



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA PARA EL DIAGNÓSTICO DE
DEFORESTACIÓN OCASIONADA POR
INCENDIOS FORESTALES EN LA PROVINCIA
DE LORETO, 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Aitana Jerut Mostacero Cortez

Alexandra Carolina Reyes Figueroa

Asesor:

Msc. Liana Ysabel Cárdenas Gutiérrez

<https://orcid.org/0000-0002-9822-7638>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1	Elvar Renato Miñano Vera
Presidente(a)	Nombre y Apellidos

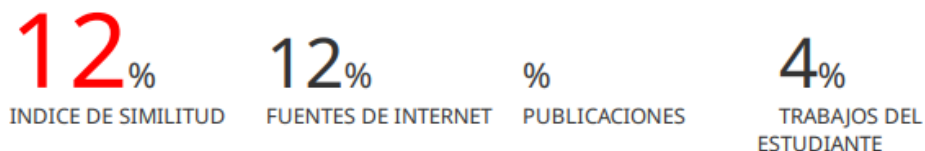
Jurado 2	Magda Rosa Velásquez Marin
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Liana Ysabel Cárdenas Gutiérrez
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

Reyes - Mostacero Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1%
9	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A Dios Padre, por permanecer a nuestro lado en todo momento, acompañarnos y ayudarnos, guiando nuestro sendero con luz y sabiduría para afrontar los retos que se presentaron durante este proceso.

A nuestros padres, por ser imagen de esfuerzo constante y perseverancia, por habernos apoyado incondicionalmente cada instante y a quienes les debemos la vida.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación ha sido el resultado de esfuerzo constante y gracias a Dios, quien nos brindó las fuerzas necesarias para seguir adelante y continuar con nuestros objetivos profesionales.

El proceso no fue sencillo, pero gracias a la Universidad Privada del Norte nos formamos profesionalmente, y también a los docentes, quienes condujeron nuestro aprendizaje.

Nuestro sincero agradecimiento a la Msc. Cárdenas Gutiérrez, Liana Ysabel por su asesoramiento en la presente investigación y sus sabios consejos.

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
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	29
CAPÍTULO III. RESULTADOS	40
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	55
REFERENCIAS	64
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas geográficas de los puntos del área de estudio delimitada en el software Google Earth.....	33
Tabla 2 Áreas de la zona de estudio en hectáreas de los periodos 2014, 2017 y 2021 según sus clases.....	45
Tabla 3 Estrategias para los diversos problemas por deforestación que atraviesa el área de estudio.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de diseño descriptivo.	30
Figura 2 Ubicación del área de estudio	31
Figura 3 Delimitación de la zona de estudio en el software Google Earth.	333
Figura 4 Inicio del procedimiento para la obtención de las imágenes satelitales de nuestra área de estudio.	344
Figura 5 Determinación de los puntos que conformarán el área de estudio en el portal de USGS Earth Explorer.	355
Figura 6 Previsualización de las imágenes satelitales que muestra el geoservidor Earth Explorer.	355
Figura 7 Elección de la imagen satelital (2017).....	366
Figura 8 Flujograma de la metodología aplicada.	388
Figura 9 Imagen satelital de la Amazonia de la provincia de Loreto en el año 2014.....	40
Figura 10 Imagen satelital de la Amazonia de la provincia de Loreto en el año 2017.	41
Figura 11 Imagen satelital de la Amazonia de la provincia de Loreto en el año 2021	41
Figura 12 Clasificación supervisada de la zona de estudio en el año 2014.	422
Figura 13 Clasificación supervisada de la zona de estudio en el año 2017.	433

Figura 14	Clasificación supervisada de la zona de estudio en el año 2021.	444
Figura 15	Áreas con vegetación en hectáreas de los periodos 2014, 2017 y 2021.	455
Figura 16	Áreas con agua en hectáreas de los periodos 2014, 2017 y 2021.	466
Figura 17	Áreas sin vegetación en hectáreas de los periodos 2014, 2017 y 2021	466
Figura 18	Áreas de las tres clases identificadas en la zona de estudio en los años 2014, 2017 y 2021.	477
Figura 19	Cálculo del NDVI en la provincia de Loreto en el año 2014.	48
Figura 20	Cálculo del NDVI en la provincia de Loreto en el año 2017.	48
Figura 21	Cálculo del NDVI en la provincia de Loreto en el año 2021.	49
Figura 22	Cálculo del Índice Normalizado del área afectada por fuego (NBR) en la provincia de Loreto en el año 2014.	50
Figura 23	Cálculo del Índice Normalizado del área afectada por fuego (NBR) en la provincia de Loreto en el año 2017.	50
Figura 24	Cálculo del Índice Normalizado del área afectada por fuego (NBR) en la provincia de Loreto en el año 2021.	51
Figura 25	Evolución de la deforestación en los años 2014,2017 y 2021.	51

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	47
Ecuación 2	49

RESUMEN

Los bosques son hábitat de la mayor parte de biodiversidad del planeta Tierra; sin embargo, su conservación es amenazada constantemente a causa de los incendios forestales. Por tanto, la presente investigación tuvo como objetivo general diagnosticar la magnitud de deforestación en la provincia de Loreto ocasionada por incendios forestales para el año 2022, aplicando programas de Sistemas de Información Geográfica. Se trabajó con imágenes satélites Landsat 8 obtenidas de la plataforma online Earth Explorer en tres periodos determinados (2014, 2017 y 2021), en las que se aplicaron los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) que determinó la vegetación saludable y el índice normalizado de área quemada (NBR) que identificó las superficies quemadas, utilizando el software ArcMap 10.8. Los resultados muestran que el año 2017 presentó la mayor cifra de deforestación con una pérdida de vegetación de 469,457.44 ha, representando el mayor porcentaje de NBR; a comparación de los años 2014 y 2021 que fue 140,368.5 ha y 121,455.80 ha respectivamente, pero con un NDVI mayor (94%). Por tanto, se consideró idóneo plantear estrategias para la recuperación de áreas afectadas, desde la participación y gestión integrada entre población, gobiernos y entidades privadas, hasta mejorar el acceso a la tecnología de SIG y la implementación de viveros, empleando especies nativas.

PALABRAS CLAVE: deforestación, incendios forestales, índice de vegetación, teledetección, tecnología SIG.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La Tierra viene atravesando diversos sucesos ajenos a los que se dan de manera natural en ella, tal como la deforestación. La pérdida de cobertura vegetal a gran escala es un proceso gradual que implica un desastre natural o antropogénico, ocasionado por diversas razones. Cuando el origen es natural, la principal razón es el incremento de los niveles de temperatura de la capa superficial de la Tierra, y cuando existe intervención de la mano del hombre, el origen es antropogénico. En la mayoría de los casos, se han destruido terrenos boscosos con el propósito de destinar el recurso suelo a otras actividades económicas (Qarallah et al., 2021; Carillo et al., 2022; Sabuco, 2013).

La Amazonía en su totalidad, equivale entre el 25 y 40% de la superficie terrestre de América (Pérez, 2020); no obstante, presenta diferentes valores en comparación a otros continentes referente a pérdida de bosques. América del Sur presentó una pérdida forestal anual de 27,218 km² entre los años 2000 y 2005 (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2016). Entre los años 2010-2020, 2,6 millones de hectáreas fueron deforestadas, estas cifras también indican la pérdida de diversidad de flora y fauna; sin embargo, en los últimos años hubo disminuciones significativas y progresivas, en comparación a periodos anteriores (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022).

Cabe mencionar que, la misma situación contiene perspectivas de mejora que no se da en su totalidad. A nivel global, existe alrededor de 1,110 millones de hectáreas de diversidad arbórea (Salas et al., 2016). La mayor parte de biomasa forestal lo integran países como Brasil, Canadá y Rusia, albergando más del 60% del total de bosques. Sin embargo, el crecimiento demográfico y el desarrollo de actividades económicas han

originado la sobreexplotación de recursos naturales, ocasionando faltas de sostenibilidad y por ende pérdidas de biodiversidad (Ortega et al, 2019). Las naciones que representan la mayor cantidad de terreno deforestado coinciden con los que tienen el mayor volumen de masa arbórea, agregando a naciones como la República Democrática del Congo y los Estados Unidos; donde sus fronteras contienen alrededor del 54 % de la vegetación mundial (Instituto Internacional de Recursos Mundiales [WRI], 2019)

Este contexto ambiental es una situación incontrastable en todo lo que abarca el territorio Amazónico. Brasil, cuya demarcación abarca gran parte de la Amazonía tropical, es uno de los países más afectados por un conjunto de procesos naturales y antropogénicos, que adversamente ocasionan daños a este ecosistema y sus componentes integrados (Soto et al., 2021). En otro ámbito, Forero y Polanco (2021) informan que anualmente en Colombia aumenta la frecuencia de incendios forestales, que, desde un carácter natural, son originados por periodos secos prolongados, causados por variaciones en las condiciones meteorológicas.

Situación similar sucede en la realidad nacional peruana, los departamentos que abarcan la Amazonía también forman parte de diversas Reservas Nacionales y Parques Naturales, como la Reserva Nacional de Tambopata localizado en Madre de Dios; donde vienen ocurriendo sucesos de deforestación creciente en estos territorios, implicando una disminución de biodiversidad, como el deterioro de hábitats y ecosistemas de especies nativas (Alarcón et al., 2016). Mientras que, en Loreto y San Martín presentaron el 85% de cobertura forestal perdida entre los años 2001–2015 (Dourojeanni, 2020), sumándose a los territorios afectados por la deforestación. Por otro lado, este tipo de contaminación también expresa sus consecuencias en la pérdida de pueblos indígenas y valores culturales.

El Perú, cuenta con gran diversidad de cobertura vegetal según sus características geográficas y climáticas. La densidad mayor de cubierta forestal se ubica en la selva peruana, donde las condiciones ambientales como las precipitaciones y propiedades del suelo favorecen el crecimiento de vegetación frondosa. Ello también impulsó el desarrollo de actividades económicas, convirtiéndolas así, en zonas vulnerables a impactos de gran magnitud; como la tala indiscriminada y el uso de fuentes naturales como ríos para actividades informales, afecciones por derrames de petróleo y, por otro lado, los incendios forestales (Grupo Internacional de Trabajo sobre Asuntos Indígenas [IWGIA], 2018)

Entonces, la pérdida de cobertura forestal ocasionada por incendios forestales implica un desastre de origen natural o antropogénico, que tiene diversas razones. Cuando el origen es natural, se debe al aumento de temperatura en el medio ambiente y de la corteza terrestre, ocasionando incendios forestales. Esta investigación pertenece a la línea de investigación tecnologías emergentes, así mismo a la sub-línea nuevas tecnologías y usos de la comunicación. Por tal motivo, es idóneo realizar la investigación a partir de la siguiente pregunta: ¿De qué manera se utilizan los Sistemas de Información Geográfica para el diagnóstico de deforestación ocasionada por incendios forestales en la provincia de Loreto, 2022?

Trabajos enfocados desde distintas perspectivas diagnostican la magnitud de deforestación ocasionada por incendios forestales mediante el uso de técnicas de teledetección.

Así, por ejemplo, a nivel mundial, Aik y Ismail (2020), en su investigación titulada *Detección de deforestación y análisis de conversión de tierras a partir de imágenes satelitales de alta resolución en el distrito de Bintulu, Serawak, Malasia*, tuvieron como

objetivo, utilizar la evaluación de la cobertura terrestre para analizar los cambios en el distrito de Bintulu, Borneo (Malasia), sobre el crecimiento de palma aceitera y su influencia en la disminución de áreas forestales entre 2016 y 2018. La metodología consistió en descargar información satelital que contenga imágenes de resolución espacial (3m) del servidor PlanetScope. Los resultados mostraron que la disminución boscosa en Bintulu fue alrededor el 26,5% en los últimos dos años, produciendo un aumento del crecimiento de la palma aceitera en un 17,6%, y detectaron un aumento en las áreas taladas (36,1%) para conversión a otras coberturas terrestres con una disminución constante de al menos un 20% cada año. Encontrándose que la precisión de los resultados demostró ser razonable con un 90% de confianza con imágenes de satélite.

Asimismo, Othamn et al (2018) en su estudio titulado *Monitoreo de la deforestación tropical utilizando NDVI del satélite MODIS: un estudio de caso en Pahang, Malasia, 2018*. Cuyo objetivo fue examinar la densidad y estado de la superficie terrestre de un bosque tropical en Pahang - Malasia. La metodología que emplearon fue utilizar imágenes de MODIS con dos niveles de detalle que se emplean para categorizar la extensión de terreno cubierta por dos bosques mediante la utilización de los valores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), comparados con imágenes satelitales. Los resultados mostraron que el 96% del área total estaba clasificada como tipo de cobertura forestal en 2002 y solo el 87% en 2015. Además, encontraron que el 8,9% (0,22 mHa - 250m) y 6,6% (0,16 mHa - 1 km) de los bosques fueron degradados del área de estudio. Las cuatro clasificaciones de imágenes tienen una precisión del 70 al 90%. Descubriendo que las imágenes MODIS puedes obtener información sobre la vegetación forestal y su influencia en la degradación.

Por otra parte, Herlambang et al (2020), en su trabajo de investigación titulado *Desarrollo de Sistema para Estimación de Cobertura Suelo y Área de Deforestación por Incendios Forestales y Terrestres*, desarrollaron una aplicación para automatizar el cálculo de la deforestación de turberas debido a incendios forestales y terrestres utilizando el marco Shiny en el lenguaje de programación R. Los datos utilizados fueron imágenes Landsat 8 en 2014 y 2016 de la provincia de Riau, Indonesia, una imagen del producto de datos del área quemada MODIS en 2015 de la provincia de Riau y el sistema fue desarrollado utilizando el método de Desarrollo de Software Adaptativo (ASD). Los resultados de las pruebas muestran que ambas funciones se implementaron con éxito y que con el sistema de automatización se pueden realizar fácilmente las ventajas de estimar los niveles de deforestación en turberas en relación con incendios forestales y terrestres.

Fikhriyah e Indah (2019), en su investigación titulada *Aplicación de SIG en el mapeo y mitigación de incendios forestales y terrestres en la ciudad de Banjarbaru, Kalimantan del Sur*. Cuyo objetivo fue analizar a través de la elaboración de mapas el área susceptible a incendios forestales y terrestres, junto a las estrategias de mitigación, además del nivel de susceptibilidad a incendios. Su aplicación junto al software ArcMap, facilitó determinar las causas que provocan incendios, como la altitud y uso del suelo. Cada uno de ellos con porcentaje de incidencia distinto debido a su riesgo ante la ocurrencia de incendios. La metodología que aplicaron ayudó a determinar que la ciudad de Banjarbaru, Indonesia, fue bastante susceptible a desastres por incendios forestales y terrestres.

También se considera lo aportado por Dos Reis et al. (2021), quienes desarrollaron un trabajo titulado *Incendios forestales y deforestación en la Amazonía central: efectos del paisaje y el clima en la dinámica espacial y temporal*. Cuyo objetivo fue evaluar los

posibles impulsores de deforestación e incendios forestales en la Amazonía central brasileña. Para esto, adquirió y preparó datos antropogénicos, biofísicos y variables de categoría de suelo, junto a datos sobre precipitación y píxeles. Como resultado, hubo un aumento notable en la deforestación y los incendios forestales durante El Niño de 2015 en comparación con años anteriores. Solo una pequeña parte del bosque quemado fue deforestada en los años posteriores a los incendios forestales: 7% (1997), 3% (2009) y 1,5% (2015). Concluyéndose que los bosques cercanos a carreteras, ríos y deforestación establecida son susceptibles a la deforestación y los incendios, ya que estas áreas son atractivas para la agricultura y los pastos.

Asimismo, Hurtado-Abril y Lizarazo (2022), en su estudio titulado *Nuevo índice espectro-temporal para la detección de pérdida forestal en áreas de bosque tropical. Caso de estudio Amazonia Colombiana*. Cuyo objetivo fue generar un índice espectro temporal para obtener áreas escasas de vegetación en el periodo 2000 a 2017 en la zona de la Amazonía Colombiana. La metodología consistió en realizar un análisis de series temporales aplicando la herramienta LandTrendr para reconocer los rangos espectrales que detectan perturbación de áreas frondosas y así, plantear el cálculo de una ecuación para determinar un indicador de perturbación por deforestación a través de imágenes satelitales Landsat descargadas del servidor Earth Explorer. Los resultados indican que el índice generado puede lograr una precisión temática de más del 80%. Además de la detección de la pérdida y regeneración gradual de los bosques, el índice espectral permite determinar los valores de variabilidad forestal y analizar su recuperación.

Por otro lado, Ibnousaih (2019), en su trabajo titulado *Análisis de incendios forestales a partir de Imágenes Sentinel en las palmas de Gran Canaria en agosto del 2019*. Cuyo objetivo fue analizar los incendios forestales ocurridos el 17 de agosto de

2019, que arrasaron 9,636.40 hectáreas (según datos oficiales). La metodología consistió en utilizar Google Earth Engine (GEE) e imágenes Sentinel-2, para analizar los incendios forestales ocurridos en parte de la isla de Gran Canaria (España). Los resultados mostraron que el área superficial quemada fue de 85.3 km², con una severidad moderada baja de 25.42 km² y la vegetación de esclerófilas fueron las más afectadas con 27.5 km², lo cual representa el 14.7% del total de la isla.

Del mismo modo, Rosales (2019), en su investigación titulada *Estimación de áreas afectadas por incendios forestales y dispersión de aerosoles emitidos*, cuyo objetivo fue estimar el impacto y tamaño de los incendios, la vegetación afectada y los gases emitidos a la atmósfera. La metodología fue mediante el trabajo conjunto de los SIG y un procesamiento de data satelital. Como resultado encontró que los periodos de incendios en el 2017 ocurridos en Yucatán, fueron en total 10,566 y 130,000 hectáreas de áreas quemadas, la vegetación calcinada fue de 12,4 millones de toneladas, además que, alrededor de 528 mil toneladas de gases efecto invernadero (GEI) y partículas contaminantes fueron emitidas en el ambiente.

Silvério et al (2022) en su investigación titulada *Intensificación de los regímenes de incendios y pérdida de bosques en el Territorio Indígena del Xingu*. Cuyo objetivo fue cuantificar la degradación forestal en el Territorio Indígena do Xingu (TIX) ubicado en Brasil, utilizando datos terrestres de las aldeas indígenas con series temporales de teledetección. Como resultado, entre 2001 y 2020, casi 189,000 hectáreas (7%) de los TIX se degradaron por sequías recurrentes e incendios que fueron los principales factores que impulsaron la degradación forestal. Después de tres incendios, la probabilidad de pérdida de bosque fue mayor en las áreas inundadas estacionalmente (63%) en comparación con las áreas de tierras altas (41%). Concluyeron que el diseño de nuevas

estrategias de gestión previene la pérdida de vegetación y minimiza las consecuencias negativas de recursos forestales, que son el sustento para los pueblos indígenas.

Por último, Silva et al (2022), en su trabajo titulado *Los incendios impulsan la degradación ambiental a largo plazo en la cuenca del Amazonas entre los años 2001 y 2019*. Cuyo objetivo fue evaluar mediante teledetección y fotogrametría, las variables como área quemada, focos de incendios y emisiones de carbono en los países que componen la cuenca de la Amazonía. Determinaron que Brasil tuvo la mayor superficie afectada, donde las zonas indígenas con mayor presencia de vegetación recibieron el mayor impacto además de ser áreas de conservación de la biodiversidad. Concluyeron que la presencia de incendios se relaciona con la aparición de períodos secos en la cuenca del Amazonas.

En relación con el uso de índices de vegetación, García (2021) en su trabajo de investigación titulado *Estudio multitemporal de los incendios de 2019 en Roraima (Brasil) a partir de imágenes satelitales*, afirmó que el más utilizado es el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI), se enfocó más en analizar la idoneidad de la información brindada por el sensor MODIS y el NDVI resultante, determinando así, los espacios quemados, analizando su capacidad de percepción ante una recuperación vegetal después del suceso de incendios.

Por otro lado, Puente (2017), realizó una investigación titulada *Las posibilidades de la teledetección para la gestión de los incendios forestales en Cantabria: recuperación vegetal postfuego a partir de MODIS*, que además de utilizar el NDVI para visualizar el grado de afección a la vegetación después haber ocurrido los sucesos de incendios, empleó el Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI), que le permitió conocer

condiciones meteorológicas que favorecieron la combustión. Caso contrario a lo realizado por Masís et al. (2021), cuya investigación titulada *Aplicación De Índices De Calcinación Para Incendios Forestales De La Temporada 2020 En El Área De Conservación De Guanacaste, Costa Rica*, llevaron a cabo un mapeo zonal y análisis de incendios utilizando el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR), el cual permitió determinar la gravedad de la calcinación.

A nivel nacional, Ortiz y Ramírez (2021), realizaron una investigación titulada *Análisis de los efectos causados por la deforestación mediante teledetección en los cantones Olmedo y Paján provincia de Manabí MODIS*. Cuyo objetivo fue visualizar las variaciones boscosas que suscitaron en los territorios de Paján y Olmedo (Ecuador) del 2000 al 2012. Para ello, con ayuda de los SIG, realizaron un geoprocésamiento satelital para determinar y analizar el NDVI. En un principio, se visualizó disminución del 5% de vegetación en ambas zonas; pero en la duración del estudio, aumentaron las cifras hasta un 20%, considerándose un impacto ambiental directo. Asimismo, observaron que las variables de humedad y precipitación tuvieron una tendencia decreciente, mientras que la temperatura aumentó 3°C promedio, en los últimos 18 años.

Los diferentes antecedentes revisados hacen referencia a las imágenes satelitales y fotos aéreas utilizadas, las cuales permiten la interpretación de la magnitud y determinación de lugares donde ocurrió deforestación a causa de incendios forestales. Como, por ejemplo, Lange (2018) y Mamani y Servan (2017), para realizar un procesamiento y análisis temporal, emplearon información satelital de Landsat 5 y 8 con la finalidad de cuantificar el nivel y tasa de deforestación. Adicionalmente, Mamani et al. (2017), realizó una investigación titulada *Evaluación multitemporal de la deforestación en el distrito de Molinopampa, Provincia de Chachapoyas, Departamento Amazonas*,

2015, concluyendo que la tasa más alta se encuentra relacionada con la actividad ganadera, por lo que se requiere aplicar medidas de solución.

Del mismo modo, Nicolau et al (2019), en su investigación titulada *Un análisis de patrones espaciales de pérdida de bosques en la región de Madre de Dios, Perú*, utilizó datos de imágenes Landsat 8 y 7, no solo para identificar la progresión de pérdida anual de bosques, sino también sus principales impulsores, como la minería, agricultura y campos de pastoreo. Igualmente, Suárez (2018), en su estudio titulado *Evaluación de la deforestación utilizando imágenes de satélite Landsat en las comunidades nativas de Pitocuna y Huantashiri – Satipo*. Cuyo objetivo fue evaluar la situación de la deforestación en las comunidades indígenas de Pitocuna y Huantashiri de la provincia, entre el año 1984 al año 2012, basándose en información satelital Landsat 5 y 7, aplicando procesamientos geométricos, radiométricos y atmosféricos, analizaron la pérdida vegetal en comunidades nativas de Pitocuna y Huantashiri (Satipo, Perú); donde la primera obtuvo mayor valor de pérdida de cobertura vegetal con 1,37% y con valor de deforestación de 40,85 ha/año, comparado a Huantashiri, quien obtuvo menor cifra deforestada del 0,77% y pérdida forestal de 18,74 ha/año.

El estudio desarrollado por Castro (2020), en su investigación titulada *Deforestación y uso de la tierra mediante imágenes satelitales, en la carretera Iquitos Nauta 1989 – 2017*, estableció la tasa de deforestación al año, donde calculó los diversos usos de la tierra, empleando imágenes satelitales Landsat 8, 5 y 4. Los terrenos afectados en el año 1989 fueron 41,988 ha; durante 1995 las cifras se elevaron a 58,668 ha; para el 2005 alcanzaron 68,896 ha y hasta el 2017 el área total afectada fue de 91,181.18 ha. Por último, durante 28 años, la tasa de pérdida vegetal fue de 1,756.89 ha cada año. Del mismo modo, Luna (2015), en su trabajo de investigación argumenta que la Comunidad Nativa

Pankirentsy, está influenciada por actividad agrícola no sostenible, estimando 9 ha de superficie sin vegetación, mientras que las zonas urbanas comprenden 16 ha, lo que resulta 25 has del área de interés total (370 ha).

La teoría para fundamentar esta investigación se basa en la deforestación, término definido como “la pérdida a largo plazo o permanente de la cubierta forestal e implica la transformación en otro uso de la tierra. Tal pérdida solo puede ser causada y mantenida por una continua perturbación natural o inducida por el hombre” (FAO, 2001).

Bosques, que se denomina a aquella parte terrestre que está cubierta por una comunidad vegetal donde predominan frondosas arboledas, formando un estrato de copas continuas, con una altura de más de 5 metros. Además, estas formaciones vegetales no han tenido una intervención selectiva, es decir, que otras actividades no modifiquen su estructura y características originales (Rosales, 2013).

Asimismo, según la teoría, un incendio forestal, es aquel “evento o desastre natural relacionado con la biosfera, e implica incendios fuera de control que queman la superficie vegetal ya sea que se trate del pastizal, la maleza, la tundra, el bosque o el matorral sin la intervención del humano” (Rodríguez-Trejo, 1996).

Por tanto, es definido como la propagación descontrolada del fuego en un espacio con cubierta vegetal, donde los afectados son los bosques y selvas. Para el suceso, los motivos suelen ser una fuente calorífica, como las radiaciones solares, además, la magnitud de desarrollo depende de la cantidad de oxígeno en el aire y del combustible proveniente de las plantas (Comisión Nacional Forestal, 2010). Pueden ser producidos por la acción antropogénica o causados naturalmente, con velocidad incontrolable y generando impactos ambientales, económicos y sociales (Rosero y Osorio, 2013).

Por otra parte, desde una perspectiva de los SIG, se refiere a aquellas bases de datos informáticos que tienen algún componente espacial, pues la información almacenada en ella está referenciada geográficamente, como mapas, estadísticas o el cambio climático en un área determinada, por lo que las variables se pueden relacionar entre sí de diferentes maneras (Chuvienco, 1995).

Cabe mencionar que existen términos relacionados, tal como *teledetección*, que se define como un conjunto de instrumentos digitales que obtienen información sobre un área específica de la superficie terrestre que será analizada, además de la interpretación de sucesos atmosféricos y terrestres (Chuvienco, 1995). Donde las fuentes de información más primordiales son las propiedades de la data recopilada gracias a tecnología aérea espacial (sensores remotos y equipos tripulados) (Eugenio et al., 2013).

Sensor remoto, es todo dispositivo que tiene la capacidad de obtener información desde un área elevado de la tierra, los resultados a obtener dependen del tipo de sensor empleado en el momento y sin necesidad de ser manipulado (Jensen, 2007). Puede ser de detección pasiva o activa, donde el primero se limita a detectar la energía que el planeta refleja o emite de manera natural; mientras que, la activa ocurre cuando el equipo emite su propia energía, la dirige y percibe cuando retorna (Sabins y Ellis, 2020).

Es necesario encontrar aproximaciones creativas y métodos de evaluación eficientes, para obtener información espectral predictora de la respuesta del ecosistema a los impactos del incendio. Por tanto, se destacan sensores como Landsat, Sentinel, MODIS, entre otros, como fuentes de datos para la evaluación de los incendios y sus efectos (Ibnousaih, 2019).

Landsat, es un conjunto de satélites que captan imágenes espectrales con calidad, detalle, cobertura y duración de los recursos terrestres de la superficie. Dichos satélites de nueve datos son gestionados por instituciones como la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Ariza, 2013). Además, sus servicios geoespaciales comenzaron en 1972 cuando Landsat puso en órbita un total de 8 satélites, el primero en 1972 y el último en 2013, por ello la denominación Landsat 8 (Puerta et al., 2013).

Imágenes satelitales, denominadas como la representación gráfica y digital de la información capturada por sensores remotos de satélites, a través de una captación de las radiaciones electromagnéticas que son reflejadas (Mendoza y Lois, 2009).

La información obtenida por una imagen satelital frecuentemente podría ser interrumpida por algunos errores. Para ello es necesario realizar correcciones, que se clasifican en geométricas, radiométricas y atmosféricas. En la *corrección geométrica*, la planimetría se aplica a la imagen y las coordenadas superpuestas (línea y columnas) de la imagen se convierten en coordenadas de mapa, es decir UTM (Universal Transversal Mercator), empleando una imagen de referencia de un distinto periodo (Ambrosio et. 2002). En esta corrección, la imagen será ajustada dentro de un espacio nuevo, en donde cada píxel de esta tendrá asignado un valor “XY” correspondiente a un sistema de proyección geográfica determinado (Cuartero y Felicísimo, 2003).

Asimismo, la *corrección radiométrica*, tiene como propósito lograr una correlación óptima entre la señal registrada y los detalles del terreno captado. Donde el efecto aplicado para la corrección es la dispersión, el cual aumenta la radiación atmosférica que ha sido detectada previamente por el sensor, donde las correcciones serán lo más parecido a la realidad (Aguilar et al., 2015).

Del mismo modo, *corrección atmosférica*, es un proceso aplicado a imágenes digitales obtenidas, para que estas queden libres de los efectos de la radiancia intrínseca y de aerosoles, los cuales se gestionan a través del sensor, reflejados en los resultados, como consecuencia de la interrelación del sensor y la atmósfera (Chuvienco, 1995).

Por otro lado, para identificar la magnitud de deforestación se determinan y aplican diversos *índices espectrales*. “El índice espectral es una expresión matemática del número de bandas para mejorar la variación y reconocer la vegetación y/o las condiciones del suelo” (Mustafa et al., 2011).

Las características fenológicas de la parte forestal son primordiales para la evaluación e interpretación de la gravedad de los incendios forestales. Sin embargo, la vegetación no saludable tiene mayores cantidades de ramas y hojas muertas, las cuales favorecen indirectamente la combustión y con ello, facilita la generación de incendios. El uso de satélites y sensores han contribuido al desarrollo de distintos índices para medir el estado y salud de la vegetación (Ibnousaih, 2019).

Los índices de vegetación diferenciada son escalas de medición de manera cuantitativa, las cuales miden la biomasa de la cubierta vegetal, donde los valores digitales más altos significan presencia de vegetación saludable. Su uso se basa en los diferentes comportamientos radiométricos presente en los cuerpos boscosos, donde la pigmentación de las hojas recibe mayor cantidad de luz solar en un rango espectral, y las hojas suelen ser transparentes en la luz del infrarrojo cercano (Chuvienco, 1995).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), permite visualizar el estado de la vegetación de la corteza terrestre, a partir del proceso de la fotosíntesis,

relacionada con el vigor y densidad de los cuerpos vegetales (European Space Agency [ESA], 2015).

Por otro lado, el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR), es el encargado de identificar las áreas afectadas por incendios, es decir áreas quemadas. La fórmula utilizada para su obtención combina las longitudes de infrarrojo de onda corta (SWIR) (banda 12) e infrarrojo cercano (NIR) (banda 8), porque son más sensibles a la presencia de carbón y ceniza en el suelo (Epting y Verbyla 2005).

Infrarrojo cercano, denominado a la parte de longitud de onda, el cual es el más corto del espectro infrarrojo. Durante la detección de cobertura forestal, es primordial en los casos de discriminar niveles de concentración de humedad y masas forestales, los valores oscilan entre 0,7 μm - 1,3 μm (Chuvieco, 1995).

Un píxel, es aquella unidad visual cuadrangular que es visible en imágenes digitales y está basado en puntos de color o en una graduación de grises. El número de píxeles de una imagen dependerá de la resolución del dispositivo utilizado (Chuvieco, 1995).

Google Earth Engine (GEE), es una plataforma de teledetección online y libre que tiene la capacidad de llevar a cabo sincrónicamente análisis espaciales y temporales sobre una colección de imágenes satelitales (actuales e históricas), el mapeo de tendencias y la cuantificación de recursos naturales del planeta Tierra, con grandes cantidades de datos de manera eficiente y en menor tiempo (Shelestov et al. 2017).

Ley Forestal y de Fauna Silvestre N°29763 (El Peruano, 2015)

Contribuye a la protección, conservación y uso sostenible de áreas nacionales que abarcan el patrimonio forestal y fauna silvestre, adecuando un manejo con principios de mejora y mantenimiento de los ecosistemas forestales como vegetación silvestre, siendo sostenibles con el ámbito social y económico del país; a la vez, incrementar a gran escala el crecimiento forestal, mejorando la competitividad y el valor de los bosques y recursos naturales para la sociedad.

Por último, esta investigación se justifica en la importancia del diagnóstico de deforestación ocasionada por incendios forestales mediante el uso de SIG, teniendo como base tres aspectos, el cognitivo, social y ambiental. En primera instancia, se presenta un impacto cognitivo fundamentado en la magnitud de deforestación de la Amazonía peruana aplicando los SIG y así determinar la eficacia de esta tecnología en la estimación de áreas deforestadas ocasionadas por incendios forestales. Por otro lado, en el impacto ambiental, la aplicación del conjunto de tecnología geoespacial brinda facilidades para una mejor percepción de daños ambientales en temas de cobertura vegetal existente en la corteza, mediante el geoprocesamiento de los datos; y por último, en el aspecto social, la percepción de espacios afectados permitirá tomar medidas de restauración y recuperación de dichas áreas, brindando un mejor estilo vida a los habitantes de los centros poblados nativos.

Entonces, el objetivo general de esta investigación fue diagnosticar la magnitud de deforestación en la provincia de Loreto ocasionada por incendios forestales aplicando los SIG, 2022. Teniendo como objetivos específicos, estimar las áreas deforestadas por incendios forestales en tres intervalos de tiempo durante el periodo 2013-2022 en la

provincia de Loreto; asimismo, analizar la evolución de la deforestación en el área de estudio durante el periodo determinado, y finalmente, proponer estrategias de recuperación a los problemas por deforestación que atraviesa el área de estudio.

Todo lo antes mencionado con la finalidad de obtener resultados útiles para futuras investigaciones, las cuales estén dirigidas en el diagnóstico de deforestación aplicando tecnologías digitales. Además, se tendrá como hipótesis que la aplicación de SIG permite diagnosticar la magnitud de deforestación en la provincia de Loreto ocasionada por incendios forestales, 2022.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La investigación considera como enfoque al tipo cuantitativo, se define como el conjunto de procedimientos secuencialmente sistematizados para verificar determinados supuestos. Asimismo, es adecuado cuando se desea estimar el alcance o la ocurrencia de un fenómeno y probar hipótesis (Hernández y Mendoza, 2018). Por tal motivo, esta investigación utilizó los datos de imágenes satelitales para diagnosticar e interpretar la magnitud de deforestación en la provincia de Loreto durante un periodo de tiempo.

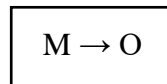
También según su finalidad es básica, puesto que no se soluciona ningún problema inmediato, por lo contrario, sirve como base teórica para diferentes trabajos de investigación. Expande el conocimiento científico sin aplicar directamente los resultados a problemas prácticos o situaciones específicas, pues busca comprender los principios fundamentales que rigen fenómenos naturales, sociales o científicos. Este puede formar la base para futuras aplicaciones y desarrollos tecnológicos (Hernández y Mendoza, 2018).

Además, es de tipo retrospectivo-prospectivo y por su dimensión temporal es longitudinal, pues se basó en la recopilación de datos en diferentes momentos o intervalos de tiempo, con el fin de interpretar los cambios y evolución de las variables y/o sus relaciones (Hernández y Mendoza, 2018).

Este estudio se ajusta a un diseño no experimental, puesto a que no se manipulan las variables, fenómenos o eventos que ya han ocurrido. Es decir, las variables independientes suceden y ya no es posible influir ni tener control directo sobre ellas, porque ya han ocurrido, al igual que sus efectos (Hernández y Mendoza, 2018). Por lo tanto, se concluye que esta investigación tuvo un diseño descriptivo.

Figura 1

Diagrama de diseño descriptivo.



M: Muestra en quien se realiza el estudio.

O: Información relevante o de interés recogida.

La población es aquel conjunto del total de casos que concuerda con ciertas especificaciones (Hernández y Mendoza, 2018). Asimismo, está determinada por el conjunto de unidades limitadas y accesibles, las cuales fueron el sustento para la decisión de la toma de muestra (Arias et al, 2016). Esta investigación consideró a la población conformada por la Amazonía Peruana.

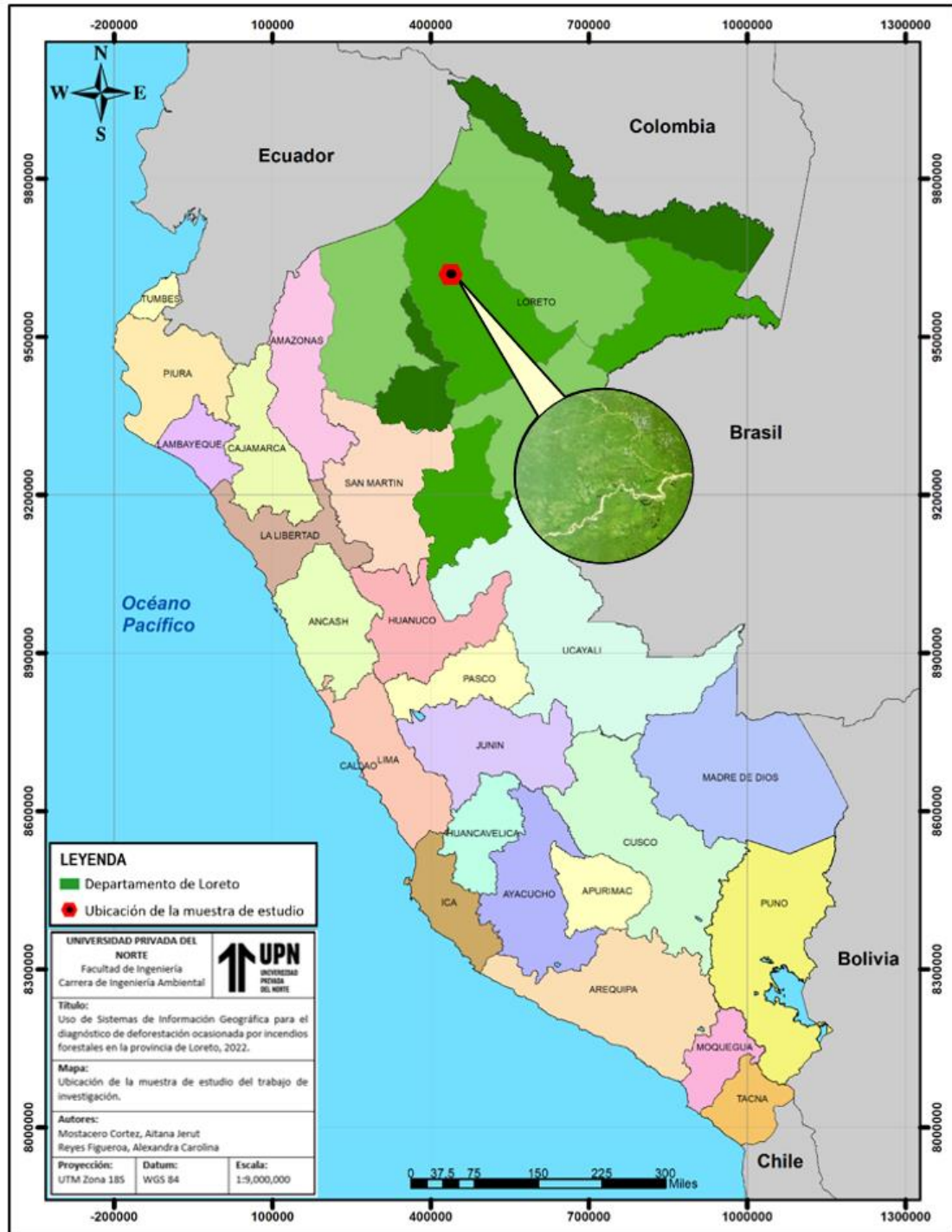
En todo tipo de investigación, se debe realizar una toma de muestra posterior a la población, en donde se detalla a los individuos que participarán del estudio. A esto se le denomina como muestra representativa de toda la población, porque permitió caracterizar los resultados obtenidos en el estudio (Otzen y Manterola, 2017). Se consideró como muestra al departamento de Loreto, puesto a que es el que abarca mayor territorio de la Amazonía peruana con un 368,852 km².

Es por ello que, para determinar la muestra de estudio, se determinaron criterios de inclusión y exclusión, como se muestra en la figura 2.

- a. **Criterios de inclusión:** departamento que abarca la mayor parte del territorio de la Amazonía peruana, densidad forestal.
- b. **Criterios de exclusión:** proporciones mínimas de territorio amazónico en el estado peruano, debido a la actividad económica de la región y su nivel de urbanización.

Figura 2

Ubicación del área de estudio.



Entonces, después de haber determinado la muestra gracias a los criterios descritos, se identificaron los métodos, técnicas e instrumentos utilizados para la recopilación y obtención de datos de esta investigación.

El método Inductivo-Deductivo, sirve como herramienta en las investigaciones científicas, donde los principios teóricos explican los principios elementales a través del proceso de inducción y posteriormente detallan lo observado por medio de proceso deductivo (Burgos et al., 2020); conociendo así las causas que lo originan.

Espinoza y Toscano (2015), indican las técnicas aplicadas en el desarrollo de las investigaciones, implican un conjunto de procedimientos necesarios para la recopilación de datos e información.

El trabajo se desarrolló mediante la técnica no experimental donde se realizó un procesamiento espaciotemporal de datos e imágenes satelitales en tres intervalos de tiempo, durante el el periodo 2013 – 2022; además, Buzai y Montes (2020), mencionan que esta técnica permite realizar predicciones respecto a configuraciones espaciales futuras en el ámbito de cartografía permitiendo diseñar escenarios futuros.

Asimismo, un medio utilizado por investigadores para registrar la data e información recopilada es el instrumento, el cual debe reunir tres criterios necesarios: confiabilidad, validez y objetividad (Hernández, 2018). El instrumento seleccionado fue el software ArcGIS con el apoyo de Microsoft Excel, el cual fue un soporte durante la obtención de resultados precisos.

Para llevar a cabo la investigación, primero se seleccionó el área de estudio (muestra) y a la vez se estableció los periodos (años) clasificándolos en tres intervalos (2014, 2017, 2021) de los que se quiere obtener la data, ambas especificaciones se realizarán en el servidor online Earth Explorer.

Figura 3

Delimitación de la zona de estudio en el software Google Earth.

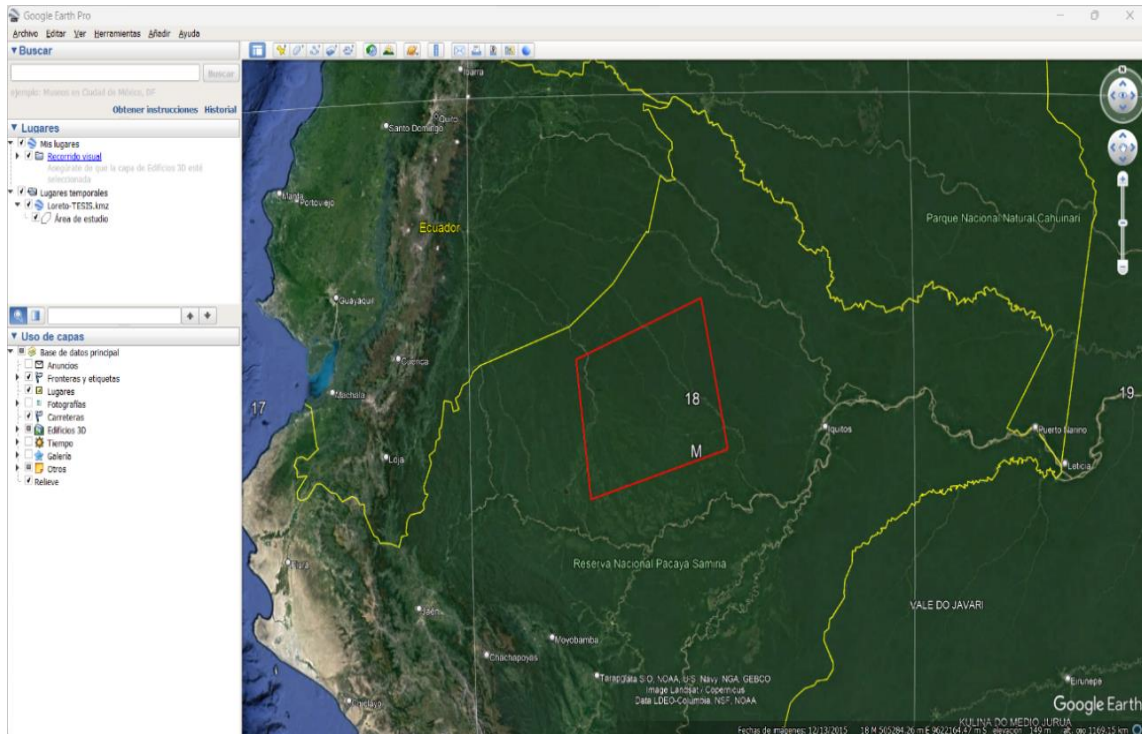


Tabla 1

Coordenadas geográficas de los puntos del área de estudio delimitada en el software Google Earth.

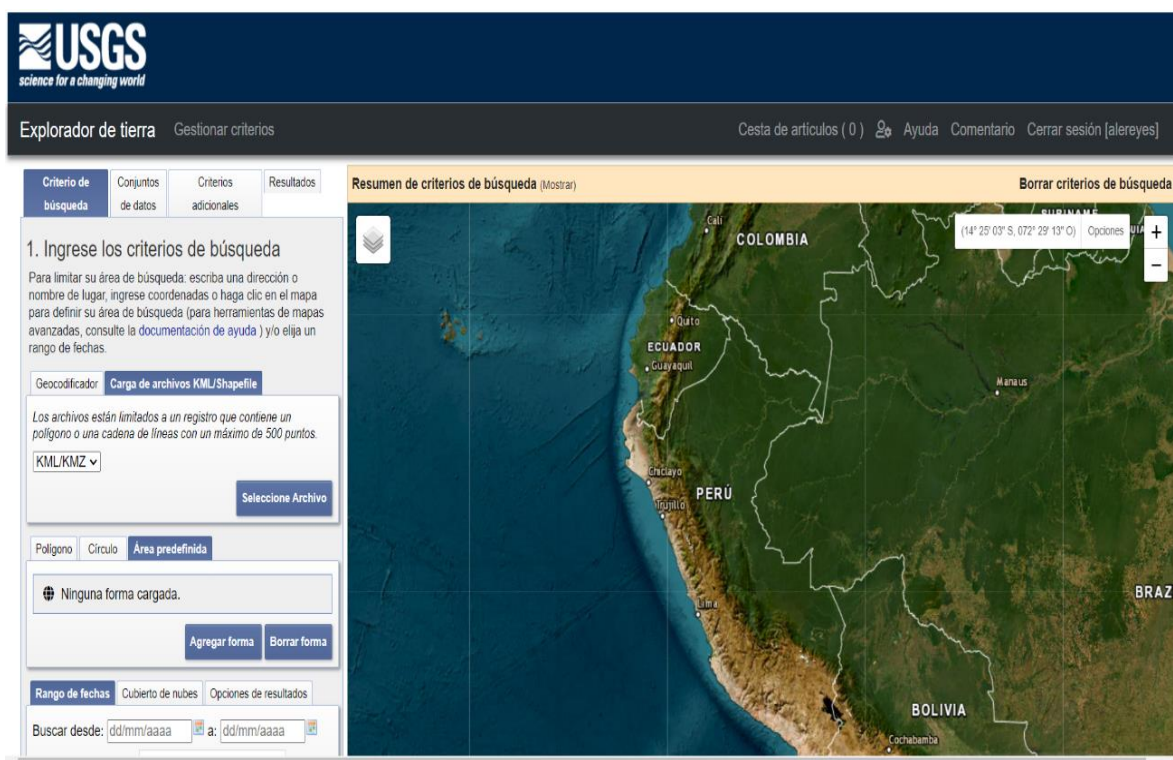
	Latitud	Longitud
Punto 1	04° 30' 33" S	076° 22' 20" W
Punto 2	03° 58' 46" S	074° 31' 36" W
Punto 3	02° 18' 07" S	074° 51' 48" W
Punto 4	02° 57' 22" S	076° 32' 52" W

Posterior a ello, la recopilación de datos consistió en obtener imágenes satelitales Landsat del área de estudio (formato shapefile), por medio de la plataforma online USGS

Earth Explorer, el cual ofrece la descarga de imágenes satelitales gratuitas para el uso en investigaciones relacionadas a la teledetección y cartografía. De esta manera se obtienen imágenes con calidad óptima para su procesamiento digital posterior.

Figura 4

Inicio del procedimiento para la obtención de las imágenes satelitales de nuestra área de estudio.



Previamente, es necesario iniciar sesión en el portal de USGS Earth Explorer y adjuntar el archivo en formato kmz obtenido en Google Earth, ya que ello permitirá ubicar nuestra zona de estudio delimitada y será necesario e importante para poder continuar con el procedimiento de la obtención de las imágenes satelitales de interés.

Figura 5

Determinación de los puntos que conformarán el área de estudio en el portal de USGS Earth Explorer.

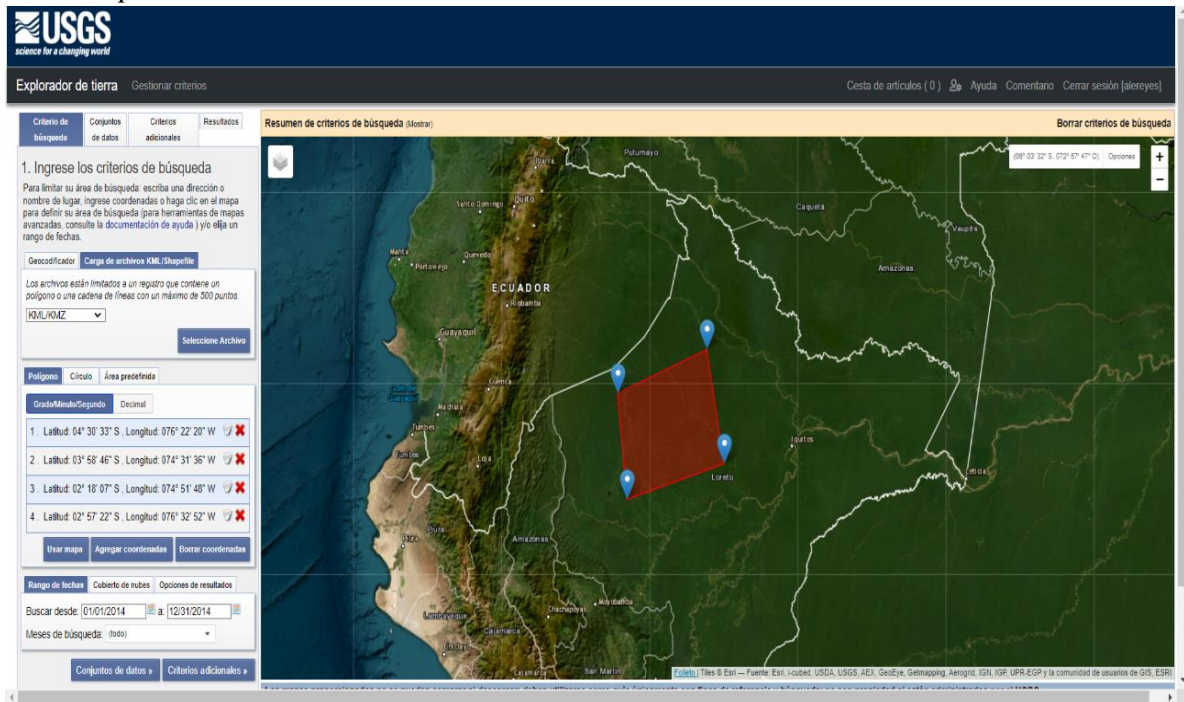
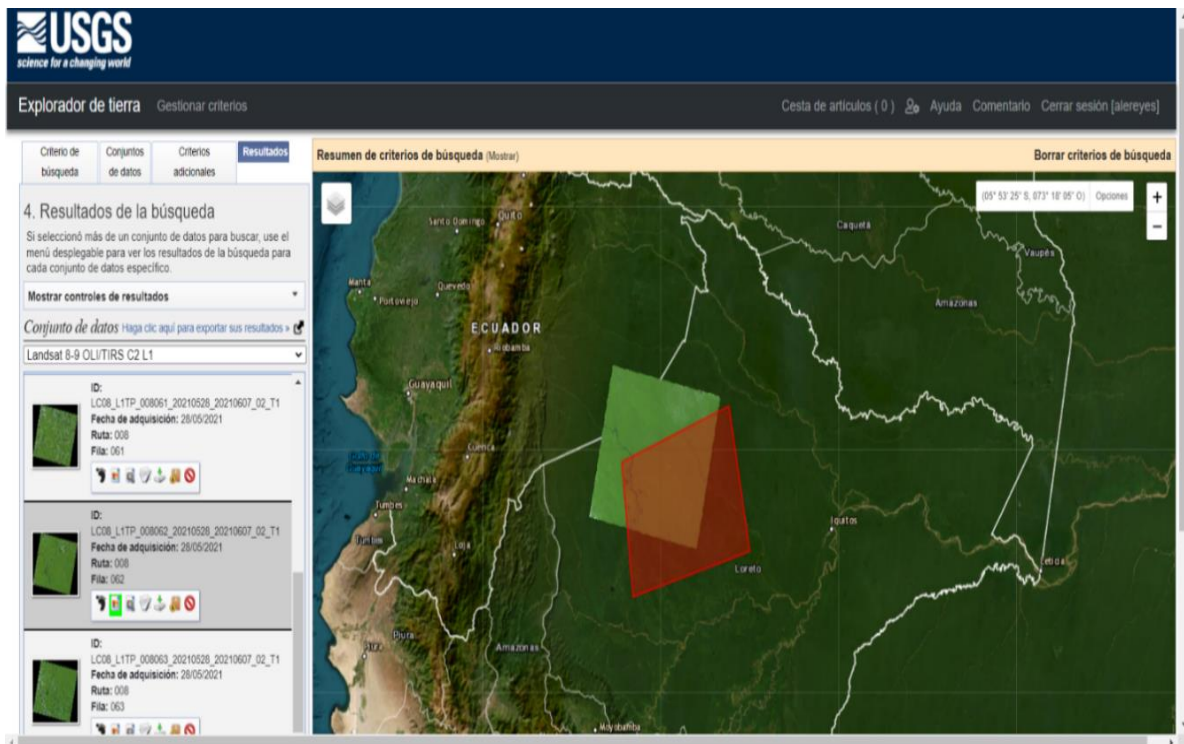


Figura 6

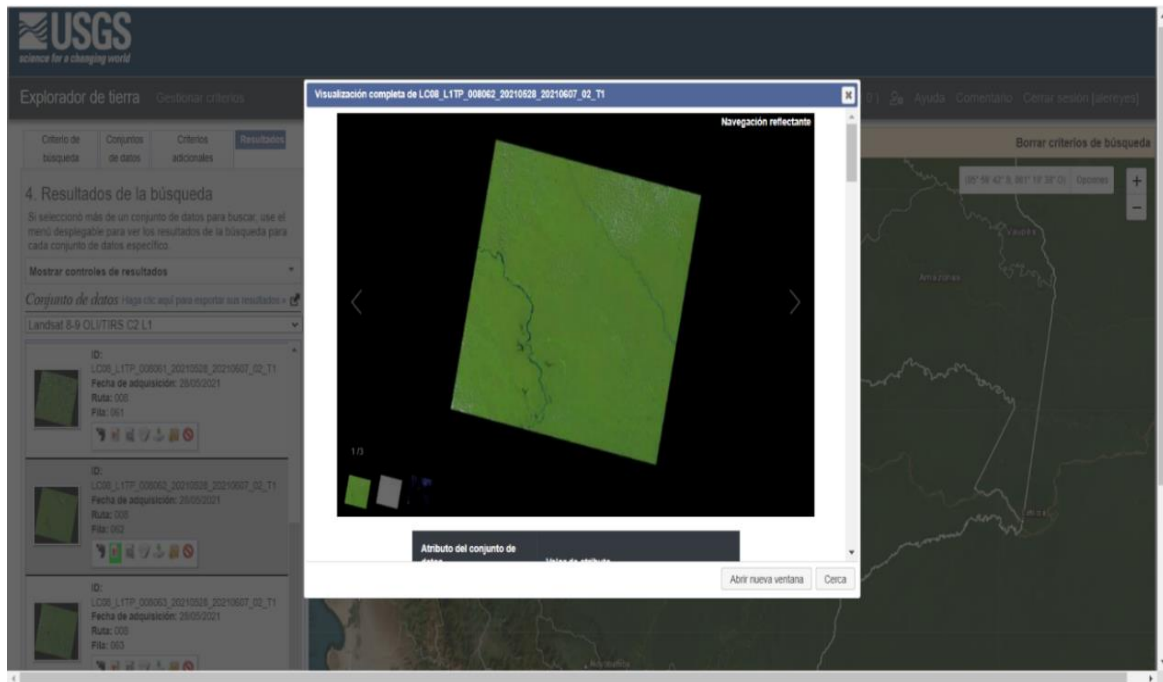
Previsualización de las imágenes satelitales que muestra el geoservidor Earth Explorer.



El geoservidor online USGS, brinda diversas imágenes satelitales que permiten elegir cual será de mayor utilidad para los objetivos determinados, teniendo en cuenta que abarque la mayor parte de nuestra área de estudio.

Figura 7

Elección de la imagen satelital (2017).



Para elegir que imagen satelital será utilizada en el procesamiento de imágenes satelitales para la aplicación de índices espectrales y con ello la elaboración de nuestros mapas, se debe tener en cuenta criterios importantes para hacer una buena elección; es decir, tener en cuenta la presencia de nubosidad en la previsualización de las imágenes, ello será un indicador fundamental en la calidad de mapas que se obtendrán durante el procedimiento. Así mismo, es importante tener en cuenta la resolución de las imágenes, criterio para una buena elección.

Posteriormente se realizó la clasificación supervisada de imágenes satelitales de los periodos de tiempos seleccionados, y se aplicó el procedimiento a cada imagen por separado, para luego combinarlas en el software ArcMap 10.8.

Este estudio constó de tres etapas de clasificación: preprocesamiento, que realizó para preparar los datos satelitales, desde combinar bandas hasta recortar la zona de interés; procesamiento, donde se ubicaron los lugares de interés específicos que muestren presencia o indicios de áreas quemadas; y post-clasificación, donde cada imagen fue editada y clasificada, para luego comparar los píxeles de cada una; en el caso de observar áreas quemadas, muchos estudios demuestran el potencial para visualizar cicatrices causadas incendios forestales, de igual modo evaluar la gravedad mediante una comparación multitemporal post-incendio.

Después de corregir todas las imágenes correspondientes al área de estudio en intervalos de tiempo, estas se descargaron en formato de archivo TIFF utilizando el software ArcMap 10.8, y se aplicó las bandas correspondientes que permitieron observar la zona de interés afectada y a la vez diferenciar las clases de vegetación y suelo.

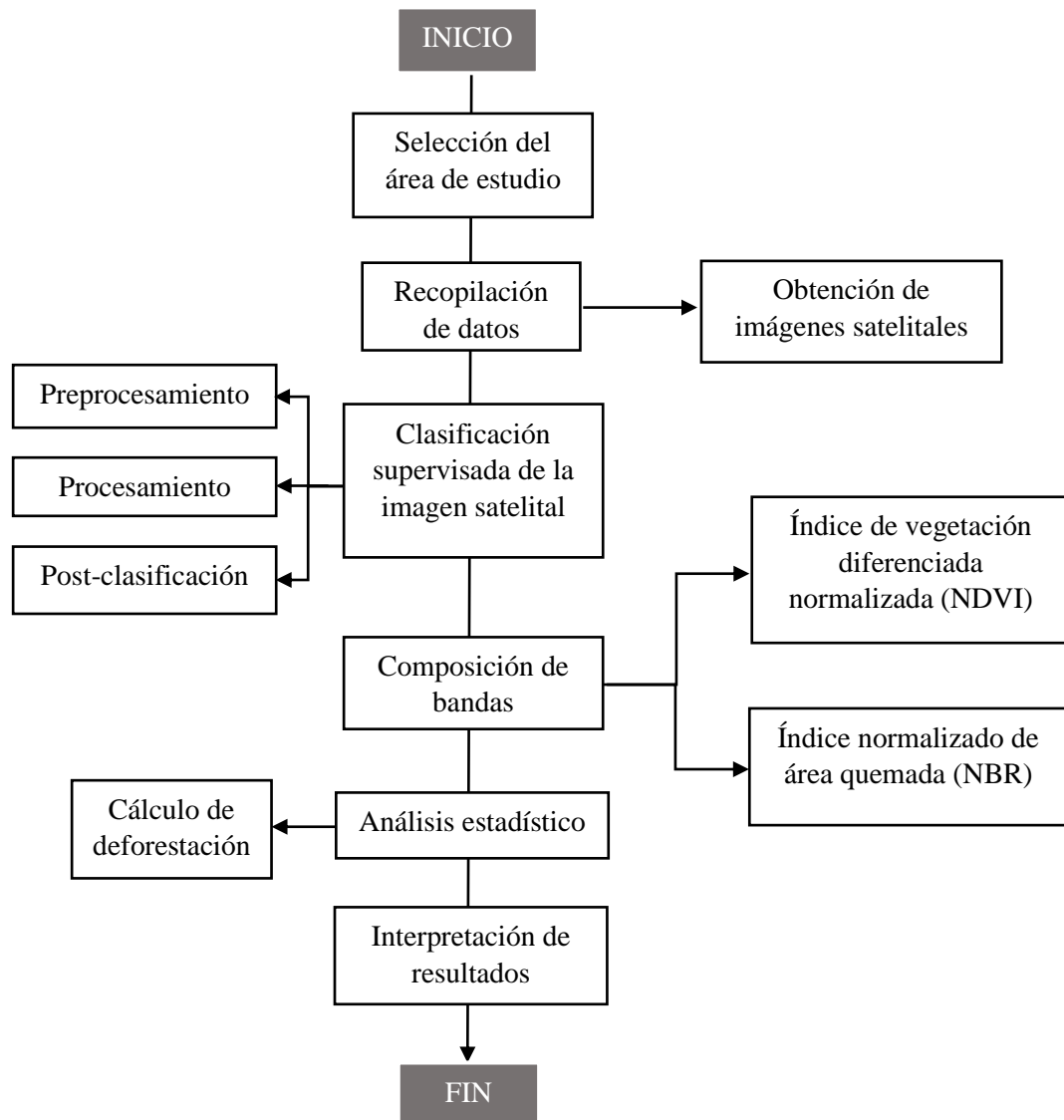
Del mismo modo, se aplicó la composición de bandas de las imágenes Landsat, utilizando índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) usado para aplicaciones agrícolas, estudios de vegetación sana y áreas desnudas; y el índice normalizado de áreas quemadas (NBR) para identificar las superficies quemadas. Además, este análisis se basó en el contraste entre la vegetación sensible al infrarrojo cercano y el contenido de agua del suelo; y el infrarrojo de onda corta, que es sensible para detectar vegetación muerta o no fotosintética en ambientes post incendios.

Para el análisis descriptivo del estudio se utilizó el programa Microsoft Excel y el software ArcGIS. Asimismo, se calculó la tasa de deforestación de las áreas boscosas en hectáreas y se presentaron mapas resultantes a través de tablas de resultados y gráficos.

Por último, se realizó un análisis de la evolución de la deforestación e interpretación de los resultados mediante la obtención de mapas elaborados en el software ArcMap 10.8, los cuales son descargados en el formato de preferencia para su estudio.

Figura 8

Flujograma de la metodología aplicada.



Para validar la confiabilidad y viabilidad de los instrumentos, se utilizó la opinión crítica de expertos en el tema, como los metodólogos de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la sede de Trujillo - San Isidro.

Después de utilizar los instrumentos seleccionados para el análisis de datos, las imágenes satelitales se descargaron utilizando el servidor online USGS Earth Explorer; posterior a ello, se inició con el geo procesamiento digital a través del software ArcMap con un soporte de Microsoft Excel para organizar la data numérica de las bandas espectrales y la longitudinal de las mismas; lo cual permitió elaborar un análisis eficaz de los datos e imágenes espaciales obtenidas y así se realizó un contraste de la realidad en una variación periódica de años de la cobertura vegetal de la muestra; para la redacción del informe se utilizó el paquete de Microsoft Office 2016 en su versión libre.

Por último, se tiene presente las consideraciones éticas, como hacer prevalecer los derechos de autor, como trabajos de investigación, además, no se alteraron datos y se respetó el formato de UPN. De igual manera, se elaboran las citas de cada fuente bibliográfica, teniendo en cuenta la normativa APA 7ma edición y los diversos documentos elaborados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

El presente trabajo de investigación planteó cuatro objetivos donde se busca explicar la aplicación de los sistemas de información geográfica para diagnosticar deforestación ocasionada por incendios forestales en la provincia de Loreto. Emplear los SIG para obtener como resultado mapas temáticos de interés de la investigación, comprende una serie de procesos que a continuación se detalla.

Se descargaron las imágenes satelitales de los años 2014, 2017 y 2021 del geoservidor online Earth Explorer.

Figura 9

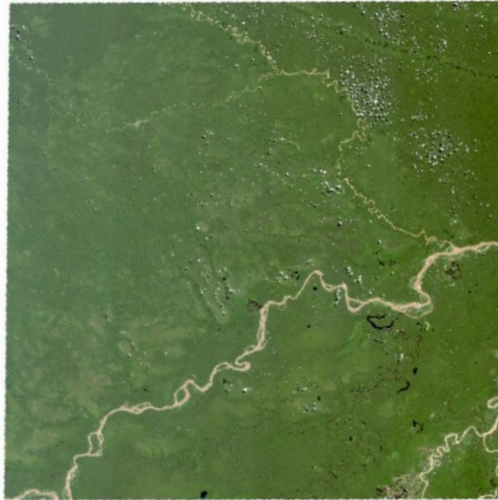
Imagen satelital de la Amazonia de la provincia de Loreto en el año 2014.



Fuente: Servidor online USGS Earth Explorer, 2014.

Figura 10

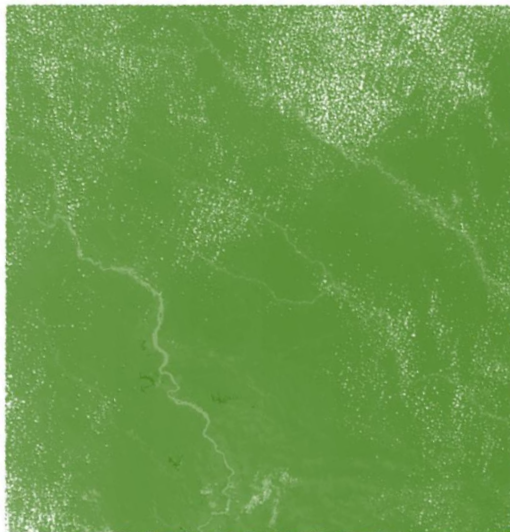
Imagen satelital de la Amazonia de la provincia de Loreto en el año 2017.



Fuente: Servidor online USGS Earth Explorer, 2017.

Figura 11

Imagen satelital de la Amazonia de la provincia de Loreto en el año 2021.



Fuente: Servidor online USGS Earth Explorer, 2021.

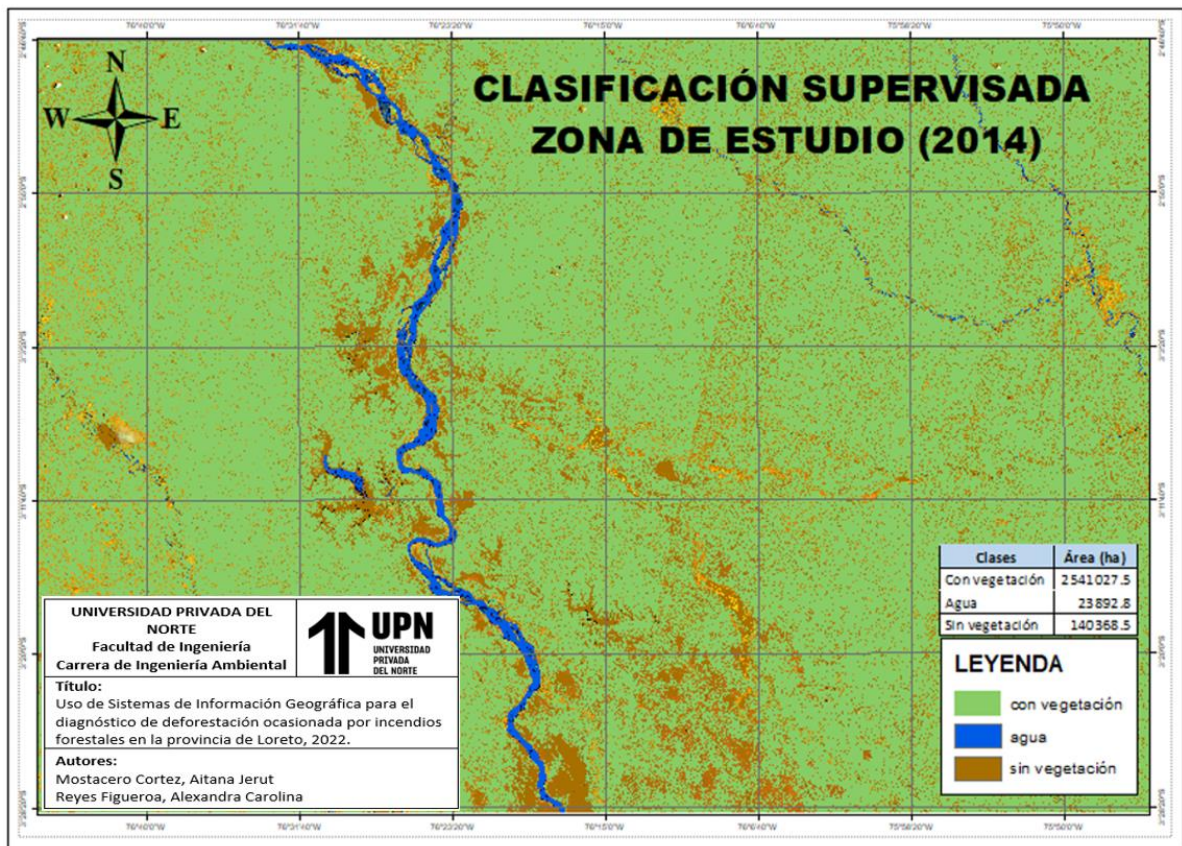
Para el primer objetivo específico, se estimó las áreas deforestadas ocasionadas por incendios forestales en tres intervalos de tiempo durante el periodo 2013-2022 en la provincia de Loreto. Ello se logró gracias al siguiente procedimiento detallado.

Para procesar las imágenes satelitales Landsat 8, se inició con la composición de bandas, lo cual fue el primordial para realizar la clasificación supervisada en la zona de estudio del departamento de Loreto, teniendo en cuenta la captura de imágenes de los tres intervalos de tiempo.

La clasificación ayudó a identificar tres componentes de interés, resaltándolo por colores: el color verde indica presencia de vegetación, el color azul la presencia de cuerpos de agua y el color marrón, áreas sin vegetación, es decir zonas deforestadas.

Figura 12

Clasificación supervisada de la zona de estudio en el año 2014.



La clasificación supervisada realizada en la zona de estudio para el año 2014, muestra de forma gráfica y diferenciada por colores, la proporción de las tres clases de interés para medición.

Tal como se observa en el mapa, la presencia de vegetación es considerable, ya que cuenta con 2,541,027,5 ha de terreno, caracterizado por el color verde. Por otro lado, la cantidad sin vegetación está caracterizado por el color marrón, donde se aprecia que hay mayor incidencia cerca a los cuerpos de agua, siendo 140,369,5 ha con ausencia de cobertura vegetal en la superficie. Asimismo, se denota la presencia de una vertiente, que hace referencia a un cuerpo de agua lótico como una quebrada o río, que es responsable de permitir la presencia de vegetación frondosa en la amazonia peruana. Esta última clase está representada por un total de 23,898,8 ha de presencia hídrica en la superficie terrestre.

Figura 13

Clasificación supervisada de la zona de estudio en el año 2017.

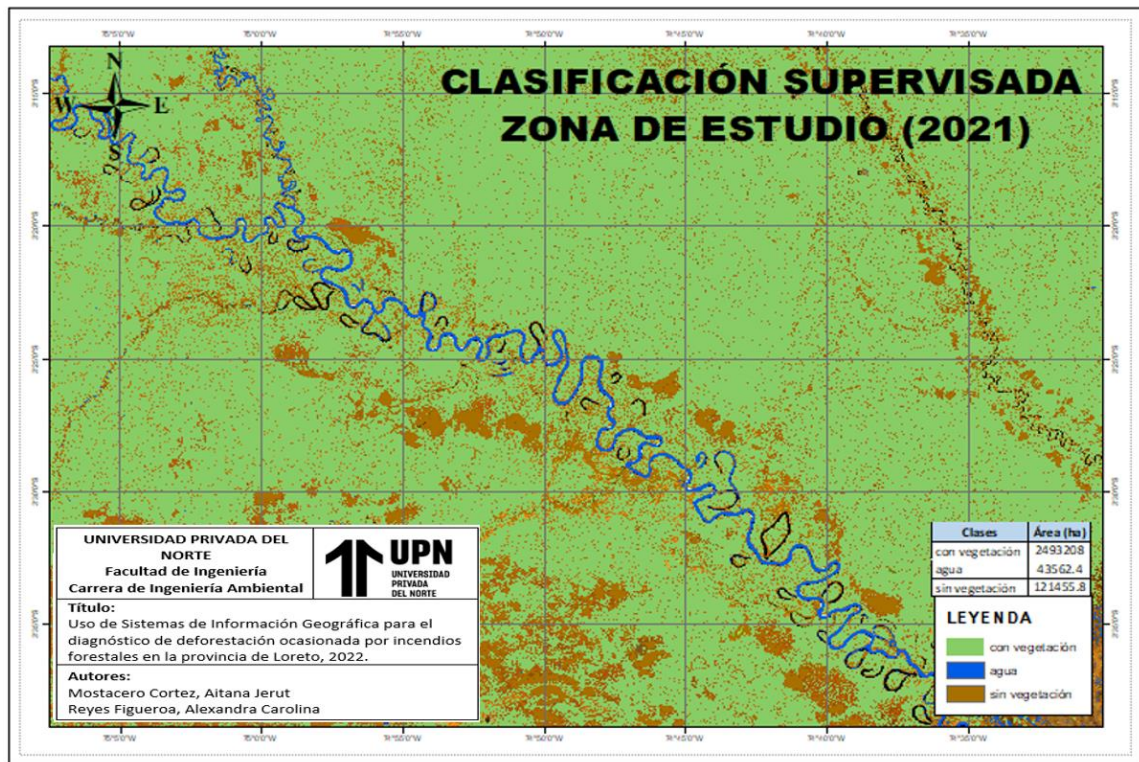


Del mismo modo se realizó el procesamiento de clasificación supervisada en la zona de estudio para el año 2017, donde se visualiza la diferencia en las clases identificadas. La ausencia de vegetación es considerable comparado al año 2014, con un valor numérico mayor, en este mapa la deforestación aumentó considerablemente, ya que

la clase identificada con color marrón presenta 160,498,5 ha deforestadas. La evolución de la ausencia de vegetación en los 3 años anteriores, indica el avance de la pérdida de cobertura vegetal en la superficie, lo cual ocasiona impactos a nivel del uso del suelo, la pérdida de biodiversidad y deterioro de hábitats de especies nativas de la Amazonía Peruana. La clase de agua también indica mayor caudal en esta zona elegida, con valor de 25,847,1 ha, el cual mide la capacidad del suelo para brindar estabilidad a las especies vegetales y fauna presente en la provincia y departamento de Loreto.

Figura 14

Clasificación supervisada de la zona de estudio en el año 2021.



Para el año 2021, los niveles de deforestación disminuyeron debido a las medidas de prevención tomadas para evitar la pérdida de cobertura vegetal. Se reforestaron 39,042,7 ha que hacen referencia a la presencia de vegetación en la zona de estudio, lo cual es un indicador de la disminución de incendios forestales en los 3 últimos años para ese periodo.

Después de haber realizado la clasificación supervisada, se obtuvieron 3 clases junto a sus valores del área total (ha) que abarcaba la zona de estudio, clasificado en los 3 periodos elegidos, tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Áreas de la zona de estudio en hectáreas de los periodos 2014, 2017 y 2021 según sus clases.

Clases	Área (ha)		
	2014	2017	2021
sin vegetación	140368.5	160498.5	121455.8
agua	23892.8	25847.1	43562.4
con vegetación	2541027.46	2856917.3	2493208

Figura 15

Áreas con vegetación en hectáreas de los periodos 2014, 2017 y 2021.

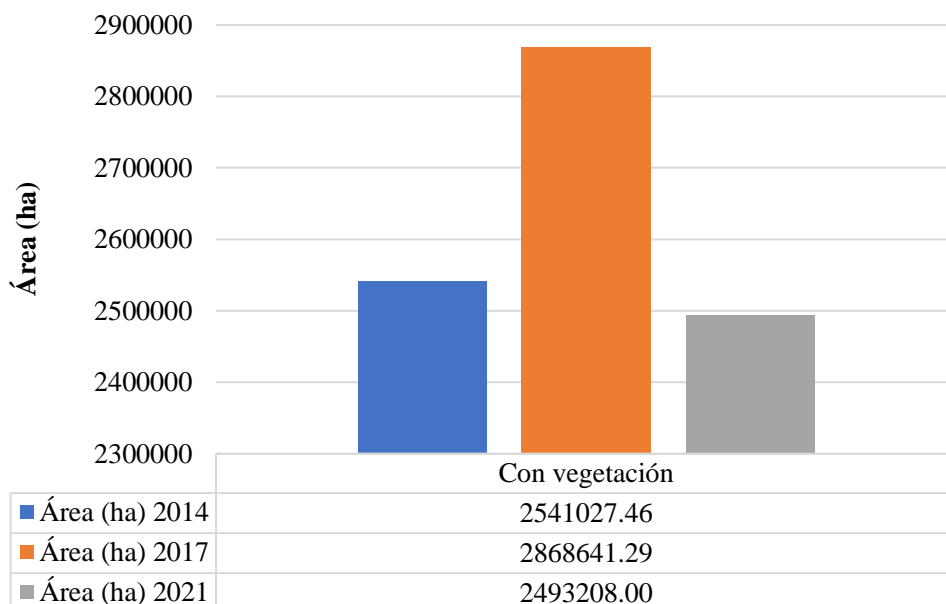


Figura 16

Áreas con agua en hectáreas de los periodos 2014, 2017 y 2021.

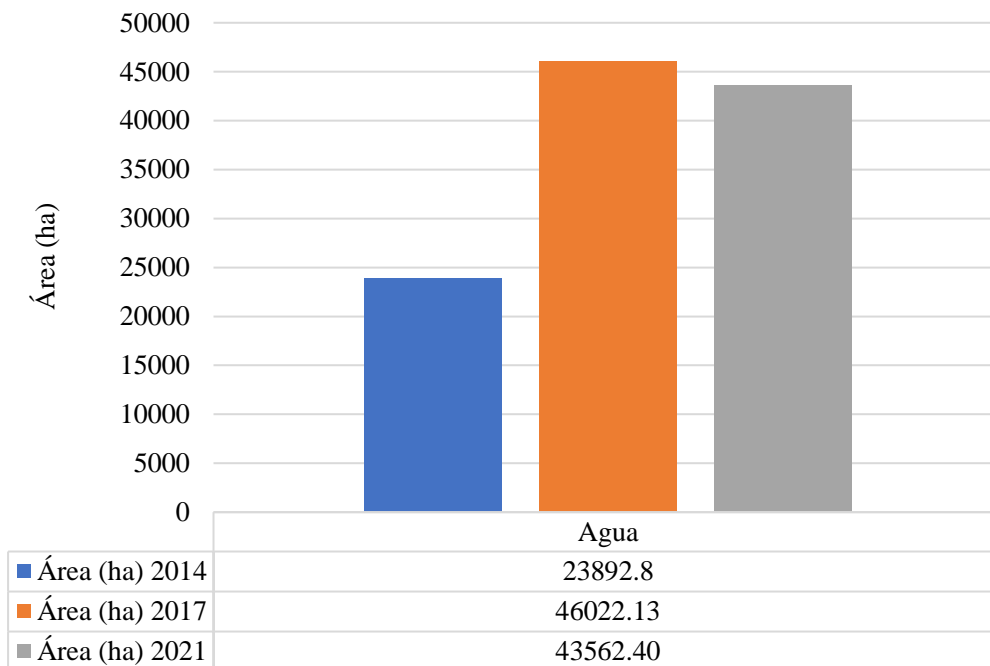


Figura 17

Áreas sin vegetación en hectáreas de los periodos 2014, 2017 y 2021.

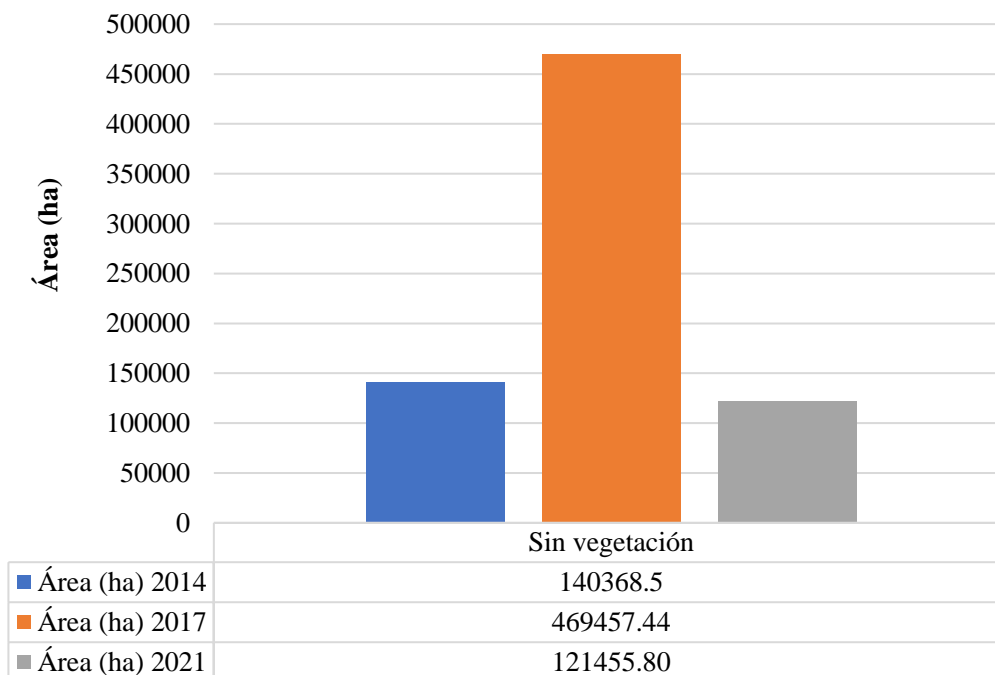
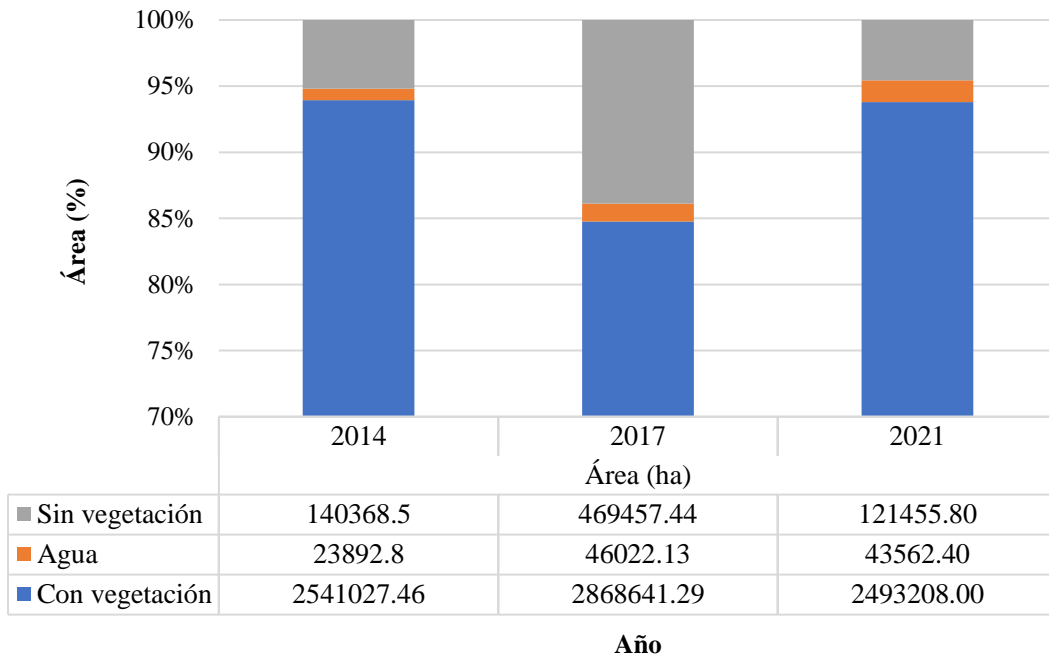


Figura 18

Áreas de las tres clases identificadas en la zona de estudio en los años 2014, 2017 y 2021.



Por otro lado, se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que indica la presencia de biomasa fotosintética que se encuentra en estado saludable. Estimado con la siguiente expresión: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$, donde NIR es luz infrarroja cercana y Red es luz roja visible; aplicado en el trabajo de investigación, se detalla la siguiente fórmula:

$$\frac{(Banda\ 4.tif - Banda\ 5.tif)}{(Banda\ 4.tif + Banda\ 5.tif)} \dots (1)$$

Donde:

NIR: Banda 4

Red: Banda 5

*NIR: infrarrojo cercano

*Red: luz roja visible

Figura 19

Cálculo del NDVI en la provincia de Loreto en el año 2014.

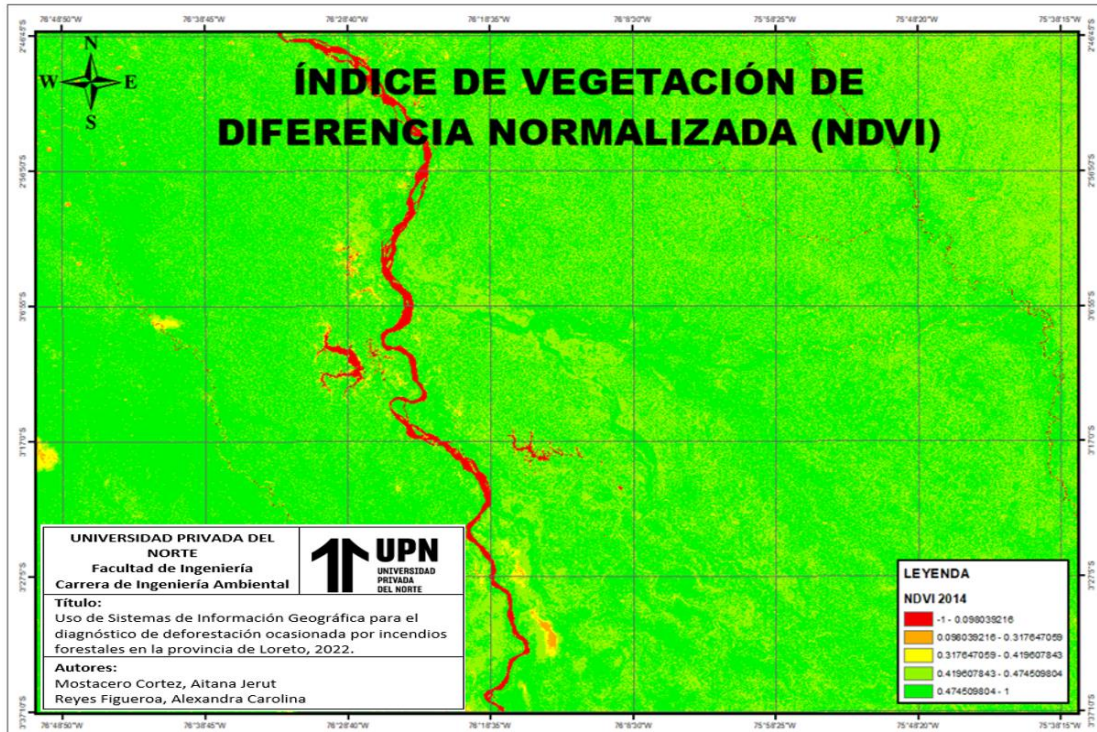


Figura 20

Cálculo del NDVI en la provincia de Loreto en el año 2017.

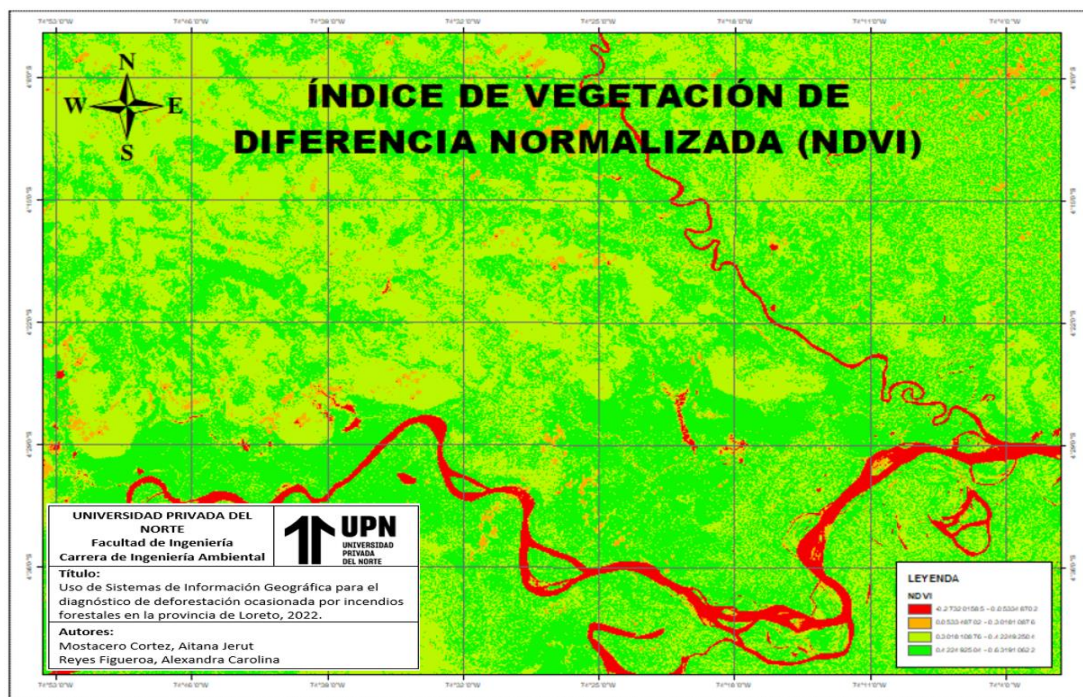
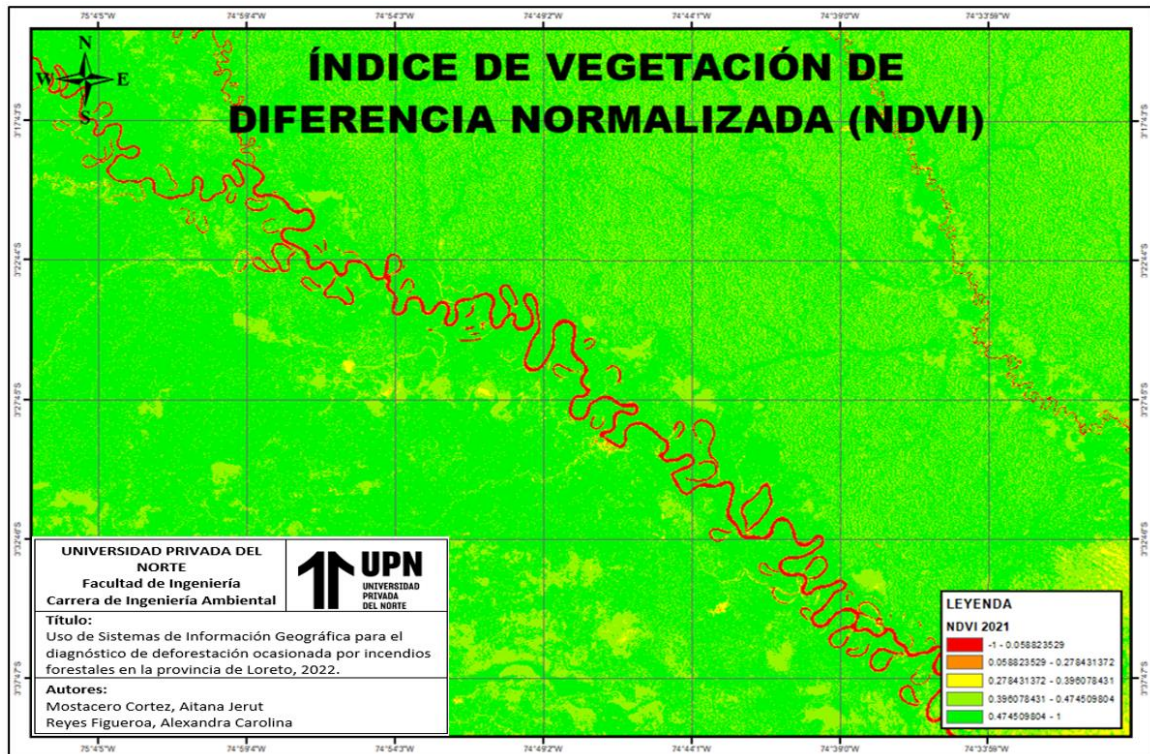


Figura 21

Cálculo del NDVI en la provincia de Loreto en el año 2021.



Del mismo modo, se aplicó el índice normalizado de área quemada (NBR), el cual fue utilizado para identificar áreas quemadas en zonas donde hubo incendios. Su cálculo se realizó usando la siguiente expresión: $NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$, donde NIR es onda de infrarrojo cercano y SWIR infrarrojo de onda corta. Se detalla la fórmula aplicada en el trabajo de investigación:

$$\frac{(\text{Banda 5.tif} - \text{Banda 7.tif})}{(\text{Banda 5.tif} + \text{Banda 7.tif})} \dots (2)$$

Donde:

NIR: Banda 5

SWIR: Banda 7

*NIR: onda de infrarrojo cercano

*SWIR: infrarrojo de onda corta

Figura 22

Cálculo del Índice Normalizado del Área afectada por fuego (NBR) en la provincia de Loreto en el año 2014.

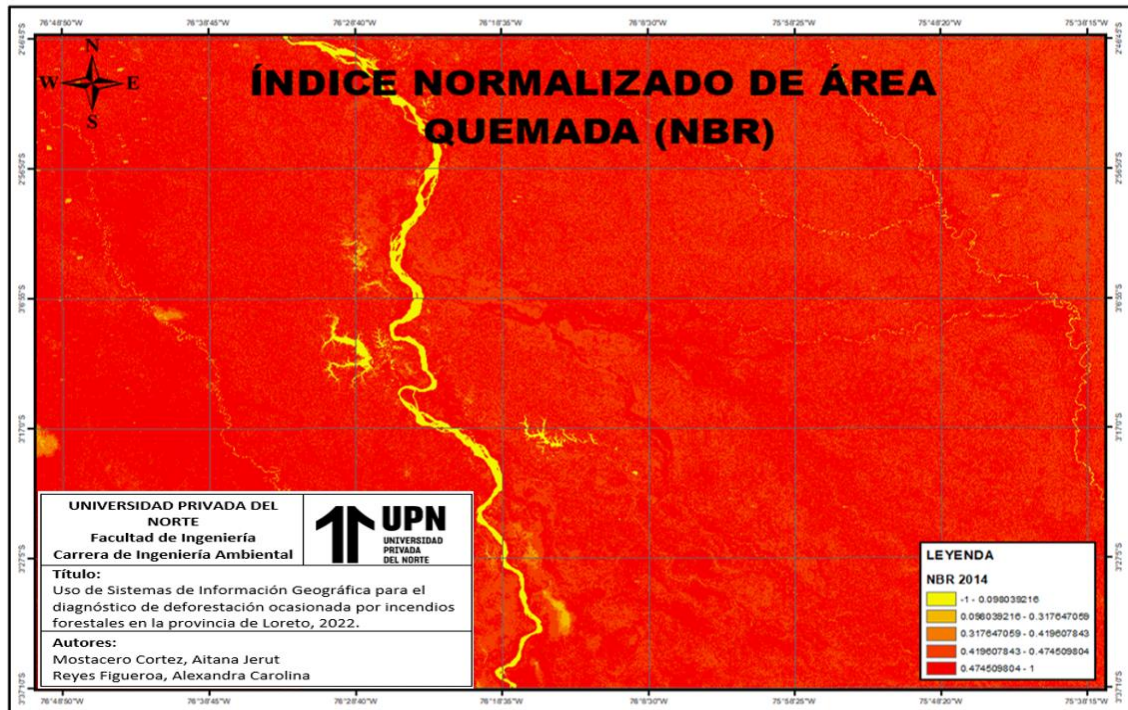


Figura 23

Cálculo del Índice Normalizado del Área afectada por fuego (NBR) en la provincia de Loreto en el año 2017.

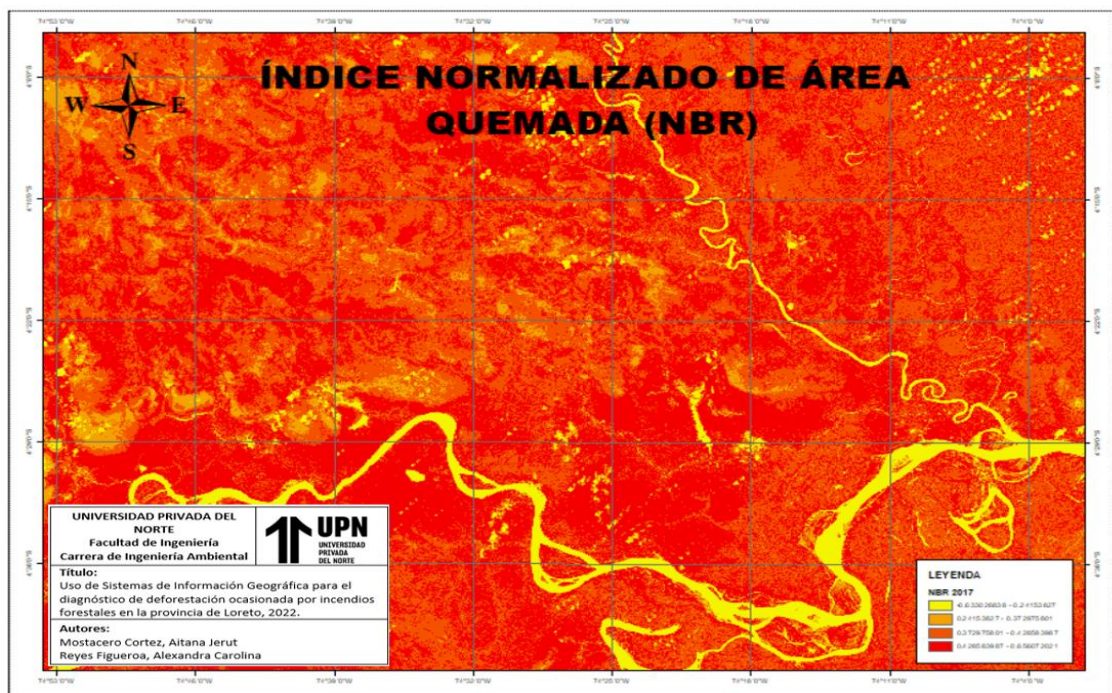
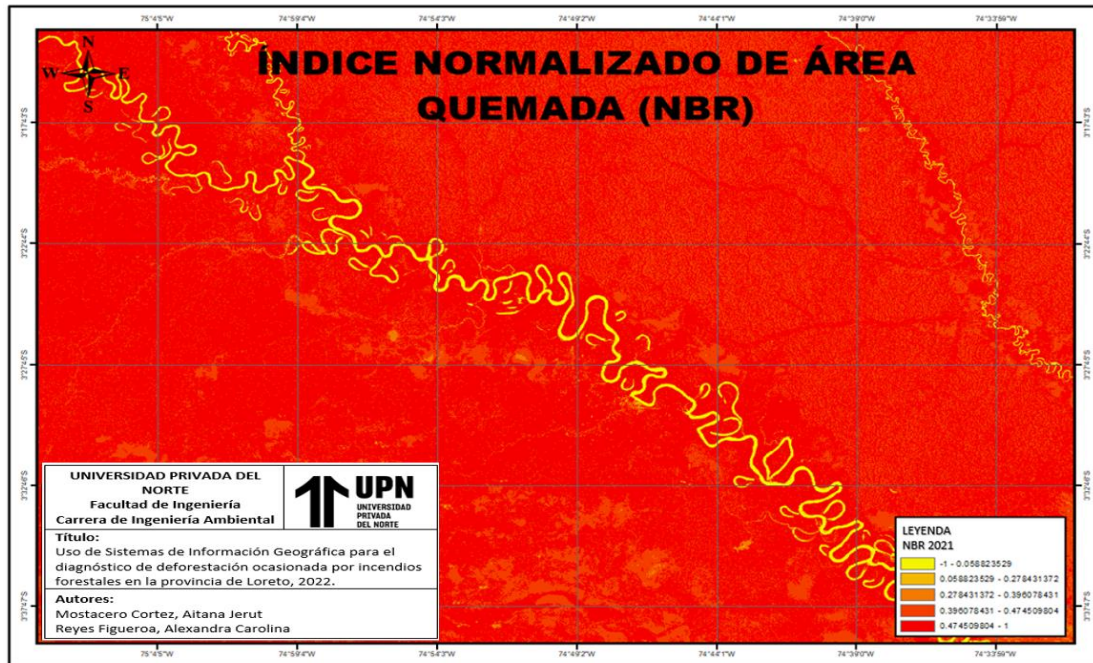


Figura 24

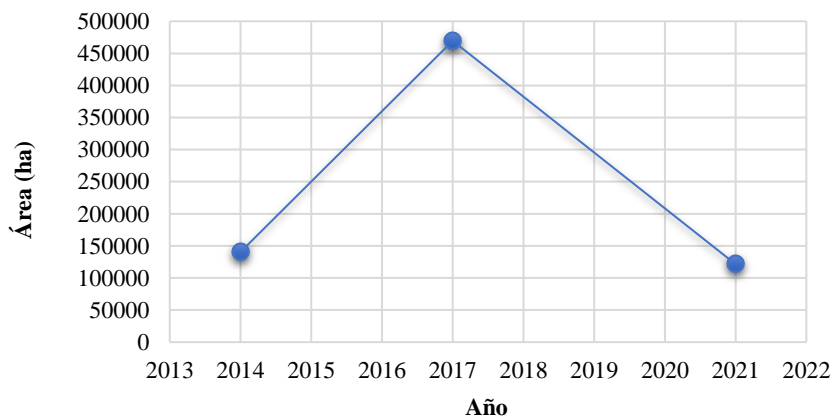
Cálculo del Índice Normalizado del Área afectada por fuego (NBR) en la provincia de Loreto en el año 2021.



Para el segundo objetivo específico que fue analizar la evolución de la deforestación en el área de estudio durante el periodo determinado, es decir entre los intervalos de tiempo 2014, 2017 y 2021; se realizó el siguiente gráfico lineal para visualizar mejor la evolución de la deforestación.

Figura 25

Evolución de la deforestación en los años 2014, 2017 y 2021.



Después de visualizar los mapas y gráfico que muestran la presencia de deforestación y su evolución al pasar de los años, el tercer objetivo específico fue proponer estrategias de recuperación a los problemas por deforestación que atraviesa el área de estudio, lo cual se muestra detallado en la tabla 3.

Tabla 3

Estrategias para los diversos problemas por deforestación que atraviesa el área de estudio.

Problema	Estrategia	Especificaciones
Falta de acceso a la tecnología suficiente y necesaria para estimar la cantidad de vegetación perdida (ha)	Creación de programas de desarrollo sostenible a escala Local, Regional y Nacional, implementado por acciones de investigación aplicadas en los campos de plantaciones forestales y manejo de bosques, para obtener información para la conservación de ecosistemas amazónicos.	Identificar el estado de las especies forestales que caracterizan un determinado territorio, comunidad o departamento, lo cual significa desarrollo en la investigación de los ecosistemas. Es así como, en un trabajo local, regional y nacional junto a voluntariados con apoyo de los organismos del Estado, existe la iniciativa para crear los programas de desarrollo sostenible para la conservación de las especies nativas.
	Realizar gestión con entidades como el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) para facilitar el acceso a tecnología como drones y sistemas de información geográficas (SIG) para realizar el monitoreo del proceso de reforestación y su evolución.	Tener el acceso a los SIG debería ser una prioridad en el ámbito nacional, donde existan estaciones de monitoreo en las regiones que abarquen la Amazonía peruana o también donde exista mayor presencia de cobertura vegetal. Es por ello que, en gestión con el SERNANP y los gobiernos locales, deberían implementarse las estaciones de monitoreo de cobertura vegetal y formar los grupos sociales encargados de dicha labor, quienes serán capacitados para desempeñar las actividades.

Pérdida de especies boscosas nativas que solventan a las comunidades nativas.

Implementación de viveros tecnificados focalizados, empleando especies nativas.

Los viveros permitirán la conservación de las especies nativas que representan la identidad cultural de una determinada región. Ello implicará preservar las especies afectadas por incendios forestales que pueden estar en condiciones de peligro de extinción. Por otro lado, impulsará el desarrollo de una comunidad por ser un eje importante del turismo en la localidad.

En Loreto, la región peruana con mayor extensión Amazónica, solo 744 comunidades nativas, de 1221, han conseguido ser titulares de una propiedad de suelo.

Involucrar y fomentar la participación de gobiernos locales y el sector privado, para otorgar las propiedades de suelo a las comunidades para el sembrío de especies originarias que forman parte de su reforestación para afines.

Es necesario la articulación y trabajo conjunto entre los gobiernos locales y sector privado, para el soporte en la organización y ordenamiento territorial de las comunidades, para otorgar el uso del suelo destinado a sembrío como parte de la reforestación con especies nativas y fines comunitarios. Educar a la comunidad, favorecerá en el conocimiento y valoración de especies autóctonas como parte de identidad cultural.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los componentes naturales presentes en el planeta Tierra, son los encargados de brindar un balance en los ecosistemas. La vegetación juega un rol importante en la supervivencia de los seres vivos, como albergue de hogares, fuente de alimentación y materia prima de actividades económicas. Sin embargo, impactos ambientales como incendios forestales han ocasionado una disminución progresiva de pérdida arbórea; según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2012), señala que en América del Sur la pérdida de bosques alcanzó 2,6 millones de hectáreas entre los años 2010 – 2020; así también lo manifiesta Dos Reis et al. (2021), quien indica que dicha situación, la sitúa un nivel alto de riesgo por una destrucción gradual. No obstante, Perú presenta una realidad similar, tal como lo asevera Dourojeanni (2020), mencionó que departamentos como Loreto y San Martín alcanzaron cifras sobre el 50% de cobertura forestal perdida en los últimos años.

Se planteó como objetivo general diagnosticar la magnitud de deforestación de la provincia de Loreto ocasionada por incendios forestales aplicando los SIG, 2022; concluyendo que la magnitud de deforestación presentó niveles elevados de pérdida de cubierta forestal entre los años 2014 y 2021, lo cual fue diagnosticado gracias a la aplicación de los SIG, iniciando con la obtención y procesamiento de la información satelital, para posteriormente continuar con la elaboración de mapas temáticos aplicando los índices espectrales. Para ello, se elaboraron diferentes mapas temáticos que mostraron la clasificación natural del área de interés y su magnitud de deforestación en los tres periodos seleccionados. Cabe mencionar que, autores como Rossi et al. (2018) y Milodowsk et al. (2017), sustentaron que el monitoreo satelital aplicando SIG, detecta con mayor precisión las áreas afectadas empleando un número determinado de parcelas

de suelo; y de la misma manera, el Global Forest Watch (2022), indicó que entre el 2001 y 2021, Loreto perdió 3,88 kha de cobertura arbórea ocasionada por incendios durante ese periodo, siendo el año 2017 el que presentó mayor pérdida forestal con 560 ha desaparecidas.

En la presente investigación, se utilizó tecnología de los SIG para el diagnóstico de deforestación ocasionada por incendios forestales en la provincia de Loreto. Los softwares empleados durante todo el geoprocésamiento fueron Google Earth Pro, USGS Earth Explorer y ArcMap 10.8, los cuales brindaron diversas opciones para el manejo de data satelital y así elaborar los mapas temáticos, los cuales mostraron de manera gráfica los aspectos de interés de la zona de estudio; es decir, áreas deforestadas, con vegetación y cuerpos de agua, así como también los valores en hectáreas de la clasificación supervisada de la muestra en los diferentes periodos de tiempo, durante los años 2014, 2017 y 2021.

De la misma manera, Abdikán et al. (2022), manifestó que existen tecnologías de detección avanzada, como las técnicas de teleobservación, es decir, la teledetección de imágenes satelitales que se pueden utilizar para diagnosticar la ocurrencia de los incendios en el suelo como la pérdida de biomasa forestal y ecosistemas. Por ello, Gibson et al. (2020), afirmó que, el mapeo de dichas zonas afectadas aporta a los estudios una mayor visión espacio - temporal de la gravedad del incendio, para una mejor planificación futura que ayude a gestionar rápidamente el problema.

Además, Venkatesh et al, (2020), indicó que una condición importante para el manejo de resultados es el aspecto de diagnóstico, que sirve para determinar la manera en cómo se obtienen los resultados. Uno de ellos, fue el mapeo de las zonas quemadas en áreas forestales a través del uso de información satelital, es decir la teledetección junto a

su combinación de bandas y análisis de las clasificaciones supervisadas, lo cual indicaría la degradación de cobertura forestal a través del último procesamiento de mapas de diversos criterios, como la generación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada y el Índice Normalizado de Área Quemada.

Ello fue empleado por Dlamini, (2016), quien usó el software ArcMap para realizar un análisis de información satelital, donde mostró la pérdida de cobertura forestal; y de igual forma Gallegos et al. (2014), determinó la magnitud de incendios, a través de un análisis espacio – temporal de data satelital, obteniendo buenos resultados, como la elaboración de mapas en relación a la quema normalizada (dNBR) para la determinación de áreas deforestadas; donde se calcularon 3,944 hectáreas de bosque afectado por incendios, determinando así una gravedad muy alta de la ocurrencia del mismo.

Se planteó como primer objetivo específico, estimar las áreas deforestadas ocasionadas por incendios forestales durante el periodo 2013-2022 en la provincia de Loreto. Empleando el software ArcMap 10.8, se calcularon los valores de las áreas de los tres componentes resultantes de la clasificación supervisada, tales como los cuerpos con vegetación, cuerpos de agua y sin vegetación. Entonces, para el componente sin vegetación se obtuvieron las cifras 140,368.5 ha, 160,498.5 ha y 121,455.8 ha para los años 2014, 2017 y 2021 respectivamente, como se muestra en la tabla 2, donde los valores numéricos especifican el área en hectáreas de acuerdo con la clasificación supervisada que se realizó a la muestra de estudio. El año 2017, presentó el valor más alto de deforestación con 469,457,44 ha pérdidas, seguido del año 2014 con 140,368,5 ha y el año 2021 con un total de 121,455,80 ha deforestadas. Así mismo, la aplicación de los índices espectrales como el NDVI y el NBR, permitieron visualizar los espacios de la

muestra con la mayor presencia de vegetación y cuerpos de agua, así como, la susceptibilidad a calcinación de la cubierta forestal.

Para mejor visualización, se elaboraron gráficos para cada componente obtenido de la clasificación supervisada, así como también, un gráfico donde se identificaron las tres clasificaciones realizadas, lo cual permitió reconocer con mayor facilidad la variación y evolución en cada periodo de tiempo. Respecto a los cuerpos con vegetación (Figura 15), el año 2017 presentó mayor cobertura vegetal y menor pérdida de cuerpos arbóreos respecto a deforestación. Sobre la existencia y visualización de agua en el área delimitada, para el año 2017 y 2021, resaltó la presencia hídrica (Figura 16) a través de cuerpos lóticos y lénticos, lo cual influye en el crecimiento vegetal y puede ser identificada en los cuerpos con vegetación caracterizados por el color verde. Sobre las áreas sin vegetación, el año 2017, también presentó mayor incidencia de deforestación (Figura 17), con un valor predominante de 469,457,44 ha en comparación a los otros dos periodos.

Asimismo, se aplicaron 2 índices espectrales, que fueron fundamental durante la metodología de esta investigación, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR), brindaron los detalles gráficos para la visualización de la zona de estudio respecto a superficie deforestada y perdida. Según la European Space Agency [ESA], (2015), el primer índice sirve para visualizar la vitalidad de la vegetación de la corteza terrestre, basado en la actividad fotosintética y densidad de los cuerpos vegetales; de modo similar, lo manifiesta Michalijos y Uboldi, (2013), quienes emplearon índices espectrales, como el NDVI y el NBR para analizar las pérdidas forestales, limitar y calcular el área quemada.

Como segundo objetivo específico, fue analizar la evolución de la deforestación en el área de estudio durante el periodo determinado; no hubo una tendencia equilibrada

o constante, ya que las variaciones fueron crecientes sobre todo para el año 2017, en el cual se obtuvo la mayor cifra de deforestación con un total de 469,457.44 ha, comparado con los valores menores de 140,368.5 ha y 121,455.80 ha para los años 2014 y 2021 respectivamente. Para los valores obtenidos, influyen diversos factores externos; además de los incendios forestales, se resalta la presencia de cuerpos de agua en el medio natural que influyen en la predominancia de la cobertura vegetal. Sin embargo, para el último periodo del 2021, la cifra sin vegetación disminuyó debido a las medidas de reforestación implementadas para recuperar las áreas degradadas.

Situación similar es la realidad nacional peruana, los departamentos que abarcan la Amazonía, también forman parte de Reservas Nacionales y Parques Naturales, como la Reserva Nacional de Tambopata localizado en Madre de Dios. Suárez (2018), evaluó la deforestación en las comunidades indígenas de Pitocuna y Huantashiri (Satipo, Perú); donde Pitocuna presentó la mayor tasa de deforestación con 1,37% y una pérdida de bosque de 40,85 ha/año, en comparación a Huantashiri que obtuvo menor tasa de deforestación de 0,77% con pérdida de bosque de 18,74 ha/año. Y, en otro aspecto, Alarcón et al., (2016) menciona que los sucesos de deforestación creciente en estos territorios, implica una disminución de biodiversidad, como el deterioro de hábitats y ecosistemas de especies nativas.

Como último objetivo específico, fue proponer estrategias de recuperación a los problemas por deforestación que atraviesa el área de estudio. Siendo un aspecto social, se realizó una percepción de los espacios afectados, proponiendo medidas de restauración y recuperación de dichas áreas, brindando un mejor estilo de vida a los habitantes de dicha zona. La participación integrada de pueblos indígenas, gobiernos locales y el sector privado, permitirá obtener mutuos beneficios, junto a la creación de modelos de gestión

multisectorial basados en políticas públicas para la disminución de la deforestación; así también facilitar el acceso a tecnología de sistemas de información geográficas (SIG) para realizar el monitoreo durante el proceso de reforestación, empleando especies nativas, gracias a un trabajo integrado entre las comunidades involucradas y entidades gubernamentales locales y nacionales, teniendo como aliado estratégico el sector privado.

En tal sentido, García (2021), para determinar los espacios quemados de su área de estudio, empleó tecnología SIG y analizó su capacidad de percepción, ante una recuperación vegetal después del suceso de incendios forestales. De la misma manera, Jara (2018), recalcó que los trabajos de reforestación y manejo de bosques naturales deben formar parte del programa de desarrollo sostenible a nivel local, regional y nacional, el cual es realizado mediante investigación aplicada en los campos de plantaciones forestales y manejo de bosques, para obtener información que sirva para la protección de ecosistemas amazónicos. Es así como también, Bracamonte (2021), recomendó que una reforestación debe realizarse especialmente con especies locales, para ayudar en la recuperación y equilibrio de los ecosistemas de dichas áreas deforestadas, proporcionando múltiples beneficios.

Teniendo en cuenta el desarrollo del sector forestal sostenible, Pari et al., (2017), indicó que dicho sector cuenta con riqueza natural que se caracteriza por su diversidad de especies nativas madereras, extensas áreas de bosques productores constantes y gran condicional para la conservación de hectáreas forestales con fines de reforestación de terrenos afectados por deforestación. Sin embargo, el poco desarrollo tecnológico geoespacial, es un obstáculo que se debe superar para lograr el desarrollo de las diferentes ciudades del Perú que abarca la Amazonía Peruana.

Por otro lado, el aporte que brinda esta investigación es de carácter científico y académico, ya que servirá de base para continuar con el análisis de otras zonas de estudio en términos de deforestación, resaltando la metodología aplicada y la eficiencia de los resultados obtenidos. En el ámbito nacional, se otorgará a entidades correspondientes y sociedad en general, la información gráfica y detallada sobre la situación que comprende un departamento de la Amazonía Peruana en aspectos de vegetación, ya que es primordial la toma de decisiones estratégicas que involucran a autoridades gubernamentales y población, formando alianzas estratégicas.

Se recomienda que, para futuras investigaciones, siempre se realicen diagnósticos de deforestación en periodos de tiempo y procurar que dichos periodos estén separados en intervalos de 5 a más años, para visualizar la presencia de variación o diferencias en el estado de la cobertura vegetal del área de interés; ello indicará los factores responsables, la severidad del incendio y magnitud del impacto ocasionado. Por otro lado, se debe tener cautela durante la previsualización de las imágenes satelitales en el geoservidor online que se descargarán y usaran durante la investigación, puesto que, si dichas imágenes presentan excesiva nubosidad, no serán de ayuda y el procedimiento se tendrá que volver a realizar, ya que no permitirán visualizar correctamente los cuerpos naturales. Y, por otro lado, también se debe estudiar los casos de deforestación por incendios forestales, aplicando tecnología digital, ya que muestra resultados óptimos en la determinación de áreas afectadas, contribuyendo a un alcance geográfico en la investigación.

Cabe mencionar que, durante la ejecución de esta investigación se encontraron algunas limitaciones, debido al acceso de información; puesto que, para la obtención de información satelital, es decir, las imágenes, era necesario crear una cuenta en el geoservidor online, lo cual implicaba completar algunos caracteres que hacían el acceso un

limitante. Por otro lado, para el manejo del software principal, tal como fue el ArcMap, no hubo un asesor especializado constante que brinde soporte ante alguna dificultad que se presentara, ya que el software es diversificado por sus funciones, permitiendo crear todo tipo de contenido geográfico de interés; por lo que, para el procesamiento de información y la elaboración de los mapas temáticos, fue necesario la guía de video tutoriales de internet.

Se concluye que, la magnitud de deforestación de la provincia de Loreto presentó niveles elevados de pérdida de cubierta forestal entre los años 2014 y 2021, lo cual fue diagnosticado gracias a la aplicación de los SIG, iniciando con el geoprocesamiento de información satelital obtenida, continuando con la elaboración de mapas temáticos con la aplicación de índices espectrales. Así mismo, fue importante la organización de los valores numéricos obtenidos, lo cual ayudó a elaborar gráficos que permitieron mejor visualización para diferenciar las variaciones de las tres clasificaciones realizadas.

De la misma manera, a través de la aplicación del software ArcMap, se estimaron las áreas deforestadas con los resultados obtenidos en la clasificación supervisada, visualizados a través de los mapas temáticos elaborados, donde se obtuvieron valores en la unidad de medida en hectárea. El año 2017, presentó el valor más alto de deforestación con 469,457,44 ha perdidas, seguido del año 2014 con 140,368,5 ha y el año 2021 con un total de 121,455,80 ha deforestadas. Así mismo, la aplicación de los índices espectrales como el NDVI y el NBR, permitieron visualizar los espacios de la muestra con la mayor predominancia vegetal y agua, así como también, el nivel de susceptibilidad a calcinación de la cubierta forestal.

Sobre la evolución de la de forestación, no hubo una tendencia equilibrada o constante, ya que las variaciones fueron crecientes sobre todo para el año 2017, en el cual

se obtuvo la mayor cifra de deforestación con un total de 469,457.44 ha, comparado con los valores menores de 140,368.5 ha y 121,455.80 ha para los años 2014 y 2021 respectivamente. Para los valores obtenidos, influyen diversos factores externos; además de los incendios forestales, existe la presencia del recurso agua en el medio natural que influyen en la presencia de cubierta arbórea. Sin embargo, en el último periodo del 2021, la cifra sin vegetación disminuyó debido a las medidas de reforestación implementadas para recuperar las áreas degradadas.

Finalmente, respecto a las estrategias de recuperación, se planteó la participación y trabajo integrado entre población, gobiernos y entidades privadas, a través de una gestión correctamente implementada y detallada en las áreas afectadas de la provincia de Loreto y Amazonía Peruana, permitiendo mejorar el acceso a la tecnología de los SIG, mediante capacitaciones para su manejo correcto e implementación de estaciones de monitoreo, para tener mayor control de los espacios susceptibles. Así como también, la implementación de viveros, empleando especies nativas para mejorar la conservación y valorización de los ecosistemas naturales, impulsando el turismo local.

REFERENCIAS

- Abdikán, S., Bayik, C., Sekertekin, A., Bektas, F., Karimzadeh, S., Matsuoka, M. y Balik, F. (2022). Burned Area Detection Using Multi-Sensor SAR, Optical, and Thermal Data in Mediterranean Pine Forest. *Forests*, 13(2)
<https://doi.org/10.3390/f13020347>
- 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. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 39-59.
<https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Aik, D. y Ismail, M. (2020). Detection of deforestation and analysis land conversion from high resolution satellite imageries in Bintulu District, Serawak, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 561.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/561/1/012010>
- Alarcón, G., Díaz, J., Vela, M., García, M. y Gutiérrez, J. (2016). Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999 - 2013; caso Regional de Madre de Dios (Puerto Maldonado – Inambari). *Revista de Investigación Altoandina*, 18(3). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5645610>
- Ambrosio, G., González-Jiménez, J. y Arévalo, V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal.
<http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/ambrosio2002crg.pdf>
- Arias, J., Villasís, M. y Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2).
<https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>

- Ariza, A. (2013). Descripción y corrección de productos landsat 8 - LDCM (Landsat Data Continuity Mission). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21308.44167>
- Bracamonte, A. (2021). Plan de reforestación con *Prosopis pallida* (algarrobo) para la recuperación del equilibrio ecosistémico en Tumán, 2021. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/85045>
- Burgos, R., Burgos, N., Gilsanz, F., Téllez de Peralta, G. y Rodríguez, J. (2020). Aristóteles: creador de la filosofía de la ciencia y del método científico (parte I). *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, 5(2). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7817595>
- Buzai, G. y Montes, E. (2020). Megaciudad Buenos Aires: Cartografía de su última expansión y conurbación mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales nocturnas. *Revista cartográfica*, 100. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i100.667>
- Carrillo, G., Andrade, J., Valdez, J., Reyes, C. y Hernández, S. (2022). Characterizing spatial and temporal deforestation and its effects on surface urban heat islands in a tropical city using Landsat time series. *Landscape and Urban Planning*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104280>
- Castillo, M., Garfias, R., González, L. y Julio, G. (2012). Análisis de grandes incendios forestales en la vegetación nativa de Chile. *Interciencia*, 37(11), 796-804. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=33925550002>
- Castro, M. (2020). *Deforestación y uso de la tierra mediante imágenes satelitales, en la carretera Iquitos Nauta 1989 – 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de

la Amazonía Peruana]. Repositorio Institucional Digital UNAP.

<https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/7109>

Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial* (2ª edición). Ediciones

Rialp, S.A. https://www.u-cursos.cl/forestal/2011/1/EF016/1/material_docente/bajar?id_material=487457

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2010). *Incendios Forestales: Guía práctica para comunicadores* (Tercera ed.). Zapopan, Jalisco, México: CONAFOR.

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

Congreso de la República de Perú (2015). Ley N° 29763. Ley Forestal y de Fauna

Silvestre (2015). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29763.pdf>

Cuartero, A. y Felicísimo, A. (2003). Rectificación y ortorrectificación de imágenes de

satélite: análisis comparativo y discusión. *GeoFocus, Revista Internacional De Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 3, 45-57.

<https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/22>

Dlamini, W. (2016). Analysis of deforestation patterns and drivers in Swaziland using

efficient Bayesian multivariate classifiers. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0231-6>

Dos Reis, M., Graça, P., Yanai, A., Ramos, C. y Fearnside, P. (2021). Forest fires and

deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial

and temporal dynamics. *Journal of Environmental Management*, 288.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112310>

Dourojeanni, M. (2020). Medidas para frenar la deforestación en la Amazonia peruana.

Revista Xilema, 30(1), 5-18.

https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/xiu/article/view/1612/pdf_2

Epting, J. y Verbyla, D. (2005). Landscape-level interactions of prefire vegetation, burn severity, and postfire vegetation over a 16-year period in interior Alaska.

Canadian Journal of Forest Research, 35, 1367-1377.

<https://doi.org/10.1139/x05-060>

Espinoza, E. y Toscano, D. (2015). *Metodología de Investigación Educativa y Técnica*

(1^a edición). Ediciones UTMACH.

<http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0060.pdf>

Eugenio, G., Marcello, R. y Marqués, F. (2013). Tutorial de Teledetección Espacial.

Universidad de las Palmas de Gran Canaria. [https://www.grss-ieee.org/wp-](https://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/ES_TUTORIAL_COMPLETO.pdf)

[content/uploads/2014/07/ES_TUTORIAL_COMPLETO.pdf](https://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/ES_TUTORIAL_COMPLETO.pdf)

European Space Agency (ESA). (2015). Sentinel Application Platform (SNAP).

<http://step.esa.int/main/download/>

Fikhriyah, K. e Indah, R. (2019). GIS Application in Mapping of Forest and Land Fires

and Mitigation in Banjarbaru City, South Kalimantan. *Earth and Environmental*

Science, 273. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/273/1/012049>

Forero, J. y Polanco, M. (2021). Análisis de la deforestación en La Macarena, antes y

después de los acuerdos de paz. *Colombia Forestal*, 24(3).

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423968057002>

- Gallegos, A., González, G., Cabrera, R., Marcelli, C. y Hernández, E. (2014). Efecto de la recurrencia de incendios forestales en la diversidad arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 110-125.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63439010010>
- García, L. (2021). *Estudio multitemporal de los incendios de 2019 en Roraima (Brasil) a partir de imágenes satelitales* [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes].
<http://hdl.handle.net/1992/55561>
- Gibson, R., Danaher, T., Hehir, W. y Collins, L. (2020). A remote sensing approach to mapping fire severity in south-eastern Australia using Sentinel 2 and Random Forest. *Remote Sensing of Environment*, 240.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111702>
- Global Forest Watch (2022). Variación neta de la cobertura arbórea: 2000 – 2020 del departamento de Loreto. <https://www.globalforestwatch.org/>
- Grupo Internacional de Trabajo sobre Asuntos Indígenas (IWGIA). (2018). Deforestación en tiempos de cambio climático.
<https://iwgiaorg.eywaapps.net/images/documentos/deforestacin.pdf0#page=94>
- Herlambang, N., Zaki, W., Sitanggang, I. y Agmalaro, M. (2020). System Development for Land Cover and Deforestation Area Estimation due to Forest and Land Fires. *Earth and Environmental Science*, 528. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/528/1/012039>
- Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill Education.
<http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>

Hurtado-Abril, J. y Lizarazo, I. (2022). Nuevo índice espectro-temporal para la detección de pérdida forestal en áreas de bosque tropical. Caso de estudio Amazonia colombiana. *Revista cartográfica*, 104, 11-35.
<https://doi.org/10.35424/rcarto.i104.1096>

Ibnousaih, S. (2019). *Análisis de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel en Las Palmas de Gran Canaria en Agosto de 2019* [Tesis de maestría, Universidad de Jaén]. <https://hdl.handle.net/10953.1/15192>

Instituto Internacional de Recursos Mundiales (WRI) (2019). Reporta Global Forest Watch máximos en pérdida de cobertura forestal desde 2001. <https://wrimexico.org/bloga/reporta-global-forest-watch-m%C3%A1ximos-en-p%C3%A9rdida-de-cobertura-forestal-desde-2001>

Jara, C. (2018). *Análisis del uso de la reforestación y la regeneración natural en zonas degradadas de la Amazonía Peruana* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3207>

Jensen, J. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall., Prentice-Hall Series in Geographic Information Science. <https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=30916>

Lange, G. (2018). *Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo de la ciudad de Puerto Ayora – Santa Cruz mediante el uso de la teledetección y sistemas de información geográfica* [Tesis de pregrado,

Universidad de Guayaquil]. Repositorio Universidad de Guayaquil.

<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29495>

Luna, A. (2015). *Cambio de uso de la tierra y su relación con la deforestación* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU.
<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2233>

Mamani, S. y Servan, L. (2017). *Evaluación multitemporal de la deforestación en el distrito de Molinopampa, Provincia de Chachapoyas, Departamento Amazonas, 2015* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional UNTRM
<https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1272>

Masís, R., Reyes, J. y Lizano, M. (2021). Aplicación de Índices de Calcinación para Incendios Forestales de la temporada 2020 en el Área de Conservación de Guanacaste, Costa Rica. *Geosaberes*, 12, 191-204.
<https://doi.org/10.26895/geosaberes.v12i0.1094>

Mendoza, H. y Lois, C. (2009). *Historias de la cartografía de Iberoamérica: Nuevos caminos, viejos problemas* (1ª edición).
<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/16/16/47-1>

Michalijos, M. y Uboldi, J. (2013). Propuesta metodológica para la evaluación de áreas afectadas por incendios mediante el uso de imágenes satelitales (Sierra de la Ventana, Argentina). *Revista de Geografía Norte Grande*, 56, 223-234.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30029776011>

Milodowski, D., Mitchard, E. y Williams, M. (2017). Forest loss maps from regional satellite monitoring systematically underestimate deforestation in two rapidly

changing parts of the Amazon. *Environmental Research Letters*, 12(9).

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7e1e>

Mustafa, A., Singh, M., Sahoo, N., Ahmed, N. y Khann, M. (2011). Mapping of Degraded Lands from Multidate Remotely Sensed Data Using Decision Tree Based Classification (DTC). *Multidisciplinary Academic Journal Publisher*, 3, 33-54.

http://www.sciencepub.net/report/report0311/007_7182report0311_33_54.pdf

Nicolau, A., Herndon, K., Flores-Anderson, A. y Griffin, R. (2019). A spatial pattern analysis of forest loss in the Madre de Dios region, Peru. *Environmental Research Letters*, 14(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab57c3>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2001). *Global Forest Resources Assessment 2000*. 9th ed. Rome.

<https://www.fao.org/3/Y1997E/Y1997E00.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2012). *La gestión de los bosques ante el cambio climático*.

<https://www.fao.org/3/i1960s/i1960s00.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO].

(2022). *FAO y ONU unidas contra la deforestación y degradación de los bosques*. Ecuador.

<https://www.fao.org/ecuador/programas-y-proyectos/historias-de-exito/deforestacion/zh/>

Ortega, J., Tellerías, L., Ferrís, J., Boldo, E., Campillo, F., Hazel, P., Cortes, Ramis, R., Gaioli, M., Monroy, R., Farias, C., Borrás, M., Yohannessen, K., García, M., Cárceles, A., Jaimes, D., Cordero, M., López, F. y Claudio, L. (2019). Threats, challenges and opportunities for paediatric environmental health in Europe,

Latin America and the Caribbean. *Anales de Pediatría*, 20(2).

<https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2018.11.015>

Othman, M., Ash'aari, Z., Aris A y Ramli, M. (2022). Tropical deforestation monitoring using NDVI from MODIS satellite: a case study in Pahang, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012047>

Ortiz, B. y Ramírez, C. (2021). *Análisis de los efectos causados por la deforestación mediante teledetección en los cantones Olmedo y Paján provincia de Manabí MODIS* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. https://cia.uagraria.edu.ec/cia_inv_view.php?id=36229&option=view

Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

Pari, G., Santana, L., Villanueva, E. y Zárate, D. (2017). *Planeamiento Estratégico del Sector Forestal en el Perú*. [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8020>

Pérez, A. (2020). *Deforestación en la Amazonía Colombiana y Peruana (2015-2018): Un análisis desde el Ecofeminismo* [Tesis Maestral, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriano. <http://hdl.handle.net/10554/54654>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2016). *Perspectivas del Medio Ambiente en la Amazonía*.

https://biblioteca.spda.org.pe/biblioteca/catalogo/_data/20191217102743_geoamazonia_spanish_compressed.pdf

Puente, L. (2017). *Las posibilidades de la teledetección para la gestión de los incendios forestales en Cantabria: recuperación vegetal postfuego a partir de MODIS* [Tesis de maestría, Universidad de Cantabria]. Repositorio Abierto de la Universidad de Cantabria. <http://hdl.handle.net/10902/12388>

Puerta, R., Rengifo, J. y Bravo, N. (2013). *Manual de ArcGIS 10 Nivel Intermedio*. Universidad Nacional Agraria de la Selva, 12-22. <https://arcgeek.com/descargas/MAG10I.pdf>

Qarallah, B., Al-Ajlouni, M., Al-Awasi, A., Alkarmy, M., Al-Qudah, E., Naser, A., Al-Assaf, A., Gevaert, C., Al Asmar, Y., Belgiu, M. y Othman, Y. (2021). Evaluating post-fire recovery of Latroon dry forest using Landsat ETM+, unmanned aerial vehicle and field survey data. *Journal of Arid Environments*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104587>

Rodríguez-Trejo, D. (1996). *Incendios forestales (Primera Ed.)*. Mundi-Prensa Libros. <https://www.casadellibro.com.co/libro-incendios-forestales/9788471146434/542813>

Rosales, A. (2013). *Manual para la Interpretación de Imágenes de Sensores Remotos de las Principales Coberturas y Usos de la Tierra de Costa Rica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería - Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10538.pdf>

Rosales, Y. (2019). *Estimación de áreas afectadas por incendios forestales y dispersión de aerosoles emitidos* [Tesis de maestría, Instituto Potosino de Investigación

Científica y Tecnológica, A.C.]. Repositorio Ipicyt.

<http://hdl.handle.net/11627/4953>

Rosero J. y Osorio, I. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno Activa*, 5(1), 59–67.
<https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/130>

Rossi, F., Fritz, A. y Becker, G. (2018). Combining Satellite and UAV Imagery to Delineate Forest Cover and Basal Area after Mixed-Severity Fires. *Sustainability*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072227>

Sabins, F. y Ellis, J. (2020). *Remote Sensing: Principles, Interpretation, and Applications* (4th edition). Waveland Press, Inc. <https://www.waveland.com/browse.php?t=421>

Sabuco, P. (2013). La problemática de los incendios forestales y bases para su teledetección en el Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 3(2).
<https://doi.org/10.18259/acs.2013017>

Salas, C., Gregoire, T., Craven, D. y Gilabert, H. (2016). Modelación del crecimiento de bosques: estado del arte. *Bosque (Valdivia)*, 37(1).
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000100001>

Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A. y Skakun, S. (2017). Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping. *Frontiers in Earth Science*, 17, 1-10. <https://doi.org/10.3389/feart.2017.00017>

Silva, C., Lima, M., Teodoro, P., Oliveira, J., Rossi, F., Funatsu, B., Butturi, W., Lourençoni, T., Kraeski, A., Pelissari, T., Moratelli, F., Arvor, D., Luz, I., Teodoro, L., Dubreuil, V. y Teixeira, V. (2022). Fires Drive Long-Term

Environmental Degradation in the Amazon Basin. *Remote Sens*, 14(2), 338.

<https://doi.org/10.3390/rs14020338>

Silvério, D., Santana, R., Monteiro, B., Brando, P., Kezia, A., Túlio, M, Garcia, F., Heckenberger, M., Yukari, K. y Macedo, M. (2022). Intensification of fire regimes and forest loss in the Território Indígena do Xingu. *Environmental Research*, 17. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5713>

Soto, P., Da Costa, G., Queiroz, R., Ortega, M., De Almeida, C., Heipke, C. y Rottensteiner, F. (2021). An unsupervised domain adaptation approach for change detection and its application to deforestation mapping in tropical biomes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 181, 113-128. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.08.026>

Suárez, L. (2018). *Evaluación de la deforestación utilizando imágenes de satélite Landsat en las comunidades nativas de Pitocuna y Huantashiri – Satipo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4881>

Venkatesh, K., Preethi, K. y Ramesh, H. (2020). Evaluating the effects of forest fire on water balance using fire susceptibility maps. *Ecological Indicators*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105856>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

TÍTULO: “USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL DIAGNÓSTICO DE DEFORESTACIÓN OCASIONADA POR INCENDIOS FORESTALES EN LA PROVINCIA DE LORETO, 2022”

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p>¿De qué manera se utilizan SIG para el diagnóstico de deforestación ocasionada por incendios forestales en la provincia de Loreto, 2022?</p>	<p>La aplicación de SIG permite diagnosticar la magnitud de deforestación en la provincia de Loreto ocasionada por incendios forestales, 2022.</p>	<p>General: Diagnosticar la magnitud de deforestación de la provincia de Loreto ocasionada por incendios forestales aplicando los SIG, 2022.</p> <p>Específicos: Estimar las áreas deforestadas ocasionada por incendios forestales durante el periodo 2013-2022 en la provincia de Loreto.</p> <p>Analizar la evolución de la deforestación en el área de estudio durante el período determinado.</p> <p>Proponer estrategias de recuperación a los problemas por deforestación que atraviesa el área de estudio.</p>	<p>Variable Independiente: Incendios forestales</p> <p>Variable Dependiente: Deforestación</p>	<p>Tipo de investigación: Descriptiva - Longitudinal</p> <p>Diseño: No experimental-Longitudinal</p> <p>M → O</p> <p>M: Muestra en quien se realiza el estudio. O: Información relevante o de interés recogida.</p> <p>Técnica: Procesamiento espaciotemporal de datos e imágenes satelitales entre el periodo 2013-2022.</p> <p>Instrumentos: ArcMap 10.8 Microsoft Excel 2016 USGS - Earth Explorer</p> <p>Datos: Vegetación, suelo, temperatura, clima, nubosidad.</p> <p>Método de análisis de datos: A través de la aplicación del software ArcGIS 10.4 junto a los índices espectrales, donde se procesará toda la data satelital, obtenida de otros geos servidores.</p>	<p>Población: La Amazonía Peruana.</p> <p>Muestra: Se considera como muestra al departamento de Loreto, puesto a que es el que abarca mayor territorio de la Amazonía peruana con un 9 046 km².</p>

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables.

TÍTULO: “USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL DIAGNÓSTICO DE DEFORESTACIÓN OCASIONADA POR INCENDIOS FORESTALES EN LA PROVINCIA DE LORETO, 2022”

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE: Deforestación	Es la pérdida a largo plazo o permanente de la cubierta forestal e implica la transformación en otro uso de la tierra. Tal pérdida solo puede ser causada y mantenida por una continua perturbación natural o inducida por el hombre (FAO, 2001).	Se diagnosticará la magnitud de deforestación de la Amazonía en la provincia de Loreto en un periodo de tiempo y empleando tecnología digital y espacial junto al procesamiento de data satelital.	Tasa de áreas deforestadas por incendios forestales durante el periodo 2013-2022.	Mapa de superficies deforestadas (hectáreas). Porcentaje total de áreas boscosas perdidas. Índice de vegetación normalizado (NDVI).	Nominal Ordinal Nominal
VARIABLE INDEPENDIENTE: Incendios Forestales	Es la propagación libre y descontrolada del fuego sobre la vegetación, donde los afectados son los bosques y selvas. Se produce por una fuente de calor, como la radiación solar, además, su desarrollo depende del oxígeno que se encuentra en la atmósfera y del combustible que proviene de la vegetación forestal (Comisión Nacional Forestal, 2010).	La severidad y frecuencia de incendios sobre un área forestal serán determinados a través de la aplicación de índices espectrales, los cuales también indicarán el mayor impacto sobre la vegetación.	Frecuencia u ocurrencia de incendios anuales, derivados de la influencia de factores climáticos sobre la vegetación arbórea.	Serie temporal de recurrencia de incendios. Índice Normalizado de Área Quemada (NBR).	Nominal Nominal

Anexo 3. Matriz de instrumentos.

TÍTULO: “USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL DIAGNÓSTICO DE DEFORESTACIÓN OCASIONADA POR INCENDIOS FORESTALES EN LA PROVINCIA DE LORETO, 2022”

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍTEMS	OPCIÓN DE RESPUESTA				
				Nunca	Casi nunca	A veces	Casi siempre	Siempre
Deforestación	Tasa de áreas deforestadas ocasionadas por incendios forestales durante el periodo 2013-2022	Mapa de superficies deforestadas (hectáreas) ocasionadas por incendios forestales durante el periodo 2013-2022.	¿Será posible diagnosticar la tasa de áreas deforestadas ocasionadas por incendios forestales?					X
		Porcentaje del total de áreas boscosas perdidas.					X	
Incendios Forestales	Frecuencia u ocurrencia de incendios anuales, derivados de la influencia de factores climáticos sobre la vegetación arbórea.	Serie temporal de recurrencia de incendios durante el periodo 2013-2022.	¿Se podrá determinar la recurrencia de incendios forestales influenciados por factores climáticos?				X	

Anexo 4. *Principales características de las imágenes satelitales descargadas de la zona de estudio en los tres intervalos de tiempo.*

Características	Valor de Atributo 2014	Valor de Atributo 2017	Valor de Atributo 2021
Identificador de producto Landsat L1	LC08_L1TP_008062_20140930_20170418_01_T1	LC08_L1TP_007063_20170713_20200903_02_T1	LC08_L1TP_008062_20210528_20210607_02_T1
Fecha de adquisición	2014/09/30	13/07/2017	28/05/2021
Fecha Producto Generado L1	18/04/2017	03/09/2020	07/06/2021
Cubierta de nubes terrestres	1,38	0,27	3,5
Indicador día/noche	Día	Día	Día
Satélite	8	8	8
Proyección del mapa del producto L1	UTM	UTM	UTM
Zona UTM	18	18	18
Dato	WGS84	WGS84	WGS84
Tamaño de celda de cuadrícula pancromática	15	15	15
Tamaño de celda de cuadrícula reflectante	30	30	30