

“ANÁLISIS DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE
VEGETACIÓN (NDVI) DEL BOSQUE DE
PROTECCIÓN PAGAIBAMBA, CAJAMARCA
PERÚ, 2016 - 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autora:

Alessandra Vega Chavez

Asesor:

Dra. Irma Geralda Horna Hernandez
<https://orcid.org/0000-0003-3961-0933>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Angélica Ysabel Miranda Jara	40670962
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Carlos Alberto Alva Huapaya	06672420
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Marieta Eliana Cervantes Peralta	29425048
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

“ANÁLISIS DEL ÍNDICE NORMALIZADO DE VEGETACIÓN (NDVI) DEL BOSQUE DE PROTECCIÓN PAGAIBAMBA, CAJAMARCA PERÚ, 2016 - 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	unach.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	documentop.com Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	idoc.pub Fuente de Internet	1%
6	revistas.unilibre.edu.co Fuente de Internet	1%
7	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	1library.co Fuente de Internet	1%

9	www.museonoelkempff.org Fuente de Internet	1%
----------	------------------------------------------------------	-----------

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 1%
Excluir bibliografía Activo

DEDICATORIA

A mi mamá por ser mi mayor inspiración y a mi familia por su apoyo
incondicional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, la universidad y a mi asesor.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2 Formulación del problema	17
1.2.1 Problema general	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Hipótesis	18
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	20
CAPÍTULO III: RESULTADOS	27
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Codificación de las imágenes satelitales	21
Tabla 2 Rangos y categorías del NDVI.....	29
Tabla 3 Área de la superficie por categoría en el periodo seco del Bosque de Protección Pagaibamba.....	30
Tabla 4 Área de la superficie por categoría en el periodo de lluvia del Bosque de Protección Pagaibamba.....	31
Tabla 5 Área de la superficie por categoría en el periodo seco de la Zona de Amortiguamiento.....	32
Tabla 6 Área de la superficie por categoría en el periodo de lluvia de la Zona de Amortiguamiento.....	33
Tabla 7 NDVI promedio del Bosque de Protección Pagaibamba en el periodo seco. ...	34
Tabla 8 NDVI promedio del Bosque de Protección Pagaibamba en el periodo lluvioso.	37
Tabla 9 NDVI promedio de la Zona de Amortiguamiento en el periodo seco.....	40
Tabla 10 NDVI promedio de la Zona de Amortiguamiento en el periodo lluvioso.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Algoritmos del NDVI.....	22
Figura 2 Plantilla de excel para calcular el NDVI.....	26
Figura 3 Mapa de ubicación del Bosque de protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento.....	28
Figura 4 Mapas del NDVI periodo seco del Bosque de Protección Pagaibamba.....	36
Figura 5 Mapas del NDVI periodo lluvioso del Bosque de Protección Pagaibamba.....	39
Figura 6 Mapas del NDVI periodo seco de la Zona de Amortiguamiento.....	42
Figura 7 Mapas del NDVI periodo lluvioso de la Zona de Amortiguamiento.....	45
Figura 8 Evolución del NDVI promedio en el periodo seco y de lluvia entre el 2016 al 2022 del Bosque de Protección Pagaibamba.....	46
Figura 9 Evolución del NDVI promedio en el periodo seco y de lluvia entre el 2016 al 2022 de la Zona de Amortiguamiento.....	46
Figura 10 Mapas del NDVI periodo seco y lluvioso del Bosque de Protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento.....	50

RESUMEN

En el Perú se afectan anualmente diversas y grandes superficies naturales, entre ellas las áreas protegidas cuyas condiciones necesitan de un constante estudio, es por ello que el objetivo de la presente investigación fue analizar el NDVI de la Cobertura Vegetal del Bosque de Protección Pagaibamba y su Zona de amortiguamiento en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, su enfoque fue cuantitativo, con diseño no experimental y alcance descriptivo, su instrumento fue el algoritmo del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) aplicado en el software ArcGis 1.8, su muestra fue el Bosque de Protección Pagaibamba con un área de 2078,38 hectáreas y su Zona de Amortiguamiento con 4100,1 hectáreas; sus resultados mostraron que el NDVI del Bosque de Protección Pagaibamba en el periodo seco tuvo el índice más bajo de 0,24 y en el 2020 fue el más alto con 0,46, en el periodo lluvioso el índice más bajo fue de 0,19 en el año 2016 y el más alto en el 2019 y 2020 con 0,46 en ambos; respecto al NDVI de la Zona de Amortiguamiento en el periodo seco el más bajo fue de 0,25 y el más alto fue de 0,39, en el periodo lluvioso el índice más bajo fue de 0,27 en el 2016 y el más alto fue en el año 2021 con 0,40. Finalmente se concluye que el Bosque de Protección Pagaibamba presentó el NDVI más bajo en los años 2016 y 2017 debido al incendio forestal que se produjo por esas fechas y que se logró recuperar a partir del 2019, respecto a su Zona de Amortiguamiento no fue tan afectada por lo que su NDVI se mantuvo a excepción del año 2016 en el periodo lluvioso.

PALABRAS CLAVES: Cobertura, Vegetal, Pagaibamba, Teledetección, NDVI.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Se sabe que las áreas protegidas son cruciales para la manutención de un ambiente sano tanto para las personas como para la naturaleza (Cantú y Gastón, 2010), son vitales para las culturas y el sustento de comunidades indígenas y locales; además, proporcionan agua y aire limpio, traen beneficios a millones de personas a través del turismo, y protegen contra el cambio climático y las amenazas naturales (Alatorre, 2010).

Lo mencionado anteriormente se ve afectado puesto que a nivel mundial la cobertura vegetal se ha transformado en un problema ambiental de gran preocupación, en América del Sur en los primeros 10 meses del 2019 tuvo un área vegetal afectada de 308,048 km², alrededor de un 70% más que en 2018, causando una gran pérdida de biodiversidad, aumentando las emisiones contaminantes y provocando un desequilibrio en el bienestar y la economía de las poblaciones locales, además de problemas de salud como las enfermedades respiratorias (Cammelli et al., 2020; Lizundia et al., 2020; Sabuco, 2013).

Estos cambios en la cobertura del suelo son factores importantes que deben tener prioridad en la investigación por su gran impacto sobre la biodiversidad y en el cambio climático, es así que se ha comprobado que los sensores remotos, son una herramienta muy útil para detectar cambios en el paisaje en una serie de tiempo en las áreas protegidas (Maillard et al., 2019), ya que puede identificar qué zonas poseen los cambios más drásticos de cobertura vegetal, determinar sus posibles causas y con ello mejorar los mecanismos de gestión de la reserva (Alatorre, 2010).

Es así que la teledetección (Di Bella et al., 2008) y el uso de imágenes satelitales permiten dar seguimiento al cambio en la cobertura vegetal mediante la detección de la variación en la reflectancia (Chen et al., 2011) aplicando los índices vegetales como el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), esta herramienta ayuda a evaluar los cambios en el globo terrestres, sus tendencias positivas y negativas en la salud de la vegetación, además se ha demostrado que las principales causas de las variaciones se deben al clima y uso del suelo (Millano y Paredes, 2016), además resulta útil para la caracterización y análisis multitemporal de los diferentes terrenos vegetales, siendo posible obtener productos cartográficos de gran utilidad para el monitoreo forestal y detección de cambios en la superficie (Spadoni et al., 2020) gracias a que sus datos con visión sinóptica, cobertura repetitiva y descarga en tiempo real (Hegazy y Kaloop, 2015) resultan más útiles, menos costosos y más precisos, es calculado sumando las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (RED) y dividiéndolo entre su resta, con un rango de variación va de -1 a 1, siendo los valores más cercanos al negativo los suelos sin vegetación o superficies rocosas, por otro lado, los positivos corresponden a la vegetación densa (García y Martínez, 2010).

Se presenta la fórmula, donde NIR es la banda del infrarrojo cercano, en el caso de Landsat 8 es la banda 5, y RED se refiere a la banda roja y se refiere a la banda 4.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Con respecto al Perú, que forma parte de la cuenca amazónica, alberga aproximadamente 740 mil km² de bosques lo que ha hecho que sea el segundo país con

mayor densidad forestal en Sudamérica (FAO, 2015); sin embargo, en el año 2016, según el Instituto Nacional de Defensa Civil, el Perú reportó 281 incendios forestales, 93 de estos en el mes de noviembre afectando principalmente a los pastizales de la región andina con un área total de 38 930 000 ha. En el mismo periodo, la pérdida de cobertura vegetal en Cajamarca fue la de mayor magnitud con una extensión de 27 561 ha (Serfor, 2018).

Dentro del departamento de Cajamarca se sitúa el bosque de protección Pagaibamba, en la provincia de Chota, con una extensión de 2078,38 hectáreas (Gobierno de Cajamarca, 2018), el cual tiene más de 1500 individuos divididos en 58 especies, 44 géneros y 31 familias, para este último las más importantes son: Melastomataceae, Lauraceae y Compositae, en el caso de la cobertura arbórea, las especies que ocupan el dosel dominante son: *Ocoteasp*, *Clethrasp* y *Weinmanniacymbifolia* (Alva-Mendoza et al., 2020), por estas y otras características es considerado uno de los ecosistemas hotspots de biodiversidad mundial.

El bosque de protección Pagaibamba se creó el 19 de junio de 1987, mediante la Resolución Suprema N°0222-87-AG/DGFF, tiene un gran rol en la regulación hídrica de las cuencas debido a que aquí predomina el clima tipo lluvioso. Sin embargo, el 2016 fue un periodo atípico donde escasearon las precipitaciones a fin de año, pudiendo ocasionar indirectamente el incendio forestal (Gobierno de Cajamarca, 2018) reportado el día 20 hasta el 26 de noviembre, con una afectación de alrededor de 410 hectáreas de su superficie boscosa y pajonal arbustivo, perjudicando el hábitat de especies como el oso de anteojos y el venado, además de causar una disminución en la provisión de agua en algunos distritos (Sernarp, 2016), una información importante a señalar es que se le considera de tipo altoandino por lo que existe una gran cantidad de plantas epífitas, con

formaciones arbóreas de hasta 15 metros de altura y árboles emergentes de 20 metros (Minam, 2019); dificultado las mediciones en terreno que se requieren para estimar la regeneración de su vegetación en la superficie (Peña y Ulloa, 2017).

Dentro del bosque de protección Pagaibamba se encuentra su Zona de Amortiguamiento que es de 4100,1 ha, este término se refiere a aquellas zonas adyacentes a las áreas naturales protegidas, que por su naturaleza y ubicación requieren un tratamiento especial, para garantizar la conservación de la misma, en esta extensión se pueden realizar actividades económicas, así como incluir habitantes, todo ello siendo controlada por las autoridades y sin poner en riesgo la zona que está bajo protección (Oblitas, 2017).

Asimismo, la cobertura vegetal, que se define como la capa de vegetación natural que cubre la corteza terrestre y alberga una amplia variedad de biomásas con diversas características fisionómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales (Romero y Peña, 2006), sufre cambios debido a las actividades humanas, la deforestación y los incendios forestales (Riaño et al., 2007) que en el caso de los últimos, son considerados un riesgo natural que puede ser dañino pero también contribuyen a mantener la salud y la diversidad, regulando la sucesión de plantas y la acumulación de combustible, así como influyen en los ciclos de nutrientes y los flujos de energía (Leblon et al., 2016), por lo que se requiere hacer un seguimiento de la recuperación de estas áreas para monitorear su recuperación con ayuda de técnicas como la teledetección.

En el caso de Pagaibamba el tipo de cobertura vegetal se denomina Bosque montano occidental andino (Bm-oca) está constituida por bosques remanentes

fuertemente fragmentados, que se encuentran distribuidos en algunas zonas puntuales de la vertiente occidental de los Andes del norte de Perú, entre los 1500 y 3500 m. s. n. m., como, por ejemplo, el sector de Querocoto en Cajamarca, por su ubicación geográfica reciben mucha humedad de las corrientes del aire provenientes del océano Pacífico.

Este bosque alberga montañas accidentadas y húmedas de Kañaris, se ha reportado a las siguientes familias y géneros: Lauráceas (Nectandra, Ocotea, Persea), Cunoniáceas (Weinmannia), Rubiáceas (Cinchona), Podocarpáceas (Podocarpus), Arecaceas (Ceroxylon) y helechos arborescentes de la familia Cyateaceae (Nephelea y Cyathea) muy reconocibles por sus rosetones de frondas que emergen de entre las copas de los árboles de su entorno. El sotobosque está integrado por arbustos adaptados a la sombra y otros totalmente umbrófilos, destacando especies de las familias Rubiáceas, Aráceas, Ericáceas, Musáceas Helechos, que en algunos casos hacen impenetrable al bosque (Llatas-Quiroz y López-Mesones, 2005).

Como antecedentes se tiene a Campos et al. (2018) autores que investigaron la evolución de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cerros de Amotape de Tumbes utilizando el NDVI, clasificaron el área en suelo sin cobertura vegetal, mixta, suelo con vegetación y analizaron la tendencia positiva o negativa, vinculados directamente con la ausencia de precipitaciones pluviales y altas temperaturas, siendo más crítica por la extracción forestal, afectando su capacidad de resiliencia.

En el caso de Peña y Navarro (2016) realizaron un análisis armónico de datos NDVI asociada como series de tiempo para estudiar la deforestación en la provincia de Tahuamanu en Madre de Dios, de esta forma concluyeron cada cuanto tiempo se dan los picos más altos de pérdida y de variabilidad del NDVI, estando en el rango de 2 a 3 meses.

En la misma región, Tarazona y Miyasiro-López (2020) se enfocaron en identificar y categorizar la degradación que los bosques tropicales con el NDVI, por parte de factores antropogénicos y climáticos mediante la teledetección, el cual permitió identificar la productividad forestal además de sus tendencias negativas graduales y abruptas.

A nivel internacional, sobre la evolución de la cobertura vegetal en bosques, autores como Peña y Ulloa (2017) investigaron y mapearon la recuperación de la vegetación quemada en el Parque Nacional Torres del Paine en Chile, con una serie temporal de 24 imágenes Landsat pre- y post-incendio, primero usaron el NDVI para apreciar la variación en los niveles de biomasa, luego la clasificaron y compararon con otros datos para concluir que las coberturas arbóreas fueron las que presentan mayor severidad de daño y una recuperación más lenta, la causa pudo ser la permanencia e intensidad del fuego, tolerancia de las especies, entre otras.

De igual manera, Curieses et al. (2017) modelaron los niveles de severidad mediante el NDVI respecto al tiempo para determinar la resiliencia de la vegetación post-incendio en la Sierra del Teleno (España), es así que demostraron resistencia del área estudiada debido al tipo de especie arborea y a los constantes incendios que ocurren, también evidenciaron la efectividad del índice para calcular la severidad.

Bajo la misma metodología, en Brasil Alencar et al. (2019) realizaron un análisis multitemporal durante el periodo de 1984 a 2011 en la cuenca del Moxotó, con el NDVI y SAVI en la cual utilizaron imágenes Landsat de los últimos meses por ser el periodo seco y con menos nubosidad, concluyeron que ambos índices fueron útiles para observar la variabilidad espacial y temporal de la vegetación.

Finalmente, la presente investigación se justifica porque al medir el NDVI de la cobertura vegetal en el Bosque de Protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento se reconoce la salud de la biomasa en el Bosque de Protección Pagaibamba lo que es vital debido a que garantiza el normal abastecimiento del agua para consumo humano, agrícola de los distritos de Querocoto, Llama y Huambos, por lo que es un factor regulador del régimen hídrico y climático de la zona para evitar el sedimento de los ríos, asimismo se ubica, cuantifica y reconoce el estado de la vegetación, tanto la degradada como la que se ha restaurado naturalmente en el espacio y tiempo determinado, y los sitios que necesitaran de otro tipo de estrategias para recuperarse, adicional a esto se pueden presumir las consecuencias y causas del cambio de cobertura. Por otro lado, al realizar este tipo de trabajos hay una disminución de costos y tiempo por lo que se obtendrían datos del estado de la cobertura vegetal, sin necesidad de requerir estudios de campo que conllevan otro tipo de recursos, además brinda información sobre la biodiversidad y el ciclo hidrológico dentro de una región geográfica que sirve tanto para las organizaciones públicas como para la población aledaña al lugar, de igual forma la información obtenida beneficiara a futuras investigaciones académicas, así como a implementar medidas de prevención y conservación, por todo lo mencionado anteriormente se denota la prioridad que contiene esta investigación.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál es el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) del Bosque de Protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento, Cajamarca – Perú, del 2016 al 2022, en el periodo seco y periodo lluvioso?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Analizar el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) del Bosque de Protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento, Cajamarca-Perú, del 2016 al 2022, en el periodo seco y periodo lluvioso.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar el NDVI de la Cobertura Vegetal del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, 2016 al 2022, periodo seco.
- Analizar el NDVI de la Cobertura Vegetal del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, periodo lluvioso.
- Analizar el NDVI de la Cobertura Vegetal de la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, periodo seco.
- Analizar el NDVI de la Cobertura Vegetal de la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, periodo lluvioso.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipotesis General

- El Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) del Bosque de Protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento, Cajamarca-Perú, del 2016 al 2022, en el periodo seco y periodo lluvioso estará entre las categorías de Suelo descubierto, Vegetación escasa, Vegetación medianamente densa y Vegetación densa.

1.4.2. Hipotesis Especificas

- El NDVI de la Cobertura Vegetal del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, 2016 al 2022, en el periodo seco estará entre las categorías de Suelo descubierto, Vegetación escasa, Vegetación medianamente densa y Vegetación densa.
- El NDVI de la Cobertura Vegetal del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, en el periodo lluvioso estará entre las categorías de Suelo descubierto, Vegetación escasa, Vegetación medianamente densa y Vegetación densa.
- El NDVI de la Cobertura Vegetal de la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, en el periodo seco estará entre las categorías de Suelo descubierto, Vegetación escasa, Vegetación medianamente densa y Vegetación densa.
- El NDVI de la Cobertura Vegetal de la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, en el

periodo lluvioso estará entre las categorías de Suelo descubierto, Vegetación escasa, Vegetación medianamente densa y Vegetación densa.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación analizó el NDVI de la Cobertura Vegetal del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca y su Zona de amortiguamiento, del 2016 al 2022, por lo que tuvo un diseño no experimental que se aplicó de forma longitudinal dado que se centra básicamente en la observación de las transformaciones a través de periodos de tiempo, para después analizarlos y hacer inferencias respecto al cambio, con alcance descriptivo porque no se manipuló deliberadamente la variable, por el contrario, se analizó tal como se da en su contexto natural (Arias, 2012; Hernández- Sampieri et al., 2014).

Debido a los objetivos, las características y necesidades del estudio, se tuvo un planteamiento metodológico de enfoque cuantitativo, del cual se toma la técnica de la observación para medir el índice de NDVI de la cobertura vegetal en el Bosque de protección Pagaibamba en el periodo mencionado anteriormente, basándose en sus rangos y la categoría de vegetación que presente.

Población

La población fue toda el Área Natural Protegida y su Zona de Amortiguamiento con un área total de 6,178.38 hectáreas, con coordenadas UTM en el eje X: 714693.7 y en el eje Y: 9290779.08, en la zona 17 sur.

Muestra

La muestra es la misma extensión que la población pero dividida en dos partes una del Bosque de Protección Pagaibamba con un área de 2078,38 hectáreas y su Zona de Amortiguamiento con 4100,1 hectáreas; se recopiló la información por conveniencia, puesto que los elementos elegidos se relacionaron con el propósito y criterios de la investigación más no con fórmulas probabilísticas (Hernández, Fernández, y Baptista, 2018). A continuación, se muestra la tabla señalando las imágenes satelitales obtenidas de la plataforma USGS.

Tabla 1

Codificación de las imágenes satelitales

Satélite	Año	Periodo	Fecha	Cobertura de nubes
Landast 8	1er año	Seco	2016/08/25	Menos del 10%
		Lluvia	2016/11/20	
	2do año	Seco	2017/08/19	
		Lluvia	2017/01/23	
	3er año	Seco	2018/09/07	
		Lluvia	2018/12/05	
	4to año	Seco	2019/08/02	
		Lluvia	2019/11/22	
	5to año	Seco	2020/08/11	
		Lluvia	2020/08/26	
	6to año	Seco	2021/08/07	
		Lluvia	2021/12/13	
	7mo año	Seco	2022/06/15	
		Lluvia	2022/11/30	

Instrumento de medición

Se utilizó como instrumento el algoritmo del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para las imágenes Landsat 8 con lenguaje de programación en el software Arcgis 10.8, esto se empleó por ser muy útil al examinar los patrones de distribución espacial y temporal (Millano y Paredes, 2016) además ya se encuentra validado puesto que su fórmula fue desarrollada matemáticamente para calcular la cantidad y estado de la cobertura vegetativa sobre el suelo, la topografía y el terreno con relación a la iluminación (Lausch et al., 2013). Asimismo para hacer uso del NDVI las imágenes satelitales deben ser rectificadas con el Protocolo de Octorectificación de imágenes Landsat emitido por el Minam en el 2014, en caso sea necesario, debido a que al momento de captar la información los sensores pudieron interactuar con partículas o nubes que distorsionan el reflejo y la absorción de los fotones y pueden causar errores en la información geoespacial o efecto de los aerosoles como la radiancia intrínseca (Aguilar et al., 2015),

```
var dataset = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_8DAY_NDVI')
    .filterDate('2017-01-01', '2017-12-31');
var colored = dataset.select('NDVI');
var coloredVis = {
  min: 0.0,
  max: 1.0,
  palette: [
    'FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718', '74A901',
    '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201', '004C00', '023B01',
    '012E01', '011D01', '011301'
  ],
};
Map.setCenter(6.746, 46.529, 6);
Map.addLayer(colored, coloredVis, 'Colorized');
```

Figura 1 Algoritmos del NDVI

Materiales y Equipos

Los materiales utilizados para esta investigación fueron

- Las imágenes satelitales de la plataforma USGS del Landsat 08 y sus bandas 4 y 5
- Mapas generales cartográficos
- Shapefiles del Geoservidor “Geo ANP” del Minam

Por otro lado, los equipos manejados fueron los siguientes:

- Software ArcGis 1.8
- Laptop Acer.
- Elementos como lapiz y block de anotaciones.

A continuación, se especifica el procedimiento de recolección y análisis de datos.

Adquisición de las imágenes satelitales

Para recolectar las imágenes satelitales se recurrió a la plataforma de USGS del Landsat 08 Orto rectificadas con cobertura global del Visor Global de Visualización (GLOVIS), se seleccionaron 14 imágenes en total, 2 por año, una del periodo lluvioso entre los meses octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo; y otra en periodo seco entre los meses junio, julio, agosto y setiembre, con la finalidad de poder comparar en que época se da un mayor incremento de la cobertura vegetal, además, las condiciones de vegetación y climáticas no varían en gran medida debido a que las fechas son cercanas por lo que permitirán mostrar mejores resultados en la investigación,

entre los criterios de inclusión se tiene a la misma medida en la resolución de la imagen, la baja presencia de errores o distorsiones y un máximo de 10% de nubosidad y sombras (Chuvieco, 1998).

Pre procesamiento de las imágenes satelitales

Debido a que las imágenes obtenidas en esta investigación tuvieron una nubosidad del menos del 10% y carecieron de sombras, no fue necesario aplicar la octorectificación, por lo que en el software Arcgis 10.8, se comenzó por corregir geométricamente cada imagen a través de la herramienta “Project raster” lo cual define el sistema de coordenadas en una nueva referencia espacial para cada una de estas.

Procesamiento de las imágenes satelitales

- *Determinación del NDVI por categoría*

Después del pre procesamiento de la imagen satelital del Bosque de Protección Pagaibamba en la zona 17 sur, se procede a realizar los siguientes pasos:

1er Paso: Se seleccionó la banda 4 y 5 de la imagen satelital ya proyectada y se pasa al área de despliegue.

2do paso: Se pasó a cortar con el shapefile del Bosque de Protección Pagaibamba y se dispuso en un archivo, se repitió el proceso con el mapa de la Zona de Amortiguamiento. Esto se realiza mediante la caja de herramientas “Arctoolbox”, se selecciona “Data management tool”- “Raster”- “Raster processing” ejecutando el “Clip”, y sirve para poder realizar los siguientes pasos solo en el área de interés.

3er Paso: Se realiza la fórmula, en la herramienta “Raster Calculator”, donde se dispone la siguiente fórmula:

$$\text{Float (Banda 5 - Banda 4) / Float (Banda 4 + Banda 5)}$$

Al ejecutarla se obtiene un archivo, al cual se pasa a clasificar mediante el click derecho se va hacia “Properties”, posterior a eso se clasificó en cuatro rangos, del -1 al 0,1, otra al 0,2, al 0,4 y al 0,6,

5to paso: Se reclasificó el archivo, mediante la herramienta “Reclassify”, donde se vuelve a colocar los rangos y se acepta el cambio.

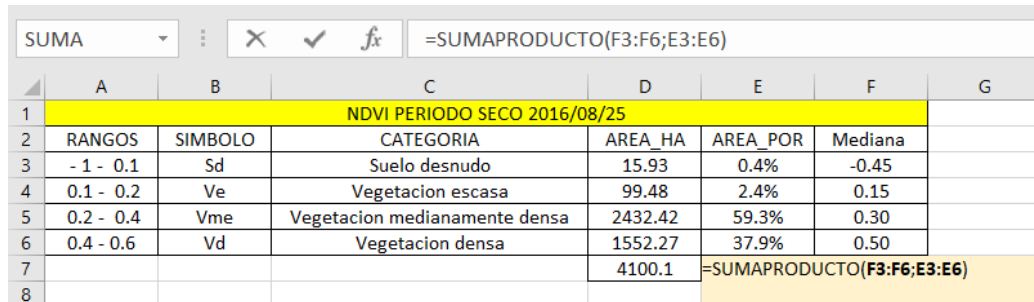
6to paso: Se pasó a agregar los campos de “Símbolo”, “Categoría”, “Área_Ha” y “Área_Porc”, esto se hizo, pasando a ver la tabla de atributos, dándole click en “Add files”.

7mo paso: Para agregar información en la tabla de atributos del archivo final, se pasa a dar click en “Start editing” y seleccionando el archivo a editar. Se pasa a agregar los símbolos y categorías, respecto al Área, se pasa a calcular “Área_Ha” mediante la fórmula, $30*30*Count/10000$ y el campo “Área_Porc”, con $[Área_Ha]/Área\ total * 100$.

8vo paso: Se pasa a View Layout, para realizar el diseño final del mapa y su presentación.

9no paso: Se pasa todos los datos recopilados de los campos “Símbolo”, “Categoría”, “Área_Ha” y “Área_Porc”, a Excel para realizar el cálculo del NDVI.

10mo paso: Para calcular el NDVI se procede a calcular la Media de cada uno de los rangos, finalmente se realiza la fórmula, “=sumaproducto(Selección de todos los rangos de la media: Selección de todos los porcentajes del área). Así como se muestra en la siguiente imagen.



NDVI PERIODO SECO 2016/08/25						
RANGOS	SIMBOLO	CATEGORIA	AREA_HA	AREA_POR	Mediana	
- 1 - 0.1	Sd	Suelo desnudo	15.93	0.4%	-0.45	
0.1 - 0.2	Ve	Vegetacion escasa	99.48	2.4%	0.15	
0.2 - 0.4	Vme	Vegetacion medianamente densa	2432.42	59.3%	0.30	
0.4 - 0.6	Vd	Vegetacion densa	1552.27	37.9%	0.50	
			4100.1			=SUMAPRODUCTO(F3:F6;E3:E6)

Figura 2 Plantilla de excel para calcular el NDVI

Consideraciones éticas

El presente estudio usa las imágenes satelitales procedentes de una plataforma gratuita y reconocida como es la USGS, asimismo se cumple con el principio ético del respeto a la fuente ya que toda la información fue citada con sus respectivos autores, de igual forma se señala que se cumple con el principio de veracidad ya que no existe un conflicto de intereses, es así que los resultados son presentados como se obtuvieron originalmente con un procesamiento adecuado, sin alteración alguna para mostrar un reporte fidedigno. Por último, evidencia el respeto e interés por los ecosistemas abordando el análisis de la cobertura vegetal, para de esta manera comunicar como fueron afectadas y el estado actual de las áreas protegidas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Siendo el objetivo analizar el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) del Bosque de Protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento, Cajamarca-Perú, del 2016 al 2022, en el periodo seco y periodo lluvioso, a continuación se presenta en primer lugar las características del área estudiada y por ende su importancia, seguidamente la variación de la superficie vegetal y la estimación del NDVI durante el periodo mencionado anteriormente, se aprecia en términos generales que el bosque es de gran importancia para la regulación hídrica de los distritos aledaños así como en la biodiversidad del país. Las siguientes líneas explicaran a través de tablas y figuras los resultados hallados para una mejor comprensión.

3.1. Características del bosque de protección Pagaibamba

Como se mencionó anteriormente Pagaibamba está ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Chota, distrito de Querocoto, su superficie es de 2078,38 hectáreas (Gobierno de Cajamarca, 2018) y su Zona de Amortiguamiento es de 4100,1 ha (Delgado, 2020), consta de un clima de tipo lluvioso, semifrío y húmedo, a su vez se compone de 18 zonas de vida (Sánchez-Tello, 2011) y tres ecorregiones las cuales son: Bosque montano de la cordillera occidental que se extienden al Norte del Perú con bosques relictos, caracterizados por recibir los vientos húmedos del Atlántico lo que ayuda al desplazamiento de nubes y neblinas hacia la cordillera de Pagaibamba y hace posible el incremento de agua para los distritos de Querocoto, Llama y Huambos, tienen un rango de altitud de 1400 a 3000 m.s.n.m y ocupan el 0,07% del territorio nacional

(Llatas-Quiroz y López-Mesones, 2005) albergando el 23% de endemismo lo que ocasiona un mayor interés por investigar su flora (León, 2006); la segunda ecorregión es el Bosque del marañón, que se encuentra en la zona baja de amortiguamiento con especies adaptadas al clima seco; y finalmente la zona del pajonal de Jalca en la parte occidental del bosque sobre los 3100 m.s.n.m. con gran importancia en la generación y almacenamiento de agua (Roncal, 2018).

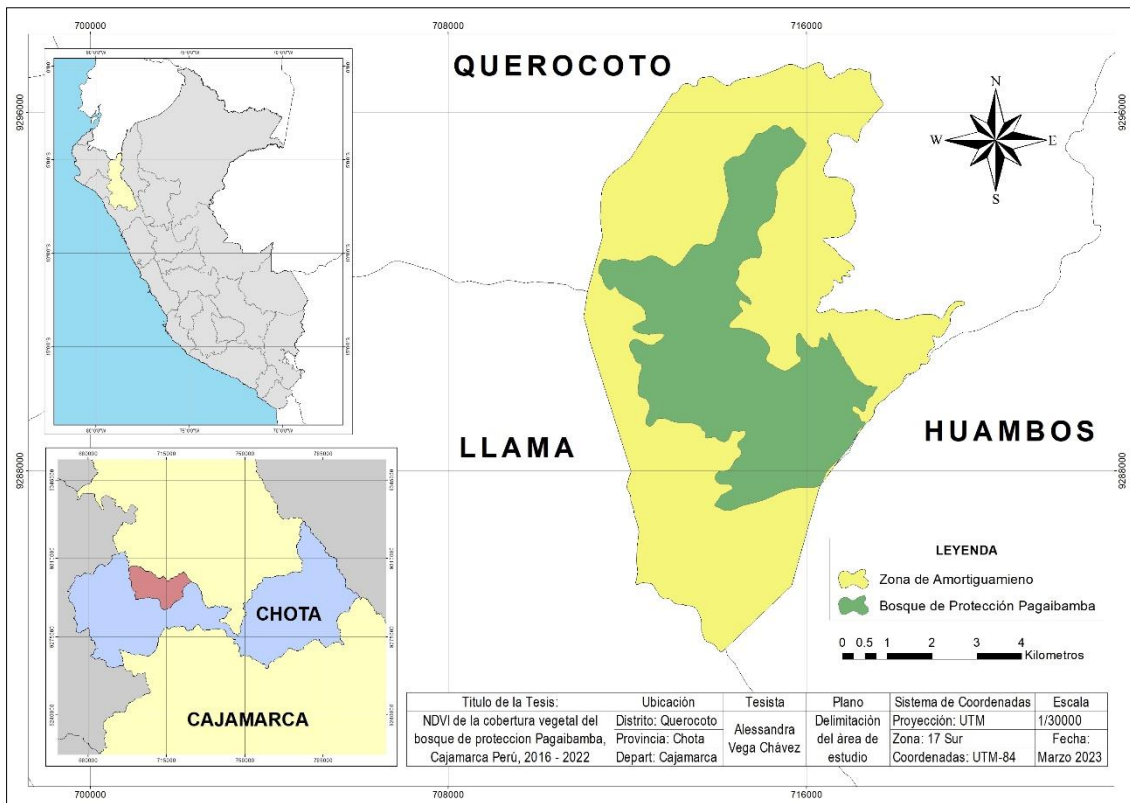


Figura 3 Mapa de ubicación del Bosque de protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento

3.2. Variación del Índice de vegetación entre los años 2016 al 2020

En primer lugar, es preciso recalcar que esta investigación usó como herramienta el NDVI solo para indicar el estado de la cobertura vegetal del Bosque de Protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento, ya que como menciono Bastos et al. (2011) y Chuvieco et al. (2008) esta metodología es muy frecuente para valorar y separar la superficie total por tipo de cobertura, como el suelo desnudo, vegetación escasa, vegetación medianamente densa y vegetación densa; para su cálculo se determinaron los rangos y categorías, como es mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2

Rangos y categorías del NDVI

Rangos	Símbolo	Categoría
- 1 – 0,1	Sd	Suelo descubierto
0,1 – 0,2	Ve	Vegetación escasa
0,2 – 0,4	Vmd	Vegetación medianamente densa
0,4 – 0,6	Vd	Vegetación densa

Nota. Adaptado de Bravo (2019).

Se presenta en la tabla 3, el área en hectáreas por tipo de cobertura en el periodo seco del Bosque de Protección Pagaibamba. Cabe resaltar que la imagen seleccionada en el 2016 fue del agosto en la época seca y se permite apreciar resultados relativamente normales, con una disminución de vegetación densa en el 2017 y 2018. La mayor superficie en el 2016 fue la de Vegetación densa, sin embargo en el 2017 la predominante fue la Vegetación medianamente densa con 993,6 ha, en el 2018 se mantuvo en la misma

categoría con 1346,76 ha, en el 2019 fue la de Vegetación Densa con 1470,34, en el 2020 igual con 1683,63, en el 2021 varios a la Vegetación Medianamente Densa con 1044,15, y finalmente en el 2020 la mayor categoría fue la de Vegetación Densa con 1056,34; por lo que se infiere que la cobertura vegetal se mantuvo entre esas dos categorías principalmente demostrando tener una superficie normal.

Tabla 3

Área de la superficie por categoría en el periodo seco del Bosque de Protección Pagaibamba

Periodo seco Bosque de Protección Pagaibamba				
Año	Área (ha)			
	Sd	Ve	Vmd	Vd
2016	0,81	15,75	756,5	1305,32
2017	171,55	524,52	993,6	388,71
2018	6,04	59,94	1346,76	665,64
2019	7,65	80,1	520,29	1470,34
2020	2,29	12,44	380,02	1683,63
2021	0,81	20,68	1044,15	1012,74
2022	0,09	26,91	995,04	1056,34

La siguiente tabla 4, el área en hectáreas por tipo de cobertura en el periodo lluvioso del Bosque de Protección Pagaibamba, comenzó en setiembre del 2016 teniendo la mayor área de 687,58 ha en la categoría de Vegetación escasa, esto pudo deberse a que en ese año se produjo el incendio forestal dentro del área natural protegida, en el siguiente año 2017 volvió a predominar la misma categoría con 931,58 ha, en el 2018 esto cambió teniendo con mayor área a la vegetación medianamente escasa con 1183,16 ha, en los

siguientes años 2019, 2020, 2021, 2022 la mayor área estuvo en la categoría de Vegetación densa, con áreas de 1700,81 ha, 1706,48 ha, 1472.49 ha y 1516,5 ha, respectivamente.

Tabla 4

Área de la superficie por categoría en el periodo de lluvia del Bosque de Protección Pagaibamba

Periodo de lluvia Bosque de Protección Pagaibamba				
	Área (ha)			
Año	Sd	Ve	Vmd	Vd
2016	396,9	687,58	539,62	454,28
2017	165,78	931,72	491,74	489,14
2018	4,99	5,35	1183,16	884,88
2019	3,97	47,43	326,17	1700,81
2020	2,5	10,25	359,15	1706,48
2021	0,09	1,63	604,17	1472,49
2022	0,55	19,71	541,62	1516,5

Se presenta en la tabla 5, el área en hectáreas por tipo de cobertura en el periodo seco de la Zona de Amortiguamiento, siendo la de mayor superficie en todos los años la Vegetación medianamente densa, ya que en el 2016 se tuvo 2432,42 ha, en el 2017 fue 1996,33 ha teniendo la menor área respecto a los otros años, en el 2018 se observó un área de 2630,04, en el 2019 fue de 2486,29, en el 2020 fue de 2099,58, en el 2021 fue de 2149,86 y finalmente en el 2022 fue de 2259,59, todas pertenecientes a la Vegetación medianamente densa.

Tabla 5

*Área de la superficie por categoría en el periodo seco de la
 Zona de Amortiguamiento*

Periodo seco de la Zona de Amortiguamiento				
Año	Área (ha)			
	Sd	Ve	Vmd	Vd
2016	15,93	99,48	2432,42	1552,27
2017	377,41	747,37	1996,33	978,99
2018	20,88	127,35	2630,04	1321,83
2019	99,88	304,08	2486,29	1209,85
2020	72,42	127,25	2099,58	1800,85
2021	25,49	207,48	2149,86	1717,27
2022	32,33	304,04	2259,59	1504,14

Respecto a la tabla 6, en el periodo lluvioso de la Zona de Amortiguamiento, se tuvo a la superficie predominante en casi todos los años a la Vegetación medianamente densa, ya que en el 2016 se tuvo 2920,0 ha, en el 2017 fue 2120,77, en el 2018 se observó un área de 2540,67, en el 2019 fue de 2167,74, en el 2020 fue de 2905,78 y en el 2022 fue de 2272,92, por otro lado el 2021 tuvo una extensión mayor de 2141,19 ha en la categoría de Vegetación densa esto pudo deberse a las variaciones climáticas de la zona.

Tabla 6

Área de la superficie por categoría en el periodo de lluvia de la Zona de Amortiguamiento

Periodo de lluvia de la Zona de Amortiguamiento				
	Área (ha)			
Año	Sd	Ve	Vmd	Vd
2016	218,16	409,14	2920,00	552,80
2017	195,72	516,08	2120,77	1267,53
2018	9,27	40,95	2540,67	1509,21
2019	5,89	87,53	2167,74	1838,94
2020	12,87	67,48	2905,78	1113,97
2021	10,08	35,64	1913,19	2141,19
2022	8,64	78,12	2272,92	1740,42

3.2 NDVI de la Cobertura Vegetal del ANP Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, 2016 al 2022, periodo seco.

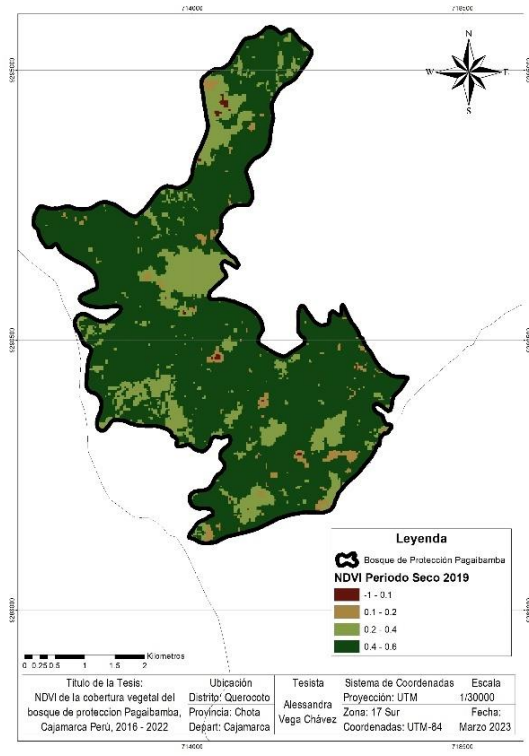
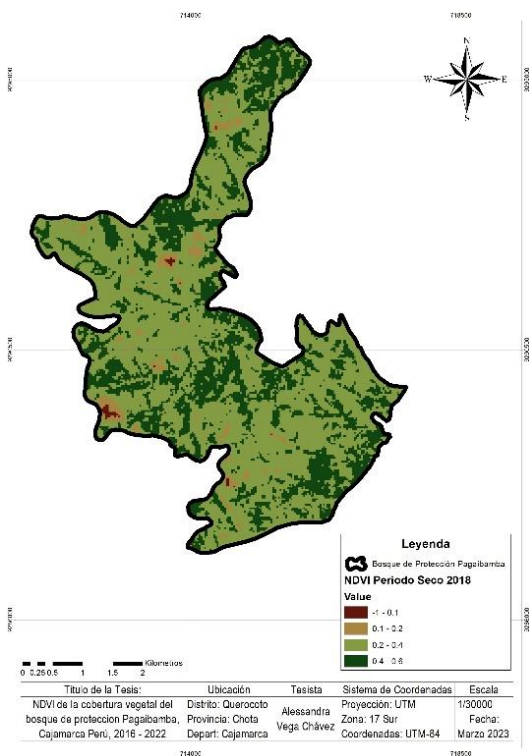
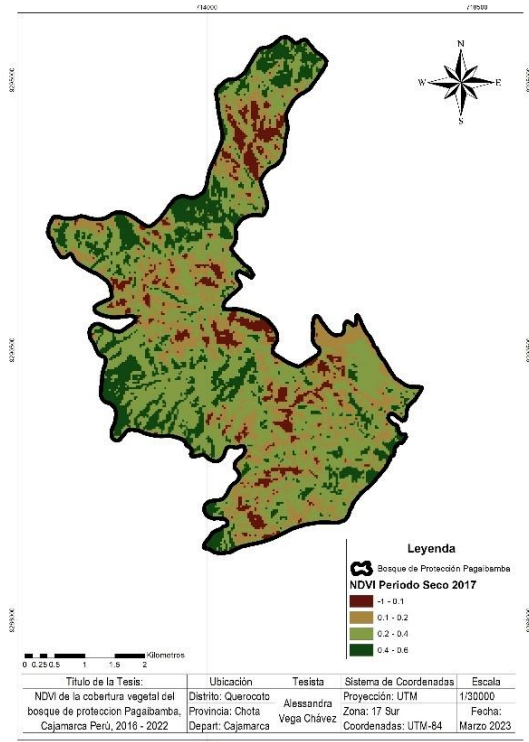
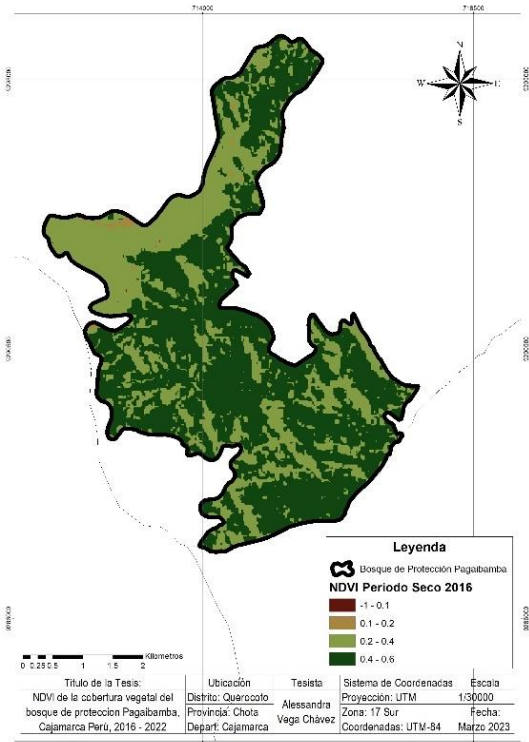
En la siguiente tabla 7 se muestran los resultados del NDVI promedio del Periodo seco en el Bosque de Protección de Pagaibamba, teniendo un índice normal el 2016 y disminuyendo a partir del 2017, esto pudo deberse al incendio forestal que sucito meses atrás, a partir del 2018 al 2020 esto aumento aumento hasta llegar al 0,46, para posteriormente en el 2021 y 2022 disminuir a 0,40.

Tabla 7

*NDVI promedio del Bosque de Protección
Pagaibamba en el periodo seco.*

Año	NDVI Periodo Seco
2016	0,42
2017	0,24
2018	0,36
2019	0,43
2020	0,46
2021	0,40
2022	0,40

Los mapas elaborados a través del software Arcgis 10.8 son puesto en la figura 4, en ellos se puede observar el mapa del Bosque del Bosque de Protección Pagaibamba y su leyenda, para un mejor entendimiento cada rango se puso de diferente color, representando a su vez a cada categoría según lo indica la Tabla 2.



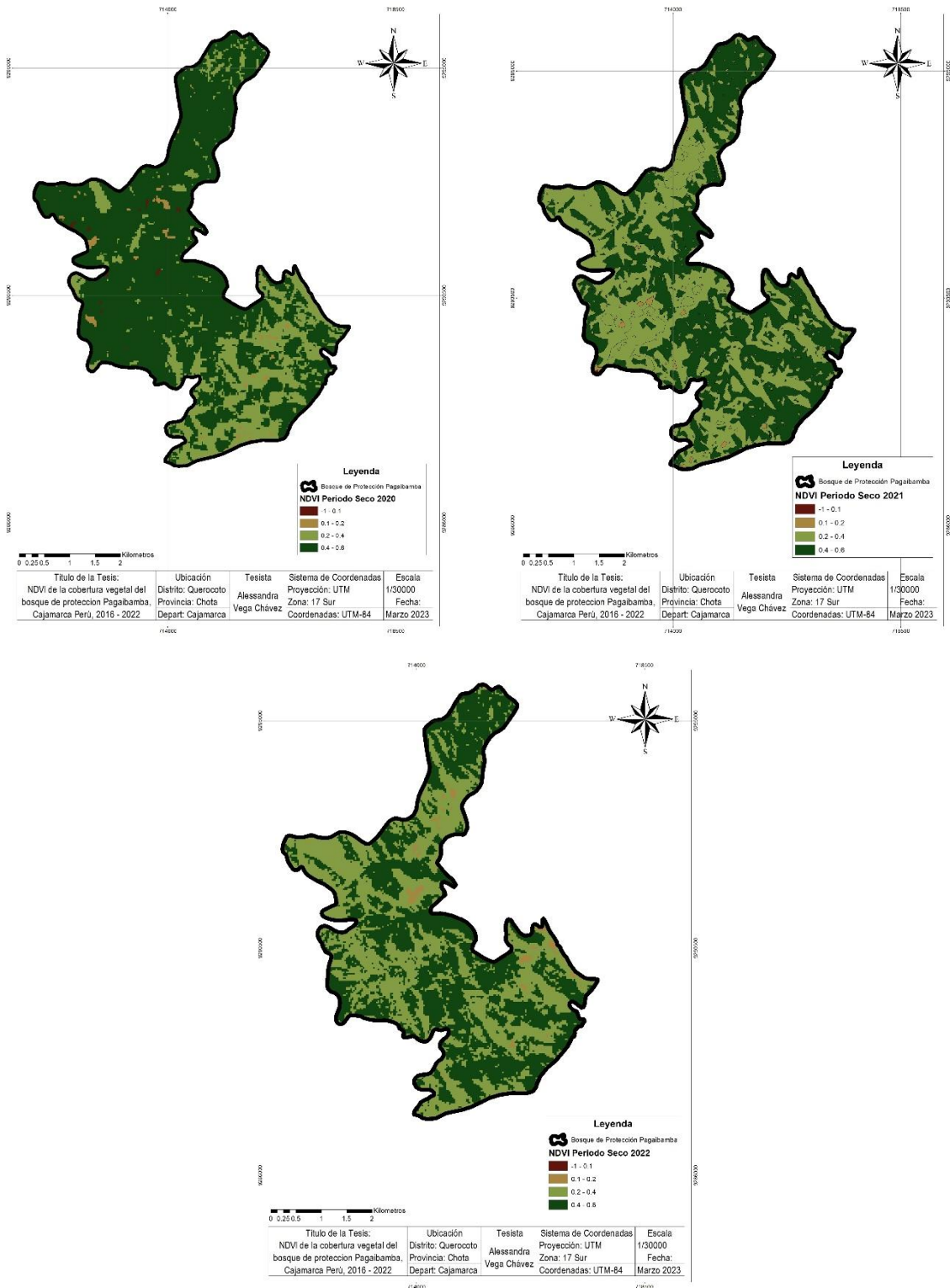


Figura 4 Mapas del NDVI periodo seco del Bosque de Protección Pagaibamba

3.3 NDVI de la Cobertura Vegetal del ANP Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, periodo lluvioso.

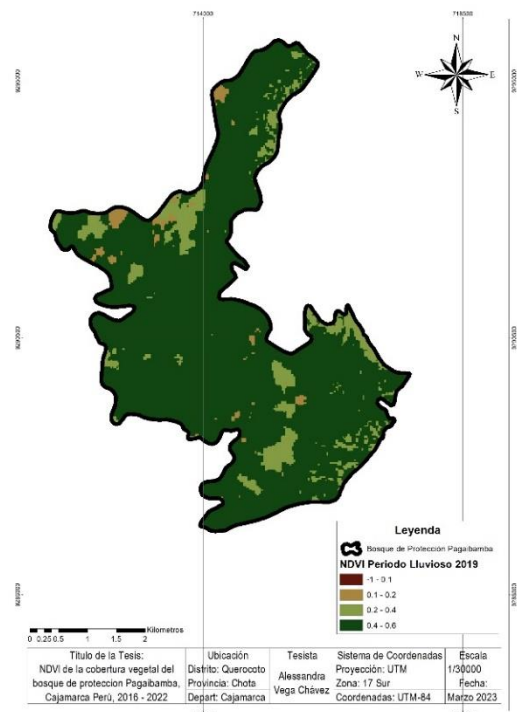
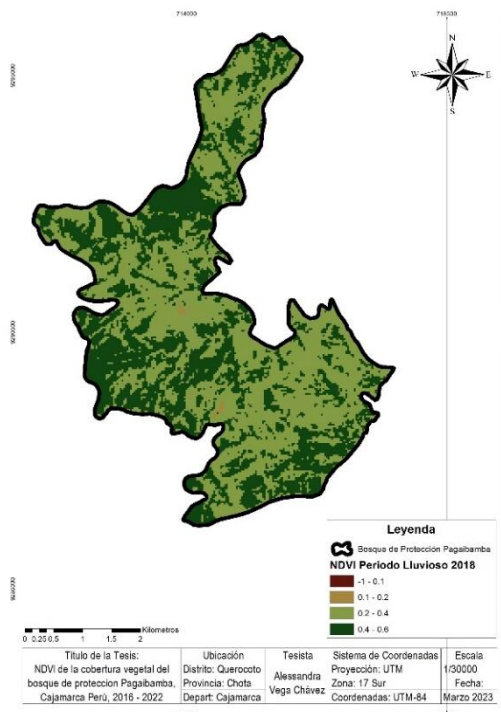
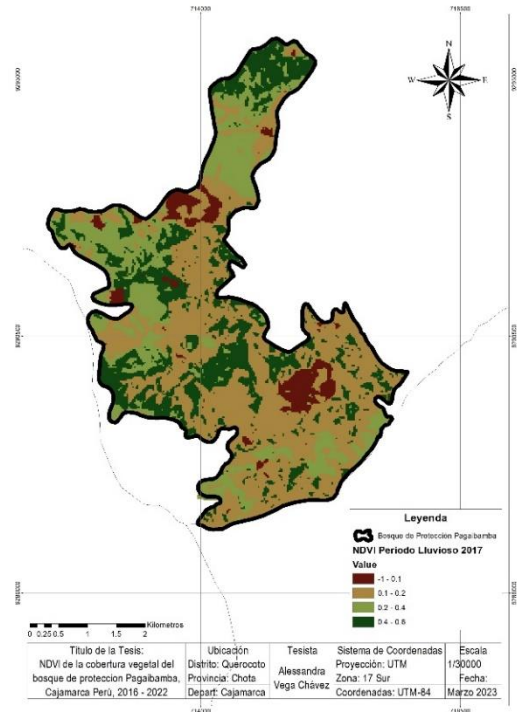
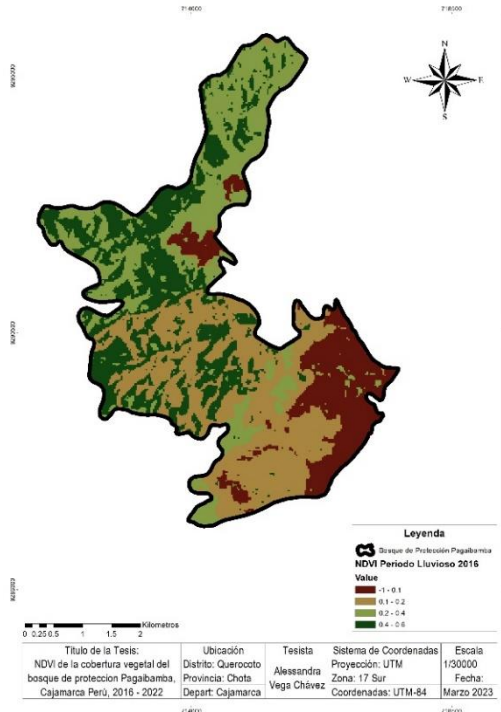
En la siguiente tabla 8, se muestran los resultados del NDVI promedio del Periodo lluvioso en el Bosque de Protección de Pagaibamba, teniendo al índice más bajo en el año 2016 con un valor de 0,19 debido a que en ese mes ocurrió el siniestro, en el 2017 aumento a 0,22, en el 2018 a 0,38 y en los años 2019 y 2020 tuvo los más altos valores con 0,46, en los años posteriores de 2021 y 2022 disminuyo a 0,44.

Tabla 8

NDVI promedio del Bosque de Protección Pagaibamba en el periodo lluvioso.

Año	NDVI Periodo Lluvioso
2016	0,19
2017	0,22
2018	0,38
2019	0,46
2020	0,46
2021	0,44
2022	0,44

En la figura 5, se puede observar el mapa del Bosque del Bosque de Protección Pagaibamba y su leyenda, para un mejor entendimiento cada rango se puso de diferente color, representando a su vez a cada categoría según lo indica la Tabla 2.



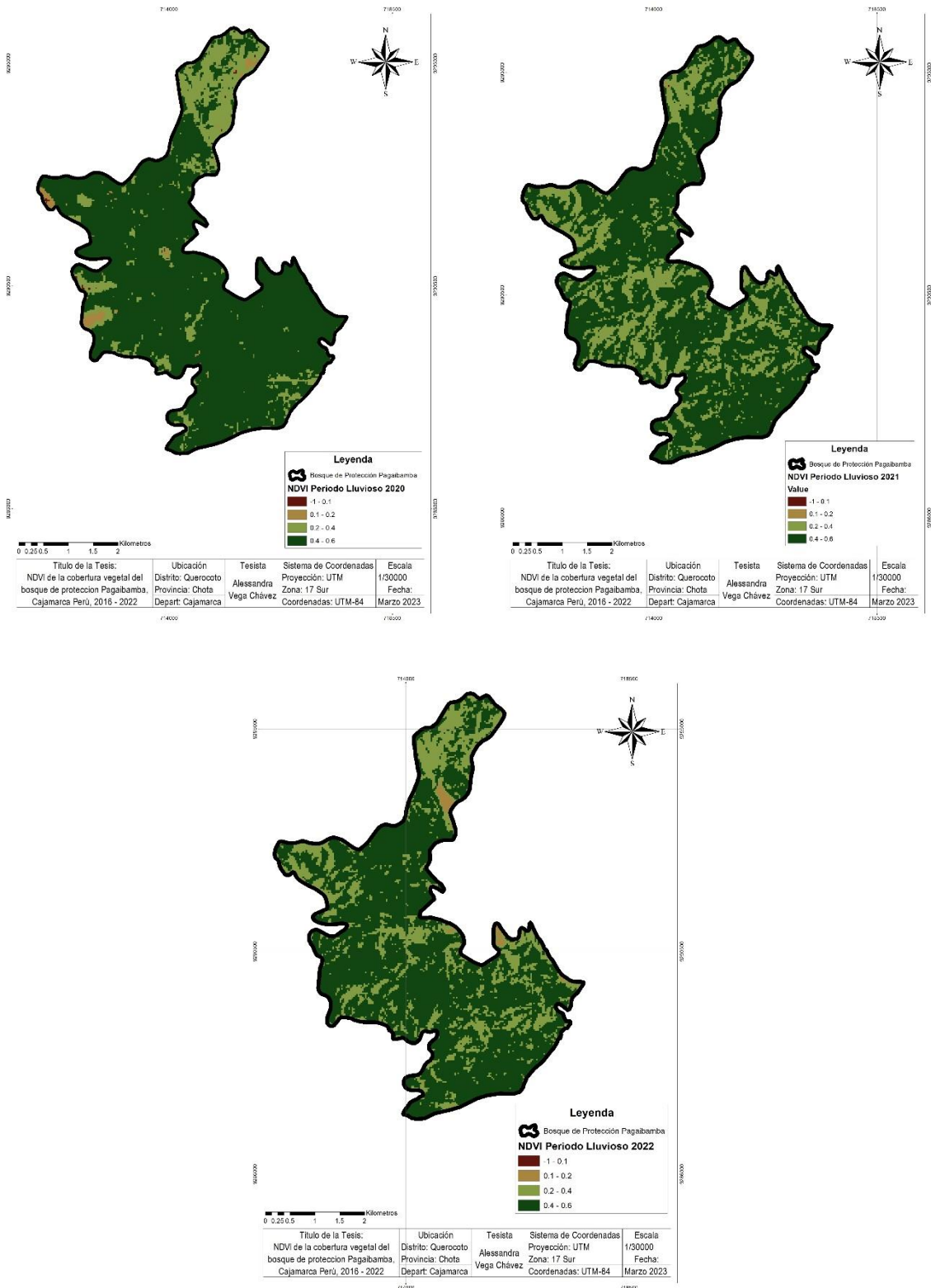


Figura 5 Mapas del NDVI periodo lluvioso del Bosque de Protección Pagaibamba

3.4 Analizar el NDVI de la Cobertura Vegetal de la Zona de Amortiguamiento del ANP en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, periodo seco.

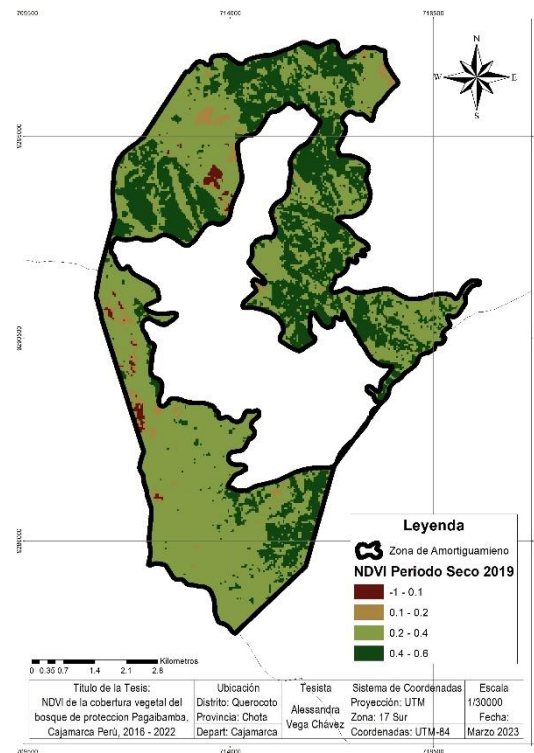
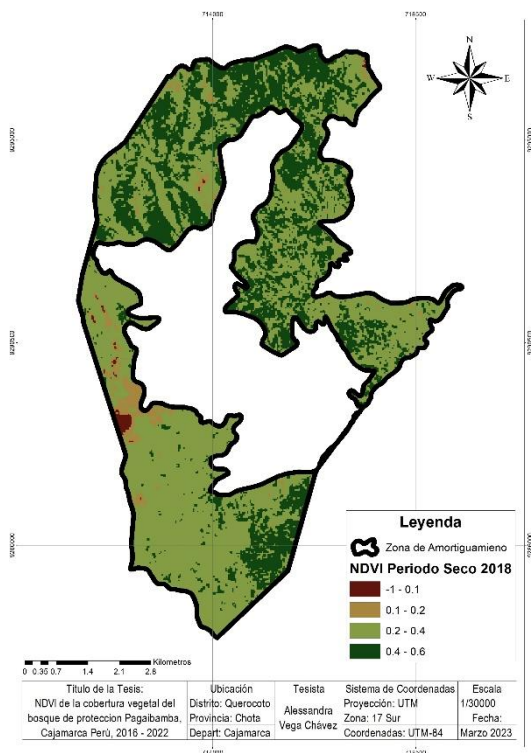
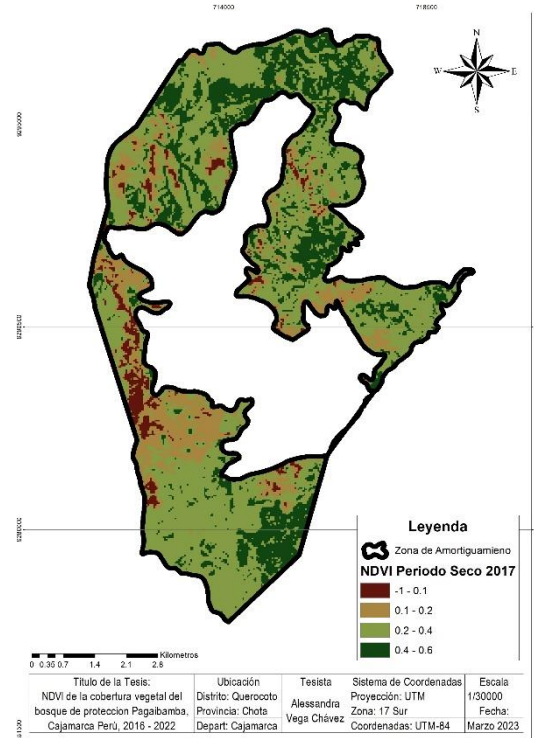
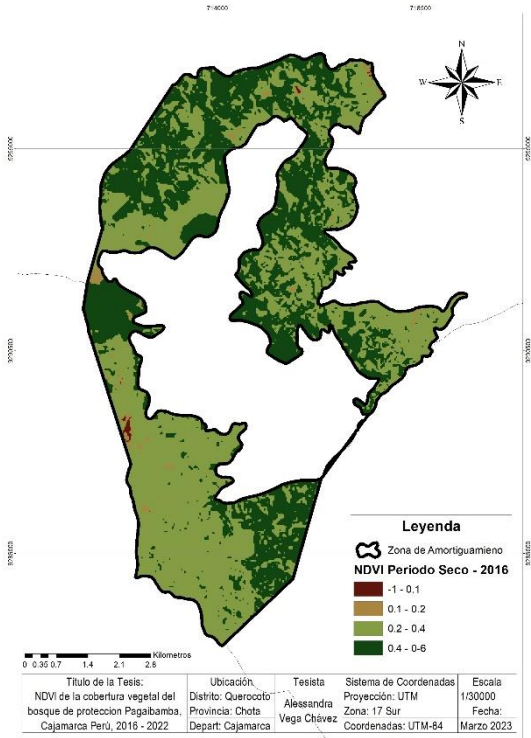
En la siguiente tabla 9, se muestran los resultados del NDVI promedio del Periodo seco en Zona de amortiguamiento del área natural protegida, teniendo comenzando en el 2016 con un índice de 0,37 dentro de lo normal, en el 2017 bajo a 0,25 este fue el valor más bajo ya que en lo próximos año subió, en el 2018 aumento a 0,36, en el 2019 a 0,33, en el 2020 obtuvo el más alto valor con 0,39 y en el 2021 bajo a 0,37 y volvió a subir en el 2022 con 0,36.

Tabla 9

NDVI promedio de la Zona de Amortiguamiento en el periodo seco.

Año	NDVI Periodo Seco
2016	0,37
2017	0,25
2018	0,36
2019	0,33
2020	0,39
2021	0,37
2022	0,36

En la figura 6, se puede observar el mapa de la Zona de Amortiguamiento en el periodo seco y su leyenda, para un mejor entendimiento cada rango se puso de diferente color, representando a su vez a cada categoría según lo indica la Tabla 2.



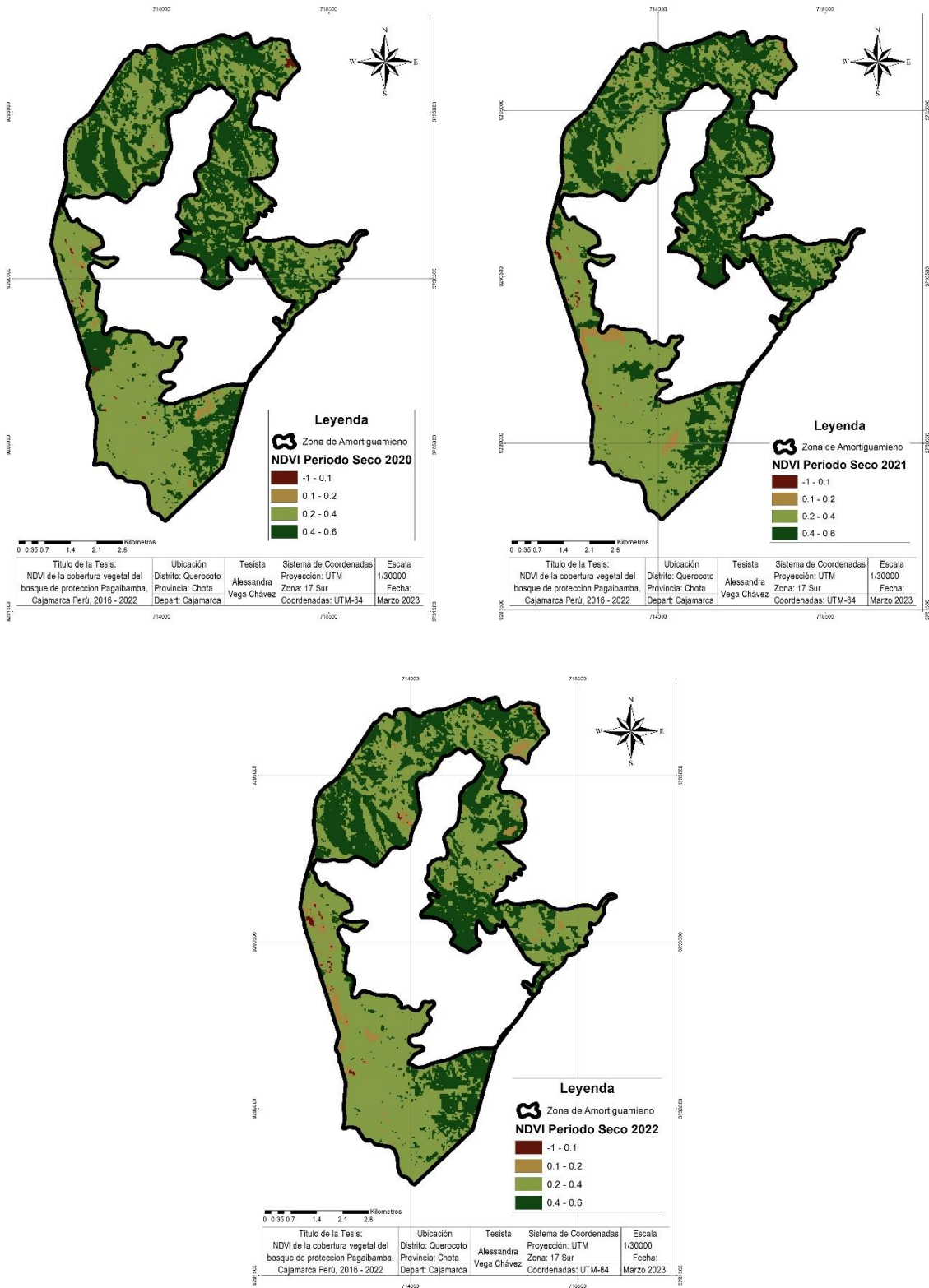


Figura 6 Mapas del NDVI periodo seco de la Zona de Amortiguamiento

3.5 Analizar el NDVI de la Cobertura Vegetal del ANP Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, periodo lluvioso.

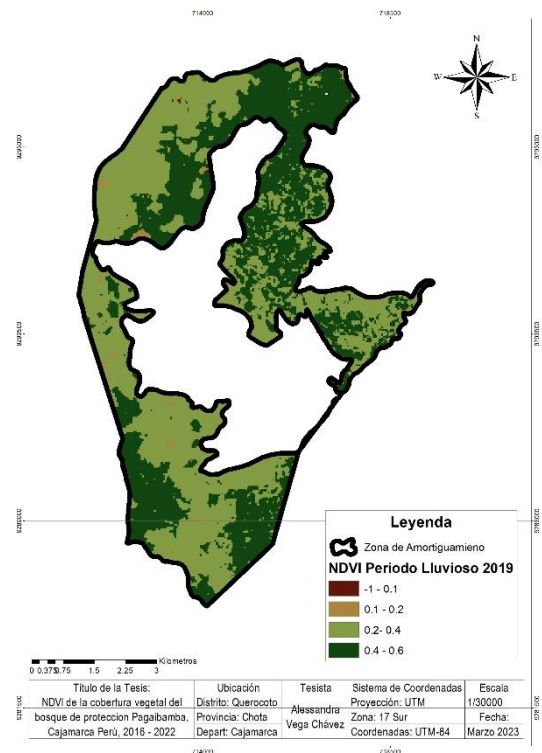
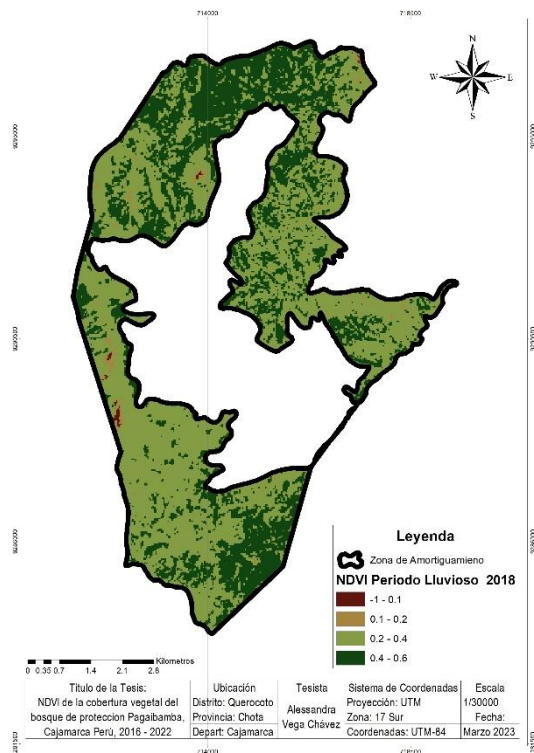
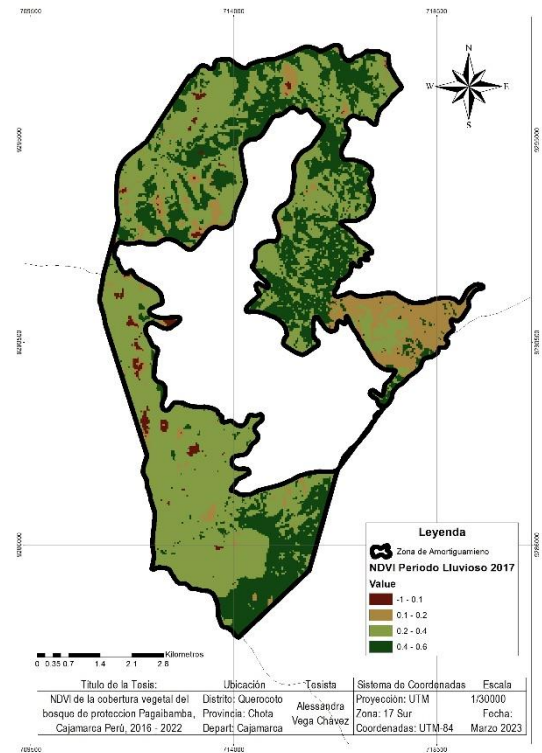
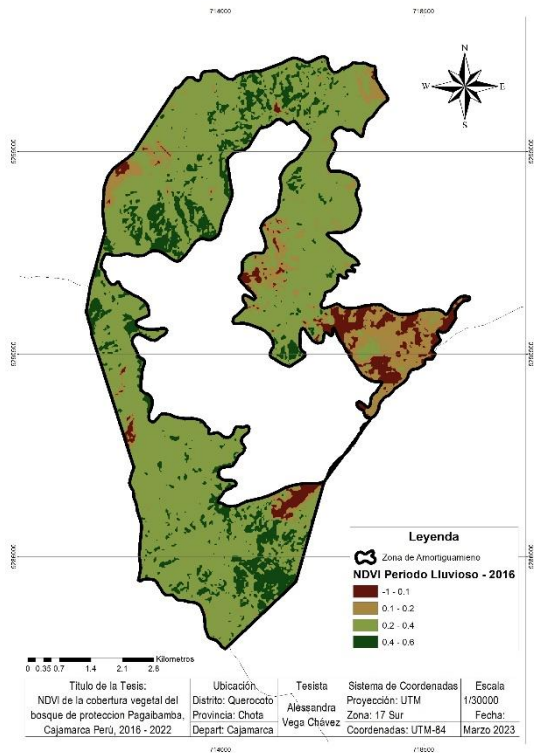
En la siguiente tabla 10, se muestran los resultados del NDVI promedio del Periodo Lluvioso en la Zona de amortiguamiento del área natural protegida, comenzando con el valor más bajo en el 2016 de 0,27, en el 2017 subió a 0,31, la tendencia siguió ya que en el 2018 aumento a 0,37, en el 2019 a 0,39, en el 2020 bajo a 0,35, en el 2021 obtuvo el más alto valor con 0,40 y volvió a bajar en el 2022 a 0,38.

Tabla 10

NDVI promedio de la Zona de Amortiguamiento en el periodo lluvioso.

Año	NDVI Periodo Lluvioso
2016	0,27
2017	0,31
2018	0,37
2019	0,39
2020	0,35
2021	0,40
2022	0,38

En la figura 7, se puede observar el mapa de la Zona de Amortiguamiento en el periodo lluvioso y su leyenda, para un mejor entendimiento cada rango se puso de diferente color, representando a su vez a cada categoría según lo indica la Tabla 2.



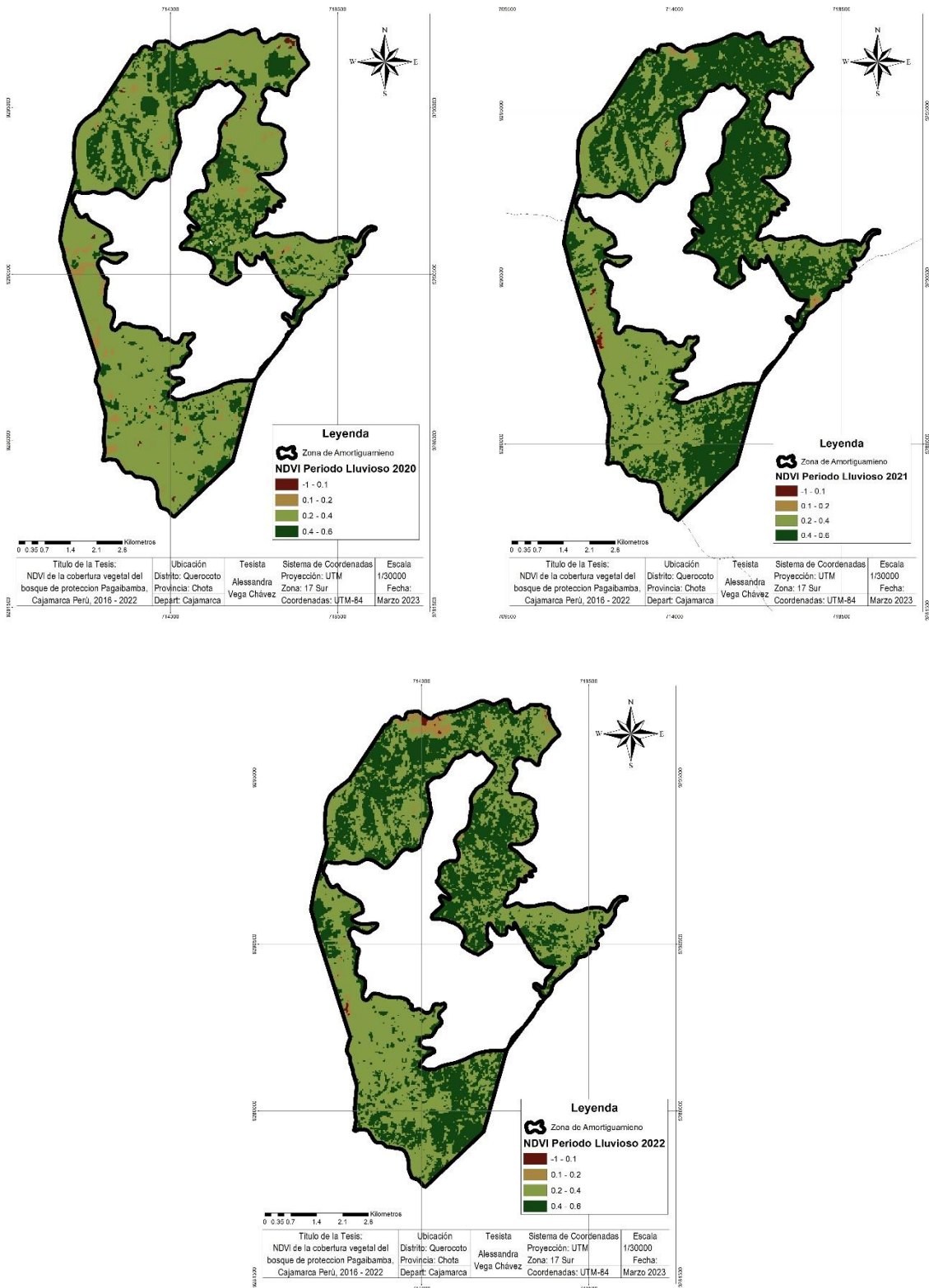


Figura 7 Mapas del NDVI periodo lluvioso de la Zona de Amortiguamiento

Asimismo, para un mejor entendimiento se dispuso las siguientes figuras donde se muestran los NDVI promedio del Bosque de Protección Pagaibamba, donde el valor inicial en el año 2016 fue el más bajo con 0.19 en el periodo de lluvia y alcanzando su máximo punto en el 2020 con 0.46 para ambos periodos.

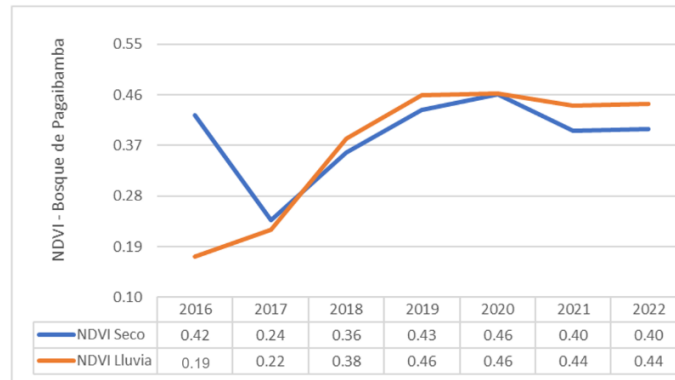


Figura 8 Evolución del NDVI promedio en el periodo seco y de lluvia entre el 2016 al 2022 del Bosque de Protección Pagaibamba.

En la Zona de Amortiguamiento los resultados son similares, en el periodo lluvioso comenzó con 0,27, en el seco con 0,37; culminando con 0,36 y 0,38 respectivamente.

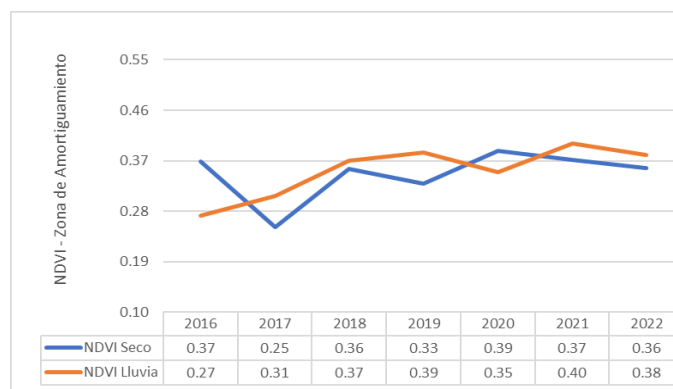
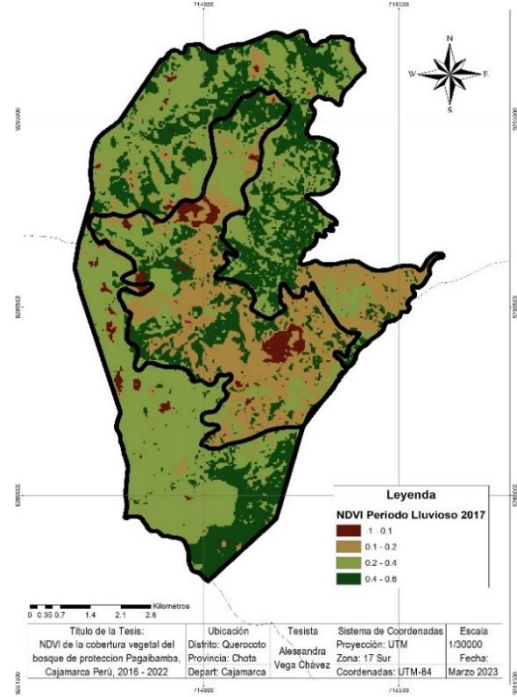
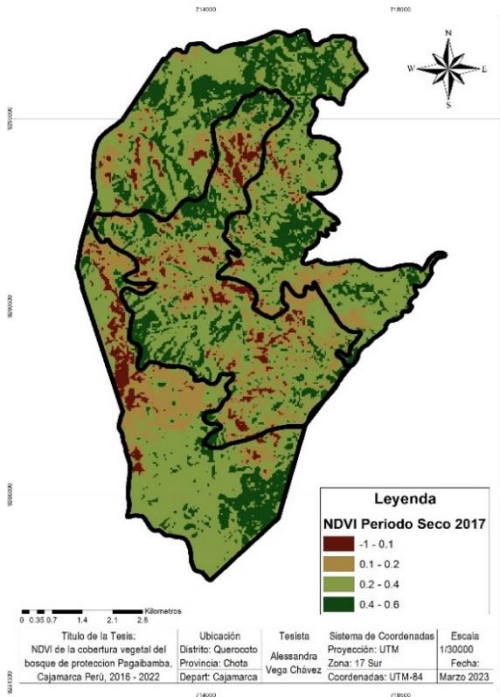
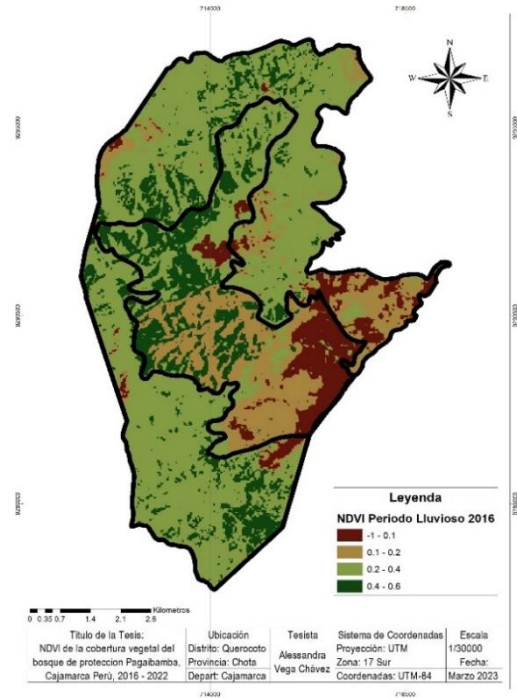
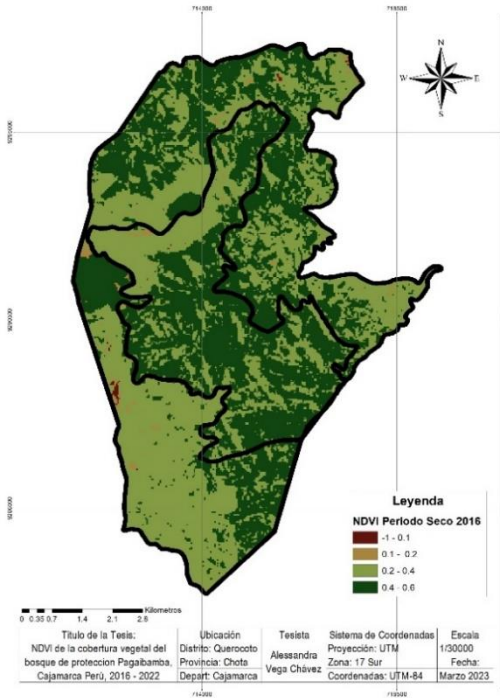
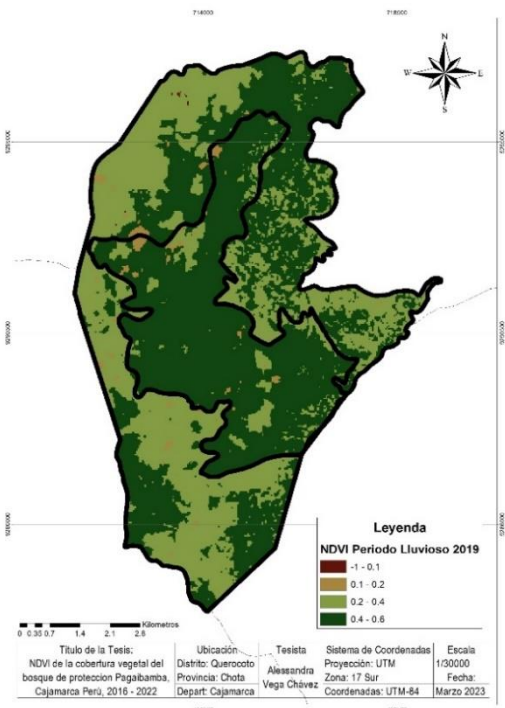
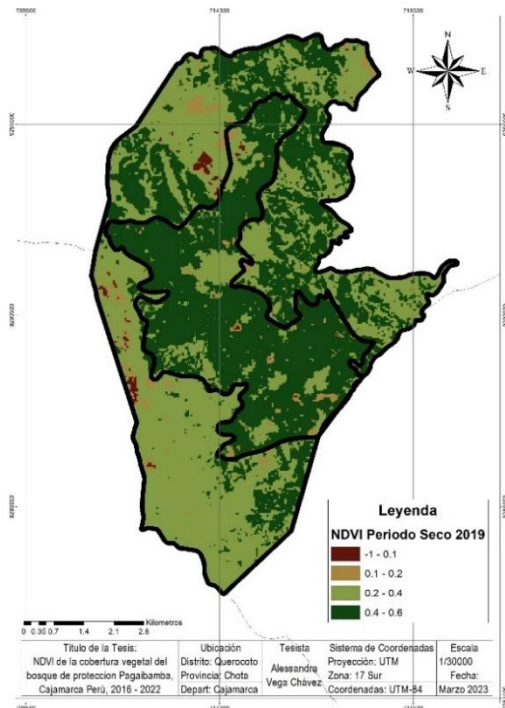
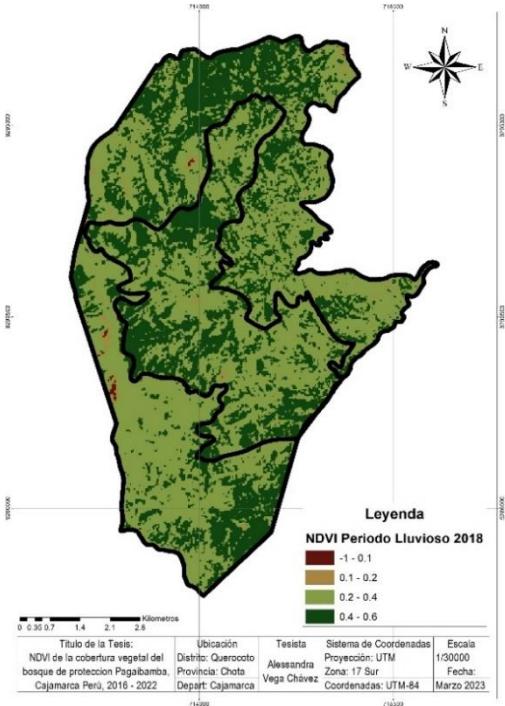
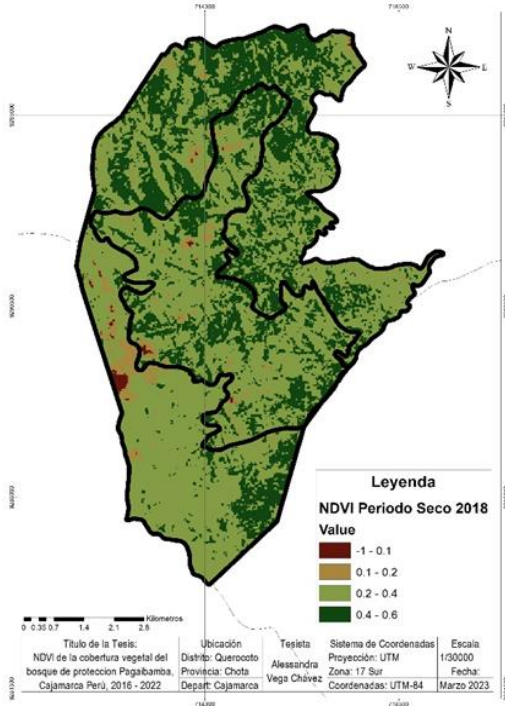
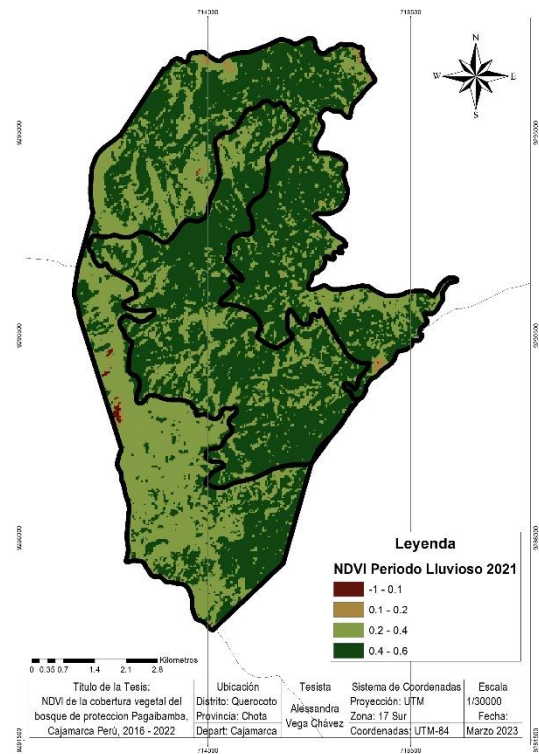
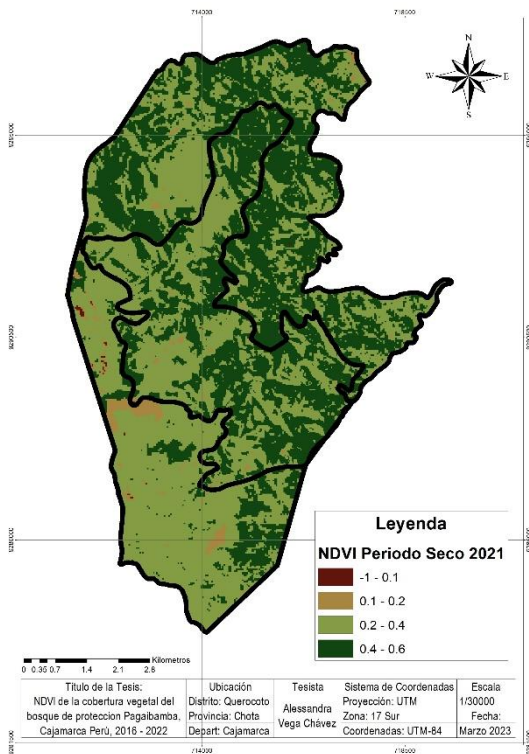
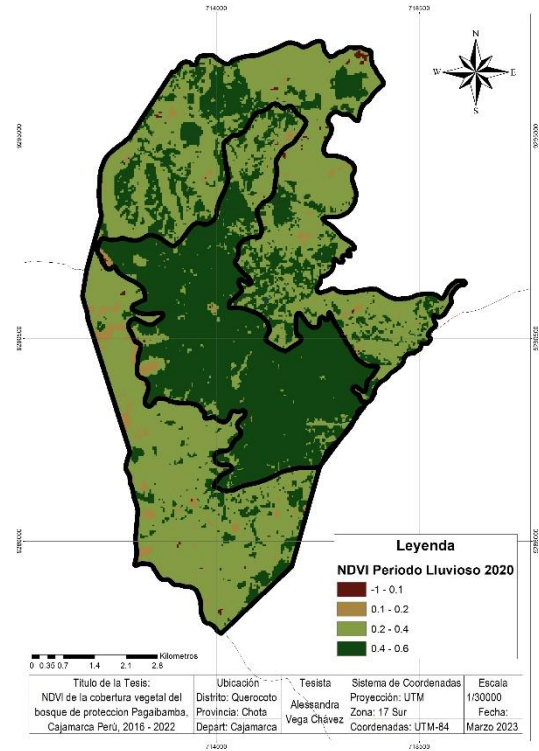
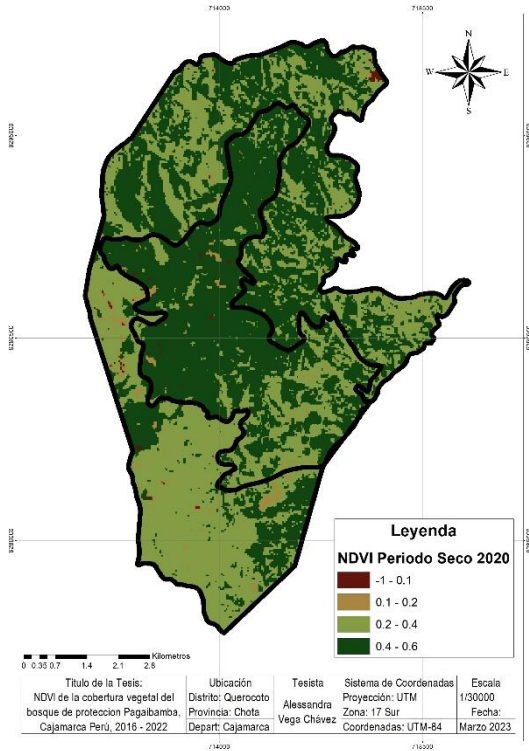


Figura 9 Evolución del NDVI promedio en el periodo seco y de lluvia entre el 2016 al 2022 de la Zona de Amortiguamiento.

Adicionalmente se adjuntan los mapas con ambos territorios, por periodos y años, partiendo del periodo seco 2016 al periodo lluvioso 2022.







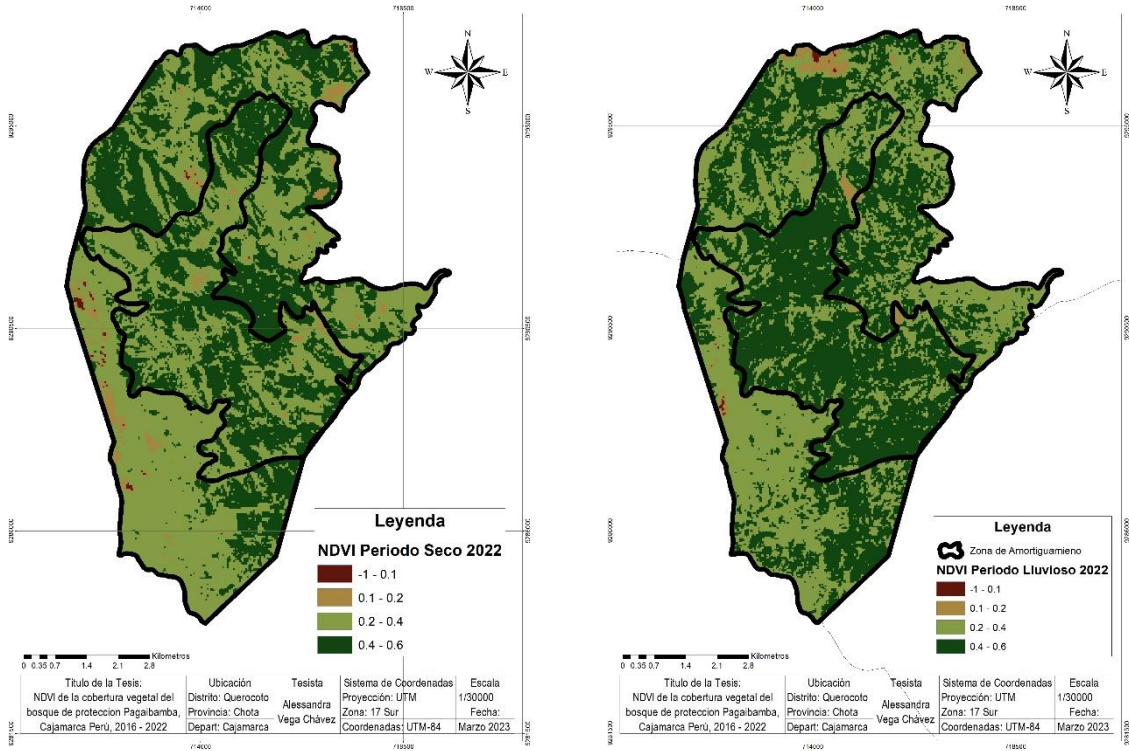


Figura 10 Mapas del NDVI periodo seco y lluvioso del Bosque de Protección Pagaibamba y su Zona de Amortiguamiento

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A continuación se discuten los aspectos más importante partiendo de los objetivos de la investigación y refutándolos o afirmándolos con autores puestos en las bases teóricas y otros que se consideraron propicios.

Respecto al Índice de vegetación de diferencia normalizada separado en las categorías de suelo desnudo, vegetación escasa, vegetación medianamente densa y vegetación densa, se tiene que en el Bosque de Protección Pagaibamba en el periodo seco del 2016 tuvo un promedio de NDVI de 0.42 con una vegetación densa de 1305,32 ha en condiciones normales, luego de 3 meses ocurrió un incendio forestal afectando la superficie del área natural protegida, por lo que en el imagen satelital seleccionada del 2017 el NDVI disminuyo a 0,24, en este aspecto al igual que Peña y Ulloa (2017) señalan que los niveles del NDVI en el parque nacional que estudiaban se redujo abruptamente debido a que los focos de calor que se ubicaron principalmente en la parte boscosa que causaron los incendios forestales, asimismo Escuin et al. (2008) menciona que las coberturas con mayor biomasa son las más afectadas, en el caso del Bosque de Pagaibamba se cumple dicha conclusión debido a que se conforma principalmente por especies arbóreas, posterior a ello, luego de dos años en el 2020 el NDVI se incremento a 0,46, según Curieses et al. (2017) esto pudo deberse a la resistencia y resiliencia del tipo de especie arborea, así como a la severidad del incendio.

En relación con el NDVI del Bosque de Protección Pagaibamba en el periodo lluvioso comenzó en el año 2016 con el más bajo índice de 0,19 predominando la vegetación escasa con 687,58 ha, esto se debido al incendio forestal dentro del área natural protegida que se dio en el mismo mes, este valor cambio en el 2017 estando con

0,22, luego de de ocho meses, sin embargo la variación pudo ser antes ya que en el estudio de Peña y Navarro (2017) el NDVI variaba cada 2 a 3 meses; por otro lado después de casi tres años pudo reestablecerse al alcanzar en el 2019 y el 2020 un índice de 0,46, estos resultados muestran similitudes con lo explicado por Chen et al. (2011) al evaluar un bosque de pino, en su estudio demostró que al tercer año los valores post-incendio empiezan a mejorar, más no llegan a ser los mismos del pre-incendio, además señala que la recuperación puede deberse a la combinación del tipo de vegetación, su tolerancia al fuego, las condiciones climáticas, entre otros, debido a esto es preciso señalar que el clima en el bosque es de tipo lluvioso, semifrío y húmedo teniendo una abundancia de precipitaciones desde el mes de octubre a mayo lo que podría explicar su rápida recuperación, por otro lado en la investigación de Pérez (2015) su porcentaje de cambio anual se incrementó a partir del quinto año debido a la humedad del lugar, esto se traduce a un reverdecimiento de la superficie, lo que significa que la recuperación de la cobertura vegetal puede variar según sus condiciones climáticas.

Respecto al NDVI de la Zona de Amortiguamiento, en el periodo seco en el 2016 fue de 0,37, teniendo una disminución menor que la misma área natural protegida, en el 2017 a 0,25, esto se debe a que el incendio ocurrió con mayor intensidad dentro del Bosque de Protección Pagaibamba; sin embargo en general sus índices no son muy altos a comparación del Bosque, esto puede deberse a como lo menciona Tarazona y Miyasiro-López (2020) factores antropogénicos como la agricultura y ciertas construcciones, así como los aspectos climáticos que hacen que la vegetación no pueda volverse densa, por lo que sus índices se mantuvieron en los próximos años llegando a tener el más alto en el 2020 con 0,39, permaneciendo en la categoría Vegetación Medianamente Densa,

asimismo Alencar (2019) menciona que aunque los los factores antrópicos contribuyen con la retirada de la vegetación menos densa, esta puede mantener más conservada en la serie temporal de análisis.

En cuanto al NDVI promedio de la Zona de Amortiguamiento, en el periodo lluvioso presentaron cambios menores siendo el más bajo el de 0,27 en el año 2016, cabe recalcar que la vegetación predominante en este territorio es la medianamente densa, en relación a esto Campos et al (2018), menciona que los suelos con poca vegetación presentan una tendencia positiva de ciclos irregulares de crecimiento, mientras que la cobertura con vegetación densa después de un año seco tiende a estar compuesto de cobertura vegetal mixtas o arboles menores, cuya capacidad de resiliencia es mayor, estos tipos de suelo se ven afectadas por el pastoreo y agricultura, en este caso se cumplió lo mencionado por el autor puesto que luego los índices de vegetación fueron aumentando.

Conclusiones

Se concluye que el NDVI de la Cobertura Vegetal del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del periodo seco en el primer año 2016 fue de 0,42 lo que demuestra que la vegetación medianamente densa y densa era la predominante, en el 2017 disminuyó a 0,24 siendo el más bajo, en el 2018 fue de 0.36, en el 2019 de 0,43, en el 2020 de 0,46, en el 2021 y 2022 fue de 0,40 estando cerca a su estado inicial.

Se concluye que el NDVI de la Cobertura Vegetal del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, en el periodo lluvioso se tiene que en el año 2016 el NDVI fue de 0,19, esto debido a que en el mes de noviembre ocurrió un incendio forestal por lo que los estragos pudieron evidenciarse, a partir del 2017 tuvo una tendencia a subir estando en 0,22, en el 2018 fue de 0,38, en el 2019 de 0,46, en el 2020 de 0,46, en el 2021

y 2022 descendió a 0,44, por lo que la regeneración de su cobertura vegetal se incrementó a partir del tercer año y aunque los valores del NDVI aumentaron, ciertas áreas siguen afectadas y su vegetación varía según pasen los años; asimismo en esta época es donde se presenta mayor NDVI por las mismas condiciones climáticas que presenta.

Analizar el NDVI de la Cobertura Vegetal de la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, periodo seco se evidenció que en el año 2016 el NDVI promedio fue de 0,37, en el 2017 fue de 0,25 siendo el más bajo, en el 2018 fue de 0,36, en el 2019 fue de 0,33, en el 2020 fue de 0,39, en el 2021 fue de 0,37 y en el 2022 de 0,36, en este periodo el NDVI se mantuvo debido a que esta zona no fue afectada como lo fue el área dentro del mismo Bosque de Protección Pagaibamba, por lo que su índice se mantiene mayormente en el rango de vegetación medianamente densa.

Analizar el NDVI de la Cobertura Vegetal de la Zona de Amortiguamiento del Bosque de Protección Pagaibamba en Cajamarca, Perú, del 2016 al 2022, periodo lluvioso, en el año 2016 el NDVI fue de 0,27 siendo el más bajo, para luego ir incrementándose ya que en el 2017 fue de 0,31, en el 2018 fue de 0,37, en el 2019 fue de 0,39, en el 2020 bajó a 0,35, en el 2021 aumentó a 0,40 y en el 2022 fue de 0,38; esta zona sufrió daños en esta época en el año 2016 dejando 218,16 ha de suelo desnudo debido al incendio forestal, sin embargo su afección no fue tan grave ni tan grande a comparación de la misma área protegida del Bosque Pagaibamba.

Limitaciones

Finalmente, como limitaciones respecto a la metodología se tuvo que el NDVI no diferencia entre los daños provenientes de actividades antrópicas como el uso de tierras, contaminación de suelos, degradación de tierras, etc., y los eventos naturales, por lo que sería necesario contar con datos complementarios, visitas de campos o implementar otros índices (Gaitán et al., 2015) también, no logran cuantificar parámetros importantes como la diversidad debido a que se satura cuando existe una vegetación densa por lo que no se tuvo el alcance (Hernández-Stefanoni, 2019), aunque si es necesario estudiarlo en futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- Aguilar, H., Mora, R., y Vargas, C. (2015). Metodología Para La Corrección Atmosférica De Imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 Y Landsat 8 Con El Módulo Flaash Del Software Envi. Atmospheric Correction Methodology for Aster, Rapideye, Spot 2 and Landsat 8 Images With Envi Flaash Module Software. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 39–59. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Alatorre, L., Beguería, S., y Vicente-Serrano, S. (2010). Análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central. *Pirineos*, 16(5), 7-27. <https://pirineos.revistas.csic.es/index.php/pirineos/article/view/93>
- Alencar, K., Parodi, M., Silva, R., y Opazo, D. (2019). Variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del río Moxoto, Pernambuco, Brasil. *Diálogo Andino*, (58), 139–150. [doi:10.4067/s0719-26812019000100139](https://doi.org/10.4067/s0719-26812019000100139)
- Alva-Mendoza, D., Delgado, A., Martínez-Sovero, G. 2020. Composición arbórea y estructura del Bosque de Protección Pagaibamba, sector San Luis, Querocoto – Cajamarca.: *Revista Ciencia Nor@ndina*, 3(1), 56-67. <https://rcnorandina.unach.edu.pe/index.php/ciencianorandina/article/view/50>
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*. (6ta ed.). Caracas, Venezuela: Episteme.
- Bastos, A., Gouveia, C., DaCamara, C., Trigo, R. (2011). Modelling post-fire vegetation recovery in Portugal. *Biogeosciences*, 8, 3593-3607. <https://doi.org/10.5194/bg-8-3593-2011>

- Cammelli, F., Garrett, R., Barlow, J., y Parry, L. (2020). Fire risk perpetuates poverty and fire use among Amazonian smallholders. *Global Environmental Change*, 63, 102-116. doi:10.1016/j.gloenvcha.2020.102096
- Campos, A., Guerrero, E., y Gines, E. (2018). Evolución de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cerros de Amotape de Tumbes utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): 2000 – 2014. *Manglar*, 15(1), 47-56. doi:10.17268/manglar.2018.006
- Cantú, L. y Gastón, K. (2010). Áreas protegidas muy extensas y su contribución a la conservación biológica terrestre. *Biociencia*, 60 (10), 808-818. <https://academic.oup.com/bioscience/article-abstract/60/10/808/231574>
- Chen, X., Vogelmann, J., Rollins, M., Ohlen, D., Key, C., Yang, L., Huang, C., y Shi, H. (2011). Detección de la gravedad de las quemaduras posteriores al incendio y recuperación de la vegetación utilizando índices espectrales de teledetección multitemporales y datos compuestos del índice de quema en un bosque de pinos ponderosa. *International Journal of Remote Sensing*, 3(2), 7905-7927, DOI: 10.1080 / 01431161.2010.52467
- Chuvienco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de teledetección*, 10, 1 - 9, http://www.aet.org.es/revistas/revista10/AET10_4.pdf
- Chuvienco, E. (2008). *Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona, España: Ariel ciencias.

- Curieses, R., Fernández-Manso, A., y Quintano, C. (2017). Determinación de resiliencia post-incendio a partir de imágenes Landsat en la Sierra del Teleno (León).
<https://cutt.ly/Xg5c87U>
- Delgado, A. (2020). *Diversidad y estructura arbórea de la familia Lauraceae en el Bosque de Protección Pagaibamba - Querocoto, Chota*. (Tesis de titulación, Universidad Nacional Autónoma de Chota).
<https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/137>
- Di Bella, C., Posse, G., Beget, M., Fischer, M., Mari, N., y Verón, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Ecosistemas*, 17(3), 39 – 52.
<http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/85>
- Escuin, S., Navarro, R., y Fernández, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from Landsat TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1053-1073. Taylor & Francis. doi:10.1080/01431160701281072
- FAO (2001). Global Forest Resources Assessment 2000 Main Report. Rome, Italia: FAO.
<http://www.fao.org/docrep/004/Y1997E/Y1997E00.HTM>
- FAO (2015). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015. FAO: Roma, Italia.
<https://doi.org/ISBN%20978-92-5-106654-6>
- Gaitán, J., Bran, D. y Azcona, C. (2015). Tendencia del NDVI en el período 2000-2014 como indicador de la degradación de tierras en Argentina: ventajas y limitaciones. *AGRISCIENTIA*, 32(2), 83-93. <http://www.sidalc.net/cgi->

bin/wxis.exe/?IsisScript=cibagro.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=034345

- García S. y Martínez L. (2010). Método para identificación de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) con base en imágenes de satélite *Agronomía Colombiana*, vol. 38, núm. 2, pp. 281-290. Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia
- Hegazy, I. R., y Kaloop, M. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2015.02.005>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández C. y Baptista, P. (2014). Selección de la muestra. En *Metodología de la Investigación* (6ª ed., pp. 170-191). México: McGraw-Hill.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Hernández-Stefanoni, J. (2019). La unión hace la fuerza: combinación de sensores remotos para el monitoreo de bosques tropicales. *Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán*, 130, 32-34. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2019/2019-03-07-Hernandez-Stefanoni-La-union-hace-la-fuerza.pdf
- Lausch, A., Pause, M., Merbach, I., Zacharias, S., Doktor, D., Volk, M. y Seppelt, R. (2013). A new multiscale approach for monitoring vegetation using remote sensing-based indicators in laboratory, field, and landscape. *Environmental monitoring and assessment*, 185(2), 1215-1235. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-012-2627-8>

- Leblon, B., San-Miguel-Ayanz, J., Bourgeau-Chavez, L., y Kong, M. (2016). Remote Sensing of Wildfires. *Land Surface Remote Sensing*, 55–95. doi:10.1016/b978-1-78548-105-5.50003-7
- León, B. (2006). Introducción a las plantas endémicas del Perú. *Peruana de Biología*, 13(2), 9 - 22. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2291807.pdf>
- Llatas-Quiroz, S. y López-Mesones, M. (2005). Bosques montanos-relictos en Kañaris (Lambayeque, Perú). *Revista Peruana de Biología*, 12(2), 299 - 308. https://www.researchgate.net/publication/28098852_Bosques_montanos-relictos_en_Kanaris_Lambayeque_Peru
- Maillard, O., Aguilera, V., & Uyuni, G. (2019). Evaluación de la detección de la deforestación y degradación usando CLAS-lite: Estudio de caso en un área montañosa de transición en Bolivia. *Kempffiana* 15 (1), 1-16. [https://www.museoelkempff.org/sitio/Informacion/KEMPPFIANA/kempffiana15\(1\)/1_Maillardetal.pdf](https://www.museoelkempff.org/sitio/Informacion/KEMPPFIANA/kempffiana15(1)/1_Maillardetal.pdf)
- Martín, M. y Chuvieco, E. (1998). Cartografía de grandes incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR. <https://digital.csic.es/handle/10261/6426>
- Ministerio del Ambiente (Minam). 2019. Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Oblitas, J. (2017). Análisis y propuesta de criterios técnicos para el establecimiento de zonas de amortiguamiento de las áreas naturales protegidas del Perú. (Tesis de titulación, UNSM). <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/2579>

- Peña, M., y Navarro, F. (2016). An NDVI-data harmonic analysis to study deforestation in Peru's Tahuamanu province during 2001–2011. *International Journal of Remote Sensing*, 37(4), 856-875. Taylor & Francis. doi:10.1080/01431161.2015.1136446
- Peña, M., y Ulloa, J. (2017). Mapeo de la recuperación de la vegetación quemada mediante la clasificación de índices espectrales pre- y post-incendio. *Revista de Teledetección*, (50), 37-45. doi:10.4995/raet.2017.7931
- Pérez, E. (2015) Análisis de la dinámica temporal de la cobertura vegetal y su relación con la variabilidad en la precipitación en el municipio de Juarez, Chihuahua. *Memorias de resúmenes en extenso*, 1 (2), 12 – 16. <http://www3.uacj.mx/CGTI/CDTE/JPM/Documents/SELPER/assets/m018.pdf>
- Riaño, D., Ruiz, J., Isidoro, D. y Ustin, S. (2007). Global spatial patterns and temporal trends of burned area between 1981 and 2000 using NOAA-NASA Pathfinder. *Global Change Biology*, 1(3), 40-50. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2486.2006.01268.x>
- Romero, H. y Peña, M. (2006). Relación espacial y estadística entre las islas de calor de superficie, coberturas vegetales, reflectividad y contenido de humedad del suelo, en la ciudad de Santiago y su entorno rural. Repositorio Academico de la Universidad de Chile, 2 (3), 1 – 11. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118067>
- Roncal, M. (2018). *Línea base de flora y fauna del bosque de protección Pagaibamba en el marco del proyecto "Recuperación del servicio ambiental hídrico del área de amortiguamiento del bosque de protección Pagaibamba, distrito de Querocoto,*

provincia de Chota, región de Cajamarca".

<https://siar.regioncajamarca.gob.pe/documentos/linea-base-flora-fauna-bosque-proteccion-pagaibamba-marco-proyecto>

Sabuco, P. (2013). La problemática de los incendios forestales y bases para su teledetección en el Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 03, 140-149. doi:10.18259/acs.2013017

Sánchez-Tello, S. (2011). Zonas de vida de Cajamarca. ZEE Cajamarca. Cajamarca, Perú. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/ZonasVidasZEEsegunMpaNacional.pdf>

Serfor. (2018). Plan de Prevención y Reducción de Riesgos de Incendios Forestales Periodo 2019 - 2022. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/plan-de-prevencion-y-reduccion-de-riesgos-de-incendios-forestales.pdf>

Sernarp. (2016). Informe N° 008 -2016-SERNANP-DGANP – BPP-J/JRCM

Spadoni, G., Cavalli, A., Congedo, L., y Munafò, M. (2020). Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 15 – 18. doi:10.1016/j.rsase.2020.100419

Tarazona, Y. y Miyasiro-López, M. (2020). Monitoring tropical forest degradation using remote sensing. Challenges and opportunities in the Madre de Dios region, Peru. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 100337. doi:10.1016/j.rsase.2020.100337