

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**ANÁLISIS DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES
SATELITALES EN EL DISTRITO DE IBERIA, MADRE DE DIOS, DURANTE EL
2015 Y 2025**

PRESENTADA POR:

HOBER CHIPANA CHAMBI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2026



Repositorio Institucional ALCIRA by Universidad Privada San Carlos is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



1.77%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 7 MAY 2026, 11:23 AM

Originality & Authorship Report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.57%

● CHANGED TEXT
1.19%

Report #32941285

HOBER CHIPANA CHAMBI // ANÁLISIS DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES EN EL DISTRITO DE IBERIA, MADRE DE DIOS, DURANTE EL 2015

Y 2025 RESUMEN El distrito de Iberia, ubicado en la región Madre de Dios, se enfrenta a circunstancias que propician que ocurran incendios de manera regular. En ese entender el objetivo de la investigación es analizar los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025. La metodología del estudio es no experimental, con un enfoque cuantitativo y es aplicado, con técnicas de teledetección utilizando softwares de RStudio y Qgis sobre las imágenes de MODIS de áreas quemadas. En los resultados los primeros años, 2304 ha en 2015, 1504 ha en 2016, 992 ha en 2017 y el mínimo de 688 ha en 2018, por otro lado 416 ha en 2025, también los datos muestran una notable dispersión en comparación con la línea de ajuste, con áreas incendiadas menores a 1000 ha en años como 2018, 2023 y 2025; esto contrasta con un valor excepcional cercano a las 25000 ha obtenido en 2024, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.1749$) indica que la tendencia lineal solo explica el 17.49 % de la variabilidad observada. El 82.51 % restante se debe a factores no considerados por el modelo, posiblemente asociados con las condiciones climáticas extremas y las acciones humanas. Concluyendo que el área afectada se ha expandido con el paso del tiempo, pero este patrón no

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS
ANÁLISIS DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES
SATELITALES EN EL DISTRITO DE IBERIA, MADRE DE DIOS, DURANTE EL
2015 Y 2025

PRESENTADA POR:

HOBER CHIPANA CHAMBI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:


Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

PRIMER MIEMBRO

:


Dra. CELIA VERENISSEE ORTIZ DE ORUE ROJAS

SEGUNDO MIEMBRO

:


Mtra. NATALY SILVIA GARCIA VILCA

ASESOR DE TESIS

:


Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 14 de mayo del 2026.

DEDICATORIA

A Dios, por proveerme de la sabiduría, la paciencia y la fortaleza que se requieren para realizar este proyecto. Te agradezco que me hayas acompañado en cada fase y que me hayas dejado conseguir este triunfo con fe y persistencia.

A mis padres, por su amor sin condiciones, su apoyo constante y su motivación continua a lo largo de toda mi formación. Su esfuerzo y dedicación han sido el principal aliciente para seguir adelante y superar cada obstáculo.

A mis amigos, por su compañía y apoyo durante la realización de este estudio. Su apoyo hizo que este proceso fuera más llevadero al compartir conmigo no solo los retos, sino también los momentos de satisfacción.

Hober Chipana Chambi

AGRADECIMIENTOS

- ❖ *A Dios, por darme la sabiduría, el liderazgo y la fortaleza para llevar a cabo esta investigación, además de la constancia que se requería para vencer cada reto a lo largo del proceso.*
- ❖ *A mis padres, por su amor sin condiciones, apoyo incesante y confianza en mí, que me motivaron a seguir avanzando y lograr cada meta académica.*
- ❖ *A la Universidad Privada San Carlos, por brindarme el entorno, los recursos y la educación necesarios para llevar a cabo este estudio, lo que apoyó mi crecimiento personal y profesional*
- ❖ *A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por ofrecer las herramientas, el asesoramiento y los conocimientos necesarios para afrontar los desafíos de esta investigación, fomentando así el fortalecimiento de habilidades en el campo científico.*
- ❖ *A mi asesor, por su guía y paciencia, así como por sus útiles observaciones mientras desarrollaba el trabajo, me orientó para conseguir un estudio riguroso y de calidad.*
- ❖ *A los jurados, por su tiempo, su disposición y sus observaciones críticas, que contribuyeron a mejorar y robustecer esta investigación con sus sugerencias profesionales y constructivas.*

Hober Chipana Chambi

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. ANTECEDENTES	14
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	14
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	17
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	21
2.1.1. INCENDIOS FORESTALES	21

2.1.2. INCENDIOS FORESTALES EN LA AMAZONIA	22
2.1.3. TELEDETECCIÓN	23
2.1.4. SENSORES REMOTOS	24
2.1.5. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	24
2.1.6. IMÁGENES SATELITALES	25
2.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.2.1. HIPÓTESIS GENERAL	25
2.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	25
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	26
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	27
3.2.1. POBLACIÓN	27
3.2.2. MUESTRA	27
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	27
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	28
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	28
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES EN EL DISTRITO DE IBERIA, MADRE DE DIOS, DURANTE EL 2015 Y 2025.	30
4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES EN EL DISTRITO DE IBERIA, MADRE DE DIOS, DURANTE EL 2015 Y 2025.	34
4.3. DISCUSIÓN	36

4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	37
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Identificación de la variable.	28
Tabla 02: Estadística descriptiva de los incendios forestales del distrito de Iberia, 2015 y 2025.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Incendios forestales.	21
Figura 02: Incendios forestales en la amazonia.	22
Figura 03: Teledetección.	23
Figura 04: Mapa de ubicación del área de estudio.	26
Figura 05: Incendios forestales del distrito de Iberia, Madre de Dios, 2015 y 2025.	31
Figura 06: Variabilidad de los incendios forestales del distrito de Iberia, Madre de Dios, 2015 y 2025.	32
Figura 07: Mapa de incendios forestales del distrito de Iberia, Madre de Dios, 2015 y 2025.	33
Figura 08: Regresión lineal de los incendios forestales del distrito de Iberia, 2015 y 2025.	35

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia.	45
Anexo 02: Datos de MODIS de Área quemada.	46
Anexo 03: Mapa de los incendios forestales del distrito de Iberia.	47
Anexo 04: Evaluación de los incendios forestales del distrito de Iberia.	49
Anexo 05: Panel fotográfico.	50

RESUMEN

El distrito de Iberia, ubicado en la región Madre de Dios, se enfrenta a circunstancias que propician que ocurran incendios de manera regular. En ese entender el objetivo de la investigación es analizar los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025. La metodología del estudio es no experimental, con un enfoque cuantitativo y es aplicado, con técnicas de teledetección utilizando softwares de RStudio y Qgis sobre las imágenes de MODIS de áreas quemadas. En los resultados los primeros años, 2304 ha en 2015, 1504 ha en 2016, 992 ha en 2017 y el mínimo de 688 ha en 2018, por otro lado 416 ha en 2025, también los datos muestran una notable dispersión en comparación con la línea de ajuste, con áreas incendiadas menores a 1000 ha en años como 2018, 2023 y 2025; esto contrasta con un valor excepcional cercano a las 25000 ha obtenido en 2024, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.1749$) indica que la tendencia lineal solo explica el 17.49 % de la variabilidad observada. El 82.51 % restante se debe a factores no considerados por el modelo, posiblemente asociados con las condiciones climáticas extremas y las acciones humanas. Concluyendo que el área afectada se ha expandido con el paso del tiempo, pero este patrón no sigue una línea constante, ya que existen fluctuaciones interanuales significativas y eventos extremos que alteran la media general.

Palabras clave: Área quemada, incendios forestales, MODIS, teledetección, variabilidad.

ABSTRACT

The district of Iberia, located in the Madre de Dios region, faces circumstances that contribute to the regular occurrence of wildfires. Therefore, the objective of this research is to analyze forest fires in the district of Iberia, Madre de Dios, using satellite imagery from 2015 to 2025. The study employs a non-experimental, quantitative, and applied methodology, utilizing remote sensing techniques with RStudio and QGIS software on MODIS images of burned areas. The results for the first few years show 2,304 ha in 2015, 1,504 ha in 2016, 992 ha in 2017, and a minimum of 688 ha in 2018. On the other hand, the projected 416 ha for 2025 also reveals a notable dispersion compared to the fitted line, with burned areas of less than 1,000 ha in years such as 2018, 2023, and 2025. This contrasts sharply with an exceptional value of nearly 25,000 ha obtained in 2024. The coefficient of determination ($R^2 = 0.1749$) indicates that the linear trend only explains 17.49% of the observed variability. The remaining 82.51% is due to factors not considered by the model, possibly associated with extreme weather conditions and human activity. Concluding that the affected area has expanded over time, but this pattern does not follow a constant line, as there are significant year-on-year fluctuations and extreme events that alter the overall average.

Keywords: Burned area, Forest fires, MODIS, Remote sensing, Variability.

INTRODUCCIÓN

El distrito de Iberia, ubicado en la región Madre de Dios, se enfrenta a circunstancias que propician que ocurran incendios de manera regular, sobre todo debido al crecimiento de actividades productivas, la apertura de nuevas rutas y la modificación del bosque. La cobertura forestal y los procesos de deterioro que afectan tanto a la población como a los ecosistemas se han visto significativamente reducidos en años recientes debido a estas presiones. No obstante, es escasa la información detallada que posibilite comparar la magnitud y gravedad de los incendios entre 2015 y 2025.

Se llevó a cabo en las concesiones forestales de la provincia de Tambopata, que está situada en la región Madre de Dios, Perú; el lapso temporal fue entre los años 2000 y 2020. El objetivo de la investigación fue cuantificar la disminución de cobertura forestal y evaluar cuán eficaz es el marco institucional y normativo para manejar los bosques y disminuir la deforestación. La metodología se sustentó en la comparación de datos espaciales sobre la deforestación, que fueron obtenidos de las plataformas Geobosques y Earth Map. Esto fue complementado con el estudio de los cambios a la legislación forestal ocurridos durante el rango de tiempo analizado. Los hallazgos muestran que se estima una pérdida de 32 115.36 hectáreas de bosque en concesiones forestales, lo cual supone el 20.96 % de la deforestación regional. Además, demuestran que las modificaciones normativas que se llevaron a cabo en tres ocasiones no lograron instaurar estrategias para un manejo sostenible a largo plazo. Como resultado, numerosas concesiones fueron utilizadas primero para la tala maderera y posteriormente convertidas en zonas agrícolas, ganaderas o mineras; lo cual evidencia la escasa capacidad del sistema vigente para detener la deforestación amazónica (Valle et al., 2023).

La investigación presenta como hipótesis; Los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, son significativos. Y con una variable que son los incendios forestales.

Por otro lado la investigación está dividida en cuatro capítulos; el capítulo I cuenta con el planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación, el capítulo II cuenta con el marco teórico e hipótesis de la investigación, el capítulo III cuenta con la metodología de la investigación y finalmente el el capítulo IV cuenta con la exposicion y analisis de los resultados, seguida por las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel global, el incremento de los incendios forestales es uno de los problemas ambientales más graves hoy en día. La presencia del fuego en diversos ecosistemas se ha incrementado debido a varios elementos, como la extensión de la frontera agrícola, el mal manejo del suelo y el cambio climático. Las altas temperaturas y las largas sequías favorecen su difusión, lo que genera que la cobertura vegetal disminuya, se emite más carbono y se cause daño a la biodiversidad y a los seres humanos. En este contexto, las imágenes tomadas por satélites se han vuelto un instrumento crucial para analizar, observar y medir la conducta temporal y espacial de estos sucesos, lo que fortalece el planeamiento y gestión territorial.

En Perú, se evidencia una tendencia ascendente en los incendios forestales, que está relacionada principalmente con prácticas humanas, como la agricultura itinerante, las quemas para crear pasturas y la falta de regulación territorial. Además, la susceptibilidad de los bosques al fuego aumenta debido a que las temporadas secas son más intensas. La degradación de grandes zonas de vegetación amazónica, el deterioro de la calidad del medio ambiente y las consecuencias socioeconómicas que amenazan los servicios ecosistémicos son algunos de los impactos más relevantes. Sin embargo, aún existen

lagunas en las evaluaciones continuas que permitan comparar con exactitud la magnitud del daño a lo largo del tiempo.

En el ámbito local, el distrito de Iberia, ubicado en la región Madre de Dios, se enfrenta a circunstancias que propician que ocurran incendios de manera regular, sobre todo debido al crecimiento de actividades productivas, la apertura de nuevas rutas y la modificación del bosque. La cobertura forestal y los procesos de deterioro que afectan tanto a la población como a los ecosistemas se han visto significativamente reducidos en años recientes debido a estas presiones. No obstante, es escasa la información detallada que posibilite comparar la magnitud y gravedad de los incendios entre 2015 y 2025. Por esta razón, es esencial el uso de tecnologías de teledetección para dimensionar el problema y fundamentar las acciones de prevención y gestión sostenible.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo son los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

P1. ¿Cuánto son los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025?

P2. ¿Cómo es el comportamiento de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- González et al. (2022) se llevó a cabo en las regiones boscosas de México, con un enfoque más profundo en el Estado de México y Durango, entidades que reúnen la mayor cantidad de investigaciones anteriores. El objetivo de la investigación fue analizar y organizar los diferentes modelos e índices desarrollados para calcular la probabilidad de que sucedan incendios forestales, teniendo en cuenta las variables y las bases

metodológicas. Para este propósito, se realizó una revisión de fuentes bibliográficas tanto impresas como digitales que fueron publicadas entre finales del siglo XX y el año 2018. Los hallazgos posibilitaron la identificación de 38 modelos e índices, lo cual pone de manifiesto una notable concentración espacial de estudios y, simultáneamente, la falta de sistemas para evaluar el riesgo de incendios en amplias zonas forestales del país.

- Cisneros et al. (2024) a lo largo del territorio ecuatoriano entre 2001 y 2020 fue analizado. El objetivo principal fue examinar el alcance y la repartición de las zonas impactadas por el fuego, así como su conexión con las áreas naturales, los tipos de cobertura vegetal y las zonas protegidas. Se utilizó información cartográfica temática junto con las imágenes satelitales MODIS del producto MCD64A1 versión 6.0 para llevar a cabo un análisis histórico. Los resultados mostraron que se quemaron 7297.5 km² de superficie, lo cual representa el 2.9 % del país. Esta cifra tuvo un impacto más fuerte en la región Litoral y en las áreas agropecuarias. Además, desde 2010 los incendios han aumentado significativamente, alcanzando su punto máximo en 2016. Asimismo, el 4.9 % de las zonas protegidas fueron afectadas. Estos datos son esenciales para respaldar la creación de políticas para una gestión integral del fuego.

- Himmelsbach et al. (2024) se llevó a cabo en dos zonas boscosas con condiciones distintas: una que había sido impactada por un incendio y otra sin antecedentes de alteración provocada por el fuego. Estudiar la manera en que los incendios afectan a la diversidad y riqueza de mariposas, así como a su relación con la diversidad de las plantas, tomando en cuenta las variaciones a través del año, fue el propósito primordial. Para esto, se realizó un levantamiento de información sobre la diversidad de flores en ambos lugares y se utilizó trampas para atrapar mariposas a lo largo de las cuatro estaciones, así como muestreos en transectos. Según los resultados, el bosque quemado mostró niveles más altos de diversidad de mariposas y de flora en comparación con la zona que no fue afectada; las diferencias fueron del 27 % y del 41 %

en cuanto a la riqueza de especies, respectivamente. Además, solo se observó una variación estacional significativa en el sitio incendiado. Esto enfatiza lo importante que es incluir estos efectos en los planes para la gestión forestal.

- Neger et al. (2022) se llevó a cabo en México a nivel nacional, con una mayor concentración de estudios en las áreas centrales y del noroeste del país. Su propósito fue analizar críticamente las líneas de investigación, los aportes y las lagunas que hay en el análisis geográfico de los incendios forestales. Para esto, se utilizó un método que combina una revisión sistemática de la literatura y el análisis bibliométrico, incluyendo estudios interinstitucionales e interdisciplinarios. Los hallazgos indican que las investigaciones se centran sobre todo en el análisis geoespacial de las zonas afectadas, la estimación de emisiones y la creación de mapas y modelos de riesgo, además de la reconstrucción de los regímenes del fuego a través de dendrocronología y el estudio de la vegetación. Se subraya así el rol del clima y las actividades humanas; no obstante, también queda en evidencia una atención insuficiente al manejo del fuego desde la Geografía Humana, así como la necesidad de una integración más amplia entre enfoques disciplinarios.

- Acevedo et al. (2026) se centró en América Latina. El propósito fue compilar y analizar la evidencia científica existente acerca del impacto que tienen las sequías, en especial las más graves, en el surgimiento y alcance de los incendios en la zona. La metodología se fundamentó en una revisión sistemática de los artículos científicos publicados en las bases de datos Scopus y SciELO entre 2012 y 2023, teniendo en cuenta las fuentes de información y las técnicas estadísticas empleadas. Los hallazgos indican que el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais constituyó la fuente fundamental de datos, sobre todo a través del Programa Queimadas; en cambio, para describir las sequías se usaron más a menudo los datos del conjunto CHIRPS y de la misión TRMM de la NASA. Se observan así vínculos complejos entre ambas situaciones y la

importancia de aumentar tanto la accesibilidad como la disponibilidad de información ante el cambio climático.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- Suárez & Redrobán (2025) en Perú y Ecuador. Su objetivo fue examinar las disparidades y el alcance de los marcos legales de las dos naciones en lo que respecta a la salvaguarda de la naturaleza y la garantía de sus ciclos vitales, con miras a determinar directrices para robustecer la protección del medio ambiente. La metodología empleada fue una revisión de tipo cualitativa, la cual se basó en documentos normativos y legales que fueron publicados entre 2020 y 2025. Los hallazgos muestran que Ecuador tiene una legislación más robusta al considerar de manera explícita a la naturaleza como sujeto de derechos, mientras que Perú sigue un enfoque mayormente antropocéntrico, aunque incluye aspectos biocéntricos al proteger indirectamente los recursos naturales. En los dos casos se detectan lagunas legales y la exigencia de establecer reglas particulares y fomentar la colaboración binacional para una administración integral y sostenible del fuego.
- Cruz & Cruz (2025) en la región cusqueña se llevó a cabo la investigación, teniendo en cuenta un área delimitada por un radio de 20 km alrededor del sistema glaciar principal al sur de la región, lugar donde se observó una alta frecuencia de incendios. El objetivo del estudio fue determinar y valorar la gravedad de los incendios forestales utilizando instrumentos de teledetección. Se utilizó un enfoque cuantitativo descriptivo-explicativo y aplicado, que abarca desde 2015 hasta 2024, sin realizar experimentación y de manera longitudinal retrospectiva. Se emplearon imágenes satelitales Landsat 8, MODIS y VIIRS, las cuales fueron procesadas en plataformas SIG (Sistemas de Información Geográfica) y Google Earth Engine. Además, se llevaron a cabo mosaicos previos y posteriores a los eventos, se realizaron correcciones atmosféricas y se calcularon los índices dNBR (diferencia normalizada de quemadas) y NBR

(normalizado de quemas). Los hallazgos mostraron que la severidad del fuego no se distribuye de manera homogénea en el espacio, con focos intensos dentro de áreas de impacto medio, y posibilitaron detectar áreas problemáticas donde la severidad y la recurrencia se superponen, lo cual confirma que la teledetección es útil para administrar el riesgo en ambientes andinos.

- Rojas et al. (2023) en la región peruana de Apurímac, conocida por la alta incidencia de incendios forestales. El objetivo primordial fue crear un mapa de probabilidad de incendios utilizando la metodología MaxEnt y los Sistemas de Información Geográfica. Para lograrlo, se examinaron 1312 registros históricos de incendios que abarcan desde el año 2003 hasta el 2022 y se eligieron 17 variables medioambientales predictivas de tipo antrópico, geográfico y climático mediante métodos estadísticos. Estas variables fueron incorporadas al modelo. Los resultados mostraron un rendimiento predictivo apropiado ($AUC = 0.819$) y ayudaron a determinar que el 5.4 % y el 15 % de la superficie regional tienen una probabilidad muy alta y alta de incendios, respectivamente, sobre todo en la zona norte y vinculados a ecosistemas como los matorrales andinos, las zonas agrícolas y los pajonales húmedos de puna; esto demuestra lo útiles que son estas herramientas para prevenir e planificar el riesgo de incendios.
- Monteverde et al. (2024) en el valle de Chanchamayo, región de Junín, Perú. El estudio tuvo como objetivo examinar las características funcionales relacionadas con el ajuste al fuego en especies de árboles expuestas a fuegos forestales. Para lograrlo, se compararon cinco especies en términos de la ramificación a través del Índice de Dominancia Apical, el grosor de la corteza y la densidad básica de la madera, cotejando una población que había sido afectada por quemas con otra no alterada. Los hallazgos revelaron que los árboles expuestos al fuego tuvieron un promedio más alto de IDA ($2,662 \text{ m}^{-1}$) y espesor de corteza ($8,636 \text{ mm}$) en contraste con los no quemados ($1,945 \text{ m}^{-1}$ y $5,150 \text{ mm}$). Sin embargo, la densidad básica fue parecida en ambas situaciones

(0,461 y 0,467 g/cm³), lo cual indica que el grosor de la corteza y la ramificación están relacionados con procesos adaptativos al fuego; en cambio, la densidad básica no mostró una influencia significativa de las quemadas.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

- Valle et al. (2023) se llevó a cabo en las concesiones forestales de la provincia de Tambopata, que está situada en la región Madre de Dios, Perú; el lapso temporal fue entre los años 2000 y 2020. El objetivo de la investigación fue cuantificar la disminución de cobertura forestal y evaluar cuán eficaz es el marco institucional y normativo para manejar los bosques y disminuir la deforestación. La metodología se sustentó en la comparación de datos espaciales sobre la deforestación, que fueron obtenidos de las plataformas Geobosques y Earth Map. Esto fue complementado con el estudio de los cambios a la legislación forestal ocurridos durante el rango de tiempo analizado. Los hallazgos muestran que se estima una pérdida de 32 115.36 hectáreas de bosque en concesiones forestales, lo cual supone el 20.96 % de la deforestación regional. Además, demuestran que las modificaciones normativas que se llevaron a cabo en tres ocasiones no lograron instaurar estrategias para un manejo sostenible a largo plazo. Como resultado, numerosas concesiones fueron utilizadas primero para la tala maderera y posteriormente convertidas en zonas agrícolas, ganaderas o mineras; lo cual evidencia la escasa capacidad del sistema vigente para detener la deforestación amazónica.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O1. Cuantificar los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025.

O2. Evaluar el comportamiento de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. INCENDIOS FORESTALES

Los incendios forestales son sucesos de fuego que se propagan sin control por áreas cubiertas de vegetación natural, como los matorrales, los pastizales y los bosques. Estos pueden tener un origen natural, como ocurre con los rayos; no obstante, en la mayor parte de las ocasiones están vinculados a acciones humanas, sean estas intencionadas o accidentales. El clima, las propiedades del relieve y la cantidad y el tipo de material vegetal que exista son factores que determinan su desarrollo y difusión (España et al., 2024).



Figura 01: Incendios forestales.

Fuente: (España et al., 2024)

Esta clase de incendios produce consecuencias negativas muy grandes en los campos económico, social y ambiental, debido a que causan la pérdida de especies, el deterioro de los suelos, la liberación de contaminantes en la atmósfera y riesgos para la seguridad y salud humanas. Por lo tanto, para asegurar la preservación y el uso sostenible de los ecosistemas forestales, es esencial prevenir y manejar correctamente el fuego (González et al., 2025).

2.1.2. INCENDIOS FORESTALES EN LA AMAZONIA

Se conoce como incendios forestales a los sucesos de fuego que se expanden descontroladamente en bosques tropicales húmedos y otros ecosistemas amazónicos. Se producen, sobre todo, debido a acciones humanas tales como el cambio del uso territorial, la deforestación y las quemas agrícolas. Como el fuego no es un proceso natural que se repita en este ecosistema con altos niveles de humedad, incluso los incendios de baja intensidad pueden causar impactos importantes (Álvarez & Frêne, 2024).



Figura 02: Incendios forestales en la amazonia.

Fuente: (Álvarez & Frêne, 2024).

La pérdida de una gran diversidad biológica, el deterioro del suelo, la fragmentación de los paisajes forestales y un aumento en las emisiones de gases con efecto invernadero son algunas de las consecuencias particularmente graves que resultan de estos incendios. También se ven afectados directamente el bienestar y los medios de subsistencia de las comunidades locales. En este marco, el control y la prevención apropiados del fuego son esenciales para proteger la Amazonía y disminuir las consecuencias del cambio climático (Neger et al., 2023).

2.1.3. TELEDETECCIÓN

La teledetección es la totalidad de técnicas que posibilitan la adquisición de datos acerca de la superficie terrestre sin requerir contacto físico, mediante sensores situados en drones, satélites o aviones. Estos dispositivos registran la radiación que los diferentes componentes del medio reflejan o emiten. Después, estos datos se procesan para examinar los atributos biológicos, químicos y físicos de la región (Maddio et al., 2023).

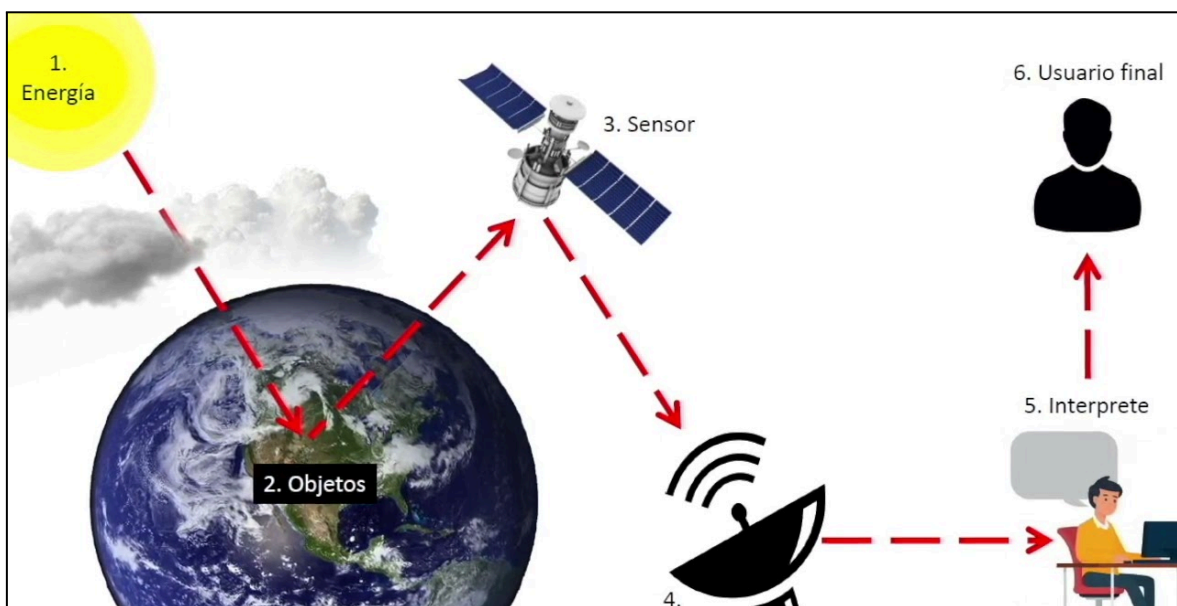


Figura 03: Teledetección.

Fuente: (Maddio et al., 2023)

Dado que permite monitorear la dinámica de la cobertura terrestre, los cuerpos de agua, la vegetación y otros fenómenos naturales a lo largo del tiempo y en distintas escalas

espaciales, esta técnica es fundamental para las investigaciones medioambientales. Debido a su habilidad para observar constantemente y cubrir extensos territorios, la teledetección es una herramienta estratégica para planificar el territorio, gestionar los recursos naturales y disminuir riesgos (Cellone et al., 2023).

2.1.4. SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos son herramientas que recogen información de la superficie terrestre sin requerir contacto físico, mediante el registro de radiación electromagnética que los componentes del ambiente emiten o reflejan. Estos aparatos pueden funcionar desde satélites, aeronaves o drones y recopilan datos en distintas bandas del espectro electromagnético (Galvis et al., 2024).

Su objetivo es reunir información que facilite el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas del entorno, tales como la atmósfera, la cobertura vegetal, el agua o el suelo. Los sensores remotos son fundamentales para la investigación científica, la planificación del territorio y el monitoreo ambiental, porque pueden observar extensas áreas de manera continua (Galvis et al., 2024).

2.1.5. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético incluye las diferentes longitudes de onda de la radiación que los sensores detectan desde la superficie terrestre en el contexto de las imágenes satelitales. Esto incluye longitudes de onda como las microondas, la infrarroja y la visible. La interacción de cada superficie con la energía varía en función de la longitud de onda, lo que posibilita distinguir y describir las diferentes clases de cobertura (Sánchez et al., 2022).

Al integrar diversas bandas espectrales, se puede adquirir información minuciosa acerca de elementos como el agua, la atmósfera, el suelo y la vegetación. Esta habilidad hace de las imágenes satelitales un instrumento fundamental para examinar dinámicas

medioambientales, reconocer cambios en el territorio y apoyar la toma de decisiones durante la administración de los recursos naturales (Sánchez et al., 2022).

2.1.6. IMÁGENES SATELITALES

Los sensores a bordo de satélites son los que generan las imágenes satelitales, que son registros visuales de la superficie terrestre. Dichos sensores detectan la radiación emitida o reflejada por los diferentes componentes del paisaje. Esta clase de información posibilita el monitoreo de vastas áreas del territorio con regularidad y sin tener un contacto directo con el suelo (Almazán et al., 2024).

Estas imágenes son de uso frecuente para investigar y monitorear las acciones humanas y los procesos naturales, como el cambio en la cobertura del suelo, la situación de la vegetación, la localización de cuerpos acuáticos y la aparición de eventos extremos. Por sus diversos niveles de resolución espectral, espacial y temporal, son un instrumento fundamental para la investigación científica y la administración del medio ambiente (Almazán et al., 2024).

2.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

Los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, son significativos.

2.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

H1. Los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, son significativos.

H2. El comportamiento de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, es exponencial.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La investigación se lleva a cabo en el distrito de Iberia, que es parte de la provincia de Tahuamanu, ubicada en la región Madre de Dios, al sureste del Perú y cerca de la frontera internacional con Bolivia. El área distrital se encuentra entre los 11°20' y 11°30' de latitud sur y entre los 69°30' y 69°40' de longitud oeste, con elevaciones que oscilan entre los 200 y 250 metros sobre el nivel del mar.

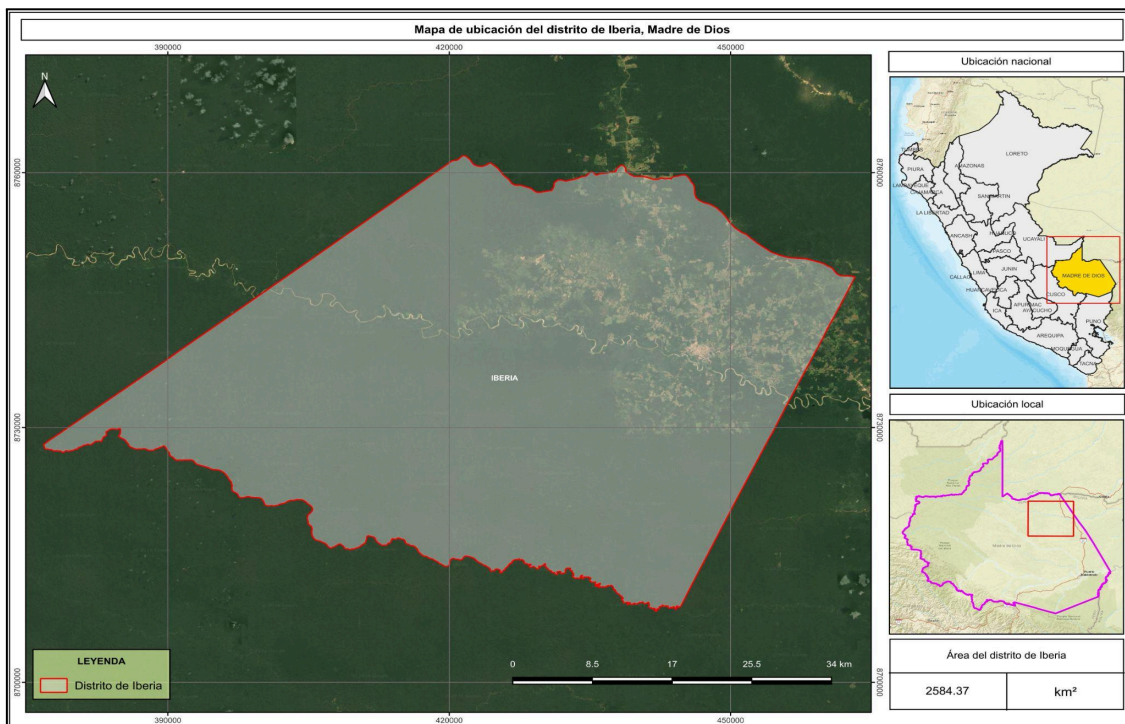


Figura 04: Mapa de ubicación del área de estudio.

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población del estudio son todas las escenas de las imágenes satelitales sobre la extensión territorial del distrito de Iberia, durante el periodo 2015 y 2025.

3.2.2. MUESTRA

La muestra se compone por los píxeles de las imágenes satelitales, que indican área no quemada y quemada durante los años de estudio.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El fenómeno de los incendios forestales se analizó en su contexto real, sin interferir o modificar las condiciones en el distrito de Iberia, ubicado en la región Madre de Dios, durante los años 2015 y 2025. Por eso, el estudio tiene un diseño no experimental. Al fundamentarse en la recolección y examen de datos cuantificables sobre la extensión afectada, la frecuencia y el nivel del fuego, obtenidos a partir de información recolectada por satélites, se sitúa dentro de un enfoque cuantitativo. Igualmente, el estudio es aplicado, ya que tiene como objetivo proporcionar resultados que ayuden a optimizar las actividades de gestión y disminución del riesgo en el nivel distrital. Para esto, se utiliza la teledetección como método principal, lo que facilita la obtención y el análisis de imágenes capaces de identificar cómo se distribuye el acontecimiento en términos espaciales y cómo cambia con el tiempo.

Metodología para el primer objetivo específico, que trata sobre la medición de la ocurrencia de incendios forestales, se emplearon imágenes del sensor MODIS. A través de estas fotos, se identificaron y determinaron las áreas afectadas en el distrito de Iberia, en Madre de Dios. La labor consistió en adquirir y depurar datos geoespaciales, así como organizar estos y calcular posteriormente las hectáreas afectadas utilizando las funcionalidades de QGIS. Por último, se incorporaron los datos en registros que

permitieron calcular valores anuales y comparar la intensidad del fenómeno durante el periodo de 2015 a 2025.

Metodología para el segundo objetivo específico, que se centra en examinar cómo ha evolucionado el fenómeno, se utilizaron las superficies calculadas para implementar métodos estadísticos en RStudio. Se investigó la relación entre la variable temporal y el área quemada a través de gráficos y ajustes de tendencia, identificando patrones reiterativos, variaciones anuales e incidencias de sucesos inusuales. De esta manera, se pudo entender la dinámica de los incendios y determinar si las fluctuaciones son el resultado de un aumento constante o de cambios ocasionales.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 01: Identificación de la variable.

Variable	Dimensión	Unidad de medida
Incendios forestales	Extensión del área quemada	Hectáreas (ha)
	Número de eventos por años	Número de eventos

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

La utilización de modelos de regresión lineal simple para examinar la relación entre los datos adquiridos a través de imágenes satelitales y el comportamiento de los incendios forestales en el distrito ibérico, situado en la región Madre de Dios, durante el lapso 2015-2025, es el fundamento estadístico del estudio. Esta estrategia analítica permite identificar patrones de conducta, medir la intensidad de la relación entre los elementos que se están evaluando y establecer en qué grado una variable afecta a otra. Los resultados generados por estos modelos ofrecen una base numérica para entender la

evolución espacial y temporal del fenómeno, lo que ayuda a planificar medidas enfocadas en su control y disminución del riesgo.

La ecuación tiene la siguiente forma general:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

En la que Y es la variable dependiente, que es el área dañada por el incendio o el nivel de gravedad observado. La variable independiente es la X , como el tiempo o cualquier otro parámetro que se haya extraído a partir de imágenes satelitales. El coeficiente β_0 establece el punto de partida del modelo, o sea, el valor que toma Y en el momento en que X vale cero. Por otro lado, β_1 Muestra la pendiente de la línea recta y señala cómo cambia la variable dependiente al aumentar en una unidad la variable explicativa. En conclusión, ε representa la parte de variabilidad que no puede ser explicada por la relación lineal propuesta.

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES EN EL DISTRITO DE IBERIA, MADRE DE DIOS, DURANTE EL 2015 Y 2025.

En el distrito de Iberia, Madre de Dios entre 2015 y 2025, en la Figura 05 se muestra una fluctuación anual notable, con áreas afectadas relativamente pequeñas en los primeros años del período (2304 ha en 2015, 1504 ha en 2016, 992 ha en 2017 y el mínimo de 688 ha en 2018). Luego hubo un incremento significativo en el año siguiente (3984 ha), que continuó durante el año siguiente (3312 ha) hasta llegar a su punto más alto con 8272 ha incendiadas. Posteriormente se produjo una disminución: primero a 5664 ha incendiadas y luego a solo 980 ha en el año siguiente; sin embargo, se observa un episodio extraordinario en el año siguiente con la quema de nada menos que 24.976 hectáreas, la cifra más alta de todo el periodo, antes de una caída drástica hasta las apenas 416 hectáreas quemadas registradas para el último año. En general, estos hallazgos señalan que no hay una tendencia progresiva sostenida, sino la presencia de años críticos específicos 2021 y 2024 en particular que probablemente estén vinculados a sucesos climáticos extremos o a acciones humanas, o a la combinación de los dos. Esto pone de manifiesto lo importante que es fortalecer las estrategias para prevenir y gestionar el fuego con el fin de disminuir el riesgo de efectos graves.

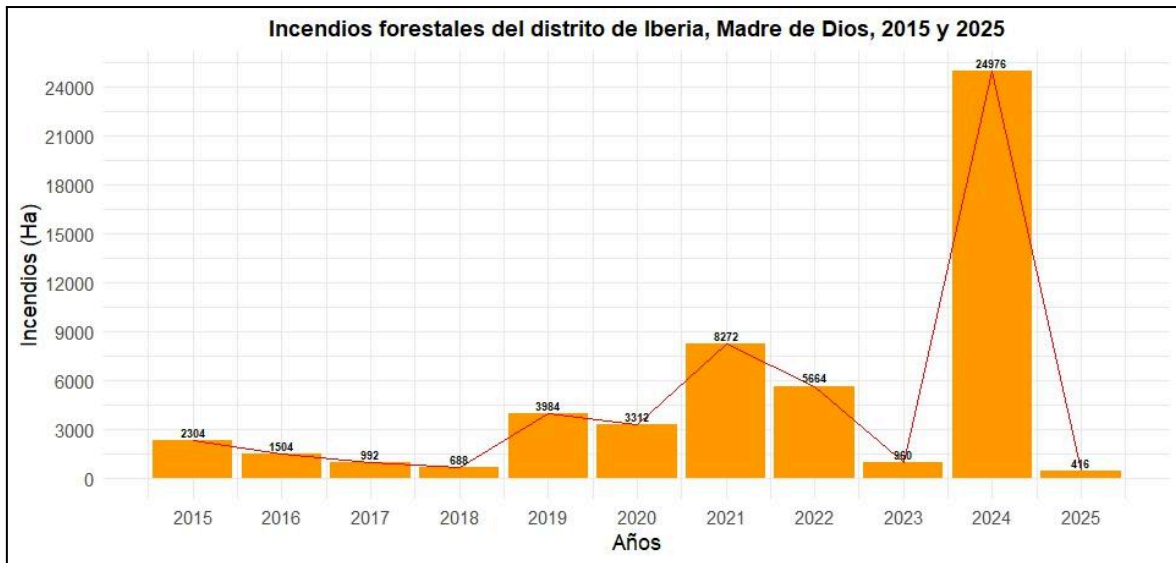


Figura 05: Incendios forestales del distrito de Iberia, Madre de Dios, 2015 y 2025.

Entre 2015 y 2025, los incendios forestales en el distrito de Iberia, Madre de Dios experimentaron variaciones interanuales notables como se muestra en la Figura 06 que comenzaron sin cambios en 2015 (0 ha) y luego hubo reducciones sucesivas: en 2016 con -800 ha, en 2017 con -512 ha y en 2018 con -304 ha, lo cual muestra un descenso progresivo respecto a los años anteriores. Después, se produjo un aumento significativo de +3296 ha en 2019, seguido por una nueva disminución en 2020 (-672 ha), un repunte importante en 2021 (+4960 ha) y descensos continuos durante los años siguientes: -2608 ha para el año 2022 y -4704 para el año siguiente. El año 2024, debido a un suceso extraordinario de incendios, tiene el incremento más alto de toda la serie (+24.016 ha). Por otro lado, en 2025 se observa la disminución más acentuada (-24.560 ha), lo que señala una reducción considerable posterior. En líneas generales, estos resultados indican que la dinámica del fuego es sumamente irregular, con incrementos y descensos drásticos en años determinados, probablemente relacionados con condiciones climáticas extremas y actividad humana. Esto revela la gran vulnerabilidad de esta área ante acontecimientos graves de incendios.



Figura 06: Variabilidad de los incendios forestales del distrito de Iberia, Madre de Dios, 2015 y 2025.

En la Figura 07 se muestra un análisis comparativo de los mapas de incendios en el distrito de Iberia, Madre de Dios, revela la magnitud relativa y la distribución territorial de los eventos de quema mediante el uso del color. El rojo indica zonas incendiadas y el negro se refiere a áreas no afectadas. En 2015 se observa una alta concentración de focos rojos, sobre todo en las regiones norte y noreste; esto muestra que los incendios sucedieron con frecuencia e irregularidad. Sin embargo, en 2018 estas zonas disminuyen significativamente y surgen más aisladas, lo cual indica un área menor afectada. En cambio, a lo largo de 2021 el color rojo se vuelve más fuerte y abarca áreas más extensas y continuas, especialmente en la zona norte-central y oriental del distrito, lo que indica un periodo de mayor severidad. En 2025, por otro lado, las zonas sin incendios predominan casi completamente con pocos focos rojos aislados, lo que muestra una baja notable en la actividad incendiaria. Los cambios en la extensión y la concentración de las zonas rojas a lo largo de diferentes años revelan una variabilidad significativa del fuego con el tiempo, que probablemente esté relacionada con la interacción entre los factores climáticos, los patrones de uso del suelo y las acciones humanas.

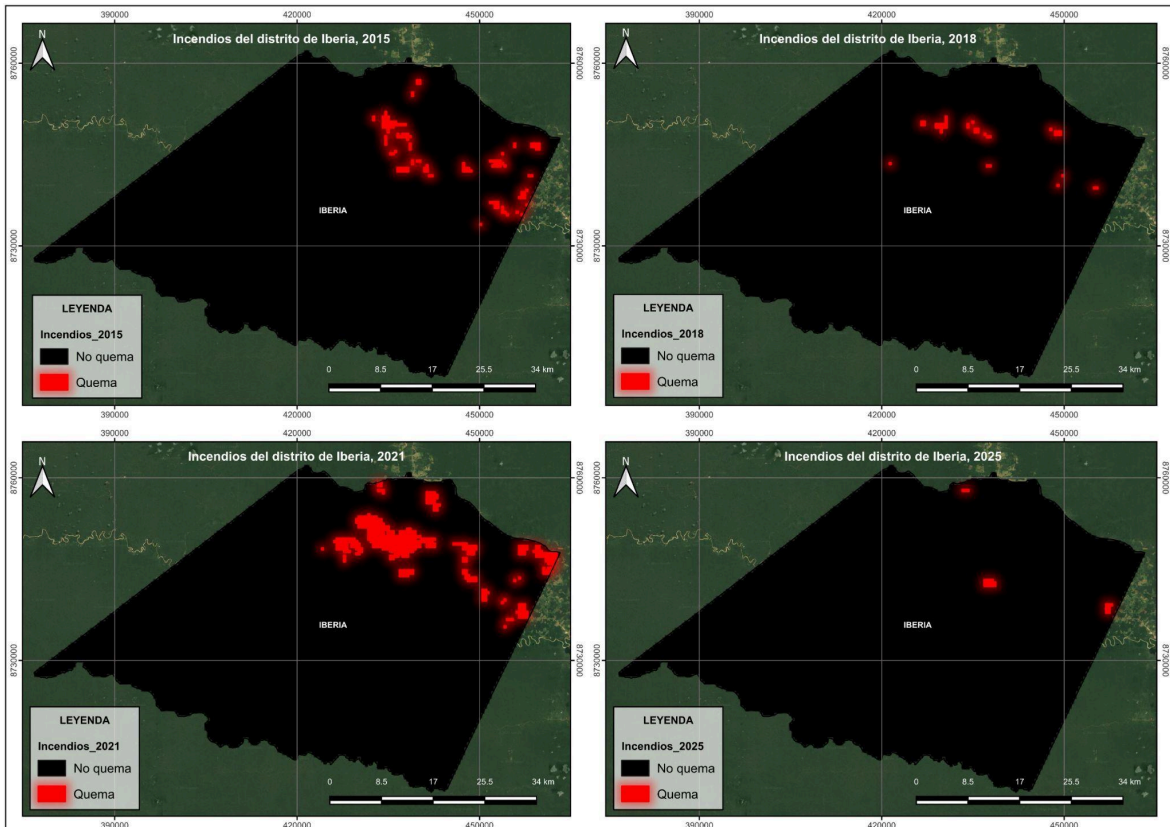


Figura 07: Mapa de incendios forestales del distrito de Iberia, Madre de Dios, 2015 y 2025.

En la Tabla 02 se muestra el estudio descriptivo de los incendios forestales en el distrito de Iberia entre 2015 y 2025 señala que la extensión afectada llega a un promedio de 4824.72 ha, cifra que rebasa la mediana de 2304 ha y que evidencia la influencia de ciertos años con cifras extraordinariamente elevadas. Una notable inestabilidad entre los registros anuales se confirma con la desviación estándar de 7107.83 ha. Igualmente, la asimetría de 2.68 indica una tendencia positiva: aunque la mayoría de las observaciones son pequeñas, se presentan aumentos muy acentuados. Una curtosis de 7.77 completa esta condición, lo que indica la existencia de extremos que incrementan la concentración de datos. Con respecto a los rangos, se registró un mínimo de 416 hectáreas y un máximo de 24976 hectáreas. Se concluye, con un 95% de confianza, que la serie tiene una dispersión alta y que los sucesos extraordinarios afectan significativamente el valor medio.

Tabla 02: Estadística descriptiva de los incendios forestales del distrito de Iberia, 2015 y 2025.

Media	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de asimetría	Curtosis	Mínimo	Máximo
4824.72	2304	7107.83	2.68	7.77	416	24976

Nivel de confianza(95.0%)

4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES EN EL DISTRITO DE IBERIA, MADRE DE DIOS, DURANTE EL 2015 Y 2025.

En la Figura 08 se muestra el análisis de regresión lineal de los incendios forestales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, entre 2015 y 2025 revela una asociación positiva débil entre el tiempo y el área quemada. Esta relación está representada por una ecuación con una pendiente ascendente pero poco pronunciada, lo que significa que hubo un aumento promedio bajo durante el periodo analizado. Sin embargo, los datos muestran una notable dispersión en comparación con la línea de ajuste, con áreas incendiadas menores a 1 000 ha en años como 2018, 2023 y 2025; esto contrasta con un valor excepcional cercano a las 25 000 ha obtenido en 2024. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,1749$) indica que la tendencia lineal solo explica el 17,49 % de la variabilidad observada. El 82,51 % restante se debe a factores no considerados por el modelo, posiblemente asociados con las condiciones climáticas extremas y las acciones humanas. En resumen, a pesar de que se observa una ligera tendencia al aumento de los incendios, el comportamiento general está fuertemente influenciado por la alta variabilidad interanual y

por eventos extremos aislados, lo cual disminuye la capacidad del modelo lineal para predecir y explicar.

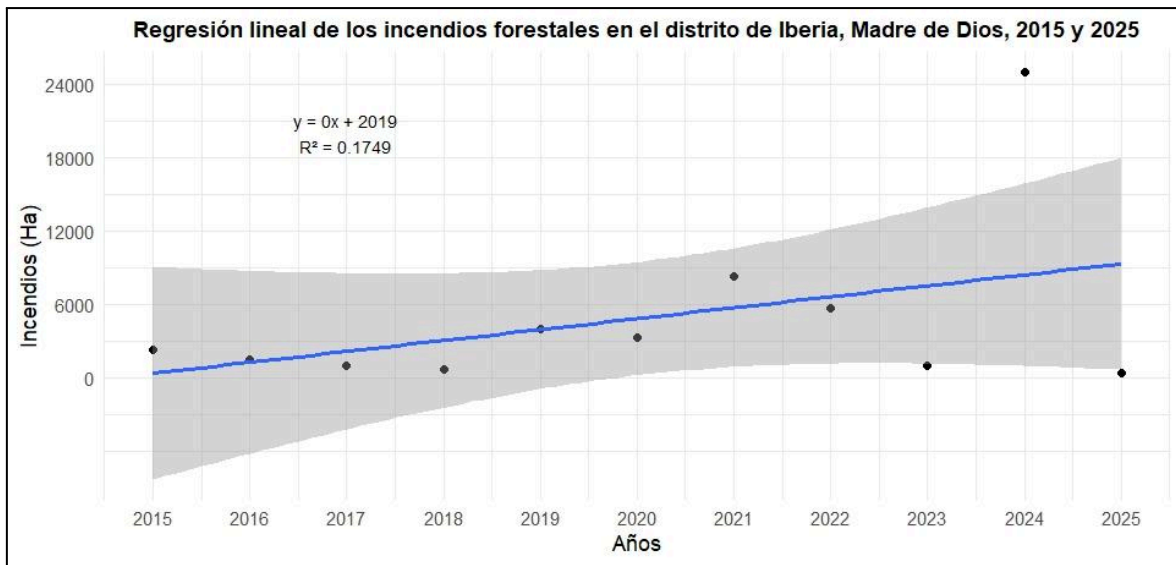


Figura 08: Regresión lineal de los incendios forestales del distrito de Iberia, 2015 y 2025.

En la Figura 09 se muestra la combinación de la regresión y los gráficos exploratorios de los incendios forestales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, entre 2015 y 2025, lo que revela que existe una relación positiva moderada entre la superficie quemada y el tiempo transcurrido, con un coeficiente de determinación cercano a $R^2 = 0,42$. Esto significa que el 42 % de las variaciones registradas se deben a la tendencia temporal; el resto (58 %) es atribuible a factores externos no considerados en el modelo. Los histogramas muestran que la mayoría de las superficies quemadas se distribuyen en valores bajos, por lo general menores a 5 000 ha. Sin embargo, la presencia de sucesos inusuales de gran escala, sobre todo alrededor del año 2024 con cifras superiores a 20 000 ha, aumenta considerablemente la dispersión de los datos. Además, el diagrama de dispersión con la elipse de confianza también verifica esta heterogeneidad, pues a pesar de que hay una tendencia al aumento, los puntos se esparcen considerablemente en torno al valor promedio. Los hallazgos indican, en líneas generales, una tendencia moderada de incremento de los incendios, fuertemente determinada por episodios

extremos aislados y por una alta variabilidad interanual. Esto disminuye la capacidad explicativa general del modelo y muestra el impacto de otros factores antrópicos y climáticos.

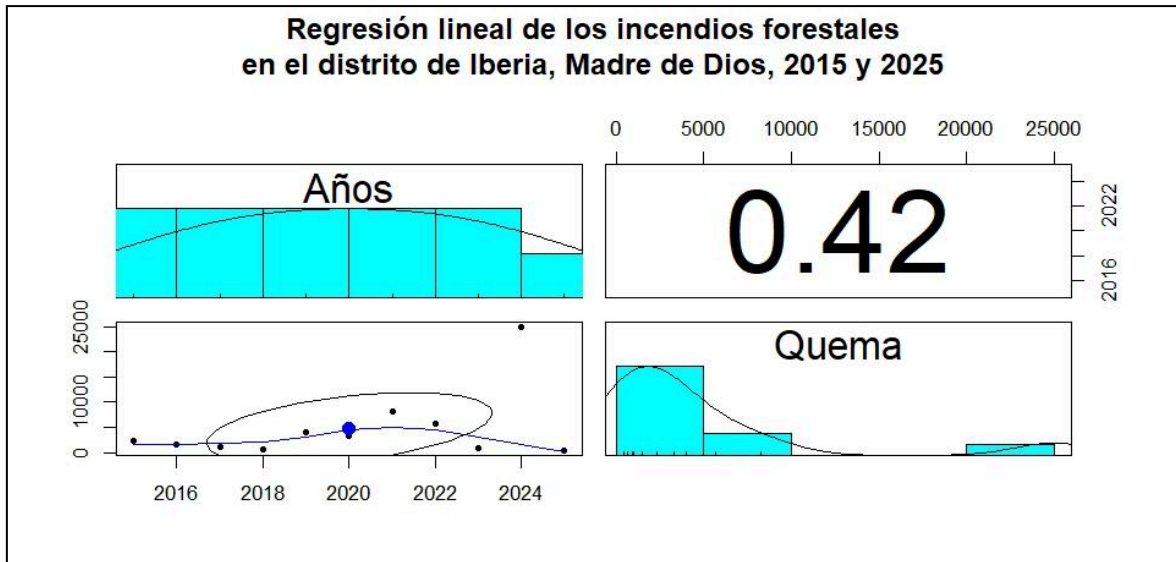


Figura 09: Regresión lineal y los gráficos de los incendios forestales del distrito de Iberia, 2015 y 2025.

4.3. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados concuerdo con **Neger et al. (2022)** se llevó a cabo en México a nivel nacional, los hallazgos indican que las investigaciones se centran sobre todo en el análisis geoespacial de las zonas afectadas, la estimación de emisiones y la creación de mapas y modelos de riesgo, además de la reconstrucción de los regímenes del fuego a través de dendrocronología y el estudio de la vegetación. Se subraya así el rol del clima y las actividades humanas; no obstante, también queda en evidencia una atención insuficiente al manejo del fuego desde la Geografía Humana, así como la necesidad de una integración más amplia entre enfoques disciplinarios. También concuerdo con **Cruz & Cruz (2025)** en la región cusqueña donde, los hallazgos mostraron que la severidad del fuego no se distribuye de manera homogénea en el espacio, con focos intensos dentro de áreas de impacto medio, y posibilitaron detectar áreas problemáticas donde la severidad

y la recurrencia se superponen, lo cual confirma que la teledetección es útil para administrar el riesgo en ambientes andinos. Finalmente concuerdo con **Rojas et al., (2023)** en la región peruana de Apurímac, los resultados mostraron un rendimiento predictivo apropiado ($AUC = 0.819$) y ayudaron a determinar que el 5.4 % y el 15 % de la superficie regional tienen una probabilidad muy alta y alta de incendios, respectivamente, sobre todo en la zona norte y vinculados a ecosistemas como los matorrales andinos, las zonas agrícolas y los pajonales húmedos de puna; esto demuestra lo útiles que son estas herramientas para prevenir e planificar el riesgo de incendios.

4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para analizar cómo varían los incendios forestales detectados por teledetección en el distrito de Iberia, región Madre de Dios, entre 2015 y 2025, se utilizaron modelos de regresión que relacionan la extensión de las áreas quemadas con el año en que sucedieron. Se utilizó el coeficiente de determinación, la tendencia de la pendiente y cómo se distribuyen los registros alrededor de la línea estimada para comprobar las hipótesis.

Hipótesis específica 1:

H1: Los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, son significativos.

Análisis numérico:

De acuerdo a la figura 8 y 9 los valores de R^2 que se han obtenido oscilan entre 0,1749 y cerca de 0,42. Esto significa que la capacidad explicativa varía entre el 17,49 % y el 42 %. Por lo tanto, la mayoría de las variaciones observadas (entre el 58 % y el 82,51 %) se deben a variables que no están incluidas en el modelo. Aunque la tendencia es positiva, el aumento promedio es pequeño y está influenciado por una notable irregularidad anual: se observan períodos de menos de 1 000 ha, frente a un máximo excepcional que supera las 20 000–25 000 ha para el año 2024. En estas circunstancias, la evidencia muestra

que la significancia es limitada, lo que sugiere que el paso del tiempo no es suficiente para explicar por sí solo el comportamiento del fuego.

Hipótesis específica 2:

H2: El comportamiento de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, es exponencial.

Análisis numérico:

De acuerdo a la figura 8 y 9 se muestra un crecimiento exponencial, se debería notar un rumbo constante hacia arriba. Sin embargo, los datos analizados muestran que la mayor parte de los valores se mantiene por debajo de las 5000 ha, con incrementos bruscos concentrados en pocos años. Esta configuración genera una dispersión significativa en torno a la tendencia general y no permite detectar un avance sostenido. De igual modo, el poder explicativo máximo del ajuste (cercano al 42%) es inadecuado para sostener que hay una curva exponencial estable. En este sentido, las transformaciones encontradas están más relacionadas con episodios extremos que con un proceso acumulativo constante.

CONCLUSIONES

PRIMERA: El análisis de imágenes satelitales permitió, en cumplimiento con la meta general, examinar cómo se desarrollaron los incendios forestales en la región Madre de Dios, específicamente en el distrito de Iberia, entre 2015 y 2025. Se detectó que el área afectada se ha expandido con el paso del tiempo, pero este patrón no sigue una línea constante, ya que existen fluctuaciones interanuales significativas y eventos extremos que alteran la media general.

SEGUNDA: Con respecto al primer objetivo específico, la evaluación de las áreas quemadas mostró que, en la mayoría de los años, las cifras se mantienen dentro de límites moderados; generalmente por debajo de las 5000 ha. No obstante, la presencia de datos atípicos sobre todo en torno a 2024, cuando se supera el umbral de las 20000 ha incrementa significativamente el total acumulado y ensancha la dispersión informativa.

TERCERA: En lo que respecta al segundo objetivo específico, el análisis estadístico reveló un $R^2 = 0.1749$, que es una correlación directa entre la duración y la extensión quemada, aunque con un poder que oscila entre medio y bajo, dado que los coeficientes de determinación solamente explican una fracción reducida de las variaciones observadas. Por lo tanto, la dinámica del fuego no solo se debe al paso del tiempo, sino también a la intervención de los seres humanos y a las condiciones climáticas que propician el surgimiento de episodios de gran escala.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Al Ministerio del Ambiente fortalezca y actualice los sistemas de alerta temprana y vigilancia a nivel nacional, por medio del empleo continuo de análisis multitemporales utilizando imágenes satelitales, con el objetivo de identificar previamente zonas propensas a incendios y temporadas críticas. Igualmente, es fundamental promover acciones preventivas basadas en datos técnicos que relacionan las variables climáticas y las presiones humanas. Esto tiene como finalidad disminuir la posibilidad de sucesos extremos que incrementan considerablemente las áreas afectadas.

SEGUNDA: Al Gobierno Regional de Madre de Dios proponer fortalecer el control del territorio y la supervisión de las prácticas de quema, especialmente en periodos más secos. Estas medidas deberían ir acompañadas de programas educativos dirigidos a agricultores y residentes de áreas rurales. Para aumentar la capacidad de respuesta ante incrementos inusuales en el área afectada, como los que han ocurrido en los últimos años del periodo de análisis, también es crucial mejorar la coordinación entre las instituciones.

TERCERA: A la Municipalidad de Iberia implementar sistemas de vigilancia participativa y campañas permanentes de educación ambiental con el fin de promover un manejo correcto del fuego. La inclusión de instrumentos de monitoreo satelital a nivel distrital posibilitará identificar zonas recurrentes y respaldará decisiones más eficaces y veloces para disminuir la probabilidad e incidencia de incendios en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, M., Arias, P., & Villa, F. (2026, 01 01). Sequías e incendios forestales en América Latina: una revisión sistemática de literatura. *Colombia Forestal*, 29(1). <https://doi.org/10.14483/2256201X.23266>
- Almazán, J., Couturier, S., & Prado, J. (2024, 7 27). Identificando configuraciones de iluminación que optimizan la clasificación de tipos de bosque montañoso en imágenes satelitales: Una aproximación basada en modelización 3D. *Bosque (Valdivia)*, 45(2). <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002024000200347>
- Álvarez, V., & Frêne, C. (2024, 12 31). Regulación de incendios forestales en Chile: Críticas y propuestas desde la perspectiva comparada y la ecología forestal. *Revista de derecho ambiental (Santiago)*, (22). <http://dx.doi.org/10.5354/0719-4633.2024.74750>
- Cellone, F., Borzi, G., & Carol, E. (2023, 05 1). Balances hídricos y teledetección aplicados al estudio de inundaciones en la planicie costera del Río de la Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista de geografía Norte Grande*, (84). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022023000100145>
- Cisneros, C., Calahorrano, J., & Manzano, M. (2024, 03 19). Análisis espacial y temporal de incendios forestales en el Ecuador utilizando datos de sensores remotos. *Colombia Forestal*, 27(1). <https://doi.org/10.14483/2256201x.20111>
- Cruz, L., & Cruz, F. (2025, 12 10). Teledetección aplicada a incendios forestales en ecosistemas andinos: Detección y análisis de severidad en Cusco. *Santiago*, (166). <https://santiago.uo.edu.cu/index.php/stgo/article/view/28955>
- España, M., Champo, O., & Uribe, M. (2024, 04 19). Extensión y severidad de incendios forestales en Michoacán en 2021 a partir de imágenes Sentinel-2. *Polibotánica*, (57). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.57.7>

- Galvis, J., Manco, D., & Mejía, J. (2024, 04 05). Modelación del carbono contenido por la biomasa aérea en terrenos rehabilitados por la empresa Drummond Ltda en el departamento del Cesar-Colombia, a partir de teledetección con imágenes ópticas sentinel-2. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 31. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-33052023000100245>
- González, F., León, Y., & López, N. (2025, 02 06). Flora of high mountain tropical peatlands: threats and management measures, Talamanca Range, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical / International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 73(01). <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v73i1.58505>
- González, I., Farfán, M., & Morales, L. (2022, 10 25). Índices y modelos para la predicción de la ocurrencia de incendios forestales: una revisión para México. *Revista Geográfica de América Central*, (71). <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.71-2.7>
- Himmelsbach, W., Friesen, R., & González, M. (2024, 10 07). Diversidad postincendio de mariposas en un bosque de pino-encino del noreste de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 95. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2024.95.5258>
- Maddio, R., Dufilho, A., & Gandini, M. (2023, 07 31). Estimación de la recarga potencial de agua subterránea de un acuífero mediante teledetección y sistemas de información geográfica. *Revista de geología aplicada a la ingeniería y al ambiente*, (50). <https://doi.org/10.59069/24225703e006>
- Monteverde, G., Palacios, S., & Chavesta, M. (2024, 1 29). Rasgos adaptativos al fuego en cinco especies forestales en una formación vegetal subxerófila en la selva central del Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 38(02). <https://doi.org/10.21704/rfp.v38i2.2076>
- Neger, C., García, P., & Manzo, L. (2023, 07 08). Monitoreo de incendios forestales a escala local: estudio de caso del ejido Mecayapan, México. *Bosque (Valdivia)*, 44(3). <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000300519>

- Neger, C., Manzo, L., & Galicia, L. (2022, 09 12). La investigación geográfica de los incendios forestales en México: una perspectiva bibliométrica y territorial. *Investigaciones geográficas*, (108). <https://doi.org/10.14350/riq.60488>
- Rojas, N., Soto, C., & Tuesta, S. (2023, 8 1). Probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Apurímac. *Revista De Investigación Hatun Yachay Wasi*, 2(2). <https://doi.org/10.57107/hyw.v2i2.49>
- Sánchez, M., Suazo, G., & Araya, V. (2022, 4 5). Estudio de la relación entre la reflexión de luz y el contenido de humedad superficial en muestras de relave utilizando imágenes hiperespectrales. *Obras y proyectos*, (31). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132022000100077>
- Suárez, S., & Redrobán, W. (2025, 4 5). Análisis comparado de la legislación ecuatoriana y peruana sobre incendios forestales antrópicos y su vinculación con el derecho ambiental. *Ciencia Y Educación*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15292578>
- Valle, D., Espinosa, T., & Limache, D. (2023, 09 07). Evaluación de la deforestación (2000-2020) en concesiones forestales peruanas en la provincia de Tambopata (Madre de Dios) usando plataformas de datos abiertos. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, (12). <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202302.A010>



ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia.

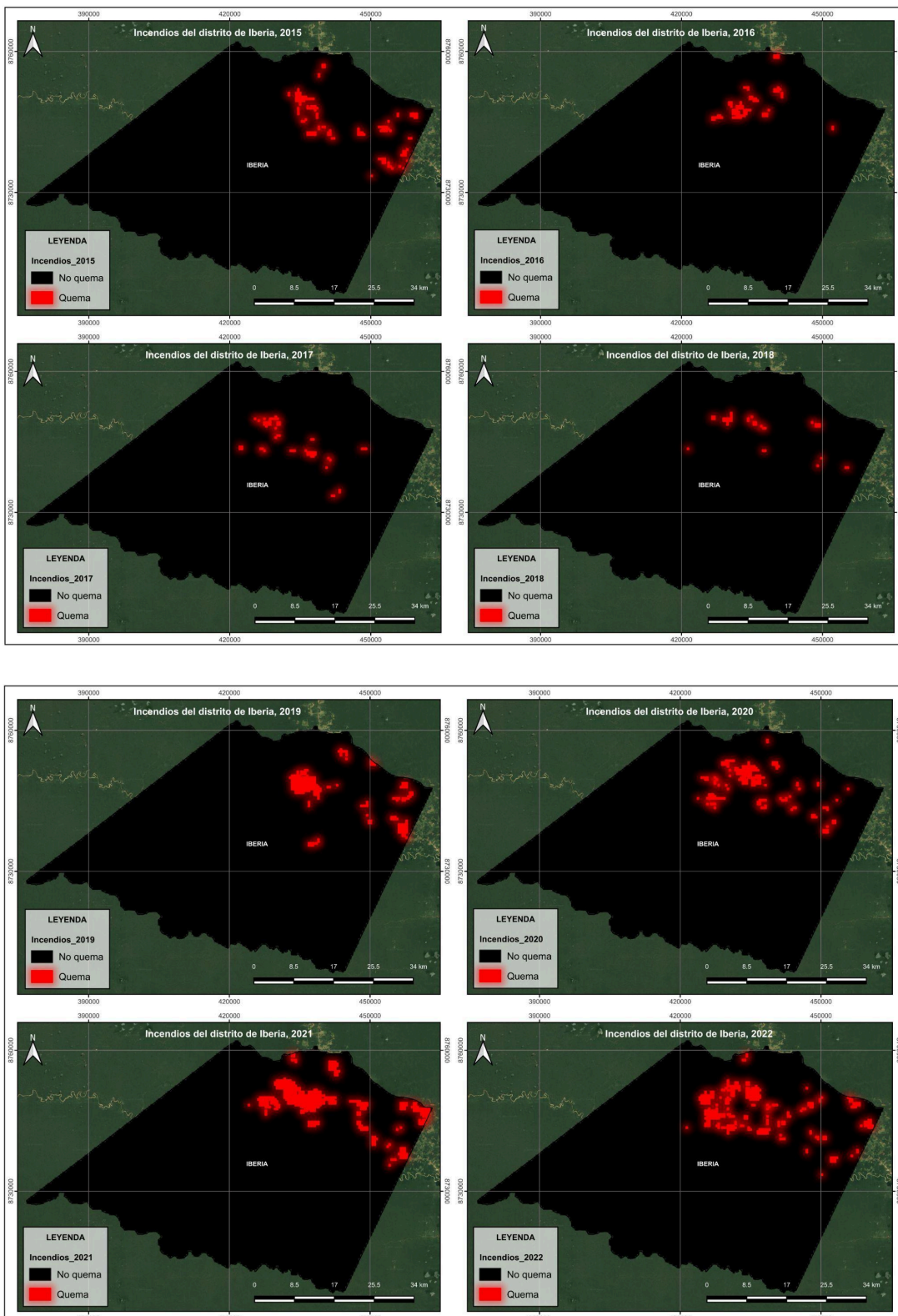
‘Análisis de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025’

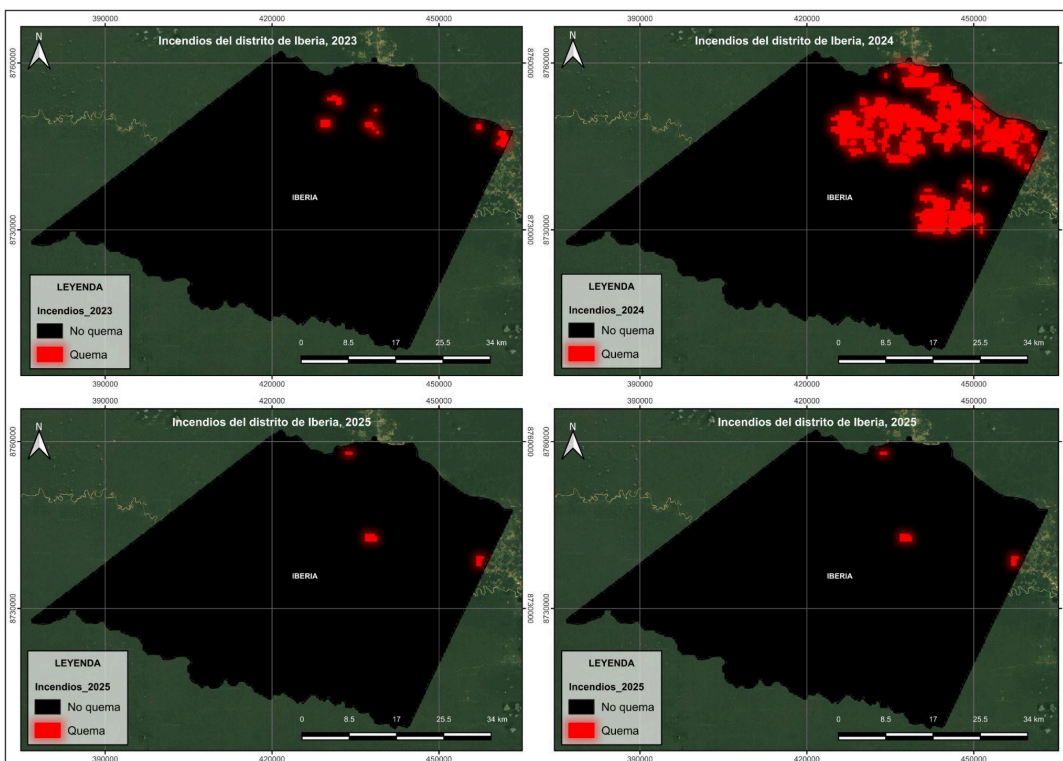
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensio	Metodología
¿Cómo son los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025?	Analizar los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025	Los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, son significativos.	Incendios forestales	Extensión del área quemada en (Ha)	<p>Diseño: No experimental.</p> <p>Enfoque: Cuantitativo.</p> <p>Tipo: Aplicada.</p> <p>Técnica: Teledetección</p> <p>Instrumento: Imágenes satelitales.</p>
Problema específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específica			
<p>P1. ¿Cuánto son los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025?</p> <p>P2. ¿Cómo es el comportamiento de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025?</p>	<p>O1. Cuantificar los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025.</p> <p>O2. Evaluar el comportamiento de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025.</p>	<p>H1. Los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, son significativos.</p> <p>H2. El comportamiento de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Iberia, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, es exponencial.</p>	Número de eventos por años		

Anexo 02: Datos de MODIS de Área quemada.

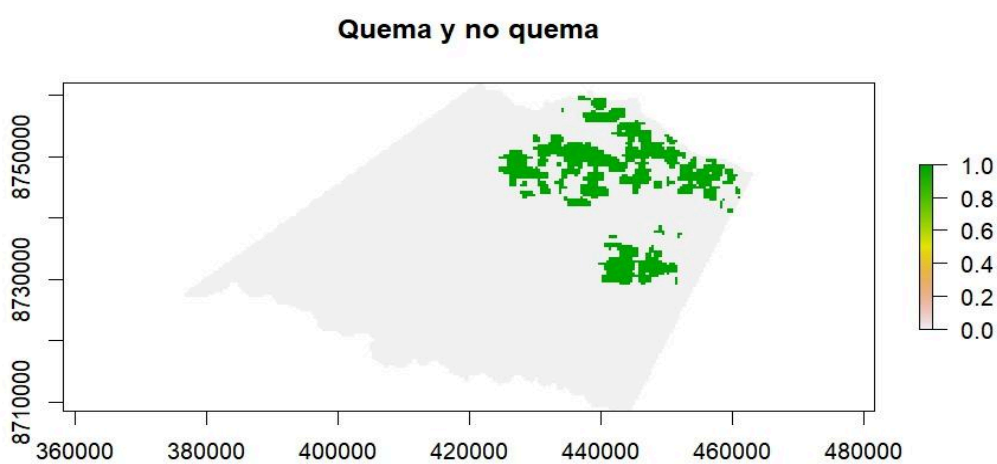
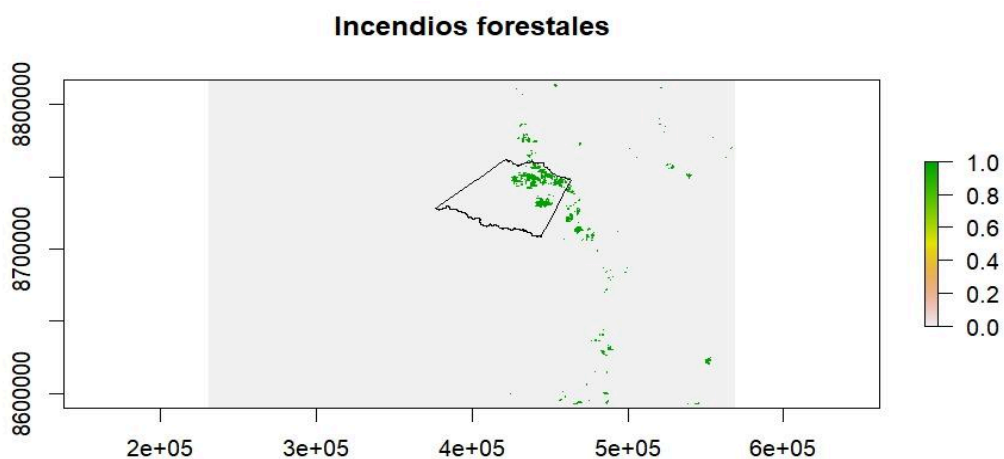
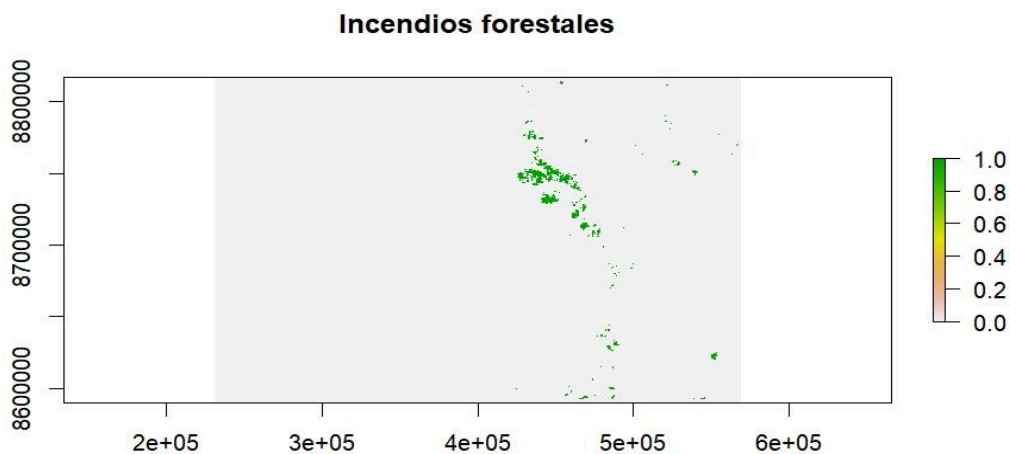
Años	Quema (Ha)	Variabilidad (Ha)	%
2015	2304	0	4%
2016	1504	-800	3%
2017	992	-512	2%
2018	688	-304	1%
2019	3984	3296	8%
2020	3312	-672	6%
2021	8272	4960	16%
2022	5664	-2608	11%
2023	960	-4704	2%
2024	24976	24016	47%
2025	416	-24560	1%
Total	53072	-1888	100%

Anexo 03: Mapa de los incendios forestales del distrito de Iberia.

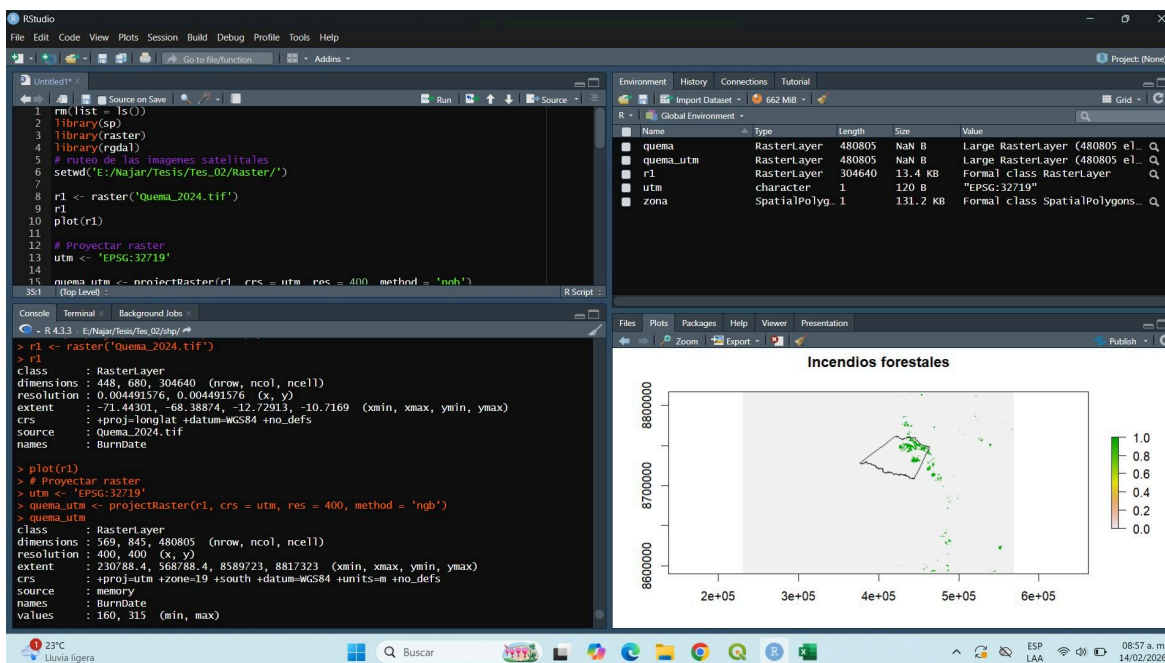




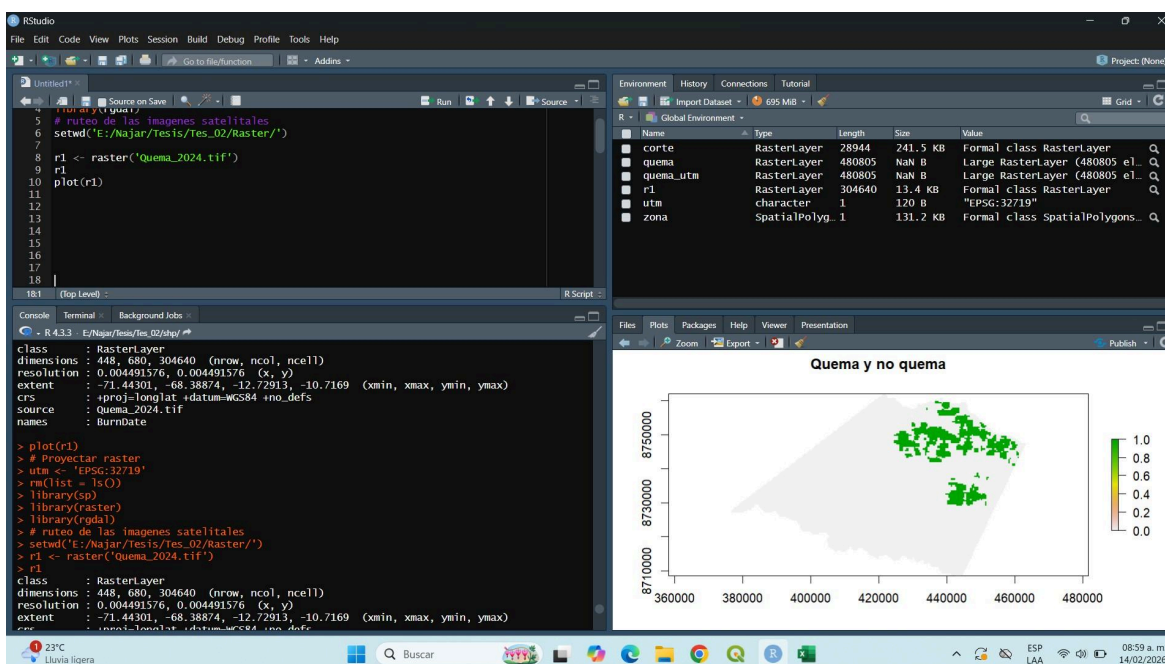
Anexo 04: Evaluación de los incendios forestales del distrito de Iberia.



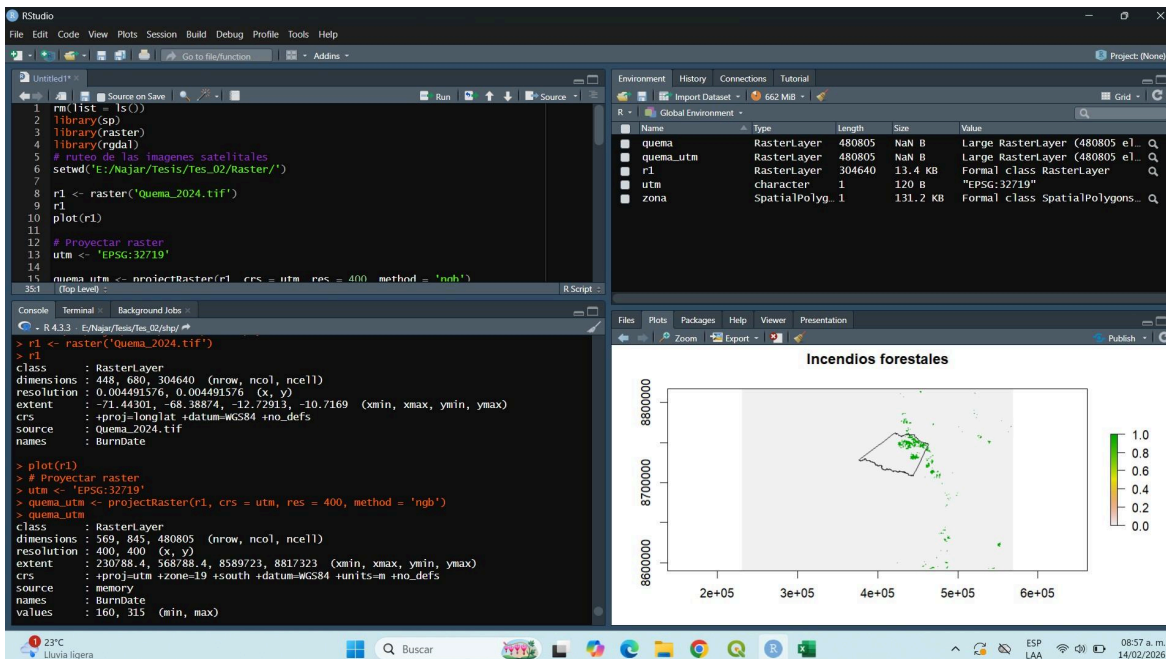
Anexo 05: Panel fotográfico.



Nota: procesamiento de los incendios forestales rstudio



Nota: procesamiento de los incendios forestales rstudio



The screenshot displays the RStudio interface during a raster projection task. The console window shows the following R code and its output:

```

1 rm(list = ls())
2 library(sp)
3 library(raster)
4 library(rgdal)
5 # ruta de las imagenes satelitales
6 setwd('E:/Najar/Tesis/Tes_02/Raster/')
7
8 r1 <- raster('Quema_2024.tif')
9 r1
10 plot(r1)
11
12 # Proyectar raster
13 utm <- 'EPSG:32719'
14
15 quemada_utm <- projectRaster(r1, crs = utm, res = 400, method = 'ngb')

```

The Environment pane lists the following objects:

Name	Type	Length	Size	Value
quemada	RasterLayer	480805	NaN B	Large RasterLayer (480805 e1...
quemada_utm	RasterLayer	480805	NaN B	Large RasterLayer (480805 e1...
r1	RasterLayer	304640	13.4 KB	Formal class RasterLayer
utm	character	1	120 B	"EPSG:32719"
zona	SpatialPolyg_1		131.2 KB	Formal class SpatialPolygons...

The Plots pane shows a map titled "Incendios forestales" with a legend ranging from 0.0 to 1.0. The map displays a raster of forest fires with a color scale from 0.0 (white) to 1.0 (dark green). The axes are labeled with coordinates: X-axis from 2e+05 to 6e+05 and Y-axis from 8600000 to 8800000.

Nota: procesamiento de los incendios forestales rstudio