

# CARACTERIZACIÓN DE FUEGOS ACTIVOS EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL PERÚ A PARTIR DE DATOS DE SENSORAMIENTO REMOTO

Yerson Ccanchi <sup>1</sup> y Ricardo Zubieta <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú

**Palabras clave:** Áreas Naturales Protegidas, focos de calor, incendios forestales, quemadas, sensoramiento remoto

Citar como Ccanchi, Y., & Zubieta, R. (2024). Monitoreo de fuegos activos en Áreas Naturales Protegidas del Perú a partir de datos de sensoramiento remoto. *Boletín científico El Niño*, Instituto Geofísico del Perú, vol. 11 n.º 10, págs. 12-18.

## ¿Cuál es la **contribución** de esta investigación para los tomadores de decisiones?\*

Los tomadores de decisiones pueden utilizar los datos satelitales VIIRS para fortalecer la gestión del fuego en Áreas Naturales Protegidas (ANP). En ANP andinas, donde los incendios afectan grandes superficies en zonas silvestres, es clave reforzar la vigilancia y respuesta temprana. En ANP amazónicas, donde las quemadas son más pequeñas y cercanas a áreas agrícolas, se recomienda mejorar la regulación de estas prácticas. Además, complementar el monitoreo satelital con información local permitirá diferenciar mejor entre incendios forestales y quemadas agrícolas, optimizando estrategias de prevención y control del fuego en cada ecosistema.

## Resumen

Este estudio evalúa la capacidad de los focos de calor generados por un radiómetro satelital de infrarrojo visible (VIIRS, por sus siglas en inglés) para detectar fuegos activos, ya sean incendios forestales o quemadas agrícolas en Áreas Naturales Protegidas (ANP) andinas y amazónicas del centro del Perú, así como en sus zonas de amortiguamiento. Además, se analiza la distribución espacial y el tamaño de las superficies quemadas asociadas a estos focos de calor. Los resultados muestran una alta eficacia de los focos de calor en la detección de fuegos activos. Sin embargo, no se consideraron posibles omisiones de eventos de fuego, lo que podría afectar

la interpretación de datos. En las ANP andinas, las cicatrices de fuego presentan una mayor extensión y están más alejadas de las zonas agrícolas, lo que sugiere una mayor incidencia de incendios forestales en áreas de protección. En contraste, en las ANP amazónicas, las superficies quemadas son más pequeñas y se encuentran más próximas a las áreas agrícolas, lo que podría indicar un mejor control en las prácticas de quema agrícola. Los hallazgos de este estudio refuerzan la confiabilidad de los datos satelitales en la gestión del riesgo de incendios forestales y destacan la necesidad de desarrollar políticas de manejo del fuego adaptadas a las características ecológicas y geográficas de cada región.

## 1. Introducción

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de Perú albergan ecosistemas esenciales para la biodiversidad y desempeñan funciones ecológicas cruciales para la preservación y manejo sostenible de los recursos naturales en el país (MINAM, 2016). Sin embargo, las ANP enfrentan amenazas cada vez mayores, como los incendios forestales y las prácticas de quema agrícola, que pueden comprometer su integridad como los servicios ecosistémicos que ofrecen (Manta, 2017). La detección de estas amenazas mediante el uso de tecnologías de teledetección (sensoramiento remoto) es clave para la gestión del riesgo de incendios forestales, ya que facilita el monitoreo de fuentes de calor en zonas remotas y fortalece la capacidad de respuesta de las autoridades gubernamentales (Chuvienco et al., 2020). No obstante, diferenciar incendios forestales de quemaduras agrícolas sigue siendo un desafío a largo plazo debido a las limitaciones en la resolución espacial y temporal de los satélites, así como a la corta duración, muy posible, de la práctica de quema en regiones diversas como los Andes y la Amazonía (Zamora, 2016; Zubieta et al., 2023).

Este estudio caracteriza las superficies quemadas y analiza la distribución de focos de calor en ANP priorizadas del centro de Perú, con el objetivo de aportar conocimiento para mejorar el uso de tecnologías en el monitoreo de la actividad del fuego y la formulación de políticas en el manejo del fuego, orientadas a reducir los impactos de los incendios forestales.

## 2. Metodología

A partir de una recopilación de datos e información, se obtuvieron los límites de las ANP y sus zonas de amortiguamiento del geoportal del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). Asimismo, se integraron registros de incendios provistos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), basados en reportes de emergencia emitidos por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), así como productos de focos de calor generados por los sensores VIIRS (SUOMI y J1), disponibles en el portal FIRMS de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés).

Estos focos de calor se definen como anomalías térmicas

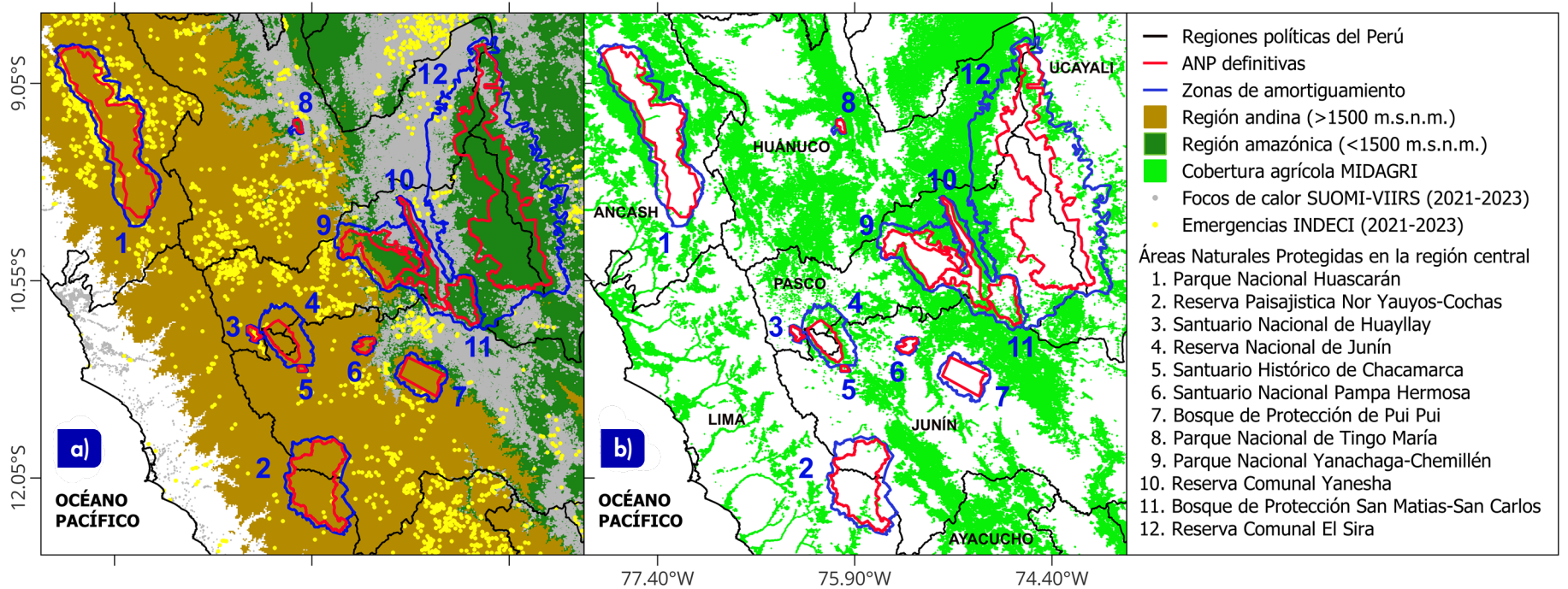
en la superficie terrestre, las cuales son detectadas por los sensores satelitales. Estas anomalías indican la posible presencia de fuegos activos, ya sea por quemaduras o incendios forestales. Para su análisis, se utilizaron el software QGIS y la herramienta SentinelHub, lo que permitió visualizar y analizar imágenes de Sentinel-2 sin necesidad de descargarlas.

Las cicatrices de fuego o áreas quemadas asociadas a los focos de calor se identificaron mediante inspección visual, lo que facilitó una interpretación más precisa de su extensión y permitió estimar de manera aproximada la fecha del evento de fuego (Bastarrika et al., 2011). Para este análisis, se empleó una combinación en falso color de las bandas 12 (infrarrojo de onda corta), 8A (infrarrojo cercano) y 4 (rojo), que resaltan las áreas afectadas, mejoran el contraste y facilitan la visualización de los cambios en el terreno (van Dijk et al., 2021).

Para clasificar las ANP en zonas andinas y amazónicas, se utilizó el modelo de elevación generado por la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), una misión de la NASA que produce datos de altitud a nivel global. En este estudio, se estableció una cota de transición a partir de los 1500 m s. n. m. (Zulkafli et al., 2014), fundamentándose la clasificación en las diferencias geográficas que podrían influir en el uso y el comportamiento del fuego. Las ANP situadas mayoritariamente por encima de esta altitud se clasificaron como andinas, mientras que las ubicadas por debajo se consideraron amazónicas. Estos datos se pueden observar en la Figura 1a, b.

Se cuantificaron los incendios reportados y los focos de calor en las ANP y sus zonas de amortiguamiento entre 2021 y 2023, con el objetivo de realizar una caracterización inicial que permita entender cómo están siendo detectados estos eventos. Además, se estimó el error por comisión (falsos positivos) de los focos de calor mediante un análisis espacial verificando si cada foco estaba asociado a una cicatriz de fuego. El error por comisión se calculó como el porcentaje de focos no asociados a superficies quemadas respecto al total de focos registrados (Chuvienco et al., 2012).

Finalmente, se compararon las dimensiones de las cicatrices y su proximidad a zonas agrícolas mediante diagramas de cajas, con el fin de evaluar los patrones de comportamiento del fuego en las ANP de los Andes y la Amazonía.



**Figura 1.** Ubicación de las ANP en el centro del Perú y sus zonas de amortiguamiento. En (a) se muestra la región andina y amazónica junto con los reportes de INDECI y los focos de calor SUOMI VIIRS; en (b), la distribución espacial de las zonas agrícolas.

### 3. Resultados

La Tabla 1 muestra que, entre 2021 y 2023, en la zona centro del Perú, el 94.5 % de los incendios reportados por el INDECI ocurrieron fuera de las ANP y sus zonas de amortiguamiento, abarcando tanto regiones andinas como amazónicas. No se registraron incendios en las ANP amazónicas, mientras que en las ANP andinas estos eventos representaron solo el 1 %. En las zonas de amortiguamiento, los incendios fueron más comunes en las regiones andinas (3.6 %) que en

las amazónicas (0.9 %). Por su parte, los focos de calor indican que el 89.5 % de los fuegos activos ocurrieron fuera de las ANP y sus zonas de amortiguamiento, tanto en zonas andinas como amazónicas. Dentro de las ANP, la detección de fuegos activos es relativamente baja, siendo ligeramente mayor en las amazónicas (0.9 %) en comparación con las andinas (0.5 %). En contraste, las zonas de amortiguamiento amazónicas presentaron un mayor número de detecciones (8.9 %) en comparación con las zonas de amortiguamiento andinas (0.4 %).

**Tabla 1.** Número de emergencias por incendios forestales reportados por el INDECI y promedio de focos de calor VIIRS (SUOMI y J1) dentro de la región centro del Perú entre 2021 y 2023.

Localización	Área evaluada (km <sup>2</sup> )	Reporte de emergencias del INDECI	Promedio de focos de calor VIIRS (SUOMI y J1)
Dentro de ANP andinas de la región centro	6978 (3.84 %)	35 (1 %)	426 (0.5 %)
Dentro de ANP amazónicas de la región centro	9213 (5.11 %)	0 (0 %)	888 (0.9 %)
Dentro de zonas de amortiguamiento andinas de la región centro	3494 (1.94%)	122 (3.6 %)	369 (0.4 %)
Dentro de zonas de amortiguamiento amazónicas de la región centro	14 482 (8.03 %)	29 (0.9 %)	8872 (8.9 %)
Fuera de ANP y zonas de amortiguamiento en la parte andina de la región centro	100 090 (55.52 %)	2480 (73.8 %)	15 350 (15.4 %)
Fuera de ANP y zonas de amortiguamiento en la parte amazónica de la región centro	46 011 (25.53 %)	695 (20.7 %)	74 052 (74.1 %)
Total dentro de la región centro	180 268 (100 %)	3361 (100 %)	99 957 (100 %)

**Tabla 2.** Errores por comisión del total de focos de calor VIIRS (SUOMI y J1) por cada ANP dentro de la región centro del Perú entre 2021 y 2023.

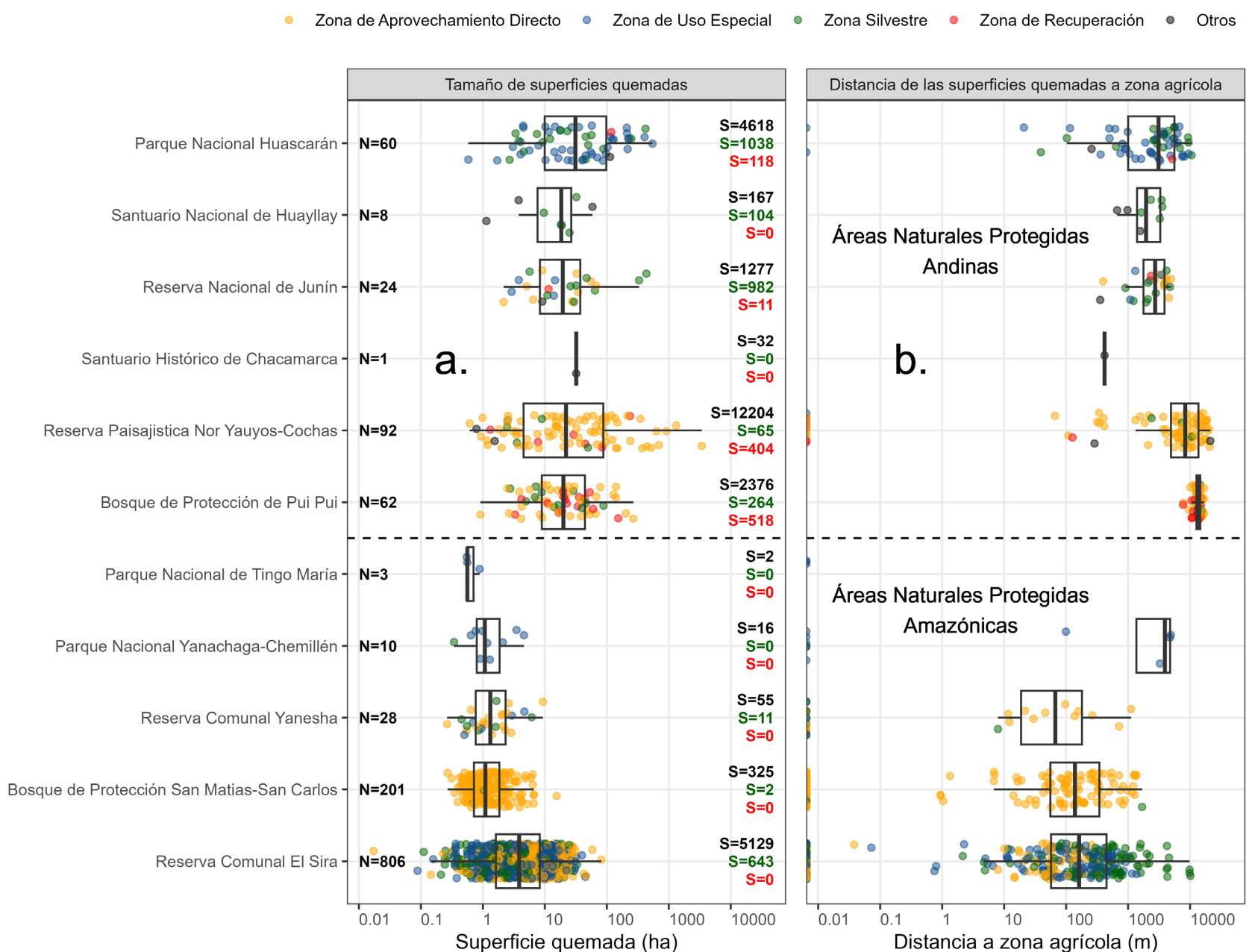
Región	Área Natural Protegida	Área de ANP (km <sup>2</sup> )	Focos de calor totales	Focos de calor sin evidencia de incendio	Error por comisión
Andes	Parque Nacional Huascarán	3411	270	0	0 %
	Santuario Nacional de Huayllay	68	7	0	0 %
	Reserva Nacional de Junín	532	51	0	0 %
	Santuario Nacional Pampa Hermosa	116	-	-	-
	Santuario Histórico de Chacamarca	25	3	0	0 %
	Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas	2223	347	2	0.58 %
	Bosque de Protección de Pui Pui	603	120	1	0.83 %
Amazonía	Parque Nacional de Tingo María	48	4	0	0 %
	Parque Nacional Yanachaga-Chemillén	1143	14	0	0 %
	Reserva Comunal Yanesha	341	21	1	4.76 %
	Bosque de Protección San Matías-San Carlos	1488	227	1	0.44 %
	Reserva Comunal El Sira	6194	1426	33	2.31 %

La Tabla 2 muestra que, en las ANP andinas, los falsos positivos solo se hallaron en la Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas y en el Bosque de Protección de Pui Pui, ambos con un error por comisión menor a 1 %. En el Santuario Nacional Pampa Hermosa no se detectaron

focos de calor. Por su parte, en las ANP amazónicas, el error por comisión también fue menor a 1 %, salvo en la Reserva Comunal Yanesha (4.76 %, correspondiente a un foco falso positivo) y la Reserva Comunal El Sira (2.31 %), la ANP amazónica de mayor extensión.

La Figura 2a muestra que la mayoría de las superficies quemadas en las ANP amazónicas fueron menores a 10 hectáreas (ha), excepto en la Reserva Comunal El Sira, donde el 25 % de las áreas quemadas tenían entre 10 y 100 ha. En contraste, en las ANP andinas, el 75 % de las áreas quemadas superaron las 10 ha, y el 25 % de estas, localizadas en el Parque Nacional Huascarán, la Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas y el Bosque de Protección de Pui Pui, tenían entre 100 y 1000 ha. En total, se quemaron 2453 ha en zonas silvestres y 1051 ha en zonas de recuperación en las ANP andinas, mientras que en las amazónicas se afectaron 656 ha, exclusivamente en zonas silvestres, sin daños en zonas de recuperación. Por otro lado, la Figura 2b muestra que, en las ANP andinas, más del 75 % de las áreas quemadas se ubicaron a más de 1000 m de zonas agrícolas, mientras que, en las ANP amazónicas, el 50 % de las quemadas se encontraron a 100 m de áreas agrícolas.

La gran diferencia entre el número de reportes de emergencias por incendios forestales y la cantidad de focos de calor detectados se debe a que estos últimos registran cualquier fuente intensa de calor, sin distinguir entre incendios forestales y actividades como las quemadas agrícolas, donde un mayor tamaño del siniestro puede generar gran cantidad de puntos calientes (Schroeder et al., 2014; He et al., 2024). Los bajos niveles de falsos positivos observados son consistentes con Zubieta et al. (2023), quien reporta un error de comisión inferior a 1 % en los Andes, con valores ligeramente superiores en zonas cercanas a la Amazonía. Si bien en Perú existen incendios menores a 1.5 ha (Manta y León, 2004), nuestros resultados indican que muchas quemadas agrícolas caen dentro de este umbral, lo que subraya la dificultad de definir el tipo de evento que detectan los focos de calor únicamente a partir del tamaño de la cicatriz de fuego. Para mejorar la clasificación entre quemada agrícola e



**Figura 2.** Tamaño (a) y proximidad a zonas agrícolas (b) de las superficies quemadas asociadas a los focos de calor en cada ANP. En (a), N indica el total de unidades de superficie y S la suma del área quemada total (negro), en zona silvestre (verde) y en zona de recuperación (rojo). También se visualiza la zonificación de las áreas donde se desarrollaron las cicatrices.

incendio forestal, se deben considerar factores como la proximidad a cultivos, la forma de la cicatriz y la respuesta espectral posquemado (Giglio et al., 2016; Hall et al., 2024).

La mayor cantidad de superficies quemadas pequeñas en ANP amazónicas y su cercanía a campos de cultivo puede explicarse, como señala Key y Benson (2006), por la alta intensidad del fuego en vegetación densa y homogénea, lo que facilitaría su detección. Esto contrasta con la vegetación fragmentada de los Andes (Asner et al., 2014). Aunque en las ANP andinas se registra una menor cantidad de áreas quemadas con respecto a ANP amazónicas, estas abarcan mayor extensión superficial, lo que indica que la incidencia de incendios forestales tiende a desarrollarse en mayor magnitud, a pesar de no contar con una alta carga vegetal (bosques). Este patrón es consistente con la gran cantidad de reportes de incendios registrados por el INDECI en zonas altoandinas a nivel nacional (CENEPRED, 2020). Estos incendios afectan tanto áreas silvestres como de recuperación, donde se puede encontrar vegetación de tipo matorral, pastizal, bosque andino o bosque amazónico, y ponen en peligro la preservación y la conservación de la biodiversidad, así como la restauración de ecosistemas degradados (SERNANP, 2022).

## 4. Conclusiones

El análisis de focos de calor y superficies quemadas en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sus zonas de amortiguamiento en la región central del Perú revela patrones claros en la incidencia de incendios y quemados agrícolas en los Andes y la Amazonía. La mayoría de los incendios reportados ocurrieron fuera de las ANP, con baja incidencia en estas áreas, especialmente en la Amazonía. En las ANP andinas, las grandes áreas quemadas indican una mayor frecuencia de incendios en zonas de alta montaña.

Por otro lado, en las ANP amazónicas, las cicatrices pequeñas y cercanas a zonas agrícolas sugieren quemados mejor controlados en áreas de uso especial y aprovechamiento directo, donde se permite la agricultura, la ganadería y la recolección. En contraste, en las ANP andinas, las quemados afectan principalmente grandes superficies de zonas silvestres, donde predominan ecosistemas de pastizales y matorrales.

Aunque la baja tasa de falsos positivos confirma la confiabilidad de los focos de calor, es necesario complementarlos con otras fuentes de datos para diferenciar incendios de quemados agrícolas. Los resultados subrayan la necesidad de implementar políticas vinculadas a la gestión y el uso sostenible del fuego, adaptadas a las características regionales de las quemados llevadas a cabo por la población, tanto dentro como en zonas cercanas a las ANP.

## Referencias

- Asner, G. P., Anderson, C. B., Martin, R. E., Knapp, D. E., Tupayachi, R., Sinca, F., & Malhi, Y. (2014). Landscape-scale changes in forest structure and functional traits along an Andes-to-Amazon elevation gradient. *Biogeosciences*, 11(3), 843-856. <https://doi.org/10.5194/bg-11-843-2014>
- Bastarrika, A., Chuvieco, E., & Martín, M. P. (2011). Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sensing of Environment*, 115(4), 1003-1012. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.005>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - [CENEPRED]. (2020). *Escenario de riesgo por incendios forestales*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/10471>
- Chuvieco, E., Cifuentes, Y., Hantson, S., López, A. A., Ramo, R., & Torres, J. (2012). Comparación entre focos de calor MODIS y perímetros de área quemada en incendios mediterráneos. *Revista de Teledetección*, 37(1), 9-22. <https://www.aet.org.es/?q=revista37-4>
- Chuvieco, E., Aguado, I., Salas, J., García, M., Yebra, M., & Oliva, P. (2020). Satellite Remote Sensing Contributions to Wildland Fire Science and Management. *Current Forestry Reports*, 6(2), 81-96. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00116-5>
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D., Hoffmann, A. A., Humber, M., & Hall, J. V. (2016). *Collection 6 Modis Burned Area Product User's Guide Version 1.0*. NASA EOSDIS Land Processes DAAC: Sioux Falls, SD, USA, 11-27. [https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MODIS\\_C6\\_BA\\_User\\_Guide\\_1.0.pdf](https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MODIS_C6_BA_User_Guide_1.0.pdf)
- Hall, J. V., Argueta, F., Zubkova, M., Chen, Y., Randerson, J. T., & Giglio, L. (2024). GloCAB: global cropland burned area from mid-2002 to 2020. *Earth System Science Data*, 16(2), 867-885. <https://doi.org/10.5194/essd-16-867-2024>
- He, X., Huang, Q., Yang, D., Yang, Y., Xie, G., Yang, S., Liang, C., & Qin, Z. (2024). Spatiotemporal Analysis of Open Biomass Burning in Guangxi Province, China, from 2012 to 2023 Based on VIIRS. *Fire*, 7(10), 370. <https://doi.org/10.3390/fire7100370>

Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment (LA). En: Lutes, D. C.; Keane, R., Caratti, J., Key, C., Benson, N., Sutherland, S. & Gangi, L. FIREMON: *Fire effects monitoring and inventory system* (General Technical Report RMRS-GTR-164-CD, pp. LA 1-55). Fort Collins, CO:U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-164>

Manta, M. I. (2017). *Contribución al conocimiento de la prevención de los incendios forestales en la sierra peruana*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4302>

Manta, M., & León, H. (2004). Los incendios forestales del Perú: Grave problema por resolver. *Floresta*, 34(2), 179-189. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Separatas%20FCF/Proteccion%20Forestal/3SimposioBrasil-Per\\_.PDF](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Separatas%20FCF/Proteccion%20Forestal/3SimposioBrasil-Per_.PDF)

Ministerio del Ambiente - [MINAM]. (2016). *Áreas Naturales Protegidas del Perú (2011-2015): Conservación para el desarrollo sostenible*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/144>

Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., & Csiszar, I. A. (2014). The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.008>

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - [SERNANP]. (2022). *Catálogo de Objetos geográfico de las Áreas Naturales Protegidas*. <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/2807688-catalogo-de-objetos-geografico-de-las-areas-naturales-protegidas>

van Dijk, D., Shoaie, S., van Leeuwen, T., & Veraverbeke, S. (2021). Spectral signature analysis of false positive burned area detection from agricultural harvests using Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 97, 102296. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102296>

Zamora Ríos, A. (2016). *Estudio metodológico para el monitoreo de alertas tempranas de deforestación basado en focos de calor en la Amazonía peruana*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2601>

Zubieta, R., Ccanchi, Y., & Liza, R. (2023). Performance of heat spots obtained from satellite datasets to represent burned areas in Andean ecosystems of Cusco, Peru. *Remote Sensing Applications*, 32, 101020. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101020>

Zulkafli, Z., Buytaert, W., Onof, C., Manz, B., Tarnavsky, E., Lavado, W., & Guyot, J. L. (2014). A Comparative Performance Analysis of TRMM 3B42 (TMPA) Versions 6 and 7 for Hydrological Applications over Andean–Amazon River Basins. *Journal of Hydrometeorology*, 15(2), 581-592. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-094.1>