

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES

SATELITALES EN EL DISTRITO DE LAS PIEDRAS, MADRE DE DIOS,

DURANTE EL 2015 Y 2025

PRESENTADA POR:

JUAN FLORENTINO QUISPE VILCA

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/)



0.88%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 8 JUN 2026, 12:06 PM

Originality & Authorship Report

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

IDENTICAL
0.21%

CHANGED TEXT
0.67%

Report #33635157

JUAN FLORENTINO QUISPE VILCA // SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES EN EL DISTRITO DE LAS PIEDRAS, MADRE DE DIOS, DURANTE EL 2015 Y 2025 RESUMEN Los incendios forestales representan una de las principales amenazas ambientales en la Amazonía, pues generan pérdida de biodiversidad, degradación de suelos y emisiones de gases de efecto invernadero que afectan tanto a los ecosistemas como a las comunidades locales. En el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, esta problemática se ha intensificado en los últimos años, lo que hace necesario evaluar con mayor precisión su magnitud y tendencias. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo evaluar la severidad de los incendios forestales mediante imágenes satelitales MODIS y técnicas de sistemas de información geográfica durante los años 2015 y 2025, bajo un diseño no experimental y enfoque cuantitativo. Los resultados muestran una variación anual significativa, con 975 ha afectadas en 2015 y 2850 ha en 2025; la regresión lineal indica un incremento promedio de 108.18 ha por año (ecuación $y = 108.18x - 215897.73$), aunque el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.069$) y el coeficiente de correlación de Pears on ($R^2 = 0.26$, $p = 0.44$) revelan una relación débil y no estadísticamente significativa entre los años y la superficie afectada. En conclusión, si bien se registraron periodos con mayor gravedad y extensión de incendios, no existen evidencias estadísticas suficientes para afirmar un

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMÁGENES
SATELITALES EN EL DISTRITO DE LAS PIEDRAS, MADRE DE DIOS,
DURANTE EL 2015 - 2025**
PRESENTADA POR:

JUAN FLORENTINO QUISPE VILCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

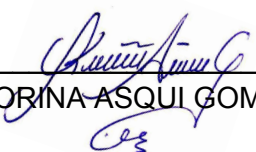
PRESIDENTE

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

PRIMER MIEMBRO

: 
Dra. CELIA VERENISSE ORTIZ DE ORUE ROJAS

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. KORINA ASQUI GOMEZ

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 15 de julio del 2026

DEDICATORIA

*A Dios, fuente de guía, fortaleza y sabiduría,
quien en cada etapa de este proceso académico
ha estado a mi lado. Me ha motivado a continuar
esforzándome y dedicándome.*

*A mis padres, por su amor eterno, su apoyo
incondicional y los sacrificios que han hecho
cada día, los cuales han constituido la base de
mis éxitos.*

*A mis amigos, por su compañía, apoyo y
consejos durante este trayecto, tanto cuando las
cosas son difíciles como cuando son alegres.*

Juan Florentino Quispe Vilca

AGRADECIMIENTOS

- *A la Universidad Privada San Carlos, por la posibilidad que me brindó de formarme como profesional en un ambiente académico de excelencia.*
- *A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por su dedicación a formar profesionales capaces y responsables, promoviendo principios de ética, sostenibilidad y protección del medio ambiente que han guiado todo mi desarrollo académico.*
- *A mi orientador, Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, por su continua orientación, paciencia y conocimientos útiles que compartió, los cuales fueron esenciales para desarrollar este proyecto.*
- *Para finalizar, agradezco a los jurados por dedicar su tiempo a revisar este trabajo y por sus observaciones y sugerencias, que mejoraron significativamente el proyecto.*

Juan Florentino Quispe Vilca

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
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 locale	17
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	20
---------------------------	-----------

2.1.1. Incendios	20
2.1.2. Incendios forestales	21
2.1.3. Bosques	22
2.1.4. Ecosistemas	23
2.1.5. Teledetección	23
2.1.6. Imágenes satelitales	24
2.2. MARCO CONCEPTUAL	25
2.3. MARCO NORMATIVO	25
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	27
2.4.1. Hipótesis general	27
2.4.2. Hipótesis específicas	27

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	28
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	29
3.2.1. Población	29
3.2.2. Muestra	29
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	29
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	31
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	31

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. CÁLCULO DEL ÁREA POR LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO DE LAS PIEDRAS DURANTE EL PERIODO 2015 - 2025.	33
4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO DE LAS PIEDRAS DURANTE EL PERIODO 2015 - 2025	37

4.3. DISCUSIÓN	40
4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	41
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Operacionalización de las variables.	31
Tabla 02: Incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015 - 2025.	37
Tabla 03: Prueba de normalidad mediante Shapiro-Wilk.	38
Tabla 04: Prueba de correlación de las variables mediante pearson.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Incendios.	20
Figura 02: Incendios forestales.	21
Figura 03: Bosques.	22
Figura 04: Teledetección.	23
Figura 05: Imágenes satelitales.	24
Figura 06: Mapa de ubicación del área de estudio.	28
Figura 07: Incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante los años 2015 y 2025.	34
Figura 08: Variabilidad de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante los años 2015 y 2025.	35
Figura 09: Mapas de incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante los años 2015 y 2025.	36
Figura 10: Regresión lineal de los incendios forestales sobre los años en el distrito de Las Piedras, 2015 y 2025.	38
Figura 11: Regresión lineal de los incendios forestales sobre los años en el distrito de Las Piedras, 2015 y 2025.	40

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia: Severidad de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025'	51
Anexo 02: Imagen satelital MODIS.	52
Anexo 03: Resultado de los incendios forestales del distrito de Las Piedras.	53
Anexo 04: Mapas de los incendios forestales del distrito de Las Piedras.	54
Anexo 05: Evaluando los incendios forestales del distrito de Las Piedras.	56
Anexo 06: Evaluando las estadísticas de los incendios forestales del distrito de Las Piedras.	62
Anexo 07: Panel fotográfico	63

RESUMEN

Los incendios forestales representan una de las principales amenazas ambientales en la Amazonía, pues generan pérdida de biodiversidad, degradación de suelos y emisiones de gases de efecto invernadero que afectan tanto a los ecosistemas como a las comunidades locales. En el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, esta problemática se ha intensificado en los últimos años, lo que hace necesario evaluar con mayor precisión su magnitud y tendencias. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo evaluar la severidad de los incendios forestales mediante imágenes satelitales MODIS y técnicas de sistemas de información geográfica durante los años 2015 y 2025, bajo un diseño no experimental y enfoque cuantitativo. Los resultados muestran una variación anual significativa, con 975 ha afectadas en 2015 y 2850 ha en 2025; la regresión lineal indica un incremento promedio de 108.18 ha por año (ecuación $y = 108.18x - 215897.73$), aunque el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.069$) y el coeficiente de correlación de Pearson ($R^2 = 0.26$, $p = 0.44$) revelan una relación débil y no estadísticamente significativa entre los años y la superficie afectada. En conclusión, si bien se registraron periodos con mayor gravedad y extensión de incendios, no existen evidencias estadísticas suficientes para afirmar un incremento sostenido y notable de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo analizado.

Palabras claves: Forestales, Imágenes satelitales, Incendios, MODIS, Severidad.

ABSTRACT

Wildfires are among the main environmental threats in the Amazon, as they cause biodiversity loss, soil degradation, and greenhouse gas emissions that affect both ecosystems and local communities. In the district of Las Piedras, Madre de Dios, this problem has intensified in recent years, making it necessary to assess its magnitude and trends more precisely. In this context, the study aimed to evaluate the severity of wildfires using MODIS satellite imagery and geographic information system techniques during the years 2015 and 2025, under a non-experimental design with a quantitative approach. The results show a significant annual variation, with 975 ha affected in 2015 and 2850 ha in 2025; the linear regression indicates an average increase of 108.18 ha per year (equation $y = 108.18x - 215897.73$), although the coefficient of determination ($R^2 = 0.069$) and Pearson's correlation coefficient ($R^2 = 0.26$, $p = 0.44$) reveal a weak and statistically non-significant relationship between the years and the affected area. In conclusion, although certain periods recorded more severe and extensive wildfires, there is insufficient statistical evidence to support the claim of a sustained and notable increase in wildfires in the district of Las Piedras during the analyzed period.

Keywords: Forestry, Satellite imagery, Fires, MODIS, Severity.

INTRODUCCIÓN

El distrito de Las Piedras ha notado un incremento en la incidencia de incendios forestales entre 2015 y 2025. Este aumento se debe, sobre todo, a la escasez de estrategias para prevenir y monitorear los incendios, así como al uso indebido del fuego en actividades agropecuarias. La gravedad alta de estos sucesos ha producido efectos acumulativos como la fragmentación del paisaje, el deterioro del suelo y la reducción de la resiliencia en los ecosistemas forestales.

En el Corredor Biológico Chorotega y el Área de Conservación Tempisque, ubicados en Costa Rica, el objetivo del estudio fue examinar la relación existente entre los incendios forestales y la fragmentación del paisaje, se utilizó un método basado en el procesamiento de datos satelitales MODIS del período 2000-2024, al que se añadieron métricas paisajísticas para determinar los patrones espaciales. Los resultados revelaron que en la última década se produjo un incremento del 62,96 % en la incidencia de incendios, especialmente en zonas con una fragmentación alta, poca cobertura forestal y una densidad elevada de bordes. Asimismo, se estableció que los fragmentos boscosos tienen un tamaño medio de 6,26 ha y una gran probabilidad de ignición antrópica; el área norte del Área de Conservación Tempisque mostró ser más vulnerable a incendios que la región sur (Farfán et al., 2024).

La investigación se planteó como hipótesis; La severidad de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025, están incrementado. También como variables estuvo dos; Variable Independiente (VI): Imágenes satelitales, Variable Dependiente (VD): Severidad de los incendios forestales.

El estudio se divide en cuatro capítulos; el capítulo I abarca el planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación. El capítulo II marco teórico e hipótesis de la investigación. El capítulo III metodología de la investigación. El capítulo IV

expone y analiza los resultados, en ese contexto también están las discusiones, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A causa del incremento sostenido en su intensidad y frecuencia, los incendios forestales han pasado a ser un fenómeno de creciente preocupación a nivel global durante los años recientes. Este panorama está profundamente relacionado con las consecuencias del cambio climático, que se manifiestan en el aumento de temperaturas, la variabilidad de las lluvias y la aparición cada vez más reiterada de sequías duraderas. Además, las acciones humanas, como la expansión de la frontera agrícola, la deforestación y el mal manejo del fuego, funcionan como factores que desencadenan esta situación. Como consecuencia, se observa un rápido deterioro de los ecosistemas forestales, que incluye la pérdida de biodiversidad, la emisión de gases de efecto invernadero y el descenso de los servicios ecosistémicos fundamentales para la salud del medio ambiente y del ser humano.

En el Perú, un país con una gran biodiversidad, los incendios forestales son un problema considerable, sobre todo en las zonas amazónicas, donde se ha observado que la incidencia de estos siniestros va en aumento. La difusión del fuego sin control ha sido favorecida por actividades ilegales, la quema para preparar los terrenos agrícolas y la escasa capacidad de fiscalización y control. Por lo tanto, grandes áreas del bosque amazónico han sufrido daños, lo que ha tenido efectos negativos sobre la salud de las

personas, el aire, la fauna silvestre y las condiciones de vida de los habitantes locales. Además, la repetición de estos sucesos ha socavado los procesos de recuperación natural de los ecosistemas, lo que ha aumentado su vulnerabilidad a incendios futuros. En el ámbito local, el distrito de Las Piedras ha notado un incremento en la incidencia de incendios forestales entre 2015 y 2025. Este aumento se debe, sobre todo, a la escasez de estrategias para prevenir y monitorear los incendios, así como al uso indebido del fuego en actividades agropecuarias. La gravedad alta de estos sucesos ha producido efectos acumulativos como la fragmentación del paisaje, el deterioro del suelo y la reducción de la resiliencia en los ecosistemas forestales. Sin embargo, aunque el problema es significativo, hay una falta de datos sistematizados que posibiliten un análisis espacial y temporal de la gravedad de los incendios en el distrito. Esto restringe la creación de estrategias eficaces para su gestión y prevención.

1.1.1. Problema General

¿Cómo es la severidad de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, durante el periodo 2015 - 2025?

1.1.2. Problemas específicos

P1. ¿Cuánto es el área afectada por los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015 - 2025?

P2. ¿Cómo es el comportamiento de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015 - 2025?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Antecedentes internacionales

González et al. (2022), en México, donde la investigación tuvo como objetivo analizar y organizar las distintas metodologías que se han creado en México para calcular la ocurrencia de incendios forestales, teniendo en cuenta los métodos analíticos empleados y las variables utilizadas. Para esto, se utilizó una metodología de revisión bibliográfica

que incluyó fuentes tanto digitales como impresas, provenientes de estudios publicados desde finales del siglo XX hasta 2018. Los hallazgos revelaron 38 modelos e índices, con una concentración más alta en los estados de Durango y Estado de México. Esto demuestra que la aplicación de sistemas para evaluar el riesgo de incendios en vastas zonas forestales del país es insuficiente.

Casado & Vargas (2025), en el Parque nacional La Amistad, Costa Rica, el objetivo del estudio fue identificar los incendios forestales que han tenido lugar en la región de amortiguamiento del Parque Internacional La Amistad a lo largo de la historia y examinar su relación con diferentes variables geográficas. Se utilizó un enfoque metodológico basado en el procesamiento de imágenes satelitales y en datos recolectados en campo entre 2012 y 2020 para tal fin. Los hallazgos mostraron que la mayoría de los incendios se produjeron en áreas por encima de los 1600 metros sobre el nivel del mar, donde las pendientes empinadas ayudaron a que el fuego se expandiera, mientras que las zonas con menos inclinación facilitaron la acumulación de combustible; además, el hecho de haber pastizales aumentó tanto la extensión como la intensidad de los incendios, sobre todo en áreas cercanas a asentamientos humanos. Ujarrás fue el lugar más afectado, con un total de 24 617 hectáreas quemadas. Salitre y Cabagra fueron también focos recurrentes.

Faúndez et al. (2022), en Chile, el objetivo del estudio fue examinar los impactos de los incendios forestales de gran magnitud (≥ 200 ha) que ocurrieron en las zonas silvestres protegidas del centro de Chile entre el año 2000 y el 2020, a través de la determinación de las áreas dañadas y la descripción de los perjuicios causados. Para esto, se utilizó un método basado en la creación de mapas de zonas quemadas, usando datos históricos de incendios y técnicas de teledetección. Los resultados mostraron que 35 incendios de gran magnitud afectaron a 17 unidades del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado y Santuarios de la Naturaleza. Estos fueron provocados, en su mayoría, fuera

de sus límites administrativos y en plantaciones o formaciones de bosque nativo. También se registró el impacto sobre 16 tipos de ecosistemas, 12 de los cuales corrieron un riesgo significativo para su conservación. En promedio, cada año se dañan alrededor de 21,2 ha de vegetación ribereña y se liberan anualmente emisiones equivalentes a 10.389 tCO₂; además, hubo impactos en la conservación del suelo en 15 unidades.

Farfán et al., (2024), en el Corredor Biológico Chorotega y el Área de Conservación Tempisque, ubicados en Costa Rica, el objetivo del estudio fue examinar la relación existente entre los incendios forestales y la fragmentación del paisaje, se utilizó un método basado en el procesamiento de datos satelitales MODIS del período 2000-2024, al que se añadieron métricas paisajísticas para determinar los patrones espaciales. Los resultados revelaron que en la última década se produjo un incremento del 62,96 % en la incidencia de incendios, especialmente en zonas con una fragmentación alta, poca cobertura forestal y una densidad elevada de bordes. Asimismo, se estableció que los fragmentos boscosos tienen un tamaño medio de 6,26 ha y una gran probabilidad de ignición antrópica; el área norte del Área de Conservación Tempisque mostró ser más vulnerable a incendios que la región sur.

Armenteras et al. (2019), en Colombia, Ecuador, Perú, el objetivo del estudio fue comprender y examinar el estado del conocimiento acerca de la ecología del fuego en los ecosistemas tropicales de las naciones andinas de Sudamérica, teniendo en cuenta las tendencias temporales y espaciales de los incendios, sus impactos ecológicos y los procesos que ocurren después del fuego. Con ese propósito, se realizó una revisión sistemática de la literatura científica existente, centrada en investigaciones sobre el empleo del fuego y los incendios en la región. Los hallazgos mostraron que la ocurrencia de incendios forestales ha sido ininterrumpida en Sudamérica desde 2001, mayormente vinculado directa o indirectamente a acciones humanas. Además, revelaron serias

lagunas de conocimiento sobre los efectos ecológicos del fuego en varios ecosistemas tropicales de la zona.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Villaseca (2023), en el Santuario Histórico de Pómac, Perú, el objetivo de la investigación fue analizar las consecuencias de los incendios forestales durante 2018 y 2020, con el fin de identificar sus causas y conocer los daños provocados al ecosistema del bosque seco. Se utilizó un enfoque metodológico que consiste en comparar los dos eventos, teniendo en cuenta su localización geográfica y los elementos relacionados con su origen. Los hallazgos indicaron que los incendios se focalizaron en el sector Pitipo, concretamente en la zona de La Paleria. El incendio de 2020 fue causado por una razón antrópica vinculada con el mal uso de un horno artesanal de una ladrillera. En cambio, no se pudo determinar quiénes fueron los culpables del evento de 2018, aunque estuvo relacionado con actividades de tráfico inmobiliario.

Santos (2024), en la provincia de San Ignacio, Cajamarca, Perú, el objetivo de la investigación fue calcular el grado de severidad de dos incendios forestales ocurridos. Con este fin, se creó un método de enfoque cualitativo-aplicado, con un diseño no experimental. Para ello, se utilizaron imágenes satelitales del Sentinel-2 de los años 2019 y 2021, que facilitaron la identificación de ambos acontecimientos y el análisis de su gravedad a través del índice Normalized Burn Ratio (NBR). Los resultados demostraron que el incendio número 1 tuvo un rango de severidad del índice NBR entre $-0,33$ y $0,89$, mientras que el incendio número 2 tuvo un rango entre $-0,13$ y $0,6049$. Esto demuestra que el primer evento fue más grave; no obstante, en los dos casos la categoría de severidad moderada a baja fue la más significativa en el área analizada.

1.2.3. Antecedentes locale

Rios (2025), en el departamento de Madre de Dios, el propósito de la investigación fue determinar y describir la magnitud de las zonas impactadas por incendios a lo largo del

año 2023. Con este fin, se empleó un método que consistía en el análisis de información obtenida a través de sensores remotos. Se utilizaron datos del satélite Sentinel-2 y la plataforma Google Earth Engine, además de composiciones en falso color y los índices dNBR y NBR para determinar las alteraciones en la vegetación. Los hallazgos indicaron que la mayor parte del territorio se ubicó en la categoría "sin quemar", con una severidad total de 663 057,82 ha. De estas, 562 584,34 ha pertenecieron a la clase de baja severidad, sobre todo en zonas agrícolas cercanas a las vías de acceso. A nivel provincial, Tambopata fue el que abarcó más superficie afectada con 347 874,82 ha; lo siguieron Manu y Tahuamanu con 160 609,88 ha y 154 573,13 ha respectivamente. En todos los casos predominó la baja severidad.

Valle et al. (2023), en las concesiones de la provincia de Tambopata, Madre de Dios, el objetivo del estudio fue analizar la reducción de la cobertura forestal. Para lograrlo, se utilizó un enfoque de método comparativo, basado en el procesamiento y la comparación de datos sobre deforestación obtenidos de las plataformas Geobosques y Earth Map durante el lapso 2000-2020. Los hallazgos revelaron una disminución de 32 115,36 hectáreas de bosque en las concesiones forestales de Tambopata, que equivale al 20,96 % del total de la deforestación a nivel regional. Asimismo, indicaron que los cambios constantes en las leyes relacionadas con los bosques, junto al mal uso de concesiones para propósitos como la reforestación y el ecoturismo, contribuyeron a convertir zonas boscosas en terrenos agrícolas, ganaderos y mineros.

Valeriano (2024), en el área de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata, el objetivo de la investigación fue analizar la deforestación entre 2013 y 2022 desde una perspectiva multitemporal. Para este propósito, se utilizó una metodología que consistió en analizar imágenes satelitales y clasificarlas mediante un enfoque supervisado usando el método de Mapeo del Ángulo Espectral. Esto se llevó a cabo con la ayuda de la extensión Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) del software QGIS. Los hallazgos

demonstraron una disminución total de 14 456,92 hectáreas de cobertura forestal durante el tiempo que duró el estudio; las actividades mineras y agropecuarias fueron las principales causantes de la deforestación en la región estudiada.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la severidad de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, durante el periodo 2015 - 2025.

1.3.2. Objetivos específicos

O1. Calcular el área de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015 - 2025.

O2. Conocer el comportamiento de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015 - 2025.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Incendios

Los incendios ocurren cuando el fuego se propaga de manera incontrolada, causando perjuicios a la cobertura vegetal, el suelo y, en numerosas ocasiones, a las actividades que realiza el ser humano. Estos sucesos pueden ser de origen natural, como los rayos en las tormentas, o estar relacionados con acciones humanas, como el empleo inapropiado del fuego en la agricultura, negligencias o actividades ilegales; lo que hace que sean más frecuentes y graves (Flores, 2022).



Figura 01: Incendios.

Fuente: (Aragon, 2021).

Los incendios forestales, en particular, representan un peligro importante para los ecosistemas porque cambian la estructura y la composición de la vegetación, reducen la diversidad biológica y trastocan procesos ecológicos esenciales, como los ciclos del agua y el carbono. De igual manera, sus consecuencias van más allá de lo ambiental, ya que impactan la salud de las personas, la economía local y el balance del medio ambiente, especialmente cuando ocurren con frecuencia o son intensos (Aragon, 2021).

2.1.2. Incendios forestales

Los incendios forestales se caracterizan por la expansión descontrolada de las llamas en áreas con vegetación, como son los pastizales, los bosques o los matorrales. Su procedencia puede estar vinculada tanto a fenómenos naturales, como las descargas eléctricas, como a la intervención humana por medio de prácticas inapropiadas, negligencias o acciones deliberadas; razones que los vuelven un factor relevante en el deterioro del ambiente (Flores & Flores, 2022).



Figura 02: Incendios forestales.

Fuente: (Flores & Flores, 2022)

Este tipo de incendios tiene un impacto significativo en los ecosistemas, ya que afecta la fauna silvestre, la cobertura vegetal y las propiedades del suelo. Asimismo, altera procesos ecológicos fundamentales como el ciclo del carbono y el ciclo del agua. Asimismo, sus efectos pueden ir más allá del entorno natural y tener un impacto en la salud de los habitantes, las actividades económicas y la seguridad de las comunidades aledañas, sobre todo cuando ocurren con frecuencia o con gran intensidad (Muñoz, 2023).

2.1.3. Bosques

Los bosques son sistemas ecológicos que se componen, ante todo, de árboles y vegetación asociada. En ellos, las especies interactúan entre sí y con los elementos físicos del ambiente. Se hallan repartidos en varias zonas del mundo y albergan una gran diversidad de fauna y flora, cumpliendo un papel fundamental en la preservación del equilibrio medioambiental (Rodríguez, 2023).



Figura 03: Bosques.

Fuente: (Elgueta, 2023).

Los bosques, aparte de actuar como hábitats naturales, ayudan a mantener el clima, a preservar la tierra y al desarrollo de procesos fundamentales, como el ciclo del agua y la retención de carbono. Además, ofrecen a la sociedad una gran cantidad de beneficios,

incluyendo materias primas, alimentos, recursos naturales y servicios ambientales que son esenciales para el bienestar de las personas (Elgueta, 2023).

2.1.4. Ecosistemas

Los ecosistemas son agrupaciones naturales donde diversas formas de vida coexisten e interactúan entre sí y con los elementos materiales del entorno, tales como el agua, la tierra y las condiciones climáticas. (Saavedra, 2024).

La transferencia de energía y la circulación de nutrientes son procesos esenciales que tienen lugar dentro de los ecosistemas y que son necesarios para que la vida continúe. Además, generan beneficios fundamentales para la sociedad, como son la producción de alimentos, el mantenimiento de los recursos naturales, la preservación de la biodiversidad y el control del clima (Saavedra, 2024).

2.1.5. Teledetección

La teledetección es la recolección de datos de la superficie terrestre sin contacto físico, a través de sensores que se encuentran en satélites, aeronaves o drones. Estos aparatos detectan la radiación que emiten o reflejan los componentes del territorio, lo cual posibilita la identificación y el análisis de sus diferentes propiedades (Rodríguez & Siccha, 2022).

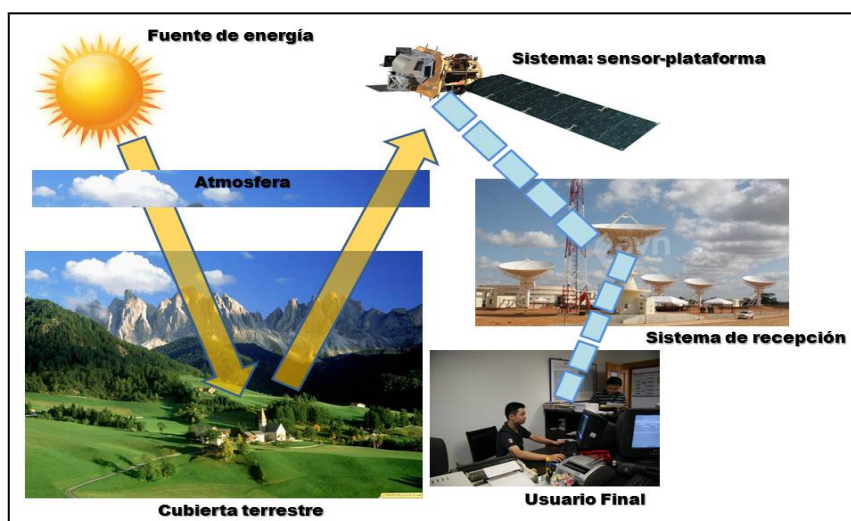


Figura 04: Teledetección.

Fuente: (Camas & Mamani, 2022)

Esta técnica permite una vigilancia y análisis sistemáticos y efectivos de grandes áreas. Por lo tanto, es una herramienta esencial para investigaciones medioambientales, como las que analizan incendios, bosques, deforestación y modificaciones en el uso de la tierra. Esto se debe a que permite evaluar actividades humanas y procesos naturales con un elevado grado de precisión temporal y espacial (Camas & Mamani, 2022).

2.1.6. Imágenes satelitales

Los sensores que se encuentran en satélites en órbita captan imágenes visuales de la superficie terrestre, las cuales son denominadas imágenes satelitales. Estos aparatos tienen la capacidad de captar la radiación que la Tierra emite o refleja en diferentes longitudes de onda, lo que permite reconocer y examinar componentes tales como el relieve, las áreas urbanas, los cuerpos de agua y la cobertura vegetal (Arenas & Gudiño, 2024).



Figura 05: Imágenes satelitales.

Fuente: (Isaza et al., 2025).

Estas imágenes son una herramienta esencial para el análisis y seguimiento del territorio, porque permiten la observación de cambios en el medio ambiente a través del tiempo y

sobre grandes áreas. Por esta razón, se utilizan con frecuencia en investigaciones que tienen que ver con la planificación del territorio, la gestión de los recursos naturales, la deforestación y los incendios forestales (Isaza et al., 2025).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Bosques: son sistemas ecológicos que se componen, ante todo, de árboles y vegetación asociada (Rodríguez, 2023).

Ecosistemas: son agrupaciones naturales donde diversas formas de vida coexisten e interactúan entre sí (Saavedra, 2024).

Incendios: se caracterizan por la expansión descontrolada de las llamas en áreas con vegetación (Flores & Flores, 2022).

Imágenes: son una herramienta esencial para el análisis y seguimiento del territorio, porque permiten la observación de cambios en el medio ambiente a través del tiempo.

Qgis: es un software de sistemas información geográfica, libre acceso.

RStudio: es un software de programación de libre acceso.

2.3. MARCO NORMATIVO

Ley N.º 29763 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre (2011):

Regula la conservación, protección y uso sostenible de los recursos forestales. Incluye disposiciones sobre prevención y control de incendios forestales.

Reglamento de Gestión Forestal (DS N.º 018-2015-MINAGRI):

Establece lineamientos para la gestión de bosques y medidas de prevención de incendios.

Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD – Ley N.º 29664):

Define la organización y responsabilidades de entidades públicas en la prevención y respuesta ante incendios forestales.

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR):

Responsable de coordinar acciones de monitoreo, prevención y control de incendios

forestales a nivel nacional.

Marco Normativo Regional – Madre de Dios

Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres frente a Incendios Forestales en la Región Madre de Dios al 2025:

Documento oficial del Gobierno Regional que establece estrategias para disminuir la ocurrencia de incendios, reducir la vulnerabilidad de bosques y fauna silvestre, y fortalecer capacidades institucionales .

Convenios y cooperación internacional (WWF, SERFOR, gobiernos locales):

Refuerzan la capacidad de respuesta y prevención, especialmente durante la temporada seca, cuando el riesgo de incendios aumenta

Plan Multisectorial ante Incendios Forestales 2025-2027

Aprobado por: Decreto Supremo N.º 010-2025-PCM.

Objetivo: Reducir la vulnerabilidad de la población y sus medios de vida frente a incendios forestales.

Instituciones involucradas: Ministerio de Defensa, Ministerio del Interior, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Cultura y el Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social

Enfoque: Coordinación multisectorial, prevención, respuesta rápida y recuperación.

Normativa complementaria

Reglamentos sectoriales: El Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Agricultura emiten lineamientos técnicos sobre prevención y control de incendios.

Gobiernos regionales y locales: Tienen competencias para implementar planes de contingencia y brigadas de respuesta.

Instrumentos técnicos: Protocolos de actuación, capacitación comunitaria y sistemas de alerta temprana

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Hipótesis general

La severidad de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, durante el periodo 2015–2025, presenta una tendencia creciente según el análisis de imágenes satelitales.

2.4.2. Hipótesis específicas

- **H1.** El área afectada por incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015–2025 muestra un incremento progresivo.
- **H2.** El comportamiento de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015–2025 evidencia una tendencia ascendente en su ocurrencia y extensión.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El departamento de Madre de Dios alberga al distrito de Las Piedras, que se encuentra en la provincia de Tambopata, ubicada en el sureste del país peruano. El distrito cuenta con un área de 774143.08 ha, y está situada a aproximadamente 250 m sobre el nivel del mar. Desde la perspectiva geográfica, el distrito está situado entre los 12°16' y 12°30' de latitud sur, y los 69°09' y 69°15' de longitud oeste;

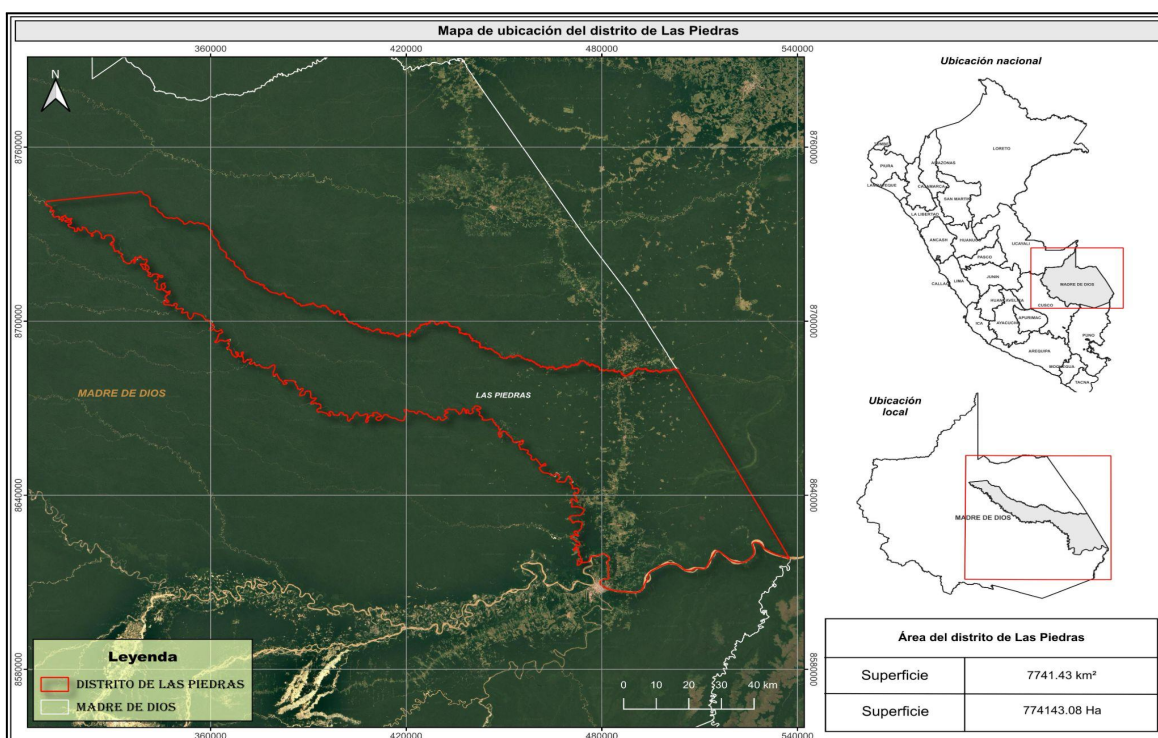


Figura 06: Mapa de ubicación del área de estudio.

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1. Población

La población en este estudio fueron las escenas de las imágenes satelitales MODIS que abarcaron toda el área del distrito durante los años 2015 y 2025.

3.2.2. Muestra

La muestra estuvo compuesta por los píxeles de las imágenes satelitales MODIS elegidas como No quema y Quema, durante los años de estudio.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Método:

El método de la presente investigación fue no experimental con un enfoque cuntitativo, también con un método de análisis espacial y multitemporal basado en la teledetección, esta perspectiva posibilitó el análisis de las fluctuaciones de los incendios, a través de la comparación de imágenes satelitales tomadas en años diferentes. De esta manera, se hizo más fácil identificar los cambios producidos por la acción del fuego sobre el territorio.

Técnica:

Las técnicas abarcan las aplicaciones de correcciones atmosféricas y radiométricas, el procesamiento digital de imágenes y la obtención de índices espectrales enfocados en analizar zonas quemadas, en ese entender las imágenes satelitales MODIS ya tiene calculado el Índice de quema normalizado (NBR). Mediante estos métodos, fue factible categorizar las superficies impactadas en diferentes grados de severidad y examinar su comportamiento espacial durante el tiempo.

Instrumentos:

- Qgis
- Rstudio
- Imágenes satelitales MODIS.

Método por objetivo específico:

Método para calcular el área de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el 2015 y 2025.

Para calcular el área afectada por incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante 2015 y 2025, se utilizaron imágenes satelitales MODIS, las cuales fueron escogidas debido a su apropiada resolución temporal y su capacidad para detectar áreas quemadas. Las imágenes fueron tratadas en una primera fase para corregir aspectos geométricos y radiométricos, con el objetivo de garantizar la calidad espectral de los datos y su coherencia espacial.

Una vez que se identificaron las zonas quemadas, se realizó la clasificación de los píxeles usando umbrales establecidos para los valores, lo que hizo posible diferenciar entre áreas quemadas y no quemadas. Se estableció el área total impactada, utilizando herramientas de análisis espacial en sistemas de información geográfica (SIG) y tomando en cuenta la resolución espacial característica de los productos MODIS, basándose en esta clasificación.

Por último, se compararon los resultados de 2015 y 2025 para examinar las fluctuaciones en el tiempo en la magnitud de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras.

Método para conocer el comportamiento de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el 2015 y 2025.

Se llevó a cabo el estudio de cómo se comportaron los incendios forestales en la zona de Las Piedras entre 2015 y 2025 mediante imágenes satelitales MODIS, que están enfocadas en detectar zonas quemadas y focos de calor. Esto permitió analizar la dinámica de estos sucesos tanto espacial como temporalmente. Se reunió y organizó en un principio la información satelital de los periodos de estudio, y luego se llevó a cabo un proceso de pretratamiento para asegurar que los datos fueran homogéneos y comparables. Después, se analizaron variables como la periodicidad de aparición, la distribución espacial y la repetición de los incendios para detectar patrones y áreas con

una mayor densidad de eventos.

En una etapa posterior, se llevó a cabo un estudio comparativo entre los años 2015 y 2025, teniendo en cuenta cómo han cambiado con el tiempo los incendios forestales y cómo se comportan espacialmente según lo que se puede observar en las imágenes de satélite. Se evaluaron variaciones en la persistencia, intensidad y expansión de los incendios en diferentes zonas del distrito empleando métodos de análisis espacial implementados en ambientes SIG.

Este procedimiento posibilitó una caracterización exhaustiva de cómo se comportan los incendios forestales, proporcionando información importante para entender su dinámica y para decidir cómo gestionar el medio ambiente en el distrito de Las Piedras.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

- Variable Independiente (VI): Imágenes satelitales
- Variable Dependiente (VD): Severidad de los incendios forestales

Tabla 01: Operacionalización de las variables.

Variables	Dimensiones	Indicadores
Vi. Imágenes satelitales	• Resolución espacial • Resolución temporal	• Número de imágenes disponibles • Calidad de resolución (m/píxel) • Frecuencia de captura ,
Vd. Severidad de los incendios forestales	• Intensidad del fuego • Extensión del área afectada	• Hectáreas quemadas por evento • Número de focos de calor detectados • Tiempo de persistencia del incendio

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño metodológico de la investigación se estableció con un enfoque cuantitativo analítico, con el propósito de examinar la intensidad de los incendios forestales mediante el procesamiento y análisis de imágenes satelitales del distrito de Las Piedras, ubicado en la región Madre de Dios, durante los años 2015 y 2025. Se realizó un análisis exploratorio

de los datos que se obtuvieron, de las imágenes satelitales MODIS y otros indicadores parecidos, para verificar si se cumplía el supuesto de normalidad. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si los datos se ajustaban a una distribución normal y, por ende, eran adecuados para aplicar pruebas paramétricas, con un nivel de significancia de 0.05.

Se utilizó la prueba de correlación de Pearson después de confirmar que los datos eran normales, con el fin de analizar la conexión entre las variables relacionadas con la gravedad de los incendios forestales durante los períodos estudiados. El coeficiente de correlación de Pearson (r) fue calculado a través de la fórmula:

$$r = [\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})] / \sqrt{[\Sigma(x_i - \bar{x})^2 \Sigma(y_i - \bar{y})^2]}$$

En esta expresión, los valores observados de las variables se designan como y_i y x_i . Las medias respectivas son indicadas como $\bar{y}$ y $\bar{x}$. Esta prueba hizo posible determinar la dirección y el tamaño de la relación lineal entre las variables, lo que proporcionó pruebas estadísticas acerca de las alteraciones en la gravedad de los incendios forestales entre 2015 y 2025.

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. CÁLCULO DEL ÁREA POR LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO DE LAS PIEDRAS DURANTE EL PERIODO 2015 - 2025.

En la Figura 07 se muestra que, entre 2015 y 2025, la superficie afectada por incendios forestales en el distrito de Las Piedras presenta una variación anual considerable. 975 Ha fueron reportadas como afectadas en 2015; en el año siguiente, la cifra subió hasta 3575 Ha. Después se registró un descenso en 2017 (1050 Ha) y en 2018 (1350 Ha). En 2019, se registró un aumento significativo, alcanzando las 4400 Ha; después, una disminución en 2020 hasta las 2750 Ha; y finalmente, el año 2021 marcó un máximo con 5100 Ha quemadas, destacándose como el periodo más crítico. La afectación cayó otra vez a 1350 Ha en 2022. Entre 2023 y 2025, los valores se mostraron relativamente estables, con áreas que oscilaron entre las 2700 Ha y las 2850 Ha (2825 Ha en el año de referencia, luego bajó a las 2700 Ha en el siguiente año y alcanzó las 2850 Ha en el año siguiente). Estos hallazgos muestran en general un comportamiento irregular de los incendios, con picos significativos que podrían estar vinculados a factores climáticos y a una mayor influencia humana, intercalados con años de menor impacto. Esto evidencia la necesidad de fortalecer las medidas para prevenir y gestionar el fuego en esa área.

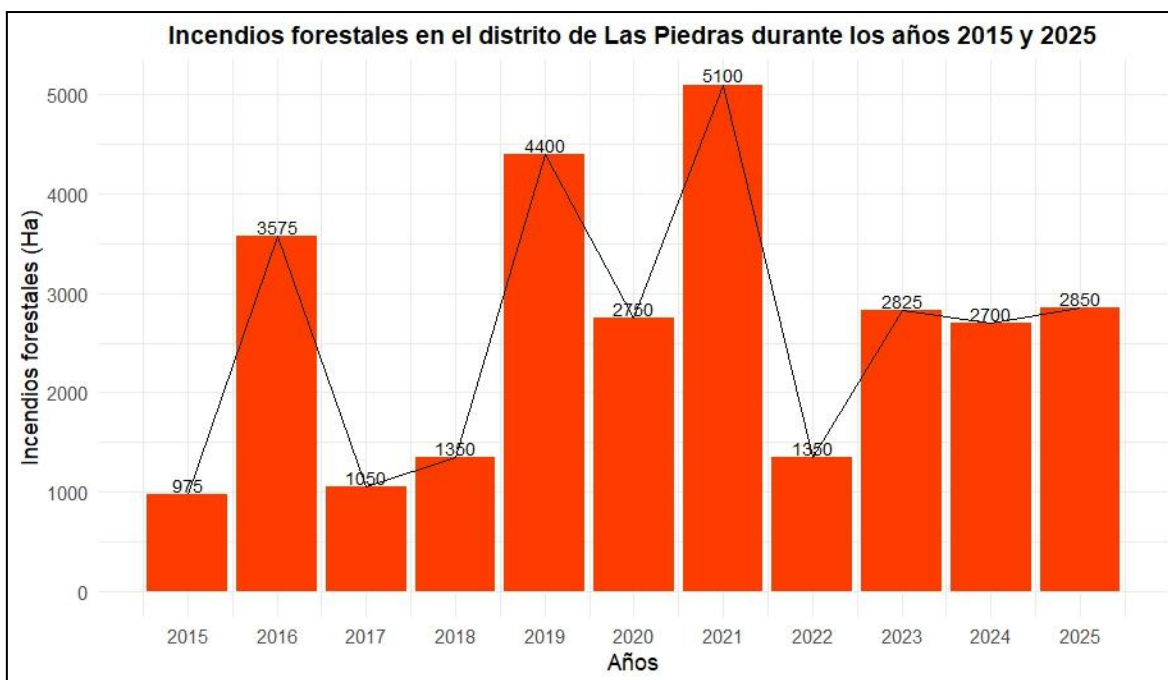


Figura 07: Incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante los años 2015 y 2025.

En la figura 08 se muestra la dinámica de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras entre 2015 y 2025 muestra una variabilidad significativa, con subidas y bajadas repentinas en el área afectada. No hubo variaciones en 2015 (0 Ha), pero en 2016 se dio un aumento significativo de 2600 Ha. Sin embargo, esta situación cambió en 2017, cuando se experimentó una baja notable de -2525 Ha. En 2018, se observó un ligero aumento de 300 ha, que fue seguido por una subida significativa de 3050 Ha en el año siguiente; sin embargo, este incremento se vio interrumpido en 2020 con una caída de -1650 Ha. En 2021, la tendencia fue otra vez positiva y llegó a 2350 Ha; sin embargo, en el año siguiente se dio el descenso más importante del periodo, con una disminución de -3750 Ha, lo que supuso un marcado recorte en comparación con el año anterior. Más tarde, en 2023 se observó una ligera recuperación de 1475 Ha; sin embargo, las fluctuaciones en los años siguientes fueron más pequeñas: -125 Ha y 150 Ha respectivamente. Esto indica un comportamiento más estable. En resumen, estos

hallazgos revelan una dinámica irregular que se ve afectada por las condiciones del combustible vegetal, la presión humana y los elementos climáticos.



Figura 08: Variabilidad de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante los años 2015 y 2025.

En la Figura 09 se muestran los mapas de incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante los años 2015 y 2025, donde la mayor parte del territorio está ocupada por las áreas clasificadas como No quema, que se muestran en tonos grises. Esto muestra que extensas zonas mantuvieron su cobertura vegetal sin sufrir impactos directos de fuego durante los años estudiados (2015, 2018, 2021 y 2025). En cambio, las zonas catalogadas como "Quema", que se señalan en rojo, son más comunes en los sectores sureste y sur del distrito, lo cual coincide con las áreas donde hay un mayor acceso y presión de origen humano. Los puntos de incendio en 2015 fueron escasos y dispersos, lo que indica una baja frecuencia; mientras tanto, en 2018 se observó un incremento moderado de zonas afectadas, con una concentración espacial más alta. El 2021 se distingue por tener la mayor densidad y extensión de áreas quemadas, lo que demuestra un lapso de tiempo con una elevada ocurrencia de incendios forestales. En 2025, aunque todavía hay zonas con quemaduras, estas son más pequeñas y localizadas en

comparación con las de 2021, lo que indica una reducción relativa de estos sucesos. En general, la fluctuación en el tiempo y en el espacio de los colores muestra que los incendios tienen un comportamiento variable, con episodios más intensos concentrados en años y áreas específicas del distrito.

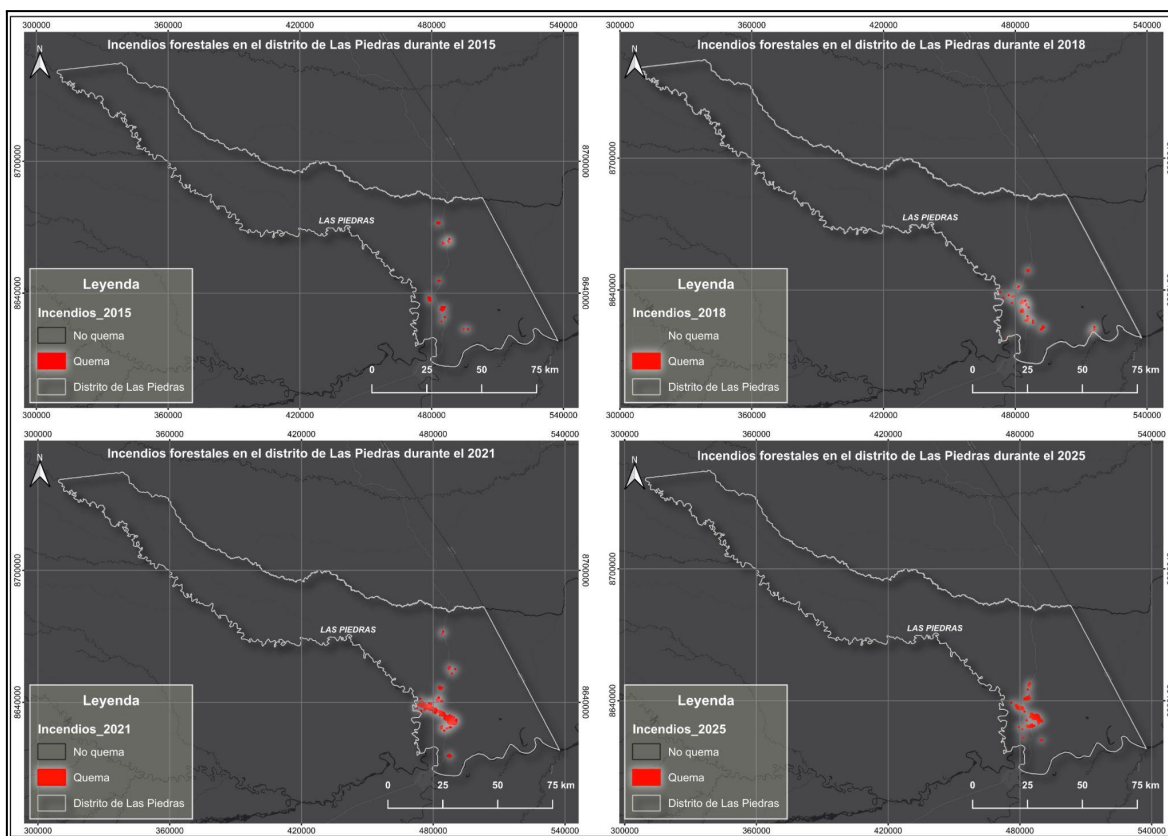


Figura 09: Mapas de incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante los años 2015 y 2025.

En la Tabla 02 se muestran los resultados descriptivos de los incendios forestales ocurridos en el distrito de Las Piedras entre 2015 y 2025 muestran que la media fue de 2629.54, con una mediana de 2750, lo cual señala que la mitad de los datos se ubican en cifras iguales o por encima de este número, evidenciando una ligera inclinación hacia registros elevados. Una dispersión significativa de los datos se muestra con la desviación estándar de 1369.11, la cual indica que existe una variabilidad interanual notable en la ocurrencia de incendios. Además, el coeficiente de asimetría de 0.42 señala una leve asimetría positiva, vinculada a la existencia de ciertos valores altos que afectan la media.

Sobre la curtosis, un valor de -0.67 indica que la distribución es menos puntiaguda que la normal y tiene una concentración más baja de valores extremos. En última instancia, los datos demuestran un mínimo de 975 y un máximo de 5100, lo que corroboró una gran amplitud en el rango de variación y una conducta dinámica del fenómeno dentro del nivel de confianza establecido.

Tabla 02: Incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015 - 2025.

Media	Mediana	Desviación estándar	Coefficiente de asimetría	Curtosis	Min.	Max.
2629.54	2750	1369.11	0.42	-0.67	975	5100

Nivel de confianza(95.0%)

4.2. COMPORTAMIENTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL DISTRITO DE LAS PIEDRAS DURANTE EL PERIODO 2015 - 2025

En la Figura 10 se muestra la regresión lineal de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras entre 2015 y 2025 se muestra en el gráfico. La línea de regresión lineal indica un pequeño aumento en la superficie afectada, con una pendiente de 108,18 ha anuales. Esto significa que la extensión afectada se incrementa cada año en cerca de 108 hectáreas. La regresión se expresa a través de la ecuación $y=108,18x-215897,73$ y el coeficiente de determinación es $R^2 = 0,069$, lo que indica que solo cerca del 6,9 % de la variación en los incendios puede atribuirse al tiempo, lo cual muestra una gran dispersión de los datos y la posible intervención de otros factores foráneos. Los valores anuales tienen mucha variabilidad, desde cerca de 1.000 ha en el año 2015 hasta más de 5.000 ha en el año 2021; esto muestra que los incendios forestales son irregulares a lo largo de los años en la región.

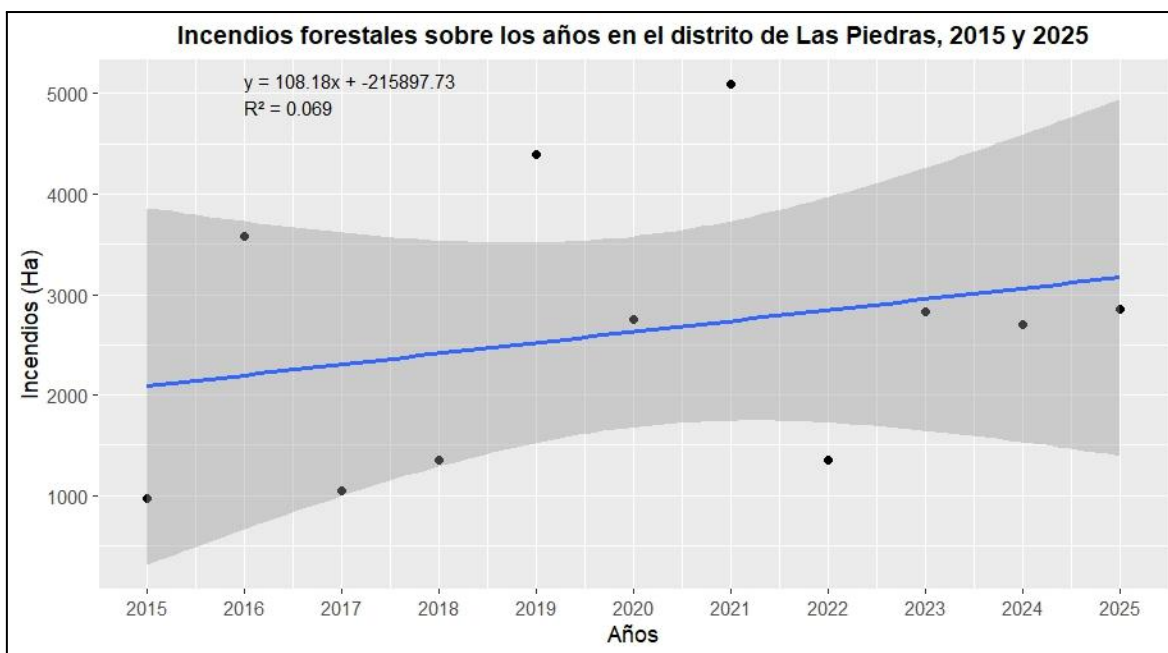


Figura 10: Regresión lineal de los incendios forestales sobre los años en el distrito de Las Piedras, 2015 y 2025.

En la Tabla 03 se muestran los hallazgos de la prueba de Shapiro-Wilk demuestran que las variables analizadas satisfacen el criterio de normalidad, con un nivel de significación fijado en $\alpha = 0.05$. Para la variable Años, se obtuvo un estadístico de $W = 0.968$ y un valor $p = 0.870$, que es significativamente más alto que el límite de significación; esto sugiere que no hay pruebas suficientes para descartar la hipótesis de distribución normal. Asimismo, el comportamiento de la variable Incendios forestales se ajustó a la normalidad, con un estadístico $W = 0.918$ y un valor $p = 0.299$, que fue mayor a 0.05. Por lo tanto, las dos variables se consideran paramétricas, lo que posibilita el uso de técnicas estadísticas paramétricas en análisis futuros, porque no se detectan desviaciones significativas de la distribución normal.

Tabla 03: Prueba de normalidad mediante Shapiro-Wilk.

Variables	Statistic	<i>p-value</i>
Años	0.968	0.870
Incendios forestales	0.918	0.299

En la Tabla 04 se muestra la correlación de Pearson muestra, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, una relación positiva débil entre la variable Años y los incendios forestales, lo cual se manifiesta en un coeficiente $r = 0.26$. El estadístico calculado fue 0.815, con un valor p de 0.436, que excede el umbral de significancia; esto sugiere que la correlación observada no es significativa desde el punto de vista estadístico. Asimismo, el intervalo de confianza del 95 %, que va desde -0.401 hasta 0.745, abarca el cero, lo cual respalda la ausencia de una vinculación lineal determinante. En este contexto, a pesar de que se observa una ligera tendencia al aumento en el número de incendios a lo largo del tiempo, esta correlación no cuenta con un respaldo estadístico. Por tanto, la hipótesis nula se sostiene y este estudio concluye que los años no tienen un impacto importante en la aparición de incendios forestales.

Tabla 04: Prueba de correlación de las variables mediante pearson.

Variables	Cor.	Statistic	<i>p-value</i>	Conf.low	Conf.high	Método
Años						
Incendios forestales	0.26	0.815	0.436	-0.401	0.745	Pearson

En la Figura 11 se muestra la línea de regresión, al examinar el gráfico de incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante 2015-2025, revela una leve tendencia hacia el incremento de áreas afectadas. El coeficiente de correlación de Pearson se define como $R^2 = 0.26$, lo que señala una débil correlación positiva entre las hectáreas afectadas y los años. El valor de $R^2 = 0.068$ indica que el tiempo solamente puede explicar aproximadamente el 6.8 % de la variabilidad en los incendios; el 93.2 % restante se atribuye a otros elementos o cambios fortuitos. Adicionalmente, con un $p = 0.44$, que es mayor al nivel de significancia de 0.05; la tendencia observada no tiene importancia estadística, así que no se puede sostener que efectivamente se hayan incrementado los

incendios en este lapso. En resumen, aunque a simple vista parece haber un ligero aumento, no existen suficientes pruebas estadísticas que lo confirmen.

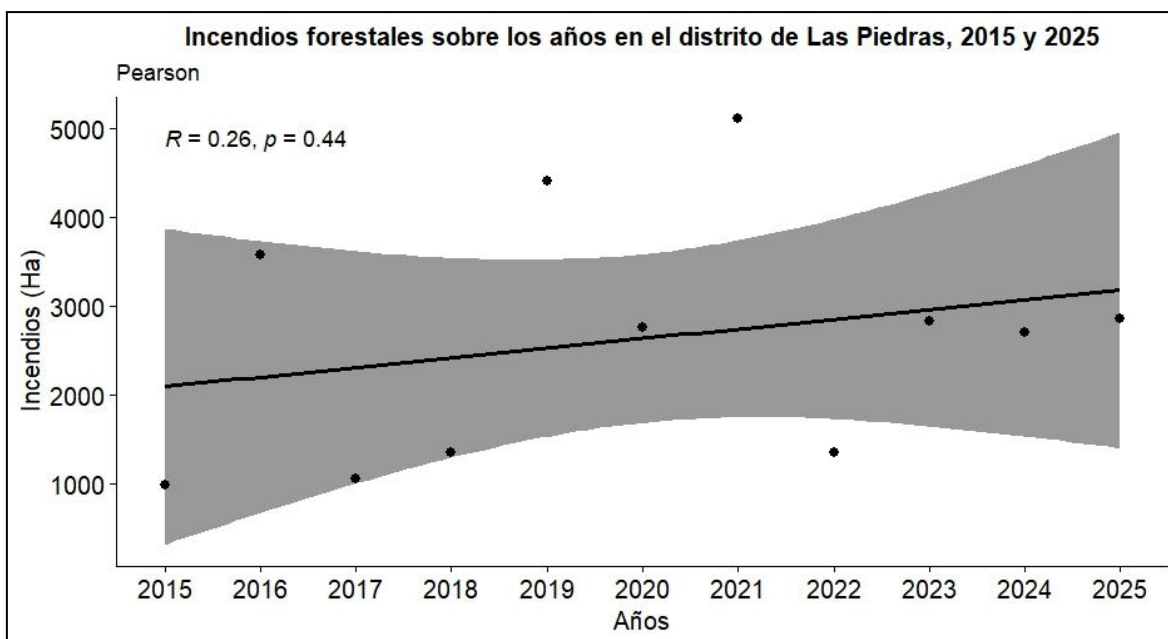


Figura 11: Regresión lineal de los incendios forestales sobre los años en el distrito de Las Piedras, 2015 y 2025.

4.3. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos concuerda con **Farfán et al. (2024)**, en el Corredor Biológico Chorotega y el Área de Conservación Tempisque, ubicados en Costa Rica. Los resultados revelaron que en la última década se produjo un incremento del 62,96 % en la incidencia de incendios, especialmente en zonas con una fragmentación alta, poca cobertura forestal y una densidad elevada de bordes. Asimismo, se estableció que los fragmentos boscosos tienen un tamaño medio de 6,26 ha y una gran probabilidad de ignición antrópica; el área norte del Área de Conservación Tempisque mostró ser más vulnerable a incendios que la región sur. También concuerda con **Ríos (2025)**, en el departamento de Madre de Dios, los hallazgos indicaron que la mayor parte del territorio se ubicó en la categoría "sin quemar", con una severidad total de 663 057,82 ha. De estas, 562 584,34 ha pertenecieron a la clase de baja severidad, sobre todo en zonas

agrícolas cercanas a las vías de acceso. A nivel provincial, Tambopata fue el que abarcó más superficie afectada con 347 874,82 ha; lo siguieron Manu y Tahuamanu con 160 609,88 ha y 154 573,13 ha respectivamente. En todos los casos predominó la baja severidad. De la misma manera con **Valle et al. (2023)**, en las concesiones de la provincia de Tambopata, Madre de Dios. Los hallazgos revelaron una disminución de 32 115,36 hectáreas de bosque en las concesiones forestales de Tambopata, que equivale al 20,96 % del total de la deforestación a nivel regional. Asimismo, indicaron que los cambios constantes en las leyes relacionadas con los bosques, junto al mal uso de concesiones para propósitos como la reforestación y el ecoturismo, contribuyeron a convertir zonas boscosas en terrenos agrícolas, ganaderos y mineros. Finalmente concuerda con **Valeriano (2024)**, en el área de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata. Los hallazgos demostraron una disminución total de 14 456,92 hectáreas de cobertura forestal durante el tiempo que duró el estudio; las actividades mineras y agropecuarias fueron las principales causantes de la deforestación en la región estudiada.

4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis H1.

Ha. El área afectada por incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015–2025 muestra un incremento progresivo.

Ho. El área afectada por incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015–2025 no muestra un incremento progresivo.

En la figura 11 el nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ al comprobar la hipótesis. El análisis estadístico indica que la relación entre el área afectada por incendios forestales y el tiempo (en años) muestra una leve tendencia positiva, significativa desde el punto de vista estadístico, ya que p es igual al 0.05, estos hallazgos muestran en general un comportamiento irregular de los incendios, con picos significativos que podrían estar

vinculados a factores climáticos y a una mayor influencia humana, intercalados con años de menor impacto lo cual es evidenciado en la tabla 2 y figuras 7. 8 y 9..

Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna (H_a), y se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Hipótesis H2.

H_a . El comportamiento de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015–2025 evidencia una tendencia ascendente en su ocurrencia y extensión.

H_0 . El comportamiento de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015–2025 no evidencia una tendencia ascendente en su ocurrencia y extensión.

Realizado el análisis de correlación de Pearson, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, en el que se estudió el comportamiento de los incendios forestales. Se puede observar en los resultados un coeficiente de correlación positivo bajo ($r = 0.26$) y un valor $p = 0.436$, que sobrepasa el nivel de significancia establecido. Esto indica que, pese a que se observa una ligera tendencia en su ocurrencia y extensión en el paso del tiempo, la tendencia observada no tiene relevancia estadística, por lo tanto no se puede sostener que se hayan incrementado los incendios en este lapso lo cual es respaldado por la tabla 4 y figuras 10 y 11 de los resultados. En resumen, aunque a simple vista parece haber un ligero aumento, no existe suficiente evidencia estadística que lo confirme.

Por lo tanto, la hipótesis nula no se rechaza contundentemente debido a que no hay suficiente evidencia para sostener que la tendencia es ascendente en ocurrencia y extensión de los incendios forestales durante el periodo analizado.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se observó un cambio interanual significativo en la superficie afectada por los incendios forestales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, entre 2015 y 2025, a partir del análisis de la gravedad de los incendios utilizando imágenes satelitales. Los datos indican valores que oscilan entre 975 y 5100, con una mediana de 2750 y un promedio de 2629.54, lo cual demuestra que, a pesar de que se lograron áreas quemadas significativas en años determinados, estos sucesos no mantienen un patrón regular o continuo a lo largo del tiempo. La desviación estándar de 1369.11, que muestra una dispersión significativa en los datos y la falta de una tendencia estable, respalda esta situación.

SEGUNDA: En el análisis del comportamiento temporal de los incendios forestales se identificó una correlación positiva de baja intensidad entre la ocurrencia de incendios y el paso de los años (coeficiente de Pearson $r=0.26$). No obstante, dicha relación carece de significancia estadística ($p=0.436>0.05$), lo que evidencia que el transcurso del tiempo no constituye un factor determinante en el incremento de los incendios. Asimismo, el intervalo de confianza al 95 % (-0.401 a 0.745), al incluir el valor cero, confirma la ausencia de una correlación lineal significativa y descarta la existencia de un crecimiento sostenido del fenómeno durante el periodo evaluado.

TERCERA: Al considerar de manera conjunta los resultados, se observa que hubo años con mayor gravedad y zonas más extensamente afectadas. Sin embargo, no se cuenta con evidencia estadística suficiente para sostener la existencia de un incremento notable

y sostenido de incendios forestales en el distrito de Las Piedras entre 2015 y 2025. En este sentido, la severidad registrada parece estar asociada principalmente a sucesos aislados y variables, lo que resalta la importancia de fortalecer los análisis multitemporales y mantener una vigilancia satelital continua. Solo así será posible comprender con mayor profundidad los factores externos que influyen en la magnitud y dinámica de los incendios forestales en la región.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Al Servicio Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) hacer un seguimiento más exhaustivo de los incendios forestales usando imágenes satelitales de alta resolución, las cuales se complementan con información tomada en el campo que permita verificar la magnitud y gravedad de las zonas perjudicadas. Esta táctica hará que sea más fácil producir alertas tempranas más precisas y mejorará la organización de las acciones de control y preventivas. Asimismo, se aconseja implementar protocolos de monitoreo a largo plazo para detectar tendencias y patrones en la aparición de incendios, lo que contribuirá a mejorar la gestión forestal a nivel nacional y regional.

SEGUNDA: Al Gobierno Regional de Madre de Dios crear y poner en práctica políticas y programas para prevenir incendios forestales, tomando como base los datos históricos y el tamaño de las zonas perjudicadas. Esto significa incorporar datos socioeconómicos, geográficos y climáticos en la planificación del territorio y cooperar con los municipios y las comunidades locales para disminuir los riesgos. Además, se aconseja fortalecer los programas de formación y sensibilización para la población que fomenten prácticas de gestión sostenible del suelo y actividades agrícolas que reduzcan el riesgo de incendios.

TERCERA: Se recomienda a las autoridades del distrito de Las Piedras implementar medidas integrales de mitigación y control de incendios forestales. Entre ellas, la elaboración de planes comunales de gestión de riesgos y la conformación de brigadas comunitarias que aseguren una respuesta rápida y coordinada. Resulta igualmente crucial promover la educación ambiental y fomentar la participación activa de la población

en la prevención y vigilancia, apoyándose en el uso de datos satelitales para priorizar las áreas más vulnerables. La aplicación de estas acciones fortalecerá la protección de los ecosistemas locales, reducirá la exposición de la población a riesgos y contribuirá al aprovechamiento sostenible del territorio en el largo plazo

BIBLIOGRAFÍA

- Aragon, D. (2021, 07 14). La evidencia en cenizas. definir y comprobar el delito de incendio. Valparaíso, Chile, 1874-1906. *Atenea (Concepción)*, (524).
<http://dx.doi.org/10.29393/at524-12daec10012>
- Arenas, C., & Gudiño, V. (2024, 1 12). Propuesta metodológica para la teledetección de la zona estuarina del humedal del Río Limarí, sitio RAMSAR, Región de Coquimbo, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 59(3).
<https://doi.org/10.22370/rbmo.2024.59.3.4847>
- Armenteras, D., González, T., & Vargas, O. (2019, 09 18). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasia*, 24(01), 16.
www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0366-52322020000100001&script=sci_arttext
- Camas, D., & Mamani, M. (2022, 01 01). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1).
<http://dx.doi.org/10.15359/rca.56/1.3>
- Casado, F., & Vargas, D. (2025, 11 11). Cuadernos de Investigación UNED. *Incendios forestales y variables geográficas en la zona de amortiguamiento del Parque Internacional La Amistad, Costa Rica*, 17(1), 18.
<http://dx.doi.org/10.22458/urj.v17i1.5499>
- Elgueta, V. (2023, 10 30). Clasificación de la amenaza por incendios forestales en campamentos del Anfiteatro de Valparaíso. *Revista cartográfica*, (107).
<https://doi.org/10.35424/rcarto.i1070.3566>
- Farfán, M., Orozco, C., Camilo, C., & Nicasio, S. (2024, 07 11). Análisis de la probabilidad antropogénica de incendios forestales en el Área de Conservación Tempisque, Costa Rica: un enfoque basado en pesos de evidencia y métricas de paisaje.

Revista Geográfica de América Central, (75), 26.

<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.75-2.04>

Faúndez, J., Castillo, M., & Navarro, R. (2022, 01 10). Impactos de los incendios forestales de magnitud en áreas silvestres protegidas de Chile Central. *Bosque (Valdivia)*, 44(1), 14. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002023000100083>

Flores, J. (2022, 02 21). Antecedentes y perspectivas de la investigación en incendios forestales en el INIFAP. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(1). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iespecial-1.981>

Flores, J., & Flores, A. (2022, 02 19). Análisis comparativo del número e intervalos de clases de riesgo de incendios forestales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(62). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.775>

González Gutiérrez, I., Farfán Gutiérrez, M., & Morales Manilla, 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), 28. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.71-2.7>

Isaza, I., Biancheri, I., & Carrasco, A. (2025, 10 21). Análisis de la subsidencia de la Isla Gardí Sugdub de San Blas: causas, consecuencias y estrategias de mitigación mediante teledetección. *Revista Semilla Del Este*, 6(1). <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7227>
<https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7227>

Muñoz, G. (2023, 05 12). Sistemas de protección contra incendios: ¿cuál es el valor agregado desde las estrategias de desarrollo sustentable? *Universidad del Desarrollo*. <https://repositorio.udd.cl/handle/11447/7026>

Rios, E. (2025, 07 12). Detección de la severidad de quemadas mediante imágenes del sensor sentinel-2 en la región de Madre de Dios. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios*. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/1352>

- Rodríguez, D. (2023, 09 15). Procedimiento Metodológico para la elaboración de Planes de Contingencia y Áreas de Contingencia Programada para Grandes Incendios Forestales. Aplicación en Sierra Nevada Poniente (Granada). *Universidad de Córdova*. <http://hdl.handle.net/10396/24987>
- Rodríguez, M., & Siccha, O. (2022, 11 30). Teledetección hiperespectral y exploración geológica para la configuración de modelos geometalúrgicos en sistemas hidrotermales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3669
- Saavedra, K. (2024, 07 20). Perspectivas sobre el uso de tecnología de teledetección para el monitoreo de la deforestación y degradación forestal. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 2(3). <https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n3/37>
- Santos, A. (2024, 01 03). Evaluación y mapeado de la severidad en dos incendios forestales en la provincia de San Ignacio. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6773>
- Valeriano, V. (2024, 10 11). Análisis multitemporal de la deforestación en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata-Madre de Dios, periodo 2013-2022. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios*. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/1163>
- Valle, D., Espinosa, T., & Limache, D. (2023, 07 09). 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*, (11). <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/Kawsaypacha/article/view/26398>
- Villaseca, A. (2023, 03 04). Impacto de los incendios forestales en el santuario histórico de bosque de Pómac. *Sagasteguiana*, 10(2), 20. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REVSAGAS/article/view/5123>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia: Severidad de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, durante el 2015 y 2025'

Problema de investigación	Objetivos de investigación	Hipótesis de investigación	Variables de investigación	Indicadores	Metodología de investigación
¿Cómo es la severidad de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, durante el periodo 2015 - 2025?	Evaluar la severidad de los incendios forestales mediante imágenes satelitales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, durante el periodo 2015 y 2025.	La severidad de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras, Madre de Dios, durante el periodo 2015-2025, presenta una tendencia creciente según el análisis de imágenes satelitales..	Variable independiente: Imágenes satelitales	Imágenes disponibles Calidad de resolución (m/pixel) Frecuencia de captura	Método de investigación: No experimental Enfoque de investigación: Cuantitativo
Específicos P1. ¿Cuánto es el área afectada por los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015 - 2025? P2. ¿Cómo es el comportamiento de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015 - 2025?	Específicos O1. Calcular el área afectada por incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015-2025 O2. Conocer el comportamiento de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015 - 2025.	Específicos H1. El área afectada por incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015-2025 muestra un incremento progresivo. H2. El comportamiento de los incendios forestales en el distrito de Las Piedras durante el periodo 2015-2025 evidencia una tendencia ascendente en su ocurrencia y extensión.	Variable dependiente: Severidad de los incendios forestales	Temperatura superficial registrada (K o °C) Hectáreas quemadas Tiempo de persistencia del incendio	Diseño: descriptivo

Anexo 02: Imagen satelital MODIS.

Earth Engine Data Catalog

Buscar

Español - A...

Página principal Categorías Todos los conjuntos de datos All tags Landsat MODIS Sentinel Publisher Comunidad Documentos de API Estado del conjunto de datos

MCD64A1.061 MODIS Burned Area Monthly Global 500m



Disponibilidad del conjunto de datos
2000-11-01T00:00:00Z - 2025-12-01T00:00:00Z

Productor del conjunto de datos
NASA LP DAAC en el USGS EROS Center Google Earth Engine

Fragmento de Earth Engine
ee.ImageCollection("MODIS/061/MCD64A1")

Cadencia
1 mes

Etiquetas
burn change-detection fire geophysical global mcd64a1 modis monthly nasa usgs

Descripción Bandas Condiciones de Uso Citas DOI

El producto de datos de área quemada MCD64A1, versión 6.1, combinado de Terra y Aqua es un producto mensual global en formato de cuadrícula de 500 m que contiene información por píxel sobre el área quemada y la calidad. El enfoque de asignación de áreas quemadas de MCD64A1 emplea imágenes de reflectancia de la superficie de MODIS de 500 m junto con observaciones de incendios activos de MODIS de 1 km. El algoritmo usa un índice de vegetación (VI) sensible a las quemaduras para crear umbrales dinámicos que se aplican a los datos compuestos. El VI se deriva de las bandas 5 y 7 de reflectancia de la superficie corregida atmosféricamente en infrarrojo de onda corta de MODIS con una medida de textura temporal. El algoritmo identifica la fecha de quema de las celdas de la cuadrícula de 500 m dentro de cada mosaico individual de MODIS. La fecha se codifica en una sola capa de datos como el día ordinal del año calendario en el que se produjo la quema, con valores asignados a los píxeles de tierra no quemada y valores especiales adicionales reservados para los datos faltantes y las celdas de la cuadrícula de agua.

29°C
Parc. nublado

Buscar

ESP LAA

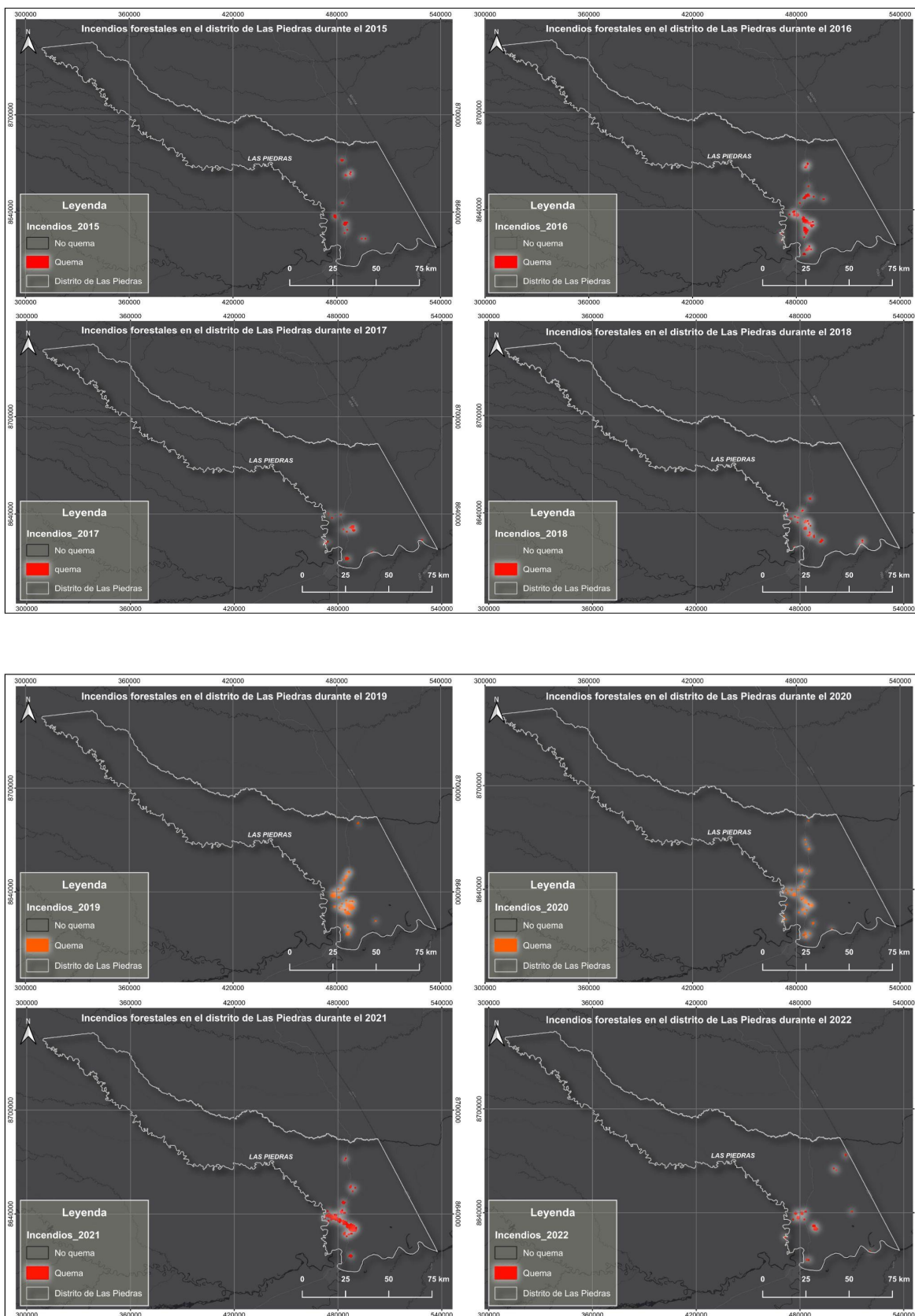
07:05 p. m.
07/02/2026

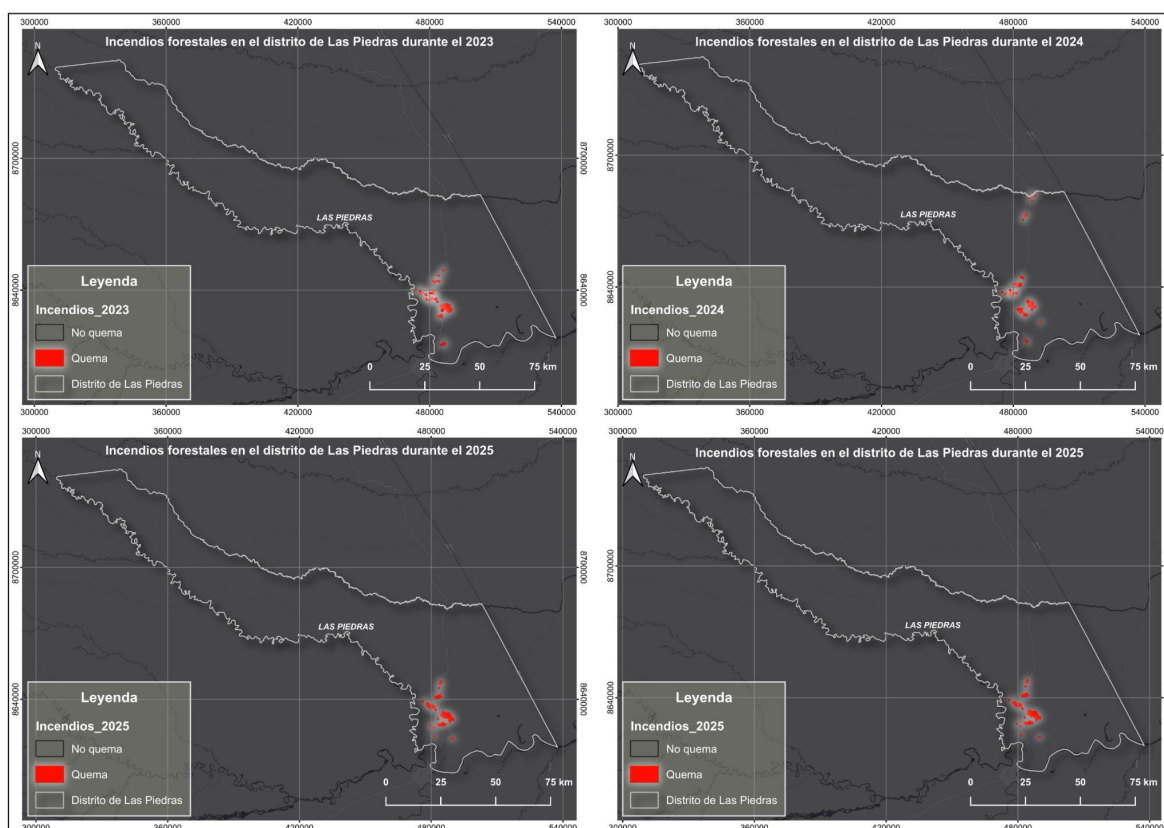


Anexo 03: Resultado de los incendios forestales del distrito de Las Piedras.

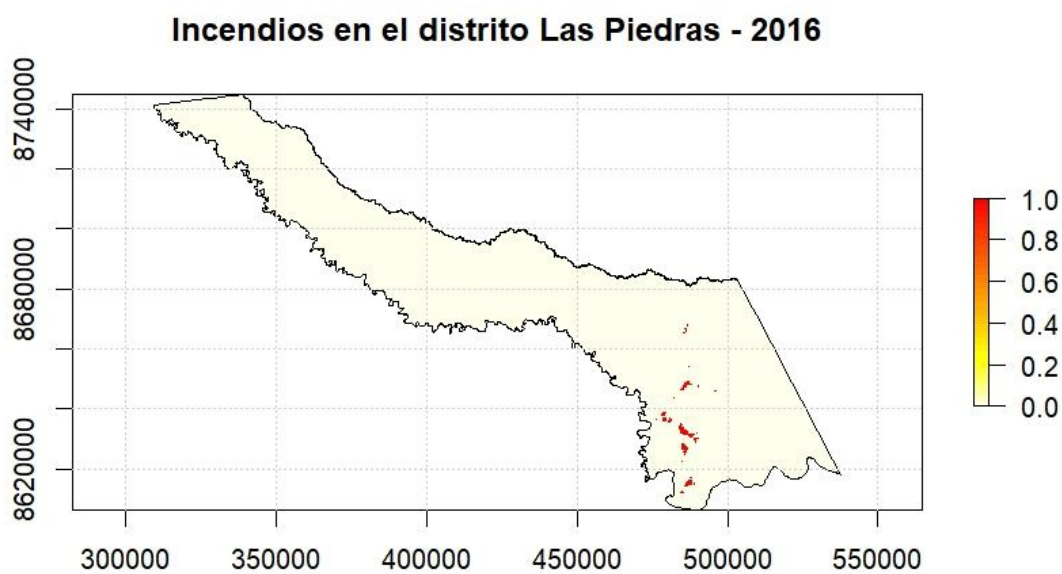
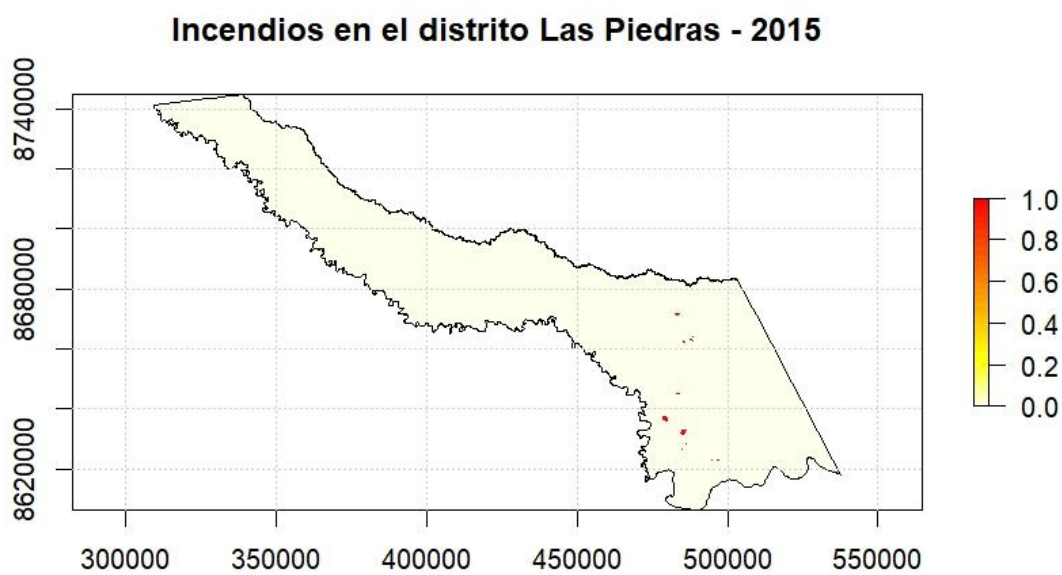
Descripción	Años	Incendios forestales (Ha)	Variabilidad de los incendios (Ha)	Porcentaje
Quema en Las Piedras	2015	975	0	3%
Quema en Las Piedras	2016	3575	2600	12%
Quema en Las Piedras	2017	1050	-2525	4%
Quema en Las Piedras	2018	1350	300	5%
Quema en Las Piedras	2019	4400	3050	15%
Quema en Las Piedras	2020	2750	-1650	10%
Quema en Las Piedras	2021	5100	2350	18%
Quema en Las Piedras	2022	1350	-3750	5%
Quema en Las Piedras	2023	2825	1475	10%
Quema en Las Piedras	2024	2700	-125	9%
Quema en Las Piedras	2025	2850	150	10%
Total		28925	1875	100%

Anexo 04: Mapas de los incendios forestales del distrito de Las Piedras.

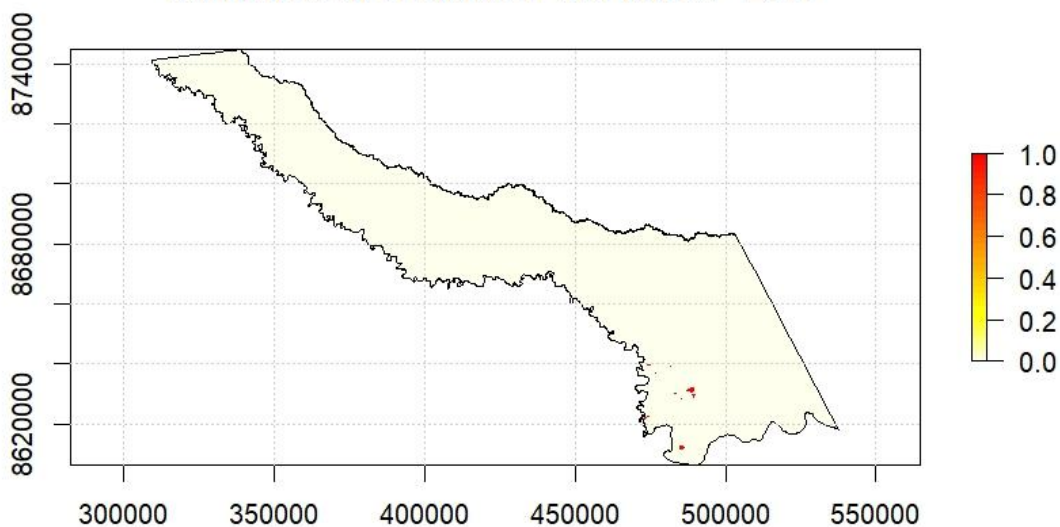




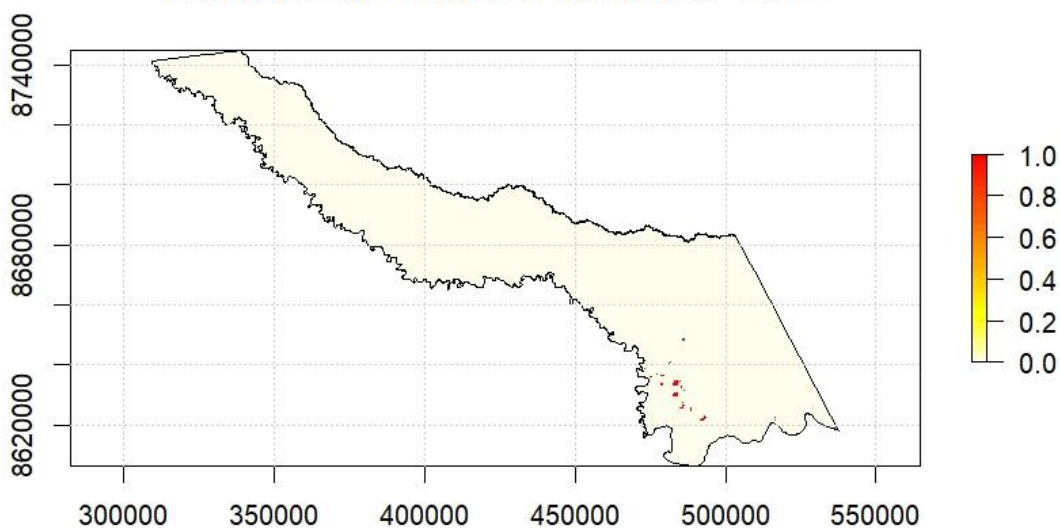
Anexo 05: Evaluando los incendios forestales del distrito de Las Piedras.



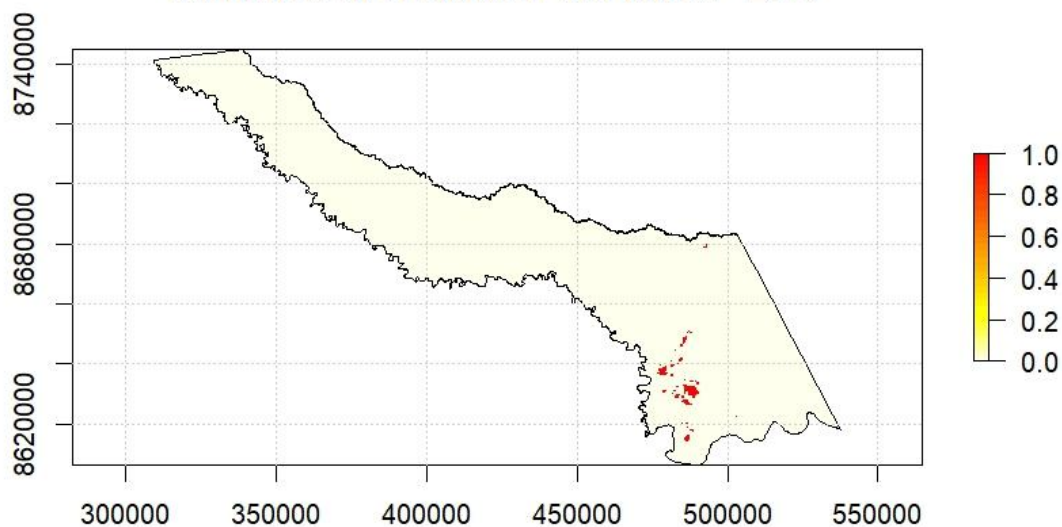
Incendios en el distrito Las Piedras - 2017



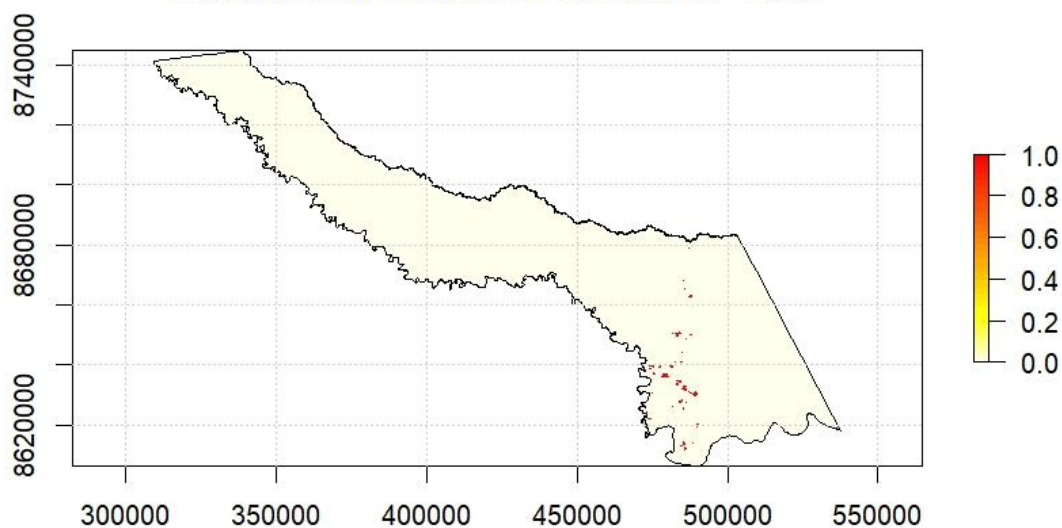
Incendios en el distrito Las Piedras - 2018



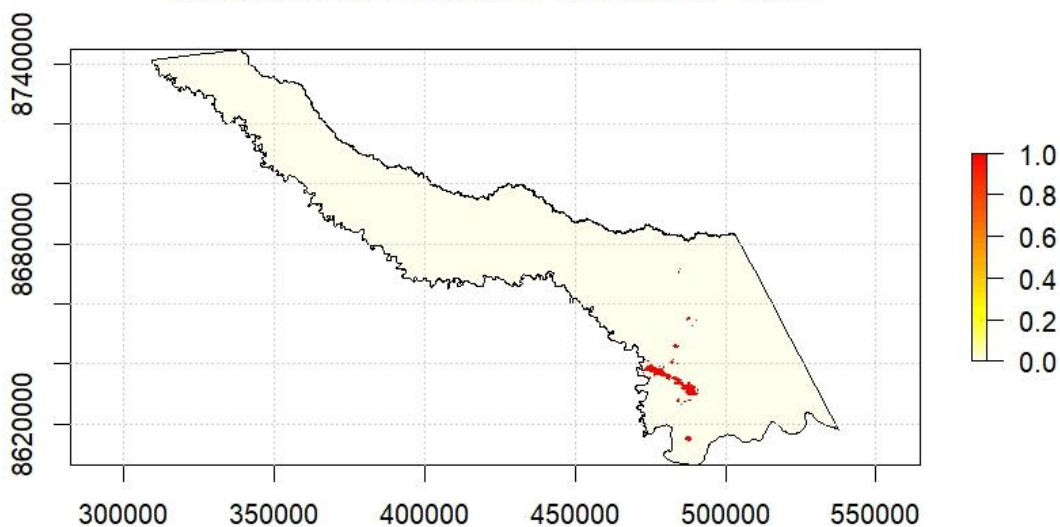
Incendios en el distrito Las Piedras - 2019



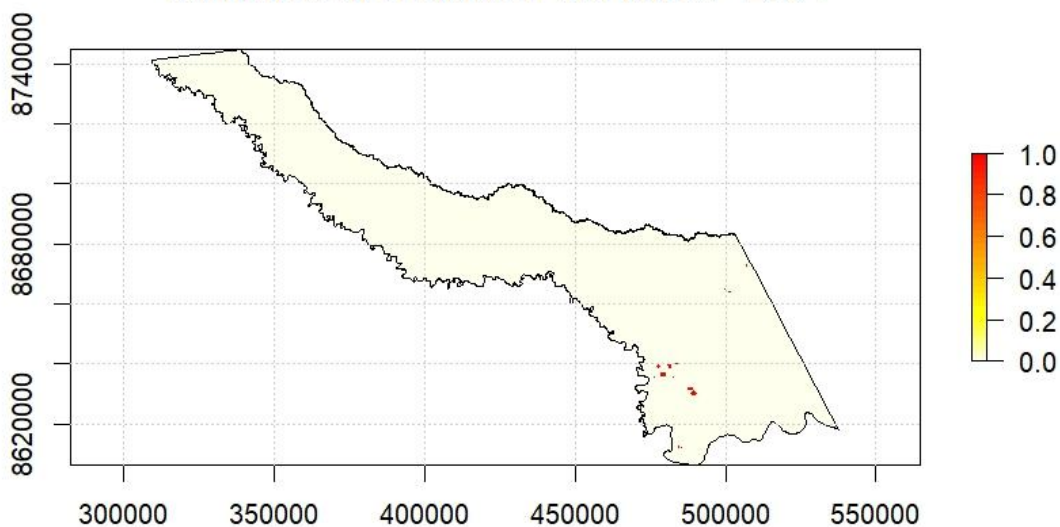
Incendios en el distrito Las Piedras - 2020



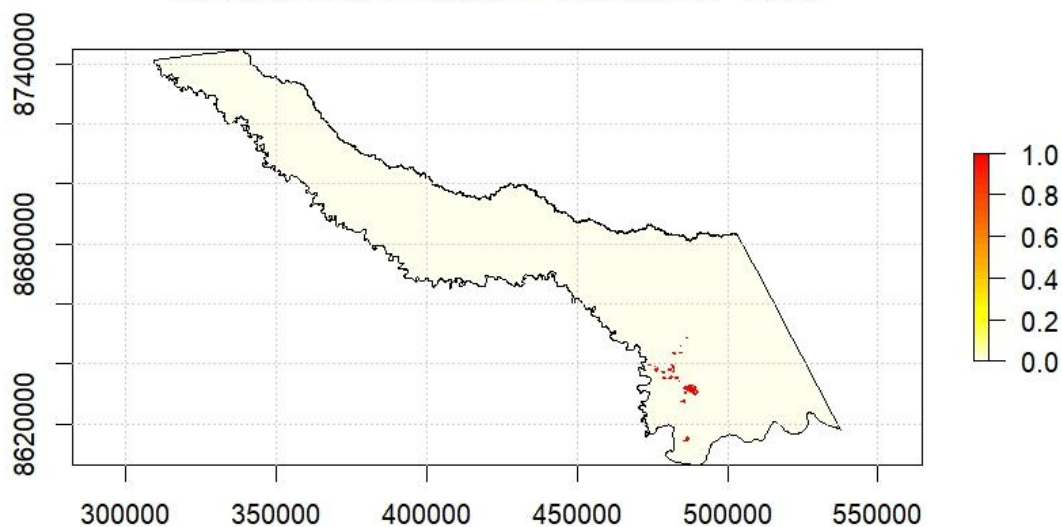
Incendios en el distrito Las Piedras - 2021



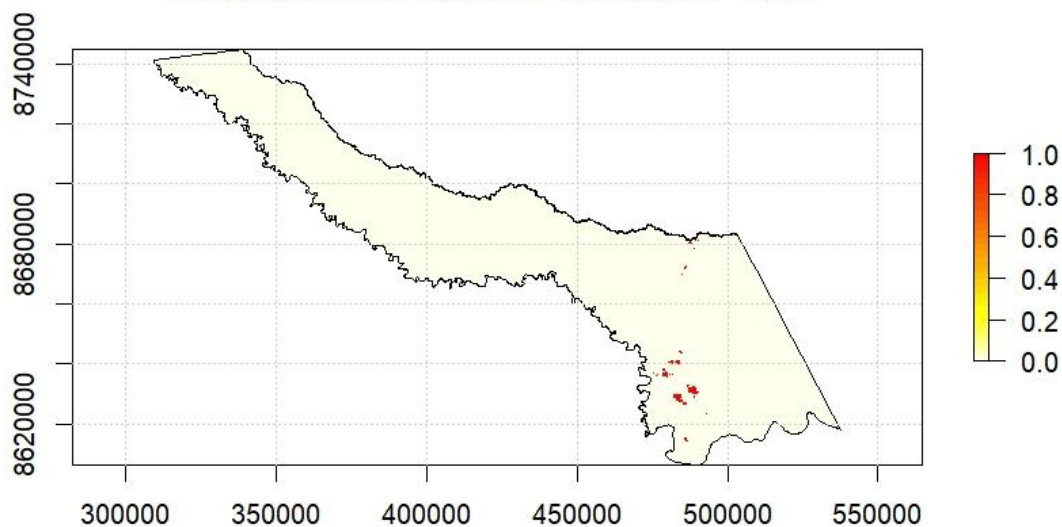
Incendios en el distrito Las Piedras - 2022

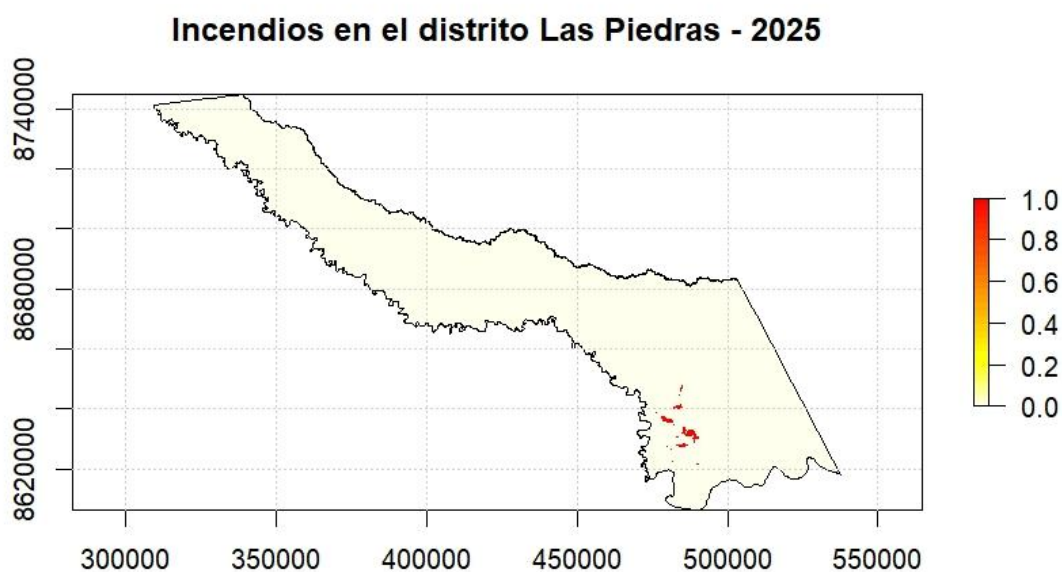


Incendios en el distrito Las Piedras - 2023



Incendios en el distrito Las Piedras - 2024





Anexo 06: Evaluando las estadísticas de los incendios forestales del distrito de Las Piedras.

The following object is masked from 'package:stats':

filter

```
> dat %>%
+ shapiro_test(Años)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Años        0.968 0.870
> dat %>%
+ shapiro_test(Incendios)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Incendios    0.918 0.299
> |
```

```
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Años        0.968 0.870
> dat %>%
+ shapiro_test(Incendios)
# A tibble: 1 × 3
  variable statistic      p
  <chr>      <dbl> <dbl>
1 Incendios    0.918 0.299
> dat %>%
+ cor_test(Años, Incendios)
# A tibble: 1 × 8
  var1 var2      cor statistic      p conf.low conf.high method
  <chr> <chr>      <dbl>      <dbl> <dbl>      <dbl>      <dbl> <chr>
1 Años Incendios 0.26      0.815 0.436    -0.401    0.745 Pearson
```

Anexo 07: Panel fotográfico

