



Investigaciones Regionales - Journal of Regional Research

ISSN: 1695-7253

ISSN: 2340-2717

investig.regionales@aecr.org

Asociación Española de Ciencia Regional

España

Aronés Cisneros, Angel; Badia Perpinyà, Anna; Nadal Tersa, Jordi; Bonnesoeur, Vivien
Incendios forestales en ecosistemas de la puna húmeda en los Andes de Ayacucho, Perú
Investigaciones Regionales - Journal of Regional Research, núm. 59, 2024, pp. 122-147
Asociación Española de Ciencia Regional
Madrid, España

DOI: <https://doi.org/10.38191/iirr-jorr.24.014>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28978937006>

- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

[redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante

Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia



ISSN: 1695-7253 e-ISSN: 2340-2717
investig.regionales@aecr.org

AECR - Asociación Española de Ciencia Regional
www.aecr.org
España – Spain

Incendios forestales en ecosistemas de la puna húmeda en los Andes de Ayacucho, Perú

Angel Aronés Cisneros, Anna Badia Perpinyà, Jordi Nadal Tersa, Vivien Bonnesoeur
Incendios forestales en ecosistemas de la puna húmeda en los Andes de Ayacucho, Perú
Investigaciones Regionales - Journal of Regional Research, 59, 2024/2
Asociación Española de Ciencia Regional, España

Available on the website: <https://investigacionesregionales.org/numeros-y-articulos/consulta-de-articulos>

Additional information:

To cite this article: Aronés Cisneros A., Badia Perpinyà, A., Nadal Tersa, J., & Bonnesoeur, V. (2024). Incendios forestales en ecosistemas de la puna húmeda en los Andes de Ayacucho, Perú. Investigaciones Regionales – Journal of Regional Research, 2024/2(59), 127-147. <https://doi.org/10.38191/iirr-jorr.24.014>

Incendios forestales en ecosistemas de la puna húmeda en los Andes de Ayacucho, Perú

*Angel Aronés Cisneros**, *Anna Badia Perpinyà***, *Jordi Nadal Tera****, *Vivien Bonnesoeur*****

Recibido: 18 de noviembre de 2022

Aceptado: 22 de enero de 2024

RESUMEN:

Esta investigación analiza la extensión y frecuencia de los incendios forestales en el ecosistema de la puna húmeda desde el año 2013 al 2021, identificando las áreas afectadas y determinando las causas con la finalidad de mejorar el manejo de fuego en el departamento de Ayacucho (región andina de Perú). La metodología combina análisis cartográfico, imágenes satelitales y entrevistas semiestructuradas para identificar las causas, consecuencias y alternativas de mitigación de los incendios. Los resultados muestran que las áreas afectadas por los incendios durante los 9 años son muy diferenciadas, siendo el 2020 el año con mayor área incendiada llegando a 2,836 ha lo que representa el 14.89% de la puna húmeda del área de estudio. Además, las áreas incendiadas con mayor frecuencia se repiten entre 7 y 9 veces en diferentes años, con un promedio de ha quemadas de forma recurrente de 182 ha. Las causas de los incendios son netamente de origen antrópico ocasionados por la (i) apertura de nuevas chacras o quema de rastrojo; (ii) quema del ichu para el rebrote de pastos y (iii) por razones culturales. Se concluye que la combinación de metodología de análisis cartográfico, imágenes satelitales y las entrevistas semiestructuradas proporcionan información que permite entender las dinámicas del territorio y mejorar el manejo e implantación de políticas territoriales en la mitigación de los incendios.

PALABRAS CLAVE: Incendios forestales; imágenes satelitales; Andes; puna húmeda.

CLASIFICACIÓN JEL: O2; O21.

Forest fires in ecosystems of the humid puna in the Andes of Ayacucho, Peru

ABSTRACT:

This research analyzes the extent and frequency of forest fires in the humid puna ecosystem from 2013 to 2021, identifying the affected areas and determining the causes in order to improve fire management in the department of Ayacucho (Andean region, from Peru). The methodology combines cartographic analysis, satellite images and semi-structured interviews to identify the causes, consequences and mitigation alternatives of the fires. The results show that the areas affected by the fires during the 9 years are very differentiated, with 2020 being the year with the largest burned area, reaching 2,836 ha, which represents 14.89% of the humid puna of the study area. In addition, the most frequently burned areas are repeated between 7 and 9 times in different years, with an average of 182 ha burned recurrently. The causes of the fires are clearly of anthropic origin caused by the (i) opening of new fields or burning of stubble; (ii) ichu burning for pasture regrowth and (iii) for cultural reasons. It is concluded that the combination of

* Investigador principal. Instituto de Investigación Geográfico Andino Rural. Perú. aronescisneros@gmail.com

** Docente investigador. Universidad Autónoma de Barcelona. España. anna.badia@uab.cat

*** Docente investigador. Universidad Autónoma de Barcelona. España. jordi.nadal@uab.cat

**** Líder técnico e investigador. INSH CONDESAN. Perú. vivien.bonnesoeur@inshcondesan.org

Autor para correspondencia: aronescisneros@gmail.com

cartographic analysis methodology, satellite images and semi-structured interviews provide information that allows understanding the dynamics of the territory and improve the management and implementation of territorial policies in the mitigation of fires.

KEYWORDS: Forest fires; satellite images; Andes; humid puna.

JEL CLASSIFICATION: O2; O21.

1. INTRODUCCIÓN

El incendio forestal se define como aquel fuego descontrolado que afecta a los bosques nativos, a las plantaciones forestales y otra vegetación que se desarrolla en tierras forestales de producción y de protección, así como sobre la vegetación silvestre y de ambientes acuáticos emergentes (Minam, 2017); mientras tanto la quema está asociada a una vegetación agropecuaria con fuego bajo control (OTCA, 2015; en Minam, 2017).

A lo largo de la historia el ser humano ha utilizado el fuego como mecanismo de gestión de su territorio en la recuperación de espacios para la agricultura y ganadería, pero también generando problemas graves al ecosistema (Badia et al., 2019). En los Andes del Perú los desequilibrios territoriales están vinculados a las degradaciones de los ecosistemas de la puna húmeda por efectos como de los incendios (ONU, 2009); esto sucede tal como indica Bosques Andinos (2021) a causa de la intervención antrópica ya sea de manera intencional o involuntaria.

El incendio es el fuego no deseado de cualquier origen y se propaga sin control causando daños ambientales, económicos y sociales (CENEPRED, 2020). El fuego un elemento que ha contribuido en la modificación del hábitat de los seres vivos, pero solo los humanos pueden, dentro de los límites, iniciar y detener el fuego a voluntad; así como encender, sostenerlo y propagarlo más allá de su naturaleza (Stephen, 2019).

Una vez iniciado el incendio su propagación está determinado principalmente por tres factores: (a) el tipo de combustible disponible cuyas características aumentan o disminuyen la intensidad y la velocidad de propagación; (b) el clima y la meteorología, relacionado a las estaciones más secas y calurosas, así como las velocidades de los vientos; y (c) la topografía como un factor más constante del territorio, su influencia sobre el comportamiento del fuego es el nivel más visible principalmente las pendientes (CENEPRED, 2020).

El ecosistema de puna húmeda está constituido por vegetación herbácea, dominada por gramíneas de porte bajo, pajonales con gramíneas y algunas asociaciones arbustivas dispersas; en altura generalmente no supera 1,5 metros. Este ecosistema abarca una superficie aproximada de 9.26% (11'981,914 ha) del territorio peruano distribuido en los departamentos de La Libertad, Ancash, Lima, Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho (Minam, 2018).

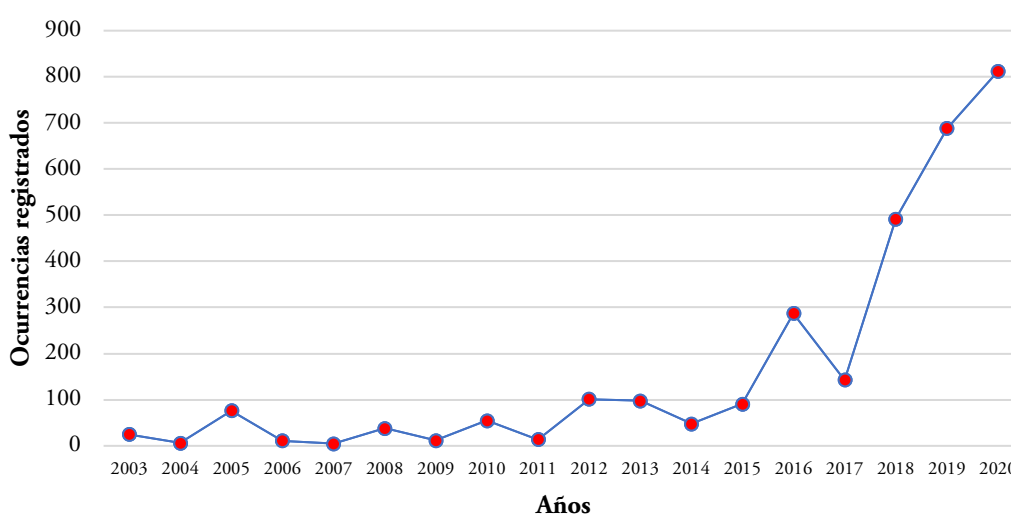
Este ecosistema de puna húmeda del ámbito de estudio seleccionado está considerado por el Gobierno Regional de Ayacucho (GORE, 2013) como área de recuperación por degradación, puesto que ha sido afectado por el sobre pastoreo y los incendios. El primero es la introducción masiva del ganado doméstico que altera superando la capacidad de carga, llegando a producir efectos negativos como la erosión del suelo, compactación del suelo y disminución de la vegetación herbácea (Villalobos, 2013); el segundo, está inmerso a la quema intencional o accidental, generando impactos negativos en el ecosistema como la reducción de la reproducción de las semillas de los pastos naturales, disminución de la capacidad de rebrote, y exterminio de los controladores naturales, como los insectos que combaten las plagas (Torres, 2008).

La investigación analiza los incendios en el ecosistema de la puna húmeda desde el año 2013 al 2021 mediante el análisis de los puntos de calor, áreas incendiadas y entrevistas semiestructuradas a distintos agentes. Los puntos de calor se han obtenido a partir de MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) y VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite); mientras las áreas incendiadas se han obtenido a partir de imágenes satelitales de Landsat 8 y muestran la extensión de la superficie en hectáreas.

Las entrevistas semiestructuradas contribuyen a conocer las causas, consecuencias y mecanismos de mitigación del incendio desde sus vivencias, percepciones y opiniones de los actores locales de las zonas cercanas a las áreas incendiadas.

Las estadísticas de incendios en Perú muestran un incremento en los últimos años (SERFOR, 2018). Los años más críticos fueron 2018, 2019 y 2020 sobrepasando las 800 ocurrencias registrados por INDECI (2020), que en comparación con los años anteriores es hasta 50 veces superior (Figura 1). Para Manta (2017) el 94.5% de los incendios en Sudamérica son de origen antrópico y por causas naturales el 5.5%; pero, en países como Perú y Bolivia, las causas antrópicas pueden representar el 100%, motivados por los cambios en el uso del suelo (especialmente el arrasamiento de bosques para hacer cultivos agrícolas) y la presión antrópica favorecida por la accesibilidad a través de la infraestructura vial y el incremento de las poblaciones humanas.

FIGURA 1.
Incendios forestales en Perú, 2003 a 2020



Fuente: Elaboración propia con información del INDECI (2020).

La mayor ocurrencia de incendios se genera entre los meses de junio a septiembre, caracterizado por la sequía, cuando hay una disminución en el contenido de agua de la vegetación (Manta, 2017; Zubietta et al., 2021). Para evitar programas no efectivos en el manejo de fuego es necesario buscar un consenso entre las partes interesadas (ganaderos y agricultores) para evitar programas no efectivos en el manejo del fuego (Turin y Gilles, 2021). Asimismo, para mitigar los efectos adversos del incendio mediante la gestión participativa se debe enmarcar en acciones en corto, mediano y largo plazo fomentando la reflexión y comprensión de la problemática en la restauración del ecosistema (Amaya y Morales, 2018).

En Perú, CENEPRED (2020) reportó que los departamentos con mayores frecuencias de incendios forestales entre 2003-2020 fueron Cusco, Apurímac, Puno, Ancash, Pasco, seguido por Ayacucho con 136 emergencias de incendios registradas. En el departamento de Ayacucho la puna húmeda representa el 41% de su territorio (GORE, 2013); en el ámbito de estudio de esta investigación, este ecosistema se localiza en las praderas altoandinas, aproximadamente, sobre los 3,700 m.s.n.m. en los distritos de Los Morochucos, María Parado de Bellido y Chuschi con una superficie de 19,000 hectáreas (GORE Ayacucho, 2013). En la cobertura de suelo de la puna húmeda se encuentran asociaciones de especies de pastizales de hasta 80 cm de altura, conocidos comúnmente como "ichu" (*Stipa ichu*) (GORE, 2013).

Para el seguimiento de la magnitud del incendio los satélites como, AQUA, TERRA, Landsat 8, brindan información sobre su ubicación, momento de los incendios, área quemada, secas y brotes de incendios forestales, emisiones de aerosoles y gases traza pirógenos. La información brindada por estos

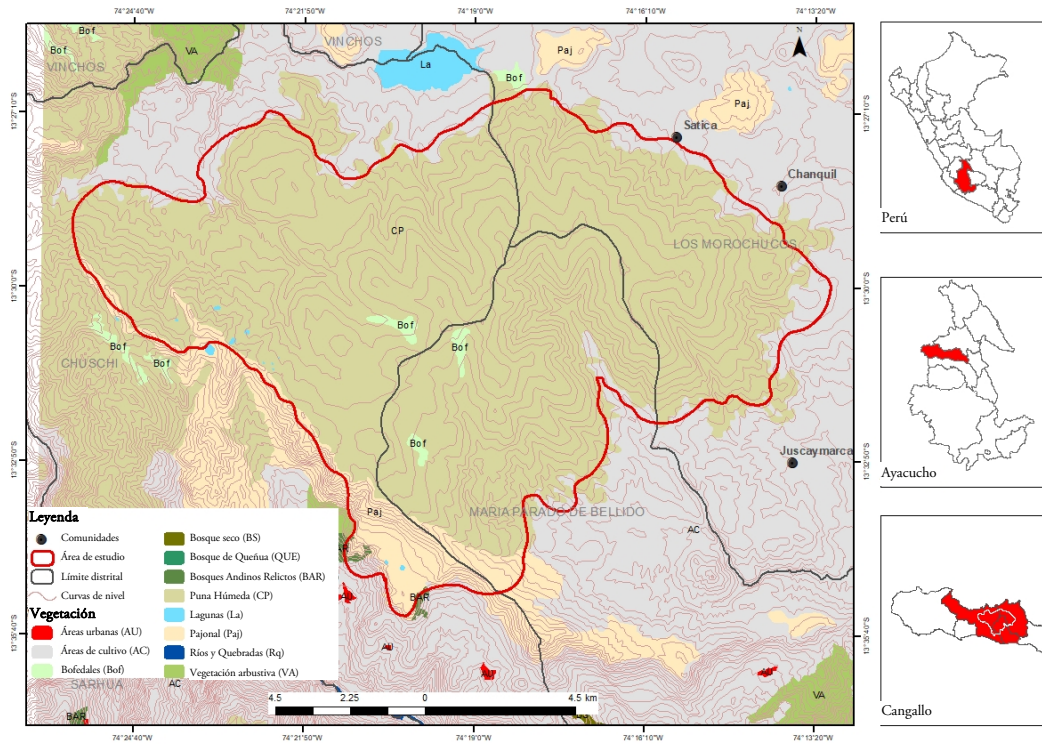
satélites tiene diferentes características en términos de resolución espacial, espectral y temporal (USGS, 2022).

2. MATERIALES Y MÉTODO

ÁREA DE ESTUDIO

El Área de estudio está ubicada en el ecosistema de la puna húmeda comprendida dentro de los límites administrativos de tres distritos; Los Morochucos, María Parado de Bellido y Chuschi en la provincia de Cangallo del departamento de Ayacucho (Perú) (Figura 2). El área delimitada fue 19,050 hectáreas entre los 3,700 m.s.n.m. a 4,400 m.s.n.m. Se caracteriza por la vegetación dominada por pastizales, conocidos comúnmente como el ichu - *Stipa ichu* (GORE, 2013). Para la delimitación del área de estudio se consideró los siguientes criterios: a) es cabecera de las cuencas de los ríos Macro, Vischongo y Chicllarazu, b) está considerada como zonas de recuperación en la zonificación ecológica y económica (ZEE) del departamento de Ayacucho y c) son áreas con mayor ocurrencia anual de incendios.

FIGURA 2.
Ámbito de estudio¹



Fuente: Elaboración propia con datos Instituto Geográfico Nacional del Perú² (Límites administrativos), ZEE Gobierno Regional de Ayacucho³ (curvas de nivel y vegetación)

¹ Visualización en línea del área de estudio. <https://www.google.com.pe/maps/@-13.5048291,-74.3598332,12.75z/data=!4m2!6m1!1s!yHakJYqtcTmcQ-sq-YxrpO3nygxzdHP?hl=es>

² Límite administrativo. <https://www.idep.gob.pe/geovisor/descarga/visor.html>

³ ZEE. <https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/ayacucho/>

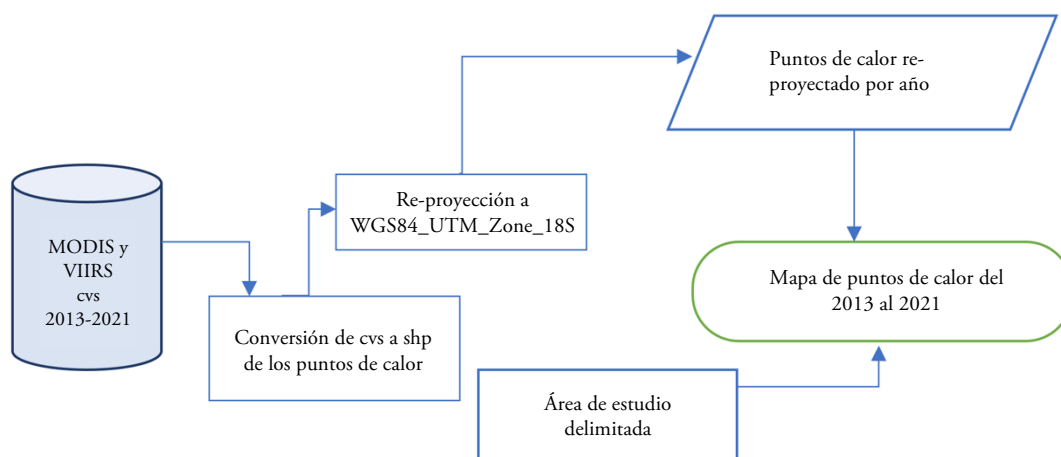
ANÁLISIS CARTOGRÁFICO

La cartografía de puntos de calor se realizó a partir de los sensores MODIS y VIIRS. El primero es un instrumento científico lanzado en órbita terrestre por la NASA en 1999 a bordo del satélite Terra (EOS AM) y en 2002 a bordo del satélite Aqua, su resolución espacial es de 1 km. Este sensor permite registrar los siguientes aspectos: la temperatura de superficie (suelo y océano), los incendios, el color del océano (sedimentos, fitoplancton), la vegetación global, las características de la nubosidad y las concentraciones de aerosoles (Giglio et al., 2018). El segundo fue lanzado a la órbita en 2011 y en 2017 a bordo del satélite Suomi-NPP. Este sistema satelital es el sucesor de las plataformas Aqua y Terra y, al igual que éstos, recorre 14 vueltas diarias a la Tierra, y registra la capa de nieve y hielo, las nubes, la niebla, los aerosoles, el fuego, las columnas de humo, el polvo, la salud de la vegetación, la abundancia de fitoplancton y la clorofila, su resolución espacial es de 750 m y 375 m. Tanto MODIS como VIIRS toman una medición al día y otra por la noche, aproximadamente siempre a la misma hora local. Sin embargo, VIIRS detecta 3 a 4 más incendios que MODIS a nivel mundial (Giglio et al., 2018; Schroeder & Giglio, 2018).

El sensor MODIS contiene información desde el año 2000, VIIRS desde el 2012 y Landsat 8 desde el 2013. Con la finalidad de uniformizar y comparar los puntos de calor proveídos por MODIS y VIIRS, y las áreas incendiadas por Landsat 8, se optó por trabajar desde 2013 a 2021.

Se descargaron las coordenadas de los incendios de los sensores VIIRS y MODIS⁴. Esta información se procesó en ArcGis 10.8 generando mapas de puntos de calor para cada año de 2013 a 2021 con los pasos que se muestra en la figura 3.

FIGURA 3.
Pasos del procesamiento de los puntos de calor de los sensores MODIS y VIIRS del 2013 a 2021



Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de las áreas incendiadas, se utilizaron las bandas 5 y 7 de nueve imágenes de Landsat 8, dos⁵ por cada año (2013 al 2021) con resolución espacial⁶ de 30 m, obtenidas del portal de Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)⁷. Los criterios de selección de imágenes fueron: a) mes con mayor número de puntos de calor reportados por MODIS y VIIRS, b) no presentar errores ni distorsiones; c)

⁴ Reporte de datos MODIS y VIIRS. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/country/>

⁵ Se compararon dos imágenes sólo para visualizar el área incendiada (un mes antes al incendio y posterior al incendio), sin embargo, se procesó sólo una imagen que es posterior al incendio. Esto debido a que con el índice normalizado del incendio (NBR) del ArcMap se puede realizar el procesamiento con una imagen o más imágenes por año. Además, estas áreas incendiadas se validaron con los puntos de calor de MODIS y VIIRS posteriormente fue complementado con las entrevistas a los pobladores locales.

⁶ Resolución espacial: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>

⁷ Portal de Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

tener un máximo de 15% de nubes y sombras en el área de estudio y d) las imágenes para cada año correspondan a los meses de ausencia de precipitación y mayores temperaturas de calor (julio a noviembre) para que las condiciones de vegetación y climáticas fueran homogéneas y permitieran obtener mejores resultados (Chuvieco, 1998 en Rojas, et al. 2018). El procesamiento en el ArcGis 10.8 se hizo con el índice normalizado del incendio (NBR) para identificar la magnitud y áreas afectadas anuales de los incendios. Se calculó como una relación entre los valores NIR y SWIR. La fórmula considerada fue de la USGS⁸ (Ponomarev et al., 2021) con una resolución de 30 m (Alcaras et al., 2022).

$$NBR = \frac{\text{Banda 5 (NIR)} - \text{Banda 7 (SWIR)}}{\text{Banda 5 (NIR)} + \text{Banda 7 (SWIR)}}$$

- NIR: near infrared/Infrarrojo cercano
- SWIR: shortwave infrared/Infrarrojo de onda corta

Desde el NBR se estableció un mapa de frecuencia de incendios categorizando en alta (7 a 9 años), moderada (4 a 6 años) y baja (1 a 3 años), es decir, las veces que han sido incendiadas con mayor frecuencia en diferentes años, con un promedio de ha quemadas de forma recurrente.

El seguimiento de áreas incendiadas se puede realizar utilizando imágenes satelitales multispectrales, estableciendo índices (Alcaras et al., 2022). Sin embargo, estos pueden tener limitaciones determinadas por la presencia de nubes o masas de agua que produzcan ruido. Para evitar estas imprecisiones y optimizar los resultados utiliza *Normalized Burn Ratio Plus* (NBR+) con las bandas Sentinel-2, los resultados muestran alta eficacia sobre todo porque excluye gran parte de las áreas clasificadas incorrectamente como nubes o masas de agua.

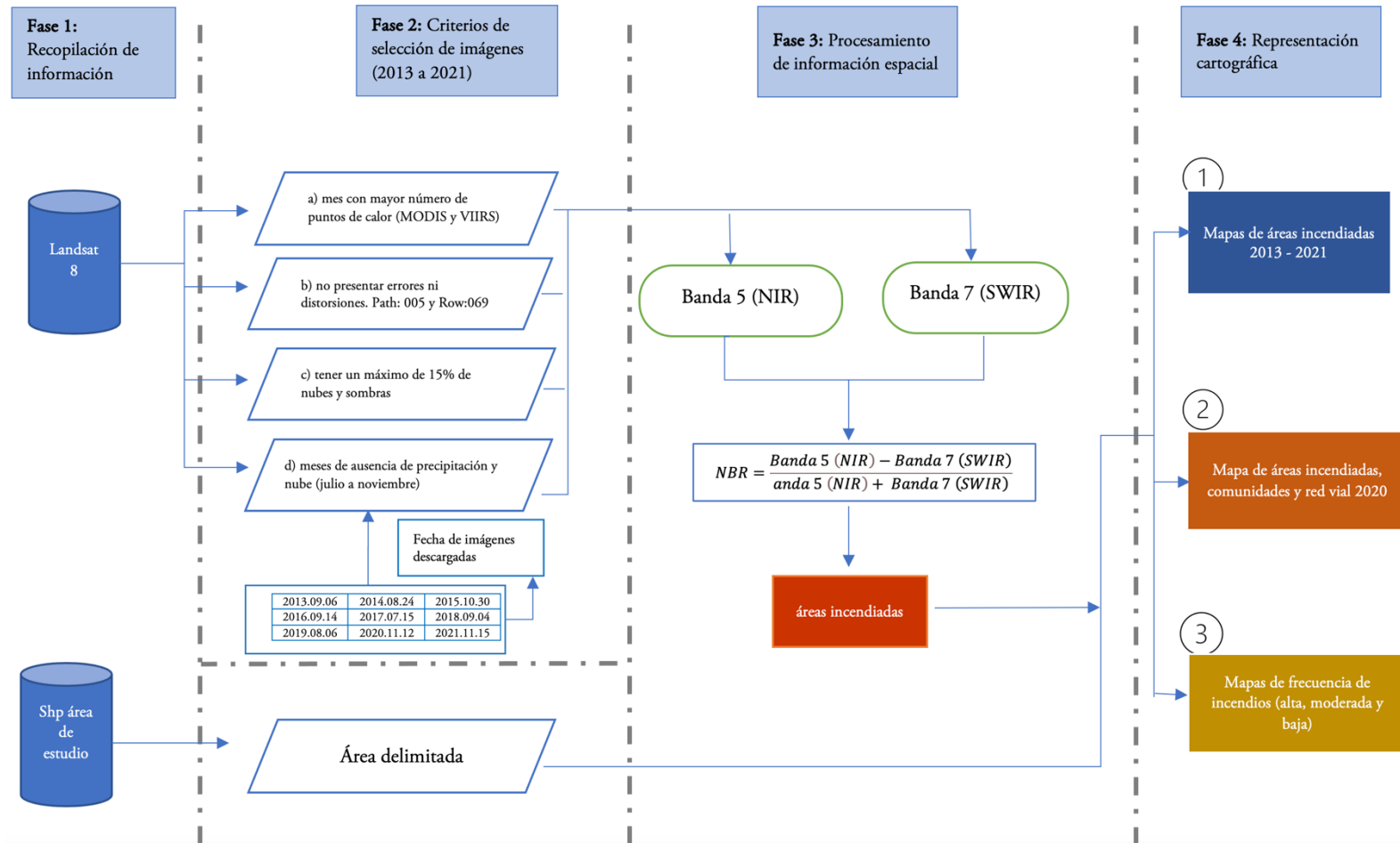
El NBR para Nolé et al. (2022) proporciona información útil sobre la gravedad de los incendios y los procesos de recuperación posterior, basada en métricas espectrales derivadas de MODIS, como la tasa de quema relativizada (RBR), el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el indicador de recuperación relativa (RRI). A partir de este análisis, el mismo autor afirma que los incendios tienen efectos a posteriori, desde la simple reducción de las funciones del ecosistema, hasta la transición a otros estados. Para lograr estos resultados es necesario considerar las observaciones de píxeles, es decir ¿Cuánta superficie de un píxel debe quemarse para ser detectado por los satélites? Según Riet y Veraverbeke (2022) para Landsat 8, Sentinel-2 y el espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS), la detectabilidad se alcanza cuando se quema alrededor de una cuarta parte del área de un píxel; sin embargo, las áreas con poca cobertura de vegetación podrían ser indetectables, generando margen de error en la estimación real del área incendiada.

Los puntos de calor no necesariamente detectan incendios forestales, ya que puede existir márgenes de error con otros focos de calor, tal como indica Giglio et al. (2018); Schroedor y Giglio (2018) señalan que la tasa falsa de MODIS es similar que VIIRS aproximadamente 1.2% Riet y Veraverbeke (2022) señalan que MODIS detecta alrededor de una cuarta parte del área de un píxel quemado; sin embargo, las áreas con poca cobertura de vegetación podría ser indetectable, generando margen de error en la estimación real del área incendiada.

La secuencia metodológica cartográfica muestra cuatro fases (i) recopilación de información, (ii) criterios de selección de imágenes (2013 a 2021), (iii) procesamiento de información espacial y (iv) representación cartográfica (Figura 4).

⁸ Fórmula NBR: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-burn-ratio>

FIGURA 4.
Pasos de procesamiento de áreas incendiadas en la puna húmeda del 2013 al 2021



Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA CUALITATIVA

Desde el enfoque cualitativo se analizó la experiencia subjetiva de las personas, tal como indican Creswell y Poth (2007) y Stake (1995) que la finalidad de este tipo de investigaciones es conocer cómo definen e interpretan su entorno cotidiano. A partir de entrevistas semiestructuradas a los actores locales (ganaderos, agricultores y autoridades)⁹ se recogieron las percepciones sobre las causas, consecuencias y alternativas de mitigación de los incendios en la puna húmeda. El diseño de la investigación fue un estudio de caso dirigido a personas de las comunidades rurales con cierta homogeneidad de conocimiento sobre los incendios. Se seleccionó tres comunidades (Satica, Chanquil y Jusaymarca) puesto que son las más cercanas a la puna húmeda, además tienen mayor presencia con sus ganados.

Los participantes fueron seleccionados intencionalmente para obtener más información de la situación o realidad desde las percepciones y opiniones de actores locales (Herrera et al., 2015). Se seleccionaron tres grupos, el primero los ganaderos que frecuentan a la puna húmeda, el segundo los agricultores con áreas de cultivo cercanos a los pajonales y el tercero, las autoridades; quienes participaron voluntariamente. En total fueron 10 entrevistados, cuatro mujeres y 6 varones con edades de 40 a 80 años (Tabla 1).

TABLA 1.
Participantes en la entrevista según lugar y género¹⁰

Ocupación	Satica	Chanquil	Jusaymarca	Total
Ganaderos	2	1	1	4
Agricultores	1		1	2
Autoridades	2	1	1	4

La entrevista a los actores locales se desarrolló en quechua, su lengua nativa, y también en español en algunos casos, estas entrevistas fueron grabadas previa autorización y consentimiento, posteriormente fue transcrito para su análisis correspondiente. El trabajo de campo de la entrevista se desarrolló en dos momentos; la primera etapa del 25 de diciembre de 2021 al 10 de enero de 2022 y la segunda etapa del 10 al 20 de abril de 2022. El tiempo de cada entrevista fue de 15 a 20 minutos.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los datos reportados por los sensores VIIRS y MODIS en los últimos 9 años (2013 al 2021) han identificado el mayor número de puntos de calor en el año 2020, este incremento coincide con los incendios en el ámbito nacional (Figura 1) muestra un incremento muy fuerte de ocurrencias en los años 2018, 2019 y 2020 (INDECI 2020).

Los meses de septiembre y octubre están marcados por mayor ocurrencia de incendios, justamente los datos meteorológicos no varían mucho con el mes de agosto, siendo los tres meses con menor precipitación, mayores temperaturas de día, bajas temperaturas de noche y vientos más intensos; además coincide con la preparación de tierras para la agricultura donde los pobladores inician a quemar los rastrojos. En la tabla 2 se muestra una acumulación de puntos de calor en los meses de agosto y septiembre reportados de MODIS y VIIRS, pero no la extensión o tamaño de áreas incendiadas, estas cifras de la tabla contribuyen identificar los picos más altos de incendios según los meses del año.

⁹ El cargo de autoridad hace referencia a alcaldes o presidentes de las comunidades. Un centro poblado tiene un solo alcalde, pero puede existir varios presidentes que representa a cada pueblo del centro poblado.

¹⁰ Los nombres de las personas entrevistadas han sido cambiadas para mantener la confidencialidad.

TABLA 2.
Puntos de calor según meses durante los años 2013 - 2021

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
Enero										
Febrero									2	2
Marzo										
Abril										
Mayo								1		1
Junio			2			1	2		1	6
Julio			1				2	2	1	6
Agosto	1	1	4	1	2		7	33		49
Septiembre			5	4		1		4	2	16
Octubre			5	2	1		1	20	1	30
Noviembre				4				4	2	10
Diciembre						1				1

Fuente: Elaboración propia con datos de MODIS y VIIRS.

Las imágenes satelitales analizadas de los últimos 9 años (2013-2021) reportan que el año 2020 tuvo mayor área afectada (2836 ha) por los incendios, en tanto los otros años no superaron las 100 ha, particularmente el año 2021 fue la más baja con 5 hectáreas incendiadas.

En el año 2021 los incendios afectaron 5 ha, siendo la más baja en los 9 años analizados, aunque para validar las causas de la disminución de incendio queda pendiente realizar investigaciones que argumenten esta particularidad; sin embargo, haciendo una comparación entre los registros de los años anteriores de los incendios, esta área incendiada en el 2021 es el mismo que se incendió en los años 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 y 2019, excepto el año 2015.

En el año 2020 fueron afectadas 2,836 ha por los incendios lo que representa el 14.89% del área en estudio; esta cifra es la más alta de los 9 años analizados. Para Busch et al. (2015) las áreas afectadas por los incendios sucesivos tienen un calentamiento continuo que causa una migración de especies de pastizales dejando a las más tolerantes al fuego, es decir, la composición de especies en áreas de incendio sucesivo está cambiando y se espera que continuará cambiando.

Tanto MODIS y VIIRS reportan puntos de calor o incendios activos que detectan cada 24 horas la longitud y latitud, sin embargo, Landsat 8 a través de formato ráster muestra el área incendiada y no los puntos de calor, es decir a partir de Landsat 8 se puede saber la extensión del área incendiada. También para VIIRS la detectabilidad de un punto de calor es posible cuando se quema alrededor de una cuarta parte del área de un píxel; por ejemplo, cada píxel de una imagen del MODIS cubre 1000 m y VIIRS entre 375 m y 750 m por lo que sólo son visibles los detalles de mayor tamaño; es decir MODIS detecta un área de 20 ha a 25 ha incendiadas, en tanto VIIRS entre 3.5 ha a 13.5 ha (Riet & Veraverbeke, 2022). Para validar las áreas incendiadas, se superpusieron dos capas, por un lado, los puntos de calor en formato vectorial provenientes de MODIS y VIIRS y, por el otro, las imágenes de Landsat 8. Así incluyendo en el mapa solo puntos de calor provenientes de incendios.

En la figura 5 se muestran las áreas incendiadas delimitadas en Landsat 8 y los puntos de calor detectados por MODIS y VIIRS para el periodo 2013-2021. Los puntos de calor no necesariamente coinciden con las áreas incendiadas y, además, no todos los puntos de calor fueron detectados. Una explicación de ello puede ser que los sensores MODIS y VIIRS toman una medición al día y otra por la noche, es decir dos mediciones cada 24 horas (Giglio et al., 2018; Schroeder y Giglio, 2018), por lo que los puntos de calor generados fuera de este tiempo no son registrados.

En el análisis de la superposición de capas, no necesariamente coinciden los puntos de calor con las áreas incendiadas; en los años 2013 y 2014 sólo una de las áreas incendiadas fue detectada como punto de

calor, sin embargo, los sensores de MODIS y VIIRS no lograron detectar otras áreas incendiadas, esto podría ser tal como indica Riet y Veraverbeke (2022) porque las áreas afectadas tenían poca cobertura de vegetación y la intensidad del calor no fue suficientemente fuerte como para ser detectada.

Para las áreas de frecuencia permanente anual de incendios, se calculó a partir de la suma de las nueve imágenes satelitales que dan como resultado las áreas donde se repiten cada año los incendios que pueden ser consecutivos o en diferentes años (Figura 6).

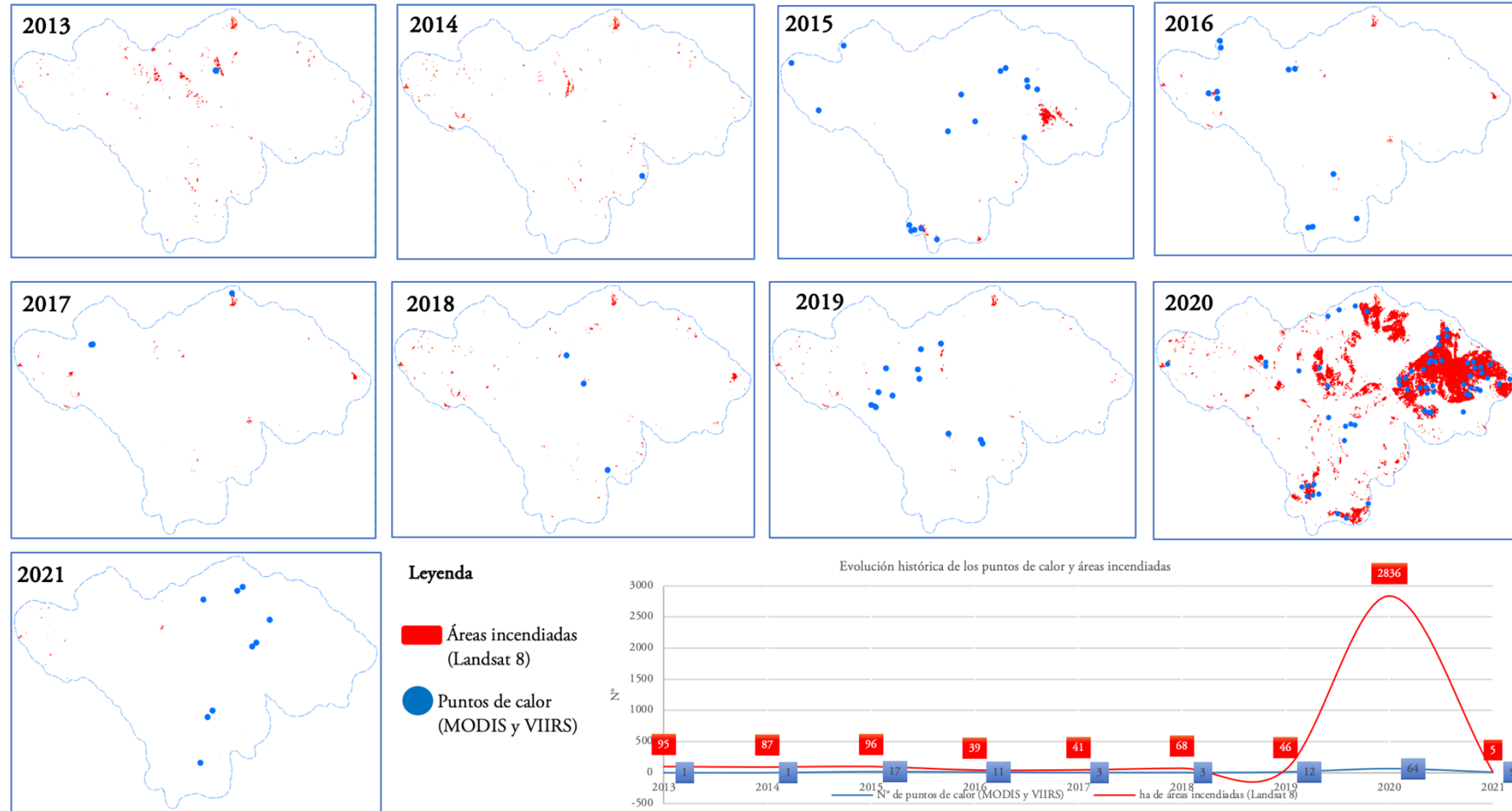
Para la primera categoría de frecuencia “alta”, las áreas que han sido incendiadas anualmente en el mismo lugar entre 7 a 9 veces repetitivos se caracterizan por estar cerca a los ecotonos donde inicia la puna húmeda y allí se encuentran los límites de la agricultura (Fotografía 1), es decir chacras de cultivo:

Un año en el lugar denominado Tarwiscco, que está muy cerca a la puna hemos quemado rastrojo como siempre cada año, haciendo en los bordes zanja con tractor y cuando de pronto el viento sopló, el fuego de la chacra pasó la zanja y saltó al ichu y no podíamos como apagar, hasta se nos quemó la barba, al apagar el incendio, nos cansamos apagando, desde allí tengo miedo quemar, me asusté, casi se nos escapó y se va a la puna, esto fue en agosto... (Ernesto, agricultor).

Para el segundo caso “Moderado” las áreas incendiadas se repiten de 4 a 6 años en el mismo lugar, se encuentran no tan cerca al ecotono entre la puna húmeda y las chacras de cultivo, sino más bien en el centro del ámbito de estudio. En el tercero “Bajo” las áreas incendiadas se repiten de 1 a 3 años en el mismo lugar, estas son de mayor extensión de áreas incendiadas.

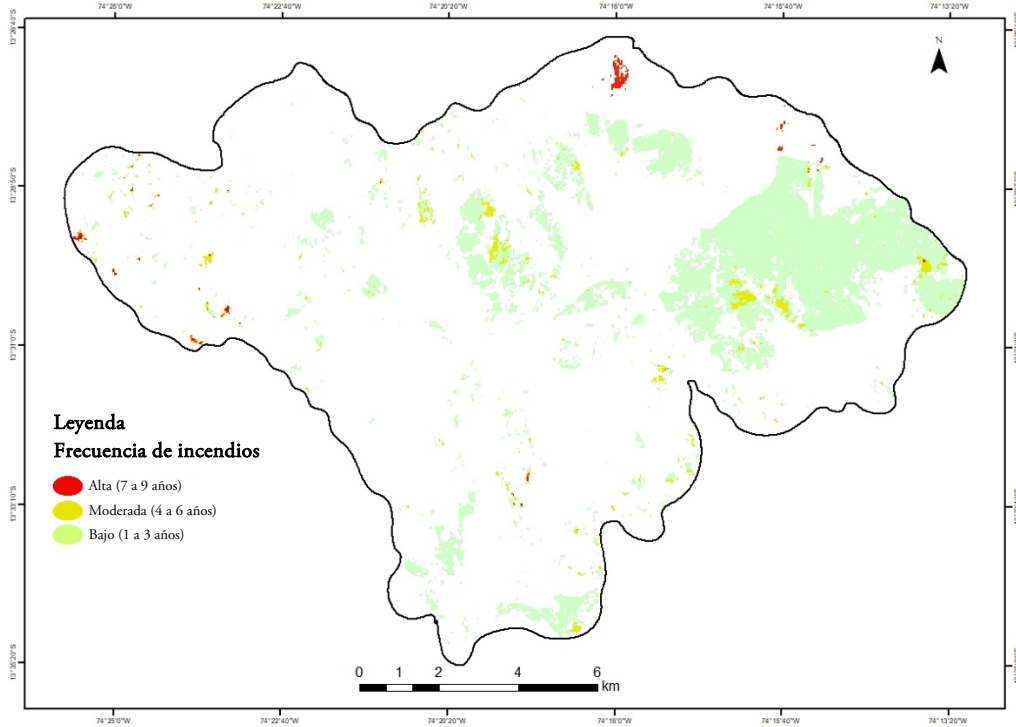
Las comunidades más cercanas a las áreas afectadas por los incendios son: Satica, Pajaresca, Ingalla, Yuraq Cruz, Condoray, Jarhuajara, entre otros; asimismo las redes viales cruzan una parte de la puna húmeda, pero también están próximos a las áreas incendiadas (Figura 7).

FIGURA 5.
Puntos de calor y áreas incendiadas en el ámbito de estudio desde el 2013 al 2021



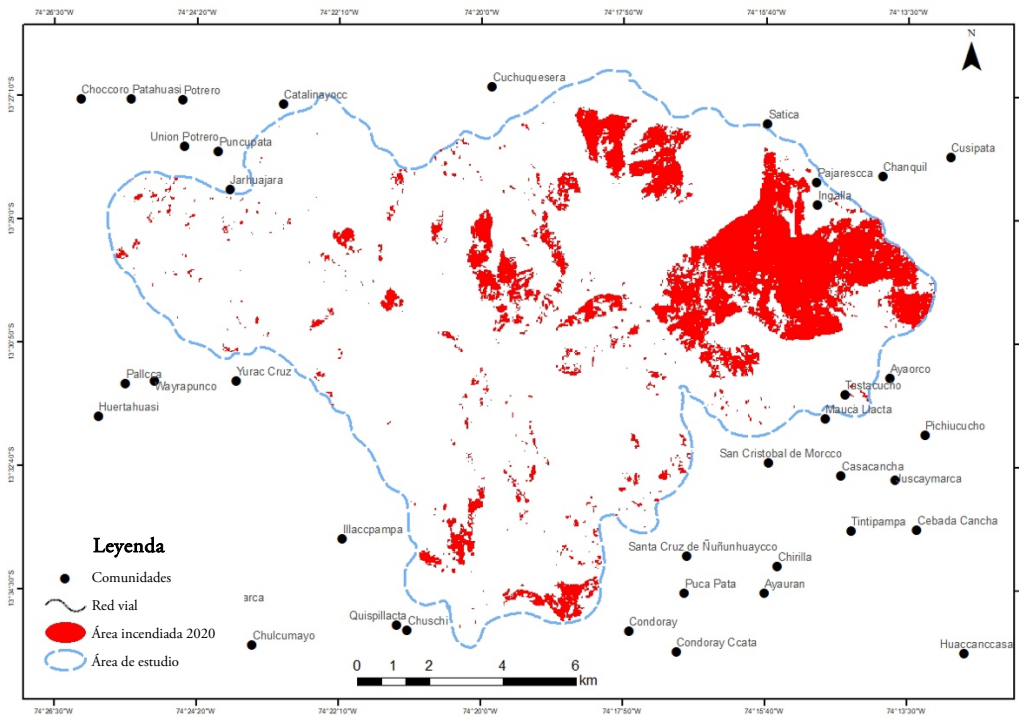
Fuente: Elaboración propia con datos de sensores Landsat 8, MODIS y VIIRSS.

FIGURA 6.
Mapa de frecuencia de incendios en el ámbito de estudio



Fuente: Elaboración propia con datos de Landsat 8.

FIGURA 7.
Comunidades y red vial cercanas a las áreas incendiadas en el 2020



Fuente: Elaboración propia con datos de Landsat 8, MTC (2018), INEI (2020).

Las áreas de cultivo cada año han ido acercándose a la puna húmeda, tal como se muestra en la fotografía 1, son parcelas de cultivo de avena resistentes al frío que se cultiva como forraje para el ganado vacuno incrementándose en los últimos años; asimismo para abrir nuevas áreas de cultivo, son quemadas el ichu que en varias oportunidades termina en un incendio.

FOTOGRAFÍA 1.
Ecotono entre áreas de cultivo y la puna húmeda



Fuente: Fotografía de 2013 facilitada por el entrevistado¹¹ (13°30'50.57"S; 74°14'23.76"O)

Estos incendios, que se repiten cada año en el mismo lugar, están asociados a la apertura de nuevos terrenos de cultivo o quema de rastrojo del mismo terreno; también a la quema del ichu con la finalidad que rebrote para el pastoreo del ganado vacuno y ovino, asimismo también a modo de juego lo encienden los niños, jóvenes y adultos. Posteriormente a los incendios la recuperación de los pastizales para Morante et al. (2002) es un reto, puesto que estas áreas con un nivel de severidad alto llegan a recuperar los pastizales por debajo del 80% de su tamaño.

Si bien las causas de los incendios pueden ser antrópicas o naturales, en el ámbito del área de estudio los entrevistados manifestaron que la causa es netamente antrópica, es decir en ningún caso se ha dado de manera natural como producto del relámpago, por incremento de calor u por otras causas. Los ganaderos y agricultores indicaron que las principales causas de los incendios están inmersas a la quema de rastrojo en las chacras cerca de la puna húmeda:

A veces algunos queman a propósito y no pueden apagar, queman mutuyucitos (Senna multiglandulosa) para hacer michka (siembra en terrenos pequeños en temporada de sequía) para que los ganados se alimenten (Ernesto, ganadero).

Para Huffman (2013) el conocimiento tradicional sobre el fuego implica comprender las formas y elementos que interactúan e influyen entre sí. El conocimiento y la práctica tradicional del fuego enfrenta serias amenazas precisamente en el momento en que el cambio climático promete interrupciones en la actividad del fuego que serán problemáticas para las poblaciones locales; la solución será involucrar a los profesionales tradicionales en la prevención de los incendios. Para Lake et al., (2017) las tribus de América del Norte han usado el fuego para promover recursos valiosos, siendo necesario el manejo del fuego en colaboración con asociaciones que comparten conocimientos sobre incendios tradicionales a través de consultas culturalmente sensibles, coordinación y comunicación para generar confianza. Asimismo, Bilbao et al., (2019) señala que las prácticas de incendios por parte las poblaciones locales en la gestión sostenible de la tierra y en la formulación de políticas es limitada. Es necesario comprender el papel del fuego en los

¹¹ Todas las fotografías fueron facilitadas por Wladimir, que corresponde al incendio del año 2013. Él fue uno de los entrevistados, se dedica a agricultura, apicultura y ganadería; además, labora como personal administrativo en el colegio Los Morochucos.

medios de vida de la población local y su importancia para proteger la diversidad biológica y cultural de los ecosistemas, y no necesariamente excluir el fuego como parte de actividad para la subsistencia.

Los incendios se intensifican en los meses de julio, agosto y septiembre, justamente porque es la temporada de inicio de la preparación de tierras agrícolas para el sembrío, por tanto, las personas que utilizan el fuego en la práctica agrícola queman los rastrojos para luego arar con maquinarias. En este proceso algunos no pueden controlar la quema y es cuando provocan los incendios.:

Los incendios se intensifican en los meses de agosto, pero también prenden fuego en los meses de enero a abril, pero se apaga casi inmediato porque el ichu y los pastos están húmedos y la candela no avanza, pero más queman del lado del pueblo de Paccarisqa, porque están abriendo más chacra y sucede todos los años (Rosa, ganadera).

El ámbito de estudio está organizado en centros poblados, comunidades campesinas y anexos, y la población es netamente rural. Una de las características es el envejecimiento de su población debido a factores como la migración por cuestiones laborales o educativas y por la planificación familiar donde las parejas cada vez tienen menor número de hijos (INEI, 2020). Los entrevistados afirman que los usos de suelo en la puna húmeda para la agricultura o pastoreo son resultado de las quemaduras y muchas de ellas terminaron en incendio. Esto se validó con las imágenes satelitales, mostrando la ocurrencia anual de incendios, siendo el de mayor magnitud el año 2020. El entrevistado señala que la quema fue una práctica tradicional (desde hace 100 años) para generar un tipo de uso de suelo básicamente para la agricultura y ganadería:

Yo tengo 80 años, recuerdo a mi padre cuando era niño decía han quemado la puna y contaba que eso lo hacían también cuando él era niño, entonces la quema siempre ha practicado, pero era poco frecuente, ahora es mucho más (Angel, ganadero y agricultor)

Tal como señala Vázquez et al., (2022) si bien el manejo de fuego tiene sus raíces en el conocimiento tradicional, actualmente este manejo en la población rural carece de gestión y planificación lo que genera más impactos negativos que positivos. Asimismo, para Smith et al., (2021) los incendios forestales han causado pérdidas de vidas humanas, destrucción de propiedades y transformación ecológica. Sin embargo, el manejo tradicional del fuego puede mejorar las estrategias existentes de mitigación de incendios forestales, siendo necesario la incorporación de conocimientos tradicionales, asimismo el mantenimiento de colaboraciones interculturales.

Las últimas décadas los incendios forestales para Farkhondehmaal y Ghaffarzaghan (2022) han generado un costo considerable a los recursos naturales y vidas humanas, es así para contener a largo plazo hay una combinación de múltiples acciones que apuntan simultáneamente tanto al lado humano como al natural. En el lado humano para Richardson et al. (2022) es probable que el principal impulsor de los incendios es el humano, por tanto, la mayor parte de las acciones se debe dirigir hacia las personas o la población que residen.

Otra de las causas frecuentes de los incendios está vinculada a la alimentación del ganado vacuno y ovino. Se prende fuego en diferentes partes de la puna con la finalidad de quemar el pasto seco para que rebrote en dos a tres meses, así obtener pasto suave y verde para el pastoreo:

Lo queman en la puna por el tema del ganado, cuando prenden fuego al ichu o el pastizal, sale o retoña nuevamente y de eso se alimenta los pachus (cordero recién nacido), así se sostienen las familias. Los incendios benefician a unos pocos, más al contrario nos perjudican a la mayoría contaminando el aire que respiramos, matando a las perdices y los zorros bajan a atacar nuestras ovejas al no encontrar alimento; por ello para mí no es necesario quemar (Carlos, autoridad).

Un estudio de *World Wildlife Fund* (2019) indica que, para la mayoría de las personas, los incendios forestales son sinónimo de desastre. Pero los incendios forestales, planeados y controlados tienen beneficios para el ambiente. Es decir, las quemaduras controladas o gestionadas pueden ayudar a mitigar un incendio

forestal fuera de control, al reducir la carga de combustible. Además, los incendios permiten abrir paso a los árboles jóvenes, sanos y favorecen el rebrote de la vegetación como soporte a la vida silvestre. Los incendios provocados conllevan destrucción de árboles, matan y desplazan a la vida silvestre, alteran los ciclos del agua y la fertilidad del suelo y ponen en peligro la vida y el sustento de las comunidades locales.

Los incendios también son producidos a causa de ciertas creencias o costumbres de la población, alguna de ellas está relacionada con el hecho de encontrar una serpiente y deben matarla, porque si no en la otra vida la persona que fallece no tendrá salvación. Otra de las creencias es cuando se inicia una tormenta con relámpagos para la granizada, se debe hacer humo quemando a partir de hojas húmedas para evitar la caída del granizo:

Cuando encuentran una serpiente en los caminos que pasan cerca a la puna, estas entran por escapar debajo de los ichus y la gente lo quema y así también se generan los incendios (Epifania, ganadera).

Los incendios forestales continúan causando daños a la propiedad, a los medios de subsistencia y al medio ambiente (Mistry et al., 2019). Sin embargo, lidiar con los incendios forestales tiene que ir más allá de la extinción de incendios. Los gobiernos de países con ecosistemas propensos a incendios han comenzado a reconocer las múltiples perspectivas de la quema y la necesidad de involucrarse con las comunidades locales y sus prácticas. En países como Venezuela y Brasil, a través de la quema prescrita y la apertura de un diálogo sobre el manejo del fuego entre las agencias gubernamentales y las comunidades locales, han conseguido reducir la extensión de los incendios forestales. Los incendios pueden causar impactos adversos significativos para la sociedad y el ambiente; siendo el tiempo y el clima los principales factores que juegan un papel importante en la modulación de los incendios (Richardson et al., 2022).

Particularmente el incendio en el año 2020 según reportes satelitales afectó a grandes extensiones de pastizales en la puna húmeda del ámbito de estudio, esta particularidad solo fue en el año 2020 y justamente coincide con la crisis sanitaria de la pandemia generado por la COVID 19. También a partir de los testimonios el año 2020 tuvo las mayores áreas incendiadas, esto debido a la apertura de nuevas chacras o áreas de cultivo que realizaron las familias que regresaron de las grandes ciudades hacia los pueblos o rurales:

Por el virus regresó mi primo y vive por Chanquil, ellos empezaron abrir nuevas chacras cerca a la puna y se hicieron vencer con el fuego...han tenido problemas con las comunidades afectadas por esa situación (Gertrudes, ganadera).

Un estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (2022) señala que el retorno masivo de las personas de la ciudad al campo o zonas rurales pudo haber generado presión sobre los recursos naturales. Para afirmar dicha hipótesis se realizó un análisis evaluando la posible relación entre las migraciones debido a la COVID-19 y el aumento de la deforestación ocurrida en el año 2020 en la Amazonía peruana. En este alcanzó más de 200 mil hectáreas, siendo la tasa más alta de los últimos 10 años; sin embargo, no fue posible establecer una correlación directa, pero existe la posibilidad que haya una relación entre el aumento de la deforestación y la migración hacia esas zonas, pero no necesariamente de retornantes por la pandemia, sino también de los propios pobladores locales.

Las consecuencias de los incendios en la puna húmeda, ocasionados por acciones humanas son diversas, desde la pérdida de vida de la fauna silvestre hasta la extinción de la flora.

Hace como dos años se incendió toda la puna de los lugares de Qatunpallca y Uchuypallqa y no descubrieron el autor, así nada más se quedó, cuando todo está quemado las vicuñas no tienen nada que comer, pero también se quema las lagartijas, serpientes, zorro, zorrino, perdiz, Liccles, entre otros animalitos (Angel, agricultor y exautoridad).

La severidad del fuego afecta fuertemente a las aves, para la mayoría de las especies fue negativo la cantidad de bosque severamente quemado en el paisaje, sin embargo, son muy pocas las especies que se recuperan en poco tiempo después de los incendios (Lindenmayer et al., 2014). Pero los efectos del incendio no solo tienen impactos positivos o negativos en las aves, sino también en los polinizadores, que tienden a incrementar su presencia después de un incendio forestal (Carbone et al., 2019). Pero esto sucede

en intervalos de tiempo largo, en tanto en intervalos cortos de fuego pueden amenazar a los polinizadores y especialmente a los lepidópteros.

La fotografía 2 refleja el preciso momento del incendio en la puna húmeda de Los Morochucos en el año 2005, la población de los pueblos aledaños llegó a la zona a intentar apagar haciendo denodados esfuerzos logrando controlar después de 5 horas de trabajo.

FOTOGRAFÍA 2.
Pobladores en el intento de apagar el incendio en la puna



Fuente: facilitado por Wladimir. (13°30'25.23"S; 74°14'50.81"O)

Los incendios sucesivos que se producen anualmente no solo afectan o terminan con la vida de la fauna, sino también cada año el crecimiento de los ichus no logra alcanzar su tamaño promedio, siendo cada vez más pequeño, así mismo algunos de ellos desaparecen porque el fuego llega hasta la raíz y los suelos van quedando desprotegidos:

Cuando era pequeña había mucho ichu, por las quemadas que ocurre cada año ha disminuída de cantidad y tamaño, porque el fuego llega hasta la raíz algunos ya no vuelven a rebrotar [...] yo tenía miedo de quemar, mi mamá me asustaba y ni siquiera agarraba fósforo (Rosa, ganadera).

Las praderas abandonadas para Bonanomi et al. (2022) promueven la propagación de pastos altos, lo que reduce la diversidad de plantas y aumenta el riesgo de incendios forestales, de esta forma la quema deviene efectiva al contrarrestar tales efectos negativos. El efecto de fuego sobre la composición y estructura de las comunidades arbustivas en pastizales semiáridos puede transformar de estado de matorrales a pradera, asimismo, la vegetación, el funcionamiento del ecosistema y la economía de la región (Hebbelmann et al., 2022). En determinados territorios los pastizales sin pastoreo son un riesgo alto, por ello Vaverková (2022) afirma que la vegetación representa una fuente de energía renovable y sostenible. Sin embargo, es necesario emplear métodos adecuados de manejo de pastizales como pastoreo con animales para minimizar el riesgo de incendios.

Existen canciones que practican las poblaciones en su lengua nativa el quechua, referidos a los incendios manifestando su disconformidad y frustración.

Quechua	Español
Urqupi ichu kañasqa Qasapi ichu kañasqa	Ichu incendiado en la puna Ichu incendiado en la loma
Hinallaraqchu rupachkan Hinallaraqchu mismichkan	¿Todavía estará incendiándose? ¿Todavía estará humeándose?
Hinaya rupallachkachun Hinaya mismillachkachun	Que siga incendiándose Que siga humeándose
Warma wiqiywancha parqusaq Warma wiqiywancha tasnusaq	Yo mismo con mis lágrimas irrigaré Yo mismo con mis lágrimas apagaré

Fuente: Anónimo, traducción propia, validada por los entrevistados que cantaron¹², para escuchar el audio ingresar al enlace https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1DoyocMhvsnsQbwBqRjT_vdsl9Kf0UBMv

Las soluciones para mitigar los incendios en la puna son diversas desde la opinión de los agricultores y ganaderos, algunos plantean levantar muros de roca o corrales de piedra juntamente con las zanjas, estos evitarían la propagación del fuego hacia otras partes:

Es necesario hacer muros de piedra y al costado una zanja de piedra en linderos estratégicos para evitar que los incendios avancen y lleguen a las plantaciones (Angel, agricultor y exautoridad).

Según la Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 en el artículo 150 (2015) las denuncias de infracciones y delitos en materia forestal y de fauna silvestre se canalizan a través del Ministerio Público, el Osinfor, el OEFA o la autoridad regional forestal y de fauna silvestre, según corresponda. Además, provocar incendios forestales y realizar quemas de los recursos forestales son consideradas faltas muy graves y el Código Penal sanciona con pena privativa de la libertad de 4 a 6 años, mientras que la multa administrativa oscila entre 10 y 5,000 Unidades Impositivas Tributarias (UIT). Sin embargo, estas leyes no se cumplen para los responsables que generan incendios. Aunque los incendios generados intencionalmente son tipificados como delito, el uso del fuego para la agricultura tradicional, la ganadería y la silvicultura es muy importante para los agricultores de los países en desarrollo (Martínez et al., 2016).

4. CONCLUSIONES

El análisis de los puntos de calor, las áreas incendiadas y las entrevistas semiestructuradas a distintos agentes, han permitido conocer la distribución espacial de los incendios y entender la causalidad y ofrecer posibles soluciones.

La superficie de las áreas afectadas por los incendios en el ámbito de estudio a partir del análisis de las imágenes satelitales de Landsat 8 desde el año 2013 al 2021 son muy diferenciadas, siendo el año 2020 con el mayor número de hectáreas incendiadas llegando a 2,836 ha que representa el 14,89% de la puna húmeda del área de estudio. Este incremento coincide con la pandemia del COVID 19 donde hubo migración masiva o de retorno de la ciudad al campo, estas personas según las entrevistas provocaron incendios por intentar abrir nuevas áreas de cultivo.

Las causas de los incendios son netamente de origen antrópico ocasionados por la (i) apertura de nuevos chacras o quema de rastrojo cerca a la puna húmeda; (ii) quema del ichu para conseguir rebrote de pastos suaves y verdes para la alimentación de los ganados y (iii) por razones culturales.

La combinación de análisis cartográfico y metodología cualitativa permitió identificar las áreas afectadas anualmente por los incendios forestales; pero también los agentes causantes de los incendios en la puna húmeda de los Andes de Ayacucho posibilitando toma de decisiones para su mitigación. Los incendios en la puna húmeda en los Andes de Ayacucho son un problema para las comunidades, puesto

¹² La versión del audio grabado se puede escuchar en quechua cantado por Juana Cisneros Castro y Angel C. Aronés Roca

que se pierde cada año hectáreas de pastizales como el ichu; asimismo moviliza a la población para apagar de manera rudimentaria poniendo en riesgo la vida de las personas. Esta situación evidencia que es necesario un plan de manejo del fuego para las áreas afectadas.

Las posibles soluciones para mitigar los incendios que se plantean son: (i) levantar muros de roca o corrales de piedra juntamente con las zanjas, estos evitarían la propagación del fuego hacia otras partes; (ii) hacer cumplir la Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 el artículo 150 que indica provocar incendios y realizar quemas de los recursos forestales son consideradas faltas muy graves cuya sanción es la pena privativa de la libertad de 4 a 6 años, mientras que la multa administrativa oscila entre 10 y 5,000 unidades impositivas tributarias (UIT); (iii) capacitar y sensibilizar a las entidades competentes en el tema sobre prevención de incendio a toda la población de las comunidades y (iv) activar el derecho consuetudinario con normas establecidas por los comuneros castigando a los responsables de los incendios con el decomiso de su ganado vacuno y haciendo pagar la multa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo recibió financiamiento del Premio Nacional Cultura del Agua 2021 - H₂O Investigaciones mediante un convenio de cooperación entre la Autoridad Nacional del Agua, Perú y Forest Trends Association en representación del Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá. Los contenidos son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones de USAID, ni del Gobierno de los Estados Unidos de América, ni del Gobierno de Canadá.

REFERENCIAS

- Alcaras, E., Costantino, D., Guastaferrero, F., Parente, C., & Pepe, M. (2022). *Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): A New Index for Sentinel-2 Imagery*. <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1727/pdf>
- Amaya, E., & Morales, S. (2018). *Propuesta de un plan de manejo ambiental en zonas afectadas por el sobrepastoreo, finca el Guauque en el páramo de Sumapaz*. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3316>
- Badia, A., Pallares Barbera, M., Valdeperas, N., & Gisbert, M. (2019). Wildfires in the wildland-urban interface in Catalonia: Vulnerability analysis based on land use cover change. *Science of The Total Environment*, 673.
- BID. (2022). *¿Cómo los retornantes peruanos por Covid-19 pueden impulsar una recuperación sostenible en sus lugares de origen?* <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/como-los-retornantes-peruanos-por-covid-19-pueden-impulsar-una-recuperacion-sostenible/>
- Bilbao, B., Mistry, J., Millán, A., & Berardi, A. (2019). Sharing Multiple Perspectives on Burning: Towards a Participatory and Intercultural Fire Management Policy in Venezuela, Brazil, and Guyana. *Fire*, 2(3), 49. <https://doi.org/10.3390/FIRE2030039>
- Bonanomi, G., Idbella, M., Abd, A., Motti, R., Ippolito, F., Santorufo, L., Adamo, P., Agrelli, D., De Marco, A., Maisto, G., & Zotti, M. (2022). Impact of prescribed burning, mowing and abandonment on a Mediterranean grassland: A 5-year multi-kingdom comparison. *Science of the Total Environment*, 834. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155442>
- Bosques Andinos. (2021). *Gestión sostenible de socio-ecosistemas en los Andes*. <https://www.bosquesandinos.org/ipromo-2021-latinoamericano-gestion-sostenible-de-socio-ecosistemas-en-los-andes/>
- Bush, M., Alfonso, A., Urrego, D., Valencia, B., Correa, Y., Zimmermann, M., & Silman, M. (2015). Fire and climate: Contrasting pressures on tropical Andean timberline species. *Journal of Biogeography*, 42(5). <https://doi.org/10.1111/jbi.12470>

- Carbone, L., Tavella, J., Pausas, J., & Aguilar, R. (2019). A global synthesis of fire effects on pollinators. *Global Ecology and Biogeography*, 28(10), 1487–1498. <https://doi.org/10.1111/GEB.12939>
- CENEPRED. (2020). *Escenario de riesgo por incendios forestales*. www.cenepred.gob.pe
- Creswell, J., & Poth, C. (2007). *Qualitative inquiry y research design* (SAGE). [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=DLbBDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Creswell,+J.+W.+\(2007\).+Qualitative+inquir%C3%AD+y+research+design.&ots=hv5afGROw&sig=wK5Qpf2J_L7Ib0RR-s3ug2gjHB4#v=onepage&q=Creswell%2C%20J.%20W.%20\(2007\).%20Qualitative%20inq](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=DLbBDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Creswell,+J.+W.+(2007).+Qualitative+inquir%C3%AD+y+research+design.&ots=hv5afGROw&sig=wK5Qpf2J_L7Ib0RR-s3ug2gjHB4#v=onepage&q=Creswell%2C%20J.%20W.%20(2007).%20Qualitative%20inq)
- Farkhondehmaal, F., & Ghaffarzadegan, N. (2022). A cyclical wildfire pattern as the outcome of a coupled human natural system. *Scientific Reports*, 12. <https://www.nature.com/articles/s41598-022-08730-y>
- Giglio, L., Schroeder, W., Hall, J., & Justice, C. (2018). *MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision B*.
- GORE Ayacucho. (2013). *Zonificación Ecológica Económica - Ayacucho*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/zonificacion-ecologica-economica-ayacucho>
- Hebbelmann, L., O'Connor, T., & du Toit, J. (2022). Fire as a novel disturbance and driver of vegetation change in Nama-Karoo rangelands, South Africa. *Journal of Arid Environments*, 203. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196322000726>
- Herrera, J., Guevara, G., & Munster, H. (2015). Los diseños y estrategias para los estudios cualitativos. Un acercamiento teórico-metodológico. *Gaceta Médica Espirituana*, 17(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1608-89212015000200013
- Huffman, M. (2013). The Many Elements of Traditional Fire Knowledge: Synthesis, Classification, and Aids to Cross-cultural Problem Solving in Fire-dependent Systems Around the World. *Ecology and Society, Published Online*, 18(4). <https://doi.org/10.5751/ES-05843-180403>
- INDECI. (2020). *Resumen incendios forestales*. <https://portal.indeci.gob.pe/informe/resumen-incendios-forestales/>
- INEI. (2020). *Población actualizada a nivel distrital*. <https://cloud.minsa.gob.pe/s/XJ3NoG3WsxgF6H8>
- Lake, F., Wright, V., Morgan, P., McFadzen, M., McWethy, D., & Stevens, C. (2017). Returning Fire to the Land: Celebrating Traditional Knowledge and Fire. *Journal of Forestry*, 115(5), 343–353. <https://doi.org/10.5849/JOF.2016-043R2>
- Lindenmayer, D., Blanchard, W., Mcburney, L., Blair, D., Banks, S., Driscoll, D., Smith, A., & Gill, A. (2014). Complex responses of birds to landscape-level fire extent, fire severity and environmental drivers. *Diversity and Distributions*, 20(4), 467–477. <https://doi.org/10.1111/DDI.12172>
- Manta, M. (2017). *Contribución al conocimiento de la prevención de los incendios forestales en la sierra peruana*. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4302/manta-nolascomaria-isabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, L., Castillo, A., Ramírez, M., & Pérez, D. (2016). The importance of the traditional fire knowledge system in a subtropical montane socio-ecosystem in a protected natural area. *International Journal of Wildland Fire*, 25(9), 911–921. <https://doi.org/10.1071/WF15181>
- Minam. (2017). *Diseño metodológico para el desarrollo de un modelo predictivo de incendios*. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/62192#:~:text=Pese%20a%20las%20ligeras%20variaciones,una%20quem%20es%20un%20fuego>
- Minam. (2018). *Definiciones Conceptuales de los Ecosistemas del Perú*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/definiciones-conceptuales-ecosistemas-peru>
- Minam-PCM. (2015). *Ley Forestal y de Fauna Silvestre LEY No 29763*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%20b0-29763.pdf>

- Mistry, J., Schmidt, I., Eloy, L., & Bilbao, B. (2019). New perspectives in fire management in South American savannas: The importance of intercultural governance. *Ambio*, 48(2), 172–179. <https://doi.org/10.1007/S13280-018-1054-7/FIGURES/1>
- Morante, F., Bravo, L., Carrión, M., Velastegui, M., & Berrezueta, E. (2022). Forest Fire Assessment Using Remote Sensing to Support the Development of an Action Plan Proposal in Ecuador. *Remote Sens*, 14(8), 1783. <https://doi.org/10.3390/rs14081783>
- Nolè, A., Rita, A., Spatola, M., Borghetti, M., & Borghetti, M. (2022). Biogeographic variability in wildfire severity and post-fire vegetation recovery across the European forests via remote sensing-derived spectral metrics. *Science of the Total Environment*, 823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153807>
- ONU. (2009). *Convenio sobre la diversidad biológica*. https://geoinnova.org/blog-territorio/comienzo-la-cumbre-de-la-onu-del-convenio-sobre-la-diversidad-biologica-cop-12-cbd/?gad=1&gclid=CjwKCAjwkeqkBhAnEiwA5U-uM_Tk91xtlFfemZKVKggY0dblsvikEAOtBh23DN8pG7oSM38KU5mjxoCpJUQAvD_BwE
- Ponomarev, E., Zabrodin, A., & Ponomareva, T. (2021). Classification of Fire Damage to Boreal Forests of Siberia in 2021 Based on the dNBR Index. *Fire*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.3390/fire5010019>
- Richardson, D., Black, A., Irving, D., Matear, R., Monselesan, D., Risbey, J., Squire, D., & Tozer, C. (2022). Global increase in wildfire potential from compound fire weather and drought. *npj Climate and Atmospheric Science*, 5. <https://www.nature.com/articles/s41612-022-00248-4>
- Riet, M., & Veraverbeke, S. (2022). How Much of a Pixel Needs to Burn to Be Detected by Satellites? A Spectral Modeling Experiment Based on Ecosystem Data from Yellowstone National Park, USA. *Remote Sens*, 14(9), 2075. <https://doi.org/10.3390/rs14092075>
- Schroeder, W., & Giglio, L. (2018). *VIIRS Land Science Investigator Processing System (SIPS) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 375 m & 750 m Active Fire Products Product User's Guide Version 1.4 - NASA*. In *National Oceanic and Atmospheric Administration*. https://viirsland.gsfc.nasa.gov/PDF/VIIRS_activefire_User_Guide.pdf
- SERFOR. (2018). *Plan de prevención y reducción de incendios forestales*. <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2018/12/Plan-de-prevenci%C3%B3n-y-reducci%C3%B3n-de-riesgos-de-incendios-forestales.pdf>
- Smith, W., Neale, T., & Weir, J. (2021). Persuasion without policies: The work of reviving Indigenous peoples' fire management in southern Australia. *Geoforum*, 120, 82–92. <https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2021.01.015>
- Stake, R. (1995). *The art of case study research* (SAGE). https://books.google.com.pe/books?id=ApGdBx76b9kC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Stephen, P. (2019). *Fire: A Brief History*. <https://www.hookedlansing.com/book/9780295746203>
- Torres, A. (2008). *Los campesinos del sur de Huancayo dejaron de quemar el ichu para usarlo con fines artesanales*. Inforegion. <https://www.inforegion.pe/20882/los-campesinos-del-sur-de-huancayo-dejaron-de-quemar-el-ichu-para-usarlo-con-fines-artesanales/>
- Turin, C., & Gilles, J. (2021). *Perceptions of Rangeland Degradation in the Peruvian Altiplano Perceptions of Rangeland Degradation in the Peruvian Altiplano Dry Puna and Implications Dry Puna and Implications Use of Grassland and Rangeland Resources for Improved Livelihoods) takes place virtually from Use of Grassland and Rangeland Resources for Improved Perceptions of Rangeland Degradation in the Peruvian Altiplano Dry Puna and implications*. <https://uknowledge.uky.edu/igc>
- USGS. (2022). EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vaverková, M., Winkler, J., Uldrijan, D., Ogrodnik, P., Vespalcová, T., Aleksiejuk-Gawron, J., Adamcová, D., & Koda, E. (2022). Fire hazard associated with different types of photovoltaic power plants:

- Effect of vegetation management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122003951>
- Vázquez, C., Martínez, J., & Abad, L. (2022). Traditional Fire Knowledge: A Thematic Synthesis Approach. *Fire*, 5(2), 47. <https://doi.org/10.3390/FIRE5020047>
- Villalobos, A. (2013). El sobrepastoreo del ganado doméstico como disparador de la arbustización. *BioScriba*, 6(1), 51–57. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/1465>
- WWF. (2019). *Incendios forestales: los buenos y los malos*. <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/incendios-forestales-los-buenos-y-los-malos>
- Zubieta, R., Prudencio, F., Ccanchi, Y., Saavedra, M., Sulca, J., Reupo, J., & Alarco, G. (2021). Potential conditions for fire occurrence in vegetation in the Peruvian Andes. *WildLand Fire*, 30(11), 836–849. <https://doi.org/10.1071/WF21029>

ORCID

- | | |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Angel Aronés Cisneros</i> | https://orcid.org/0000-0002-5064-7027 |
| <i>Anna Badia Perpinyà</i> | https://orcid.org/0000-0001-9660-9811 |
| <i>Jordi Nadal Tersa</i> | https://orcid.org/0000-0001-8229-5815 |
| <i>Vivien Bonnesoeur</i> | https://orcid.org/0000-0002-2194-3652 |

