

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA  
VEGETACIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PORCÓN  
DURANTE EL PERIODO 2003 - 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

Autora:

Emi Carito Ugaz Suárez

Asesora:

Dr. Sc. Irma Geralda Horna Hernández

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

La presente tesis la dedico especialmente:

A mi madrecita Emilia en el cielo, por su amor, sacrificio, cuidados, sobre todo por protegerme y haberme inculcado el valor del estudio como la mejor herencia que se puede tener en la vida.

A mi papá Melanio por su esfuerzo, dedicación y motivación que me dio desde pequeña para convertirme en profesional.

A mis padres Sebastián y Orlandina por su amor, comprensión y apoyo incondicional en mi formación profesional.

A mi amiga Deisy Lisset por todos los momentos vividos a lo largo de nuestra carrera, las alegrías, tristezas, las desveladas y más, los cuales me hicieron crecer y valorar a las personas que nos rodean.

A mi amiga Rosa Dany, por el apoyo incondicional para continuar y seguir con mi camino a lo largo de estos cinco años, por siempre estar ahí cuando más necesite de alguien a mi lado.

A mis hermanos por su motivación constante a seguir en este arduo camino.

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios en primer lugar, por la inspiración y fortaleza para continuar luchando en  
concluir uno de mis anhelos más deseados.

Mi agradecimiento especial para el Programa Nacional de Becas y Créditos Educativos  
PRONABEC, por otorgarme una beca para mi formación profesional.

Agradecer de manera sincera a mi asesora la Dr. Sc. Irma Geralda Horna Hernández, por  
sus enseñanzas, apoyo constante y desinteresado para la realización de esta tesis.

Expresar mi agradecimiento especial a mi amiga Deisy Lisset Carrasco Vela por el apoyo y  
guía incondicional en el desarrollo de esta tesis, su ayuda y aporte fue invaluable para  
concluir este trabajo con éxito.

Agradecer a mis amigos y familiares que me ayudaron directa o indirectamente en mi  
formación profesional y realización de este proyecto.

Finalmente, agradecer a la Universidad Privada del Norte por permitirme alcanzar uno de  
mis objetivos más deseados.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema.....	37
1.3. Objetivos .....	37
1.4. Hipótesis.....	38
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>39</b>
2.1. Tipo de investigación .....	39
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	39
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	39
2.4. Procedimiento .....	40
2.5. Aspecto Ético.....	51
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
3.1. Resultados del NDVI .....	52

<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
4.1. Discusión .....	55
4.2. Conclusiones.....	70
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Característica imagen Landsat 5 .....	23
Tabla 2. Característica imagen Landsat 7 .....	24
Tabla 3. Características imagen Landsat 8.....	26
Tabla 4. Clasificación de la Cobertura Vegetal.....	32
Tabla 5. Ficha de adquisición de imagen. ....	44
Tabla 6. Clasificación del NDVI .....	49
Tabla 7. Vegetación escasa 2003.....	50
Tabla 8. Vegetación escasa 2019.....	50
Tabla 9. Rango del NDVI para el año 2003 en la microcuenca – Landsat 5 .....	52
Tabla 10. Rango del NDVI para el año 2005 en la microcuenca – Landsat 5 .....	52
Tabla 11. Rango del NDVI para el año 2008 en la microcuenca – Landsat 5 .....	53
Tabla 12. Rango del NDVI para el año 2013 en la microcuenca – Landsat 8 .....	53
Tabla 13. Rango del NDVI para el año 2019 en la microcuenca – Landsat 8 .....	53
Tabla 14. Variación de áreas de vegetación en la microcuenca Porcón para el periodo 2003 - 2019 .....	54
Tabla 15. Porcentaje de NDVI para el año 2003.....	68
Tabla 16. Porcentaje del NDVI para el año 2019.....	68
Tabla 17. Resultados del promedio anual de NDVI .....	69
Tabla 18. Procesamiento de áreas (Vegetación escasa -2003).....	81
Tabla 19. Procesamiento de áreas (vegetación medianamente densa – 2003).....	84
Tabla 20. Procesamiento de áreas (vegetación densa – 2003) .....	87
Tabla 21. Procesamiento de áreas (vegetación escasa – 2019) .....	91
Tabla 22. Procesamiento de áreas (vegetación medianamente densa – 2019).....	94

Tabla 23. Procesamiento de áreas (vegetación densa – 2019) .....96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección.....	20
Figura 2. Espectro electromagnético.....	22
Figura 3. Curvas de reflectancia espectral de cuatro diferentes objetivos .....	29
Figura 4. Referencia del área de estudio de la Microcuenca Porcón .....	42
Figura 5. Plataforma United States Geological Survey .....	43
Figura 6. Corte del área de estudio .....	46
Figura 7. Falso Color (Landsat 8, Sentinel 2B), (Gis & Beers, 2017).....	48
Figura 8. Variabilidad temporal y espacial de la vegetación en la microcuenca del río Porcón .....	55
Figura 9. Clasificación de la cobertura vegetal con NDVI para 2003 .....	56
Figura 10. Clasificación de la cobertura vegetal con NDVI para 2019 .....	57
Figura 11. NIR (Región Espectral del Infrarrojo Cercano) – 2003 .....	60
Figura 12. NIR (Región Espectral del Infrarrojo Cercano) – 2019 .....	62
Figura 13. RED (Región Espectral Roja) – 2003 .....	64
Figura 14. RED (Región Espectral Roja) - 2019.....	66
Figura 15. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) 2003 .....	79
Figura 16. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) 2019.....	80



## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Índice de Vegetación Diferencial – NDVI.....	48
Ecuación 3. NDVI para Landsat 5 .....	48
Ecuación 4. NDVI para Landsat 8.....	49

## RESUMEN

La presente investigación se centró en el uso de imágenes satelitales, con el objetivo de determinar la variabilidad temporal y espacial de la vegetación en la microcuenca del río Porcón durante el periodo 2003 – 2019, mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), para verificar los cambios de cobertura vegetal. La metodología consistió primero en determinar el área de la microcuenca a trabajar (7438.59 ha), luego analizar imágenes satelitales Landsat 5 para los años 2003 al 2011 y Landsat 8 para 2013 hasta 2019, seguido de correcciones y análisis a fin de calcular el NDVI para el periodo de estudio, clasificándose por rangos de vegetación, asimismo su promedio para realizar la distribución temporal. Los resultados demostraron que la presencia de cobertura vegetal en la microcuenca del río Porcón, ha sido descendente y ascendente. La vegetación clasificada como escasa tuvo en descenso de 7.6% a 6.18% del año 2003 al 2019 respectivamente, de igual manera la vegetación medianamente densa también descendió de 73.97% a 72.5%; de acuerdo al promedio del NDVI de la microcuenca se estableció un índice de 0.6 que demuestra una vegetación densa en promedio.

**Palabras clave:** Imágenes Landsat 8, Imágenes Landsat 5, Teledetección, Multiespectral

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Desde hace años y hasta la actualidad nuestro planeta Tierra viene atravesando una de las crisis ambientales más preocupantes, el cambio climático, que como consecuencia principal tiene la afectación a la vegetación y a la humanidad. El factor principal que conlleva a un desplazamiento de los biomas, las grandes unidades de vegetación, especialmente la más densa, es el ser humano, ya que, necesitamos viviendas, alimentos y contamos con otras necesidades, las mismas que para ser suplidas, origina cambio de la cobertura vegetal. (Sánchez, 2019)

En el Perú, la influencia de la cordillera de los Andes y la corriente marina de Von Humboldt influye en la diversidad de ecosistemas, los mismos que presentan características particulares dependiendo de la zona donde se encuentre un ejemplo notorio, es la sierra con sus diferentes características de paisaje – geomorfológicas.

Según De Petre et al Vidal (2012), el departamento de Cajamarca, se encuentra ubicado en la parte norte del país, presenta una gran diversidad ecológica con altitudes que van desde los 175 (Cerro Pitura-Contumazá) a 4,496 m.s.n.m. (Cerro Rumi Rumi-Sitacocha-Cajabamba). Su territorio abarca parte de la vertiente occidental y oriental de los Andes, cubre una extensión de 3'295,263.84 has. Por otro lado, los problemas ambientales como la deforestación, también clasificada como vegetación escasa o suelo desnudo es donde se intensifica el efecto de erosión que se puede apreciar con más detalle en los valles interandinos (parte media y baja de las cuencas) debido a factores como: tala, quema, expansión de la frontera agrícola, expansión urbana; causando la remoción de la materia orgánica y disminución de la densidad de la vegetación.

Los desequilibrios ambientales que se presentan en la microcuenca Porcón por la intervención antrópica en la cobertura vegetal influye negativamente en los tipos suelos de la microcuenca, siendo vulnerables a la erosión. (Sacristan, 2005)

Los sistemas de información geográfica y la teledetección son una gran herramienta que nos proporciona información valiosa sobre el crecimiento, ausencia de vegetación o vegetación no saludable en un área determinada. (Díaz, 2015)

Sacristán (2005) indica que desde la antigüedad diversos investigadores han utilizado las técnicas satelitales como una oportunidad para estudiar muchos campos de la ingeniería, y el medio ambiental no es ajeno a ello. De esta manera, se hace presente el continuo monitoreo de la vegetación, áreas, ubicación y procesos en tiempo real, eliminando limitaciones espacio temporales que existen hoy en día, permitiendo obtener resultados confiables en grandes regiones geográficas. (autor)

La adecuada planificación de las actividades humanas está en función de la situación actual y la valoración de los ecosistemas, reduce los impactos negativos (degradación del medio ambiente) que se han venido sufriendo hasta la fecha. (Cruz, Gallego y Gonzáles, 2009)

Debido a los escasos de información en la microcuenca Porcón sobre el estado de la vegetación, la evolución de la cobertura vegetal, el cuidado de los recursos naturales y la degradación por la actividad antrópica se ha planteado la presente investigación que permitirá aportar la variabilidad espacio- temporal del desarrollo de la vegetación para un mejor conocimiento, gestión y monitoreo. Para ello, se ha empleado imágenes satelitales LANDSAT 8, y mediante el método de clasificación de coberturas e índices de vegetación como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en la

microcuenca Porcón se distribuirá el estado de la cobertura vegetal clasificada según el NDVI.

Esta investigación pretende reflejar una metodología remota para la generación de información que promueva el conocimiento y la vigilancia ambiental a través de monitoreos satelitales que permitan difundir datos que concienticen a la población e involucren a los gobiernos locales y regionales a una adecuado y eficiente aprovechamiento de nuestros recursos naturales, preservando las riquezas de nuestra región y reduciendo los impactos sufridos hasta la actualidad.

### **1.1.1. Antecedentes**

Un estudio realizado por Osuna et al. (2015) en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010 evaluó el impacto de las actividades antropogénicas en la cuenca en un periodo de 16 años utilizando imágenes satelitales Landsat. Las actividades humanas han desencadenado en mayor grado el cambio de uso de suelo y por ende la pérdida de cobertura vegetal ha aumentado como consecuencia de factores demográficos y económicos. El área de estudio abarcó una expansión territorial de 7 446 km<sup>2</sup>; se realizó una clasificación supervisada obteniéndose que, en el año 2010, predominaron los bosques (34.6%), seguidos por zona agrícola y por último pastizales. La superficie forestal en 1994 fue de 333 866 ha y para 2010 disminuyó a 60 490 ha, con una tasa de deforestación media anual de -1.1%, las actividades agropecuarias influyeron en la disminución de cobertura vegetal en dicha cuenca utilizándose 6 206 ha de selva y 46 774 ha de bosque, 26% y 15.1%, respectivamente. De todo el estudio realizado se concluye que el incremento de actividades agrícolas en la cuenca del río Tecolutla ha sido la principal causa de la pérdida de cobertura vegetal (selvas y bosques).

Manchego (2017) en su investigación acerca de la variabilidad espacio – temporal de la vegetación en la cuenca Quilca – Chili durante el periodo 2005 – 2015, tuvo como objetivo principal evaluar la variabilidad espacio-temporal de la vegetación de la Cuenca Quilca - Chili mediante el uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que ayudó a determinar la presencia o ausencia de cubierta vegetal. El método de trabajo se basó en el cálculo de NDVI para cada una de las 33 imágenes obtenidas del satélite Landsat 5 (para los años 2005 - 2011) y Landsat 7 (para los años 2012 - 2015), utilizando la herramienta “Calculadora Ráster” del software ArcGis. Los resultados obtenidos fueron un comportamiento cíclico o estacional de vegetación existiendo fluctuaciones ascendentes y descendentes a lo largo del tiempo, identificándose los siguientes periodos: primer periodo del 2005 al 2006 donde asciende y luego desciende en el 2007; segundo periodo donde asciende del 2007 al 2008 y vuelve a caer en el 2010; tercer periodo donde asciende del 2010 al 2012 para luego caer en el 2014; y finalmente un cuarto periodo donde asciende del 2014 al 2015. El mayor incremento de valor de NDVI registrado fue de 2010 a 2012, el promedio de NDVI paso de 0,110 a 0,135. Además, la evolución de la vegetación resultó que para la vegetación alta los años 2005, 2007 y 2010 presentaron los menores porcentajes y el año 2012 presentó el mayor porcentaje (2,78 %), para la media se incrementa en el año 2012 (15,65%) y disminuye en el año 2005 (5.21%) y para la vegetación ligera el mayor registro fue en el año 2013 (44,37%), mientras que el 2005 registro menor porcentaje (37,64%).

Alegre, K. (2017) en su estudio realizado de cambios de la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal, tuvo como objetivo evaluar los cambios

que se han dado en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos durante el transcurso de los años de 1997 al 2017, debido a los cambios que se han observado actualmente en la cubierta vegetal, esto a partir del comportamiento del desarrollo vegetal a través del análisis de imágenes satelitales. El área total de estudiada abarco 6999051.38 hectáreas, las imágenes utilizadas fueron del satélite Landsat 5 para 1997 y Landsat 8 para el 2017, así mismo los valores estandarizados de NDVI obtenidas para la clasificación y estimación de la cantidad de coberturas vegetales fueron de: cercanos a 0 (cobertura vegetal rala y superficies desnudas), menores a 0.5 (cubierta vegetal temporal), mayores a 0.5 (cobertura vegetal permanente). Los resultados obtenidos de unidades de cobertura vegetal fueron 7, siendo el de tipo pajonal andino con la mayor extensión de terreno (348192.49 ha); para el NDVI se obtuvieron 36 categorías de coberturas vegetales, agrupándose en solo tres, para el año 1997: cobertura permanente (300094.33 ha), cobertura temporal (267443.01 ha) y cobertura rala y superficie desnuda (131514 ha); para el año 2017: cobertura permanente (226916.90 ha), cobertura temporal (303417.13 ha) y cobertura rala y superficie desnuda (162717.35 ha), constatándose que para el año 2017 la cobertura vegetal permanente disminuyo en un 10.5 %, a una tasa anual de 1.4% ha, entre tanto la cobertura temporal ascendió para el año 2017 en un 6%, a una tasa anual de 0.7%, terminando con la cobertura vegetal rala y superficie desnuda que para el año 2017 ascendió en un 4.5%, a una tasa anual de 1.1%. En definitiva, los cambios ocurridos en la cubierta vegetal de la provincia de Yauyos para los años 1997 al 2017, han evidenciado una pérdida para la cobertura permanente, vegetación considerada irrecuperable porque se necesita de varios años para su desarrollo, así como gran volumen de precipitaciones. (Alegre, 2017)

Alencar et al (2019) en su investigación sobre la variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del río Moxotó, Pernambuco, Brasil, debido a que la pérdida de vegetación en dicha cuenca está dada por la intensa variabilidad pluvial y la retirada de vegetación para consumo energético. El objetivo principal fue analizar la variabilidad de la cobertura vegetal por medio del diagnóstico de pérdidas y ganancias de vegetación arbórea y arbustiva durante el período de 1984 a 2011, mediante la aplicación de los índices de vegetación NDVI y SAVI; el área total de estudio abarcó 9752.71 km<sup>2</sup> y las imágenes utilizadas 84 del satélite Landsat 5 (TM). De acuerdo a los resultados obtenidos para NDVI, se definieron tres categorías: categoría 1 (vegetación de baja densidad, 0,25 – 0,50), categoría 2 (vegetación de mediana densidad, 0,50 – 0,75) y categoría 3 (vegetación de alta densidad, 0,75 – 1); por lo que durante los 27 años de análisis para la categoría de baja densidad se mantuvo conservada, la categoría de mediana densidad presentó la mejor conservación y para la categoría tres de alta densidad presentó muy baja presencia de vegetación. Finalmente se constató que la vegetación de menor densidad de cobertura fue la más abundante en el área de la cuenca, con un valor de crecimiento de 0,521%, para la vegetación de densidad mediana es la segunda más abundante, con una tasa de variación de 7.1% y la vegetación de mayor densidad y menos abundante, indicaron pérdida de la vegetación con -4.91%.



## **1.1.2. Definiciones conceptuales**

### **1.1.2.1. Teledetección**

Según Segado (1996) es la capacidad de obtener información de un objeto sin mantener contacto físico con él; este término se restringe a aquellos métodos que emplean la energía electromagnética reflejada o irradiada por los objetos; según Pérez & Muñoz (2006) en el ámbito de las ciencias de la tierra, la teledetección es entendida como una técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales.

Esta técnica, que permite adquirir información de un objeto a distancia, se basa en que los materiales de la superficie terrestre tienen una respuesta espectral propia, por lo que son capaces de identificarlos. Por lo que, es importante contar con instrumentos capaces de registrar la radiación procedente de la tierra y de transformarla en una señal susceptible de ser manipulada de forma analógica o de forma digital. (Segado, 1996)

### **1.1.2.2. Teledetección y Recursos Naturales**

La teledetección es una herramienta que ha influido positivamente al cuidado del medio ambiente, con sus satélites Landsat destinado especialmente para el estudio de los recursos naturales; estos satélites están provistos de sensores remotos de varios tipos, uno de ellos el de barrido multiespectral que registra la energía reflejada por la superficie terrestre en las regiones verde, roja e infrarroja del espectro electromagnético; la información adquirida de estos satélites nos ayuda en el reconocimiento de la naturaleza de la superficie asimismo la detección de grandes cambios en esta. (Sacristán, 2005)

Los datos obtenidos a través de estos servicios nos brindan ciertos aspectos de los ecosistemas difíciles de estudiar, lo que contribuye a su reconocimiento y funcionamiento, como detección de enfermedades en las plantas, efectos de estrés, transpiración entre otras, además nos permite seguir la evolución de grandes extensiones de la cubierta vegetal, tener una mejor visión de cómo han ido transformándose en largos periodos de tiempo. (Sacristán, 2005)

### 1.1.2.3. Componentes de un Sistema de teledetección

El fenómeno de la teledetección es posible por la interacción de la energía electromagnética con las cubiertas terrestres. Estas tienen un comportamiento reflectivo variable, condicionado tanto por factores externos (ambientales) como por sus propias características físico químicas en el momento de la toma de imagen. (Pérez & Muñoz, 2006)

Un sistema de teledetección incluye los siguientes elementos: (Según Chuvieco, 1996)

- ✓ **Fuente de Energía:** Es originado de la radiación electromagnética que el sensor va a captar. Puede tratarse de una fuente pasiva como la luz solar o activa cuando es emitida por el sensor que luego capta el reflejo (como el radar).
- ✓ **Cubierta terrestre:** Son los rasgos naturales o realizados por el hombre (vegetación, suelo, rocas, construcción, etc.) que refleja la señal hacia el sensor.
- ✓ **Sistema sensor:** Compuesto por el sensor propiamente dicho (cámaras, radar, etc.) y la plataforma que lo alberga (satélite, avión, globo). Tiene

la misión de captar la energía proveniente de la cubierta terrestre y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

- ✓ **Sistema de recepción-comercialización:** Es el que recibe la información del sistema sensor, la guarda en formato apropiado y la distribuye a los usuarios.
- ✓ **Interprete:** quien convierte los datos en información temática de interés (agricultura, forestal, geografía, catastro, medio ambiente, militar, etc.) ya sea mediante procedimientos y técnicas visuales o digitales.
- ✓ **Usuario final:** Es el beneficiario del documento fruto de la interpretación, así como de decidir sobre las consecuencias que de él deriven.

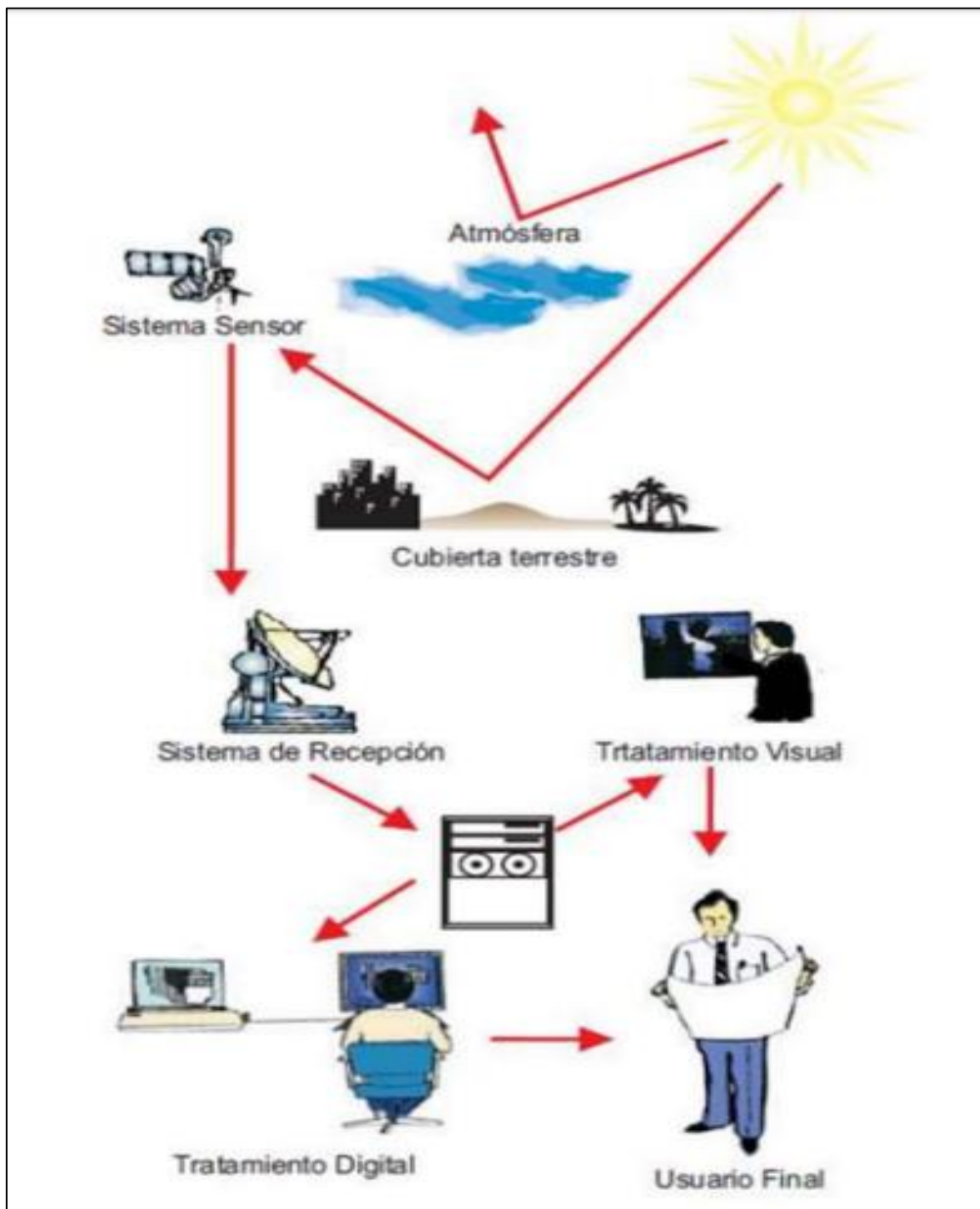


Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección.

Fuente: Chuvieco, 1996

#### 1.1.2.4. Espectro electromagnético

Flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas. Esta radiación puede ser de origen natural o artificial. El espectro electromagnético es el conjunto de todas las frecuencias (número de ciclos de la onda por unidad de tiempo) posibles a las que se produce radiación electromagnética. (Luque, 2017)

**Regiones espectrales utilizadas para la observación remota de la tierra** (Bravo, 2017).

- ✓ **Espectro visible (0.4 - 0.7  $\mu\text{m}$ ):** Rango de frecuencias del ojo humano. Máxima radiación solar. Subdividido en tres bandas: Rojo (0.6 - 0.7  $\mu\text{m}$ ), Verde (0.5 - 0.6  $\mu\text{m}$ ) y Azul (0.4 - 0.5  $\mu\text{m}$ ).
- ✓ **Infrarrojo cercano (0.7 - 1.1  $\mu\text{m}$ ):** Denominado IR fotográfico o reflejado. Energía solar que reflejan los cuerpos. Comportamiento similar al espectro visible.
- ✓ **Infrarrojo medio (1.1 – 8  $\mu\text{m}$ ):** Se entremezclan radiación solar y emisión. La atmósfera afecta sensiblemente: aprovechado para medir concentraciones de vapor de agua, ozono, aerosoles.
- ✓ **Infrarrojo térmico (8 - 14  $\mu\text{m}$ ):** Radiaciones emitidas por los propios cuerpos. Se puede determinar la Temperatura de un cuerpo (IR térmico). Se puede disponer de imágenes a cualquier hora del día.
- ✓ **Microondas (1mm-1m):** Interés creciente de la Teledetección en esta banda. Las perturbaciones atmosféricas son menores y es transparente a las nubes. Se suelen utilizar sensores activos.

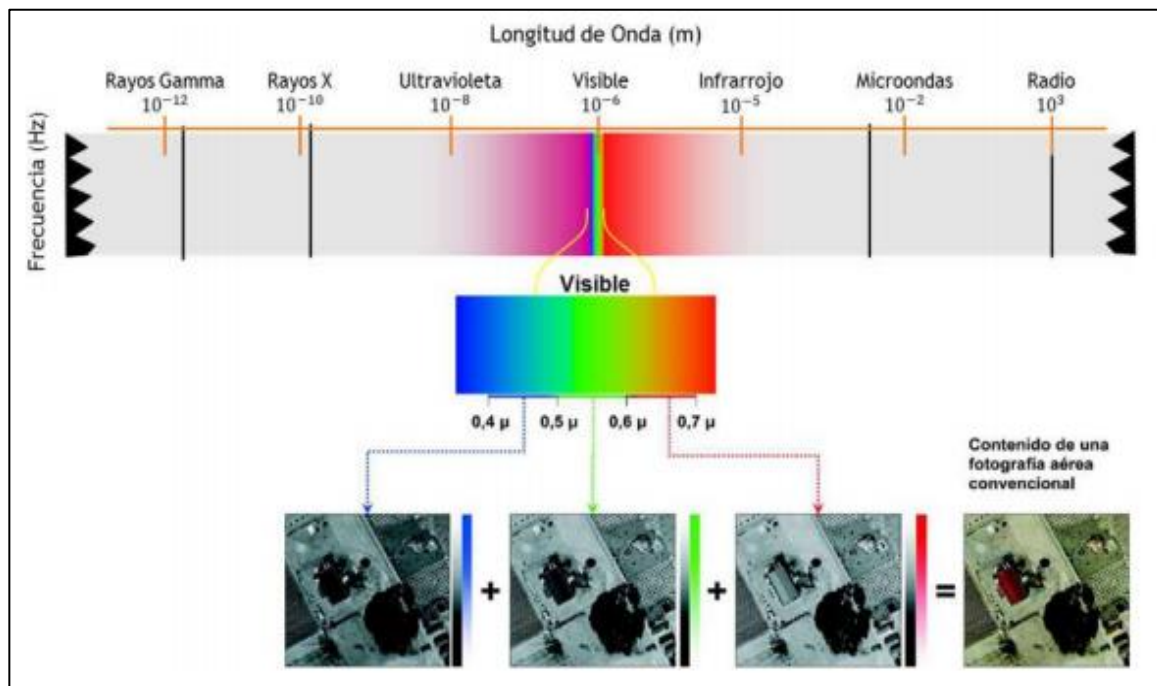


Figura 2. Espectro electromagnético

Fuente: Bravo, 2017

#### 1.1.2.5. Imágenes Satelitales

La serie de satélites estadounidenses Landsat constituye el programa de mayor trayectoria en adquisición de imágenes de nuestro planeta. El primer instrumento se lanzó en 1972.

**Landsat 5:** se lanzó en 1984, es idéntico al Landsat 4. Fue operado por Earth Observation Company (EOSAT) y posee el récord como satélite de observación terrestre de mayor tiempo de actividad en la historia con 29 años de servicio. Transmitió más de 2.5 millones de imágenes. (Franco, 2017)

Sus aplicaciones se extienden a campos como la detección de cambios globales, agricultura, calidad del agua y administración de recursos. Tiene dos sensores: Escaner Multi-Espectral (MSS) y el Mapeo Telemático (TM). MSS tiene una Distancia Terráquea de Muestreo (GSD) de 60m and el TM tiene una GSD de 30m, ambas con un tiempo de revisita de 16 días. (GOCENTRO, earth imaging).

Tabla 1

*Característica imagen Landsat 5*

<b>Landsat 5</b>	<b>Sensor</b>	<b>Longitud de</b>	<b>Resolución</b>	<b>Resolución</b>
<b>Banda</b>		<b>Onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Espacial (m)</b>	<b>Radiométrica</b>
1 - Verde	MSS	0.50 – 0.60	60	8 bits
2 - Rojo	MSS	0.60 – 0.70	60	8 bits
3 – Infrarrojo Cercano (NIR1)	MSS	0.70 – 0.80	60	8 bits
4 – Infrarrojo Cercano (NIR 2)	MSS	0.80 – 1.10	60	8 bits
1 – Azul	TM	0.45 – 0.52	30	8 bits
2 – Verde	TM	0.52 – 0.60	30	8 bits
3 – Rojo	TM	0.63 – 0.69	30	8 bits
4 – Infrarrojo Cercano (NIR)	TM	0.76 – 0.90	30	8 bits
5 – Onda corta infrarroja (SWIR) 1	TM	1.55 – 1.75	30	8 bits
6 – Thermal	TM	10.40 – 12.50	120 *(30)	8 bits
7 – Onda corta infrarroja (SWIR) 2	TM	2.08 – 2.35	30	8 bits

Band TM 6 fue adquirida a una resolución de 120 metros, pero el producto se vuelve a muestrear a los píxeles de 30 metros.

**Fuente:** Bravo, 2019

**Landsat 7:** Este satélite fue lanzado el 15 de abril de 1999. Su operación es administrada por la NASA (National Space and Space Administration) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (United States Geological Survey). LANDSAT-7 ha proporcionado, durante 16 años, una gran cantidad de imágenes las cuales han sido utilizadas para detectar el uso de la tierra a largo plazo. (GOCENTRO, earth imaging)

Su sensor multi-espectral proporciona imágenes desde 15m hasta 60m (ver tabla 1) con un tiempo de revisita de 16 días. (GOCENTRO, earth imaging)

Tabla 2

*Característica imagen Landsat 7*

Landsat 7 Banda	Sensor	Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución	
			Espacial (m)	Resolución Radiométrica
1 – Azul	TM+	0.45 – 0.52	30	8 bits
2 – Verde	TM+	0.52 – 0.60	30	8 bits
3 – Rojo	TM+	0.63 – 0.69	30	8 bits
4 – Infrarrojo Cercano (NIR)	TM+	0.76 – 0.90	30	8 bits
5 - Onda Corta Infrarroja (SWIR) 1	TM+	1.55 – 1.75	30	8 bits
6 – Thermal	TM+	10.40 – 12.50	30 * (30)	8 bits



Landsat 7 Banda	Sensor	Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución	
			Espacial (m)	Resolución Radiométrica
6 – Onda Corta Infrarroja (SWIR) 2	TM+	2.08 – 2.35	30	8 bits
7 – Pancromática	TM+	0.52 – 0.90	15	8 bits

ETM+ Band 6 se adquiere a una resolución de 60 metros, pero el producto se vuelve a muestrear a los píxeles de 30 metros.

**Fuente:** Bravo, 2019

**Landsat 8:** Lanzado el 11 de febrero de 2013, es un satélite óptico de resolución media cuyo objetivo es proporcionar información para actividades relacionadas con la agricultura, la educación, los negocios, la ciencia y también en el ámbito estatal. Este satélite contiene dos sensores: Sensor operacional de imágenes de tierra (OLI) y un Sensor Infrarrojos Térmico (TIRS). (Bravo, 2019)

OLI está formado por 9 bandas espectrales que van desde lo visible pasando por los infrarrojos hasta el espectro de radiación de bajas ondas. (Bravo, 2019)

TIRS está compuesto por dos bandas espectrales, las cuales detectan infrarrojas térmicos, una herramienta imprescindible para medir la temperatura de la superficie de la Tierra. (Bravo, 2019)

*Tabla 3*

Características imagen Landsat 8

<b>Landsat 8</b>		<b>Longitud</b>	<b>Resolución</b>	
<b>Banda</b>	<b>Sensor</b>	<b>de Onda</b>	<b>Espacial</b>	<b>Resolución</b>
		<b>(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>(m)</b>	<b>Radiométrica</b>
1 – Ultra azul (costero/aerosol)	OLI	0.43 – 0.45	30	16 bits
2 – Azul	OLI	0.45 – 0.51	30	16 bits
3 - Verde	OLI	0.53 – 0.59	30	16 bits
4 - Rojo	OLI	0.64 – 0.67	30	16 bits
5 – Infrarrojo Cercano (NIR)	OLI	0.85 – 0.88	30	16 bits
6 – Onda Corta Infrarrojo (SWIR)1	OLI	1.57 – 1.65	30	16 bits
7 – Onda Corta Infrarroja (SWIR) 2	OLI	02.11 – 02.29	30	16 bits
8 – Pancromática	OLI	0.50 – 0.68	30	16 bits
9 – Cirrus	OLI	1.36 – 1.38	15	16 bits
10 – Infrarrojo térmico 1	TIRS	10.60 – 11.19	100* (30)	16 bits

Landsat 8 Banda	Sensor	Longitud	Resolución	Resolución Radiométrica
		de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Espacial (m)	
11 – Infrarrojo térmico 2	TIRS	11.50 – 12.51	100* (30)	16 bits

Bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a muestrear a 30 metros de producto entregado datos.

**Fuente:** Bravo, 2019

#### 1.1.2.6. Tratamiento de Imágenes Satelitales

Manipulación de una imagen digital (cuentas digitales) con ayuda de un ordenador con propósitos de corrección, perfeccionamientos, extracción de información, etc.; el objetivo principal de estas es facilitar la búsqueda e interpretación de la información contenida en ellas. (Jiménez et al, 2011)

Para llegar desde la imagen original al conjunto de parámetros e información extraída de la misma, es necesario pasar por distintas etapas de procesamiento y filtrado donde se analiza la imagen y se adecua para cierta aplicación específica. (Jiménez et al, 2011)

#### **Corrección de Imágenes:**

Para poder obtener información de la superficie terrestre y realizar estudios medioambientales a partir de imágenes de teledetección, previamente es necesario realizar una serie de correcciones o pre-procesado de dichas imágenes. (Jiménez et al, 2011)

### **A. Corrección radiométrica**

Trata los valores de píxel de una imagen del satélite para obtener valores de intensidad homogéneas equilibrando histogramas o corrigiendo imperfecciones presentes en los píxeles, estas distorsiones pueden deberse a fallos de los propios sensores, alteraciones en el movimiento del sensor o instrumento a bordo del satélite. (Gis & Beers, 2018)

### **B. Corrección Geométrica**

Intenta eliminar una serie de distorsiones con respecto a la imagen real, “recolocando” los píxeles, y rellenando los “huecos” existentes.

### **C. Corrección Atmosférica**

Es el proceso a través del cual es eliminada de la señal detectada por el sensor la perturbación producida por la atmosfera, estas perturbaciones se producen por los procesos de absorción y dispersión debido a los componentes de la atmosfera.

#### **1.1.2.7. Firma Espectral**

La firma espectral es la reflectancia como una función de longitud de onda; cada material tiene una firma única, por lo tanto, se puede utilizar para la clasificación de materiales. (Bravo, 2019)

Las firmas espectrales muestran la variación de la radiación reflejada por los objetos en función de la longitud de onda. Este comportamiento físico puede ser tenido en cuenta en los análisis multiespectrales para reconocer elementos particulares en las imágenes aéreas. De esta forma, analizando canales de operación y sus niveles de reflectancia, podremos fotointerpretar y trabajar la base de la teledetección. (Gis & Beers, 2017)

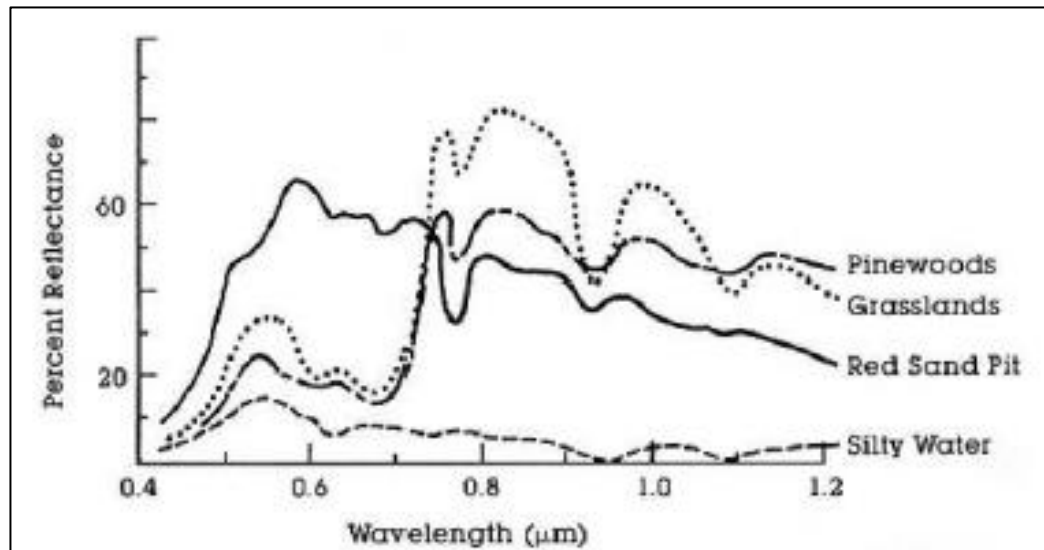


Figura 3. Curvas de reflectancia espectral de cuatro diferentes objetivos

Fuente: NASA, 2007

#### 1.1.2.8. Índice de Vegetación

Parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y que es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilbert et al, 1997). También, corresponde a un número generado por un número generado por alguna combinación de bandas espectrales y que puede tener alguna relación con la cantidad de vegetación presente en un pixel dado. (Muñoz, 2013).

- **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI**

Es un índice usado para medir la diferencia normalizada entre las reflectancias del rojo y del infrarrojo cercano, proporcionando una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal y vigorosidad en áreas extensas. (Bravo, 2019)

### 1.1.2.9. Cuenca

Se refiere al espacio de terreno por las partes más altas de las montañas, laderas y colinas, en ella se desarrolla un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un río principal el cual integra al mar, lago u otro río más grande. Este espacio se puede delimitar con una carta altimétrica, siguiendo la divorcia de las aguas “divortium aquarum”. (Jiménez, 2000)

La cuenca es el lugar donde el hombre realiza todas sus actividades, ya sea se infraestructura u otras intervenciones por lo que no hay ningún punto en la tierra que no corresponda a una cuenca. (Jiménez, 2000)

#### 1.1.2.9.1. Clasificación

Por el sistema de drenaje y conducción final (Ordoñez, 2011):

- a) **Exorreicas**, cuando las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o mar.
- b) **Endorreicas**, cuando sus aguas desembocan en lagos o lagunas que no tienen comunicación al mar.
- c) **Arreicas**, cuando sus aguas se evaporan o se filtran en el terreno sin formar corrientes de agua superficial.

Por el grado de concentración de la red de drenaje (Ordoñez, 2011):

- a) **Cuenca**, sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas.
- b) **Subcuenca**, es toda el área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca, varias subcuencas pueden formar una cuenca.
- c) **Microcuenca**, es toda el área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de una subcuenca.

#### **1.1.2.10. Mapas Temáticos**

Un mapa temático según la ICA (International Cartographic Association), está diseñado para mostrar características o conceptos particulares, y no generales como ocurre en los mapas topográficos. Los mapas temáticos transmiten – comunican– a partir de representaciones gráficas de algún fenómeno del que conocemos alguna información que lo describe. (Membrado, 2015)

#### **1.1.2.11. Cobertura Vegetal**

Taboada (2011), indica que la cobertura del suelo puede ser representada básicamente por la cobertura vegetal de las plantas en desarrollo (su periodo vegetativo) o por sus residuos; comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisionómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. Además, se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como las áreas de cultivo.

### 1.1.2.11.1. Clasificación de la cobertura vegetal

Tabla 4

*Clasificación de la Cobertura Vegetal*

Región natural	Macroprovincia de Humedad	Formación Vegetal	Tipos de Cobertura Vegetal		Superficie	
					(ha)	(%)
			Bosque inundable de palmeras (aguajal)	5	570	4,33
					736	
			Bosque de terraza inundable por agua negra	1	215	0,95
					814	
			Bosque de llanura meándrica	2	117	1,65
					010	
			Bosque de terraza baja	7	091	5,52
					445	
			Bosque de terraza baja con castaña	20	497	0,02
		Bosque	Bosque de terraza alta	3	983	3,10
					722	
			Bosque de terraza alta con castaña	854	502	0,66
			Bosque de colina baja con shiringa	148	428	0,12
	Perhúmedo		Bosque de colina baja con castaña	204	329	0,16
Tropical (Selva baja)			Vegetación esclerófila de arena blanca (varillal)	54	370	0,04



Región	Macroprovincia	Formación	Tipos de Cobertura		Superficie		
			Vegetal	Vegetal	(ha)	(%)	
natural	de Humedad	Vegetal		Bosque de colina baja	23 991	18,67	
					362		
				Bosque de colina alta	1 975	1,54	
					221		
				Bosque de colina alta	375 624	0,29	
				del Divisor			
				Bosque de montaña	3 658	2,85	
					450		
				Herbazal hidrofítico	814 212	0,63	
				Herbazal y (pantano herbáceo)			
				sabana	Sabana hidrofítica de	6585	0,01
					palmeras		
					Bosque de terraza baja	157 382	0,12
					con paca.		
					Bosque de terraza alta	92 377	0,07
	con paca						
	Bosque	Bosque de colina baja	3 784	2,94			
	con Bambú	con paca	671				
		Bosque de colina alta	716 719	0,56			
		con paca					
		Bosque de montaña	3495	0,003			
		con paca					
		Bambusal	Pacal	29 444	0,02		
	Subhúmedo	Bosque	Bosque semideciduo	18 473	0,01		
			de montaña				

Región	Macroprovincia	Formación	Tipos de Cobertura		Superficie			
			Vegetal	Vegetal	(ha)	(%)		
Yunga	de Humedad	Vegetal		Bosque de terraza baja basimontano	3116	0,002		
				Bosque inundable de palmeras basimontano	4884	0,004		
				Bosque de terraza alta basimontano	370	0,0003		
				Perhúmedo - Semisaturado	Bosque	Bosque de montaña basimontano	7 650	5,95
							282	
						Bosque de montaña montano	3 072	2,39
							387	
						Bosque de palmeras de montaña montano	13 697	0,01
						Bosque de montaña altimontano	831 825	0,65
						Bosque con bambú		
		Bosque de montaña basimontano con paca	136 356	0,11				
Andina (Vertiente Occidental Andina e Interandina y Puna)	Húmedo - Semisaturado	Matorral	Matorral esclerófilo de montaña montano	2508	0,002			
			Matorral arbustivo altimontano	26 227	0,02			
			Semiárido	Sabana	Sabana xérica interandina	116 762	0,09	
					Bosque xérico interandino	441 182	0,34	
		Bosque relicto mesoandino	27 478	0,02				

Región	Macroprovincia	Formación	Tipos de Cobertura			Superficie									
			Vegetal			(ha)	(%)								
natural	de Humedad	Vegetal	Vegetal	Bosque	relictos	1160	0,001								
				Subhúmedo - superhúmedo	Herbazal y otras	mesoandino de coníferas	Bosque	montano	90 002	0,07					
							occidental andino	Bosque	relictos	101 533	0,08				
								altoandino (queñoal)	Jalca		153 674	0,12			
									Páramo		85 495	0,07			
									Pajonal andino		18 192	14,16			
											418				
									Bofedal		544 562	0,42			
									Matorral arbustivo		7 496	5,83			
											882				
									Matorral	Cardonal	2 564	2,00			
											734				
									Desecado - árido	Herbazal y otras	Tilandrial			7182	0,01
												Loma		256 901	0,20
Bosque	Bosque seco caribeño		30 235									0,02			
	Bosque seco tipo	sabana	1 409	1,10											
			839												
	Bosque seco de	lomada	157 036	0,12											
Costa	Superárido - semiárido	Bosque	Bosque seco de		33 267	0,03									

Región	Macroprovincia	Formación	Tipos de Cobertura		Superficie	
natural	de Humedad	Vegetal	Vegetal		(ha)	(%)
			Bosque seco de colina		454 285	0,35
			baja			
			Bosque seco de colina		300 391	0,23
			alta			
			Bosque seco de	1 279	1,00	
			montaña	156		
			Manglar	5644	0,004	
	Subhúmedo	Bosque	Bosque subhúmedo de	34 747	0,03	
			montaña			

**Fuente:** MINAN, 2015

#### 1.1.2.11.2. Cambio de la cobertura vegetal

Arriaga (2009) nos dice que los cambios de cobertura de suelo es una de las principales causas de la pérdida de cobertura vegetal, además de la disrupción de los ecosistemas naturales en fragmentos de diversos tamaños y, por tanto, la discontinuidad y aislamiento de su biodiversidad. Un ejemplo muy claro de cambio de cobertura es la deforestación de bosques; una evaluación de los Recursos Forestales Mundiales, en marzo de 2010 por la FAO concluyeron y expusieron la deforestación en 233 países, principalmente la conversión de bosques tropicales en tierras agrícolas ha disminuido, sin embargo, en otros países continúa en un ritmo alarmante. Asimismo, afirman que, a nivel mundial, se han transformado a otros usos. En América Latina, la FAO (2012:2018) estimó una pérdida neta de 88 millones de hectáreas de bosques (el 9% de la superficie forestal total). Las

principales causas de deforestación fueron la conversión a tierras cultivables y de pastoreo.

Otro factor de la pérdida de cobertura vegetal son los incendios forestales inducidos, los que tienen consecuencias catastróficas, estos son las causa de que cada año se quemen en el mundo entre 400 y 500 millones de hectáreas (FAO 2005)

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la variabilidad espacio temporal de la densidad de vegetación aplicando el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) en la microcuenca del río Porcón durante el periodo 2003 - 2019?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.2. Objetivo general

Determinar la variabilidad de vegetación espacial temporal en la microcuenca del río Porcón basado en el índice de vegetación de diferencia normalizada durante el periodo 2003 – 2019.

### 1.3.3. Objetivos específicos

Determinar el índice de vegetación de diferencia normalizada promedio de la microcuenca del río Porcón durante el periodo 2003 – 2019.

Generar mapas de distribución del índice de vegetación de diferencia normalizada para el año 2003 y 2019.

Generar mapas de distribución de acuerdo a la región espectral del infrarrojo cercano y región espectral roja para el año 2003 y 2019.

#### 1.4. Hipótesis

##### 1.4.2. Hipótesis general

En la microcuenca del río Porcón, el 70% del área se encuentra entre un  $0.3 < NDVI > 0.6$  para el periodo 2003 - 2019, indicando mayor área de vegetación medianamente densa para los años analizados.

##### 1.4.3. Hipótesis Especificas

La vegetación densa para el periodo 2003 - 2019 ha aumentado en más del 2%

La vegetación medianamente densa y escasa para el periodo 2003 - 2019 ha disminuido en al menos 1 %

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo correlacional, con diseño de investigación no experimental, de corte longitudinal, ya que, es un diseño que no manipula deliberadamente variables y se basa fundamentalmente en la observación de cambios a través de periodos de tiempo, tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos y hacer inferencias respecto al cambio (Hernández et al, 2014).

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### 2.2.1. Población

La población de estudio será en un área de 7438.59 ha correspondiente a la microcuenca del río Porcón, plasmada en una imagen satelital de 30x30m de resolución espacial.

#### 2.2.2. Muestra

Firmas espectrales de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) junto a la combinación de bandas espectrales 5,4 y 3.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### 2.3.1. Técnicas

La observación y el análisis espectral de las imágenes son las satelitales utilizadas en la presente investigación, que consiste en la clasificación de diferentes tipos de cobertura, en especial la vegetación y el estado en el que se encuentra. Para ello se ha utilizado los siguientes instrumentos de recolección de datos como el satélite Landsat, plataforma USGS, el software ArcGIS 10.5 y QGIS.

### 2.3.2. Instrumentos

Plataformas satelitales (USGS)

Programas de procesamiento y cartografiado (QGIS y ArcGIS)

### 2.4. Procedimiento

#### 2.4.1. Ubicación geográfica

La microcuenca Porcón tiene una extensión de 7438.59 ha, pertenece a la provincia de Cajamarca y departamento del mismo nombre; la cuenca a la que pertenece es el Crisnejas, la misma que corresponde a la vertiente del Atlántico, Oriental o del Marañón (Gobierno Regional de Cajamarca). Así mismo, la sub cuenca abastece de agua para el consumo humano a más del 70% de la población de la ciudad de Cajamarca, según el censo del INEI (2017), su capital en la actualidad cuenta con algo más de 220 mil habitantes, ubicada en las coordenadas Norte: 9208535 y Este: 774450.

#### **A. Clima**

La microcuenca del río Porcón se encuentran influenciadas por la corriente marina de Humboldt, aguas frías que provienen del Pacífico sur, por las corrientes cálidas procedentes de la zona ecuatorial ligadas al fenómeno del Niño y por la altitud de la cordillera de los Andes.

En época de lluvias (noviembre a marzo) éstas son abundantes y torrenciales, suele llover en las tardes y hacer calor abrasador en las mañanas hasta el mediodía. Los meses de abril a octubre los vientos son fuertes y fríos. (Arana, 2002)



## **B. Temperatura**

Según la información de temperaturas para la microcuenca del río Porcón oscila entre muy fría (05°C) y moderadamente cálida (+18°C). (Arana, 2002)

## **C. Hidrografía**

Hidrográfica y climatológicamente la zona tiene como río más importante el Río Porcón el cual se alimenta de pequeñas quebradas y vertientes que a manera de embudos colectores de aguas nacen en el cerro Quilish. (Arana, 2002).

## **D. Cobertura Vegetal**

La microcuenca del río Porcón se encuentra con las siguientes clasificaciones: Bosques y áreas mayor ente naturales, áreas agrícolas y áreas artificiales. (ZEE – Cajamarca)

## **E. Usos actuales de Suelo**

De acuerdo a la Zonificación Ecológica y Económica del Gobierno Regional de Cajamarca, la microcuenca del Río Porcón se encuentra principalmente dentro del uso agrícola. (ZEE – Cajamarca)

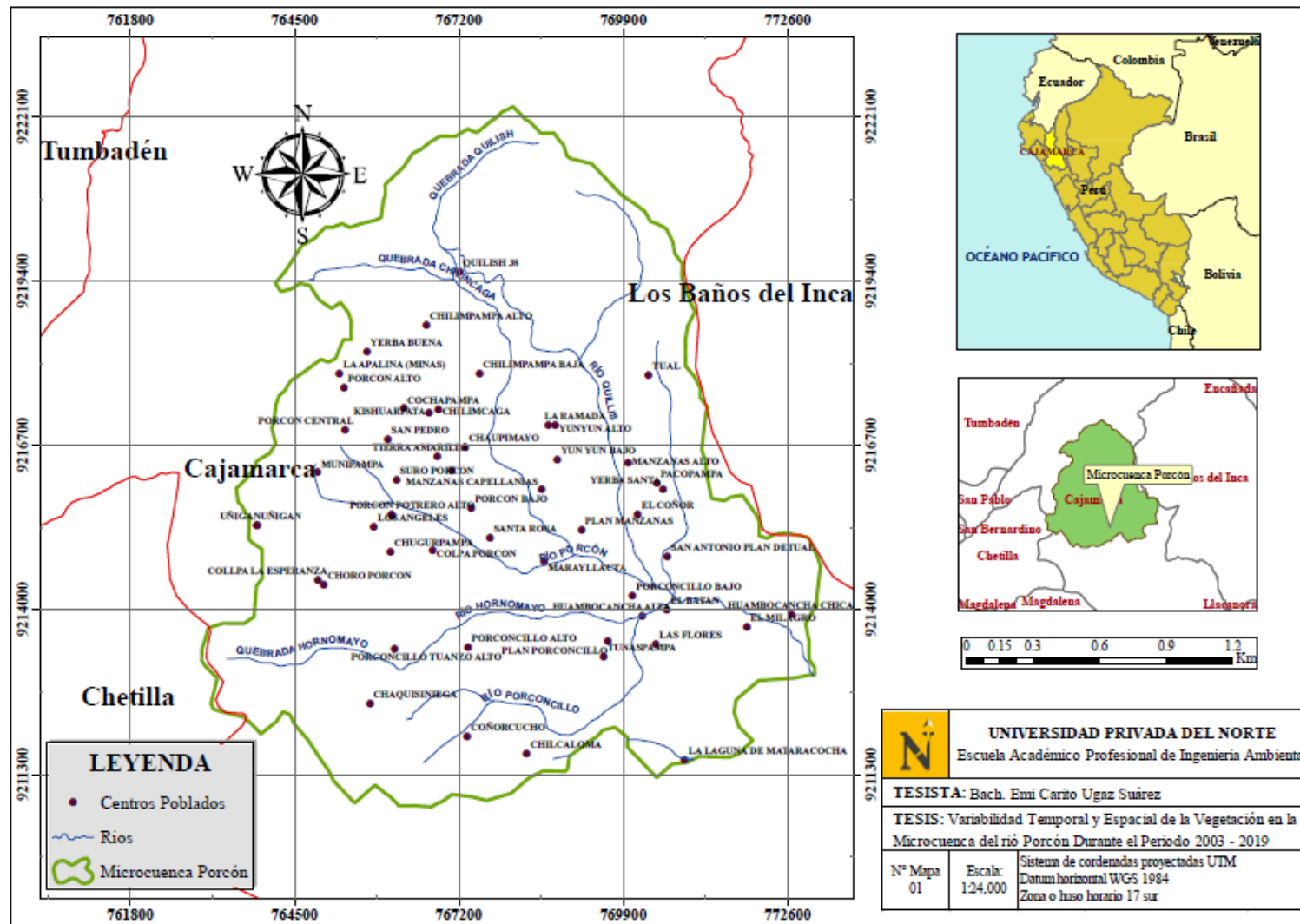


Figura 4. Referencia del área de estudio de la Microcuenca Porcón

#### 2.4.2. Descarga de datos

El portal de internet del Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS) sirvió de ayuda primordial para la obtención de las diferentes imágenes satelitales, Landsat 5 para los años 2003, 2005 y 2008, mientras que Landsat 8 se utilizaron para los años 2013 y 2019.

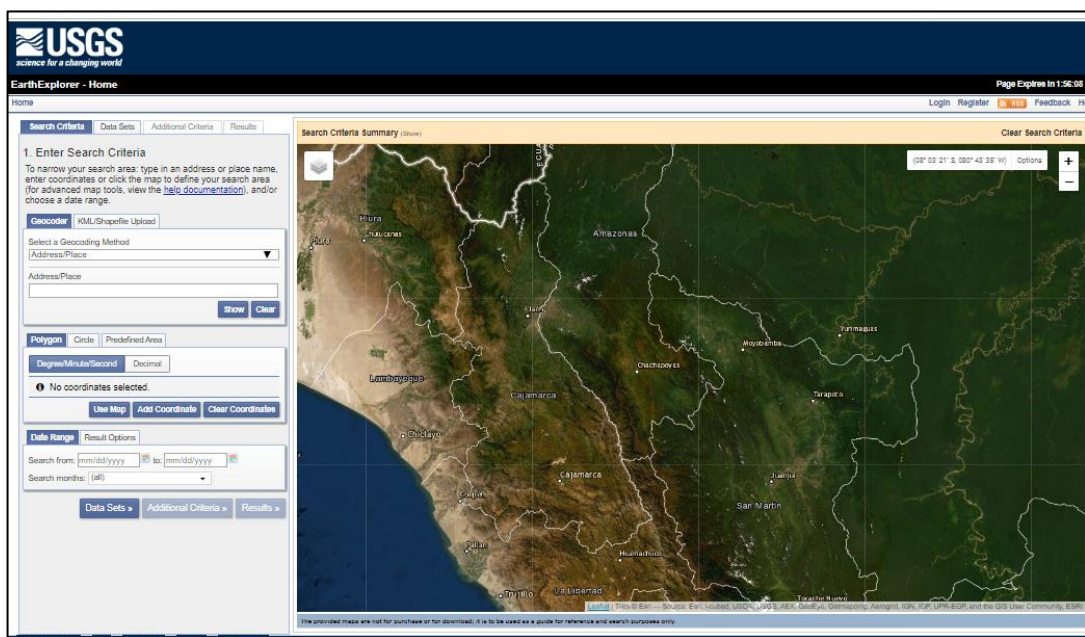


Figura 5. Plataforma United States Geological Survey

Fuente: USGS

Para ello se debe localizar el área referencial de nuestra zona de estudio, seguidamente colocar la fecha y seleccionar el sensor para adquirir una imagen con al menos 10% menos de nubosidad.

Finalmente se elige la imagen adecuada y se procede a descargar.

Tabla 5

*Ficha de adquisición de imagen.*

<b>Año</b>	<b>Satélite</b>	<b>Cobertura de nubes</b>
2003	Landsat 5	Menor a 10%
2004	Landsat 5	Menor a 10%
2005	Landsat 5	Menor a 10%
2006	Landsat 5	Menor a 10%
2007	Landsat 5	Menor a 10%
2008	Landsat 5	Menor a 10%
2011	Landsat 5	Menor a 10%
2013	Landsat 8	Menor a 10%
2014	Landsat 8	Menor a 10%
2015	Landsat 8	Menor a 10%
2016	Landsat 8	Menor a 10%
2017	Landsat 8	Menor a 10%
2018	Landsat 8	Menor a 10%
2019	Landsat 8	Menor a 10%

### 2.4.3. Recorte de la zona de estudio

Para realizar el corte de las imágenes descargadas, primero se realizó la delimitación de la cuenca hidrográfica partiendo de un modelo digital de elevación en ArcGIS, ya que el uso de herramientas y algoritmos de este software simplifican todo el proceso, que se puede resumir en dos pasos:

- Descargar el DEM
- Abrir ArcToolbox y delimitar la cuenca ingresando el ráster a las herramientas de *Spatial Analyst Tools*.

Una vez delimitada la cuenca se procede al corte del polígono a cada imagen satelital. Para los años menores al 2013 se trabaja con Landsat 5, ingresando el DEM en la caja de herramientas (*ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask*), y para las imágenes posteriores a dicho año se trabaja con Landsat 8 siguiendo el mismo procedimiento.

No olvidar que en Input ráster se debe cargar el DEM, Input ráster or feature mask data seleccionar el polígono (delimitación de la cuenca), y, Output ráster definir el directorio y nombre del ráster. (Bravo,2017).

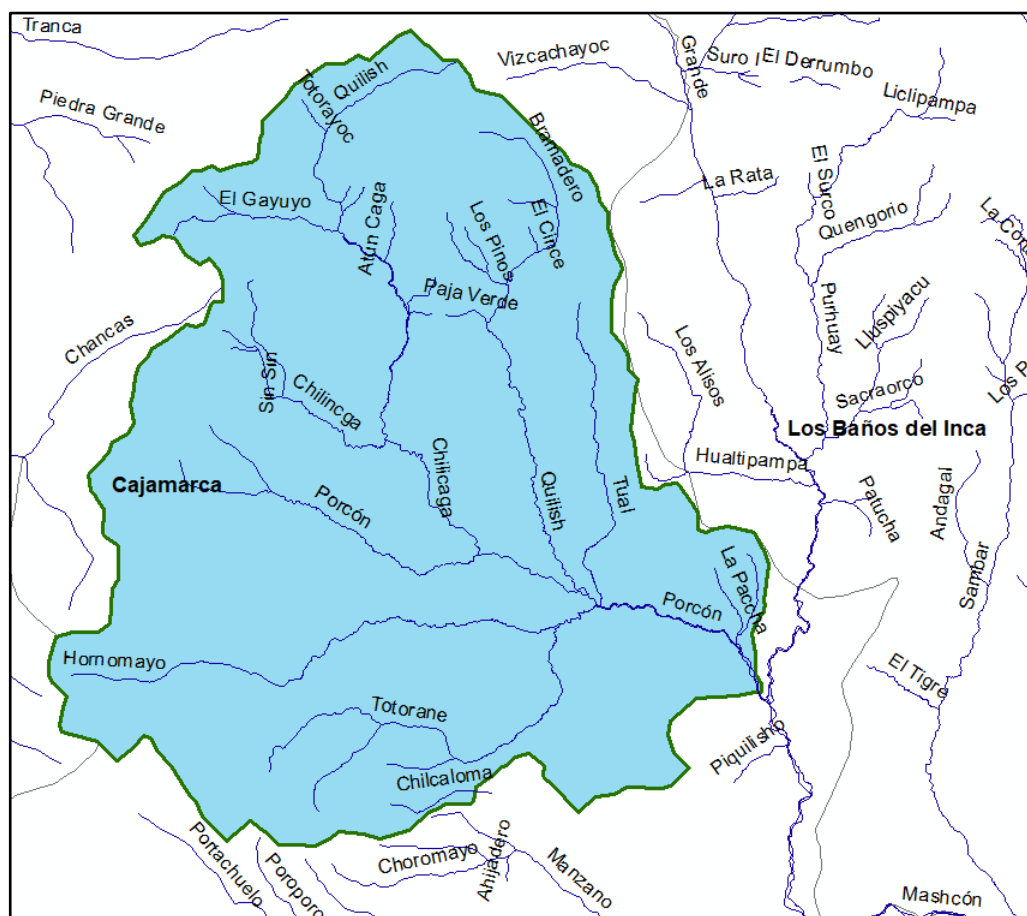


Figura 6. Corte del área de estudio

#### 2.4.4. Corrección de imágenes satelitales

Para realizar el procesamiento se procedió a corregir las imágenes satelitales, evitando que nuestra zona de estudio se ve afectada por nubosidad o algunos errores de pixelado, entre otros.

Las correcciones radiométricas son fundamentales para una adecuada interpretación de las imágenes satelitales, ya que los contrastes en la iluminación y la geometría deben ser minimizados en estudios multi-temporales mediante el uso de valores constantes o coeficientes de corrección de factores tales como la

distancia entre la tierra y el sol (Alexakiset, 2014; Chander., 2009; Schroeder., 2006).

Las correcciones de las imágenes satelitales se efectúan debido a que el sensor proporciona una imagen cruda, que a su vez es afectada por la atmósfera principalmente, por lo que resulta esencial corregir y calibrar dicha imagen.

Existen diversos softwares que ayudan en la corrección de las imágenes satelitales como ENVI y ERDAS, por ejemplo. Sin embargo, se ha tenido la oportunidad de tratar nuestras imágenes en PCI Geomatics, software canadiense que tiene una tecnología más completa y un porcentaje más de fiabilidad de resultados, pues no solo incluye una corrección atmosférica, sino también la topográfica y la radiométrica más conocida como ATCOR, pasando los niveles digitales (ND) de las celdas de las imágenes satelitales a radiancia, y de radiancia a reflectancia.

La corrección no discrimina si es una imagen satelital Landsat 5 o Landsat 8, es compatible para aplicar tanto a Landsat como a otras imágenes, entre ellas las imágenes SPOT.

#### 2.4.5. Composición de bandas espectrales

Entre las más utilizadas para llegar a nuestros objetivos, fue realizar la composición del falso color de acuerdo a cada imagen satelital, y luego se optó por seleccionar cierto número de píxeles (de 12 a 16) y agrupar esas áreas por categorías similares. Posteriormente se ejecutó el algoritmo de máxima verosimilitud, mediante el cual, cada píxel fue agrupado de acuerdo a la probabilidad de que perteneciera a una clase dada (Eastman, 2003).



*Figura 7.* Falso Color (Landsat 8, Sentinel 2B), (Gis & Beers, 2017)

#### 2.4.6. Cálculo del Índice de Vegetación Diferencia Normalizada (NDVI)

Para determinar el NDVI se procesó mediante la imagen ráster (Landsat) según el año, seleccionando entre Landsat 5 y Landsat 8:

El cálculo está determinado por la siguiente fórmula. Chuvieco (2002)

*Ecuación 1.* Índice de Vegetación Diferencial – NDVI

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

Donde:

NDVI = Índice de Vegetación Diferencia Normalizada

NIR = Reflectancia del Infrarrojo Cercano

RED = Reflectancia de la banda roja

En los satélites:

*Ecuación 2.* NDVI para Landsat 5

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{Band}_4 - \text{Band}_3)}{(\text{Band}_4 + \text{Band}_3)} \text{ Landsat 5}$$



*Ecuación 3.* NDVI para Landsat 8

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{Band}_5 - \text{Band}_4)}{(\text{Band}_5 + \text{Band}_4)} \text{ Landsat 8}$$

Los rangos de resultados después de aplicada esta ecuación deben estar comprendidos entre -1 a 1, los valores negativos están asociados a zonas de agua y nieve, continuando con los que se aproximan a cero donde empieza la ausencia de vegetación y cuanto más cercano a 1, la vegetación es más saludable. (Carrasco, 2020) citado de Rouse et al., 1974)

- **Análisis del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).**

Los valores del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), oscila entre -1 a 1, definiéndose los siguientes tipos de vegetación, partiendo del aporte de clorofila reflejado en la banda 5 y absorbida en la banda 4

Tabla 6

*Clasificación del NDVI*

<b>Microcuenca del Río Porcón</b>	
-1 < NDVI > 0.1	Suelo desnudo
0.1 < NDVI > 0.3	Vegetación escasa
0.3 < NDVI > 0.6	Vegetación medianamente densa
0.6 < NDVI > 0.8	Vegetación densa

Fuente: Adaptado de Bravo (2019)

El NDVI ayuda a definir los tipos de vegetación, partiendo del aporte de clorofila reflejado en la banda 5 y absorbida en la banda 4.

- **Cálculo de área de estado de vegetación.**

- Para ello se debe cargar en ArcGIS el resultado de la ecuación generada en la imagen satelital para el periodo 2003 - 2019 y clasificarlo como vegetación escasa, medianamente densa y densa; dependiendo de los valores del NDVI y de acuerdo a la Tabla 6 de la revisión bibliográfica.
- Seguido se realiza la categorización de los índices de vegetación
- En función del área total se calcula el área para cada rango de NDVI, obteniéndose un valor en hectáreas y/o metros para cada categoría en el periodo 2003 – 2019.
- Se debe obtener los NDVI promedio para realizar la distribución temporal para el periodo en estudio.
- El resultado final se expresará en porcentaje de área.

Tabla 7

*Vegetación escasa 2003*

<b>Categoría</b>	<b>Sum_Área (ha)</b>
Vegetación	562.230004
Escasa	

Tabla 8

*Vegetación escasa 2019*

<b>Categoría</b>	<b>Sum_Área (ha)</b>
Vegetación	459450006
Escasa	

#### 2.4.7. Detección de cambios de cobertura vegetal y uso de suelo

Se realizó la comparación de áreas degradadas por problemas ambientales o de naturaleza, utilizando la data proporcionada por el ZEE del Gobierno Regional de Cajamarca.

#### 2.4.8. Validación de resultados.

La validación de resultados se realizará solo con el coeficiente de Pearson, en cual estará en función de los rangos de NDVI junto a las áreas, NDVI promedio de las imágenes satelitales estudiadas en función del tiempo (periodo 2003-2019)

### 2.5. Aspecto Ético

El presente trabajo de investigación se basó en el uso imágenes satelitales Landsat 5 para los años 2003 al 2011 y Landsat 8 para los años 2013 al 2019, el cual constituye el programa de mayor trayectoria en adquisición de imágenes de nuestro planeta, obtenidos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), una plataforma confiable que permite navegar a través de un mapa interactivo para obtener las imágenes, inclusive ingresando coordenadas y fechas específicas para ver qué tipo de datos están disponibles. También se utilizó el software PCI Geomatics de gran importancia y fiabilidad para una corrección más rigurosa de las imágenes satelitales, que es el ATCOR Ground Reflectance, a nivel del terreno procurando eliminar la mayor cantidad de vapor de agua y aerosoles (Carrasco, 2020), además del cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI para cada imagen; de otro lado el uso del software ArcGis que permitió distribuir la información geográfica asimismo, las fuentes de información fueron obtenidas de sitios fidedignos y debidamente citadas.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

Una vez obtenidos los parámetros NDVI, cobertura vegetal, uso del suelo, se procedió a generar una data de acuerdo a su clasificación, para posterior a ello, calcular las áreas de variabilidad espacio – temporal de la vegetación en la microcuenca del río Porcón.

#### 3.1. Resultados del NDVI

Tabla 9

*Rango del NDVI para el año 2003 en la microcuenca – Landsat 5*

<b>Microcuenca del Río Porcón</b>	
0.1310 < NDVI > 0. 3840	Vegetación escasa
0.3840 < NDVI > 0.6369	Vegetación medianamente densa
0.6369 < NDVI > 0.8899	Vegetación densa

Tabla 10

*Rango del NDVI para el año 2005 en la microcuenca – Landsat 5*

<b>Microcuenca del Río Porcón</b>	
-0.0137 < NDVI > 0.1113	Suelo desnudo
0.1113 < NDVI > 0.3614	Vegetación escasa
0.3614 < NDVI > 0.6114	Vegetación medianamente densa
0.6114 < NDVI > 0.8614	Vegetación densa

Tabla 11

*Rango del NDVI para el año 2008 en la microcuenca – Landsat 5*

<b>Microcuenca del Río Porcón</b>	
-0.0006 < NDVI > 0.1244	Suelo desnudo
0.1244 < NDVI > 0.3745	Vegetación escasa
0.3745 < NDVI > 0.6246	Vegetación medianamente densa
0.6246 < NDVI > 0.7497	Vegetación densa

Tabla 12

*Rango del NDVI para el año 2013 en la microcuenca – Landsat 8*

<b>Microcuenca del Río Porcón</b>	
-0.0397 < NDVI > 0.1332	Suelo desnudo
0.1332 < NDVI > 0.3061	Vegetación escasa
0.3061 < NDVI > 0.6519	Vegetación medianamente densa
0.6519 < NDVI > 0.8249	Vegetación densa

Tabla 13

*Rango del NDVI para el año 2019 en la microcuenca – Landsat 8*

<b>Microcuenca del Río Porcón</b>	
0.1853 < NDVI > 0.3294	Vegetación escasa
0.3294 < NDVI > 0.6175	Vegetación medianamente densa
0.6175 < NDVI > 0.7616	Vegetación densa

Tabla 14

*Variación de áreas de vegetación en la microcuenca Porcón para el periodo 2003 - 2019*

<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (m)</b>
Vegetación Escasa	102.780034	1027800.34
Vegetación Medianamente Densa	90.990215	909902.15
Vegetación Densa	193.769983	1937699.83

\*La vegetación escasa y medianamente densa ha disminuido en 102.78 ha y 90.99 ha respectivamente, mientras que la vegetación densa ha aumentado en 193.76 ha.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

A partir de los resultados presentados podemos verificar que se ha determinado la variabilidad de la vegetación para el área de estudio, indicando que la microcuenca del río Porcón en un periodo de 16 años ha evolucionado favorablemente y esto puede corroborarse con el índice de vegetación normalizada (NDVI), que muestra una mejora en la vegetación densa de 193.76 Ha. (Ver Tabla 14).

Respecto al NDVI promedio, en la figura 8 se aprecia variabilidad temporal y espacial de la vegetación en la microcuenca del río Porcón para el periodo estudiado, obteniéndose inicialmente NDVI promedio 0.5 para el año 2003, muy similar al 2005. Mientras que para los años 2008 y 2013 asciende su valor a 0.66 y finalmente se ve un descenso para el año 2019 con NDVI = 0.59, el cual indica una cuenca con vegetación densa en promedio.

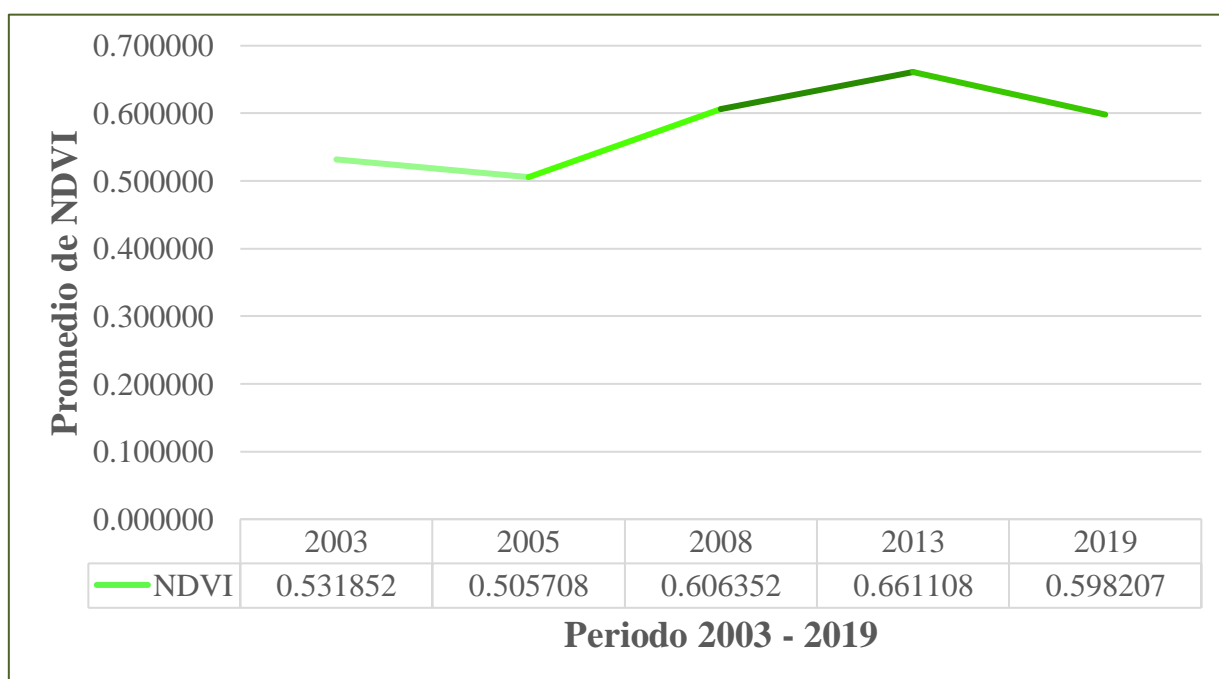


Figura 8. Variabilidad temporal y espacial de la vegetación en la microcuenca del río Porcón

De acuerdo al promedio de NDVI para el periodo 2003 – 2019 muestra una variabilidad ascendente, obteniéndose 0.5 y 0.6, respectivamente, y este incremento es un claro indicador de la mejora en la cobertura vegetal de la cuenca en función del tiempo. (Ver figura 8 de Promedio de NDVI). Contrastando con el estudio presentado por Manchego (2017), quien reportó que la variabilidad de vegetación en la cuenca Quilca, periodo 2005 – 2015 tiene un comportamiento cíclico o estacional identificándose periodos ascendentes y luego descendente para el 2014 al 2015 con valores de NDVI por debajo de 0.2, lo que indica una escasa cobertura vegetal.

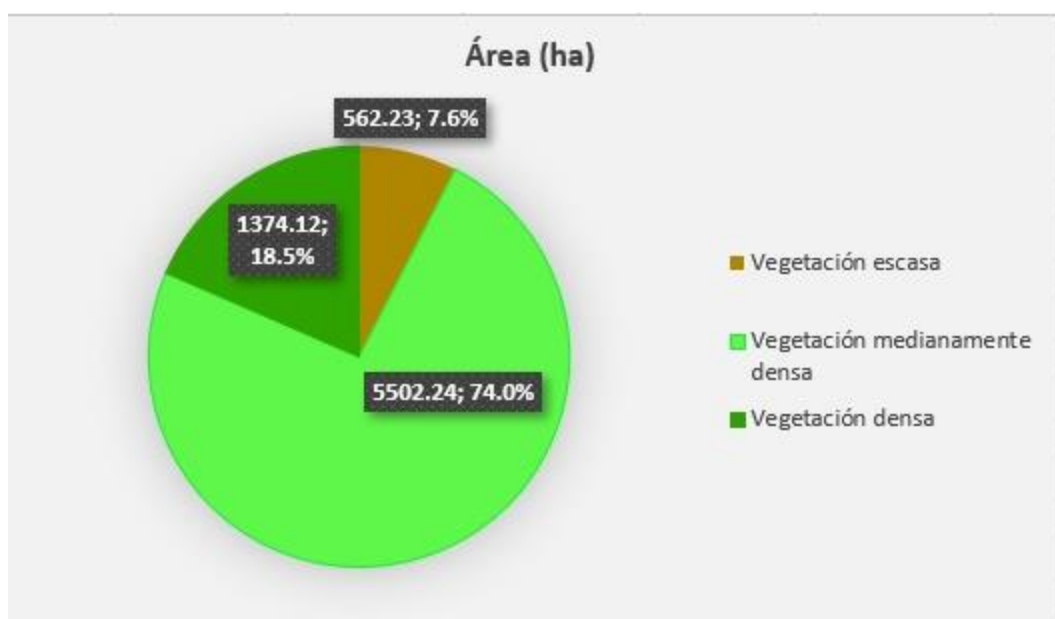
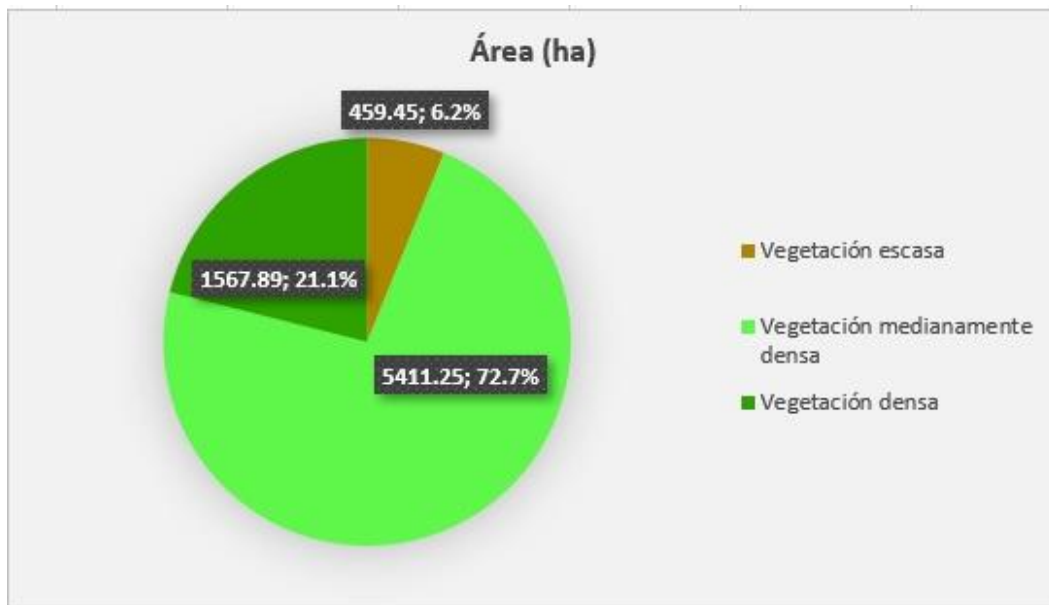


Figura 9. Clasificación de la cobertura vegetal con NDVI para 2003





*Figura 10.* Clasificación de la cobertura vegetal con NDVI para 2019

En la figura (9 y 10) se aprecian los resultados de NDVI para el periodo estudiado, la distribución del estado de la vegetación en la cuenca está expresado en Ha y en porcentaje de área, lo que indica que en el 2003 la vegetación densa era menos al del año 2019, con valores de 1374.12 y 1567.89 Ha, respectivamente, esto debido a que conforme pasan los años en nuestra región se ha impulsado la reforestación y a pesar que existe un crecimiento poblacional, el estado de la vegetación no se ha visto alterado al menos en lo que respecta al área de la microcuenca.

Los resultados de vegetación escasa en el 2003 ocupaban el 7.6% de área total de la microcuenca, mientras que para el 2019 ese porcentaje se reduce al 6.2%, (ver figura 9 y 10) indicando que en el año inicial del periodo la vegetación en la parte baja de la microcuenca estaba afectada por diversas actividades, siendo la antrópica la más común en comparación con otros estudios.

Investigaciones realizadas como la de Osuna et al (2015) en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; para el periodo 1994-2010 concluyó que las

actividades humanas han desencadenado en mayor grado el cambio de uso de suelo y por ende la vegetación enferma ha aumentado como consecuencia de factores demográficos y económicos.

Los resultados del NDVI tienen un rango general de -1 a 1, los valores negativos asociados a agua, valores de 0 clasificados como suelo desnudo y los positivos a vegetación, mientras más cercano a 1 la vegetación será más saludable, en nuestro estudio para el año 2003 se obtuvo  $0.0045 < NDVI > 0.8899$ , siendo vegetación escasa y vegetación densa, respectivamente. Mientras que para el 2019, el rango fue de  $0.0413 < NDVI > 0.9056$ , abarcando un poco más de vegetación saludable. Contrastando con el estudio de Alegre, (2017) sobre cambios de la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, obtuvo valores estandarizados de NDVI, siendo los cercanos a 0 (cobertura vegetal rala y superficies desnudas), menores a 0.5 (cobertura vegetal temporal), mayores a 0.5 (cobertura vegetal permanente), concluyendo que los cambios ocurridos en la cubierta vegetal conforme pasa el año de acuerdo a los valores de NDVI evidencian una pérdida para la cobertura permanente, vegetación considerada irrecuperable porque se necesita de varios años para su desarrollo, así como grandes volúmenes de precipitaciones. En nuestro estudio la vegetación se ha recuperado en un promedio de 16 años, mejorando para el 2019 en 1.4% la vegetación escasa, siendo de gran importancia realizar el análisis multitemporal de las coberturas vegetales a partir de la percepción remota, generando información e incitando a conservación de los recursos naturales de la zona.

Alencar et al (2019) en su investigación sobre la variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del río Moxotó, Pernambuco, Brasil, definió la clasificación del NDVI en tres categorías: categoría 1

(vegetación de baja densidad, 0,25 – 0,50), categoría 2 (vegetación de mediana densidad, 0,50 – 0,75) y categoría 3 (vegetación de alta densidad, 0,75 – 1); concluyendo que la vegetación más abundante fue la de menor densidad, muy contrario a nuestro estudio que a pesar de tener categorías similares de clasificación del NDVI, siendo éstas: vegetación escasa (0.0045 – 0.3049), vegetación medianamente densa (0.3049 – 0.6052) y vegetación densa (0.6052 – 0.9056), la vegetación más abundante fue la vegetación medianamente densa en ambos periodos 2003 - 2019 con un 74 % y 72.7%, respectivamente.

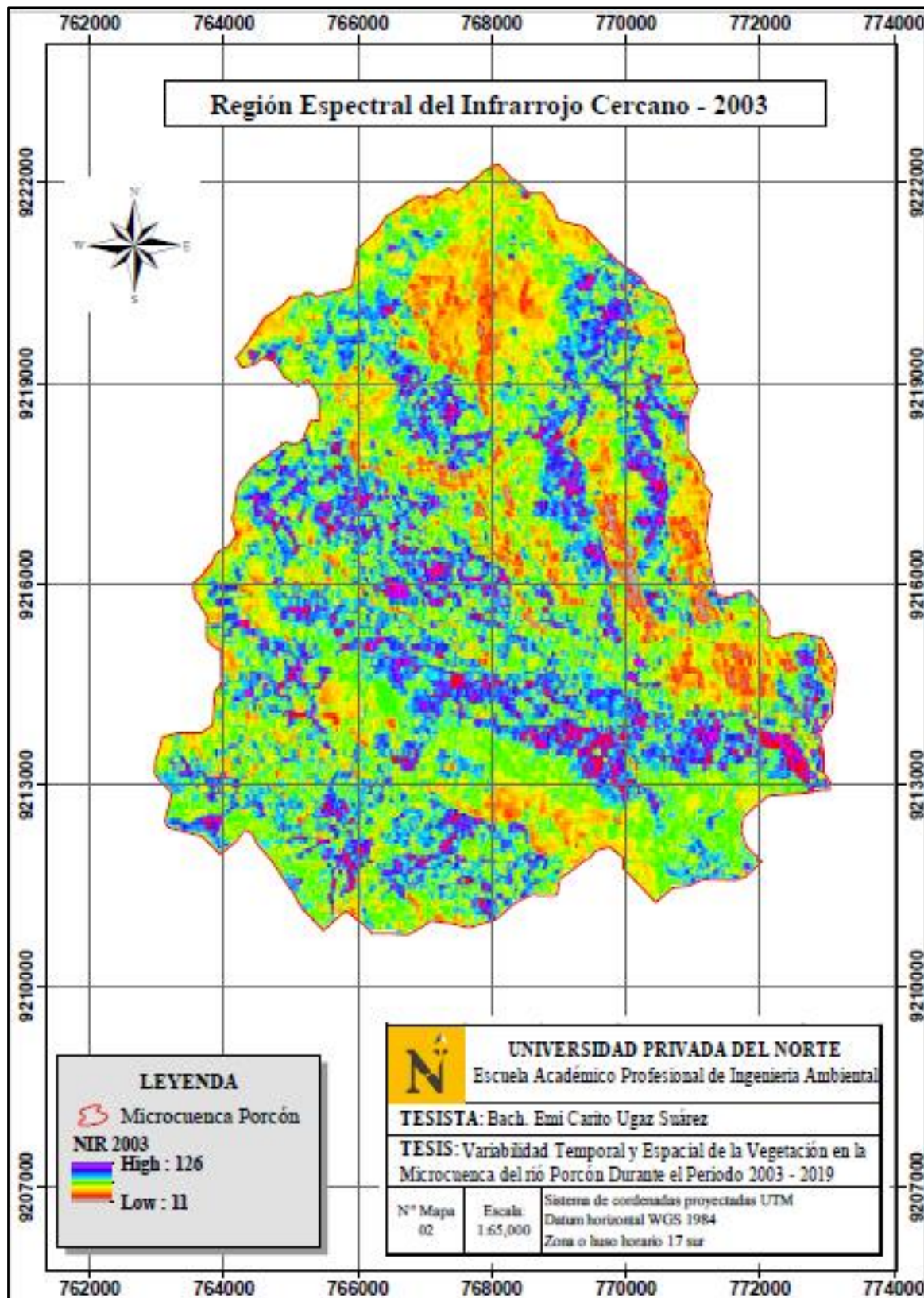


Figura 11. NIR (Región Espectral del Infrarrojo Cercano) – 2003

En la figura 11 se puede apreciar el mapa de distribución de acuerdo a la región espectral del infrarrojo cercano para el año 2003 en la que se observa los colores los azules y violáceos en diferentes tonalidades, los más intensos representan la vegetación densa y medianamente densa en la parte alta izquierda, derecha y parte media de la cuenca, contrastando con Sandoval & Gonzáles, (2012), citado por Sánchez (2019), en su estudio expone que de todo el conjunto de ondas que tiene el espectro electromagnético, las porciones de los rayos visibles e infrarrojos son las importantes para las aplicaciones de vegetación, puesto que la luz del Sol es la fuente de energía que activa el proceso de fotosíntesis en los cuerpos vegetales, lo cual quiere decir que las convierte en las más utilizadas en la percepción remota.

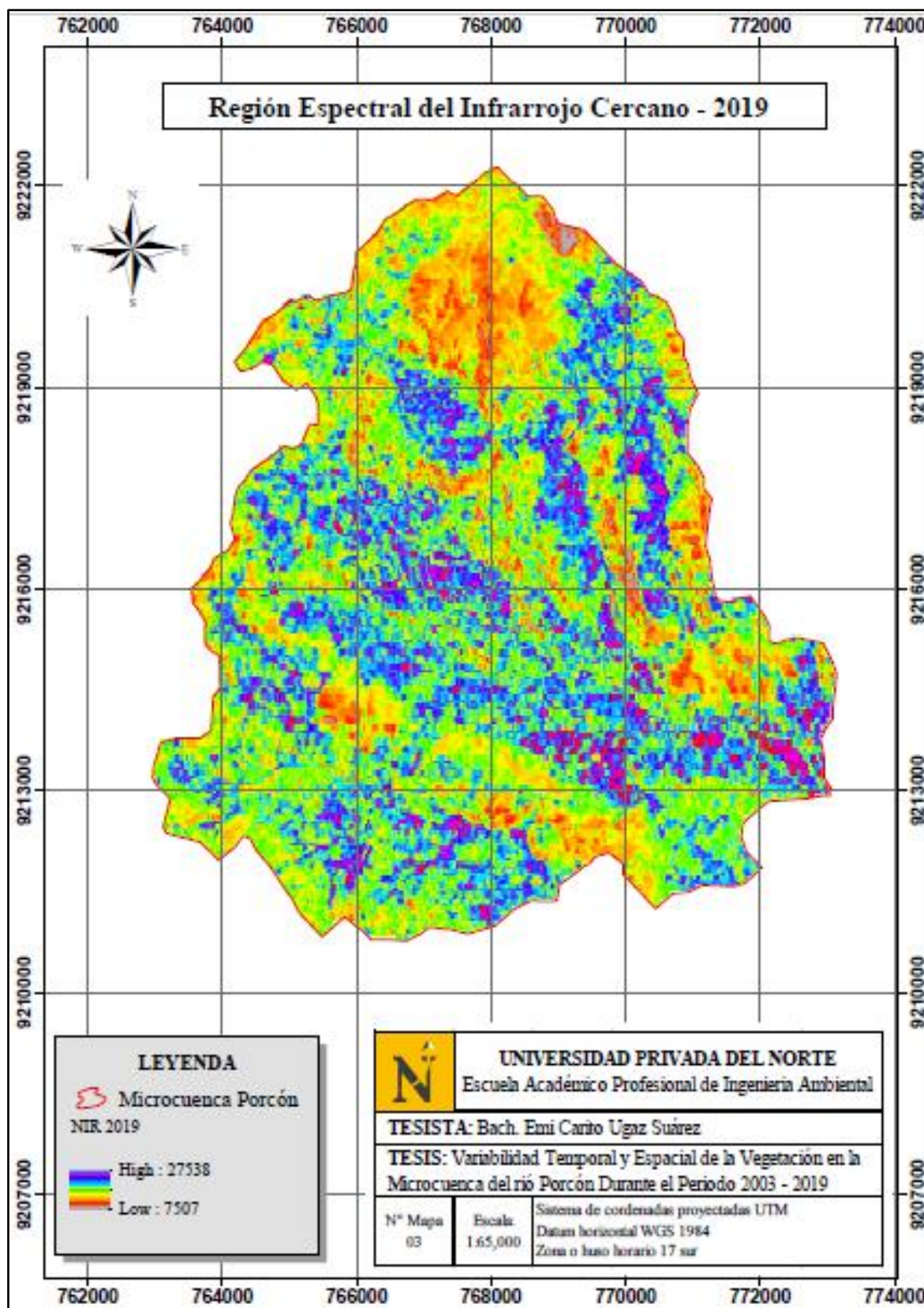


Figura 12. NIR (Región Espectral del Infrarrojo Cercano) – 2019

En la figura 12 se puede observar el mapa de distribución de acuerdo a la región espectral roja para el año 2019 en la que se ve los colores rojos y amarillos en diferentes tonalidades, determinando esta pigmentación para los más intensos como vegetación densa y medianamente densa en la parte superior izquierda y derecha de la cuenca, además los colores rojos más claros representan la vegetación escasa.

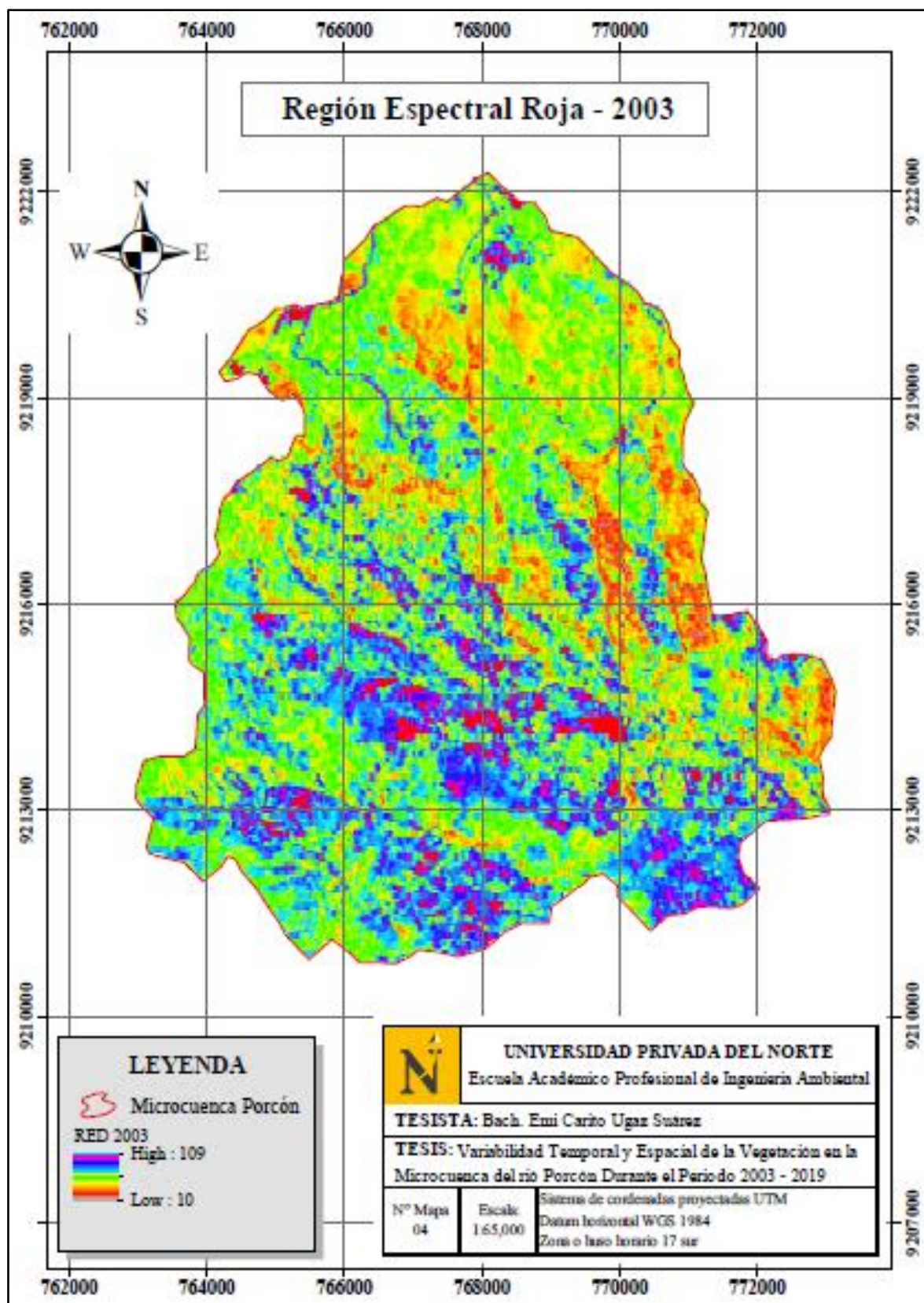


Figura 13. RED (Región Espectral Roja) – 2003



En la figura 12 se puede observar el mapa de distribución de acuerdo a la región espectral roja para el año 2019 en la que se ve los colores rojos y amarillos en diferentes tonalidades, determinando esta pigmentación para los más intensos como vegetación densa y medianamente densa en la parte superior izquierda y derecha de la cuenca, además los colores rojos más claros representan la vegetación escasa.

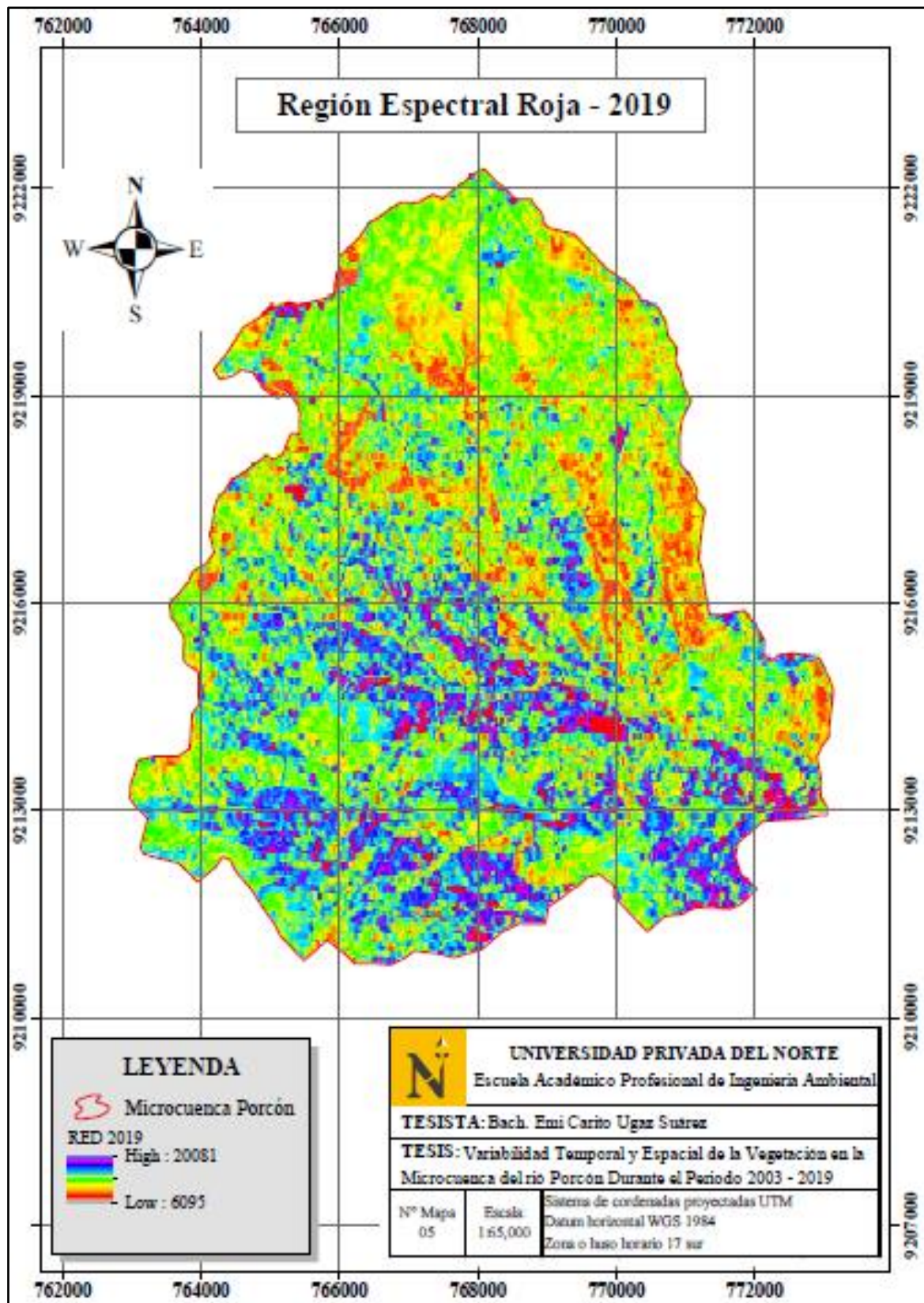


Figura 14. RED (Región Espectral Roja) - 2019

En la figura 14 se puede observar el mapa de distribución de acuerdo a la región espectral roja para el año 2019 en la que se ve los colores rojos y amarillos en diferentes tonalidades, determinando esta pigmentación para los más intensos como vegetación densa y medianamente densa en la parte superior izquierda y derecha de la cuenca.

Los mapas obtenidos de la región espectral del infrarrojo cercano y roja para el año 2003 y 2019 con sus respectivas tonalidades de colores más intensos nos muestran la vegetación densa, medianamente densa y escasa, contrastando con el autor Gómez, (2004); Tucker & Sellers, (1986) citado por Manchego, (2017) que en su investigación explica la forma en que la hoja responde a la longitud de onda del rojo e infrarrojo cercano se fundamente en el hecho de que las moléculas de clorofila absorben preferentemente la luz roja y azul para usarla en la fotosíntesis (70% a 90% de la luz incidente en esas regiones), por tanto, la reflectancia en esta zona es mínima, sin embargo, en el borde del espectro visible la absorción de la luz roja por los pigmentos de clorofila empieza a declinar, y la reflectancia empieza a crecer abruptamente. Igualmente, en el espectro del infrarrojo cercano, la reflectancia de la hoja es controlada pero esta vez no por pigmentos de plantas, sino por la estructura del tejido esponjoso que refleja la radiación infrarroja.

Tabla 15

*Porcentaje de NDVI para el año 2003*

Microcuenca del Río Porcón		Áreas (ha)	Porcentaje %
0.0045 < NDVI > 0.3049	Vegetación escasa	562.23004	7.56
0.3049 < NDVI > 0.6052	Vegetación medianamente densa	5502.240158	73.97
0.6052 < NDVI > 0.9056	Vegetación densa	1374.120008	18.47
NDVI	Total	7438.590206	100

El porcentaje de NVDI para el año 2003 se tomó en función del NDVI mínimo y máximo para el periodo 2003 – 2019

La vegetación medianamente densa para el año 2003 ocupa más del 70% del área de la microcuenca con un 0.3049 < NDVI > 0.605, tal como se observa en el la tabla15, por lo tanto, se acepta la hipótesis.

Tabla 16

*Porcentaje del NDVI para el año 2019*

Microcuenca del Río Porcón		Áreas (ha)	Porcentaje %
0.0045 < NDVI > 0.3049	Vegetación escasa	459.450006	6.18
0.3049 < NDVI > 0.6052	Vegetación medianamente densa	5411.249943	72.75
0.6052 < NDVI > 0.9056	Vegetación densa	1567.883331	21.08
NDVI	Total	7438.589936	100

El porcentaje de NVDI para el año 2019 se tomado en función del NDVI mínimo y máximo para el periodo 2003 – 2019

La vegetación medianamente densa para el año 2019 ocupa más del 70% del área de la microcuenca con un 0.3049 < NDVI > 0.605, tal como se observa en el la tabla16, por lo tanto, se acepta la hipótesis.

Tabla 17

*Resultados del promedio anual de NDVI*

<b>Año</b>	<b>2003</b>	<b>2005</b>	<b>2008</b>	<b>2013</b>	<b>2019</b>
<b>NDVI</b>	0.5318	0.505708	0.606352	0.661108	0.598207

El coeficiente de Pearson es de 0.7, entre las variables NDVI en función del tiempo

La prueba estadística utilizada en la presente investigación fue el coeficiente de Pearson a fin de determinar la relación entre las variables, obteniéndose 0.7 un valor que indica una gran relación entre el estado de la vegetación y el tiempo de estudio, indicando según nuestros resultados (ver tabla 17) que la vegetación densa para el periodo 2003 – 2019 ha aumentado en más del 2% y la vegetación medianamente densa y escasa ha disminuido en al menos 1%, por lo que se acepta las hipótesis planteadas.

Uno de los aportes más importantes de este estudio es reunir y generar información en base al NDVI, lo que permitió determinar la variabilidad del estado de la vegetación en un periodo de 16 años, para un adecuado manejo de la misma población y órganos responsables de nuestros recursos, la conservación de la flora, el agua que en muchas ocasiones son manejados insosteniblemente, llegando a niveles severos de degradación en cuencas, además puede servir para una planificación de consumo responsable y vigilancia de los recursos naturales para, asegurar su sostenibilidad, permanencia hacia el futuro.

#### 4.2. Conclusiones

Se concluye del presente estudio que fue posible determinar la variabilidad de vegetación espacial temporal en la microcuenca del río Porcón para el periodo 2003 – 2019, obteniéndose tres clasificaciones: vegetación escasa con 7.6 % y 6.18 % respectivamente, vegetación medianamente densa con 73.97% y 72.5% y vegetación densa ocupó el 18.47% y 08 % respectivamente, indicando que el aumento de la cubierta vegetal brinda diversos beneficios como absorber el agua de lluvia a través de las plantas, lo que ayuda a estabilizar el nivel de las aguas subterráneas, también reduce la temperatura del ambiente absorbiendo el 50% de la luz solar y reflejando el 30% lo que ayuda a crear un clima más frío y agradable, aumenta la biodiversidad, entre otros.

Del estudio se concluye que el promedio del índice de vegetación de diferencia normalizada de la microcuenca del río Porcón del periodo 2003 – 2019 siendo estos para el año 2003 (0.531852), 2005 (0.505708), 2008 (0.606352), 2013 (0.661108) y para el 2019 (0.598207), lo que indica que la evolución de la vegetación ha sido ascendente y descendente, finalmente en el año 2019 se estableció un índice de 0.6 que equivale a una vegetación sana en promedio.

De la investigación realizada, se generaron mapas de distribución del índice de vegetación de diferencia normalizada para el periodo estudiado, en los que se puede ver un aumento en la vegetación densa, la cual se debe seguir cultivando ya que, mejora la estructura orgánica y calidad del suelo, se obtiene mayor capacidad de absorción de agua, entre otros, en general ayuda a la preservación de nuestros recursos naturales.

Finalmente, se generaron mapas de distribución de acuerdo a la región espectral del infrarrojo cercano y región espectral roja para el año 2003 y 2019, observándose colores azules, violáceos, rojos y amarillos, de los que los más intensos pertenece a la vegetación sana y moderadamente sana y los más claros a la vegetación escasa

## REFERENCIAS

Alcántara, G. (2014). Análisis de los Cambios de Cobertura y Uso de la Tierra. Recuperado de

[https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/EE\\_CUT\\_primera\\_version\\_julio\\_2014.pdf](https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/EE_CUT_primera_version_julio_2014.pdf)

Alcántara, G. (2010 – 2011). *Geomorfología departamento de Cajamarca*. [En línea]. Recuperado de

<https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/GEOMORFOLOGIA.pdf>

Alegre, K. (2017). *Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal*. (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima – Perú. Recuperado de

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10803/Alegre\\_VKV.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/10803/Alegre_VKV.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Alencar, K., Parodi, M., Silva, R. y Opazo, A. (2019). Variabilidad Espacial y Temporal de la Cobertura Vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del río Moxotó, Pernambuco, Brasil. En *Dialogo Andino*, 58, pp. 139 – 150. Recuperado de

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0719-26812019000100139](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-26812019000100139)

Arana, M. (2002). *Resolución de Conflictos Medioambientales en la Microcuenca del Río Porcón, Cajamarca 1993-2002*. (Tesis de Maestría), Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de

[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/97/ARANA\\_ZE](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/97/ARANA_ZE)



[GARRA MARCO RESOLUCION CONFLICTOS.pdf?sequence=1&isAllowed=](#)

[y](#)

Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de usos de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiespectral. En *Investigación ambiental*, 1 (1), pp. 6 – 16. Recuperado de

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/gacetas/604/implicaciones.pdf>

Alexakis, D., Grillakis, M., Koutroulis, A., Agapiou, A., Themistocleous, K., Tsanis, I., Michaelides, S., Pashiardis, S., Demetriou, C., Aristeidou, K., Retalis, T., Tymvios, A. y Hadjimitsis, D. (2014). GIS and remote sensing techniques for the assessment of

land use change impact on flood hydrology: the case study of Yialias basin in Cyprus.

En *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, pp. 413 – 426. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/260972461\\_GIS\\_and\\_remote\\_sensing\\_techniques\\_for\\_the\\_assessment\\_of\\_land\\_use\\_change\\_impact\\_on\\_flood\\_hydrology\\_The\\_case\\_study\\_of\\_Yialias\\_basin\\_in\\_Cyprus](https://www.researchgate.net/publication/260972461_GIS_and_remote_sensing_techniques_for_the_assessment_of_land_use_change_impact_on_flood_hydrology_The_case_study_of_Yialias_basin_in_Cyprus)

Berlanga, C., García, R., López, J. y Ruíz A. (2010). Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973–2000). En *Investigaciones geográficas*, 72, pp. 1973 – 2000. Recuperado de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112010000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112010000200002)

Bravo, N. (2017). Teledetección espacial, Landsat, Sentinel2, Aster L1T y Modis. Recuperado de

[https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion\\_espacial\\_ArcGeek.pdf](https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf)

- Bravo, N. (2019). Teledetección Espacial y Procesamiento de Imágenes Satelitales de Acceso Gratuito con el Uso de Software Libres. Segunda Edición. Geomática Ambiental
- Carrasco, D. (2020). Nivel de Eutrofización de la Laguna San Nicolás Cajamarca Aplicando Teledetección Satelital en un Periodo de 20 años. (Tesis de Pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23804>
- Díaz, J. (2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. (Tesis de Posgrado). Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de [https://eprints.ucm.es/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](https://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)
- Cruz, V., Gallego, E. y Gónzales, L. (2009). Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/9445/1/MemoriaEIA09.pdf>
- Chander, G., Markham, B. y Helder, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. En *Remote Sensing of Environment*, 113 (5), pp. 893 – 903. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425709000169>
- Gis & Beers. (2017). *Galería de firmas espectrales para teledetección*. Recuperado de <http://www.gisandbeers.com/galeria-de-firbmas-espectrales-para-teledeteccion/>
- Gis & Beers. (2017). *Combinaciones RGB de imágenes satélite Landsat y Sentinel*. Recuperado de <http://www.gisandbeers.com/combinacion-de-imagenes-satelite-landsat-sentinel-rgb/>

Gis & Beers. (2018). *Corrección radiométrica de imágenes satélite*. Recuperado de

<http://www.gisandbeers.com/correccion-radiometrica-imagenes-satelite/>

Gobierno Regional Cajamarca. (2010 – 2011). *Estudio Hidrológico de la Región Cajamarca*. Recuperado de

<https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/HIDROLOGIA.pdf>

Hernandez, R., Fenandez, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico

D. F. Interamericana Editores. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Eastman, J. (2003). *IDRISI Kilimanjaro - Guide to GIS and Image Processing*. Recuperado de

<https://www.mtholyoke.edu/courses/tmillet/c/course/geog307/files/Kilimanjaro%20Manual.pdf>

Luque, J. (2017). Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. Recuperado de

[https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/062017.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf)

Franco, R. (2017). Composiciones Landsat en ARCGIS. Guía Básica. Recuperado de

<http://wp.me/p2IwQU-1bh>

FAO (2005). Incendios forestales, tsunamis, deforestación y Objetivos del Milenio.

Recuperado de <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2005/index.html>

FAO. (2010). *Evaluación de los Recursos Forestales del Mundo 2010*. Recuperado de

<http://www.fao.org/news/story/es/item/40952/icode/>

GOCENTRO, earth imaging. Satélite de imágenes LANDSAT-5. [Mensaje en un blog].

Recuperado de <http://geocento.es/galeria-de-satelites-para-buscar-y-adquirir-imagenes/satelite-imagenes-landsat-5/>

- Gilabert, M., Piqueres, J. y García, J. (1997). Acerca de los Índices de Vegetación. En *Revista de Teledetección*, 8, pp. 1 - 10. Recuperado de [http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8\\_4.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_4.pdf)
- Jiménez, J., Sobrino, J. y Sória, G. (2011). *Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite*. [en Línea]. Recuperado de [https://www.uv.es/ucg/CURSO\\_TD4.pdf](https://www.uv.es/ucg/CURSO_TD4.pdf)
- Jiménez, J. (2000). *Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=99oOAQAIAAJ&pg=PP5&lpg=PP5&dq=&f=false>
- Manchego, G. (2017). *Variabilidad Espacio – Temporal de la Vegetación en la cuenca Quilca – Chili durante el periodo 2005 – 2015*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4043>
- Muñoz, P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de Vegetación*. Recuperado el 10 de septiembre de 2018 de <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indice%20de%20vegetaci%C3%B3n%20de%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Membrado, J. (2015). El lenguaje cartográfico en los mapas temáticos. En *Estudios Geográficos*, 75 (278), pp. 177 – 201. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/71052916.pdf>
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal*. Lima: Perú. (Primera Edición). Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/patrimonio->

[natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf](http://natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf)

Pérez, C. & Muñoz, A. (2006). *Teledetección: nociones y aplicaciones*. España. Recuperado de

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SfrGxbO1DT0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=teledetecci%C3%B3n+definici%C3%B3nes&ots=pEmd-v7gFZ&sig=DEAkqHjGMhMu7Q2OIWxnz5xD8HA#v=onepage&q=teledetecci%C3%B3n%20definici%C3%B3nes&f=false>

Osuna, A., Días, J., Anda, J., Villegas, E., Gallardo, J. & Dávila, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. De *Ambiente & Agua*, 10 (2) pp. 350 – 362. Recuperado de:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1980-993X2015000200350&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1980-993X2015000200350&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Ordoñez, J. (2011). *Cartillas Técnica: ¿Qué es una Cuenca Hidrológica?*. Recuperado de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)

Sacristán, F. (2005). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. En *Revista Ingeniería Industrial*, 1, pp. 41 – 58. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3996824>

Schroeder, T., Cohen, W., Song, C. Canty, M. y Yang, Z. (2006). Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. En *Remote Sensing of Environment*, 103, pp. 16 – 26. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/222512750\\_Radiometric\\_correction\\_of\\_multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon](https://www.researchgate.net/publication/222512750_Radiometric_correction_of_multi-temporal_Landsat_data_for_characterization_of_early_successional_forest_patterns_in_western_Oregon)

Segado, F. (1996). *Principios de teledetección*. España. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BbwF9HOE7YwC&oi=fnd&pg=PA53&dq=teledetecci%C3%B3n+definici%C3%B3nes&ots=2ACaQ0HR1W&sig=XQtowTNIHO3G9\\_V09uS-igsLITI#v=onepage&q=teledetecci%C3%B3n%20definici%C3%B3nes&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BbwF9HOE7YwC&oi=fnd&pg=PA53&dq=teledetecci%C3%B3n+definici%C3%B3nes&ots=2ACaQ0HR1W&sig=XQtowTNIHO3G9_V09uS-igsLITI#v=onepage&q=teledetecci%C3%B3n%20definici%C3%B3nes&f=false)

Sánchez, M. (2019). *Análisis de la deforestación en la cuenca del río Cumbaza mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2008 al 2017*. (Tesis de Pregrado). Universidad Federico Villareal – Lima. Recuperado de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3564>

Taboada, L. (2011). *Prácticas Agro – Culturales de Conservación de suelos*. (Boletín N° 04). Recuperado de <https://idoc.pub/documents/cobertura-vegetal-19n02vzdj34v>

**ANEXOS**

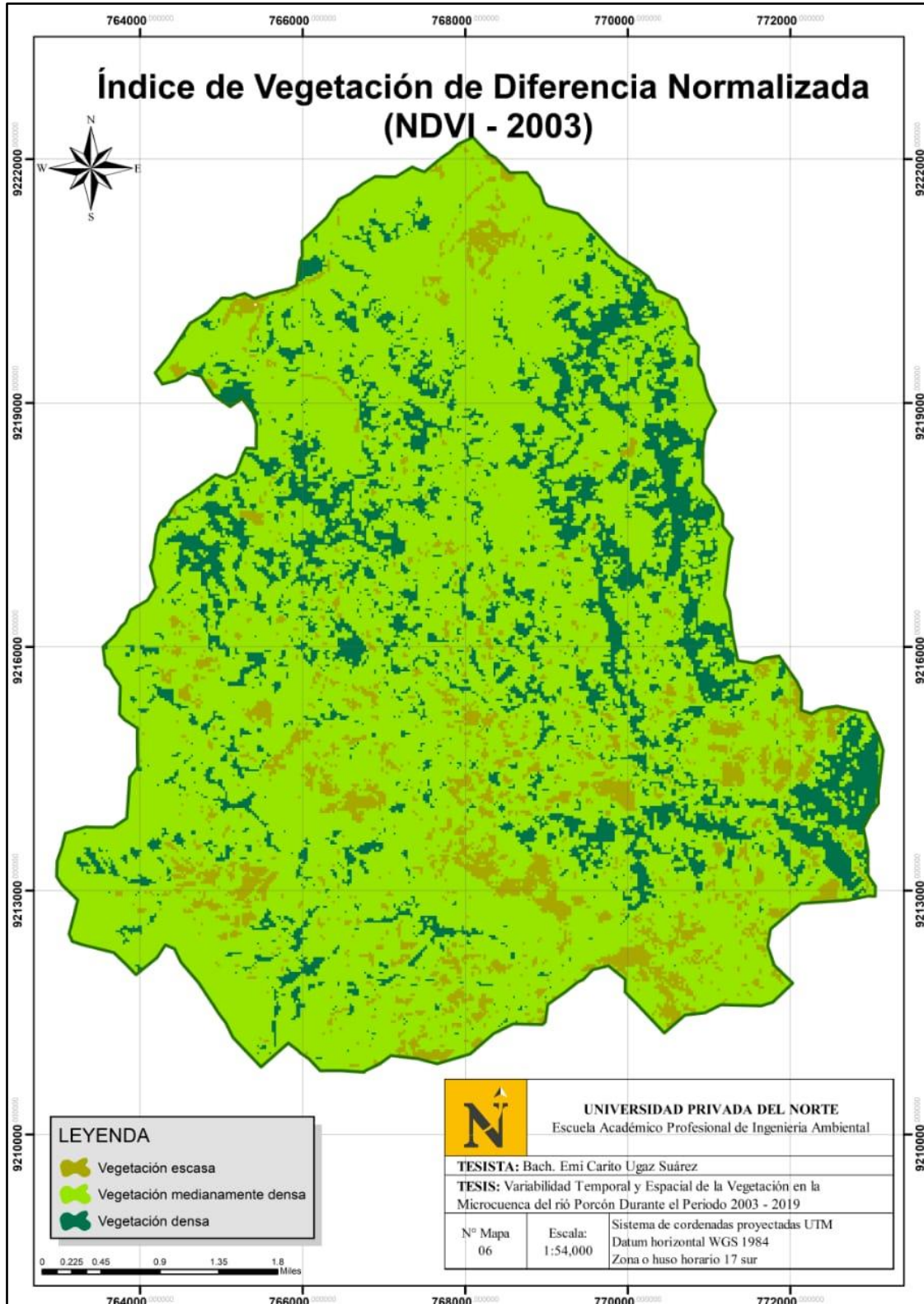


Figura 15. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) 2003

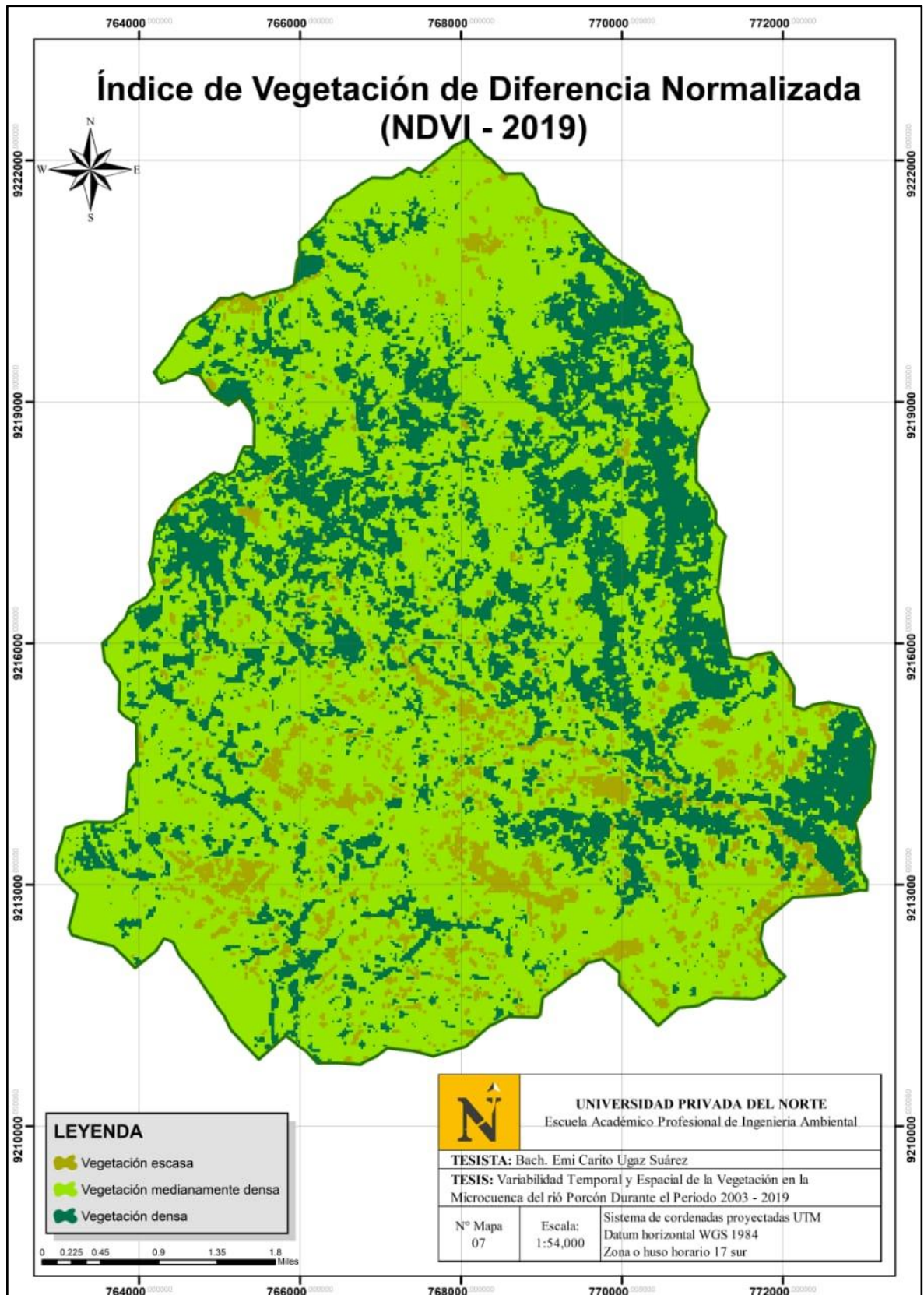


Figura 16. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) 2019.



Tabla 18. *Procesamiento de áreas (Vegetación escasa -2003)*

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
0	Polygon	405900	451	Vegetación escasa	40.59
1	Polygon	273600	304	Vegetación escasa	27.36
2	Polygon	184500	205	Vegetación escasa	18.45
3	Polygon	164700	183	Vegetación escasa	16.47
4	Polygon	150300	167	Vegetación escasa	15.03
5	Polygon	134100	149	Vegetación escasa	13.41
6	Polygon	133200	148	Vegetación escasa	13.32
7	Polygon	125100	139	Vegetación escasa	12.51
8	Polygon	100800	112	Vegetación escasa	10.08
9	Polygon	94500	105	Vegetación escasa	9.45
10	Polygon	77400	86	Vegetación escasa	7.74
11	Polygon	75600	84	Vegetación escasa	7.56
12	Polygon	72900	81	Vegetación escasa	7.29
13	Polygon	71100	79	Vegetación escasa	7.11
14	Polygon	63900	71	Vegetación escasa	6.39
15	Polygon	63000	70	Vegetación escasa	6.3
16	Polygon	61200	68	Vegetación escasa	6.12
17	Polygon	51300	57	Vegetación escasa	5.13
18	Polygon	44100	49	Vegetación escasa	4.41
19	Polygon	40500	45	Vegetación escasa	4.05
41	Polygon	79200	44	Vegetación escasa	7.92

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
69	Polygon	113400	42	Vegetación escasa	11.34
25	Polygon	36900	41	Vegetación escasa	3.69
26	Polygon	33300	37	Vegetación escasa	3.33
27	Polygon	32400	36	Vegetación escasa	3.24
57	Polygon	61200	34	Vegetación escasa	6.12
30	Polygon	29700	33	Vegetación escasa	2.97
63	Polygon	57600	32	Vegetación escasa	5.76
102	Polygon	78300	29	Vegetación escasa	7.83
36	Polygon	25200	28	Vegetación escasa	2.52
37	Polygon	24300	27	Vegetación escasa	2.43
77	Polygon	46800	26	Vegetación escasa	4.68
123	Polygon	67500	25	Vegetación escasa	6.75
43	Polygon	21600	24	Vegetación escasa	2.16
89	Polygon	41400	23	Vegetación escasa	4.14
93	Polygon	39600	22	Vegetación escasa	3.96
147	Polygon	56700	21	Vegetación escasa	5.67
321	Polygon	108000	20	Vegetación escasa	10.8
115	Polygon	34200	19	Vegetación escasa	3.42
567	Polygon	145800	18	Vegetación escasa	14.58
207	Polygon	45900	17	Vegetación escasa	4.59
143	Polygon	28800	16	Vegetación escasa	2.88
147	Polygon	27000	15	Vegetación escasa	2.7

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
465	Polygon	75600	14	Vegetación escasa	7.56
501	Polygon	70200	13	Vegetación escasa	7.02
915	Polygon	108000	12	Vegetación escasa	10.8
1015	Polygon	99000	11	Vegetación escasa	9.9
999	Polygon	81000	10	Vegetación escasa	8.1
2108	Polygon	137700	9	Vegetación escasa	13.77
1662	Polygon	86400	8	Vegetación escasa	8.64
2280	Polygon	94500	7	Vegetación escasa	9.45
5616	Polygon	172800	6	Vegetación escasa	17.28
3819	Polygon	85500	5	Vegetación escasa	8.55
11256	Polygon	172800	4	Vegetación escasa	17.28
22534	Polygon	205200	3	Vegetación escasa	20.52
60941	Polygon	268200	2	Vegetación escasa	26.82
256794	Polygon	342900	1	Vegetación escasa	34.29
				<b>TOTAL</b>	<b>562.23</b>

Tabla 19. *Procesamiento de áreas (vegetación medianamente densa – 2003)*

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
				Vegetación medianamente	
0	Polygon	53931600	59924	densa	5393.16
				Vegetación medianamente	
1	Polygon	217800	242	densa	21.78
				Vegetación medianamente	
2	Polygon	106200	118	densa	10.62
				Vegetación medianamente	
3	Polygon	62100	69	densa	6.21
				Vegetación medianamente	
4	Polygon	57600	64	densa	5.76
				Vegetación medianamente	
5	Polygon	53100	59	densa	5.31
				Vegetación medianamente	
6	Polygon	46800	52	densa	4.68
				Vegetación medianamente	
7	Polygon	39600	44	densa	3.96
				Vegetación medianamente	
8	Polygon	24300	27	densa	2.43
				Vegetación medianamente	
9	Polygon	21600	24	densa	2.16

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
				Vegetación medianamente	
10	Polygon	17100	19	densa	1.71
				Vegetación medianamente	
11	Polygon	16200	18	densa	1.62
				Vegetación medianamente	
12	Polygon	12600	14	densa	1.26
				Vegetación medianamente	
42	Polygon	35100	13	densa	3.51
				Vegetación medianamente	
51	Polygon	32400	12	densa	3.24
				Vegetación medianamente	
19	Polygon	9900	11	densa	0.99
				Vegetación medianamente	
63	Polygon	27000	10	densa	2.7
				Vegetación medianamente	
23	Polygon	8100	9	densa	0.81
				Vegetación medianamente	
102	Polygon	28800	8	densa	2.88
				Vegetación medianamente	
87	Polygon	18900	7	densa	1.89
				Vegetación medianamente	
201	Polygon	32400	6	densa	3.24

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
				Vegetación medianamente	
415	Polygon	45000	5	densa	4.5
				Vegetación medianamente	
515	Polygon	36000	4	densa	3.6
				Vegetación medianamente	
960	Polygon	40500	3	densa	4.05
				Vegetación medianamente	
2100	Polygon	45000	2	densa	4.5
				Vegetación medianamente	
8064	Polygon	56700	1	densa	5.67
TOTAL					5502.24

Tabla 20. *Procesamiento de áreas (vegetación densa – 2003)*

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
Polygon	1499400	1666	0	Vegetación densa	149.94
Polygon	1113300	1237	1	Vegetación densa	111.330
Polygon	803700	893	2	Vegetación densa	80.370
Polygon	726300	807	3	Vegetación densa	72.630
Polygon	511200	568	4	Vegetación densa	51.120
Polygon	490500	545	5	Vegetación densa	49.050
Polygon	317700	353	6	Vegetación densa	31.770
Polygon	275400	306	7	Vegetación densa	27.540
Polygon	218700	243	8	Vegetación densa	21.870
Polygon	187200	208	9	Vegetación densa	18.720
Polygon	174600	194	10	Vegetación densa	17.460
Polygon	157500	175	11	Vegetación densa	15.750
Polygon	150300	167	12	Vegetación densa	15.030
Polygon	148500	165	13	Vegetación densa	14.850
Polygon	132300	147	14	Vegetación densa	13.230
Polygon	115200	128	15	Vegetación densa	11.520
Polygon	103500	115	16	Vegetación densa	10.350
Polygon	102600	114	17	Vegetación densa	10.260
Polygon	98100	109	18	Vegetación densa	9.810
Polygon	97200	108	19	Vegetación densa	9.720
Polygon	96300	107	20	Vegetación densa	9.630

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
Polygon	94500	105	21	Vegetación densa	9.450
Polygon	88200	98	22	Vegetación densa	8.820
Polygon	83700	93	23	Vegetación densa	8.370
Polygon	82800	92	24	Vegetación densa	8.280
Polygon	81900	91	25	Vegetación densa	8.190
Polygon	76500	85	26	Vegetación densa	7.650
Polygon	72900	81	27	Vegetación densa	7.290
Polygon	69300	77	28	Vegetación densa	6.930
Polygon	67500	75	29	Vegetación densa	6.750
Polygon	65700	73	30	Vegetación densa	6.570
Polygon	63000	70	31	Vegetación densa	6.300
Polygon	180900	67	99	Vegetación densa	18.090
Polygon	58500	65	35	Vegetación densa	5.850
Polygon	54900	61	36	Vegetación densa	5.490
Polygon	54000	60	37	Vegetación densa	5.400
Polygon	52200	58	38	Vegetación densa	5.220
Polygon	50400	56	39	Vegetación densa	5.040
Polygon	99000	55	81	Vegetación densa	9.900
Polygon	48600	54	42	Vegetación densa	4.860
Polygon	90000	50	87	Vegetación densa	9.000
Polygon	44100	49	45	Vegetación densa	4.410
Polygon	42300	47	46	Vegetación densa	4.230



<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
Polygon	82800	46	95	Vegetación densa	8.280
Polygon	121500	45	150	Vegetación densa	12.150
Polygon	39600	44	52	Vegetación densa	3.960
Polygon	38700	43	53	Vegetación densa	3.870
Polygon	73800	41	109	Vegetación densa	7.380
Polygon	108000	40	171	Vegetación densa	10.800
Polygon	70200	39	119	Vegetación densa	7.020
Polygon	102600	38	186	Vegetación densa	10.260
Polygon	33300	37	64	Vegetación densa	3.330
Polygon	64800	36	131	Vegetación densa	6.480
Polygon	31500	35	67	Vegetación densa	3.150
Polygon	30600	34	68	Vegetación densa	3.060
Polygon	89100	33	210	Vegetación densa	8.910
Polygon	57600	32	145	Vegetación densa	5.760
Polygon	83700	31	225	Vegetación densa	8.370
Polygon	81000	30	234	Vegetación densa	8.100
Polygon	52200	29	161	Vegetación densa	5.220
Polygon	151200	28	507	Vegetación densa	15.120
Polygon	97200	27	358	Vegetación densa	9.720
Polygon	46800	26	185	Vegetación densa	4.680
Polygon	67500	25	285	Vegetación densa	6.750
Polygon	64800	24	294	Vegetación densa	6.480

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
Polygon	124200	23	615	Vegetación densa	12.420
Polygon	99000	22	540	Vegetación densa	9.900
Polygon	113400	21	681	Vegetación densa	11.340
Polygon	126000	20	840	Vegetación densa	12.600
Polygon	102600	19	759	Vegetación densa	10.260
Polygon	64800	18	526	Vegetación densa	6.480
Polygon	45900	17	405	Vegetación densa	4.590
Polygon	115200	16	1124	Vegetación densa	11.520
Polygon	121500	15	1341	Vegetación densa	12.150
Polygon	88200	14	1099	Vegetación densa	8.820
Polygon	152100	13	2171	Vegetación densa	15.210
Polygon	64800	12	1059	Vegetación densa	6.480
Polygon	49500	11	910	Vegetación densa	4.950
Polygon	72000	10	1508	Vegetación densa	7.200
Polygon	64800	9	1572	Vegetación densa	6.480
Polygon	187200	8	5551	Vegetación densa	18.720
Polygon	119700	7	4484	Vegetación densa	11.970
Polygon	210600	6	10335	Vegetación densa	21.060
Polygon	202500	5	13815	Vegetación densa	20.250
Polygon	194400	4	19251	Vegetación densa	19.440
Polygon	221400	3	34809	Vegetación densa	22.140
Polygon	244800	2	72556	Vegetación densa	24.480

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
Polygon	227700	1	184184	Vegetación densa	22.770
<b>TOTAL</b>					<b>1374.12</b>

 Tabla 21. *Procesamiento de áreas (vegetación escasa – 2019)*

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
0	Polygon	320400	356	Vegetación escasa	32.04
1	Polygon	143100	159	Vegetación escasa	14.31
2	Polygon	113400	126	Vegetación escasa	11.34
3	Polygon	101700	113	Vegetación escasa	10.17
4	Polygon	94500	105	Vegetación escasa	9.45
5	Polygon	90000	100	Vegetación escasa	9
6	Polygon	88200	98	Vegetación escasa	8.82
7	Polygon	79200	88	Vegetación escasa	7.92
8	Polygon	78300	87	Vegetación escasa	7.83
9	Polygon	64800	72	Vegetación escasa	6.48
10	Polygon	62100	69	Vegetación escasa	6.21
11	Polygon	60300	67	Vegetación escasa	6.03
12	Polygon	58500	65	Vegetación escasa	5.85
13	Polygon	57600	64	Vegetación escasa	5.76
14	Polygon	55800	62	Vegetación escasa	5.58
15	Polygon	54900	61	Vegetación escasa	5.49
16	Polygon	49500	55	Vegetación escasa	4.95

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
17	Polygon	47700	53	Vegetación escasa	4.77
37	Polygon	82800	46	Vegetación escasa	8.28
20	Polygon	40500	45	Vegetación escasa	4.05
21	Polygon	36900	41	Vegetación escasa	3.69
22	Polygon	30600	34	Vegetación escasa	3.06
23	Polygon	29700	33	Vegetación escasa	2.97
24	Polygon	28800	32	Vegetación escasa	2.88
25	Polygon	27900	31	Vegetación escasa	2.79
81	Polygon	72900	27	Vegetación escasa	7.29
29	Polygon	23400	26	Vegetación escasa	2.34
30	Polygon	22500	25	Vegetación escasa	2.25
31	Polygon	21600	24	Vegetación escasa	2.16
32	Polygon	20700	23	Vegetación escasa	2.07
67	Polygon	39600	22	Vegetación escasa	3.96
35	Polygon	18900	21	Vegetación escasa	1.89
36	Polygon	18000	20	Vegetación escasa	1.8
154	Polygon	68400	19	Vegetación escasa	6.84
41	Polygon	16200	18	Vegetación escasa	1.62
267	Polygon	91800	17	Vegetación escasa	9.18
250	Polygon	72000	16	Vegetación escasa	7.2
392	Polygon	94500	15	Vegetación escasa	9.45
441	Polygon	88200	14	Vegetación escasa	8.82

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoria</b>	<b>Área (ha)</b>
639	Polygon	105300	13	Vegetación escasa	10.53
891	Polygon	118800	12	Vegetación escasa	11.88
1209	Polygon	128700	11	Vegetación escasa	12.87
936	Polygon	81000	10	Vegetación escasa	8.1
1495	Polygon	105300	9	Vegetación escasa	10.53
2072	Polygon	115200	8	Vegetación escasa	11.52
2175	Polygon	94500	7	Vegetación escasa	9.45
4125	Polygon	135000	6	Vegetación escasa	13.5
9000	Polygon	202500	5	Vegetación escasa	20.25
13197	Polygon	190800	4	Vegetación escasa	19.08
21735	Polygon	189000	3	Vegetación escasa	18.9
54796	Polygon	239400	2	Vegetación escasa	23.94
236222	Polygon	323100	1	Vegetación escasa	32.31
<b>TOTAL</b>					<b>459.45</b>

Tabla 22. *Procesamiento de áreas (vegetación medianamente densa – 2019)*

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
				Vegetación medianamente	
0	Polygon	52956900	58841	densa	5295.69
				Vegetación medianamente	
1	Polygon	146700	163	densa	14.67
				Vegetación medianamente	
2	Polygon	108900	121	densa	10.89
				Vegetación medianamente	
3	Polygon	72900	81	densa	7.29
				Vegetación medianamente	
4	Polygon	60300	67	densa	6.03
				Vegetación medianamente	
5	Polygon	43200	48	densa	4.32
				Vegetación medianamente	
6	Polygon	34200	38	densa	3.42
				Vegetación medianamente	
7	Polygon	30600	34	densa	3.06
				Vegetación medianamente	
8	Polygon	23400	26	densa	2.34
				Vegetación medianamente	
9	Polygon	21600	24	densa	2.16

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
				Vegetación medianamente	
10	Polygon	18000	20	densa	1.8
				Vegetación medianamente	
11	Polygon	17100	19	densa	1.71
				Vegetación medianamente	
12	Polygon	16200	18	densa	1.62
				Vegetación medianamente	
13	Polygon	14400	16	densa	1.44
				Vegetación medianamente	
14	Polygon	13500	15	densa	1.35
				Vegetación medianamente	
31	Polygon	25200	14	densa	2.52
				Vegetación medianamente	
35	Polygon	23400	13	densa	2.34
				Vegetación medianamente	
60	Polygon	32400	12	densa	3.24
				Vegetación medianamente	
45	Polygon	19800	11	densa	1.98
				Vegetación medianamente	
49	Polygon	18000	10	densa	1.8
				Vegetación medianamente	
110	Polygon	32400	9	densa	3.24

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
				Vegetación medianamente densa	
126	Polygon	25200	7	densa	2.52
				Vegetación medianamente densa	
300	Polygon	43200	6	densa	4.32
				Vegetación medianamente densa	
517	Polygon	49500	5	densa	4.95
				Vegetación medianamente densa	
1107	Polygon	64800	4	densa	6.48
				Vegetación medianamente densa	
1701	Polygon	56700	3	densa	5.67
				Vegetación medianamente densa	
3689	Polygon	61200	2	densa	6.12
				Vegetación medianamente densa	
15778	Polygon	82800	1	densa	8.28
<b>TOTAL</b>					<b>5411.25</b>

 Tabla 23. *Procesamiento de áreas (vegetación densa – 2019)*

<b>FID</b>	<b>Shape</b>	<b>Area (m)</b>	<b>PixelCount</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área (ha)</b>
0	Polygon	2763000	3070	Vegetación densa	276.3
1	Polygon	1403100	1559	Vegetación densa	140.31
2	Polygon	773100	859	Vegetación densa	77.31
3	Polygon	649800	722	Vegetación densa	64.98



4	Polygon	440100	489	Vegetación densa	44.01
5	Polygon	362700	403	Vegetación densa	36.27
6	Polygon	354600	394	Vegetación densa	35.46
7	Polygon	241200	268	Vegetación densa	24.12
8	Polygon	187200	208	Vegetación densa	18.72
9	Polygon	153900	171	Vegetación densa	15.39
10	Polygon	135900	151	Vegetación densa	13.59
11	Polygon	126000	140	Vegetación densa	12.6
12	Polygon	123300	137	Vegetación densa	12.33
27	Polygon	239400	133	Vegetación densa	23.94
15	Polygon	117900	131	Vegetación densa	11.79
16	Polygon	108900	121	Vegetación densa	10.89
17	Polygon	108000	120	Vegetación densa	10.8
18	Polygon	104400	116	Vegetación densa	10.44
19	Polygon	97200	108	Vegetación densa	9.72
20	Polygon	93600	104	Vegetación densa	9.36
21	Polygon	92700	103	Vegetación densa	9.27
22	Polygon	90000	100	Vegetación densa	9
23	Polygon	87300	97	Vegetación densa	8.73
24	Polygon	83700	93	Vegetación densa	8.37
25	Polygon	82800	92	Vegetación densa	8.28
26	Polygon	81900	91	Vegetación densa	8.19
27	Polygon	78300	87	Vegetación densa	7.83

28	Polygon	76500	85	Vegetación densa	7.65
29	Polygon	69300	77	Vegetación densa	6.93
30	Polygon	67500	75	Vegetación densa	6.75
63	Polygon	127800	71	Vegetación densa	12.78
33	Polygon	63000	70	Vegetación densa	6.3
34	Polygon	61200	68	Vegetación densa	6.12
35	Polygon	60300	67	Vegetación densa	6.03
36	Polygon	58500	65	Vegetación densa	5.85
37	Polygon	56700	63	Vegetación densa	5.67
77	Polygon	108000	60	Vegetación densa	10.8
40	Polygon	51300	57	Vegetación densa	5.13
126	Polygon	148500	55	Vegetación densa	14.85
44	Polygon	48600	54	Vegetación densa	4.86
45	Polygon	45000	50	Vegetación densa	4.5
46	Polygon	44100	49	Vegetación densa	4.41
95	Polygon	86400	48	Vegetación densa	8.64
255	Polygon	211500	47	Vegetación densa	21.15
54	Polygon	40500	45	Vegetación densa	4.05
111	Polygon	79200	44	Vegetación densa	7.92
57	Polygon	37800	42	Vegetación densa	3.78
117	Polygon	72000	40	Vegetación densa	7.2
183	Polygon	105300	39	Vegetación densa	10.53
127	Polygon	66600	37	Vegetación densa	6.66

65	Polygon	32400	36	Vegetación densa	3.24
133	Polygon	63000	35	Vegetación densa	6.3
68	Polygon	28800	32	Vegetación densa	2.88
282	Polygon	111600	31	Vegetación densa	11.16
147	Polygon	54000	30	Vegetación densa	5.4
75	Polygon	26100	29	Vegetación densa	2.61
471	Polygon	151200	28	Vegetación densa	15.12
249	Polygon	72900	27	Vegetación densa	7.29
171	Polygon	46800	26	Vegetación densa	4.68
724	Polygon	180000	25	Vegetación densa	18
288	Polygon	64800	24	Vegetación densa	6.48
398	Polygon	82800	23	Vegetación densa	8.28
520	Polygon	99000	22	Vegetación densa	9.9
657	Polygon	113400	21	Vegetación densa	11.34
575	Polygon	90000	20	Vegetación densa	9
478	Polygon	68400	19	Vegetación densa	6.84
1004	Polygon	129600	18	Vegetación densa	12.96
931	Polygon	107100	17	Vegetación densa	10.71
1269	Polygon	129600	16	Vegetación densa	12.96
1505	Polygon	135000	15	Vegetación densa	13.5
951	Polygon	75600	14	Vegetación densa	7.56
2535	Polygon	175500	13	Vegetación densa	17.55
2760	Polygon	162000	12	Vegetación densa	16.2

2985	Polygon	148500	11	Vegetación densa	14.85
3655	Polygon	153000	10	Vegetación densa	15.3
4914	Polygon	170100	9	Vegetación densa	17.01
6695	Polygon	187200	8	Vegetación densa	18.72
6193	Polygon	138600	7	Vegetación densa	13.86
11837	Polygon	205200	6	Vegetación densa	20.52
17395	Polygon	220500	5	Vegetación densa	22.05
29916	Polygon	259200	4	Vegetación densa	25.92
48500	Polygon	261900	3	Vegetación densa	26.19
131199	Polygon	363600	2	Vegetación densa	36.36
440176	Polygon	405900	1	Vegetación densa	40.59
				TOTAL	1567.89