



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática: Análisis Multitemporal en la Variación  
Espectral sobre el Cambio de la Cobertura Vegetal por Incendios.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Ambiental

**AUTORAS:**

Cusi Arqque, Mariela Basilia (orcid.org/0000-0002-7299-226X)  
Sutta Choquepata, Alexandra Abigail (orcid.org/0000-0001-7046-014X)

**ASESOR:**

Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**LIMA – PERÚ**

**2022**

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mi querida madre Eutropia Arqque Sollase por darme el mayor ejemplo de perseverancia, por estar siempre apoyándome y motivándome en los momentos mas difíciles; dedico este trabajo también a todas aquellas personas, familiares y amigos que mediante consejos y palabras de aliento estuvieron acompañandome en este proceso..**Mariela B. Cusi Arqque**

Quiero dedicar esta investigación a mis padres Mario Sutta Copaja y Bertha Albina Choquepata Huaman por ser la motivación principal en la iniciativa a mi formación profesional, a mi hermana Katerine Sutta por darme la ayuda necesaria para impulsar mis estudios, así como a todos mis maestros y personas que fueron parte de mi proceso de formación para poder impulsar y llevar adelante esta investigación. **Alexandra A. Sutta**

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer principalmente a Dios por permitirnos estar con vida y poder permitirnos realizar este trabajo con la seguridad y sabiduría en poder aportar a la investigación ambiental en nuestro entorno. Agradecemos también la labor de nuestros profesores que contribuyeron a nuestra formación profesional. A la Universidad César Vallejo por ser el medio por el cual se nos permite poder culminar este proceso académico de forma íntegra.

## Índice de contenidos

CARÁTULA .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	29
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	29
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización .....	29
3.3. Escenario de estudio .....	31
3.4. Participantes.....	31
3.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos .....	31
3.6. Procedimientos .....	33
3.7. Rigor científico .....	34
3.8. Método de análisis de datos .....	34
3.9. Aspectos éticos.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
V. CONCLUSIONES .....	48
VI. RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS.....	50
ANEXOS.....	1

## Índice de tablas

<b>Tabla 1: Antecedentes de Investigación .....</b>	<b>4</b>
<b>Tabla 2: Matriz de Categorización Apriorística.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 3: OE 1: Índices Espectrales .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 4: OE2 Efectividad del análisis multitemporal en la variación de la cobertura vegetal por incendios forestales. ....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 5: Herramientas de Teledetección.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 6: OE 3 Dinámica de adaptación de la cobertura vegetal después de un incendio.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 7: Análisis de la variación de las respuestas espectrales de la cobertura vegetal por incendios a nivel multitemporal. ....</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 8: Matriz de operacionalización de categoría (Cualitativo).....</b>	<b>1</b>

## Índice de gráficos y figuras

<b>Figura 1 Triángulo del fuego .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2 Componentes de un sistema de teledetección.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3 Bandas Espectrales .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 4 Bandas Espectrales .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 5 (NDVI) Índice de Vegetación Normalizada.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6 Comparación de la respuesta espectral entre vegetación saludable y área quemada .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 7 Procedimiento.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 8 Rango Multitemporal.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 8 Rango Multitemporal.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 10 Frecuencia de Uso de Herramientas de Teledetección.....</b>	<b>41</b>

## RESUMEN

Los incendios forestales son considerados una de las perturbaciones ecológicas más grandes en los ecosistemas naturales y que a su vez afectan en gran medida la dinámica de la cobertura vegetal, esto evidenciado en su respuesta espectral en diferentes escalas espaciales y temporales, a consecuencia de la eliminación de la cobertura vegetal en su totalidad o parcial.

Ante el escenario presente, este estudio analiza las medidas de variación de las respuestas espectrales de la cobertura vegetal por incendios a nivel multitemporal.

Esta revisión sintetiza y muestra los mejores usos de los sistemas de información geográfica y teledetección, en la aplicación a áreas que han sufrido perturbación ecológica por incendios mostrando a su vez la efectividad en los resultados y la necesidad de aplicación de estas herramientas para una mayor comprensión de la dinámica vegetal a lo largo del tiempo, principalmente antes, durante y después de un incendio forestal, facilitando también la toma de decisiones posteriores a los incendios para posibles recuperaciones de áreas afectadas.

Por lo mismo, durante el estudio se ha reflejado una significativa variación en la respuesta espectral de la vegetación dándonos a entender que la dinámica vegetativa se encuentra sujeta a factores que son parte del entorno de cada ecosistema, interviniendo así factores climáticos, la geografía de cada lugar y topografía, estos mismos factores también intervienen en los resultados de los índices de reflectancia por el NDVI, favoreciendo en algunos casos al objetivo de cada estudio.

**Palabras Clave:** Teledetección, NDVI, Incendio Forestal, Reflectancia, Cobertura

## ABSTRACT

Forest fires are considered one of the largest ecological disturbances in natural ecosystems and which in turn greatly affected the dynamics of vegetation cover, this evidenced in its spectral response at different spatial and temporal scales, as a result of the elimination total or partial plant cover.

Given the present scenario, this study analyzes the measures of variation of the spectral responses of the vegetation cover due to fires at a multi-temporal level.

This review synthesizes and shows the best uses of geographic information systems and remote sensing, in the application to areas that have suffered ecological disturbance by fires, showing in turn the effectiveness of the results and the need to apply these tools for a better understanding of plant dynamics over time, mainly before, during and after a forest fire, also facilitating decision-making after fires for possible recovery of affected areas.

For this reason, during the study a significant variation in the spectral response of the vegetation has been reflected, giving us an understanding that the vegetative dynamics is subject to factors that are part of the environment of each ecosystem, thus intervening climatic factors, the geography of each place and topography, these same factors also intervene in the results of the NDVI reflectance indices, favoring in some cases the objective of each study.

**Keywords:** Remote sensing, NDVI, Forest fire, Reflectance, Plant Cover



## I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de todo el mundo experimentan cambios considerables y rápidos a lo largo de generaciones sucesivas. Las perturbaciones naturales y antropogénicas influyen en estos cambios. Las comunidades de plantas han desarrollado medidas resilientes para adaptarse a un ecosistema en continuo cambio (Lipoma, 2016; Pausas & Keeley, 2014)

Los incendios forestales son considerados como uno de las perturbaciones ecológicas más extendidas de los ecosistemas naturales que afectan dramáticamente la dinámica de la cobertura terrestre en una variedad de espacios y escalas temporales como resultado de la remoción total o parcial de cubierta vegetal (Lhermitte et al., 2011)

Si bien la quema de bosques a menudo tiene una breve duración, la recuperación post-incendio es un proceso a largo plazo que varía con bioma forestal, especies de árboles, condiciones ambientales e interferencia humana (Shvetsov et al., 2019)

Conocimiento de la dinámica de recuperación de la vegetación. después de un brote de incendio es esencial para estimar los efectos del fuego y comprender las fuerzas que impulsan los cambios en los ecosistemas posteriores al incendio(CASADY et al., 2009)

En este contexto, el conocimiento del espacio-temporal distribución de la dinámica de recuperación de la vegetación después del incendio es de importancia clave. Esta información juega un papel importante en diversos aspectos de la política y la toma de decisiones, así como en la dinámica y estructuras de las comunidades vegetales y animales del ecosistema afectado (Elvira Martín & Hernando Lara, 1989; Gouveia et al., 2010)

El NDVI es uno de los índices de vegetación más utilizados a la hora de estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, por lo que es un indicador clave del estado de la vegetación y un parámetro útil en estudios de cobertura vegetal y ha sido ampliamente utilizado en los estudios de teledetección para reflejar la dinámica regional y global de la vegetación (F. Wang et al., 2014)

Por otro lado, se comprende que la matriz central de esta investigación radica en poder entender la dinámica que se desarrolla dentro de respuesta brindada por parte de la cobertura vegetal a niveles espectrales ocurrido un incendio forestal, entendiendo que la perturbación de un ecosistema en un periodo de tiempo cambia no llegando a ser el mismo desde su origen el cual se ve afectando en su nivel de suelo desnudo posterior en sentido del incremento de la temperatura en espacios que a mediana y gran escala son factores del entorno ante la resiliencia que pueda adquirir un espacio vegetal, así como en materia de incidencia a niveles del Calentamiento Global como parte del Cambio Climático.

Conjuntamente a lo dicho anteriormente en el desarrollo de nuestra investigación se plantea el siguiente problema general:

- ¿Cuál es la variación de las respuestas espectrales ante los cambios de la cobertura vegetal por incendios en un rango de tiempo?

Asimismo, como los siguientes problemas específicos:

- ¿Qué tipos de índices espectrales se aplican a estudios en relación a incendios forestales?
- ¿Cuál es la efectividad del rango multitemporal en la variación de la cobertura vegetal por incendios forestales?
- ¿Cuál es la dinámica de adaptación de la cobertura vegetal después un incendio?

En contexto este trabajo se justifica a que este tipo de estudio nos proporcionara una nueva vista a lo que conlleva saber lo que mencionadas alteraciones puedan afectar a distintos tipos de coberturas vegetales en las montañas, valles, pendientes naturales, etc. Comprender que más allá de los daños colaterales a la vida natural a nivel ecosistémico, está involucrada la respuesta de la vegetación desde una estructura que no podemos ver directamente pero que gracias a los sistemas de información geográfica podemos estudiar al día de hoy de una forma más enfocada entendiendo que el incremento de la temperatura en nuestro planeta está bordeando a poder llegar a una catástrofe mundial y en relación a los efectos posteriores que pueden contraer las micro escalas en la alteración de ecosistemas

con los incendios forestales. Conocerlos nos ayuda a poder enfatizar la importancia de prevenir o dar una respuesta rápida desde los tomadores de decisiones.

De tal modo mencionado anteriormente en base a nuestra problemática se aborda el planteamiento de nuestro objetivo general:

- Analizar la variación de las respuestas espectrales de la cobertura vegetal por incendios a nivel multitemporal.

Así como nuestros objetivos específicos:

- Identificar los índices espectrales aplicados a incendios forestales.
- Determinar la efectividad del rango multitemporal en la variación de la cobertura vegetal pre y post incendio forestal.
- Identificar la dinámica de adaptación de la cobertura vegetal después de un incendio.

## II. MARCO TEÓRICO

Para este trabajo se han hecho las revisiones bibliográficas correspondientes de diversos estudios en relación a la teledetección en relación a bosques e incendios forestales, es así entonces que se tiene el siguiente cuadro de resumen:

**Tabla 1:** Antecedentes de Investigación

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
1	(Prăvălie et al., 2022)	Este trabajo tiene como objetivo investigar los cambios ecológicos con relación a la dinámica climática dentro de los bosques de Rumania. Para ello se usaron pruebas de Mann-Kendall, con el fin de procesar los datos de NDVI anual, junto a ella se usó el estimador de pendiente Sen. Por último se combinaron diversas técnicas de interpolación de datos para datos climáticos, tales como T°, Precipitación y evapotranspiración.	Los resultados indican que los bosques de Rumania a nivel nacional se encuentran con mayor NDVI, se observaron además diversos contrastes de oscurecimiento con NDVI decreciente principalmente en zonas bajas lo que se traduce como que en esta parte de los bosques, los mismos estaban en un estado de degradación. Por otro lado se puede explicar este oscurecimiento como parte del aumento de evapotranspiración dentro de los bosques, mas no se tiene la certeza de que sea el impacto de la precipitación que se da en la dinámica ecológica dentro de los bosques
2	(Gillespie et al., 2018)	Lo que se busca con este trabajo es investigar y monitorear los cambios que se dan en áreas protegidas dentro de un rango de tiempo entre 2000 y 2016, haciendo comparaciones entre impactos de sequias, incendios y la estacionalidad. Para ello se ha usado el sensor MODIS, el cual proporciona imágenes satelitales de 250 m de pixel y NDVI, con el fin de monitorear de manera temporal y espacial el área de estudio.	Se tienen como resultados la disminución significativa en cuanto al NDVI dentro del Área Nacional Recreativa Montañas de Santa Mónica, esto mayormente en época de verano. En cuanto a las Islas de Canal, el NDVI es considerado relativamente estable, en cuanto a este último se puede indicar que el NDVI es estable debido a factores como el clima marítimo que rodea la isla, factor que de alguna manera amortigua los impactos de sequía que se dan.

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
3	(Zhao et al., 2021)	Este trabajo busca proporcionar mayor conocimiento sobre clima e incendios, dentro de las regiones de Mongolia. Además de que busca facilitar políticas que ayuden a erradicar los incendios. Para el desarrollo de este trabajo se usaron dos tipos de datos, el primero en relación a datos climáticos y otros en relación a las áreas quemadas dentro del lugar. Se analizó también la relación que se tiene entre clima e incendios, los parámetros que se tomaron fueron: Humedad, Topografía, actividad antropogénica y tipo de combustible. Se hizo una estimación de la capacidad que tiene el clima para relacionarse con los incendios, con el fin de identificar los factores que se involucran en los patrones espaciales que intervienen entre el clima e incendios.	Los resultados destacan que las condiciones climáticas secas y cálidas son precedentes, que facilitan la determinación de las áreas quemadas, por otro lado, las condiciones climáticas húmedas aumentaron la cantidad de áreas quemadas en zonas áridas, esto debido a que ayudan a controlar la gran cantidad de acumulación de combustible. Las relaciones entre clima e incendios cambian cuando hay variación en los factores e impulsores de los gradientes. Los modelos arrojaron como resultados generales, que el clima explica el 21,53% de variación en las diferentes áreas quemadas en promedio.
4	(C. Wang et al., 2022)	El objetivo principal de este trabajo es hacer una reconstrucción temporal a través de series de tiempo y haciendo uso de Landsat y NDVI tomando como referencia un periodo de 30 años, así mismo se busca evaluar la recuperación forestal después de un incendio dentro de los Estados Unidos, para esto último se descargaron las imágenes de Landsat tomando como apoyo el programa ENVI, las mismas que posteriormente fueron procesadas y analizadas.	La regresión pareada de Landsat logra el mejor rendimiento con los residuos de toda la imagen dentro de $\pm 0,2$ . El ajuste climático en el NDVI de primer nivel es bajo control climático, mientras que el refuerzo GIMMS se ve muy afectado por la calidad de datos de NDVI3g. Todos los enfoques coinciden en que las imágenes de principios de temporada (Mayo - Junio) son las mejores fuentes para la reconstrucción de la serie NDVI. Las imágenes de finales de temporada (en especial Octubre) están sujetas a la senescencia otoñal y nevadas tempranas, por lo tanto estas no son recomendables para series de tiempo de imágenes satelitales en bosques de latitudes altas.

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
5	(Serra-Burriel et al., 2021)	Este trabajo busca hacer una cuantificación y predicción de los cambios en la vegetación que se van produciendo a causa de los incendios forestales, todo esto se logra hacer a través de un análisis de series de tiempo y de datos de teledetección satelital. El procedimiento de este trabajo fue mediante la evaluación del método GSC comparando las predicciones de vegetación espectral.	Se encontró que en promedio, los incendios forestales causan una disminución inicial del 25% en el índice de vegetación (NDVI) y una disminución mayor a la caída del 80% en los índices de humedad (NBR y NDMI) después de que ocurran. El método GSC también revela que las consecuencias de los incendios forestales sobre la vegetación pueden durar más de una década y en algunos casos, nunca pueden volver a su estado anterior.
6	(Semeraro et al., 2019)	El objetivo de esta investigación es evaluar los efectos de los incendios forestales producidos por acción antropogénica. Así mismo busca determinar, el efecto que tiene la productividad primaria dentro de un ecosistema húmedo. Esta misma productividad se estimó haciendo un cálculo de serie temporal dentro de un periodo de 15 años, se usaron índices de vegetación EVI y NDWI, apoyándose en el sensor MODIS. Por último se procedió a realizar un análisis de interacción entre incendio y productividad de ecosistema y clima	Este estudio demuestra que el incendio forestal del 2007 en el Área Natural Protegida de Torre Guaceto tuvo repercusiones importantes sobre la productividad primaria, impactando al <i>Phragmites australis</i> en su regeneración. Es así que este estudio también puede ser considerado relevante para poder determinar los cambios en los servicios ecosistémicos que proporcionan los humedales. Por último se determinó que el clima no se muestra como agente involucrando dentro de la actividad primaria de los humedales.

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
7	(Fernández-Guisuraga et al., 2020)	<p>Este trabajo busca evaluar la resiliencia de un paisaje, el cual es propenso a incendios forestales, se compara al mismo tiempo la eficiencia que tienen satélites de resolución media y alta.</p> <p>Como métodos de trabajo, se usaron técnicas de desmezcla de píxeles; tanto para imágenes Landsat y para WorldView-2. El FVC se calculó tomando como referencia 4 categorías de recurrencia y de severidad de incendios; así mismo se usaron 2 enfoques:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de pixel dimidiado</li> <li>- Análisis de mezcla espectral MESMA</li> </ul> <p>Este último se utilizó para separar las imágenes satelitales en 4 fracciones (Vegetación fotosintética, no fotosintética, suelo y sombra).</p>	<p>La serie temporal de FVC, mostro el mismo resultado con escalas espaciales que con los enfoques de modelado, pero el modelo de pixel fue el más preciso, siendo lo suficientemente mayor para las estimaciones en WorldView 2 que para Landsat, por otro lado MESMA fue precisa para ambas.</p> <p>El estudio también demuestra el mayor rendimiento de las imágenes satelitales de muy alta resolución espacial y modelos MESMA para el uso de la estimación cuantitativa de FVC como medida de resistencia post incendio.</p>
8	(Sannigrahi et al., 2020)	<p>El objetivo de esta investigación es evaluar los impactos generados por incendios, con relación a la productividad del ecosistema terrestre. Estudia también los cambios que existen dentro del espacio-tiempo de la teledetección satelital, para ello se desarrolló un enfoque novedoso que involucra la Productividad Primaria Neta y los índices de quema, los cuales ayudan a cuantificar los efectos que tienen los incendios en la emisión de carbono terrestre con relación a la producción del ecosistema.</p>	<p>Durante el 2003 hasta el 2017, la intensidad de incendios fue alta en la región montañosa del Himalaya, región que se encuentra cubierta por gran densidad de bosques, por lo cual es considerada como vulnerable ante incendios, por otro lado en la parte baja de la misma región se detectaron evidencias de intensos incendios que se visualizan en pequeños parches dispersos. La correlación entre PPN y los índices de quema fueron negativos para estados que se encuentran propensos a incendios en comparación a otras. Se mostró también que esta misma relación positiva evidencia un impacto que va de moderado a alto en relación a los incendios y a la producción de ecosistemas y la emisión de carbono terrestre.</p>

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
9	(Frazier et al., 2018)	<p>Determina las tendencias de recuperación espectral en corto tiempo dentro de áreas afectadas por incendios forestales en series de tiempo dentro de los años 1986-2006, para ello se usaron imágenes Landsat con datos de recuperación espectral, las cuales son derivadas de series temporales. Así también se hicieron pruebas de monotonicidad de Mann-Kendal con estimación de pendiente Theil-Sen.</p>	<p>Las tasas de recuperación del bosque espectral, van variando en espacio y tiempo dentro de las eco zonas Taiga y Escudo Boreal, es así que la evidencia de recuperación posterior a incendios han acelerado con el tiempo dentro de estos lugares con cierta consistencia.</p> <p>Las tasas de recuperación en el periodo 1986 al 2011 aumentaron un 18% en Taiga Shield East y un 9% en Taiga Shield West, en contraste a Escudo Boreal que vario temporalmente pero en cambio no fue consistente.</p>
10	(João et al., 2018)	<p>Se busca evaluar la recuperación de la vegetación post incendio, basado en medidas de detección remota, calculadas mediante series de tiempo satelitales NDVI. Para ello cual se propusieron 3 indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Índice de recuperación Relativa Acumulativa (CRR)</li> <li>- Índice de tendencia de Recuperación (RTI)</li> <li>- Índice Half Recovery Time (HRT).</li> </ul> <p>Se usó también modelos Random forest (RF) que predicen patrones de recuperación.</p>	<p>Como resultados se muestran las diferentes facetas que existen en el proceso de recuperación post incendio. El TRH se vincula con el paisaje y el clima post incendio, el HRT indica la velocidad de recuperación al inicio e indica las diferencias entre la respuesta al fuego y las condiciones climáticas post incendio. El RTI se ve influenciado por las características del fuego y las condiciones climáticas post incendio, por último, el CRR se ve mayormente influenciado por la severidad que el fuego causa y no tanto por la estructura de la vegetación y mucho menos por las condiciones climáticas.</p>



N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
11	(Berveglieri et al., 2021)	Este trabajo de investigación se enfoca en comprobar que la fotogrametría y el NDVI den muestra de la evolución del vigor que tiene la vegetación dentro de un bosque tropical. Para ello se hicieron agrupaciones de series temporales dentro de los superpíxeles (extraídos de la variación local de las alturas de los árboles) y en el análisis de tendencias del dosel utilizando el algoritmo de pausas para temporada y tendencia aditivas (BFAST). Es por ello que busca mejorar el monitoreo y la predicción de la dinámica y recuperación de la vegetación posterior a un incendio.	Los experimentos produjeron una serie temporal regularizada de superpíxeles superpuestos. El análisis estadístico de conglomerados tuvo éxito separando la trayectoria del NDVI en diez clases, todas estas asociadas a etapas de sucesión, en las que la evolución del se pudo observar y comparar el vigor de la vegetación dentro de las áreas degradadas, de transición y preservadas. La superposición con las diez clases de trayectoria permitió cuantificar que el 59,9% de los conglomerados se relacionan con áreas preservadas, 30.1% con áreas de transición y 10.0% con áreas degradadas.
12	(Meng et al., 2018)	Busca medir la tasa de recuperación forestal después de un incendio en corto tiempo, esto a lo largo de la gradiente de severidad de quema apoyándose en la teledetección multisensorial. El flujo de trabajo se basó en la recopilación de datos, pre procesamiento, mapeo de especies, calculo post incendio, y la cuantificación de la relación entre post-incendio de la tasa de recuperación forestal y gravedad de la quema.	Se detectó remotamente un aumento inicial y luego la disminución de la tasa de recuperación del bosque hasta la severidad de la quema en toda el área quemada, con un dosel máximo basado en el área y en la tasa de recuperación del 10% por año en la clase de severidad de quema forestal moderada. Las relaciones convexas también se mantuvieron a nivel de especie, siendo los pinos, los que tienen mayor resistencia a las quemaduras con mayor severidad y con la mayor tasa de recuperación con un 12% por año a comparación de los robles con un 4% por año.

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
13	(Adagbasa et al., 2020)	Tiene como objetivo predecir la capacidad de respuesta de la vegetación en un corto plazo en comparación con el índice de recuperación derivado del NDVI. Para ello se desarrolló un modelo de capacidad de respuesta de la vegetación al integrar factores, tales como elevación, aspecto, lluvia, T° superficial de la tierra, suelo y severidad del fuego, estrategias de adaptación y estado ecológico, tanto si aumenta como si disminuye, para el parque. Índice de recuperación de la vegetación derivado del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) antes y después del incendio.	Se determinaron que las variables ambientales, la elevación y el fuego, fueron factores que más influyeron en la respuesta de la vegetación, seguidos por el suelo, el aspecto, la lluvia y la temperatura de la superficie terrestre. Un 48% del parque tenía una alta capacidad de respuesta de la vegetación, 43% media y 9% baja. Por otro lado, el índice de recuperación de la vegetación mostró que el 34% del parque se recuperó completamente a las condiciones previas al incendio, mientras que el 61% se recuperaron en gran parte y el 5% se recuperaron ligeramente.
14	(Qarallah et al., 2021)	Estima la extensión histórica así como la severidad de las quemaduras utilizando imágenes Landsat en series de tiempo con datos multitemporales en un rango de tiempo entre 2003 y 2020, así como el porcentaje de regeneración, busca también mapear la severidad del incendio inmediatamente después del incendio, así como dentro de 1,5,9,13 y 17 años después.	Las imágenes Landsat-dNBR revelaron que alrededor del 65% del bosque se quemó en 2003. En 2020, alrededor del 90% del área quemada se recuperó a condición antes del fuego. El área severamente quemada en 2003 se había recuperado en 2020, pero las mediciones en tierra mostraron que el área severamente quemada los árboles del área fueron significativamente más bajos ( $p < 0,001$ ) que los de severidad moderada en todas las especies estudiadas

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
15	(Fernández-Guisuraga et al., 2021)	Se busca evaluar el potencial de un enfoque híbrido de inversión a partir de datos de reflectancia satelital a alta resolución espacial. El estudio se realizó a nivel de paisaje y comunidad vegetal. Se desarrolló también un esquema de recuperación híbrido basado en simulaciones PROSAIL-D RTM para crear un entrenamiento conjunto de datos de reflectancia espectral de la parte superior del dosel y el FVC correspondiente para las comunidades de plantas dominantes. Se aplicó el algoritmo de aprendizaje automático de regresión de procesos gaussianos (GPR), se aprendió también con este conjunto de datos de entrenamiento modelar la relación entre la reflectancia del dosel y la FVC. Luego se aplicó el modelo GPR para recuperar FVC de WorldView-3 (resolución espacial de 2 m) y Sentinel-2 (resolución espacial de 20 m).	A escala de paisaje, la precisión de la recuperación de FVC fue sustancialmente mayor en WorldView-3 ( $R^2 = 0,83$ ; $RMSE = 7,92\%$ ) que de Sentinel-2 ( $R^2 = 0,73$ ; $RMSE = 11,89\%$ ). A nivel comunitario, la recuperación de FVC fue más precisa para el roble bosques que para brezales y escobas. La recuperación de WorldView-3 minimizó los efectos de sobreestimación y subestimación en la cobertura vegetal muestreada de campo bajo y alto, respectivamente. Estos hallazgos enfatizan que efectivo son los datos de reflectancia satelital de alta resolución para capturar la variabilidad espacial terrestre de FVC dentro de áreas quemadas utilizando un método híbrido de recuperación.

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
16	(Dindaroglu et al., 2021)	El objetivo de este trabajo es evaluar la gravedad del incendio de un bosque quemado considerando las características morfo-métricas, en índices espectrales y propiedades del suelo. Para su desarrollo se realizó la combinación adecuada de datos Sentinel-2 MSI, para el mapeo de diferentes índices espectrales relacionados con la gravedad de las quemaduras y su relación con otras propiedades morfo-métricas y del suelo se combinaron NDVI, dNDVI, NDWI, NBR, dNBR, RBR, SBI, As, CTI, TCI, SPI y Curvatura estándar.	Se mostró que el dNDVI, dNBR, RBR, SBI contribuyen a información relevante sobre el efecto del incendio forestal y según la clasificación de severidad del fuego dNBR, el 75% del área total ha estado expuesta a incendios de alta severidad. Se han dado como resultados que las características morfo métricas y del suelo son significativas para ayudar a comprender el impacto de los incendios forestales en los ecosistemas del mediterráneo
17	(Evangelides & Nobajas, 2020)	Evaluar la regeneración post-incendio con el NDVI705, procesando imágenes Sentinel-2. En este estudio se usan datos que están disponibles gratuitamente. Para crear un índice de vegetación de diferencia normalizada de borde rojo (NDVI705) y se combina el resultado capa con 30 m Digital Elevation Model (DEM) de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) para evaluar los parámetros topográficos (es decir, inclinación y aspecto de la pendiente) las cuales pueden haber influido en el proceso de regeneración de la vegetación.	Se ha indicado un cambio inconsistente de NDVI705 a lo largo del período tomado, sin embargo, se observó una mejora significativa en los valores de NDVI705 en los meses de primavera de 2017, así mismo la mejora en la salud de la vegetación, principalmente en las laderas orientadas al norte y menos pronunciadas, corroborando estudios previos en climas mediterráneos del hemisferio norte. También resalta la capacidad de realizar una evaluación posterior al incendio la cual es rápida y rentable la que deduce si se puede ampliar o reducir el incendio dependiendo del tamaño del mismo su aplicación puede ser a cualquier otro entorno donde se quiera gestionar un post-incendio.

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
18	(Ireland & Petropoulos, 2015)	Este estudio cuantifica la dinámica del proceso de regeneración después de un incendio, examina la eficacia de la tecnología de la teledetección para proporcionar un monitoreo continuo a largo plazo de la dinámica de recuperación de la vegetación. El análisis de la regeneración de la vegetación se realizó usando ENVI y ArcGIS como plataformas software, se cuantificó la dinámica de regeneración de la vegetación en un tramo de 8 años después del incendio en base a un análisis de secuencia temporal del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Regeneración (RHODE ISLAND).	Los análisis NDVI y RI indicaron patrones de recuperación moderada de la vegetación previos al incendio, teniendo regeneración a más del 60% de los niveles previos al incendio 8 años después del incendio. El NDVI exhibió un nuevo crecimiento considerándolo significativo en los primeros 3 años después del incendio, luego de ello se tuvo una regeneración más gradual en los años posteriores al incendio (un aumento de 0,400 en R2 para 2006 en comparación con solo un aumento de 0,129 para los siguientes años). Este estudio es uno de los pocos que intentan explorar las condiciones que se presentan después de un incendio.
19	(Petropoulos et al., 2014)	Se evaluó la dinámica de recuperación de la vegetación post-incendio usando análisis multitemporal de imágenes Landsat (5) y técnicas GIS especialmente para características típicas del mediterráneo, para explorar la dinámica de regeneración de la vegetación de la región de estudio seleccionada se tomó un período de 5 años, tomando los años 2007 hasta el 2011. Todos los análisis de la regeneración de la vegetación para la región estudiada se realizaron utilizando ENVI y ArcGIS como plataformas software.	Los resultados sugirieron un nivel que va de bajo a moderado en la recuperación de la vegetación del ecosistema local cinco años después del evento del incendio, con el NDVI espacial posterior al incendio se muestra un patrón de retorno gradual pero sistemático a las condiciones previas al incendio. Las tasas de rebrote parecían ser algo más alto en las laderas orientadas al norte en comparación a las orientadas al sur.

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
20	(Loboda et al., 2013)	Se busca analizar las tendencias temporales en firmas espectrales de áreas quemadas y no quemadas dentro de la Tundra de matas obtenidas por imágenes Landsat dentro de distintos eventos de incendios de temporada. Se desarrolló así, un mapeo basado en la relación de quemado normalizado y bandas Landsat individuales (Infrarrojo cercano) en la separación de áreas quemadas y las no quemadas, así como en el mapeo de la gravedad de las quemaduras.	Se reveló una gran variabilidad en la reflectancia de la superficie de las áreas quemadas y no quemadas a lo largo del espacio y tiempo. Sin embargo, la firma espectral de quemado de áreas en la tundra se deteriora rápidamente y, en este estudio es poco distinguible al final de la primera temporada posterior a los incendios. Estos métodos de mapeo resultaron inferiores a otros índices espectrales (Tasseled Cap Greenness and Brightness) y bandas Landsat individuales (infrarrojo cercano) en la separación de áreas quemadas y no quemadas, así como en el mapeo de la gravedad de las quemaduras.
21	(McCarley et al., 2017)	<p>Cuantifica los efectos de los incendios mediante cambios hechos en las estructuras de los bosques, esto mediante adquisiciones en series de tiempo de detección y rangos de luz LIDAR, a adquisiciones espectrales con imágenes Landsat.</p> <p>Se evaluó el modelo de regresión espacial, tomando en cuenta la auto-correlación espacial, cuantificando a su vez la consistencia que presenta el modelo en estas áreas afectadas. Se observa también la relación entre la proporción de onda corta d74 y estimación en la variación de la cobertura vegetal que es derivada de LIDAR, estos índices espectrales se relacionan con el porcentaje de retornos LIDAR en estratos forestales.</p>	El enfoque de regresión ayudo en la mejora de todas las relaciones, demostrando así, su utilidad, mas no demostró un buen desempeño a lo largo del tiempo. Este estudio establece índices espectrales de d74 y dNBR como los más sensibles a cambios en la estructura, los cuales son el resultado de los incendios forestales, tales como la reducción en la cobertura del suelo. Así mismo estas funcionan de mejor manera cuando esta estructura o cobertura vegetal aún no se ha reducido, es decir una estructura antes del incendio.

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
22	(Collins et al., 2020)	<p>Examina si el tamaño de eventos de incendios y el desequilibrio de la muestra tiene relación con la precisión de la clasificación, además de determinar si estos modelos son aplicables a todas las regiones y, por último, se realiza una evaluación sobre las necesidades de los clasificadores de incendios. Se tomaron también diferentes muestras de distintos incendios, así como de quemas prescritas.</p> <p>Se mapearon 5 diferentes tipos de severidad de incendios en bosques y matorrales, se hizo una validación cruzada espacial en relación a los mismos.</p>	<p>En base a 10 incendios tomados, se encontraron 300 puntos de muestra por clase de severidad, estos resultados fueron suficientes para alcanzar el umbral superior de precisión.</p> <p>Así mismo los datos de entrenamiento dentro de un espacio ambiental cerca del incendio principal produjeron mejores resultados que los que están lejos del incendio principal. Sin embargo, se obtuvo diferencias significativas en cuanto a la precisión de estos modelos que son entrenados para con los incendios forestales. En cuanto al clasificador aleatorio de bosques, se tuvo un 88% de precisión para incendios y un 68% para quemas prescritas.</p>
23	(Qin et al., 2017)	<p>El objetivo principal es analizar la coherencia y la incertidumbre entre diferentes mapas forestales dentro de América del Sur, a la vez presenta un enfoque sólido que ayuda a cartografiar los bosques dentro del misma área.</p> <p>Para el desarrollo de la investigación, se usó una combinación de NDVI que identifica el verdor de la cobertura vegetal, se usó también la serie temporal ALOS PALSAR, que ayuda principalmente a determinar la estructura de la biomasa, esta combinación se utilizó para cartografiar e identificar bosques. Por otro lado también se generaron mapas forestales PALSAR MODIS.</p>	<p>Se mostraron diferencias entre la superficie forestal y los productos forestales, en especial por los alrededores de los mismos, en regiones tropicales y subtropicales estos productos tienen una variación similar a los bosques contrastantes. Se descubrió que el índice de área foliar es un factor de ajuste en los datos de Campo Continuo de Vegetación que ayuda a estimar las áreas de cobertura forestal.</p> <p>Los mapas PALSAR-MODIS mostraron pérdidas en la cubierta forestal a la del FAO, pero también mostraron pérdidas anuales y ganancias de bosques que son mayores a las del Global Forest Watch.</p>

N°	Autor	Metodología/Descripción	Resultados
24	(Daldegan et al., 2019)	<p>Lo que se busca en esta investigación es generar un producto que en áreas quemadas sea consistente, con escalas que cubran periodos de tiempo largos.</p> <p>Se desarrolló también un algoritmo haciendo una mezcla entre el análisis espectral de área quemada, la cual procesa datos Landsat, que ayudara a crear y generar, una base de datos que ayuden a identificar las cicatrices de incendios en diferentes series de tiempo. Se procesó los datos Landsat dentro de una serie de tiempo de 32 años, los cuales ayudaron a mapear las cicatrices. Se usaron polígonos de áreas quemadas que ayudan a mejorar el extremo de la cicatriz y el umbral de fracción. Para la evaluación de estas mismas se basaron en BASMA, estos se compararon con las áreas quemadas delineadas manualmente y para la precisión se usaron datos de Quemadas.</p>	<p>Se mapearon un total de 11,106.258 ha afectadas por incendios. Los resultados mostraron una tendencia decreciente en las áreas quemadas a lo largo de la serie temporal de 32 años, también reflejan patrones de similitud en la tasa de deforestación de la Amazonia que fueron medidas por el Instituto Nacional de Investigación Espacial de Brasil. Se concluye también que se debe de tener cuidado para analizar los datos de perdida de bosques, puesto que también sirven para formular políticas en relación a los servicios ecosistémicos forestales. Esta integración, proporciona mapas anuales con mayor y mejor precisión dentro de los bosques de América del Sur.</p>
25	(Dixon et al., 2022)	<p>Busca convertir una base de datos de incendios en mapas que ayuden a reflejar la severidad de los incendios, representando así mismo los niveles de quemado, se usaron para ello imágenes aéreas Landsat, al mismo tiempo se usó MODIS para aumentar los datos de severidad de incendios. Este modelo se realizó en un espacio de tiempo de 16 años. Para el flujo de trabajo se usaron datos de gravedad de incendios forestales. Se usaron 13 tipos de índices espectrales Landsat, que fueron usados en distintos tipos de incendios, en distintas temporadas, topografía y tipos de bosques.</p>	<p>El pronóstico de severidad de incendios fue comparable entre los diversos tipos de incendios, esto por las quemas frecuentes en el paisaje. Este modelo ofrece oportunidades que ayudan a comprender de mejor manera la dinámica entre quemas prescritas e incendios forestales, así como los efectos de la gravedad que tienen los incendios en el medio ambiente. Este modelo también está ampliamente calibrado para quemas prescritas, al igual que para incendios mayores en múltiples condiciones.</p>

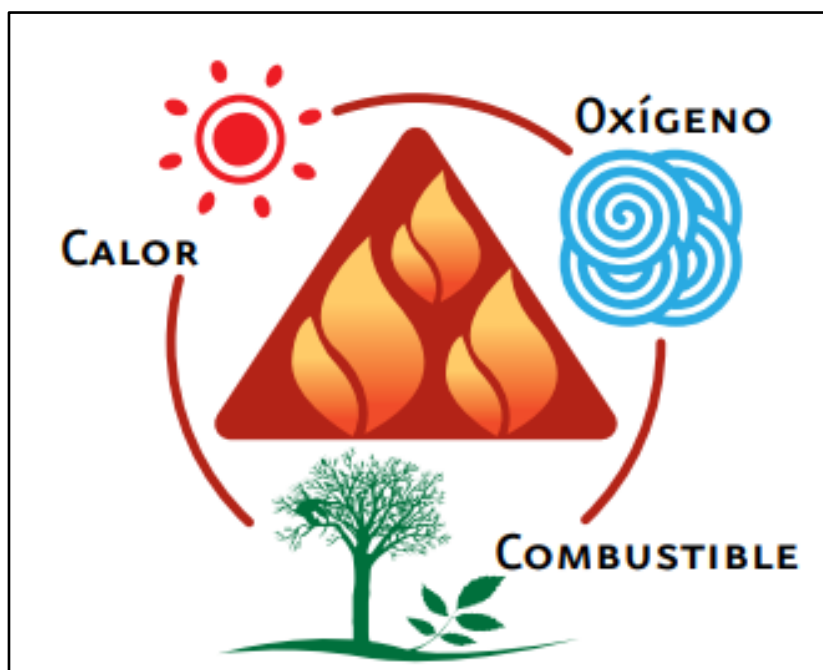


Los incendios forestales desde siempre han sido de gran preocupación para la sociedad, debido a que modifican los ecosistemas, generando de manera continua perturbaciones en la dinámica de los procesos que los ecosistemas nos proporcionan, además de que obstaculizan la continuidad del flujo de los servicios que ofrecen estos mismos. Los incendios que provienen de actividad antropogénica y que son frecuentes son más perjudiciales para estos ecosistemas y para la dinámica que ofrecen estos mismos, posteriores a un incendio. (Semeraro et al., 2019)

Los incendios forestales dependen de una serie de factores, tanto como el clima, cubierta terrestre y tipo de vegetación. (Serra-Burriel et al., 2021), es así que el clima se ve como uno de los factores que ha estado influyendo ampliamente en los patrones geográficos de los incendios en los ecosistemas terrestres. (Zhao et al., 2021). Sumado a ello la cobertura vegetal se ve también gravemente afectada por los incendios, puesto que tanto la composición y la estructura de las especies de vegetación se ve gravemente afectada si están en constante interacción con incendios descontrolados. (Adagbasa et al., 2020)

Para la producción de un incendio forestal, se necesitan de 3 elementos (Calor, Oxígeno y Combustible) que representan el triángulo del fuego tal y como lo menciona (CONAFOR, 2010) con la siguiente ecuación:

$$\textit{Triangulo del fuego} = \textit{Calor} + \textit{Oxígeno} + \textit{Combustible}$$



*Figura 1 Triangulo del fuego*

Fuente: (CONAFOR, 2010)

Por otra parte la cobertura vegetal se define mediante el (SINIA, 2019) define a la cobertura vegetal como una capa superior de la vegetación natural, que se encuentra recubriendo por completo la superficie terrestre, al mismo tiempo, también comprende una gama amplia de biomasa que tiene a su vez diversas características y cualidades tanto fisonómicas como ambientales que, a su vez van desde pastizales hasta áreas que están recubiertas por bosques naturales.

La estimación de cobertura vegetal que se da, a partir de datos de teledetección ha permitido evaluar y conocer mejor los impactos ecológicos de perturbaciones tales como incendios forestales. Así se debe resaltar también que es importante comprender los diferentes cambios geomorfológicos y edafológicos dentro del espacio-tiempo como consecuencia de los incendios, los cuales nos ayudan a planificar y mejorar la restauración de la cobertura vegetal. (Dindaroglu et al., 2021; Fernández-Guisuraga et al., 2021)

Los retornos de la cobertura vegetal posterior a las perturbaciones por incendios, se documentan con poca frecuencia y muchas veces los existentes no se comprenden bien. (Frazier et al., 2018), es así que el análisis de datos de Sistemas

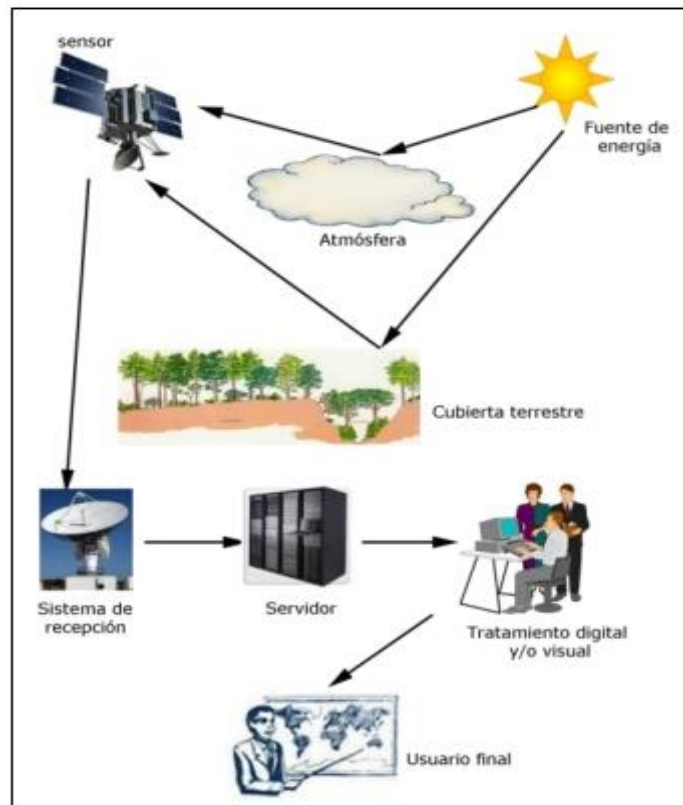
de Información Geográfica, ayudan en el monitoreo de la dinámica cambiante que presenta la cobertura vegetal y que esta ofrece después de un incendio forestal. (Petropoulos et al., 2014)

Es así que la resiliencia de la cobertura vegetal se relaciona directamente con la regeneración de la misma, la cual se ve afectada por el régimen de incendios, esto como consecuencia del cambio global. Comprender la recuperación de cobertura vegetal es muy importante para comprender la dinámica forestal y el ciclo global de carbono, así como es importante comprender la relación entre clima e incendio son necesarios para comprender bien como el clima está afectando al incremento de incendios forestales y ayudar a determinar los factores de los mismos. (Fernández-Guisuraga et al., 2020; Meng et al., 2018; Zhao et al., 2021)

Debido a la preocupación que se tiene para monitorear los impactos de incendios forestales en la cobertura vegetal, se han desarrollado diferentes técnicas de teledetección que se usan para medir la pérdida de ecosistemas terrestres tanto en productividad como en pérdida de biodiversidad, todo esto enfocado a los efectos y consecuencias de los incendios forestales. Los distintos métodos de teledetección captan estos cambios dentro de los ecosistemas. (Frazier et al., 2018; Sannigrahi et al., 2020)

El IGN define a la Teledetección, como una técnica de adquisición de datos, que mediante sensores que se encuentran en plataformas espaciales, recogen los datos tomados de la superficie terrestre para luego ser procesadas mediante una interacción electromagnética entre la superficie del terreno y el sensor, información que se obtiene para ser interpretada según la necesidad de su uso.

La teledetección multi-espectral ayuda a la medición y a la comprensión ecológica de los efectos que proporcionan los incendios forestales recurrentes. (McCarley et al., 2017)



*Figura 2 Componentes de un sistema de teledetección*  
Fuente: CONOCE TU UNIVERSO, 2016

Se considera un desafío el mapeo de bosques, así como también los cambios espacio-tiempo de cobertura vegetal, esto debido a que los bosques se enfrentan continuamente a variaciones por actividades antropogénicas o naturales. Es por ello que los mapeos de severidad de incendios son necesario para poder manejar los incendios. (Collins et al., 2020; Qin et al., 2017)

Uno de los sensores más conocidos es LANDSAT del cual a través de series de tiempo de Landsat ayudan a visibilizar las perturbaciones dentro de los ecosistemas, así mismo ayudan a monitorear la regeneración de cobertura vegetal con la ayuda de índices espectrales de vegetación. (Frazier et al., 2018)

Una de las funciones de las herramientas de teledetección aplicadas al estudio del medio que nos rodea es la capacidad de distinguir diferentes coberturas vegetales, usos del suelo, masas de agua, o detectar fenómenos provocados por actividades naturales o humanas. Esto se puede analizar gracias a la existencia de diferentes bandas multispectrales que tienen los satélites en la actualidad. La representación de las imágenes captadas por los satélites es más representativa cuando se realiza en una composición de colores, ya que el ojo humano percibe mejor las diferencias de color que las escalas de grises y los matices. (Ramos, 2019)

<b>Bands</b>	<b>Wavelength (micrometers)</b>	<b>Resolution (meters)</b>
Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

*Figura 3 Bandas Espectrales*  
Fuente: MappingGIS, 2019

Sentinel 2			
Banda	Resolución	Longitud de onda central	Descripción
B1	60 m	443 nm	Ultra azul (Costa y Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Azul
B3	10 m	560 nm	Verde
B4	10 m	665 nm	rojo
B5	20 m	705 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B9	60 m	940 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B10	60 m	1375 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B11	20 m	1610 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)

*Figura 4 Bandas Espectrales*  
Fuente: Sentinel-2 - MappingGIS, 2019

Para mostrar la imagen de teledetección en color, es necesario crear una combinación de tres bandas, lo que se denomina imagen compuesta de color. Las imágenes de diferentes bandas se pueden combinar para crear imágenes en color verdadero o color falso según la banda seleccionada. Esto se hace aplicando cada uno de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) a diferentes tiras de la imagen. El número máximo de bandas que puede usar por composición es 3, y la apariencia depende de las bandas espectrales que asigne a los canales rojo, verde y azul de su monitor. Este método permite visualizar simultáneamente información de diferentes partes del espectro, lo que facilita la delimitación visual de alguna cobertura. La selección de las bandas sobre las que realizar la composición y el orden de los colores que se les asignan depende del sensor a procesar y de la aplicación final del proyecto. Tanto Landsat como Sentinel son dos de los principales satélites que proporcionan imágenes para la detección remota y también están disponibles para su descarga gratuita desde varias plataformas. (Ramos, 2019)

En cuanto al uso de las técnicas de teledetección, estas se han posicionado como una herramienta importante y de gran ayuda para planificar y diseñar programas eficientes de forestación y restauración de tierras forestales.

Además, la obtención de información y datos sobre la gravedad de los incendios y post incendios, con cobertura espacio temporal ayudan a comprender de mejor manera los impactos del fuego en la cobertura de la vegetación, así también sirve de ayuda en la planificación para mitigar riesgo de incendios forestales, proporcionando información relevante para la formulación de políticas que se vean relacionadas con estas. (Dindaroglu et al., 2021; Dixon et al., 2022; Evangelides & Nobajas, 2020)

Dentro de otros programas que ayudan a la obtención de información, y mas que ella que nos van a facilitar y corregir errores, es ENVI, que según (Arias A., 2015) Environment for Visualizing Images o más conocido por su abreviatura ENVI, es un sistema que ayuda en el procesamiento de imágenes satelitales, el diseño de este sistema se dio para atender las necesidades de usuarios que buscan procesar los datos provenientes de sensores remotos y de satélites. Este Software es ideal para la visualización, para el análisis y presentación de todo tipo de imágenes digitales. A su vez, este software nos brinda 3 herramientas de manera generalizada, las cuales son:

- Herramientas para Análisis de Datos  
Ayuda en el discernimiento de información relevante dentro de la misma imagen a utilizar, lo cual ayuda en el eficiente análisis de datos y los ayuda a ser más precisos y rápidos.
- Herramientas de Análisis Espectral  
Esta herramienta permite usar la respuesta que da el pixel en diferentes longitudes de onda con el fin de obtener información relevante sobre los materiales dentro de cada pixel.
- ENVI + IDL  
El IDL (Interactive Data Language) ayuda a crear extensiones propias dentro de ENVI, esto porque el programa ENVI está escrito en este lenguaje (IDL). Así que el uso del paquete completo de ENVI + IDL es una ventaja al realizar si se quiere realizar mejores trabajos.

A su vez, este tipo de sensores y programas usan rangos de índices, los cuales ayudan a determinar los datos que se quiere obtener de las imágenes, en este caso se usan índices de vegetación los cuales se definen de muchas maneras, entre ellas se define como un parámetro, que parte de valores de reflectancia en distintas longitudes de onda y que a la vez son sensibles a la cubierta vegetal. (Gilabert et al., 1997)

(Gutman, 1991) Existe una combinación de bandas que conforman un tipo de índice espectral que es usado para determinar la cantidad o el nivel de daño en la vegetación, este índice espectral tiene como nombre NDVI, o Índice de Vegetación Normalizada.

El NDVI es el índice principal para el monitoreo global de la vegetación porque ayuda a compensar las condiciones de iluminación, la pendiente de la superficie, el aspecto y otros factores externos(Lillesand et al., 2004) asimismo este índice espectral se define en la ecuación siguiente:

$$NDVI = \frac{(IRc - Vis)}{(IRc + Vis)}$$

Dónde:

- IRc = Banda del infrarrojo cercano
- Vis = Banda del rojo

Las bandas del infrarrojo o banda del rojo se usan como reflectividad espectral de radiación solar que permite verificar la densidad y el tipo de intensidad del crecimiento de la vegetación verde. La reflectancia diferencial en las bandas roja e infrarroja (IR) permite monitorear la densidad e intensidad del crecimiento de la vegetación verde utilizando la reflectancia espectral de la radiación solar. Las hojas verdes tienden a reflejarse mejor en el rango de longitud de onda infrarroja en comparación con el rango de longitud de onda visible. Cuando las hojas tienen sed, están enfermas o muertas, se vuelven amarillas y reflejan mucho menos en el rango de longitud de onda del infrarrojo cercano. Las nubes, el agua y la nieve se reflejan mejor en el rango visible que en el rango de longitud de onda del infrarrojo cercano, mientras que las rocas y el suelo desnudo muestran una diferencia casi nula.(Lillesand et al., 2004)



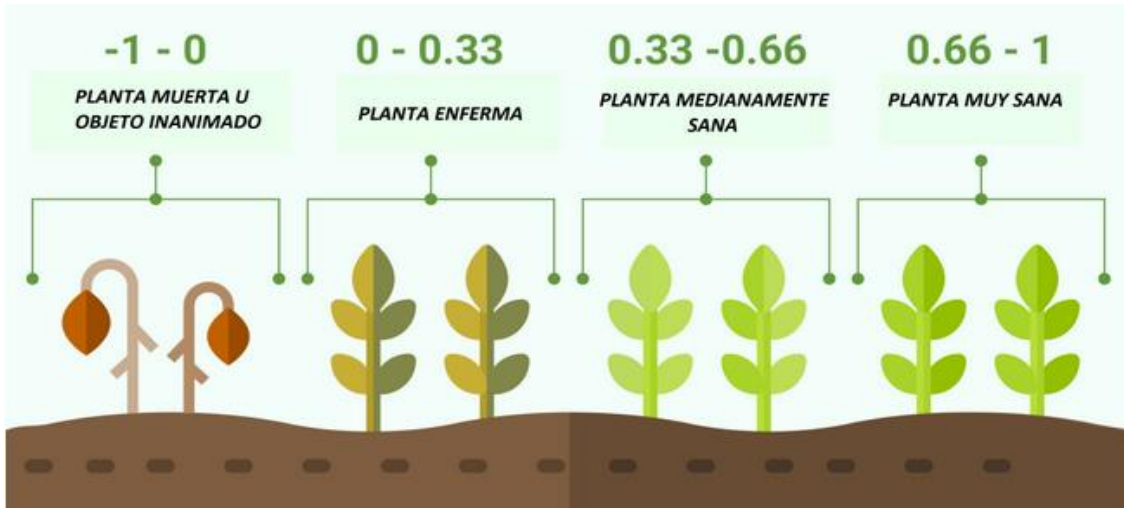


Figura 5 (NDVI) Índice de Vegetación Normalizada  
FUENTE: TYC GIS, 2019

Si se busca realizar un análisis temporal de la cobertura de vegetación mediante el NDVI, esta se puede desarrollar mediante el procesamiento de imágenes satelitales, este índice espectral ayuda a diferenciar la cobertura del suelo de diferentes tipos de vegetación.

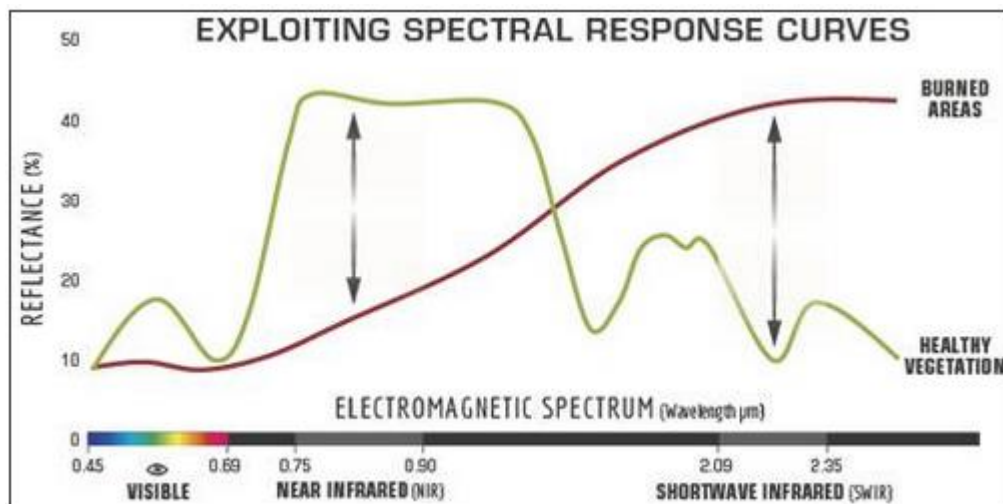


Figura 6 Comparación de la respuesta espectral entre vegetación saludable y área quemada

Fuente: U.S. Forest Service, n.d

Por otro lado, el dNBR ayuda a proporcionar mayor información con respecto a las diferencias que se evidencian en cobertura vegetal después de estar sometidas a incendios forestales, así mismo ayuda a determinar la gravedad de quema en espacios de tiempo más determinados, demostrando a su vez lo valioso que es esta información con respecto a el monitoreo de incendios específicos. (Veraverbeke et al., 2012)

(United Nations, n.d.) Este índice está diseñado para resaltar las áreas quemadas en grandes zonas de incendio. En cuanto a la fórmula del dNBR, sigue en similitud a la fórmula del NDVI, con la diferencia de que esta, combina las longitudes de onda del Infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR).

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Dónde:

- NIR: Infrarrojo cercano
- SWIR: Infrarrojo de onda corta

En esta ecuación también se aplica la reflexión diferencial usando la reflectividad espectral.

Dentro de esta misma se puede medir la severidad del fuego mediante la diferencia del NBR antes del incendio y el NBR después de un incendio, permitiendo que la misma indique la recuperación de la vegetación posterior al impacto.

$$dNBR = PrefireNBR - Postfire NBR$$

Por otro lado, un factor clave para determinar la cantidad de impacto que generan los incendios forestales es la reflectancia que tiene la cobertura vegetal ante los índices espectrales después de un incendio, puesto que cuando existe algún tipo de cambio en la vegetación a causa de algún tipo de estrés de cualquier tipo, la reflectancia de la misma pasa a un rango inferior dentro del infrarrojo cercano y el rojo, es así que se muestra el contraste que existen entre ambas bandas, la cual viene a ser mucho menor que la que se pueda tener dentro de una vegetación sana sin ningún tipo de estrés. (Chuvieco S., 1996)

La diferencia de contraste, en el caso que sea mucho mayor entre las reflectancia de las bandas del infrarrojo y la banda del rojo, indicara mayor vigor en la cobertura vegetal, pero en el caso de que los valores de las bandas sean bajos, estos pasaran a indicar una cobertura vegetal enferma, posteriormente pueden indicar un suelo son cobertura vegetal o desnudo con valores de banda cercano a cero. (Soria Ruíz et al., 1998)

Asimismo, es de importancia señalar otros índices espectrales que aportan a determinar ciertos valores para poder tener un resultado más detallado y específico en el estudio de la vegetación afectada, siendo estos tales como el Índice de resistencia atmosféricamente visible (VARI) está diseñado para resaltar la vegetación en la parte visible del espectro, a la vez que mitiga las diferencias en la iluminación y los efectos atmosféricos. (Gitelson et al., 2002) resulta idóneo para las imágenes RGB o en color; utiliza las tres bandas de color como se muestra en la ecuación espectral:

$$\text{VARI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue})$$

Dónde:

- Green(Verde) = valores de píxel de la banda verde
- Red(Rojo) = valores de píxel de la banda roja
- Blue(Azul) = valores de píxel de la banda azul

El índice de área calcinada (BAI) utiliza los valores de reflectancia de la parte roja y NIR del espectro para identificar las áreas del terreno afectadas por un incendio. (Gitelson et al., 2002) el cual mediante la siguiente ecuación se muestra:

$$\text{BAI} = 1/((0.1 - \text{RED})^2 + (0.06 - \text{NIR})^2)$$

Dónde:

Red(Rojo) = valores de píxel de la banda roja

NIR = valores de píxel de la banda infrarroja cercana

Consecutivamente contamos con el índice MIRBI (Mid-Infrared Burnt Index - Índice de quemado de infrarrojo medio) diseñado para mapear y cartografiar áreas quemadas en base a imágenes de sensores MODIS. Se describe como un índice cuyas isolíneas (líneas que conectan puntos con el mismo valor de índice) son perpendiculares a los cambios espectrales debidos a incendios y paralelas a otro tipo de cambios/estimaciones factoriales que no son de interés. Después de examinar las bandas del sensor MODIS que proporcionaron una mayor separación entre los techos quemados y no quemados, describieron un índice basado en líneas de regresión para aquellas bandas donde las áreas quemadas tenían los valores de índice más altos.(Trigg & Flasse, 2001)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

De acuerdo al reglamento y criterios presentados por (CONCYTEC, 2021), el presente trabajo es de tipo básico, descriptiva, debido a que se busca comprender mediante análisis la resiliencia de la cobertura vegetal en relación al impacto que tienen los incendios forestales a través de un análisis multitemporal, se tomó en cuenta para ello el recojo de información y de datos de artículos científicos buscando la mayor y mejor comprensión de información que pueda servir para nuestro trabajo, todo ello a través de la revisión bibliográfica

En cuanto al diseño de investigación según (Sampieri, 2018) el presente trabajo viene a ser no experimental puesto que no se harán variaciones en las variables, sino que se harán observaciones de datos y de información ya recopiladas mediante revisión bibliográfica.

#### **3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización**

La siguiente matriz de categorización viene a ser parte fundamental de este trabajo, puesto que este cuadro señala la problemática, y los objetivos referentes al tema de estudio. Así mismo facilita la comprensión de la investigación a través de un cuadro de resumen, facilita también la sistematización y el análisis de la información correspondiente, lo que reduce el nivel de complejidad de interpretación, de tal manera que se vuelva más comprensible para todo público interesado.

**Tabla 2:** Matriz de Categorización Apriorística.

Ámbito temático	Problema de investigación General	Preguntas de investigación Especificos	Objetivos generales	Objetivos específicos	Categorías	Subcategorías
<b>Teledetección y Medio Ambiente</b>	Determinar la variación de las respuestas espectrales ante los cambios de la cobertura vegetal por incendios a nivel multitemporal	¿Qué tipos de índices espectrales se aplican a estudios en relación a incendios forestales?	Analizar la variación de las respuestas espectrales de la cobertura vegetal por incendios a nivel multitemporal	Identificar los índices espectrales aplicados a incendios forestales	<b>Indices espectrales</b>	NDVI
		dNBR				
		¿Cuál es la efectividad del rango multitemporal en la variación de la cobertura vegetal por incendios en un rango de tiempo?			<b>Cambios de la cobertura vegetal</b>	Características físicas de cobertura vegetal
				<b>Efectividad</b>		Tipo de efectividad
		¿Cual es la capacidad de adaptación de la cobertura vegetal despues de un incendio?		<b>Analisis multitemporal</b>	Imágenes satelitales	
					Rango de tiempo	
		Identificar la dinámica de adaptación de la cobertura vegetal despues de un incendio		<b>Variacion de la respuesta espectral</b>	Aumento o disminucion de índices espectrales	
					<b>Adaptacion de cobertura vegetal</b>	Resiliencia de cobertura vegetal

### **3.3. Escenario de estudio**

El escenario de estudio una vez identificadas las situaciones vienen a ser observadas dentro dicho espacio, es necesario decidir qué fenómenos serán observados y analizados en tales situaciones, cuándo se observan y se determinan de qué manera se desarrollara (Quintana Peña, 2006)

De este modo la investigación tendrá como escenario las distintas perspectivas en la dinámica de adaptación de la cobertura vegetal en su variación con respecto a los índices espectrales como respuesta ante los incendios forestales.

### **3.4. Participantes**

Esta investigación realizada se llevó a cabo mediante una revisión sistemática, que recopila información en una base de datos en específico que es ScienceDirect, de ella se extrajo artículos de revistas científicas de todo el mundo, comprendiendo el periodo de tiempo entre 2015 y 2021.

### **3.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos**

Como técnica de estudio se realizó Análisis documental, esta consistió en hacer una revisión bibliográfica de diferente naturaleza documentativa, tanto así se tomaron mas en cuenta la revisión de artículos científicos y otros documentos complementarios, los cuales se obtuvieron a través de bibliotecas virtuales y plataformas digitales de diferentes bases de datos, estas obviamente respectivamente relacionadas con el tema de interés y con información de acuerdo al nivel de profesionalismo.

Para llegar a concretizar toda la información, previamente se leyeron distintos artículos de investigación como se indica líneas arriba, descartando algunas por tener poca relación con el tema y organizando las que presentaron mayor relevancia.

Se evaluó durante el proceso también, la información necesaria con la cual se hizo el compilado de información presente en este trabajo.

Por último, como herramienta utilizamos Office, el cual nos brinda un mejor procesamiento de datos y mayor organización de los mismos, en este caso se dio mayor uso a:

- Excel para la elaboración de tablas y organización de datos e información recopilada
- Word para unificar toda la información obtenida, uniendo tablas e imágenes que faciliten una mejor comprensión del tema.



### 3.6. Procedimientos

El procedimiento correspondiente a nuestro proyecto se detalla en la siguiente figura:

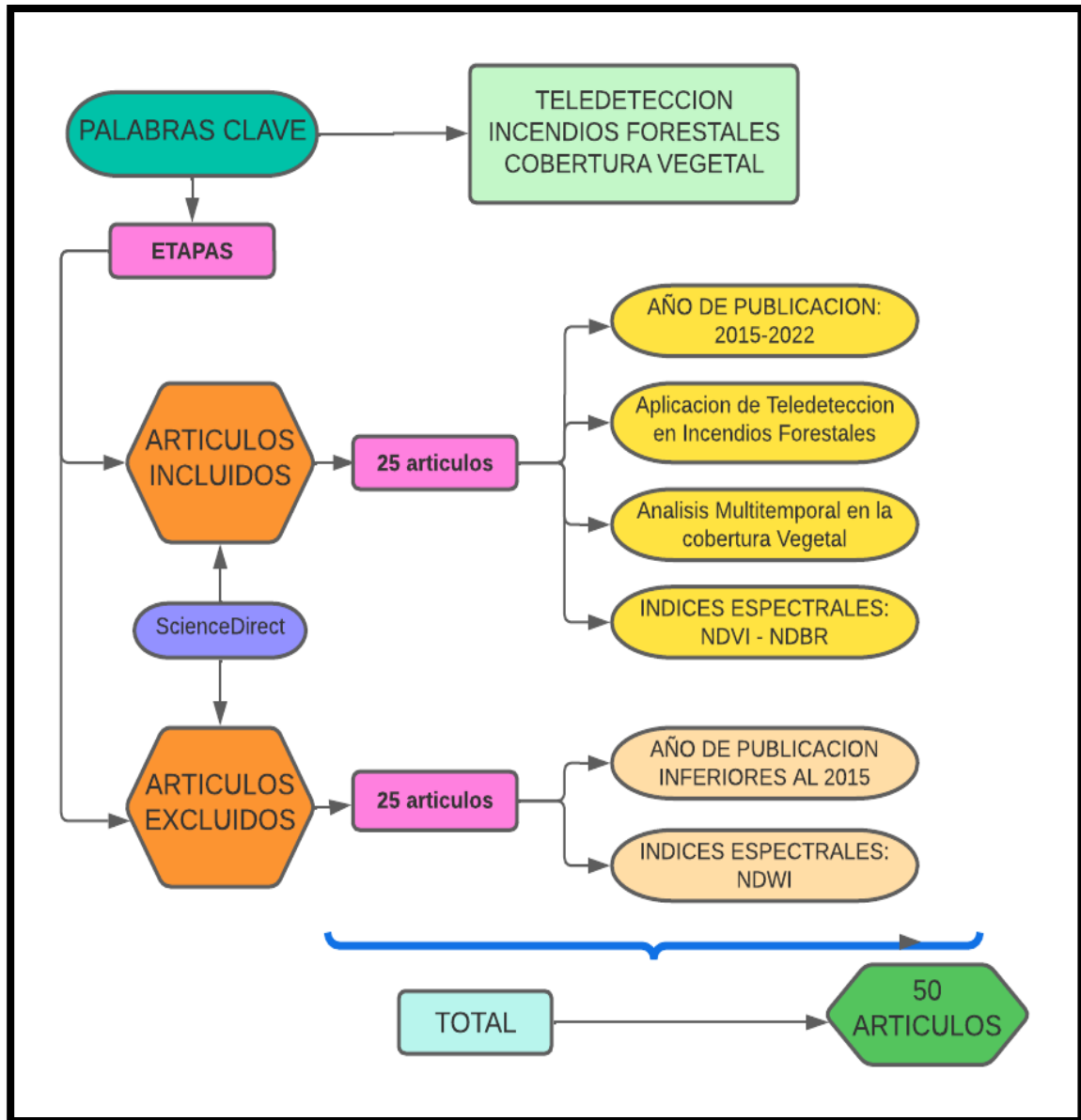


Figura 7 Procedimiento

### **3.7. Rigor científico**

El rigor científico requiere de ver en retrospectiva los resultados y hallazgos encontrados para comprender el status, con que se ha desarrollado la investigación. Para cumplirlo se necesita tener 4 criterios: credibilidad o valor de verdad, transferibilidad o aplicabilidad, dependencia, confortabilidad.

De lo mencionado en el párrafo anterior los diferentes artículos de investigación analizados cumplen con las condiciones necesarias solicitadas por el rigor científico por lo que se deduce que esta investigación cumple con los criterios necesarios.

### **3.8. Método de análisis de datos**

El método de análisis de este trabajo se hizo mediante:

Recopilación de información: Esta se hizo mediante revisión de bibliográfica digital.

Organización: De la información previamente encontrada y verificada, este método permite clasificar la información y los datos de manera sistematizada,

Análisis: De toda la información recolectada, para posteriormente determinar la relevancia de los mimos.

### **3.9. Aspectos éticos**

La ética profesional, tiene como objetivo regular las actividades que se van a realizar durante todo el proceso de investigación rigiéndose en de acuerdo al marco profesional competente.(Soto, 2014), por lo que la conducta que no es ética no tiene lugar dentro de la práctica científica, esto debido a que toda aportación de conocimientos siempre va a conllevar a mejores beneficios dentro de la sociedad.(Reyes, 2017)y el plagio o la deshonestidad de trabajos de investigación perjudicarían el mismo avance.

Este trabajo se rige principalmente en el respeto por la propiedad intelectual, para el cual se ha realizado una revisión bibliográfica reconociendo a los autores mediante el citado correspondiente de sus trabajos. Nos regimos también dentro de los lineamientos de originalidad y autenticidad, el cual se demuestra mediante el programa antiplagio del Turnitin. Destacamos también la confidencialidad del trabajo, el consentimiento de participación de los integrantes, así como la honestidad en la redacción del presente. Todas estas como parte de los aspectos que van relacionadas a la ética en una investigación cualitativa.

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Existen similitudes en cuanto a la aplicación de tecnologías de teledetección, puesto que el uso de Landsat viene a ser el favorito por el tipo de imágenes que proporciona, así como por la aplicación de bandas en las mismas. La variación de los índices espectrales se da a lo largo de los años, incluso sin la necesidad de que surjan cambios abruptos por incendios forestales, puesto que muchas veces se ha evidenciado que la variación de NDVI se puede deber puntualmente a los cambios por el calentamiento global o por cambios antropogénicos, Por otro lado directamente el dNBR no es considerado solamente para medir la gravedad de incendios, sino que también para medir la productividad de la cobertura vegetal. Así mismo los intervalos de tiempo son necesarios para una mejor comprensión de los efectos de los incendios, puesto que permiten dentro de rangos largos de tiempo determinar de mejor manera los cambios en las estructuras físicas de la cobertura, por otro lado, en rangos cortos de tiempo ayudan en la toma de decisiones con respecto a la recuperación de áreas o en el pronóstico y/o comportamiento de los incendios dentro de los ecosistemas.

**Tabla 3:** OE 1: Índices Espectrales

TIPOS DE ÍNDICES ESPECTRALES	SATELITE-SENSOR	RESPUESTA ESPECTRAL	Autores-año
NDVI	LANDSAT TERRA- AQUA (MODIS) SENTINEL-2 ASTER SPOT VEGETATION	Diferencia Normalizada Índice de vegetación, nos permite saber el estado en la que se encuentra una determinada cobertura vegetal.	(Dindaroglu et al., 2021)
SWIR		Espectro de infrarrojo cercano	(Daldegan et al., 2019)
NIR		Infrarrojo cercano, una combinación de banda muy usada en observación remota cuando se observa vegetación, cultivos y pantanos/marismas	(Collins et al., 2020)
NBR		Relación de quemado normalizada, índice diseñado para determinar la severidad del fuego en áreas quemadas	(Dindaroglu et al., 2021)
VARI		Índice Visible Atmosféricamente Resistente	(Collins et al., 2020)
BAI		Índice de Área Quemada	(Collins et al., 2020)
MIRBI		Índice biespectral de infrarrojo medio	(Collins et al., 2020)
CSI		índice de suelo carbonizado	(Collins et al., 2020)

4.2. La efectividad de un análisis multi-temporal para la evaluación de impactos por incendios forestales resulta preciso en este tipo de estudios, puesto que ayuda a comprender de mejor manera el cambio que se da visiblemente en la cobertura vegetal a lo largo del tiempo, más aun si son incendios recurrentes dentro del mismo área.

**Tabla 4: OE2** Efectividad del análisis multitemporal en la variación de la cobertura vegetal por incendios forestales.

Rango de tiempo	Efectividad	Herramientas de teledetección	Autores/Año
Menor igual a 4 años	Los estudios que tomaron este rango de tiempo demuestran en un 60% mayor efectividad determinando la gravedad y clasificando la severidad de incendios dentro de bosques, en un 30% para determinar la respuesta de la vegetación despues de un incendio y en una 10% para ayudar a predecir la recuperación de la vegetación.	Las herramientas utilizadas dentro de estos estudios en su mayoría son imágenes satelitales de LANDSAT 7, 8, TM y ETM+, así como también imágenes de Sentinel 2 y 3, y en menor medida se tiene el uso de LiDAR, MODIS, WorldView 2 y 3, y solo en algunos casos se usaron LiHT, ALOS PALSAR, Campo de espectrometría, DEM (30m), ENVI, Fotografía digital, Sensor IS, Operational Land Imager, SPOT VEGETATION, Tecnología EO, todo esto con el apoyo de ArcGIS	(Loboda et al., 2013)
De 5 a 10 años	Su efectividad se demuestra en la evaluación del daño posterior a un incendio, asi mismo en menor medida determina la recuperación de la vegetación a largo plazo en un area quemada	Combina diversas herramientas de Teledeteccion tales como LANDSAT TM, ASTER Global Operational y Tecnología EO	(Ireland & Petropoulos , 2015)

Rango de tiempo	Efectividad	Herramientas de teledetección	Autores/Año
De 10 a 30 años	Demuestra su efectividad al 100% para el monitoreo de la productividad de los ecosistemas, así como para determinar y evaluar la recuperación de los ecosistemas pre y post incendio.	En la mayoría de estudios estos destacan el uso de imágenes satelitales de LANDSAT y MODIS y se usan con poca frecuencia información de sensores TERRA, Sentinel, WorldView, ENVI, y por ultimo existe poco uso de herramientas tales como Algoritmo BFAST, AQUA, EarthExploret, LIDAR y MESMA	(Sannigrahi et al., 2020)
Mas de 30 años	Su efectividad se demuestra al 100% en la identificación y estimación de patrones espaciotemporales del fuego en la cobertura vegetal.	Se tiene el mayor uso de imágenes satelitales de LANDSAT, complementando con el uso de Google Earth Enginer y Base de datos Raster	(Prävālie et al., 2022)

El siguiente grafico muestra los diferentes rangos de tiempo que se han tomado en los estudios, demostrando que existen un mayor número de estudios que toman rangos de tiempo entre 10 a 30 años y solo 1 estudio que tomó el rango de entre 5 a 10 años, esto mismo ayudara a determinar la efectividad del uso de estudios multitemporales mas adelante de acuerdo al objetivo de cada uno.

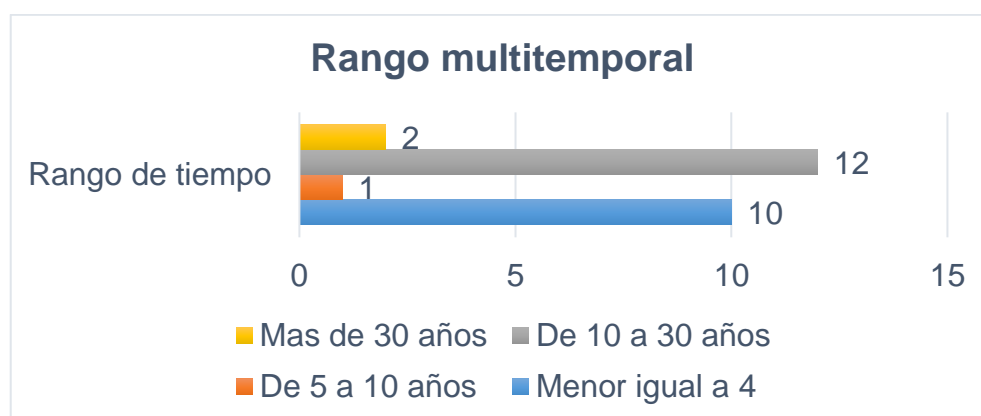


Figura 8 Rango Multitemporal

El siguiente gráfico muestra el tipo de efectividad que se tiene dentro de un rango de tiempo menor a 4 años, demostrando así que este rango de tiempo es más efectivo para predecir la recuperación de la vegetación.

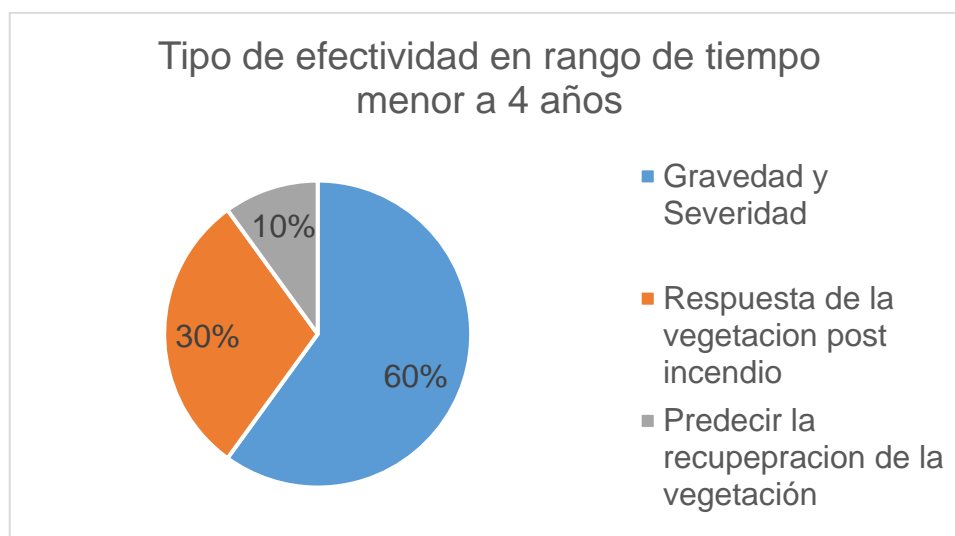


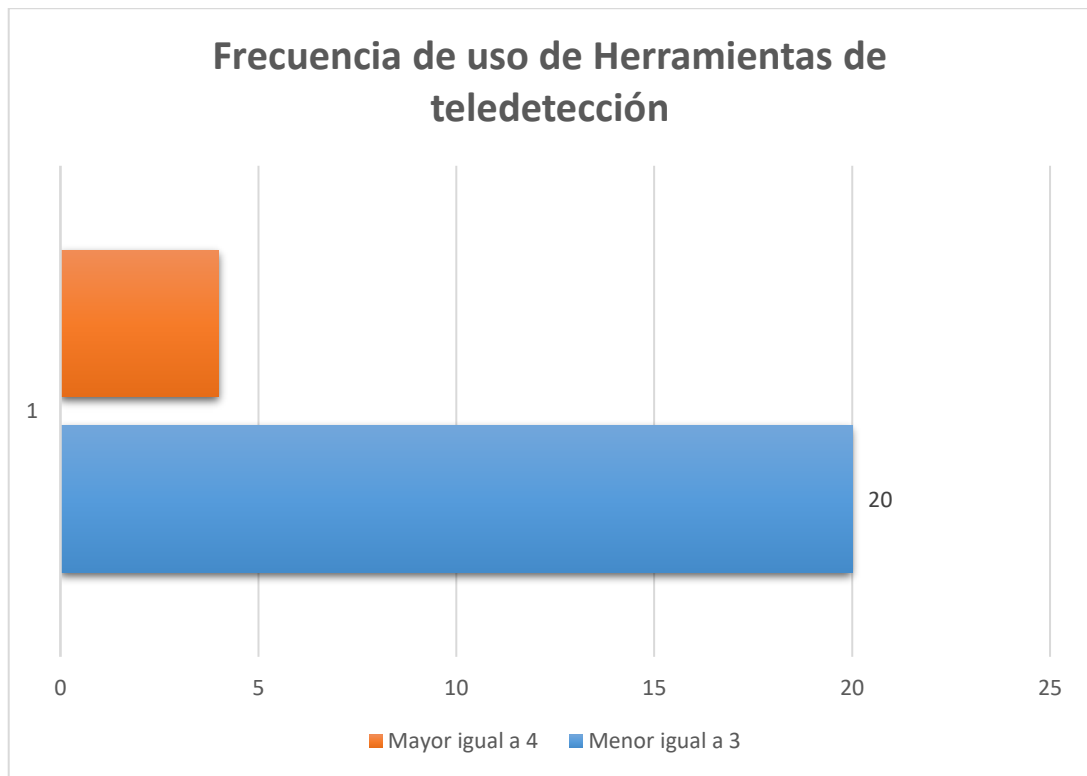
Figura 8 Rango Multitemporal

Tabla 5: Herramientas de Teledetección.

Tipo de herramienta	Frecuencia de uso		
ASTER Global Operational	1	Menor igual a 3	20
Algoritmo BFAST	1		
ALOS PALSAR	1		
AQUA	1		
Base de datos Raster	1		
Campo espectrometría	1		
DEM(30m)	1		
EarthExplorer	1		
Fotografía digital	1		
Google Earth Enginer	1		
MESMA	1		
Operational Land Imager	1		
Sensor IS	1		
SPOT VEGETATION	1		
G-LiHT de NASA	2		
ARCGIS	2		
sensores de satélite TERRA	2		
Tecnología EO	2		
ENVI	3		
LiDAR	3		
WorldView 2 y 3	4	Mayor igual a 4	4
Sentinel 2 y 3	6		
MODIS	11		
LANDSAT 5 TM, 7TM+, 8, 7, OLI y ETM+	26		



El siguiente gráfico muestra la frecuencia de uso de las herramientas de teledetección en los estudios revisados, mostrando así que el más usado es LANDSAT, demostrando este su potencial en el desarrollo de estudios de vegetación, ayudando también en la eficiencia multitemporal de cada estudio.



*Figura 10 Frecuencia de Uso de Herramientas de Teledetección*

4.3. Existen muchas variaciones en cuanto a la dinámica de adaptación, esto dependiendo de la zona en donde se encuentra el área de estudio, las condiciones climáticas son las que principalmente van relacionadas a la dinámica de adaptación, la resiliencia de la cobertura vegetal es la que principalmente ayudara a determinar la recuperación pronta de la cobertura, así mismo estos se ven diferenciados por el tipo de ecosistema y topografía del lugar de estudio.

**Tabla 6:** OE 3 Dinámica de adaptación de la cobertura vegetal después de un incendio.

DINÁMICA DE ADAPTACIÓN	PROCESO	TIPO DE COBERTURA(ECOSISTEMA)	INFLUENCIA DE DATOS METEOROLOGICOS	AUTORES-AÑO
Recuperación baja	Las tasas de recuperación espectral posteriores al incendio no son fijas a lo largo del tiempo.	Matorrales de salvia, Escudo Boreal y Escudo de Taiga, Canada.	En este tipo de estudios no se encuentra influenciado los datos meteorologicos.	(Frazier et al., 2018)
	Muestra la disminución en el verdor de la vegetación, en los tipos de vegetación	Áreas boscosas boreales, Parque Nacional Channel Islands. (Sur de California)	En este tipo de estudios no se encuentra influenciado los datos meteorologicos.	(Gillespie et al., 2018)
	La cobertura de dosel estimada fue del 47% antes del incendio y del 30% después del incendio.	Una gran variedad de bosques tipos, con especies de árboles dominantes incluyendo el pino ponderosa (Pinus ponderosa), pino torcido (Pinus contorta), cicuta de montaña (Tsuga mertensiana) y gran abeto (Abies grandis), Montañas Cascade en el Bosque Nacional Deschutes	En este tipo de estudios no se encuentra influenciado los datos meteorologicos.	(McCarley et al., 2017)

DINÁMICA DE ADAPTACIÓN	PROCESO	TIPO DE COBERTURA (ECOSISTEMA)	INFLUENCIA DE DATOS METEOROLÓGICOS	AUTORES-AÑO
Recuperación Media	Recuperación de la cobertura vegetal con diferencias regionales	Bosques de Dosel, Rumania	En este tipo de estudios no se encuentra influenciado los datos meteorológicos.	(Právělie et al., 2022)
	El índice de recuperación de la vegetación, mostró que el 34% del parque se recuperó por completo a las condiciones previas al incendio, mientras que el 61% y 5% se recuperaron en gran parte y ligeramente respectivamente.	Golden Gate Highlands National Park, ubicado en Free State, Sudáfrica	Un clima seco y soleado de junio a agosto con lluvias, granizo y tormentas eléctricas entre octubre y abril y nieve en invierno.	(Adagbasa et al., 2020)
Recuperación Alta	Recuperación de la cobertura vegetal pos incendio mucho mayor	Ecosistema de humedales y matorrales mediterráneos, Reserva Natural de 1100 ha, sur de Italia.	Fuerte estacionalidad propia de los climas de tipo mediterráneo, con condiciones meteorológicas veranos estables e inviernos inestables	(Semeraro et al., 2019)
	Existe mayor resiliencia de la cobertura en zonas de alta recurrencia de incendios o de mayor gravedad	Bosque de Pinus zona Mediterránea. España	Condiciones climáticas corresponden a un área de transición mediterránea	(Fernández-Guisuraga et al., 2021)
	Con mayor recuperación post incendio en rodales.	Sotobosque dominada por Pinos, Nueva York		(Meng et al., 2018)

DINÁMICA DE ADAPTACIÓN	PROCESO	TIPO DE COBERTURA (ECOSISTEMA)	INFLUENCIA DE DATOS METEOROLÓGICOS	AUTORES-AÑO
	la mejora en la salud de la vegetación se observó principalmente en las laderas orientadas al norte y menos pronunciadas	20 km <sup>2</sup> de bosque cerca del pueblo de Evrychou ubicado a 15 km del Monte Olimpo, Chipre.	La recuperación más exuberante se da en las laderas orientadas al norte y donde las pendientes son menos empinadas, ya que las laderas orientadas al sur reciben más insolación, lo que conduce a tasas de evapotranspiración más altas y las pendientes más empinadas tienen suelos menos profundos y tasas más altas de escorrentía de agua.	(Evangelides & Nobajas, 2020)
	Las tasas de rebrote parecen ser algo más altas en las laderas orientadas al norte en comparación con las del sur.	Parque de la Montaña Okanagan, ubicado en las Ecozonas de la Cordillera Montana del oeste de Canadá	El terreno va desde ejemplos de zonas marinas subdesarrolladas páramo costero y semidesértico en elevaciones más bajas a profundamente canales de agua de deshielo incisos, afloramientos rocosos y el pico de 1579 m de Montaña Okanagan en las elevaciones más altas.	(Ireland & Petropoulos, 2015)

DINÁMICA DE ADAPTACIÓN	PROCESO	TIPO DE COBERTURA (ECOSISTEMA)	INFLUENCIA DE DATOS METEOROLÓGICOS	AUTORES-AÑO
	dentro de la zona previamente quemada, están prevaleciendo diferentes dinámicas de regeneración, con una dinámica más fuerte en la regeneración, particularmente en el centro y oeste de la región afectada por el fuego en comparación con el resto del área de la cicatriz de la quemadura.	La región está cubierta principalmente por Abeto griego (Abies cephalonica) y pino carrasco (Pinus halepensis) bosques en las laderas por debajo de los 1000 m de altitud, pastos y arbustos dominan por encima de los 1000 m, y por debajo de los 300 m las tierras de cultivo	Monte mediterranea, Grecia.	(Petropoulos et al., 2014)

A continuación, recopilamos la síntesis de datos que nos brindará un análisis en base a la información brindada en los resultados descritos a nivel específico, los cuales muestran la diferencia en cada resultado en base a su óptima respuesta.

**Tabla 7:** Análisis de la variación de las respuestas espectrales de la cobertura vegetal por incendios a nivel multitemporal.

SATELITE	ÍNDICE ESPECTRAL	Rango Multitemporal		Dinámica Vegetal	AUTORES-AÑO
LANDSAT TERRA-AQUA (MODIS) SENTINEL-2 ASTER SPOT VEGETATION	NDVI SWIR NIR NBR VARI BAI MIRBI	<4años	Estudios de este período muestran una efectividad 60% mayor en la determinación y clasificación de la severidad de los incendios forestales.	Se ha descubierto que las propiedades morfométricas y del suelo, así como el entorno ecológico, son importantes para comprender los impactos de los incendios forestales y su recuperación temprana o tardía.	(Loboda et al., 2013) (Dindaroglu et al., 2021)
		5 a 10 años	Determina, en menor medida, la recuperación a largo plazo de la vegetación en las zonas quemadas.	La tasa de recuperación espectral posterior a la actividad en un incendio no se fija con el tiempo y varía según la ubicación geográfica	(Sannigrahi et al., 2020) (Frazier et al., 2018) (Dindaroglu et al., 2021)

		10 a 30 años	Ha demostrado una eficacia del 100 % en el seguimiento de la productividad de los ecosistemas y en la determinación y evaluación de la recuperación de los ecosistemas antes y después de un incendio	Recuperación significativa de la cubierta vegetal tras el incendio	(Dindaroglu et al., 2021)
		>30 años	Es 100% efectivo para identificar y estimar patrones espacio-temporales de incendios en la cobertura vegetal.	Dentro de la zona previamente quemada, existen diferentes dinámicas de regeneración donde las dinámicas de regeneración son más fuertes.	(Prävălie et al., 2022) (Petropoulos et al., 2014) (Dindaroglu et al., 2021)

## V. CONCLUSIONES

1. En base al análisis cualitativo que se desarrolló, en la mayoría de estudios se demuestra que existe una amplia variación en las respuestas espectrales de la cobertura vegetal pre y post incendio puesto que los mismos tienen una mayor capacidad de respuesta específica al objetivo de estudio en relación al tiempo determinado y la dinámica de la vegetación.
2. Los principales índices espectrales identificados en la investigación fueron en NDVI, SWIR, NIR, NBR, VARI, BAI y MIRBI los cuales en el rango de sus resultados de variación están sujetos a brindar respuestas del estado en la que se encuentra la cobertura vegetal, teniendo así la relación directa del factor de incendio y perturbación del ecosistema.
3. Se determina que existe una mayor efectividad para precisar las respuestas espectrales cuando el rango de tiempo de un estudio es mayor para el análisis y operabilidad de los datos debido a que en los sistemas de información geográfica se permite entender de mejor manera los cambios en la variación de la cobertura vegetal, permitiendo a su vez entender los impactos que tienen los incendios antes, durante y después de lo ocurrido.
4. Se identificó que la dinámica de adaptación de la cobertura vegetal se ve condicionada por factores zonales del ecosistema como la topografía, el clima, la temperatura, la precipitación y el tipo de especie vegetal en cada zona de estudio a nivel estacional ya que influyen directamente en la recuperación del entorno, mostrando la necesidad de hacer un monitoreo constante a estas áreas afectadas para futuras gestiones de recuperación.



## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda que los tomadores de decisiones y/o responsables de la ejecución de proyectos en temas de incendios forestales puedan considerar este tipo de estudios tomándolos como base para el uso de herramientas como la teledetección, que ayudan a un análisis más profundo ante este tipo de perturbaciones al ecosistema, debido a que esta información proporciona mayores información acerca de la relación de la cobertura vegetal con los sistemas de información geográfica a gran escala y así se tome una mejor decisión que sean más eficaces.
2. Se recomienda darle una mayor importancia a los estudios de la variación de índices espectrales en la cobertura vegetal pre y post incendio forestal, puesto que estos requieren de un monitoreo constante para poder comprender que la alteración de los ecosistemas está altamente ligados a cambios de la temperatura y clima que son parte esencial del cambio climático, y así poder evitar futuros impactos que podrían considerarse irreversibles a largo plazo.

## REFERENCIAS

1. Adagbasa, E. G., Adelabu, S. A., & Okello, T. W. (2020). Development of post-fire vegetation response-ability model in grassland mountainous ecosystem using GIS and remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 173–183. <https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2020.04.006>
2. Arias A., H. (2015). *Introducción al software y procesamiento de imágenes MASTER*.
3. Berveglieri, A., Imai, N. N., Christovam, L. E., Galo, M. L. B. T., Tommaselli, A. M. G., & Honkavaara, E. (2021). Analysis of trends and changes in the successional trajectories of tropical forest using the Landsat NDVI time series. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 24, 100622. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2021.100622>
4. CASADY, G. M., VAN LEEUWEN, W. J., & MARSH, S. E. (2009). Evaluating post-wildfire vegetation regeneration as a response to multiple environmental determinants. *Environmental Modeling & Assessment*, 15(5), 295–307.
5. Chuvieco S., E. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial - Tercera edición*. 3.
6. Collins, L., McCarthy, G., Mellor, A., Newell, G., & Smith, L. (2020). Training data requirements for fire severity mapping using Landsat imagery and random forest. *Remote Sensing of Environment*, 245, 111839. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2020.111839>
7. CONAFOR. (2010). *Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores*.
8. CONCYTEC. (2021). *REGLAMENTO DE CALIFICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y REGISTRO DE LOS INVESTIGADORES DEL SISTEMA NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA-REGLAMENTO RENACYT TÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES*.
9. Daldegan, G. A., Roberts, D. A., & Ribeiro, F. de F. (2019). Spectral mixture analysis in Google Earth Engine to model and delineate fire scars over a large extent and a long time-series in a rainforest-savanna transition zone. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111340. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2019.111340>

10. Dindaroglu, T., Babur, E., Yakupoglu, T., Rodrigo-Comino, J., & Cerdà, A. (2021). Evaluation of geomorphometric characteristics and soil properties after a wildfire using Sentinel-2 MSI imagery for future fire-safe forest. *Fire Safety Journal*, 122, 103318. <https://doi.org/10.1016/J.FIRESAF.2021.103318>
11. Dixon, D. J., Callow, J. N., Duncan, J. M. A., Setterfield, S. A., & Pauli, N. (2022). Regional-scale fire severity mapping of Eucalyptus forests with the Landsat archive. *Remote Sensing of Environment*, 270, 112863. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2021.112863>
12. Elvira Martín, L. M., & Hernando Lara, C. (1989). *Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Estudio piloto con aplicación a los incendios forestales.*
13. Evangelides, C., & Nobajas, A. (2020). Red-Edge Normalised Difference Vegetation Index (NDVI705) from Sentinel-2 imagery to assess post-fire regeneration. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100283. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2019.100283>
14. Fernández-Guisuraga, J. M., Calvo, L., & Suárez-Seoane, S. (2020). Comparison of pixel unmixing models in the evaluation of post-fire forest resilience based on temporal series of satellite imagery at moderate and very high spatial resolution. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 217–228. <https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2020.05.004>
15. Fernández-Guisuraga, J. M., Verrelst, J., Calvo, L., & Suárez-Seoane, S. (2021). Hybrid inversion of radiative transfer models based on high spatial resolution satellite reflectance data improves fractional vegetation cover retrieval in heterogeneous ecological systems after fire. *Remote Sensing of Environment*, 255, 112304. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2021.112304>
16. Frazier, R. J., Coops, N. C., Wulder, M. A., Hermosilla, T., & White, J. C. (2018). Analyzing spatial and temporal variability in short-term rates of post-fire vegetation return from Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 205, 32–45. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.11.007>
17. Gilabert, M. A., González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). *Acerca de los Índices de Vegetación.*
18. Gillespie, T. W., Ostermann-Kelm, S., Dong, C., Willis, K. S., Okin, G. S., &

- MacDonald, G. M. (2018). Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88, 485–494. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.01.031>
19. Gitelson, A., Rundquist, D., Stark, R., & Grits, U. (2002). Vegetation and Soil Lines in Visible Spectral Space: A Concept and Technique for Remote Estimation of Vegetation Fraction. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 2537–2562.
20. Gouveia, C., DaCamara, C., & Trigo, R. M. (2010). Post-fire vegetation recovery in Portugal based on spot/vegetation data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(4), 673–684.
21. Gutman, G. G. (1991). Vegetation indices from AVHRR: An update and future prospects. *Remote Sensing of Environment*, 35(2–3), 121–136. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90005-Q](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90005-Q)
22. Ireland, G., & Petropoulos, G. P. (2015). Exploring the relationships between post-fire vegetation regeneration dynamics, topography and burn severity: A case study from the Montane Cordillera Ecozones of Western Canada. *Applied Geography*, 56, 232–248. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2014.11.016>
23. João, T., João, G., Bruno, M., & João, H. (2018). Indicator-based assessment of post-fire recovery dynamics using satellite NDVI time-series. *Ecological Indicators*, 89, 199–212. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.02.008>
24. Lhermitte, S., Verbesselt, J., Verstraeten, W. W., Veraverbeke, S., & Coppin, P. (2011). Assessing intra-annual vegetation regrowth after fire using the pixel based regeneration index. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(1), 17–27.
25. Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2004). Remote Sensing and Image Interpretation. *Geographical Journal*.
26. Lipoma, M. L. (2016). Plant community resilience in the face of fire: experimental evidence from a semi-arid shrubland. *Austral Ecology*, 41(5), 501–511.
27. Loboda, T. V., French, N. H. F., Hight-Harf, C., Jenkins, L., & Miller, M. E. (2013). Mapping fire extent and burn severity in Alaskan tussock tundra: An analysis of the spectral response of tundra vegetation to wildland fire.

- Remote Sensing of Environment*, 134, 194–209.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2013.03.003>
28. McCarley, T. R., Kolden, C. A., Vaillant, N. M., Hudak, A. T., Smith, A. M. S., Wing, B. M., Kellogg, B. S., & Kreitler, J. (2017). Multi-temporal LiDAR and Landsat quantification of fire-induced changes to forest structure. *Remote Sensing of Environment*, 191, 419–432.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2016.12.022>
29. Meng, R., Wu, J., Zhao, F., Cook, B. D., Hanavan, R. P., & Serbin, S. P. (2018). Measuring short-term post-fire forest recovery across a burn severity gradient in a mixed pine-oak forest using multi-sensor remote sensing techniques. *Remote Sensing of Environment*, 210, 282–296.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2018.03.019>
30. Muñoz A., P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación*.
31. Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2014). Evolutionary ecology of resprouting and seeding in fire-prone ecosystems. *New Phytologist*, 204(1), 55–65.
32. Petropoulos, G. P., Griffiths, H. M., & Kalivas, D. P. (2014). Quantifying spatial and temporal vegetation recovery dynamics following a wildfire event in a Mediterranean landscape using EO data and GIS. *Applied Geography*, 50, 120–131. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2014.02.006>
33. Prăvălie, R., Sîrodoev, I., Nita, I. A., Patriche, C., Dumitrașcu, M., Roșca, B., Tișcovschi, A., Bandoc, G., Săvulescu, I., Mănoiu, V., & Birsan, M. V. (2022). NDVI-based ecological dynamics of forest vegetation and its relationship to climate change in Romania during 1987–2018. *Ecological Indicators*, 136. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.108629>
34. Qarallah, B., Al-Ajlouni, M., Al-Awasi, A., Alkarmy, M., Al-Qudah, E., Naser, A. B., Al-Assaf, A., Gevaert, C. M., Al Asmar, Y., Belgiu, M., & Othman, Y. A. (2021). Evaluating post-fire recovery of Latroon dry forest using Landsat ETM+, unmanned aerial vehicle and field survey data. *Journal of Arid Environments*, 193, 104587.  
<https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2021.104587>
35. Qin, Y., Xiao, X., Dong, J., Zhou, Y., Wang, J., Doughty, R. B., Chen, Y., Zou, Z., & Moore, B. (2017). Annual dynamics of forest areas in South America during 2007–2010 at 50-m spatial resolution. *Remote Sensing of*

- Environment*, 201, 73–87. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.09.005>
36. Quintana Peña, A. (2006). Metodología de Investigación Científica Cualitativa. In *Tópicos de actualidad*.
37. Ramos, D. A. (2019). *Combinación de Bandas en Imágenes de satélite Landsat y Sentinel*. MappingGIS.
38. Reyes, M. A. (2017). *LA ÉTICA EN LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA*.
39. Sannigrahi, S., Pilla, F., Basu, B., Basu, A. S., Sarkar, K., Chakraborti, S., Joshi, P. K., Zhang, Q., Wang, Y., Bhatt, S., Bhatt, A., Jha, S., Keesstra, S., & Roy, P. S. (2020). Examining the effects of forest fire on terrestrial carbon emission and ecosystem production in India using remote sensing approaches. *Science of The Total Environment*, 725, 138331. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.138331>
40. Semeraro, T., Vacchiano, G., Aretano, R., & Ascoli, D. (2019). Application of vegetation index time series to value fire effect on primary production in a Southern European rare wetland. *Ecological Engineering*, 134, 9–17. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2019.04.004>
41. Serra-Burriel, F., Delicado, P., Prata, A. T., & Cucchiatti, F. M. (2021). Estimating heterogeneous wildfire effects using synthetic controls and satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 265, 112649. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2021.112649>
42. Shvetsov, E. G., Kukavskaya, E. A., Buryak, L. V., & Barret, K. (2019). Assessment of post-fire vegetation recovery in Southern Siberia using remote sensing observations. *Environmental Research Letters*, 14(5).
43. SINIA. (2019). *Pérdida de la cobertura vegetal en ecosistemas costeros y andinos | SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental*.
44. Soria Ruíz, J., Ortiz Solorio, C. A., Islas Gutiérrez, F., Víctor, Y., & Haller, V. (1998). *SITIOS DE OCURRENCIA Y PREDICCIÓN DE RENDIMIENTOS DE MAÍZ A TRAVÉS DE INDICES DE VEGETACIÓN DE IMÁGENES DE SATELITE Occurrence Sites and Estimation of Maize Yields with NDVI from Satellite Images*.
45. Soto, J. (2014). *La Ética de la Investigación en las Ciencias Humanas y Sociales*.
46. Trigg, S., & Flasse, S. (2001). An evaluation of different bi-spectral spaces for

- discriminating burned shrub-savannah. *Remote Sensing*, 22(13), 2641–2647.
47. United Nations. (n.d.). *Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) | UN-SPIDER Knowledge Portal*.
48. Veraverbeke, S., Verstraeten, W. W., Lhermitte, S., Van De Kerchove, R., & Goossens, R. (2012). Assessment of post-fire changes in land surface temperature and surface albedo, and their relation with fireburn severity using multitemporal MODIS imagery. *International Journal of Wildland Fire*, 21(3), 243–256. <https://doi.org/10.1071/WF10075>
49. Wang, C., Wang, A., Guo, D., Li, H., & Zang, S. (2022). Off-peak NDVI correction to reconstruct Landsat time series for post-fire recovery in high-latitude forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 107. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2022.102704>
50. Wang, F., Wang, X., Zhao, Y., & Yang, Z. (2014). Temporal variations of NDVI and correlations between NDVI and hydro-climatological variables at Lake Baiyangdian, China. *International Journal of Biometeorology*, 58, 1531–1543.
51. Zhao, H., Zhang, Z., Ying, H., Chen, J., Zhen, S., Wang, X., & Shan, Y. (2021). The spatial patterns of climate-fire relationships on the Mongolian Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 308–309. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108549>

## ANEXOS.

**TABLA 8:** Matriz de operacionalización de categoría (Cualitativo)

Categoría de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Sub categorías	Indicadores	Escala de medición
Índices espectrales	Son un grupo de operaciones algebraicas efectuadas sobre valores numéricos dentro de los píxeles, haciendo uso y combinación de 2 o más bandas siempre perteneciendo a la misma escena. En este caso indican el estado de la vegetación. (Muñoz A., 2013)	Su aplicación ayuda a determinar el estado de la vegetación a través de una combinación de bandas, esto según al tipo de sensor a utilizar.	NDVI	Aumento o disminución del índice espectral	Nominal
			dNBR		
Rango multitemporal	El rango multitemporal viene a ser el intervalo de tiempo en el que un estudio se basa para entender un fenómeno o impacto, en este caso a la cobertura vegetal	Se da mediante el análisis de imágenes satelitales, tomando diferentes intervalos de tiempos, estas imágenes son procesadas por el uso complementario del ArcGIS	Imágenes satelitales	-	Ordinal
			Rangos de tiempo	Cantidad de años	
Dinámica de adaptación	Se basa en la capacidad de respuesta de la cobertura ante condiciones cambiantes por diversos factores.	Para evaluar la dinámica de adaptación de la cobertura vegetal, se tiene que tomar en cuenta el estado de la misma, ante, durante y después del incendio, así como se tiene que evaluar la severidad y gravedad del incendio dentro del área de estudio.	Adaptación de la cobertura vegetal	Resiliencia de la cobertura vegetal	Ordinal





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Revisión Sistemática: Análisis Multitemporal en la Variación Espectral sobre el Cambio de la Cobertura Vegetal por Incendios.", cuyos autores son CUSI ARQUE MARIELA BASILIA, SUTTA CHOQUEPATA ALEXANDRA ABIGAIL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 07 de Diciembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO <b>DNI:</b> 10473562 <b>ORCID:</b> 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 26-12- 2022 12:38:15

Código documento Trilce: TRI - 0478959