidado del medio ambiente.

Se recomienda en los ámbitos agrícolas, sociales y económicos, tomar medidas preventivas como la limpieza y descolmatación de canales, limpieza de ríos y defensas ribereñas de ser necesarias en determinadas secciones con meses de anticipación a la llegada de El Niño, así evitar sobre costos y daños a las infraestructuras en desarrollo, además se recomienda a la población a establecer sus viviendas, lejos de los límites de las quebradas inactivas, ya que esto produce pérdidas humanas y daños materiales.

Se recomienda realizar más estudios sobre la erosión y recuperación de suelos, que ocurren de manera natural, ya que podemos aprender a cómo actúa la naturaleza para reparar los daños causados con la llegada de El Niño.

## BIBLIOGRAFIA

- Arboit, M., & Maglione, D. (2018). Análisis multitemporal y multiespacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y del índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) en centros urbanos forestados y oasis irrigados, con climas secos. *Boletín de Estudios Geográficos*, 13-60. Obtenido de <http://bdigital.uncu.edu.ar/11458>
- Beiranvand Pour, A., & Hashim, M. (Abril de 2015). Hydrothermal alteration mapping using Landsat-8 data, Sar Cheshmeh copper mining district, SE Iran. *Journal of Taibah University for Science*, 155-166. doi:<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.jtusci.2014.11.008>
- BioVerdePerú. (6 de agosto de 2017). *Bio Verde Perú*. Obtenido de <https://www.bioverdeperu.com/blog-bioverde/erosion-de-suelos-en-el-peru-que-sucedio-despues-del-fenomeno-del-nino>
- Bravo, C., Torres, B., Alemán , R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., . . . Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 247-264. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Reinaldo\\_Aleman/publication/320623781\\_Indicadores\\_morfologicos\\_y\\_estructurales\\_de\\_calidad\\_y\\_potencial\\_de\\_erosion\\_del\\_suelo\\_bajo\\_diferentes\\_usos\\_de\\_la\\_tierra\\_en\\_la\\_Amazonia\\_Ecuatoriana/links/59f1fce5458515bfd081c89a/Ind](https://www.researchgate.net/profile/Reinaldo_Aleman/publication/320623781_Indicadores_morfologicos_y_estructurales_de_calidad_y_potencial_de_erosion_del_suelo_bajo_diferentes_usos_de_la_tierra_en_la_Amazonia_Ecuatoriana/links/59f1fce5458515bfd081c89a/Ind)
- Camarasa-Belmonte, A., López, M., & García , I. E. (2018). Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea (Barranc del Carraixet, 1956–2011). *Boletín de la*

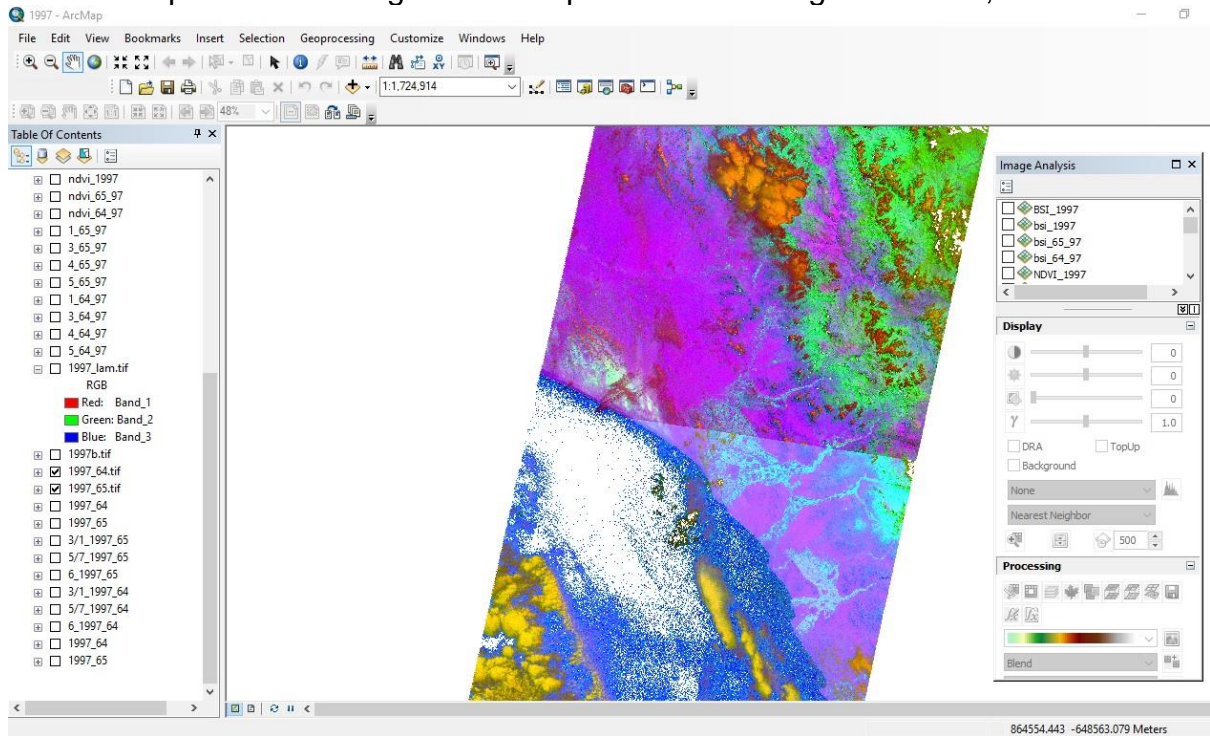
- Asociación de Geógrafos Españoles*, 127-153. Obtenido de <https://www.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/2714/2463>
- Condori Alejandro, W. (2018). *Estimación de la pérdida de cobertura boscosa por actividades antrópicas en el distrito Nueva Requena, mediante análisis multitemporal de imágenes satelitales, 2018*. Lima: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/20512>
- CONICIT. (1998). *El Fenómeno de El Niño*. Obtenido de <http://repiica.iica.int/DOCS/B1760E/B1760E.PDF>
- do Prado wildner, L., & da Veiga, M. (s.f.). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S06.htm>
- Gaitán , J., Navarro , M., Vuegen, L., Pizarro, M., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). *Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. Buenos Aires: Instituto de Suelos – Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN). Obtenido de <http://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/1981>
- Geo University. (2008). Obtenido de <https://www.geo.university/pages/spectral-indices-with-multispectral-satellite-data>
- Gonzales Alarcón, G. (2018). *Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la provincia de Manu, 2000-2016*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2277>
- INEGI. (2019). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=landsat>
- Laboratorio Unidad Pacífico Sur CIESAS. (2010). Obtenido de <https://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig/>

- Lozano Rodriguez, J. (2016). *Evaluación del impacto de uso de suelos según el índice de vegetación de diferencia normalizada, mediante imágenes satelitales en el distrito de Tambillo - Ayacucho, 2000 - 2014*. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. Obtenido de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1278>
- Mamani Cruz, S., & Servan Chasquibol, L. (2017). *Evaluación multitemporal de la deforestación en el distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, departamento Amazonas, 2015*. Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1272>
- MINAGRI. (2014). *La erosión del suelo*. Lima. Obtenido de [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)
- Ministerio de Educación del Perú. (28 de Octubre de 2015). *Fenómeno El Niño*. Obtenido de <http://www.minedu.gob.pe/fenomeno-el-nino/pdf/atriptico-fen.pdf>
- Montaño Delgado, R. (2019). *Análisis dinámico multitemporal del río Piura aplicando teledetección, en el distrito de Piura, provincia de Piura, departamento de Piura*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10532>
- Núñez León, J. L. (2018). *Relación entre el fenómeno El Niño en Perú y las sequías en Australia*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Pinos Arévalo, N. (2015). *Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial Caso cantón Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23092>

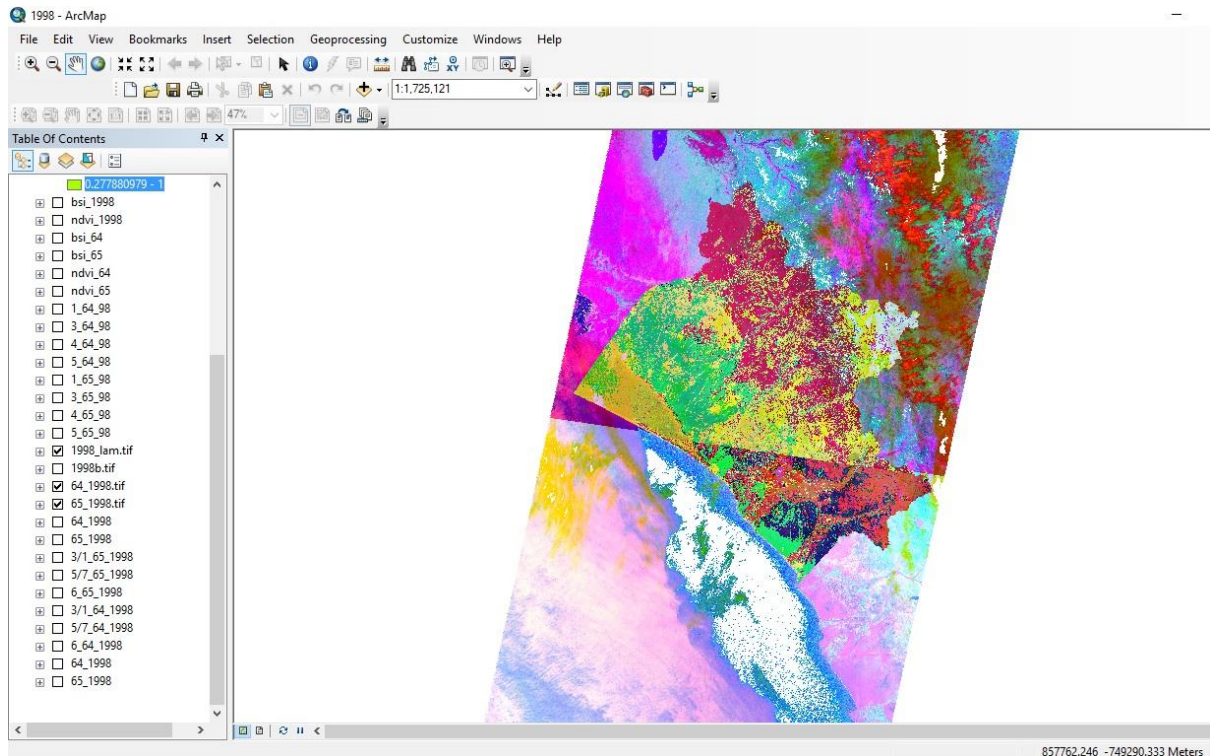
- Prado Barzola, J. (2017). *Dinámica de cobertura vegetal debido al cambio de uso del suelo, a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales del distrito de Yurimaguas, 2017*. Lima: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/23305>
- Rodríguez Vaquero, J. E. (2000). *Aproximación a un glosario básico para el estudio de los usos del agua en el sureste de la Península Ibérica*.
- Rosero Mier, M. (2017). *Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>
- SENAMHI. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú*. Lima. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-7.pdf>
- TELEDET. (2019). Recuperado el 2019, de <http://www.teledet.com.uy/imagen-satelital.htm>
- Trenberth, K. (2017). El Niño Southern Oscillation (ENSO). *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*. doi:doi:10.1016/b978-0-12-409548-9.04082-3
- USGS. (2019). *Science for a changing world*. Obtenido de Landsat 5: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- USGS. (2019). *Science for a changing world*. Obtenido de Landsat 8: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)

## ANEXOS

### ANEXO 1: proceso de imagen satelital para obtener imagen en RGB, del año 1997

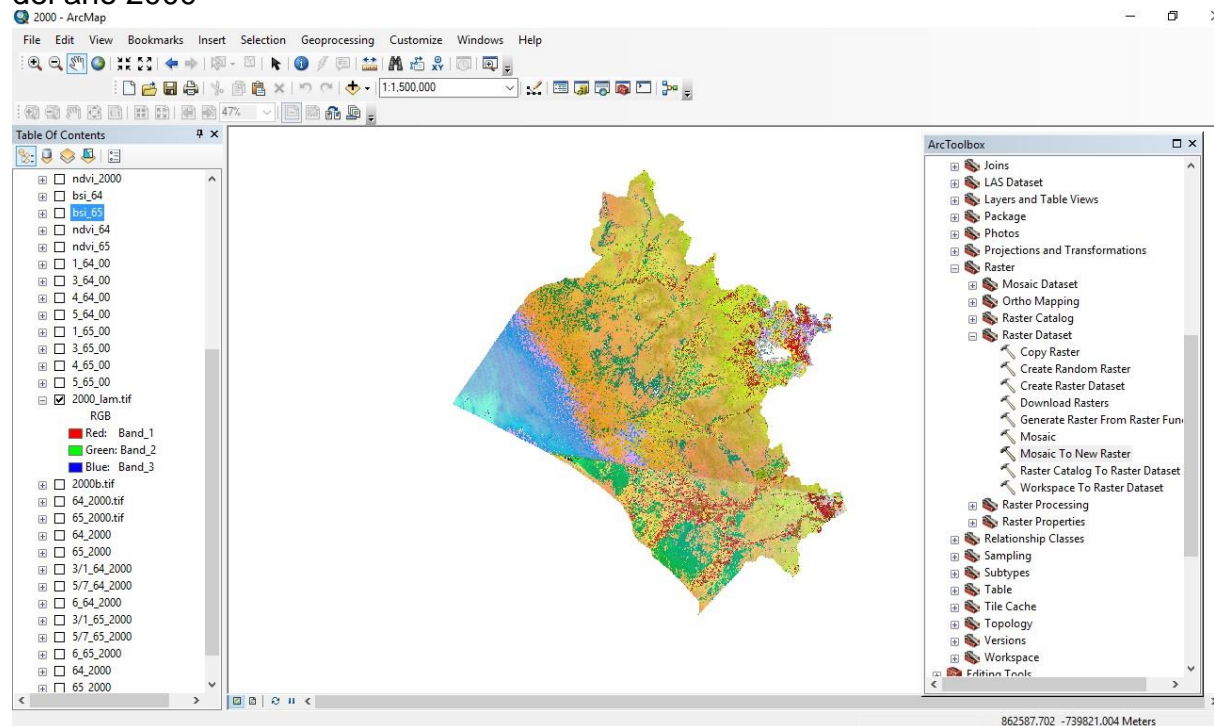


### ANEXO 2: imagen de la región Lambayeque en RGB con la composición de bandas; del año 1998

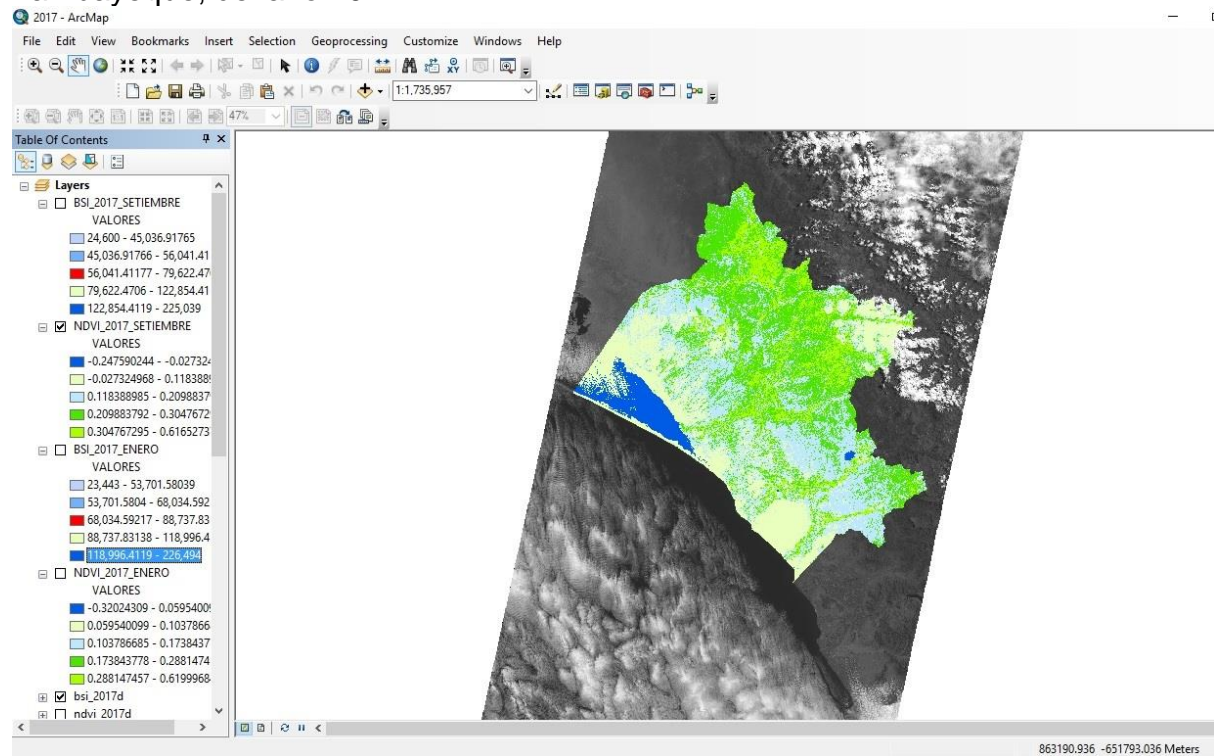




### ANEXO 3: imagen de la región Lambayeque en RGB con la composición de bandas, del año 2000

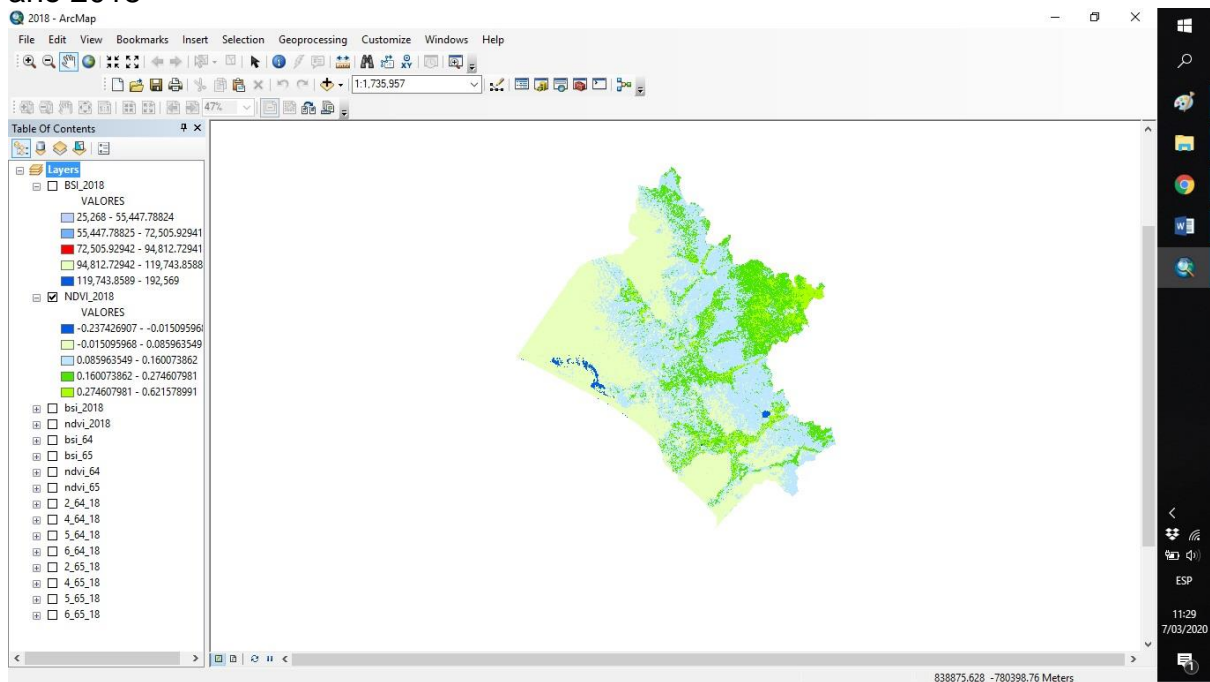


### ANEXO 4: proceso para la obtención de las imágenes NDVI de la región Lambayeque, del año 2017





## ANEXO 5: imagen satelital con los índices de NDVI de la región Lambayeque, del año 2018



## ANEXO 6: imagen satelital con los índices de BSI de la región Lambayeque, del año 2019

