

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**  
**SEDE JAÉN**



**EVALUACIÓN Y MAPEADO DE LA SEVERIDAD EN DOS INCENDIOS  
FORESTALES EN LA PROVINCIA DE SAN IGNACIO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO FORESTAL**

**Presentado por el bachiller:**

**ALMITES SANTOS MORENO**

**Asesor:**

**M. Sc. Ing. Germán Pérez Hurtado**

**JAÉN -PERÚ**


**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:  
Almites Santos Moreno  
DNI: 48464011  
Escuela Profesional/Unidad UNC:  
Ingeniería Forestal
2. Asesor:  
Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado Facultad/Unidad UNC:  
Ingeniería Forestal
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller     Título profesional     Segunda especialidad  
 Maestro     Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis     Trabajo de investigación     Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:  
EVALUACIÓN Y MAPEADO DE LA SEVERIDAD EN DOS INCENDIOS FORESTALES EN LA  
PROVINCIA DE SAN IGNACIO
6. Fecha de evaluación: 31/05/2024
7. Software antiplagio:  TURNITIN     URKUND (ORIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 23 %
9. Código Documento: oid: 3117:358536763
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 06/06/2024

*Firma y/o Sello  
Emisor Constancia*



Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado  
DNI: 27735077

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
Fundada por Ley Nº 14015 del 13 de febrero de 1,962  
"Norte de la Universidad Peruana"  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**  
**FILIAL JAÉN**  
Bolívar Nº 1342 - Plaza de Armas  
JAÉN - PERÚ



### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, el día **primero** del mes de **marzo** del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el **Ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal- Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N°009- 2024-FCA-UNC , de fecha 15 de enero del 2024, con el objeto, de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: **"EVALUACIÓN Y MAPEADO DE LA SEVERIDAD EN DOS INCENDIOS FORESTALES EN LA PROVINCIA DE SAN IGNACIO"**, ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales, **Don ALMITES SANTOS MORENO**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **diecinueve** horas y **cero** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **quince (15)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **veinte** horas y **cuarenta y tres** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 01 de marzo de 2024.

Dr. Segundo Primitivo Vaca Marquina  
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre de los Ríos  
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo  
VOCAL

Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Dedicado en primer lugar a Dios por regalarme un hermoso amanecer día a día y guiarme por el camino del bien para cumplir con mis objetivos.

A mi padre Alejandro, que desde lo más alto del cielo me protege y me guía por el sendero correcto.

A mi madre Nicolasa, a mis hermanos Sergio, Carmen, Santos y toda mi familia por el apoyo incondicional, compañía y amor fraterno que me han brindado.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme dado la fortaleza para poder sobrellevar de todos los obstáculos que se han presentado durante y después de mi época universitaria.

A mi familia por ser todo lo que una persona necesita para seguir adelante con nuestros objetivos y metas de vida.

A todos los docentes universitarios de mi alma mater, que fueron parte de mi formación profesional.

A mi asesor de tesis Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado, a la ing. Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga por conocimientos brindados que ayudaron hacer realidad este trabajo de investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| DEDICATORIA .....  | iv |
| AGRADECIMIENTO .....   | v  |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....  | vi |
| RESUMEN .....  | x  |
| ABSTRACT .....   | xi |
| CAPITULO I .....   | 12 |
| INTRODUCCIÓN .....   | 12 |
| CAPITULO II.....   | 15 |
| REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....  | 15 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación.....                                     | 15 |
| 2.2. Bases teóricas .....  | 18 |
| 2.2.1. <i>Incendios forestales</i> .....                                       | 18 |
| 2.2.2. <i>Factores que originan el triángulo del fuego</i> .....               | 19 |
| 2.2.3. <i>Tipos de incendios forestales</i> .....                              | 19 |
| 2.2.4. <i>Severidad de incendios</i> .....                                     | 20 |
| 2.2.5. <i>Evaluación de la severidad por incendios forestales</i> .....        | 21 |
| 2.2.6. <i>Evaluación de la severidad de incendios en campo</i> .....           | 22 |
| 2.2.7. <i>Evaluación de la severidad a través de índices espectrales</i> ..... | 25 |
| 2.2.8. <i>Índice de áreas quemadas NBRI</i> .....                              | 26 |
| 2.2.9. <i>Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)</i> .....      | 26 |
| 2.2.10. <i>Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)</i> .....             | 26 |
| 2.2.11. <i>Sentinel 2</i> .....  | 27 |
| 2.3. Definición de términos básicos .....                                      | 27 |

|  |    |
|--|----|
| CAPITULO III.....  | 29 |
| MARCO METODOLÓGICO .....   | 29 |
| 3.1. Localización .....  | 29 |
| 3.2. Tipo y diseño de investigación.....   | 31 |
| 3.2.1. <i>Matriz de operacionalización de variables</i> .....                                      | 32 |
| 3.3. Población, muestra y unidad de análisis.....  | 32 |
| 3.3.1. <i>Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de información</i> .....                 | 33 |
| 3.3.2. <i>Técnicas de procesamiento y análisis de datos</i> .....                                  | 33 |
| 3.3.3. <i>Aspectos éticos</i> .....  | 34 |
| 3.4. Materiales y procedimiento .....  | 34 |
| 3.4.1. <i>Procedimiento</i> .....  | 34 |
| CAPÍTULO IV .....  | 37 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....   | 37 |
| 4.1. Resultados .....  | 37 |
| 4.1.1. <i>Evaluación y mapeo de dos incendios forestales en la provincia de San Ignacio</i> ... 37 |    |
| 4.1.2. <i>Evaluación de la severidad de incendios con Normalized Burn Ratio (NBR)</i> .....        | 38 |
| 4.2. Discusión .....   | 46 |
| CAPÍTULO V.....  | 48 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....   | 48 |
| 5.1. Conclusiones .....  | 48 |
| 5.2. Recomendaciones.....  | 48 |
| CAPITULO VI .....  | 50 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 50 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Índices espectrales calculados para estimar la severidad por incendios y otros.    | 22 |
| Tabla 2. Niveles de severidad del fuego en el suelo e indicadores de cambio en la cubierta. | 24 |
| Tabla 3. Niveles de severidad por incendios en la estructura horizontal de la vegetación.   | 25 |
| Tabla 4. Descripción de la ubicación de los incendios en estudio                            | 38 |
| Tabla 5. Área por cada nivel de severidad del incendio N° 1                                 | 41 |
| Tabla 6. Área por cada nivel de severidad del incendio N° 2                                 | 44 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de ubicación del ámbito de estudio .....                                 | 29 |
| Figura 2. Diseño de muestreo para la severidad en campo .....                           | 36 |
| Figura 3. Ubicación de los incendios de evaluación .....                                | 37 |
| Figura 4. Análisis de severidad de incendio N° 1 .....                                  | 39 |
| Figura 5. Mapa de severidad del incendio N° 1 .....                                     | 40 |
| Figura 6. Análisis de severidad de incendio N° 2 .....                                  | 42 |
| Figura 7. Mapa de severidad de Incendio N° 2 .....                                      | 43 |
| Figura 8. Mapa de comparación de la severidad de los incendios forestales identificados | 45 |

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la severidad de dos incendios forestales en el ámbito de la provincia de San Ignacio, región Cajamarca, Perú, para lo cual se desarrolló una metodología de tipo cualitativa-aplicada y de diseño no experimental, para la ejecución se emplearon imágenes del satélite Sentinel 2 del año 2019 y 2021 con lo cual se identificaron dos incendios forestales en el área de estudio, para el análisis de la severidad se empleó el índice Normalized burn ratio (NBR). Los resultados obtenidos de esta investigación indican que los incendios evaluados en el estudio definen que el incendio N° 1 tuvo una severidad que varía de -0.33 a 0.89 de índice NBR y el incendio N° 2 tuvo una severidad que varía de -0.13 a 0.6049 de índice NBR lo cual indica que el incendio N° 1 es el que tuvo mayor severidad en el área de estudio, a partir de lo cual se concluye que la clase de severidad que predominó en ambos incendios es la clase severidad moderada – baja.

**Palabras clave:** Severidad, Área quemada, Incendio Forestal.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to determine the severity of two forest fires in the San Ignacio province, Cajamarca region, Peru, for which a qualitative-applied methodology and non-experimental design was developed, for the development images from the sentinel 2 satellite of the year 2019 and 2021 were used, with which two forest fires were identified in the study area, for the severity analysis the Normalized Burned Area Index (NBR) was used. The results obtained in this investigation indicate that the fires evaluated in this study could be verified that Fire No. 1 had a severity that varied from -0.33 to 0.89 of the NBR index and Fire No. 2 had a severity that varied from -0.13 to 0.6049 NBR index, which indicates that fire No. 1 is the one with the greatest severity in the study area, from which it is concluded that the severity class that prevailed in both fires is the moderate severity class - low.

**Keywords:** Severity, Burned area, Forest Fire.

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Según la FAO (2010, p. 25), señala que el continente Sudamericano entre los intervalos de los años 2000 y 2010 tuvo un incremento de la mayor cantidad de pérdidas de bosques (alrededor de 4 millones de has por año), entre ellos primarios, secundarios, plantaciones y otros, dentro de los principales causantes de esta pérdida de bosques se tiene a los incendios forestales que vienen siendo uno de los problemas ecosistémicos más grandes que se desarrollan en los últimos años, el causante de los incendios forestales es el fuego que está conformado por grupos de partículas ardientes del elemento combustible, tienen la funcionalidad de transmitir luz y calor los cuales se producen mediante la reacción química, por tanto, las características que posee son las llamas que emite la visibilidad de luz y el humo (Rodríguez-Trejo, et al., 2020, p. 641-652).

Según Manta y León (2004, p. 179 - 184), manifiestan que los incendios forestales ocasionan impactos fuertes en los recursos naturales como en la humanidad, estos han producido muchos efectos negativos en los diversos sectores de la sociedad y en los ecosistemas de nuestro país. Los montos de las pérdidas por los incendios forestales no han podido determinarse a cabalidad por la falta de estadísticas exactas y por pérdidas que son muy complejas de valorizarlas económicamente, también señala que son muy pocas las instituciones que tienen interés en esta problemática.

En nuestro país los incendios forestales tienen importancia alta y son de preocupación ya que como menciona Benavides (2021, p. 1) la cobertura vegetal y la biodiversidad que alberga el Perú tienen como amenaza permanente a los incendios forestales, los cuales tienen una recurrencia cada vez mayor en el territorio peruano y han ido ocasionando efectos adversos en los diferentes ecosistemas del país. De acuerdo con el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) los incendios han ocasionado la afectación de 198 000 hectáreas de bosque solo en el 2019; por su parte, el CENEPRED (2018), de acuerdo a un estudio de caracterización de incendios forestales, señala que el 23 % del territorio peruano se encuentra en niveles de peligro alto y muy alto por incendios forestales. También señala que los departamentos con muy alto peligro son Amazonas, Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, La libertad, Lambayeque, Lima, Pasco, Piura y Puno, las poblaciones con mayor cantidad de población que están establecidos en riesgo muy alto a los incendios son: Cusco

(81685 hab.), Pasco (32654 hab.), Puno (27010 hab.), Apurímac (22372 hab.) y Cajamarca (17372 hab.).

Muchos de los incendios que se generan en el Perú son ocasionados por acción humana, como la roza de áreas para la plantación de cultivos agrícolas, por creencia astrológicas de muchos agricultores que tienen por costumbre quemar pastizales para así atraer a la lluvia. Desconociendo así el gran impacto que causan no solo a sus suelos, si no a la población en general; recordando que estos impactos alteran la continuidad de los ciclos biogeoquímicos que son necesarios para la vida.

Por tal motivo es necesario evaluar las diferentes etapas de los incendios forestales, dentro de esto, una de los efectos primordiales a evaluar es la severidad que ocasionan los incendios, según Vega et al. (2013, p. 1596 - 1602), la determinación del nivel de severidad del fuego en un post incendio es decisivo para la planificación de posteriores restauraciones y regeneraciones de vegetales en los lugares afectados, también señala que la vegetación se evalúa en su mayoría de veces por el grado de destrucción y/o sofamado de dicho componente del ecosistema. Por otro lado, también menciona que es frecuente encontrar tres niveles de impacto en el arbolado que son también usados como indicadores de severidad de fuego en este estrato: Zonas que han sufrido un fuego de copa, zonas recorridas por fuego de superficie y zonas sometidas a fuego de superficie.

Por su parte, Fernández (2015, p. 101), señala que la severidad de incendios forestales puede determinar en gran medida la capacidad de los ecosistemas para recuperarse y por ello es la búsqueda de indicadores, que permitan evaluar de forma rápida y simple las zonas afectadas por los incendios que tienen distinta severidad.

Según el diario oficial el peruano (2019), los incendios forestales son una grave amenaza para nuestros ecosistemas frágiles del país, además tienen un alto impacto a nivel económico, social y ambiental. De acuerdo a las estadísticas del INDECI entre el 2012 y el 2016 se registraron 587 incendios en el Perú que afecto a 193146.5 has de cobertura vegetal y cultivos. SERFOR asegura que no solo afecta a los miles de hectáreas de vegetación sino también ocasiona daños severos al suelo, al agua, la fauna y la micro fauna existente e incidiendo en el calentamiento global del planeta (Robertson, 2022, p. 107).

Teniendo en cuenta la necesidad de evaluar la severidad de los incendios forestales en la provincia de San Ignacio se plantea esta investigación a fin de responder al problema

identificado que es: ¿Cuál es la severidad de dos incendios forestales en el ámbito de la provincia de San Ignacio, región Cajamarca, Perú?, para lo cual se planteó el objetivo general: Determinar la severidad de dos incendios forestales en el ámbito de la provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, Perú y los objetivos específicos a) Evaluar y mapear dos incendios forestales en la provincia de San Ignacio y b) Determinar los índices espectrales óptimos para la cuantificación de la severidad de incendios y áreas quemadas mediante imágenes satelitales.

## CAPITULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Martinez et al. (2017) analizaron el grado de severidad del incendio de Un castillo de 1994 (7664 ha), uno de los mayores ocurridos en España en ese año, así como su dinámica de regeneración natural en las dos décadas siguientes (hasta 2014) mediante el empleo de series temporales de imágenes Landsat (sensores TM y ETM+). La estimación de la severidad post-incendio se ha basado en el uso de los modelos de transferencia radiativa PROSPECT y GeoSAIL, siguiendo la metodología propuesta por De Santis y Chuvieco (2009). Por su parte, los procesos de regeneración se han caracterizado mediante el empleo de trayectorias espectrales con el uso del modelo LandTrendr (Landsat-based Detection of Trends in Disturbance and Recovery) (Kennedy et al., 2010). Los resultados de este estudio contribuyen a una mayor comprensión de la dinámica general post-incendio de las áreas forestales y en último término permiten desarrollar estrategias efectivas para una gestión forestal sostenible.

Botella-Martínez y Fernández-Manzo (2017) en su estudio tuvieron como objetivo proporcionar una herramienta rápida y fiable para la evaluación inicial de la severidad post-incendio en este tipo de territorios, a partir de técnicas de teledetección. Para nueve incendios ocurridos en la Comunidad Valenciana, zona típicamente mediterránea, y a partir de imágenes Landsat 8, se han calculado tres índices de severidad: dNBR, RdNBR y RBR. Se han obtenido, para cada índice, los umbrales operativos de clasificación de la severidad en cuatro categorías (no quemado, baja, moderada y alta), validados utilizando como referencia-terreno fotografías aéreas tomadas desde helicóptero. Posteriormente se evaluó el grado en que la severidad post-incendio está influenciada por factores asociados a la vegetación preincendio, utilizando para ello un análisis de varianza. Este análisis sirvió para comparar los tres índices en cuanto a su robustez frente a la influencia de estos factores. Con estos datos, y con el estudio de la precisión de clasificación a través del estadístico Kappa, se ha podido llegar a una proposición de índice más idóneo para el cálculo de la severidad post-incendio en el territorio estudiado, con sus umbrales operativos validados.

Arias y Ortiz (2020) realizaron un estudio con el objetivo de este proyecto es estimar la severidad del incendio forestal del cerro las Mercedes ubicado en Carmen de Apicalá y

Suárez, Tolima. Para esto se utiliza imágenes del satélite Sentinel 2, una imagen previa al incendio (28 de enero del 2019) y otra posterior (18 de febrero del 2020), se hace la corrección atmosférica y se procede aplicar los índices de vegetación diferencial normalizada (NDVI), el Normalized Burn Ratio (NBR) y el diferencial del NBR para extraer valores de la zona de estudio. Como resultado se obtuvo aproximadamente 589 hectáreas que afectó el incendio forestal, generando pérdidas de coberturas vegetales en el ecosistema de bosque seco tropical del cerro las mercedes.

Saldivar y Rojas (2023) en su tesis realizaron un estudio para identificar la severidad de los incendios forestales acontecidos durante los años 2016 al 2021, dentro del distrito de San Jerónimo de la región de Cusco; para tal finalidad, se tomó como ruta metodológica el enfoque cuantitativo, de tipo básico con alcance descriptivo y diseño no experimental, teniendo como población de estudio al distrito de San Jerónimo y como muestra a las áreas forestales del distrito, mismo que cuenta con una extensión total de 95,47 km<sup>2</sup>; para la recolección de datos, se empleó la ficha de observación, así como el sensor Sentinel 2, a través del cual se obtuvieron las imágenes satelitales para analizar las cicatrices de las áreas estudiadas, posteriormente los datos fueron analizados en el programa ArcGis 10.8 mediante las coordenadas UTM dentro de la zona sur 18S, hallando como resultado frente al nivel de severidad de los incendios, que el mayor nivel se presentó en el año 2021 reflejado principalmente en el cuarto incendio, debido a la frecuencia de ocurrencia de incendios en el mismo año. En conclusión, los incendios sucedidos durante los años especificados, favorecieron a que las zonas afectadas presenten nivel moderado-alto de severidad en la calcinación de sus áreas, ya que la regeneración vegetativa fue interrumpida de manera frecuente.

Jiménez y García (2020) en su estudio tuvieron como objetivo determinar la resiliencia de la cobertura vegetal post incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación en el Distrito de Chulucanas, Departamento de Piura, 2019. Se empleó el satélite SENTINEL – 2 del sensor MSI, dichas imágenes corresponden de agosto 2017 hasta diciembre 2019, se emplearon los índices espectrales NDVI, SAVI y NBRI, con los valores promedios mensuales generamos las tendencias de reflectancia de la vegetación del área afectada y testigo, se instaló unidades de muestreo de 0.5 ha en ambas zonas de estudio para determinar su composición florística en diferentes estratos. Los resultados muestran similitud en el comportamiento de las tendencias del NDVI, SAVI y NBRI en el área



afectada, sus valores tienden a elevarse por el aumento de la biomasa vegetal causada por las precipitaciones. La composición florística del área afectada por el incendio forestal presenta similitud con el área testigo en abundancia (354.00 individuos y 468.00 individuos), densidad poblacional (51.00 id/ha y 67.00 ind/ ha) y cobertura (7,016.76 m<sup>2</sup> y 8795.95 m<sup>2</sup>), estos resultados sustentan la similitud en tendencias de ambas zonas de estudio

Cabrera y Ramos (2021) en su tesis evaluaron el impacto de los incendios forestales en la cobertura vegetal de la provincia de San Pablo en el año 2019 aplicando índice de biodiversidad. Se realizó una investigación de tipo analítica descriptiva comparativa, a una muestra de 10 parcelas de la región Jalca de las zonas afectadas. Se utilizó como metodología la guía de inventario de la flora y vegetación desarrollada por el Ministerio de Ambiente. Para su selección se utilizó una técnica de muestreo aleatorio estratificado. Dentro de los resultados más resaltantes se obtuvo la recolección de un total de 32 especies en las zonas naturales y 20 especies en las zonas afectadas por incendios, agrupados en 13 familias, siendo la especie de mayor valor de importancia *Dactylis glomerata* L. con un 68,016 % en las zonas naturales, mientras que en las zonas afectadas fue la *Puya Fastuosa*, con 83,164 %, seguido por *Veronica arvensis* L. con un 36,365 %. También se logró evidenciar que efectivamente las propiedades físicas del terreno se ven afectadas en el proceso de recuperación del ecosistema. Los resultados del índice de Shannon Wiener muestran una diferencia significativa con un p-valor de 0,029 entre las PM-N y las PM-I, mientras que el índice de Margalef no muestra una diferencia significativa entre las medias analizadas con un p- valor de 0,390. Las poblaciones de especies recolectadas mostraron una diferencia significativa tanto en cantidad de individuos colectados p-valor de 0.008 como en diversidad p-valor de 0.008.

Benavides (2021) realizó su estudio en la Granja Porcón, con el objetivo de evaluar mediante imágenes Sentinel – 2 la severidad del incendio forestal suscitado en la Granja Porcón, en el Periodo 2019 – 2021, Cajamarca. Para lo cual se descargó y procesó imágenes satelitales en el software QGIS 3.10, con la finalidad de caracterizar las zonas forestales y calcular los índices espectrales: Índice Normalizado de Área quemada (NBR), Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI). La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, diseño no experimental transversal descriptivo. La población estuvo conformada por el área geográfica del distrito de Cajamarca, como muestra se tomó el área geográfica de la Granja

Porcón, la cual abarca doce mil hectáreas aproximadamente. Obteniéndose como resultado tres clases de zonas forestales: zona de bosque, zona agrícola y zona sin vegetación, evidenciándose una expansión en el área de las dos primeras zonas, a causa de actividades antrópicas entre los años 2019 y 2021. Se concluye que el índice espectral NBR fue el que permitió identificar con mayor precisión el área siniestrada por el incendio forestal en la Granja Porcón.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Incendios forestales**

Según el INDECI (2006, p. 15), por incendios forestales están referidos a la propagación del fuego sobre la vegetación en los bosques primarios y secundarios donde suelen ser áridos y semiáridos. También señala que el fuego es propagado de forma natural y de forma antrópica en la cual los combustibles naturales son afectados y al mismo tiempo ayudan a que este se desarrolle con mayor facilidad siempre y cuando teniendo las condiciones necesarias.

Gómez (2013, p. 404), los incendios forestales forman uno de los principales generadores de los disturbios de los ecosistemas del planeta, donde millones de Has son destruidas en cada año a nivel mundial. Señala también que la excesiva presión de las actividades que desarrollan los humanos y junto con el calentamiento global están incrementando la frecuencia, intensidad y tamaño de los incendios forestales.

FAO (2009, p. 2), Por cada año los incendios forestales afectan unos 350 millones de Has. Con daños que ocasionan a la propiedad a los medios de subsistencia y pérdida de vidas humanas. Los incendios ocurren dentro y fuera de los bosques que afectan a superficies forestales y no forestales, la gestión integrada del fuego reúne todos los tipos de vegetación afectadas por los incendios tales como bosques, malezas, matorrales cultivos, pastizales y otros.

Pausas (2012, p. 15), acuña el termino de incendio forestal que está referido al incendio de origen natural o antrópico ocasionados en los ecosistemas terrestres, que se propagan por la vegetación, ya sean bosques o cualquier otro tipo de vegetación. También señala estos se extienden y propagan sin ningún control sobre la vegetación a comparación de las quemadas prescritas, termino referido a los incendios de manera controlada y

planificada. Los incendios son vistos como un desastre ecológico destruidores de nuestros ecosistemas, siendo estas producidos por los humanos mas no por la naturaleza.

SERNANP (2016, p. 7), establece que un fuego que se ocasiona en bosques naturales o plantados, que se puede producir por las acciones antrópicas o naturales y que se propaga sin ningún control llegando a ocasionar daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales. Los factores principales que influyen en la propagación o producción de incendios es el combustible producido por aceites y resinas de los árboles, clima y topografía.

### ***2.2.2. Factores que originan el triángulo del fuego***

Aguirre (2006, p. 20), considera que, para el inicio de la combustión y propagación de un incendio, se tiene que dar tres elementos básicos, que son el calor, el oxígeno y el combustible. También señala que estos tres elementos suelen estar en cualquier momento o lugar y para que inicie un fuego tiene que los tres estar en las proporciones adecuadas.

### ***2.2.3. Tipos de incendios forestales***

Según Pausas (2012, p. 56), los diferentes tipos de incendios se caracterizan por los distintos estratos de vegetación que son afectados por el fuego, cada uno de ellos es adaptativa a cada tipo de ecosistema en la cual se desarrolla. Por ello de acuerdo a muchos autores hemos podido determinar una clasificación de los siguientes tipos de incendios forestales:

#### **➤ Incendios de superficie**

Este se propaga por medio del estrato herbáceo u hojarasca dependiendo de la densidad arbórea, en este tipo de incendios hay una notable discontinuidad vertical del combustible, de tal manera que las copas de los árboles están discontinuas con el sotobosque, esto ayuda a impedir a que el incendio de superficie se propague a las copas. También nos da a conocer que este tipo de incendios se dan en: Praderas y llanuras, sabanas, en densos pinares y en bosques de coníferas.

#### **➤ Incendio de copas (reemplazamiento)**

En este tipo de incendio, el fuego afecta casi el total de los estratos de la vegetación arbórea y casi toda la parte área de las plantas, suelen ser con mayor intensidad a

comparación de los incendios de superficie, también pueden denominarse en algunas oportunidades como incendios de reemplazamiento, ya que después de un incendio la regeneración reemplaza a la vegetación destruida, cabe mencionar que no todos los incendios son de reemplazamiento debido a que en algunos ecosistemas abundan especies con rebrote epicórmico donde los árboles empiezan a rebrotar de su misma copa. En este tipo de incendio la intensidad y la severidad es mucho más fuerte que los de superficie.

➤ **Incendios de subsuelo**

Aguirre (2006, p. 51) manifiesta que son fuegos que se desarrollan debajo del suelo, quemando raíces, tallos subterráneos, etc. Suelen ser de poca lentitud por el escaso oxígeno que existe no se forman llama y tampoco existe presencia de humo, el control de este tipo de incendios es muy difícil, debido a que son silenciosos y difícil de localizar, pero una vez que salga a la superficie son más agresivos.

**2.2.4. Severidad de incendios**

Montorio et al. (2014, p. 428), indican que la severidad del fuego, también se entiende como el cambio ecológico que se origina a partir del incendio, esta puede ser evaluada desde la observación de los niveles de daños ocasionados, la severidad evalúa el grado de pérdida de materia orgánica que está contenida en la vegetación y el suelo. Al respecto Peñaloza (2006, p. 1), manifiesta que la severidad es caracterizada de diversas maneras en los componentes bióticos y abióticos. También menciona algunas de ellas como el grado de mortalidad arbórea, calor intenso que soporta el suelo desnudo, variación de color de la ceniza y el suelo. En términos generales en forma descriptiva se habla de los cambios físicos, químicos y biológicos ocurridos por causa del fuego. Señala que los causes de agua tanto permanentes como temporales disminuyen a la severidad del fuego, reduciendo su intensidad, debido a las condiciones ambientales húmedas y bajas temperaturas. También señala en su estudio que la severidad del fuego aumenta con la altitud, pero sin embargo las clases extremas no responden a esta consecuencia; así mismo, (CONAF 2017, p. 10), refiere que la severidad de un incendio forestal está definida como el impacto que tiene el fuego sobre un ecosistema determinado, impactos tanto biológicos, físicos y químicos. La severidad es categorizada también como baja, media y alta, donde viene representando la suma de todos los componentes del ecosistema. También se entiende

por severidad del fuego (fire severity), como el grado de alteración que sufre un lugar por un incendio forestal.

#### ***2.2.5. Evaluación de la severidad por incendios forestales***

Montorio et al. (2014), recalcan que la severidad es denominada también como el cambio ecológico producida por el fuego, puede ser evaluada a partir de una observación directa de la cantidad de daños y también puede ser evaluada utilizando las técnicas de la teledetección basadas en cambios de reflectividad en las áreas atacadas por el fuego. Señalan también que la evaluación de la severidad visual en el campo determina la pérdida o descomposición de la materia orgánica presente en el suelo y en la vegetación. Al respecto (Montorio et al. 2014, p. 433), consideran a la teledetección como una técnica de importancia para la evaluación de la severidad, debido a que la combustión ocasiona cambios de reflectividad superficial que están asociados directamente con la eliminación de vegetación, la erosión del suelo, la variación en el contenido de humedad y la aparición de nuevas colonias vegetales. Algunos de los índices más utilizados en la literatura para el mapeado de severidad se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1.***Índices espectrales calculados para estimar la severidad por incendios y otros.*

| Índice espectral | Fórmula  |
|------------------|--|
|                  | Índice de clorofila en el Red- Edge $Banda7$   |
| CIRE1            | $Banda5^{-1}$  |
|                  | Índice de vegetación de diferencia $Banda5 - Banda3$                                       |
| GNDVI            | $\frac{Banda5 - Banda3}{Banda5 + Banda3}$  |
|                  | Índice de calcinación $Banda8 - Banda12$   |
| NBR              | $\frac{Banda8 - Banda12}{Banda8 + Banda12}$  |
|                  | Índice estrecho de calcinación de $Banda8a - Banda12$                                      |
| NBRn             | $\frac{Banda8a - Banda12}{Banda8a + Banda12}$  |
|                  | dNBR   |
| RdNBR            | Índice de calcinación relativizado de $\sqrt{ NBR_{pre}/1,000 }$<br>diferencia normalizada |
|                  | Índice de vegetación de diferencia $Banda8 - Banda4$                                       |
| NDVI             | $\frac{Banda8 - Banda4}{Banda8 + Banda4}$  |
|                  | Índice de vegetación estrecho de $Banda8a - Banda5$  |
| NDVIRE1n         | $\frac{Banda8a - Banda5}{Banda8a + Banda5}$<br>diferencia normalizada en el red-<br>Edge   |
|                  | Índice de agua de diferencia $Banda8 - Banda11$  |
| NDW              | $\frac{Banda8 - Banda11}{Banda8 + Banda11}$  |
| dNBR             | Índice de calcinación de $preincendioNBR-$<br>normalizado derivado $postincendioNBR$       |

Fuente: Adaptado de Flores-Rodríguez et al. (2021, p.6)

**2.2.6. Evaluación de la severidad de incendios en campo**

Delegido et al. (2018, p. 51), consideran que hacer una evaluación en campo del daño que causó la presencia de un incendio es sumamente complejo, por ello se ha propuesto varios métodos de medición en campo, para definir la severidad de los incendios forestales. A nivel de campo, la severidad se evalúa el grado de pérdida o descomposición de la materia orgánica contenida en la vegetación y en el suelo. Algunas investigaciones se basan en medidas específicas como la mortalidad de la vegetación (Larson & Franklin, 2005, p. 154), la proporción de copas consumidas (Vega et al., 2008, p. 18), la altura de la señal del fuego,

el diámetro de las ramas supervivientes (Keeley et al. 2008, p. 34), la profundidad de los efectos de fuego en el suelo (Chafer, 2008, p. 52).

En un estudio realizado por (Gómez-Sánchez et al. 2017, p. 106), evaluaron 44 parcelas del ecosistema al fuego y dentro de ellas 3 no quemadas utilizándolos como prototipo, las parcelas fueron ubicadas siguiendo una metodología de evaluación en campo y elección, en cambio (Vega et al. 2013, p. 52), establecen 4 niveles para la evaluación de la perturbación a causa de los incendios forestales, que se encuentran asociados a alteraciones visuales de la cubierta orgánica y del suelo mineral superficial, la disposición de la ceniza mineral y el grado de carbonización, afectación de las raíces próximas a la superficie del suelo mineral y grado de repelencia al agua del suelo superficial, todas ellas observadas en el campo inmediatamente después del incendio (Tabla 2).

**Tabla 2.***Niveles de severidad del fuego en el suelo e indicadores de cambio en la cubierta.*

| Nivel de Severidad | Cubierta orgánica  | Suelo mineral superficial   |
|--------------------|--|---|
| 1. Muy bajo        | Cubierta muerta del suelo todavía reconocible. Estrato de hojarasca total o parcialmente consumido por el fuego. Estrato de mantillo inferior consumido sólo de manera limitada. | El suelo no presenta cambio de color. Se conserva su estructura y las raíces finas superficiales no se han consumido. La superficie del suelo usualmente presenta repelencia al agua de forma natural (particularmente cuando está seco) que no ha sido alterada por el incendio  |
| 2. Bajo            | Quedan abundantes restos carbonosos de la consunción de la hojarasca y mantillo sobre el suelo mineral intacto. En ocasiones se observan restos de ceniza mineral                | El suelo no presenta cambio de color. Se conserva su estructura y las raíces finas superficiales no se han consumido. La superficie del suelo usualmente presenta repelencia al agua de forma natural (particularmente cuando está seco) que no ha sido alterada por el incendio.   |
| 3. Moderado        | Cobertura del estrato orgánico del suelo completamente consumida. Puede haber una capa de ceniza mineral de espesor variable.  | Suelo desnudo. La materia orgánica del suelo no ha sido consumida y la superficie del suelo permanece intacta tras el fuego. El suelo presenta tonos negros debido a la presencia de carbón depositado. Se conserva su estructura y las raíces finas superficiales pueden estar parcialmente consumidas. El suelo superficial presenta repelencia, generalmente, siendo habitual detectarla justo debajo del nivel superficial. |
| 4. Alto            | Consunción total de la cubierta orgánica del suelo; predomina el color gris y es evidente una deposición abundante de ceniza mineral.  | Suelo desnudo. Consunción total de la materia orgánica del suelo. La pérdida de estructura es muy clara y también la consunción de raicillas. El suelo superficial no presenta repelencia, siendo habitual detectarla en los centímetros inmediatamente inferiores a la superficie, en función de la profundidad hasta la que se observan las alteraciones descritas.   |

Fuente: Vega et al. (2013, p.53)

Según Parson et al. (2010, p. 3), señalan que para evaluar la severidad a nivel de la vegetación consumida por el incendio se categoriza en 4 estratos horizontales (Tabla 3).



**Tabla 3.***Niveles de severidad por incendios en la estructura horizontal de la vegetación.*

| NIVEL DE SEVERIDAD | SUELO ORGÁNICO  | HERBÁCEO   | ARBUSTIVO  | ARBÓREO   |
|--------------------|---|--|--|---|
| <b>Nulo</b>        | Sin quemar  | Sin quemar   | Sin quemar   | Sin quemar  |
| <b>1. Muy bajo</b> | La Materia orgánica (MO) soflamada; el estrato del mantillo y pedazos de madera/hojas apenas sin cambios.   | Follaje soflamado  | Follaje soflamado y aún permanece en las ramas   | Follaje soflamado y aún permanece en las ramas  |
| <b>2. Bajo</b>     | MO de quemada a parcialmente consumida; el estrato del mantillo superior puede estar quemado, pero no sobre toda la capa; la superficie está soflamada donde la MO esta dispersamente quemada y puede extenderse hasta la capa superficial del suelo, pero sin ser visiblemente alterado; la madera residual por aprovechamientos parcialmente quemada; trocería esta soflamada pero no quemada; la madera en descomposición de soflamada a parcialmente quemada. | Rastrojos > 5 cm de diámetro; follaje y ramas pequeñas de especies asociadas están completamente consumidas; algunas partes de las plantas sigan en pie; la base de las plantas no está profundamente quemada, es reconocible. | Follaje y combustible ligero vivo de parcialmente a completamente quemadas; ramas grandes casi intactas; menos del 60 % del estrato arbustivo esta quemado.    | Follaje y ramas pequeñas de parcialmente a completamente quemadas; ramas grandes casi intacto.              |
| <b>3. Moderado</b> | MO de casi a completamente consumida, dejando ceniza; el mantillo esta quemado profundamente pero visiblemente no está alterado; la madera residual casi completamente consumida, la trocería muy quemada; tocones completamente quemados dejando boquetes evidentes en el suelo.   | Rastrojos < 5 cm de altura no están quemados, para otras especies el follaje está completamente consumido, las bases de las plantas están quemadas al ras del suelo con cenizas inmediatamente después del incendio.           | Follaje, ramas y tallos pequeños consumidos; algunas ramas delgadas (0.5 a 1.5 cm) están presentes; usualmente 40 a 80 % del estrato arbustivo esta consumido. | Follaje, ramas y tallos pequeños consumidos; algunas ramas permanecen en el árbol.                          |
| <b>4. Alto</b>     | Capas de MO y mantillo completamente consumidas, con rastros ceniza blanca fina; suelo mineral quemado y visiblemente alterado (rojizo); madera en descomposición completamente consumida, trocería muy quemada.  | Los rastrojos del sistema radicular de la planta no están quemados; para otras especies, todas las partes están consumidas.  | Todas las partes de la planta están consumidas a excepción de tallos > 1.5 cm de diámetro  | Toda la planta esta consumida, dejando rastros de tallos o troncos; todo lo demás se encuentra muy quemado. |

Fuente: Parson et al. (2010, p. 10)

**2.2.7. Evaluación de la severidad a través de índices espectrales**

Vega et al. (2013, p. 51), refieren que en muchos estudios se demuestran la capacidad de los índices espectrales para descubrir los cambios en la vegetación luego de ocurrir un incendio forestal, principalmente en el contenido de la cubierta arbórea y menor cantidad detalles del grado de afectación del suelo como resultado del incendio, para el análisis espectral de las imágenes satelitales se utilizan algoritmos como el Ratio de quema

Normalizado (NBR). Este utiliza bandas de infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR), la NIR refleja en la vegetación viva y va decreciendo cuando detecte menor vegetación en el lugar; en cambio la energía SWIR es reflejada por el suelo desnudo y las piedras. Por ello es que la banda infrarrojo medio será muy alto en áreas pedregosas y con poca vegetación y bajos en zonas con abundante vegetación.

Chuvieco (2009, p. 25), señala que los índices espectrales más utilizados para caracterizar la severidad del fuego se derivan del Normalized Burn Ratio (NBR), debido a que maximiza los cambios de reflectancia en la actividad fotosintética de la vegetación (NIR), así como la humedad en ésta y el suelo (SWIR).

### **2.2.8. Índice de áreas quemadas NBRI**

El NBRI relaciona la banda infrarroja próxima y la banda infrarroja corta, es por ello que es positivo en zonas de alta actividad fotosintética y negativo en zonas sin vegetación. (Montealegre et al., 2017, p. 18). Según (Miller et al. 2007); citado por Guerrero et al. (2017, p. 18), para determinar el índice de vegetación quemada, se da gracias a la obtención de los índices NDVI y luego se procede a una posterior clasificación, por consiguiente, el índice de vegetación quemada es calculado a partir de bandas del infrarrojo próximo (NIR) y el infrarrojo medio (SWIR), para el SENTINEL 2 corresponden a las bandas 8(865 nm) y 12(2190 nm) respectivamente y es definida de la siguiente manera:

$$NBR = [(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)] \times 1000$$

### **2.2.9. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)**

Peña (2019, p. 26), menciona que es el índice más conocido de todos y utilizado para todo tipo de aplicaciones; La razón fundamental es su sencillez de cálculo y de disponer de un rango de variación fijo (entre -1 +1), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes. Existen valores muy bajos de NDVI de orden de 0.1 que están ligadas a áreas rocosas, arenosas o nevadas.

### **2.2.10. Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)**

Según Alvarado et al. (2018, p. 29), es un índice destinado a corregir la influencia ejercida por el suelo, durante los estudios de vegetación a través de bandas espectro magnético, producto de la modificación del NDVI mediante la multiplicación del factor de

ajuste de la cubierta del suelo, este varía de acuerdo a las propiedades del suelo y el índice se expresa de la siguiente manera:

$$SAVI = \frac{(Nir - Red)(1 + L)ac}{Nir + Red + L}$$

Donde:

Nir : infrarrojo cercano

Red: Rojo visible

L: Constante, este depende de la cobertura del suelo.

### 2.2.11. Sentinel 2

Sentinel – 2 es una misión que provee de imágenes satelitales de alta resolución para el monitoreo del planeta tierra diseñada con 2 satélites: Sentinel – 2A y Sentinel – 2B que vuelan en la misma órbita, pero escalonados a 180° ofrecen imágenes con una frecuencia de 5 días. Sentinel – 2 ofrece 13 bandas espectrales: cuatro bandas de 10 m, seis bandas de 20 m y tres bandas de 60 m de resolución. El ancho de franja es de 290 km (Jiménez y García, 2020, p. 29)

### 2.3. Definición de términos básicos

**Intensidad del fuego:** La intensidad del fuego es una medida de la cantidad de calor liberado por un fuego. Existen diversas definiciones y formas de medir la intensidad del fuego. La más común de ellas, para nuestro caso, es la denominada intensidad de fuego de línea. Otras medidas, más complejas, incluyen en el cálculo de la intensidad total valores de intensidad radiante, intensidad de convección, intensidad de reacción, etc. (Moscovich et al. 2014, p. 18).

**Severidad del fuego:** se refiere al grado de cambios ecológicos provocados por los incendios en el medio, siendo este un factor clave para estimar el impacto del fuego en el paisaje, la evaluación de la severidad del fuego se puede medir por índice capaz de estimar múltiples valores de gravedad en la capa de la vegetación (Benavides, 2021, p. 9).

**Restauración ecológica:** Consiste en un proceso de ayuda para la recuperación de área, paisaje, ecosistema dañado o destruido con el propósito de retomar su trayectoria ecológica, mantener la biodiversidad, aumentar la resiliencia y restablecer la funcionalidad del ecosistema (SERFOR, 2018, p. 24).

**Indicadores de riesgo de ocurrencia:** son elementos que permiten el reconocimiento de posibles riesgos de presencia de incendios, dentro de estos riesgos se encuentra la pérdida de vegetación, gases contaminantes que perjudican la salud de la población que habitan en el área afectada, asimismo, estos indicadores muestran las pruebas y causas de origen (Hillayová et al., 2023, p. 2).

**Predicción de ocurrencia:** como una herramienta que contribuye a la extinción y prevención de posibles incendios, con el uso de máquinas vectoriales de soporte y perceptrón multicapa, equipos que permiten detectar en tiempo real los cambios climáticos, así como la medición de severidad de daño que puede quedar en las áreas afectadas (Gao et al., 2022, p. 2).

**Cicatrices de quemadura:** son las señales o rastros que quedaron después de un incendio, o algún suceso de incendio, generalmente son los restos de los meses que permanecen sobre la tierra en forma de cenizas, las cuales se esparcen (Meza et al., 2017, p.)

## CAPITULO III

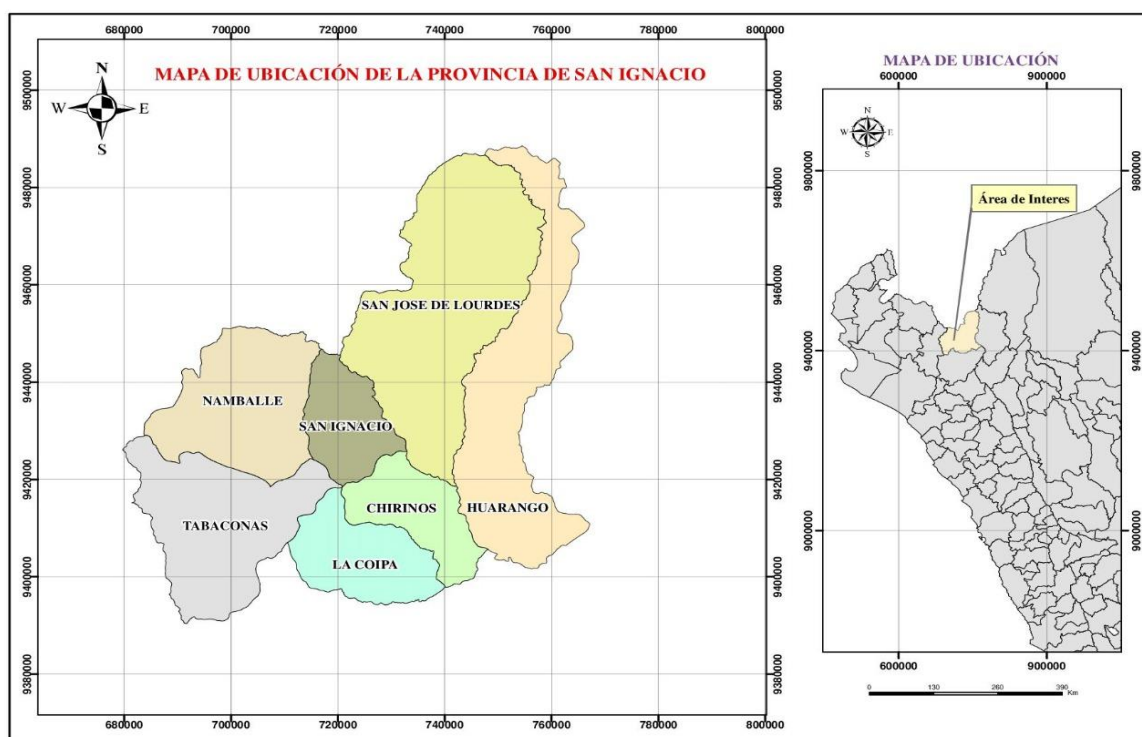
### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Localización

La presente investigación se realizó en el ámbito de la provincia de San Ignacio de la región Cajamarca, esta provincia es una de las 13 provincias de la región de Cajamarca y una de las 196 provincias del Perú, se ubica en los 5° 8' 40" de Latitud Sur y 79° 0' 8" de Longitud Oeste, la parte más baja de la provincia tiene una altitud de 400 msnm y la parte más alta tiene una altitud de 3802 msnm (Figura 1).

**Figura 1**

Mapa de ubicación del ámbito de estudio



#### ➤ Características de la biodiversidad de la provincia de San Ignacio

Según el Mapa ecológico del Perú (1994) basado en el Sistema de Holdridge (1994), el área de estudio pertenece a las zonas de vida bosque seco premontano tropical a bosque muy seco tropical (bs-PT;bms-T); bosque húmedo pre montano tropical (bh-PMT), bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MBT), bosque muy húmedo tropical (bmh-T) (INRENA, 1994, p. 18), los cuales se describen a continuación:

### **Bosque seco Premontano - Tropical (bs-PT) - Bosque muy seco Tropical (bms-T).**

Esta zona transicional se caracteriza por ser la más cálida del área de estudio y se refleja en la cobertura vegetal dominante representado por un monte de tipo sabana, con especies adaptadas en su forma y fisiología para controlar la transpiración. La vegetación está constituida por arbustos y árboles de porte medio con inclusiones de gramíneas y cactáceas entre estas especies tenemos: árboles "sapote" (*Capparis angulata*), faique (*Acacia macracantha*), catahua (*Hura crepitans*), algarrobo (*Prosopis juliflora*), lupuna (*Chorisia integrifolia*); arbustos Papelillo (*Bougainvillea peruviana*), palo verde (*Cercidium praecox*); plantas suculentas (*maguey*); hierbas (*Melochia sp*, *Aporubulus mirabilis*, *Onoseris weberbaueri*) (INRENA, 1994, p. 19).

### **Bosque Húmedo Premontano Tropical (bh-PMT)**

Comprende valles, laderas y colinas medias y altas de los tributarios del río Marañón con un rango altitudinal de 1500 a 2500 msnm; llegando en algunos casos a los 3000 msnm; y muy a menudo se encuentran cubiertas con neblinas. El rango de temperatura va de 24 °C (en los sectores bajos) a 12 °C en los niveles superiores. La cobertura vegetal se caracteriza por presentar un bosque siempre verde y algunas estepas de gramíneas (subparamo) que se intercalan con el bosque, las especies indicadoras son la *Cinchona sp.*, *Clusia sp.*, *Delostoma sp.*, *Podocarpus sp.*, y algunos arbustos como *Bluddeja sp.*, *Lantana sp.*, *Miconia rufescens*, entre otras (INRENA 1994, p. 24).

### **Bosque muy húmedo Montano bajo Tropical (bmh-MBT) y Bosque muy húmedo Tropical (bmh-T).**

Comprenden colinas medias y altas, en estas zonas las lluvias y neblinas están presentes casi todo el año, presentando un rango altitudinal que va de 600 a 3500 msnm. En los niveles altos (+/-Montano bajo) el bosque es de menos altura y cerrado con especies como el ulcumano (*Podocarpus sp.*), palmeras, Musaceae, Marantaceae y helechos arbóreos también se encuentran los géneros *Gynoxys*, *Baccharis*, *Polilepis*, *Buddleja*, *Escallonia*, *Alnus*, entre otras (INRENA 1994, p. 58).

➤ **Características climáticas de la provincia de San Ignacio**

Según SENAMHI (2002), realiza un mapa de clasificación climática utilizando el método de Werren Thornthwaite, donde describe que la provincia de San Ignacio es una zona de clima templado, lluvioso, con lluvias deficiente en invierno, en otoño y en primavera, también en algunas zonas semi seco, cálido, con humedad relativa clasificada como húmeda que oscila entre el 65 y 84 %.

➤ **Características de suelo y relieve de la provincia de San Ignacio**

Poma & Alcántara (2011, p. 19), en un estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca, determinaron que los suelos pertenecientes a la provincia de San Ignacio son de taxonomías o grandes grupos como unidades puras como Entosoles, cambisoles, fluvisoles, regosoles y vertisoles y asociaciones de grupos como el Andosol – Cambisol, Andosol – Regosol, Cambisol – Leptosol, Cambisol – Regosol, Leptosol – Regosol, Regosol – xerosol y Vertisol – Regosol; todas con diferentes características físicas y químicas de suelos que están localizadas en lugares planos a muy fuertemente empinada, con pH de los suelos que oscilan desde 3.5 hasta 8.5 y con drenajes que varían desde bueno hasta excesivo debido a poca profundidad efectiva

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

**Tipo:** La presente investigación es de tipo aplicada ya que tiene como objetivo generar conocimiento con aplicación directa y a mediano plazo en la sociedad o sector productivo (Lozada 2014, p.35), de enfoque cuantitativo ya que los datos recopilados fueron procesados y en adelante interpretados (Hernández et al., 2018), este enfoque es normalmente segmentado para estudios de severidad de incendios forestales (Saldivar y Rojas, 2023; Gonzáles, 2022; Benavides, 2021).

**Diseño:** la investigación es de diseño no experimental ya que no se manipuló la variable de estudio.

### 3.2.1. Matriz de operacionalización de variables

| Variables            | Definición conceptual   | Definición operacional  | Indicador           | Escala de medición |
|----------------------|---|---|---------------------|--------------------|
| Incendios forestales | Son el fuego que se propaga sin control, consumiendo materia vegetal ubicada en áreas rurales de aptitud forestal o en aquellas que sin serlo cumplan con una función ambiental, constituyen un problema para la conservación de los bosques, causan deforestación, afectan su biodiversidad y amenazan con la extinción de especies, (Cabezas, 2020) | Análisis de la severidad de incendios forestales aplicando índices espectrales como el Índice Normalizado de área Quemada (NBR) | Índice de severidad | Cualitativa        |

### 3.3. Población, muestra y unidad de análisis

**Población:** la población estuvo constituida por todos los incendios forestales ocurridos en el ámbito de la provincia de San Ignacio de la Región Cajamarca, Perú ocurridos entre el año 2019 y 2021.

**Muestra:** se tomó como muestra dos incendios forestales, ocurridos en menos de 2 años entre ellos.

**Muestreo:** Se utilizaron herramientas de teledetección para la evaluación y selección de los incendios a estudiar con el uso de imágenes satelitales. El diseño de muestreo fue mixto: estratificado por niveles de severidad y aleatorio en la localización de las parcelas (Vega et al., 2013).



### ***3.3.1. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de información***

#### **Fuente de los datos:**

Debido a la naturaleza de esta investigación se emplearon datos provenientes de fuentes en línea como geoportales y repositorios de imágenes satelitales y datos obtenidos de campo por parte del tesista.

#### **Técnicas de recolección de datos:**

La técnica de recolección de datos fue la observación directa y se realizó en dos etapas, la primera etapa consistió de un análisis visual a las imágenes satelitales utilizadas en la investigación con la finalidad de identificar la ubicación de los incendios forestales, para esto se consideró elegir manchones homogéneos relativamente grandes, mínimo que abarquen nueve píxeles del mismo nivel, en la segunda etapa se tomó en cuenta que la distancia mínima entre sitios debe ser 120 m, con la finalidad de impedir errores de ubicación ya sea por el GPS, por digitalización de los sitios o por la georreferenciación del satélite, se distribuyeron por lo menos 30 sitios por incendio, para poder realizar el análisis estadístico de manera adecuada, entre más sitios se distribuyan, mejor será la predicción del índice de severidad en campo con el índice espectral (p.e. RBRc o dNBRc).

#### **Instrumentos de recolección de datos:**

En esta investigación se utilizó como instrumento de recolección de información una Ficha de recolección de información para gabinete donde se registró la fecha de incendio, distrito de ocurrencia, área (ha), centroide (Coordenadas UTM), entre otros detalles más.

### ***3.3.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos***

Los datos obtenidos en esta investigación fueron procesados con técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica, posteriormente para su análisis se emplearon los softwares QGIS 3.18.3 y en la plataforma de geomática basada en la nube Google Earth Engine (GEE) donde se analizó las imágenes satelitales y se realizó la conjugación de los índices espectrales.

### **3.3.3. Aspectos éticos**

La presente investigación presenta aspectos éticos como la veracidad en cuanto a la recolección de datos espaciales empleados en este estudio, además el investigador siguió las normas y recomendaciones indicadas en el reglamento para la obtención de grados y títulos de la Universidad Nacional de Cajamarca. Por otra parte, en esta investigación todo texto que pertenezca a otra autoría se encuentra citado y referenciado en los acápites correspondientes según la Norma APA 7ma edición.

## **3.4. Materiales y procedimiento**

### **Materiales**

**Material de campo:** Machetes, lapiceros de tinta seca, lápiz 2B, libreta de apuntes, plumones indelebles, cinta métrica, pita rafia.

**Material de gabinete:** Base de datos espacial de Gobierno Regional de Cajamarca, Papel bond A4 de 80 gramos, lapiceros.

**Equipos de campo:** GPS garmin 10X Etrex, brújula, binoculares, cámara fotográfica.

**Equipo de gabinete:** Computador, impresora, disco duro externo (1TB) para almacenamiento.

**Software:** Microsoft Office 16, Qgis 3.18.3, Google Earth Engine

### **3.4.1. Procedimiento**

#### **a. Obtención de imágenes satelitales**

Para esta investigación se obtuvieron dos imágenes satelitales provenientes de sensor Sentinel-2, las imágenes fueron descargadas empleando un código desenvuelto en la plataforma Google Earth Engine, primero se cargó un polígono del área de interés (provincia de San Ignacio) para el año 2019 y 2021, las imágenes seleccionadas tuvieron como parámetro de selección principal que el porcentaje de nubosidad fue menor o igual a 20 % (Anexo 3)

**b. Identificación de incendios forestales**

Con las imágenes seleccionadas (año 2019 y 2021) se realizó la combinación de bandas correspondientes con la finalidad de posteriormente mediante un análisis visual identificar los incendios en el área de interés.

**c. Extracción del vector de los incendios forestales**

Luego de haber identificado los incendios forestales se procedió a extraer el área calcinada mediante un polígono (Anexo 3).

**d. Cálculo del índice Normalizado de áreas quemadas (NBR)**

Con el recorte de las áreas se procedió a calcular el índice normalizado de áreas quemadas (NBR), para esto se empleó las bandas B8 y B12 mediante la siguiente fórmula matemática:

$$NBR = \frac{\text{banda 8} - \text{banda 12}}{\text{banda 8} + \text{banda 12}}$$

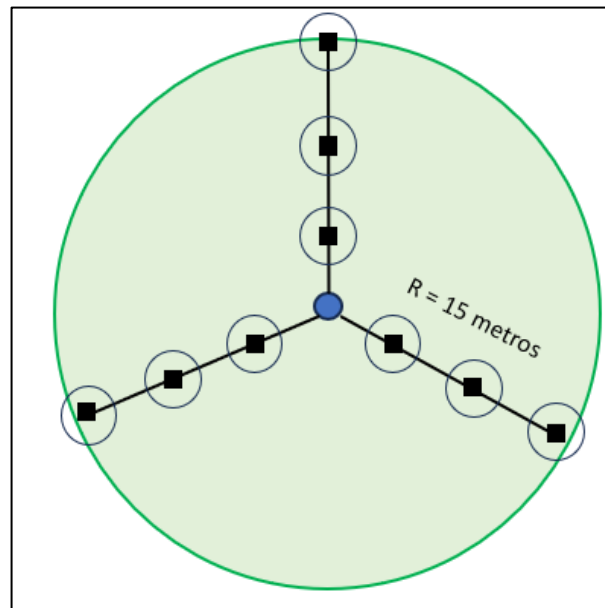
El cálculo del índice antes mencionado se realizó a través de un script de en el ambiente Google Earth Engine (Anexo 2).

**e. Evaluación de severidad en campo**

Se plantearon unidades de estudio que son parcelas en las que se midieron las variables de severidad, en este caso corresponden a sitios circulares de 15 m de radio, en esta se midieron los DAP > 7.5 cm. Se ubicaron 9 subsitios cuadrados de 30 cm lado para el registro de severidad en el suelo y 9 subsitios circulares de radio de 2 m para el registro de regeneración post-incendio en el sitio. En lugares de muy alta densidad de arbolado, la circunferencia de muestreo se reduce a 10 m.

**Figura 2.**

*Diseño de muestreo para la severidad en campo*



Fuente: Silva-Cardoza et al (2021)

**f. Edición y confección de mapas**

Con los resultados obtenidos se procedió a confeccionar mapas para la presentación de los resultados finales, estos mapas fueron elaborados en el software QGIS 3.18.3.

## CAPÍTULO IV

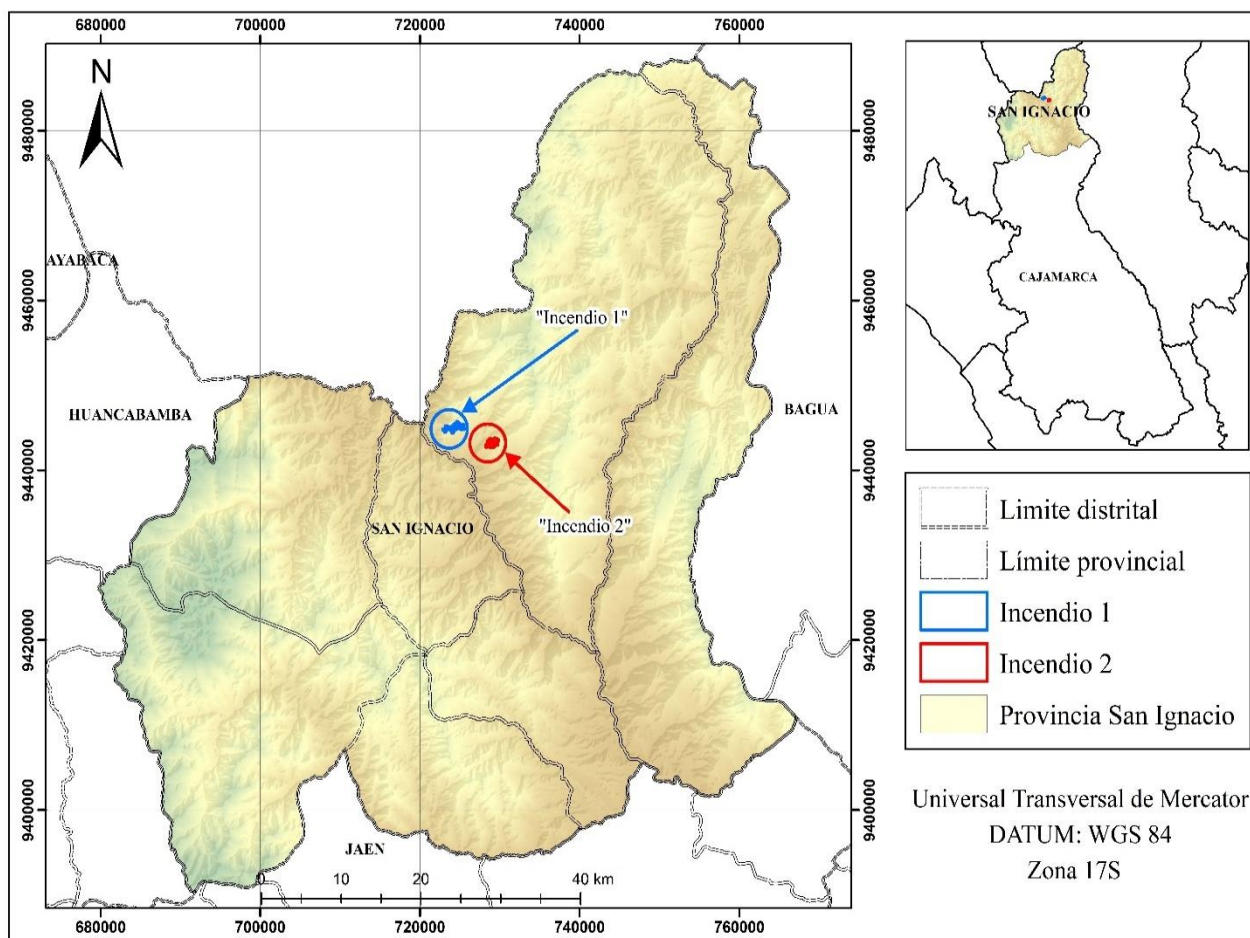
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados

##### 4.1.1. Evaluación y mapeo de dos incendios forestales en la provincia de San Ignacio.

**Figura 3.**

*Ubicación de los incendios de evaluación*



Para el cumplimiento del primer objetivo específico se procedió a realizar un análisis visual de toda la provincia de San Ignacio y se pudo identificar dos incendios forestales para el año 2019 (Figura 3), los cuales fueron seleccionados para evaluar la severidad, la ubicación de estos incendios fue en el distrito de San José de Lourdes y tuvo las siguientes características (Tabla 4):

**Tabla 4.**

*Descripción de la ubicación de los incendios en estudio*

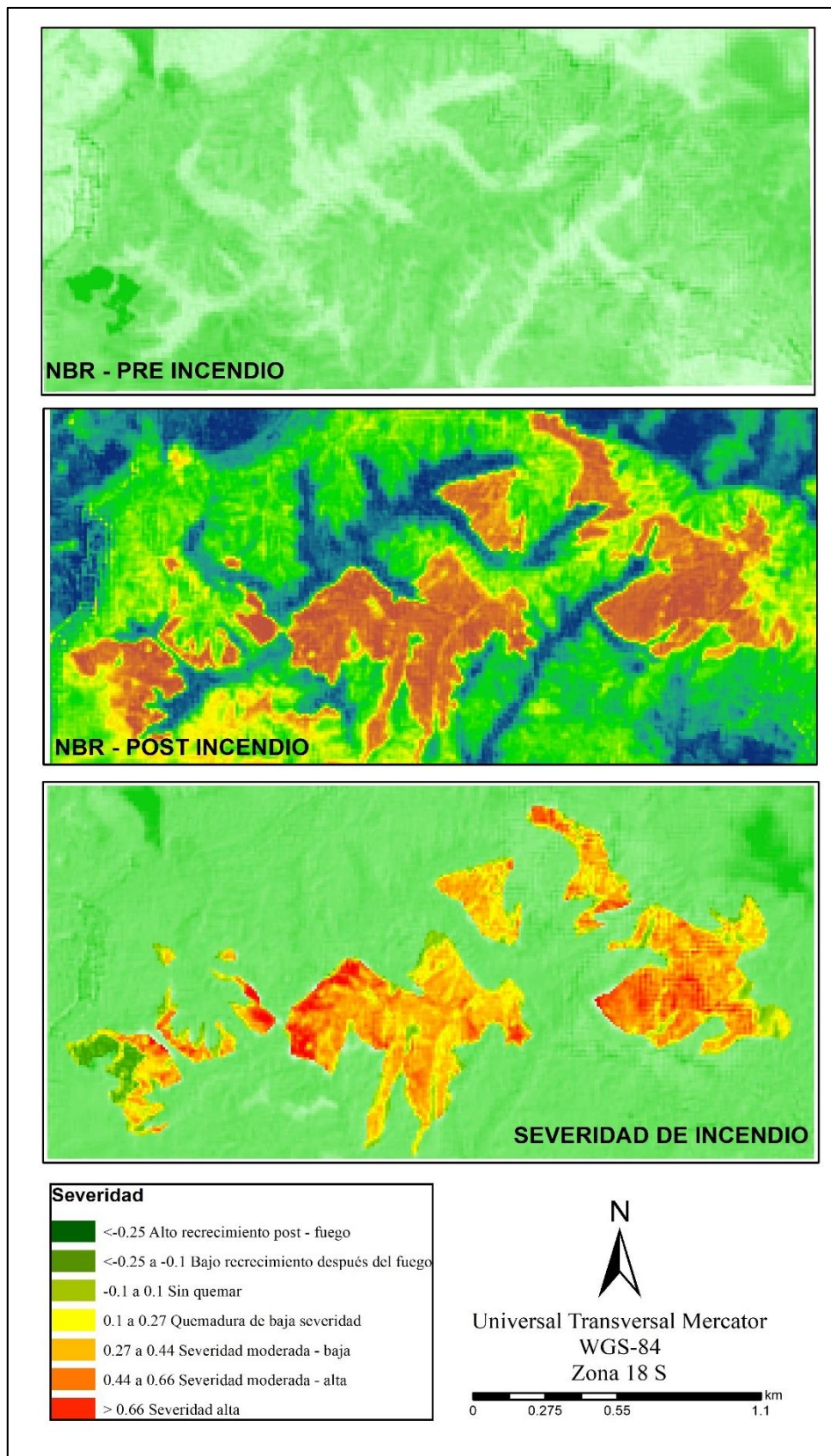
| <b>Incendio</b> | <b>Distrito</b>     | <b>Fecha de ocurrencia</b> | <b>Este</b> | <b>Norte</b> |
|-----------------|---------------------|----------------------------|-------------|--------------|
| Incendio 1      | San José de Lourdes | 2019                       | 729123      | 9443464      |
| Incendio 2      | San José de Lourdes | 2019                       | 723837      | 9444708      |

#### ***4.1.2. Evaluación de la severidad de incendios con Normalized Burn Ratio (NBR)***

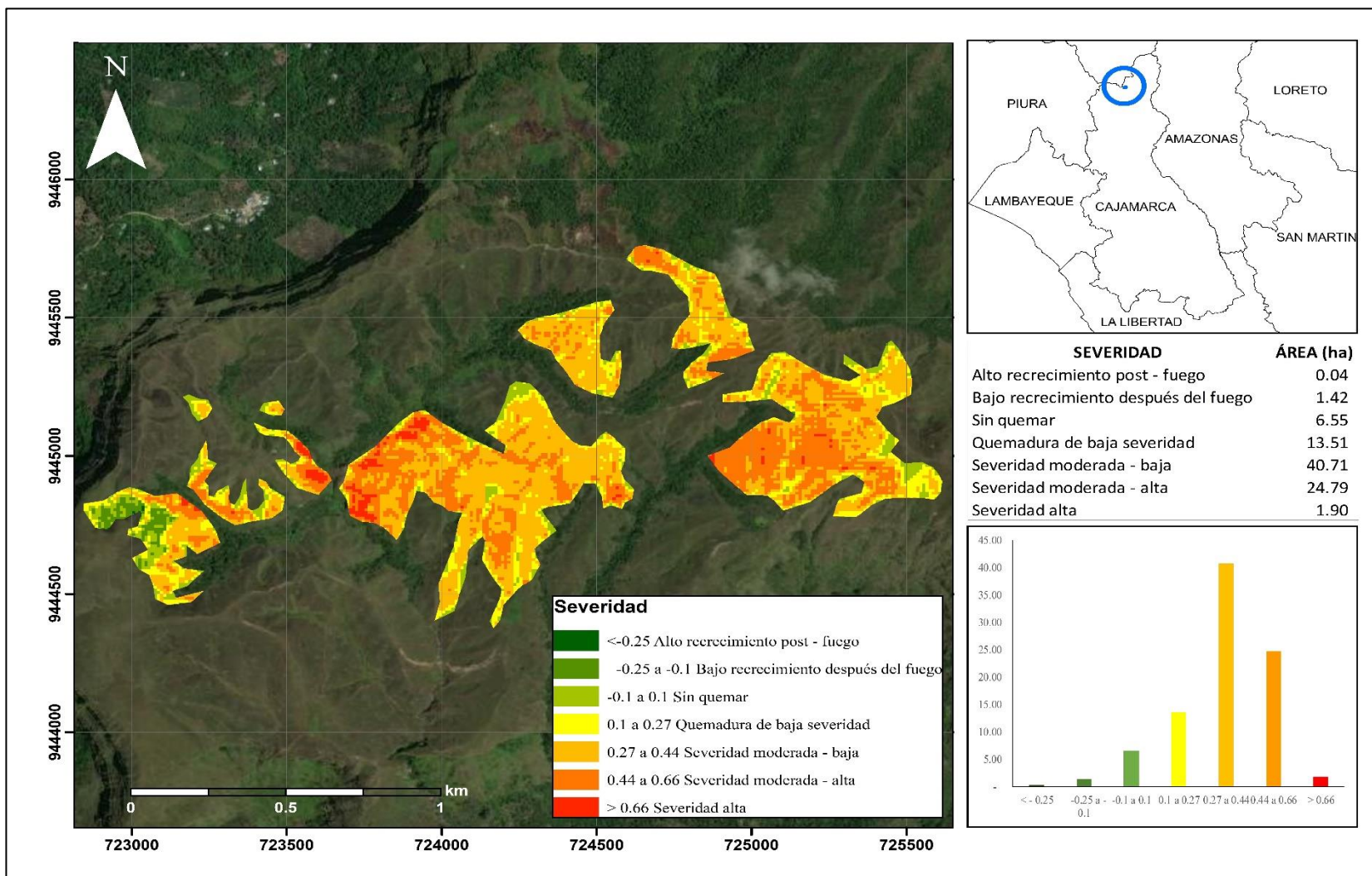
Se realizó la evaluación de la severidad de los incendios identificados en el área de estudio empleando el índice Normalized Burn Ratio (NBR), los resultados del análisis de cada incendio se presentan a continuación:

**Figura 4**

*Análisis de severidad de incendio N° 1*










**Figura 5**  
*Mapa de severidad del incendio N° 1*





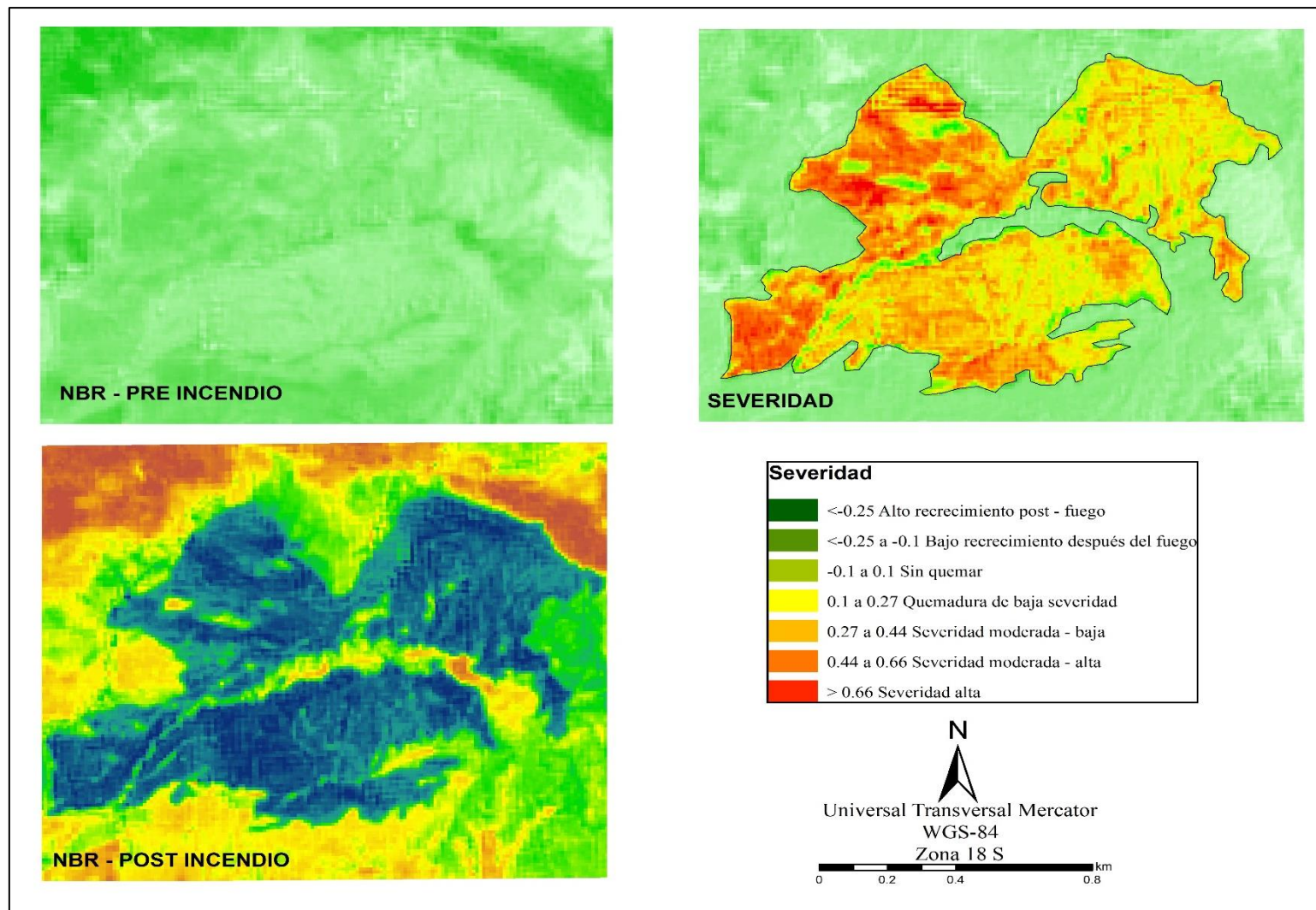
**Tabla 5***Área por cada nivel de severidad del incendio N° 1*

| NIVEL        | SEVERIDAD                            |  | Área  |       |
|--------------|--------------------------------------|--|-------|-------|
|              |                                      |  | Ha    | %     |
| < - 0.25     | Alto recrecimiento post - fuego      |  | 0.04  | 0.04  |
| -0.25 a -0.1 | Bajo recrecimiento después del fuego |  | 1.42  | 1.60  |
| -0.1 a 0.1   | Sin quemar                           |  | 6.55  | 7.37  |
| 0.1 a 0.27   | Quemadura de baja severidad          |  | 13.51 | 15.19 |
| 0.27 a 0.44  | Severidad moderada - baja            |  | 40.71 | 45.78 |
| 0.44 a 0.66  | Severidad moderada - alta            |  | 24.79 | 27.88 |
| > 0.66       | Severidad alta                       |  | 1.90  | 2.14  |

En la tabla 5, se presenta la severidad del incendio N° 1, donde se observa que la mayor área de la zona calcinada se ubicó en el nivel de severidad 0.27 – 0.44 abarcando 40.71 ha que es el 45.78 % del área total calcinada indicando una severidad moderada baja; por otra parte, el menor valor de área obtuvo el nivel de severidad Alto recrecimiento post - fuego con valor de índice <-0.25 abarcando un área de 0.04 ha que equivale a 0.04 % del área total.

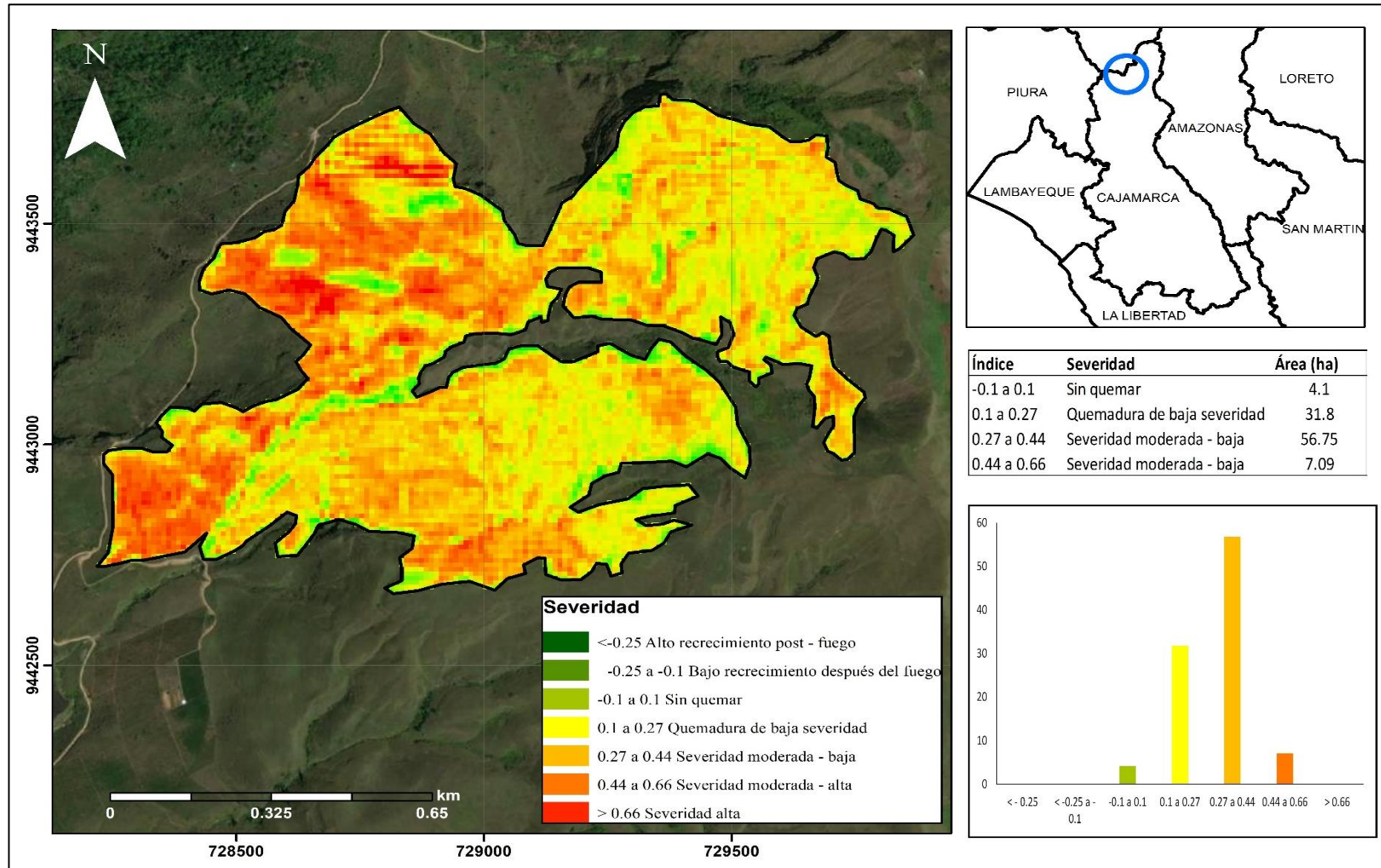
## Figura 6

Análisis de severidad de incendio N° 2



**Figura 7**

*Mapa de severidad de Incendio N° 2*



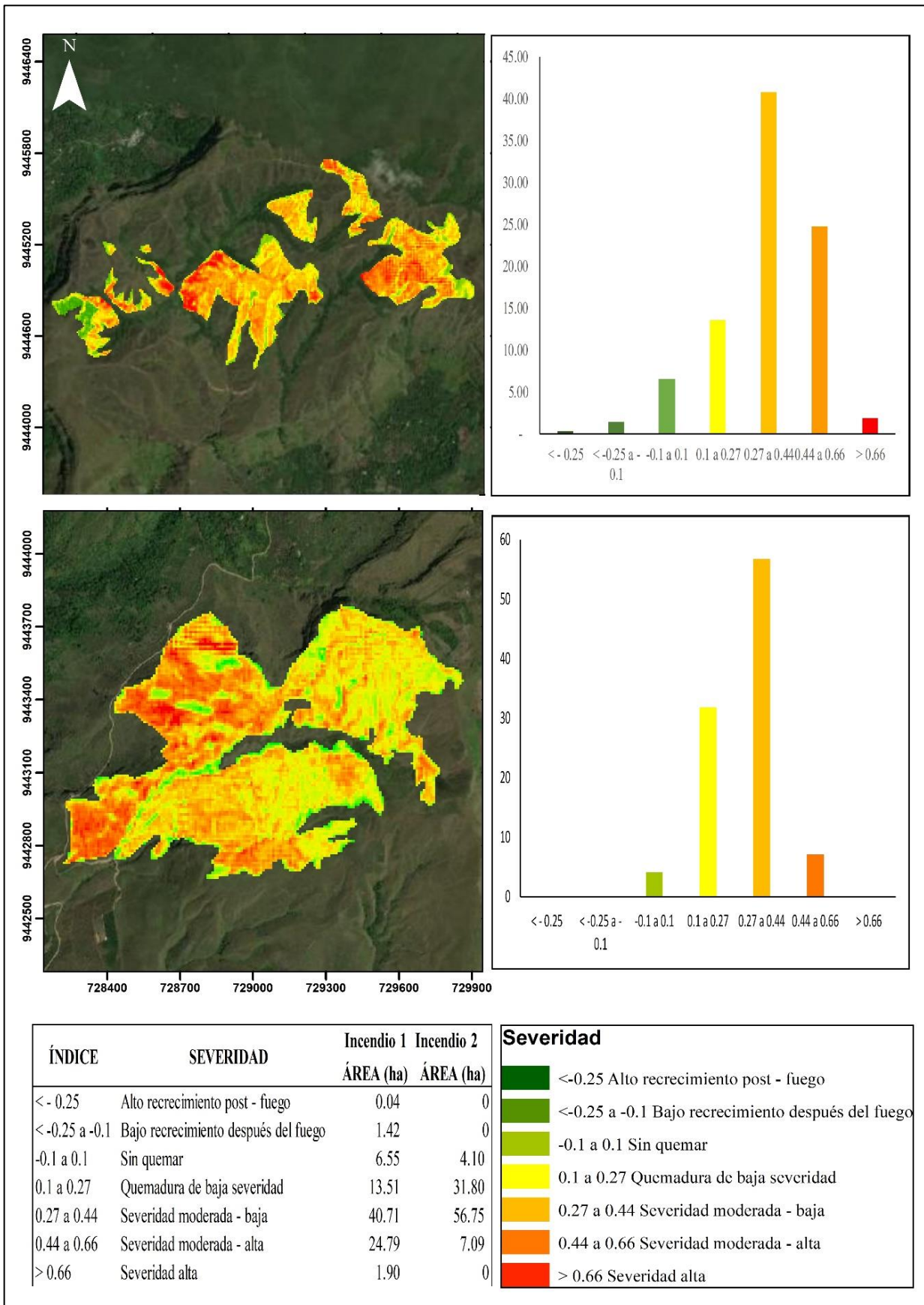
**Tabla 6***Área por cada nivel de severidad del incendio N° 2*

| NIVEL        | SEVERIDAD                            | Área  |       |
|--------------|--------------------------------------|-------|-------|
|              |                                      | Ha    | %     |
| < - 0.25     | Alto recrecimiento post - fuego      | 0     | 0.00  |
| -0.25 a -0.1 | Bajo recrecimiento después del fuego | 0     | 0.00  |
| -0.1 a 0.1   | Sin quemar                           | 4.1   | 4.11  |
| 0.1 a 0.27   | Quemadura de baja severidad          | 31.8  | 31.88 |
| 0.27 a 0.44  | Severidad moderada - baja            | 56.75 | 56.90 |
| 0.44 a 0.66  | Severidad moderada - alta            | 7.09  | 7.11  |
| > 0.66       | Severidad alta                       | 0     | 0.00  |

En la tabla 6, se presenta la severidad del incendio N° 2, donde se observa que la mayor área de la zona calcinada se ubicó en el nivel de severidad 0.27 – 0.44 abarcando 56.75 ha que es el 56.90 % del área total calcinada indicando una severidad moderada baja; por otra parte, en este incendio se determinó que los niveles como alto recrecimiento post-fuego, bajo recrecimiento post-fuego y severidad alta, tienen valor 0 porque no llegaron a identificarse en la evaluación.

**Figura 8**

*Mapa de comparación de la severidad de los incendios forestales identificados*



En la figura 8 se presenta la comparación sobre la severidad entre el área del incendio 1 y el área de incendio 2, donde se puede apreciar que el incendio 1 tuvo un área de 1.90 ha calificadas como severidad alta y el incendio 2 no presenta severidad alta, si no que los valores mayores se concentran entre quemadura de baja severidad y severidad moderada baja.

## **4.2. Discusión**

En este estudio se evaluó la severidad de incendios forestales en la provincia de San Ignacio, este tipo de eventos que normalmente son causados por efectos ambientales causan destrucción al medio ambiente (Úbeda y Francos, 2018, p. 21). El objetivo general de esta investigación fue evaluar la severidad de dos incendios forestales en el ámbito de la provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, Perú, se lograron identificar dos incendios forestales en toda la provincia, los cuales ocurrieron en el distrito de San José de Lourdes, para la identificación de los incendios, se empleó el índice Normalizado de Áreas Quemadas (NBR) que es el índice más adecuado para trabajar con imágenes del satélite Sentinel 2, tal como lo señalan Mallinis et al. (2017, p. 26), Sobrino et al. (2019, p. 15) y Gerrevink y Veraverbeke (2021, p.17) quienes aseguran que el índice NBR guarda mayor relación con las imágenes Sentinel – 2.

En esta investigación se plantearon diversos índices espectrales a fin de identificar y evaluar la severidad de los incendios forestales identificados para este estudio, los índices planteados fueron: NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada), SAVI (Índice de vegetación ajustado al suelo), EVI (Índice de vegetación mejorado) y el NBR (índice Normalizado de Área Quemada), de los cuales se eligió el NBR para evaluar la severidad debido a que presentó mejores resultados al identificar con mayor precisión los incendios con respecto a los índices como NDVI, SAVI y EVI, esto es corroborado por investigaciones como Miller y Thode (2007, p. 21) y Parks et al., (2014, p. 22) quienes manifiestan que el índice NBR es el más adecuado para el mapeo de incendios forestales; por su parte, los autores Ibnousaihy (2021, p. 28), Rodríguez et al. (2021, p. 25), Flores-Rodriguez et al. (2021, p.23) mencionan que el índice NBR presenta mejores resultados y más confiables para el mapeo de estos eventos en comparación con otros índices como el NDVI.

En cuanto a la severidad de los incendios evaluados se pudo constatar que el nivel de severidad del incendio N°1 se obtuvo como resultados que la clase que abarcó mayor área

fue la clase de Severidad moderada-baja (0.27 – 0.66) con una extensión territorial de 40.71 ha y la clase que abarcó menor área fue la clase Alto recrecimiento post-fuego. En cuanto al Incendio 2 se puede constatar que la clase que abarca mayor área es la clase Severidad moderada – baja (0.27 – 0.66) con una extensión territorial de 56.75 ha, estos resultados son similares a los obtenidos por Zappa (2020, p. 36) que en su estudio evaluó la severidad de incendios ocurridos tuvo como área afectada durante los años 2016-2020 tuvo severidad moderada, ambos incendios evaluados tienen el mismo nivel de severidad esto debido a la similitud de características fisiográficas de la zona (Vega-Martínez et al., 2023).

Los incendios forestales a pesar de causar efectos negativos en el área donde se desarrollan, logran ser importantes para la sucesión ecológica y muchas veces favorecen a la regeneración vegetal (Keeley et al., 2012). En esta investigación se identificaron áreas calcinadas por incendios forestales alejadas a centros poblados, con lo cual se puede determinar que estos acontecimientos fueron generados de manera natural ya que las áreas quemadas abarcaron ecosistemas xerofíticos que como menciona (Carrillo-García et al., 2022) que cuando interactúan con eventos como temperaturas altas extremas, sequías prolongadas, generadas por el cambio climático se desencadenan incendios forestales de magnitud media - alta.

Los dos incendios evaluados en esta investigación tuvieron mayor área identificada con clases de severidad moderada, esto se debe a que las condiciones bióticas donde se desarrollaron estos incendios son de fácil ignición debido a la cantidad de arbustos y hierbas que funcionan como material combustible; sin embargo, los factores ambientales hacen que estos incendios no alcancen mayor magnitud, tal como menciona Ariza (2017, p. 54) quien indica que la magnitud de los incendios forestales va a depender principalmente de las condiciones ambientales. Por otra parte, los resultados obtenidos en esta investigación son de suma importancia ya que como menciona Pismel et al. (2023) brinda una perspectiva sobre el comportamiento de los incendios forestales en San Ignacio para implementar planes para el monitoreo, la educación, la comunicación, la prevención y respuesta a desastres.

La presente investigación es de tipo cuantitativa

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Se identificaron dos incendios forestales en la provincia de San Ignacio, estos incendios se ubicaron en el distrito de San José de Lourdes y ocurrieron en el año 2019, el incendio denominado como Incendio N° 1 abarcó un área de 88.92 ha y el incendio N° 2 tuvo un área de 99.74 ha.

Al evaluar la severidad de los incendios identificados en el área de estudio se pudo constatar que el Incendio N° 1 tuvo una severidad que varía de -0.33 a 0.89 de índice NBR y el Incendio N° 2 tuvo una severidad que varía de -0.13 a 0.6049 de índice NBR lo cual indica que el incendio N° 1 es el que tuvo mayor severidad en el área de estudio.

En cuanto a las clases de severidad de los incendios forestales se pudo constatar que en el Incendio N° 1 la clase que abarcó mayor área fue la clase de Severidad moderada-baja (0.27 – 0.44) con una extensión territorial de 40.71 ha y la clase que abarcó menor área fue la clase Alto recrecimiento post-fuego. En cuanto al Incendio 2 se puede constatar que la clase que abarco mayor área es la clase Severidad moderada – baja (0.27 – 0.44) con una extensión territorial de 56.75 ha

#### 5.2. Recomendaciones

Se recomienda que se hagan análisis de regeneración en donde ocurrieron incendios forestales a fin de que se pueda determinar la influencia de los incendios forestales en la sucesión ecológica y como es que actúa los residuos quemados en la capacidad regenerativa del ecosistema.

Se recomienda que se realice estudios de severidad de incendios forestales a nivel multitemporal a fin de que se evalúe como ha sido el acontecimiento histórico de estos eventos en la provincia de San Ignacio y evaluar qué áreas de la provincia son más propensas a que ocurra este problema.



Se recomienda que se realicen estudios de impacto de los incendios forestales en los nutrientes del suelo ya que algunas investigaciones manifiestan que las cenizas producto de la calcinación de material vegetal proporciona mayores cantidades de nutrientes en nitrógeno, fósforo, potasio y otros.

A las entidades competentes dar mayor énfasis a este tipo de investigaciones, con el objetivo de tener mejores planeaciones post incendio para la regeneración y adopción de las zonas afectadas por los incendios forestales.

## CAPITULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, F. (2006). Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas. Zaragoza: Gobierno de Aragón/TRAGSA.
- Alvarado, C. Leandro, A. y Sarango, D. (2018). Comparación de índices de vegetación con imágenes Landsat usando la computación en la nube: zona pampa de Majes – Siguan, Arequipa Perú (periodo: Jun 1984 a Nov 2018). *Revista de investigación de física* 22 (1), (2019).
- Arias, F. A. M., & Ortíz, S. J. V. (2020). Severidad de incendio forestal en el cerro las Mercedes ubicado en Carmen de Apicalá y Suárez Tolima.
- Benavides, N. (2021). Análisis de la severidad del incendio forestal suscitado en la Granja Porcón, a través de imágenes Sentinel-2–periodo 2019-2021, Cajamarca [Universidad César Vallejo]. *Sl: Tesis de pregrado: Universidad Cesar Vallejo*.
- Bodí, M., Cerdá, A., Mataix, J., Doerr, S. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea, departamento de geografía, universidad de valencia, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* N.º 58 – 2012.
- Botella-Martínez, M.A. y Fernández-Manzo A. (2017). Study of post-fire severity in the Valencia region comparing the NBR, RdNBR and RBR indexes derived from Landsat 8 images, *Revista de Teledetección*, 49, 33-47. DOI:10.4995/raet.2017.7095.
- Briones-Herrera C.I., Vega-Nieva, D. J., Monjarás-Vega, N. A., Briseño-Reyes, J., López-Serrano, P., Corral-Rivas, J. et al. (2021). Near Real-Time Automated Early Mapping of the Perimeter of Large Forest Fires from the Aggregation of VIIRS and MODIS Active Fires in Mexico. *Remote Sensing* 12, 2061; DOI: 10.3390/rs12122061

- Cabezas, M. G. (2020). Análisis de la severidad del incendio forestal en el Parque Nacional Sierra La Macarena Meta-Colombia, usando Sentinel-2 y Landsat 8 Oli en el año 2018.
- Cabrera Chuquimango, Y., & Ramos Quispe, M. M. (2021). Evaluación del impacto de los incendios forestales en la cobertura vegetal de la provincia de San Pablo en el año 2019 Aplicando Índices De Biodiversidad.
- Caraveo, L. A. (2013). *Evaluación de la recuperación vegetal en áreas con distinta severidad de fuego usando Teledetección: Caso de estudio, Municipio de Ocampo, Coahuila*. Universidad Autonoma De Cd. Juarez, México.
- Carrillo-García, C., Girola-Iglesias, L., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., & Mateo, R. G. (2022). Ecological niche models applied to post-megafire vegetation restoration in the context of climate change. *Science of The Total Environment*, 855, 158858.
- Centro Nacional de Estimación de, Prevención y Reducción del riesgo de Desastres. (CENEPRED) (2018). Caracterización del peligro por incendios forestales.
- Chafer, C. (2008). A comparison of fire severity measures: An Australian example and implications for predicting major areas of soil erosion. *Catena*, 74:235-245.
- Chuvieco, E. (2009). Earth observation of wildland fires in Mediterranean ecosystems. Dordrecht, Netherlands. *Springer*. p. 129-148.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, Chile). (2017). Análisis de la Afectación y Severidad de los Incendios Forestales ocurridos en enero y febrero de (2017) Sobre los usos de suelo y los ecosistemas naturales presentes entre las regiones de Coquimbo y Los Ríos de Chile. *Informe Técnico*. 56 p. Santiago, Chile.
- Delegido, J., Pezzola, A., Casella, A., Winschel, C., Urrego, E., Jiménez, J., Soria, G., Sobrino, J., Moreno, J. (2018). Estimación del grado de severidad de incendios en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina, usando sentinel-2 y su comparación con Landsat-8. Universitat Politècnica de Valencia. *Revista de teledetección*. e-ISSN: 1988-8740 ISSN: 1133-0953.

- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). (2009). El problema de los incendios forestales, Roma. Noticia. Disponible en: <http://www.fao.org/news/story/es/item/29145/icode/>
- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura): Montes (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010, Roma Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i1757s/i1757s.pdf>
- Fernández. (2015). Efectos de la recurrencia y severidad en la recuperación de ecosistemas propensos al fuego. *Ambio Ciencias*, 13, 100-101. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147-8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07.
- Fernández-Méndez, F., Velasco-Salcedo, V., Guerrero-Contecha, J., Galvis, M. y Viana-Neri, A. (2016). Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca tñtales (Boyacá, Colombia). *Colombia Forestal*, 19(2), 19-36.
- Flores-Rodríguez, A. G., Flores-Garnica, J. G., González-Eguiarte, D. R., Gallegos-Rodríguez, A., Zarazúa-Villaseñor, P., & Mena-Munguía, S. (2021). Análisis comparativo de índices espectrales para ubicar y dimensionar niveles de severidad de incendios forestales. *Investigaciones geográficas*, (106).
- Gao, K., Feng, Z., & Wang, S. (2022). Using Multilayer Perceptron to Predict Forest Fires in Jiangxi Province, Southeast China. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2022.
- Gómez-González, S. (2013). Incendios Forestales (2012). *Gayana Botánica*, 70(2), 405-407.
- Gómez-Sánchez, E., de las Heras, J., Lucas-Borja, M. y Moya, D. (2017). Ajuste de mitologías para evaluar severidad de quemado en zonas semiáridas (SE peninsular): Incendio Donceles 2012. *Revista de Teledetección*, 49, 103-113. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7121>

- González, V. A. M. (2022). Aplicación del Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) y sistemas de información geográfica para estimar la severidad de los incendios forestales en el departamento de Cusco.
- Guerrero, A. Pineda, L. Pala, V. y Corbera, J. (2017). Estudio de severidad en el incendio de Albinyana (Catalunya) SENTINEL – 2. *Revista de teledetección* (49), 115 – 121.
- Hillayová, M. K., Holécy, J., Korísteková, K., Bakšová, M., Ostrihoň, M., & Škvarenina, J. (2023). Ongoing climatic change increases the risk of wildfires. Case study: Carpathian spruce forests. *Journal of environmental management*, 337, 117620.
- INDECI (Instituto nacional de defensa civil, Perú). (2006). Manual básico para la estimación del riesgo Lima Perú: DINAPRE (Dirección Nacional de Prevención) y la UEER (Unidad de Estudios y Evaluación de Riesgos).
- INDECI (Instituto nacional de defensa civil, Perú). (2020). incendio forestal en el distrito de San José de Lourdes-Cajamarca. Reporte complementario N° 2719-29/08/2020/COEN-INDECI, Lima – Perú.
- INDECI (Instituto nacional de defensa civil, Perú). (2020). incendio forestal en el distrito de San José de Lourdes-Cajamarca. Reporte complementario N° 3835-06/11/2020/COEN-INDECI, Lima – Perú.
- INRENA (INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES). (1994). Evaluación de recursos naturales y plan de protección ambiental proyecto especial Jaén san Ignacio-Bagua". (1): 58-64.
- INRENA, M. E. D. P. (1994). Guía explicativa. *Ministerio de Agricultura, Lima-Perú*.
- Jimenez Dios, A. D., & García Núñez, A. (2020). Resiliencia de la cobertura vegetal post incendio forestal aplicando índices espectrales de vegetación–Distrito de Chulucanas–Departamento de Piura, 2019.
- Keeley, J. E., Brennan, T., y Pfaff, A. H. (2008). Fire severity and ecosystem responses following crown fires in California shrublands. *Ecological Applications*. 18: 1530–1546.

- Keeley, J. E., Bond, W. J., Bradstock, R. A., Pausas, J. G., & Rundel, P. W. (2012). *Fire in Mediterranean ecosystems: ecology, evolution and management*. Cambridge University Press.
- Key, C. H. y Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment (LA). In: Lutes, D.C., Keane, R.E., Caratti, J.F., Key, C.H., Benson, N.C., Sutherland, S., & Gangi, L.J. (eds.). FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, 1-55
- Larson, A. J. y Franklin, J. F. (2005). Patterns of conifer tree regeneration following an autumn wildfire event in the western Oregon Cascade Range, USA. *Forest Ecology and Management*, 218: 25-36.
- Lopez Garcia A.R. (2020). Estudio de la severidad del incendio de 2012 y regeneración de la vegetación del Bosque La Primavera, México, mediante imágenes LANDSAT 7. *Revista Cartográfica* 101: 35-50
- Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.
- Mallinis, G., Mitsopoulos, I., & Chrysafi, I. (2017). Evaluating and comparing Sentinel 2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece. *GIScience & Remote Sensing*, 55(1), 1-18.
- Manta, M. (2005). Evaluación de los incendios forestales en la provincia de Satipo, departamento de Junín, Perú. Lima: UNALM (Universidad nacional Agraria la Molina).
- Manta, M. (2017). *Contribución al conocimiento de la prevención de los incendios forestales en la sierra peruana*. Editorial UNALM (Universidad nacional Agraria la Molina). 2017, Lima-Perú, ISBN: N° 978-612-4147-86-9, pag. 228.
- Manta, M. I., y León, N. H. (2004). Los incendios forestales en el Perú: grave problema por resolver. *In Floresta* (Vol. 34, Issue 2). <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2392>

- Mapa Ecológico. (1994). Ministerio de Agricultura–Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA).
- Martínez, S., Chuvieco, E., Aguado, I., & Salas, J. (2017). Severidad y regeneración en grandes incendios forestales: análisis a partir de series temporales de imágenes Landsat. *Revista de Teledetección*, (49), 17-32.
- Masot, A. N., Arenas, G. N., & Marcos, G. M. (2016). Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Estudio de caso en Sierra de Gata (2015). In *Tecnologías de la información geográfica en el análisis espacial. Aplicaciones en los Sectores Público, Empresarial y Universitario* (pp. 247-268). Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial.
- Meza, M., Velázquez, L., & Larrucea, A. (2017). Recuperación de Áreas Verdes Urbanas. La Importancia del Diagnóstico Fitosanitario para la Intervención. Universidad Autónoma del Estado de México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 1(22), 1-15.
- Miller, J.D. y Thode, A.E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109, 66- 80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>
- Montealegre, A. L., Lamelas, M. T., Tanase, M. A., & De la Riva, J. (2014). Forest fire severity assessment using ALS data in a Mediterranean environment. *Remote Sensing*, 6(5), 4240-4265.
- Montealegre, A., Lamelas, M., Tanase, M., y de la Riva, J. (2017). Estimación de la severidad en incendios forestales a partir de datos LIDAR-PNOA y valores de Composite Burn Index. *Revista de Teledetección* (49), 1 - 16. doi:10.4995/raet.2017.7371.
- Montorio R. (2014). *La severidad del fuego: Revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales*. Departamento de geografía y ordenación del territorio, GEOFOREST (IUCA). Universidad de Zaragoza, España.

- Moscovich, F. A., Ivandic, F., & Besold, L. (2014). Manual de combate de incendios forestales y manejo de fuego. *Nivel Inicial. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Buenos Aires, Argentina.*
- Navarro, G., Caballero, I., Silva, G., Parra, P. C., Vázquez, Á. y Caldeira, R. (2017). Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 58: 97-106.
- Parks, S.A., Dillon, G.K., Miller, C. 2014. A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio. *Remote Sensing*, 6, 1827- 1844. <https://doi.org/10.3390/rs6031827>
- Parks, S.A., Holsinger, L.M., Voss, M.A., Loehman, R.A., y Robinson, N.P. (2018) Mean Composite Fire Severity Metrics Computed with Google Earth Engine Offer Improved Accuracy and Expanded Mapping Potential. *Remote Sens.* (10). pp 879.
- Parsons, A., Robichaud, P.R., Lewis, S.A., Napper, C., y Clark, J.T. (2010). Field guide for mapping post-fire soil burn severity. *USDA Forest Service. General Technical Report. RMRS-GTR-243.*
- Pausas, J. G. (2012). Incendios forestales una visión desde la ecología. Los libros de la Catarata. Madrid – España.
- Peña Tapia, M. G. (2019). *Evaluación del impacto de los incendios forestales por medio de imágenes satelitales sentinel 2, durante el periodo de incendios estivales 2016 -2017, 30 en la comuna de Pumanque, región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile.*
- Peñaloza R.A. (2006). *Zonificación de la severidad de un incendio natural y su descripción topográfica cuantitativa en el parque nacional Tolhuaca, IX región Chile. (proyecto de titulación para optar el título de ingeniero forestal).* Universidad Austral de Chile, facultad de ciencias forestales, Valdivia Chile.
- Pismel, G. O., Marchezini, V., Selaya, G., de Paula, Y. A., Mendoza, E., & Anderson, L. O. (2023). Wildfire governance in a tri-national frontier of southwestern Amazonia: Capacities and vulnerabilities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 86, 103529.



- Poma, W., & Alcántara, G. (2011). Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca. *Gobierno Regional de Cajamarca, Perú, 1*, 21-23.
- Poursanidis, D. y Chrysoulakis, N. (2017). Remote Sensing, natural hazards and the contribution of ESA Sentinels missions. *Remote Sensing Applications: Society and Environment 6*: 25- 38.
- Practical Action. (2020). Estudio general de biodiversidad local – ABC PER86 San José de Lourdes, Lima – Peru.
- Robertson, A. V. (2022). Impacto de los incendios forestales en el Santuario Histórico De Bosque De Pómac. *Sagasteguiana, 10(2)*, 105-124.
- Rodríguez, J. A. D. M., Lopes, P. M. O., Silva, J. L. B. D., Araújo, H. L., Silva, M. V. D., Santos, A. D., ... & Moura, G. B. D. A. (2020). Spatial-temporal dynamics of Caatinga vegetation cover by remote sensing in the Brazilian semiarid region. *Dyna, 87(215)*, 109-117.
- Rodríguez-Trejo, D. A., Martínez-Muñoz, P., Pulido-Luna, J. A., Martínez-Lara, P. J., & Cruz-López, J. D. (2020). Combustibles, comportamiento del fuego y emisiones en un pastizal y una sábana artificial en Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical, 68(2)*, 641-654.
- Ruiz-Gallardo, J. R., Castaño, S., y Valdés, A. (2005). *Teledetección y Severidad del Fuego*. Universidad de Castilla-La Mancha, Dep. Ecología. Universidad de Castilla-La Mancha, Puerto de la Cruz. Tenerife.
- Sabuco, P. (2013). *La problemática de los incendios forestales y bases para su teledetección en el Perú*. Artículo científico. Universidad continental.
- Saldivar, LL. M., & Rojas, A. R. (2023). Análisis de la severidad de incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de San Jerónimo-Cusco, periodo 2016-2021.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). (2002). Mapa de clasificación climática utilizando el método de Werren Thornthwaite. DEB consulting.

- SERNANP, Y. E. A. (2016). Plan Maestro de la Reserva Comunal Amarakaeri 2016–2020.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) (2018). Ecosistemas frágiles.
- Silva-Cardoza, A. I., Vega-Nieva, D. J., López-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., Briseño Reyes, J., Briones-Herrera, C. I., ... & Jardel-Peláez, E. (2021). Metodología para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo, en ecosistemas de bosque templado de México. *Universidad Juárez del Estado de Durango, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad de Guadalajara: Guadalajara, Mexico.*
- Sobrino, J. A., Llorens, R., Fernández, C., Fernández-Alonso, J. M., & Vega, J. A. (2019). Relationship between soil burn severity in forest fires measured in situ and through spectral indices of remote detection. *Forests, 10*(5), 457.
- Úbeda, X., & Francos, M. (2018). Incendios forestales, un fenómeno global. *Biblio 3w: revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales.*
- van Gerrevink, M. J., & Veraverbeke, S. (2021). Evaluating the near and mid infrared bi-spectral space for assessing fire severity and comparison with the differenced normalized burn ratio. *Remote Sensing, 13*(4), 695.
- Vega J.A., Fontúrbel T, Fernández C, Díaz-Raviña M, Tarsy Carballas M, Martín A, González-Prieto S, Merino A, Benito E. (2013). Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas, ISBN: 978-84-8408-716-8.
- Vega, J.A., Fernández, C., Pérez-Gorostiaga, P. y Fonturbel, M.T. (2008). The influence of fire severity, serotiny, and post-fire management on *Pinus pinaster* Ait. recruitment in three burnt areas in Galicia (NW Spain). *Forest Ecology and Management. 256*: 1596-1603.
- Vega-Martínez, E., Molina, J. R., Barrón, V., y Silva, F. R., Del Campillo, M. D. C., & Sánchez-Rodríguez, A. R. (2023). Spatio-temporal assessment of soil properties immediately and eight months after a high intensity-controlled burn in the south of Spain. *Science of The Total Environment, 898*, 165368.

Zappa, C. (2020). Análisis de la severidad de incendios forestales en la reserva ecológica los Ilinizas. S.l.: Tesis de pposgrado: Univercidad Agraria de Ecuador.

Zubieta, R. Prudencio, F. Alarco, G. y Reupo, J. (2019). Ocurrencia de incendios forestales en el Perú durante eventos del niño. artículo científico. Vol. 6 N° 5, Lima – Perú.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de consistencia

| Problema de investigación   | Objetivos  | Variables                   | Indicador                  | Hipótesis  | Tipo Y Diseño  |
|---|--|-----------------------------|----------------------------|--|--|
| <p>¿Cuál es la severidad de dos incendios forestales en el ámbito de la provincia de San Ignacio, región Cajamarca, Perú?</p> | <p><b>Objetivo general:</b></p>  | <p>Incendios forestales</p> | <p>Índice de severidad</p> | <p>Los incendios forestales en la provincia de San Ignacio tienen severidad media.</p> | <p><b>Tipo:</b> Aplicada<br/><br/> <b>Diseño:</b> No Experimental.<br/><br/> <b>Muestra:</b> la muestra estará constituida por dos incendios forestales en la provincia de San Ignacio.<br/><br/> <b>Población:</b> la población considerada para esta investigación será todos los incendios forestales de la provincia de San Ignacio.</p> |
|   | <p>Determinar la severidad de dos incendios forestales en el ámbito de la provincia de San Ignacio, Región Cajamarca, Perú</p>   |                             |                            |  |  |
|   | <p><b>Objetivos específicos</b></p>  |                             |                            |  |  |
|   | <p>Evaluar y mapear dos incendios forestales en la provincia de San Ignacio.</p> <p>Determinar los índices espectrales óptimos para la cuantificación de la severidad de incendios y áreas quemadas mediante imágenes satelitales.</p> |                             |                            |  |  |

Anexo 2.

Script de Google Earth Engine para evaluar Severidad de Incendios Forestales

```
//////////////////////////////////BUSQUEDA DE IMAGEN//////////////////////////////////  
// Buscar imagenes sentinel 2A  
var caj_s2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")  
.filterDate("2021-01-01", "2021-12-30")  
.filterBounds(geometry)  
.filterMetadata("CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE", "Less_Than", 30);  
  
//Ver características de colección sentinel 2A  
print(caj_s2);  
  
////Otra forma de extraer una imagen //////////////////////////////////////  
//Crear lista con las imágenes de la colección  
//var list_img = caj_s2.toList(caj_s2.size());  
//print(list_img);  
  
//Seleccionar imagen de la lista  
// var i1= ee.Image(list_img.get(0));  
  
//Cortar imagen  
// var i1_c = i1.clip(geometry)  
//////////////////////////////////Extraer imagen//////////////////////////////////  
  
var i1=ee.Image("COPERNICUS/S2_SR/20210824T153621_20210824T154356_T17MQ  
Q");  
  
//Cortar imagen con área de estudio  
var i1_c = i1.clip(geometry);  
  
//Centrar el mapa en mi área de estudio  
Map.centerObject(geometry);
```

```

//Añadir imagen al mapa
Map.addLayer(i1_c,{
  min:0,
  max:4000,
  gamma: 1.0,
  bands:["B11","B8","B4"]
},"iMG_S2");

//Seleccionar la imagen con menor cobertura de nubes////////////////////////////////////
var i2 = ee.Image(caj_s2.sort("CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE").first());

var i2_c = i2.clip(geometry)

//Añadir imagen al mapa
Map.addLayer(i2_c,{
  min:0,
  max:4000,
  gamma: 1.0,
  bands:["B11","B8","B4"]
},"iMG_S2_menos_nubes");

*/

////////////////////////////////////INCENDIOS////////////////////////////////////
// Análisis de severidad de incendios
// LLlamamos a la imagen satélite específica añadiendo su ID de la colección de imágenes
var PostIncendio = ee.Image
('COPERNICUS/S2/20210824T153621_20210824T154356_T17MQQ')

// Añadimos la imagen a la vista haciendo una composición de colores en el SWIR/NIR y
asignamos un nombre de etiqueta en la vista
Map.addLayer (PostIncendio, {
  max: 4000.0,
  min: 0.0,

```

```

    gamma: 0.5,
    bands: ['B11','B8','B4']},
    'PostIncendio');

// Calculamos el índice NBR para el momento jugando con las bandas NIR y SWIR y lo
representamos en el visor
var NBRPostIncendio= PostIncendio.normalizedDifference(['B8','B12']);
Map.addLayer (NBRPostIncendio,{
    max: 1.0,
    min: 0.0,
    'palette': ['#7F0010', '#D99143', '#C04529', '#E02E20', '#EC6521', '#F6D53B']},
    'Mapa NBR PostIncendio');

// Repetimos el proceso con una imagen previa al incendio
varPreIncendio=ee.Image('COPERNICUS/S2_SR/20210705T153621_20210705T154215
_T17MQQ')

Map.addLayer (PreIncendio, {
    max: 4000.0,
    min: 0.0,
    gamma: 0.5,
    bands: ['B11','B8','B4']},
    'PreIncendio');
var NBRPreIncendio= PreIncendio.normalizedDifference(['B8','B12']);
Map.addLayer (NBRPreIncendio,{
    max: 1.0,
    min: 0.0,
    'palette': ['#7F0010', '#D99143', '#C04529', '#E02E20', '#EC6521', '#F6D53B']},
    'Mapa NBR PreIncendio');

///Analizamos la severidad con una diferencia entre imágenes y representamos los datos en
en el visor/////
var IndiceSeveridad = NBRPreIncendio.subtract(NBRPostIncendio);
Map.addLayer (IndiceSeveridad,{

```





```
//Exportar NBRPostIncendio
Export.image.toDrive({
  image:NBRPostIncendio,
  description:"NBRPostIncendio",
  scale: 10,
  region: geometry,
  folder: "Tesis_Almites",
  maxPixels: 1e13,
  crs: "EPSG:32717"
});
```

```
//Exportar NBRPreIncendio
Export.image.toDrive({
  image:NBRPreIncendio,
  description:"NBRPreIncendio",
  scale: 10,
  region: geometry,
  folder: "Tesis_Almites",
  maxPixels: 1e13,
  crs: "EPSG:32717"
});
```

```
//Exportar IndiceSeveridad
Export.image.toDrive({
  image:IndiceSeveridad,
  description:"IndiceSeveridad",
  scale: 10,
  region: geometry,
  folder: "Tesis_Almites",
  maxPixels: 1e13,
  crs: "EPSG:32717"
});
```

### Anexo 3. Procesamiento en Code editor de Google Earth Engine (GEE)

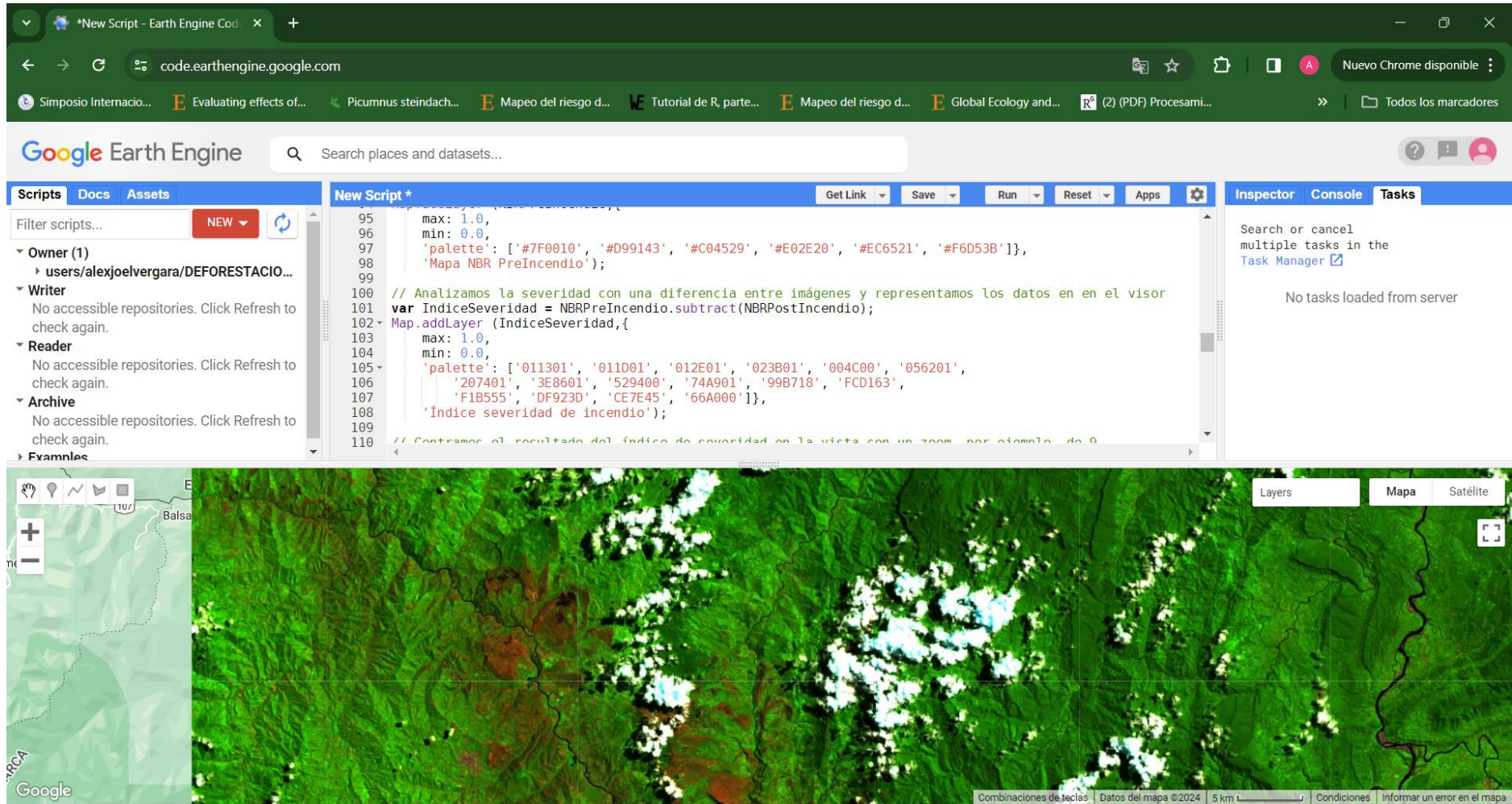


Imagen: Identificación de áreas calcinadas

The screenshot displays the Google Earth Engine (GEE) web interface. At the top, the browser address bar shows 'code.earthengine.google.com'. The main interface is divided into several sections:

- Scripts Panel (Left):** Shows a list of scripts under the 'New Script \*' tab. The script is owned by 'users/alexjoelvergara/DEFORESTACION...' and is currently in the 'Archive' state.
- Code Editor (Center):** Contains the following JavaScript code:
 

```

95     max: 1.0,
96     min: 0.0,
97     'palette': ['#7F0010', '#D99143', '#C04529', '#E02E20', '#EC6521', '#F6D53B']},
98     'Mapa NBR PreIncendio');
99
100 // Analizamos la severidad con una diferencia entre imágenes y representamos los datos en en el visor
101 var IndiceSeveridad = NBRPreIncendio.subtract(NBRPostIncendio);
102 Map.addLayer (IndiceSeveridad,{
103     max: 1.0,
104     min: 0.0,
105     'palette': ['011301', '011D01', '012E01', '023B01', '004C00', '056201',
106     '207401', '3E8601', '529400', '74A901', '99B718', 'FCD163',
107     'F1B555', 'DF923D', 'CE7E45', '66A000']},
108     'Índice severidad de incendio');
109
110 // Centramos el resultado del índice de severidad en la vista con un zoom por ejemplo de 9
      
```
- Inspector/Console (Right):** Shows a message: "Search or cancel multiple tasks in the Task Manager" and "No tasks loaded from server".
- Map View (Bottom):** Displays a satellite map with a red and orange overlay representing the calculated NBR. The map includes navigation controls (pan, zoom, layers) and a 'Layers' panel on the right.

Imagen: Calculo de NBR en GEE

The screenshot displays the Google Earth Engine code editor with a JavaScript script for calculating the Normalized Burn Ratio (NBR). The script is as follows:

```

95     max: 1.0,
96     min: 0.0,
97     'palette': ['#F7F001', '#D99143', '#C04529', '#E02E20', '#EC6521', '#F6D53B']},
98     'Mapa NBR PreIncendio');
99
100 // Analizamos la severidad con una diferencia entre imágenes y representamos los datos en en el visor
101 var IndiceSeveridad = NBRPreIncendio.subtract(NBRPostIncendio);
102 Map.addLayer(IndiceSeveridad,{
103     max: 1.0,
104     min: 0.0,
105     'palette': ['011301', '011D01', '012E01', '023B01', '004C00', '056201',
106     '207401', '3E8601', '529400', '74A901', '99B718', 'FCD163',
107     'F1B555', 'DF923D', 'CE7E45', '66A000']},
108     'Índice severidad de incendio');
109
110 // Centramos el resultado del índice de severidad en la vista con un zoom por ejemplo de 9

```

The interface also shows a sidebar with user information, a search bar, and a map view at the bottom displaying the calculated NBR index as a color-coded overlay on a satellite image of a forest. The map shows a grid of cells with varying shades of red and orange, indicating different levels of burn severity.

Imagen: Calculo de NBR

Anexo 5. Formatos de la validación de incendios forestales en campo

| <b>FORMATO PARA LA EVALUACION DE LA SEVERIDAD EN CAMPO</b>      |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
|---|-------------------------|------------|------------|---|------------|------------------------|-------------|------------------|------------|
| <b>INFORMACION DEL INCENDIO</b>                                 |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| <b>RESPONSABLE:</b>   |                         |            |            | <b>INCENDIO:</b>                              |            | <b>COORDENADAS UTM</b> |             | <b>ZONA</b>      |            |
| <b>OBSEVACIONES GENERALES DEL SITIO:</b>                        |                         |            |            |   |            | <b>ESTE</b>            |             |                  |            |
|   |                         |            |            |   |            | <b>NORTE</b>           |             | <b>PENDIENTE</b> |            |
|   |                         |            |            |   |            | <b>ALTITUD</b>         |             | <b>FECHA</b>     |            |
| <b>INFORMACION DE LA SEVERIDAD EN EL COMPONENTE EDAFOLOGICO</b> |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| <b>CDR</b>  | <b>PROFUNDIDAD (cm)</b> |            |            | <b>COBERTURA POR ESTRATO EN CUADRANTE (%)</b> |            |                        |             |                  |            |
|   | <b>HOJ</b>              | <b>FER</b> | <b>CEN</b> | <b>HER</b>                                    | <b>FER</b> | <b>HOJ</b>             | <b>SUEL</b> | <b>ROE</b>       | <b>CEN</b> |
| C01   |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| C02   |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| C03   |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| C04   |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| C05   |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| C06   |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| C07   |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| C08   |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |
| C09   |                         |            |            |   |            |                        |             |                  |            |



**INFORMACION DE LA SEVERIDAD EN EL COMPONENTE VEGETAL (MATORRAL)**

| N° | Nomb. Científico<br>Nomb. Común | CDB<br>(cm) | Diametro copa (m) |     | Altura promedio |       | Soflamado promedio copa (%) |     |     |
|----|---------------------------------|-------------|-------------------|-----|-----------------|-------|-----------------------------|-----|-----|
|    |                                 |             | N-S               | O-E | Htotal          | Hcopa | NEG                         | MAR | VER |
|    |                                 | <2.5        |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | <2.5        |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | <2.5        |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | <2.5        |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | <2.5        |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | <2.5        |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|    |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |



| FORMATO PARA LA EVALUACION DE LA SEVERIDAD EN CAMPO                                 |                  |     |     |  |     |                 |      |           |     |          |  |
|---|------------------|-----|-----|--|-----|-----------------|------|-----------|-----|----------|--|
| INFORMACION DEL INCENDIO  |                  |     |     |  |     |                 |      |           |     |          |  |
| RESPONSABLE: <i>Almites Santos Moreno</i>   |                  |     |     | INCENDIO: <i>02-01</i>                 |     | COORDENADAS UTM |      | ZONA      |     |          |  |
| OBSERVACIONES GENERALES DEL SITIO: <i>Plantaciones de pino, arbustivos y pastos</i> |                  |     |     | ESTE                                   |     | 723773          |      |           |     |          |  |
|   |                  |     |     | NORTE                                  |     | 9444782         |      | PENDIENTE |     | 70%      |  |
|   |                  |     |     | ALTITUD                                |     | 1450            |      | FECHA     |     | 15/09/22 |  |
| INFORMACION DE LA SEVERIDAD EN EL COMPONENTE EDAFOLOGICO                            |                  |     |     |  |     |                 |      |           |     |          |  |
| CDR   | PROFUNDIDAD (cm) |     |     | COBERTURA POR ESTRATO EN CUADRANTE (%) |     |                 |      |           |     |          |  |
|   | HOJ              | FER | CEN | HER                                    | FER | HOJ             | SUEL | ROE       | CEN |          |  |
| C01   | 1                | 1   | -   | 40                                     | 10  | 20              | 20   | -         | 10  |          |  |
| C02   | 2                | 2   | -   | 10                                     | 60  | 10              | -    | -         | 20  |          |  |
| C03   | 2                | 1   | -   | 20                                     | 50  | 10              | -    | -         | 20  |          |  |
| C04   | 3                | 1   | -   | 10                                     | 50  | 30              | -    | -         | 10  |          |  |
| C05   | 1                | 1   | -   | 10                                     | 40  | 40              | -    | -         | 10  |          |  |
| C06   | 1                | 2   | 0.5 | 5                                      | 75  | 20              | -    | -         | -   |          |  |
| C07   | 2                | 1   | -   | 10                                     | 70  | 20              | -    | -         | -   |          |  |
| C08   | 2                | 2   | -   | 5                                      | 65  | 10              | -    | -         | 20  |          |  |
| C09   | 3                | 2   | -   | 10                                     | 55  | 15              | -    | -         | 20  |          |  |

Anotador: Almitas Santos Moreno

INC: 02-01

| INFORMACION DE LA SEVERIDAD EN EL COMPONENTE VEGETAL (DOSEL Y SUBDOSEL) |                                 |           |           |                      |     |            |       |      |      |                          |     |     |
|---|---------------------------------|-----------|-----------|----------------------|-----|------------|-------|------|------|--------------------------|-----|-----|
| N°  | Nomb. Científico<br>Nomb. Común | DIST<br>m | DAP<br>cm | Diametro<br>copa (m) |     | Altura (m) |       |      |      | Soflamado de la copa (%) |     |     |
|   |                                 |           |           | N-S                  | O-E | Htotal     | Hcopa | Hmar | Hneg | NEG                      | MAR | VER |
| 01  | Pinus sp                        | 1         | 44        | 4.2                  | 2.1 | 7          | 1     | -    | 7    | 100                      | -   | -   |
| 02  | Pinus sp                        | 3         | 56        | 3.9                  | 3.1 | 7          | 0.8   | -    | 7    | 100                      | -   | -   |
| 03  | Pinus sp                        | 6         | 44        | 3.5                  | 1.8 | 6          | 1     | -    | 6    | 100                      | -   | -   |
| 04  | Pinus sp                        | 9         | 54        | 1.8                  | 4.1 | 7          | 0.9   | -    | 7    | 100                      | -   | -   |
| 05  | Pinus sp                        | 10        | 50        | 2.5                  | 3.1 | 6          | 0.2   | -    | 6    | 100                      | -   | -   |
| 06  | Pinus sp                        | 7         | 40        | 3.4                  | 2.9 | 5          | 0.7   | -    | 5    | 100                      | -   | -   |
| 07  | Pinus sp                        | 9         | 53        | 4.10                 | 1.9 | 5          | 2     | -    | 5    | 100                      | -   | -   |
| 08  | Pinus sp                        | 10        | 39        | 2.7                  | 4.1 | 3          | 1     | -    | 3    | 100                      | -   | -   |
| 09  | Pinus sp                        | 10        | 31        | 1.7                  | 1.2 | 6          | 0.9   | -    | 6    | 100                      | -   | -   |
| 10  | Pinus sp                        | 6         | 43        | 2.10                 | 3.9 | 5          | 2     | -    | 5    | 100                      | -   | -   |
| 11  | Pinus sp                        | 8         | 39        | 4.10                 | 2.7 | 7          | 2     | -    | 7    | 100                      | -   | -   |
| 12  | Pinus sp                        | 7         | 49        | 3.5                  | 1.7 | 6          | 2     | -    | 6    | 100                      | -   | -   |
| 13  | Pinus sp                        | 4         | 27        | 1.7                  | 2   | 4          | 3     | -    | 4    | 100                      | -   | -   |
| 14  | Pinus sp                        | 9         | 52        | 1.5                  | 2   | 7          | 0.8   | -    | 7    | 100                      | -   | -   |
| 15  | Pinus sp                        | 7         | 53        | 3.3                  | 2.7 | 6          | 3     | -    | 6    | 100                      | -   | -   |
| 16  | Pinus sp                        | 7         | 40        | 2.3                  | 1.7 | 6          | 2     | -    | 6    | 100                      | -   | -   |
| 17  | Pinus sp                        | 9         | 50        | 4.1                  | 2.6 | 7          | 2     | -    | 7    | 100                      | -   | -   |

Anotador: Almitas Santos Moreno

INC: 01-01

| INFORMACION DE LA SEVERIDAD EN EL COMPONENTE VEGETAL (MATORRAL) |                                 |             |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|---|---------------------------------|-------------|-------------------|-----|-----------------|-------|-----------------------------|-----|-----|
| N°  | Nomb. Científico<br>Nomb. Común | CDB<br>(cm) | Diametro copa (m) |     | Altura promedio |       | Soflamado promedio copa (%) |     |     |
|   |                                 |             | N-S               | O-E | Htotal          | Hcopa | NEG                         | MAR | VER |
| 1   | zarcollega                      | <2.5        | 0.5               | 0.5 | 2               | 1.5   |                             |     | 100 |
|   |                                 | 2.5-5.0     | 1                 |     |                 |       |                             |     |     |
|   |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
| 2   | zarote                          | <2.5        |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|   |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|   |                                 | 5.0-7.5     | 1.5               | 2   | 3               | 1     |                             | 15  | 85  |
| 3   | palo verde                      | <2.5        |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|   |                                 | 2.5-5.0     | 3                 | 2   | 4               | 1     |                             |     | 100 |
|   |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
| 4   | miconca                         | <2.5        | 0.5               | 0.5 | 2               | 0.5   |                             |     | 100 |
|   |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|   |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
| 5   | Diente Leon                     | <2.5        | 1                 | 1   | 2.5             | 0.5   |                             |     | 100 |
|   |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|   |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
| 6   | Aguyamanto                      | <2.5        | 10                | 0.5 | 0.5             | 1     | 0.5                         |     | 100 |
|   |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|   |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
| 7   | Bolílo                          | <2.5        | 0.4               | 0.6 | 1.5             |       |                             |     | 100 |
|   |                                 | 2.5-5.0     |                   |     |                 |       |                             |     |     |
|   |                                 | 5.0-7.5     |                   |     |                 |       |                             |     |     |

## Anexo 5. Panel fotográfico



Foto 1. Georreferenciación de área quemada



Foto 2. Delimitación del área quemada



Foto 3. Instalación de parcela en el área quemada



Foto 4. Evaluación de material vegetal quemado



Foto 5. Medición del componente edafológico para la evaluación de la severidad



Foto 6. Medición de espacio de copas de plantación quemada



Foto 7. Medición de alturas de árboles quemados



Foto 8. Registro de datos de la evaluación de incendios en campo



Foto 9. Análisis en gabinete



Anexo 10. Validación de experto





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL - FILIAL JAÉN



**PROYECTO:**  
**“Evaluación y mapeado de la severidad en dos incendios forestales en la provincia de San Ignacio”**

**Ficha de validación (juicio de expertos)**

| FICHA DE VALIDACIÓN  |                      |                     |                                     |                                |              |              |
|--|----------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|
| TÍTULO   |                      |                     |                                     | AUTORES:                       |              |              |
| “Evaluación y mapeado de la severidad en dos incendios forestales en la provincia de San Ignacio”  |                      |                     |                                     | Almites Santos Moreno          |              |              |
| VARIABLES EMPLEADA   | DIMENSIONES          | INDICADORES         | INSTRUMENTOS                        | VALIDEZ DEL JUICIO DE EXPERTOS |              |              |
|  |                      |                     |                                     | EXPERTO N° 1                   | EXPERTO N° 2 | EXPERTO N° 3 |
| Incendios forestales   | Niveles de severidad | Índice de severidad | Índices espectrales multitemporales | 0.9                            |              |              |
|  |                      |                     | Computación e la nube (G.E.E)       | 0.9                            |              |              |
| INTERPRETACIÓN DEL VALOR DE LA VALIDEZ (según Hernández, 2014)   |                      |                     | Sumatoria                           | 0.9                            |              |              |
| Valor de la validez obtenida   |                      | Interpretación      | Sumatoria/(n° de instrumentos)      | 0.9                            |              |              |
| De 0 a 0.60  |                      | Inaceptable         |                                     |                                |              |              |
| Mayor a 0.60 y menor o igual que 0.70  |                      | Deficiente          |                                     |                                |              |              |
| Mayor a 0.70 y menor o igual que 0.80  |                      | Aceptable           |                                     |                                |              |              |
| Mayor a 0.80 y menor o igual que 0.90  |                      | Buena               |                                     |                                |              |              |
| Mayor a 0.90   |                      | Excelente           | Promedio de la validez obtenida     |                                |              |              |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;"> <br/> <br/> <b>PIZARRO CARCAISTO SAMUEL EDWIN</b><br/>                 INGENIERO ZOOTECNISTA<br/>                 CIP N° 246060             </div> <div style="text-align: center; width: 200px;">                 _____<br/>                 Experto N° 01             </div> <div style="text-align: center; width: 200px;">                 _____<br/>                 Experto N° 02             </div> <div style="text-align: center; width: 200px;">                 _____<br/>                 Experto N° 03             </div> </div> |                      |                     |                                     |                                |              |              |

Fuente: Elaboración propia





**Validación de instrumento – experto 1**

| Criterios          | Indicadores   | INACEPTABLE |    |    |    |    | MINIMAMENTE ACEPTABLE |    |    | ACEPTABLE |    |    |    |     |
|--------------------|---|-------------|----|----|----|----|-----------------------|----|----|-----------|----|----|----|-----|
|                    |   | 40          | 45 | 50 | 55 | 60 | 65                    | 70 | 75 | 80        | 85 | 90 | 95 | 100 |
| 1. Claridad        | Está formulada con lenguaje comprensible  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 2. Objetividad     | Esta adecuado a las leyes y principios científicos  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    |    | X  |     |
| 3. Actualidad      | Está adecuado a los objetivos y a las necesidades reales de la investigación                                      |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    |    | X  |     |
| 4. Organización    | Existe una organización lógica  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 5. Suficiencia     | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 6. Intencionalidad | Está adecuado para valorar las variables de la hipótesis  |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 7. Consistencia    | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos   |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    |    | X  |     |
| 8. Coherencia      | Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores                              |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    | X  |    |     |
| 9. Metodología     | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis                        |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    |    | X  |     |
| 10. Pertinencia    | El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico |             |    |    |    |    |                       |    |    |           |    |    |    | X   |

|   |                                 |  |
|---|---------------------------------|--|
| Promedio de valoración                                    | <input type="text" value="89"/> | Nombre del especialista:<br>Samuel Edwin Pizarro Carcausto<br>N° CIP: 246050<br>Firma y sello: |
| Luego de revisar el instrumento:<br>procede su aplicación | <input type="text" value="SI"/> |  |
| debe corregir   | <input type="text"/>            |  |

Fuente: Elaboración propia