ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS GRANDES INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL DE 2026: IMPACTO SOCIOECOLÓGICO EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

SPATIAL ANALYSIS OF LARGE-SCALE VEGETATION FIRES IN 2026: SOCIO-ECOLOGICAL IMPACT IN THE DEPARTMENT OF TOLIMA

Mauricio Alejandro Perea-Ardila[1]

[1] Grupo de Investigación en Infraestructura, Geotecnia Vial y Topografía (INGEVIT), Universidad del Tolima.
mapereaa@ut.edu.co

Resumen

Los regímenes de fuego en los Andes colombianos han experimentado alteraciones extremas por el cambio climático. Ante el vacío institucional de cartografía oficial detallada que dimensione este desastre, la presente investigación realizó un análisis espacial de la temporada de grandes incendios de cobertura vegetal de 2026 para cuantificar su extensión e incidencia socioecológica en el Tolima. Utilizando imágenes Sentinel-2, se cartografiaron cicatrices mayores a 0,5 hectáreas (julio-septiembre). Los resultados se contrastaron con la línea base histórica de MapBiomas Fuego (2000-2025) y se evaluó la asimetría espacial mediante distribución estadística. Se identificaron 985 incendios que afectaron 87957,5 ha, cifra que superó en un 1791 % la media estacional histórica. El análisis evidenció que el 88,7 % de las igniciones fueron menores a 100 hectáreas; no obstante, apenas el 1,8 % de los eventos (>1000 ha) concentró el 55,7 % del área total quemada. Este comportamiento asimétrico se ajustó a un modelo de Ley de Potencia ($\alpha = 0,87$), reflejando un estado de criticidad autoorganizada y un escalamiento hacia grandes incendios, con máximos individuales de 7204 ha. Territorialmente, el 71,5 % del área quemada correspondió a la matriz agropecuaria, abarcando cultivos transitorios, infraestructuras ganaderas y ecotonos. Asimismo, se vulneró el patrimonio biocultural, impactando el 6,01 % de los resguardos indígenas y extensas zonas de reserva campesina. A nivel ecosistémico, se constató la afectación del Bosque Seco Tropical, perdiendo el 6 % de su cobertura remanente, además de alterar prioridades nacionales de conservación estricta (RUNAP). Se concluye que los umbrales históricos de resiliencia paisajística han sido rebasados, exigiendo una transición urgente desde el enfoque de supresión reactiva hacia un manejo preventivo del territorio frente al cambio global.

Palabras clave: Áreas quemadas, Teledetección, Sentinel-2.

ABSTRACT

Fire regimes in the Colombian Andes have undergone extreme changes due to climate change. Given the institutional gap in detailed official mapping to assess the scale of this disaster, this study conducted a spatial analysis of the 2026 season of large-scale vegetation fires to quantify their extent and socio-ecological impact in Tolima. Using Sentinel-2 imagery, burn scars larger than 0.5 hectares (July–September) were mapped. The results were compared with the historical baseline from MapBiomas Fuego (2000–2025), and spatial asymmetry was assessed using statistical distribution. A total of 985 fires were identified, affecting 87,957.5 ha—a figure that exceeded the historical seasonal average by 1,791%. The analysis showed that 88.7% of the fires were smaller than 100 hectares; however, just 1.8% of the events (>1,000 ha) accounted for 55.7% of the total burned area. This asymmetric behavior fit a power-law model ($\alpha = 0.87$), reflecting a state of self-organized criticality and scaling toward large fires, with individual maximums of 7,204 ha. Geographically, 71.5% of the burned area was part of the agricultural matrix, encompassing temporary crops, livestock infrastructure, and ecotones. Additionally, biocultural heritage was compromised, affecting 6.01% of indigenous reserves and extensive areas of peasant reserves. At the ecosystem level, the Tropical Dry Forest was found to have been affected, losing 6% of its remaining cover, in addition to disrupting national strict conservation priorities (RUNAP). It is concluded that historical thresholds of landscape resilience have been exceeded, requiring an urgent transition from a reactive suppression approach to preventive land management in the face of global change.

Keywords: Burned areas, Remote sensing, Sentinel-2.

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, los regímenes de fuego a nivel global han experimentado alteraciones impulsadas por la sinergia entre el cambio climático, la variabilidad climática extrema y las modificaciones antropogénicas en el uso del suelo (Bowman et al., 2020; Kelly et al., 2020). El incremento en la temperatura media global, sumado a sequías más prolongadas y recurrentes, han extendido las temporadas de riesgo de incendios forestales, facilitando la ocurrencia de eventos de mayor magnitud, severidad y frecuencia (Jolly et al., 2015). Esta transición hacia un mundo más favorable para el fuego no solo compromete la dinámica del ciclo global del carbono, sino que representa una amenaza directa para la resiliencia de múltiples ecosistemas y la estabilidad socioeconómica de las poblaciones humanas vulnerables (Chuvieco et al., 2021; IPCC, 2023). En este contexto de cambio ambiental global, la cuantificación espacial y temporal de las áreas afectadas por los incendios forestales se ha convertido en una prioridad para la gestión ambiental, la mitigación del riesgo y la formulación de políticas públicas de adaptación (Chuvieco et al., 2019).

En la región del Neotrópico y particularmente en Sudamérica, la dinámica del fuego está fuertemente acoplada a fenómenos macroclimáticos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y a patrones expansivos de deforestación y frontera agropecuaria (Chen et al., 2017). Colombia, debido a su posición ecuatorial y su compleja orografía andina, presenta un régimen bimodal de precipitaciones que definen ventanas estacionales críticas para la ocurrencia de incendios, típicamente de diciembre a marzo y de julio a septiembre (Armenteras-Pascual et al., 2011). En los Andes colombianos, el fuego es predominantemente de origen antrópico y actúa como un factor de perturbación exógeno en ecosistemas que, evolutivamente, no están adaptados a ciclos frecuentes de quema, lo que resulta en procesos severos de degradación ambiental y pérdida de biodiversidad (Armenteras, 2024).

Para comprender y mitigar estos impactos, la teledetección satelital es una herramienta eficaz para el monitoreo de las cicatrices de fuego a gran escala. Históricamente, productos globales derivados de sensores como MODIS (MCD64A1) a 500 metros o VIIRS a 375 metros han sido fundamentales para entender los patrones continentales del fuego (Giglio et al., 2018; Schroeder et al., 2014). Sin embargo, su resolución espacial es insuficiente para detectar incendios de pequeña magnitud, los cuales son altamente prevalentes en paisajes andinos fragmentados y en zonas de transición agropecuaria. Para superar esta

limitación, iniciativas como MapBiomas Fuego Colombia han construido líneas base históricas de alta relevancia (2000-2025) utilizando imágenes Landsat a 30 metros de resolución espacial. Este esfuerzo ha permitido una caracterización sin precedentes del historial de quemas en el país (MapBiomas, 2026).

No obstante, para la respuesta operativa a desastres, la evaluación post-evento y la gestión de umbrales de afectación es necesario dar un salto hacia resoluciones aún más finas. En este sentido, la constelación de satélites Sentinel-2 (del programa Copernicus), con sus bandas multiespectrales a 10 metros de resolución y su alta tasa de revisita, ofrece una capacidad técnica importante para cartografiar cicatrices de fuego de pequeña extensión con alta precisión geométrica y radiométrica, reduciendo los errores de omisión presentes en sensores de mediana resolución (Chuvieco et al., 2019; Roteta et al., 2019).

Más allá de la precisión en la detección satelital, comprender la distribución y el tamaño de las cicatrices es un concepto central para la ecología del fuego y la planeación del riesgo. La evidencia global demuestra que, si bien los incendios de pequeña extensión son numéricamente más frecuentes, son los eventos de gran magnitud los que dominan la proporción del área total quemada, generando impactos desproporcionados sobre la severidad del daño ecológico, las emisiones de carbono y el desbordamiento de las capacidades operativas de supresión (Hantson et al., 2014; Linley et al., 2022). Tras temporadas meteorológicamente extremas, resulta prioritario evaluar de manera espacialmente explícita cómo estos grandes eventos inciden sobre el territorio. Este enfoque analítico post-fuego ha demostrado ser fundamental en otros ecosistemas latinoamericanos severamente afectados, sirviendo como referente directo para esta investigación (Naval Fernandez et al., 2023).

En el territorio colombiano, el departamento del Tolima representa un microcosmos de esta complejidad socioecológica frente al fuego. Estratégicamente ubicado en el centro del país, su gradiente altitudinal abarca desde el valle cálido del río Magdalena hasta las cumbres nevadas de la Cordillera Central (Cortolima, 2014). Esta heterogeneidad topográfica y climática alberga áreas de un alto valor ecológico que actualmente se encuentran bajo constante presión. Entre estos ecosistemas destacan los Bosques Secos Tropicales (BsT) en el piedemonte y valle del Magdalena y los complejos de páramos en la alta montaña, ecosistemas que, sumados a las Áreas Protegidas del orden nacional y regional, constituyen el núcleo de la infraestructura ecológica del departamento.

La temporada seca de mediados de año (julio a septiembre) de 2026 representó un período crítico para el departamento del Tolima. Las anomalías térmicas y el déficit histórico de precipitaciones, aumentadas por la consolidación de un fenómeno de El Niño de alta severidad, configuraron condiciones meteorológicas extremas para la ignición y rápida propagación del fuego (IDEAM, 2026). En consecuencia, esta coyuntura desencadenó una de las temporadas de incendios forestales más severas y extensas registradas en la historia reciente de la región andina. Durante este trimestre, las alertas tempranas evidenciaron múltiples focos en ecosistemas sensibles, desbordando en muchos casos la capacidad de respuesta operativa de las autoridades locales y territoriales (UNGRD, 2026), y generando una alerta técnica por la alteración irreversible de coberturas vegetales estratégicas. A pesar de la gravedad de estos eventos, actualmente existe un vacío de conocimiento respecto a la extensión real de las cicatrices de estos incendios a nivel de detalle más fino y más importante aún, una carencia de evaluaciones que crucen estas afectaciones recientes con la línea base histórica y con las variables tanto ecológica como socioeconómicas.

Por lo tanto, debido a la necesidad de generar insumos técnicos que trasciendan el inventario de focos de calor, el presente estudio como objetivo realizar un análisis espacial de la temporada de grandes incendios forestales de 2026, con el fin de cuantificar su extensión y determinar su incidencia directa sobre las áreas de valor ecológico y socioeconómico del departamento del Tolima. Para alcanzar esta meta, se plantean tres objetivos específicos: (1) cartografiar y caracterizar los incendios de 0,5 hectáreas o más (establecido como el umbral operativo por la UNGRD) ocurridos entre julio y septiembre de 2026 utilizando imágenes multiespectrales Sentinel-2; (2) comparar las anomalías y extensión de estos eventos frente a la línea base histórica de 2000 a 2025 proporcionada por MapBiomas Fuego Colombia para la misma ventana estacional y (3) cuantificar la incidencia del fuego en áreas de alto valor ecológico, así como en áreas de interés socioeconómico. Los resultados de esta investigación aportarán una base de evidencia científica para orientar la recuperación ecológica, la planificación territorial y la adaptación climática en los Andes colombianos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

Corresponde al departamento del Tolima, ubicado en la región andina central de Colombia, con una extensión territorial de 23562 km² distribuidos en 47 municipios. Desde una

perspectiva geomorfológica, el territorio está dominado por el flanco occidental de la Cordillera Central, el cual desciende hacia la planicie aluvial del valle del río Magdalena, e incluye en su extremo suroriental la vertiente occidental de la Cordillera Oriental (Cortolima, 2014). Como resultado de esta heterogeneidad topográfica, el departamento presenta una alta diversidad de coberturas vegetales y condiciones bioclimáticas, desde remanentes de Bosque Seco Tropical (BsT) en las zonas bajas y cálidas del valle, pasando por bosques andinos en las vertientes intermedias de clima templado, hasta complejos de páramo y nieves perpetuas en las zonas de alta montaña con condiciones frías y de páramo (Cortolima, 2024).

En el contexto normativo y operativo colombiano, se adopta el concepto de 'incendio de la cobertura vegetal' como una categoría macro que engloba la propagación no controlada del fuego sobre cualquier tipo de vegetación, abarcando tanto ecosistemas naturales (bosques, herbazales) como matrices antrópicas (pastos, cultivos transitorios) (UNGRD, 2019). Dada la alta fragmentación del paisaje andino en el Tolima y la continuidad de los combustibles vegetales en las zonas de ecotono, resulta técnica y ecológicamente inviable aislar la dinámica del fuego estrictamente a las coberturas forestales. Por consiguiente, en esta investigación se cartografían las cicatrices de fuego como perturbaciones a nivel de paisaje.

2.2 Cartografía de las cicatrices de 2026

La cartografía de las áreas quemadas ocurridas entre el 1 de julio y el 30 de septiembre de 2026 se realizó mediante interpretación visual y digitalización manual sobre mosaicos de imágenes Sentinel-2, procesados con el apoyo de la herramienta BAMT (Burned Area Mapping Tools) (Roteta et al., 2021). Para la identificación de las cicatrices de fuego, se emplearon composiciones en falso color que integran las bandas del infrarrojo de onda corta (SWIR) y del infrarrojo cercano (NIR), a partir de productos con nivel de procesamiento L2A (reflectancia en superficie). Los polígonos correspondientes a las áreas quemadas fueron digitalizados en ArcGIS 10.8 a una escala de trabajo menor a 1:10000. Cabe señalar que, debido a la disponibilidad temporal de las imágenes y a la dinámica de los eventos ígneos, los polígonos trazados representan las cicatrices detectables en cada escena analizada y no necesariamente el perímetro consolidado final de cada incendio.

Se aplicó una unidad mínima de mapeo de 0,5 ha (5.000 m²), alineado con la definición operativa de incendio de la cobertura vegetal establecida por la UNGRD, (2019) (Resolución 0373 de 2020). Esta exclusión de áreas menores se justifica para mitigar errores de clasificación con otras coberturas y porque su aporte a la superficie quemada

total resulta marginal (Argañaraz et al., 2015). Para optimizar la digitalización frente a la persistente nubosidad de la región andina, se utilizaron los registros de anomalías térmicas (focos de calor) de los sensores MODIS, VIIRS y GOES-19 como guía preliminar de búsqueda. Es imperativo señalar que, al estar la cartografía parcialmente condicionada por estas detecciones térmicas activas, existe una susceptibilidad a errores de omisión en aquellas cicatrices que no generaron focos de calor detectables. Esto puede deberse a interferencia por nubosidad durante el sobrevuelo satelital, a la rápida extinción del frente de avance, o a eventos de baja energía radiativa térmica.

2.3 Clases de tamaño e incendios de gran extensión

Clasificamos los incendios según su superficie en menores de 100 ha, de 100 a menos de 1000 ha y de 1000 ha o más. En Colombia no existe una definición nacional de incendios de gran extensión, por lo que los definimos como los incendios de 1000 ha o más. Para cada clase calculamos el número y el porcentaje de incendios y la superficie y el porcentaje del área quemada total.

2.4 Línea base de MapBiomas fuego Colombia

Se utilizó la Colección 1 de MapBiomas Fuego Colombia, un conjunto de datos espaciales (2000-2025) derivado de mosaicos anuales de la serie Landsat a 30 m de resolución y clasificado mediante algoritmos de aprendizaje profundo (Alencar et al., 2022; MapBiomas, 2026). El procesamiento de esta serie temporal se ejecutó en la plataforma Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017), utilizando el producto mensual de área quemada. Para garantizar la comparabilidad estadística con el evento extremo de 2026, los datos históricos para el Tolima se estructuraron en dos frentes de análisis. Primero, se estimó la distribución de tamaños y el área quemada acumulada para la ventana estacional conjunta de julio a septiembre y segundo, con el fin de evaluar la dinámica intra-estacional de la perturbación, se extrajeron las series de área quemada desagregadas por mes (julio, agosto y septiembre), lo que permitió identificar la contribución individual de cada mes al impacto trimestral, así como determinar la media mensual histórica y el máximo histórico (peor escenario) documentado en los 26 años previos.

2.5 Análisis estadístico de la distribución de tamaños

Para evaluar cuantitativamente la asimetría espacial del régimen de fuego durante la temporada 2026, se analizó la distribución de frecuencias de los tamaños de las cicatrices cartografiadas usando el software R y el paquete *poweRlaw*. Siguiendo enfoques

metodológicos estandarizados en la ecología del fuego para la evaluación de eventos extremos (Malamud et al., 1998), se calculó la Función de Probabilidad Acumulada Inversa (CCDF, por sus siglas en inglés) de la superficie afectada. Posteriormente, la distribución empírica se proyectó en una escala logarítmica (Log-Log) con el fin de examinar el comportamiento estadístico de la "cola" superior de los datos (Clauset et al., 2009). Este procedimiento analítico permite determinar si la dinámica de propagación del fuego bajo condiciones meteorológicas anómalas mantiene una escala geométrica característica (ej., una distribución Log-Normal), o si el paisaje experimenta un estado de criticidad autoorganizada modelado por distribuciones asimétricas de cola pesada o Ley de Potencia (Cui & Perera, 2008). Para comprobar esta hipótesis, se aplicó un ajuste de regresión sobre los datos transformados logarítmicamente correspondientes a los incendios mayores a 100 hectáreas, permitiendo derivar el exponente de escalamiento (α) y su ajuste (R^2). Desde esta perspectiva, la obtención de un exponente $\alpha < 1$ en la función acumulada confirma empíricamente que la varianza espacial del fuego pierde su límite finito, demostrando que el régimen de afectación territorial está gobernado casi exclusivamente por la ocurrencia de los incendios de gran tamaño.

2.6 Áreas de valor ecológico y socioeconómico

Para cuantificar el impacto de los grandes incendios forestales de la temporada 2026, se ejecutó un análisis de superposición espacial (intersección cartográfica), cruzando los polígonos vectorizados de las cicatrices de fuego con un conjunto de capas geoespaciales oficiales disponibles por entidades gubernamentales (Tabla 1). Este análisis de incidencia se estructuró en dos dimensiones de evaluación territorial. En primera instancia, para calcular la afectación sobre las áreas de valor ecológico y en segunda instancia, para determinar la afectación de las áreas con valor socioeconómico. Este procedimiento permitió extraer el total de hectáreas afectadas al interior de cada figura legal y ecosistema, consolidando los indicadores base para discutir la magnitud del desastre.

Tabla 1. Capas y fuentes institucionales empleadas en la evaluación de áreas afectadas

Áreas de valor	Capas	Fuente
Áreas protegidas y ecosistemas estratégicos	Relictos de bosque seco tropical (2018)	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)
	Límites áreas protegidas RUNAP	Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN)

	Prioridades de conservación nacional CONPES 3680	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) / Departamento Nacional de Planeación (DNP)
	Mapa de Ecosistemas Continental, Costero y Marino de Colombia	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
Áreas con valor socioeconómico	Resguardos Indígenas	Agencia Nacional de Tierras (ANT)
	Zonas de reserva campesina	
	Cobertura del suelo 2024	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

3. Resultados

3.1. Cartografía de cicatrices y distribución de tamaños

Durante la ventana estacional (julio a septiembre) de 2026, la interpretación espacial detallada sobre mosaicos multiespectrales de Sentinel-2 permitió mapear un total de 985 cicatrices de incendios Tolima, que en conjunto sumaron una superficie afectada de 87957,5 ha (3,7 % del total del departamento) (Figura 1). El análisis de la distribución de tamaños evidenció el marcado patrón característico de regímenes alterados de fuego. Los incendios de pequeña magnitud (< 100 ha) dominaron en términos de frecuencia, representando el 88,7 % de las cicatrices detectadas (n=874) con un tamaño promedio de 19,63 ha por evento; no obstante, su contribución a la superficie total quemada se limitó al 19,5 % (17160,7 ha).

Por el contrario, los grandes incendios forestales (≥ 1000 ha) demostraron tener un impacto sobre la configuración del paisaje. Aunque constituyeron apenas el 1,8 % de los eventos registrados (n=18), esta clase de tamaño fue responsable de quemar el 55,7 % del área total durante la temporada (48991,3 ha), registrándose solo un área quemada de magnitud extrema que alcanzó las 7204,0 hectáreas. Los incendios de tamaño intermedio (100 a <1000 ha) agruparon el 9,4 % de las ocurrencias (n=93) y abarcaron el 24,8 % del área (21805,5 ha).

La distribución espacial de las cicatrices de fuego durante la temporada 2026 exhibió un patrón geográfico heterogéneo y altamente concentrado, el cual estuvo fuertemente condicionado por la topografía del relieve andino. El mapa de áreas quemadas reveló que la mayor densidad y extensión de los incendios se aglomeró en el eje central y suroriental del departamento, dominando las tierras bajas, planicies y lomeríos adyacentes al valle del río Magdalena (Figura 1A). Espacialmente, se identifican extensos clústeres de incendios de gran tamaño que impactaron de manera crítica la jurisdicción de municipios del centro y

sur como Natagaima, Coyaima, Ataco, Ortega y San Luis, así como sectores de Cunday, Prado y Villarrica hacia el oriente.

Al contrastar la extensión de la temporada de 2026 frente a la serie de tiempo histórica provista por MapBiomas Fuego Colombia (2000-2025) para el mismo trimestre, se corroboró cuantitativamente la magnitud anómala del evento (120912,81 ha en toda la serie), la mayor área quemada se encuentra en la parte centro y centro sur del Tolima (Figura 1B). El promedio histórico de área quemada departamental para los meses de julio a septiembre se situó en 4650,5 ha anuales, con un máximo previo de 10955,8 ha.

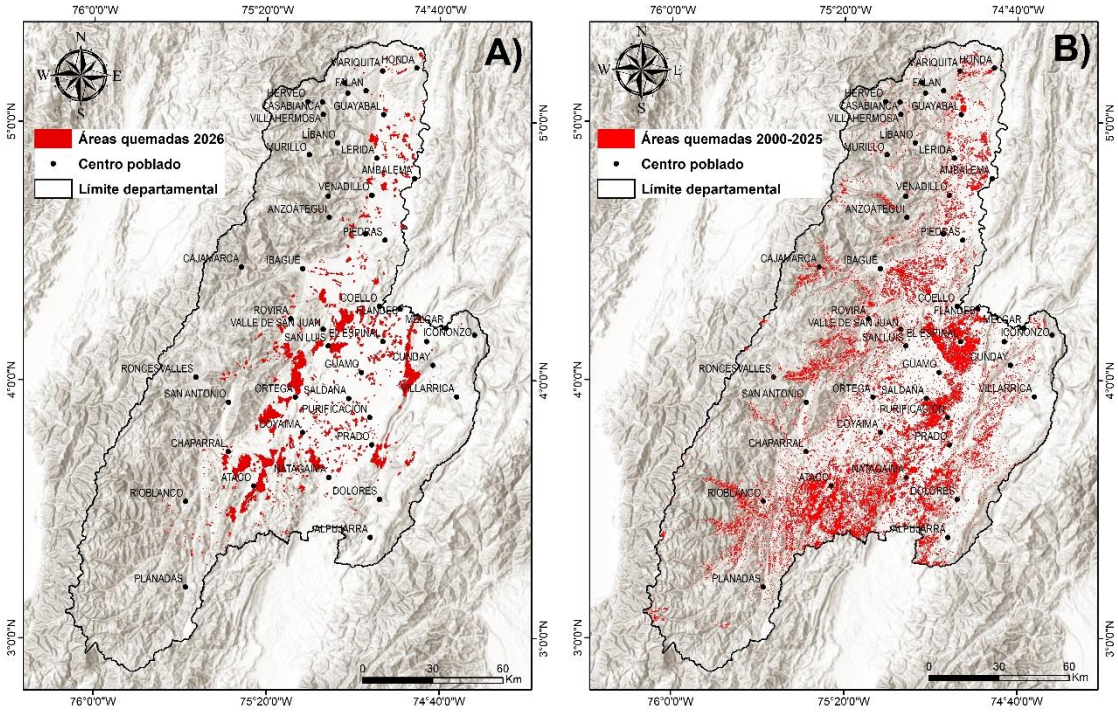


Figura 1. Áreas quemadas en el Tolima. A) temporada 2026 y B) histórico 2020-2026

En este contexto, la superficie arrasada en 2026 superó en un 1791 % la media de los últimos 26 años y multiplicó por ocho el peor escenario histórico registrado (Figura 2). Resulta particularmente notable la transición en el régimen de tamaño de las igniciones. De acuerdo con el registro satelital de los últimos 26 años, el territorio no reportaba eventos individuales de fuego superiores a las 1000 hectáreas durante este trimestre (el máximo histórico individual documentado fue de 606,9 ha). La irrupción de 18 eventos de gran extensión en una sola temporada constata un salto hacia un comportamiento del fuego que desborda los umbrales históricos de mapeados para el departamento.

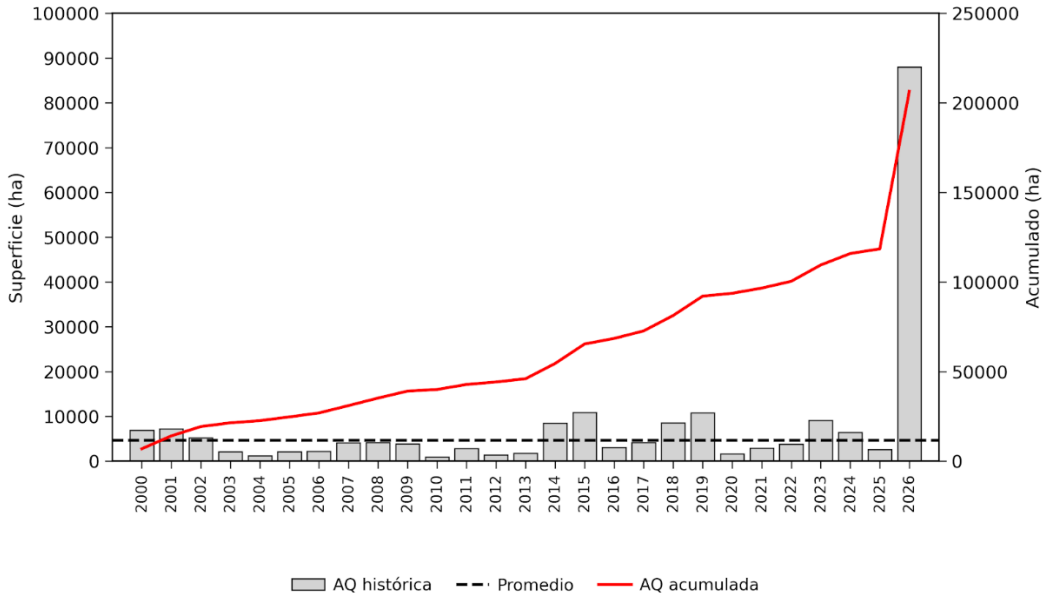


Figura 2. Serie de tiempo del área quemada durante la temporada julio-septiembre 2000-2025

La comparación entre la temporada 2026 y la línea base histórica (2000-2025) reveló una alteración en el régimen de fuego, caracterizada por una profunda asimetría espacial (Figura 3). En términos de frecuencia (A), aunque los incendios pequeños (< 100 ha) mostraron una reducción frente a la media histórica (de 1175 a 874 eventos), se documentó un incremento exponencial en las igniciones de mayor magnitud. Los incendios de tamaño intermedio (100 - 1000 ha) ascendieron de un promedio histórico de 2 a 93 eventos, acompañados por la irrupción inédita de 18 grandes incendios forestales (> 1000 ha). Esta transición en el tamaño de los incendios se tradujo en un impacto territorial desproporcionado (B). Mientras que en la serie histórica la superficie afectada dependía de la acumulación de múltiples fuegos pequeños (3977 ha en promedio), durante 2026 los 18 grandes eventos concentraron la mayor proporción del daño ecológico, arrasando 48991 ha. En conjunto, los incendios medianos (21805 ha) y grandes abarcaron más del 80 % de la superficie total quemada de la temporada.

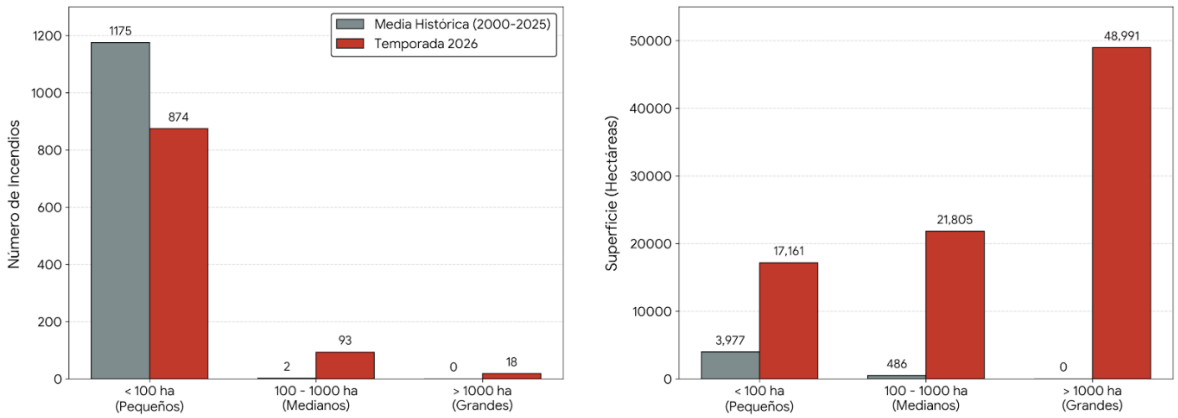


Figura 3. Comparativa de asimetría espacial. (A) Frecuencia de ocurrencia y (B) superficie total afectada agrupada por clases de tamaño, contrastando la temporada 2026 frente a la media de la línea base histórica (2000-2025)

3.2. Dinámica intra-estacional histórica del fuego

El análisis retrospectivo de la serie temporal (2000-2025) evidenció una marcada asimetría en la distribución temporal del fuego durante el segundo trimestre seco. La progresión mensual de la superficie quemada presentó un patrón de escalada, reflejando la acumulación progresiva del déficit hídrico en los combustibles vegetales (Figura 4). Históricamente, el mes de julio opera como una fase de transición, aportando únicamente el 13,4 % (623,9 ha) de la afectación trimestral promedio. Durante agosto, el impacto territorial se duplica, concentrando el 27,8 % (1292,6 ha) de las áreas quemadas. Finalmente, septiembre se consolida de manera sistemática como el clímax estacional de perturbación ecológica, aglomerando el 55,8 % (2734,0 ha) del daño histórico y registrando históricamente los escenarios de mayor magnitud (con picos mensuales de hasta 8457,2 ha en el peor escenario).

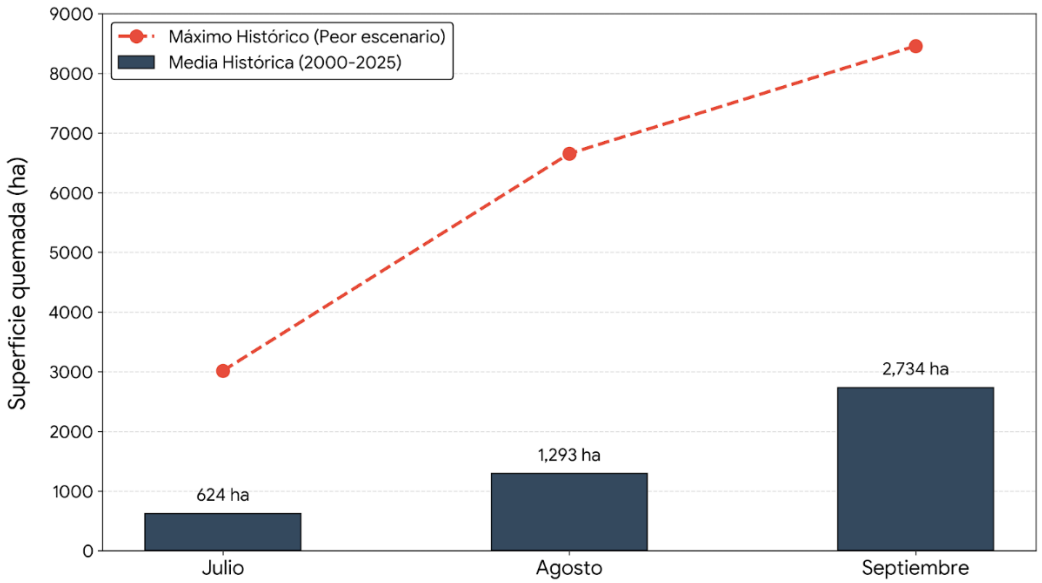


Figura 4. Dinámica intra-estacional (línea base 2000-2025) de la perturbación por fuego

3.3 Distribución de probabilidad acumulada

La distribución de tamaños graficada en escala logarítmica (Log-Log) evidenció un comportamiento estadístico de cola pesada (Figura 5). El ajuste a la distribución empírica para eventos mayores a 100 hectáreas confirmó un patrón regido por una Ley de Potencia, con un exponente de escalamiento $\alpha = 0,87$ ($R^2 = 0,97$). Este exponente inferior a 1 demuestra que la varianza de la superficie afectada tiende al infinito bajo condiciones meteorológicas extremas, constituyendo la comprobación empírica de que el paisaje andino experimentó un estado de criticidad autoorganizada donde los grandes incendios dominaron el régimen de fuego en 2026.

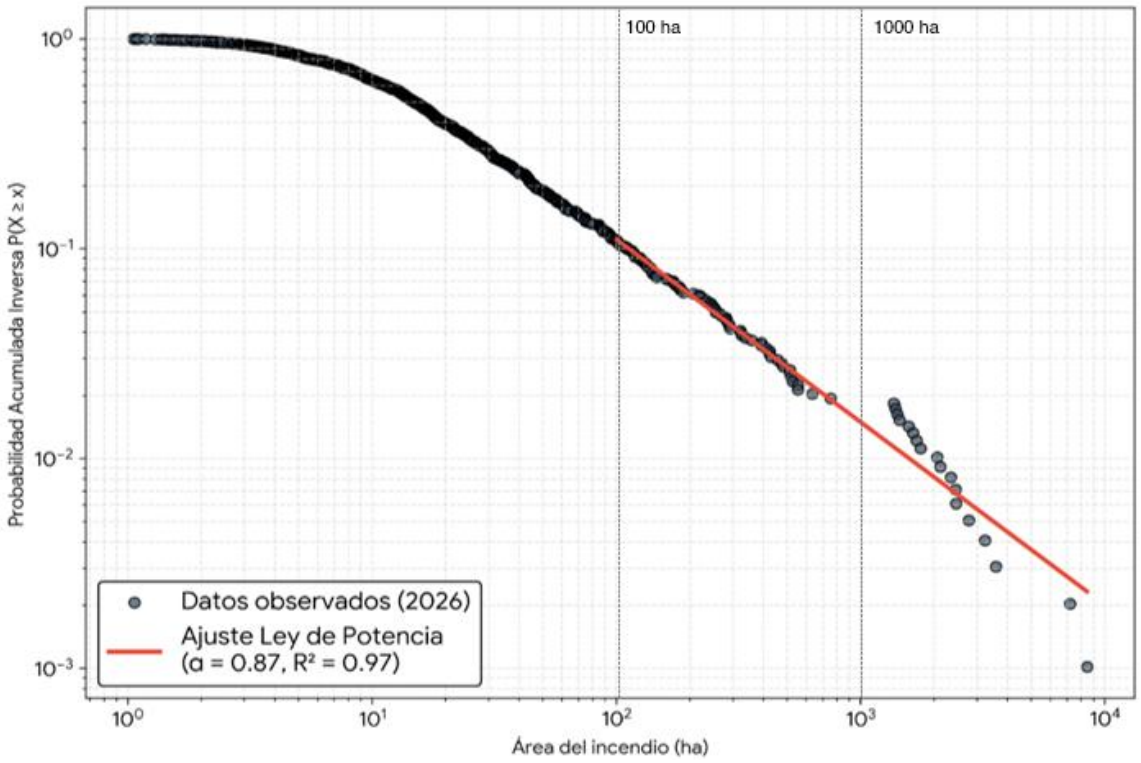


Figura 5. Distribución de probabilidad acumulada inversa del tamaño de los incendios forestales de la temporada 2026 en escala logarítmica (Log-Log). Los puntos representan los datos observados y la línea continua indica el ajuste empírico a un modelo de Ley de Potencia para eventos mayores a 100 hectáreas.

3.4 Incidencia del fuego en áreas de valor ecológico

3.4.1 Sistema de Áreas Protegidas (RUNAP)

La superposición espacial de las cicatrices de fuego evidenció una afectación altamente focalizada sobre el RUNAP en el departamento. En términos absolutos, el impacto se cuantificó en 26,14 ha (0,03 % del área quemada). Esta pérdida recayó específicamente sobre dos figuras de conservación estratégica, 20,48 ha en el Distrito de Conservación de Suelos De Los Cerros del Norte de Ibagué, y 5,67 ha en la Reserva Forestal Protectora Regional San Cristóbal Alto de la Motañuela, ubicada en el municipio de Rovira.

3.4.2 Relictos de bosque seco tropical

El impacto de la temporada sobre los relictos de BsT representa uno de los hallazgos más críticos a nivel ecosistémico. De la línea base de 43539,69 ha de BsT mapeadas para el Tolima, los incendios de la temporada de 2026 afectaron de alguna forma 2609,81 ha. Esto

significa que, en un solo evento trimestral, se quemó aproximadamente el 6% de la cobertura forestal remanente.

3.4.3 Prioridades de conservación nacional (CONPES 3680)

El cruce cartográfico con CONPES 3680 demostró una incidencia sobre áreas que ya presentan un déficit histórico de gestión. Se registró un total de 9808,38 ha quemadas dentro de este portafolio (3,38 % del área quemada). Resulta particularmente alarmante que el 97,5% del total de las áreas CONPES ocurrió sobre ecosistemas catalogados con prioridad de "alta insuficiencia y urgente". Las categorías de "baja insuficiencia y urgente" (127,80 ha) y "omisiones, urgentes, naturales y sin oportunidad" (113,90 ha) obtuvieron la afectación restante.

3.4.4 Distribución por tipos de ecosistema

Se observó que la dinámica del fuego está fuertemente acoplada a la matriz agropecuaria y sus zonas de ecotono (Figura 6). Los agroecosistemas dominaron la estadística de afectación, liderados por el Agroecosistema Ganadero (20,73%), seguido por el Agroecosistema Arrocero (12,42%) y los mosaicos de pastos con espacios naturales (11,07%). En cuanto a las coberturas naturales, el fuego consumió extensas áreas de vegetación de transición y ecosistemas secos, destacándose el Herbazal Basal Húmedo (11,01%), áreas en sucesión de Vegetación Secundaria (8,99%) y Subxerofitia Basal (6,87%). Es crítica también la afectación de 3964 ha del ecosistema bosques de galería (basal húmedo y seco combinados).

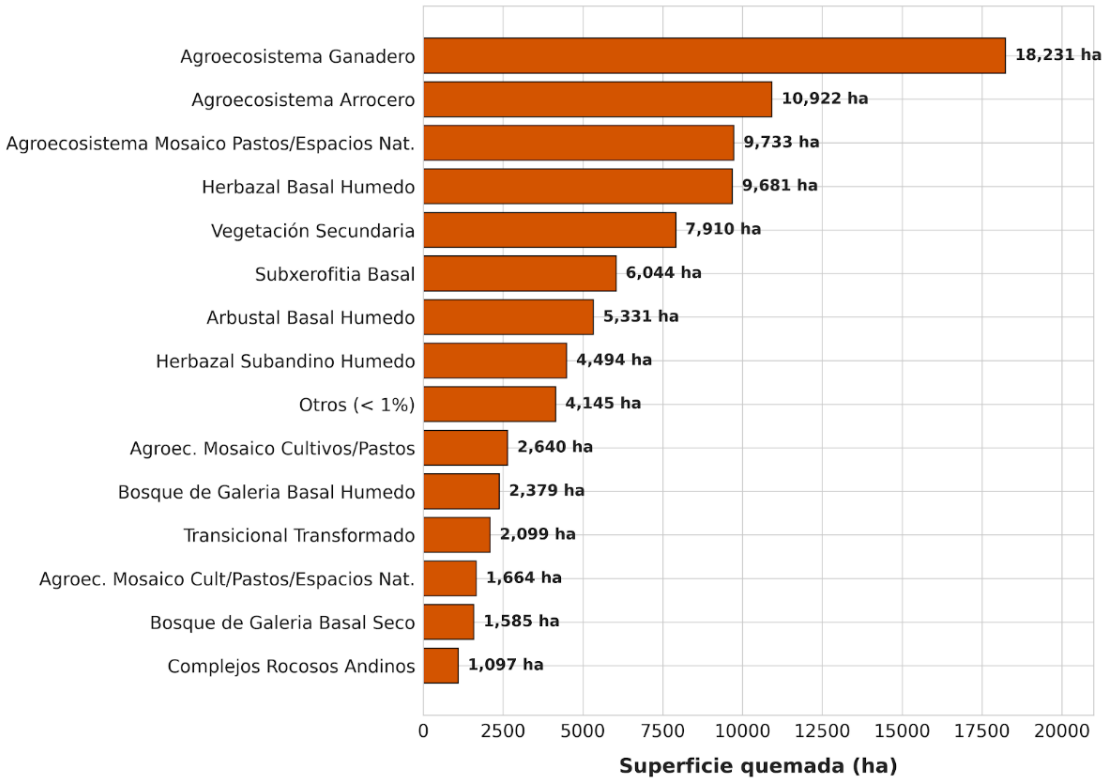


Figura 6. Distribución de la superficie quemada desagregada por principales tipos de ecosistemas

3.5 Incidencia de fuego en áreas de valor socioeconómico

3.5.1 Resguardos Indígenas

La propagación de los incendios generó una severa perturbación sobre los territorios étnicos legalmente constituidos, afectando directamente los medios de vida y el patrimonio biocultural de las comunidades. De los 107 resguardos indígenas identificados en el departamento del Tolima, 46 registraron cicatrices de fuego en su interior, lo que implica que estos territorios experimentaron algún grado de afectación. En términos espaciales, se afectaron 1744,82 ha, cifra que representa el 6,01% del área total acumulada de estos territorios (2903271,28 ha). La afectación fue en su mayoría en el Resguardo Indígena Pijao de Putucnila, en el cual el fuego afectó 375,86 ha, seguido por el Resguardo Indígena Pijao de Lomas de Hilarco (217,55 ha), Zanja Honda (167,99 ha) y El Tambo (141,04 ha).

3.5.2 Zonas de reserva campesina

Las Zonas de Reserva Campesina, figuras territoriales clave para la estabilización de la economía parcelaria y la seguridad alimentaria regional, también sufrieron pérdidas considerables. Sobre una extensión total departamental de 126099,87 ha designadas bajo

esta figura, los incendios afectaron 3317,48 hectáreas (2,63%). La afectación se concentró casi en su totalidad en la ZRC Chaparral "Tierra, Vida y Paz", donde el fuego afectó 2967,75 ha. Otras áreas impactadas, aunque en menor magnitud, incluyeron la ZRC Rovira "Tierra Fértil y Resistente" (328,94 ha) y el polígono correspondiente a Santa Isabel - Anzoátegui (20,78 ha).

3.5.3 Afectación por cobertura del suelo

El desglose de la superficie quemada corroboró un alto nivel de impacto económico sobre la matriz agropecuaria del Tolima (Figura 7). Los cultivos transitorios, específicamente el cultivo de Arroz, constituyeron la cobertura más castigada por la temporada de incendios, concentrando 13370,58 ha (15,21% de la afectación total departamental). La infraestructura ganadera sufrió una fuerte presión, con la pérdida de 11343,57 hade pastos limpios, 9922,94 hectáreas de mosaicos de pastos con espacios naturales, y 5933,27 hectáreas de pastos enmalezados. Simultáneamente, las coberturas de transición y protección hídrica sufrieron daños sustanciales, incluyendo 11118,20 hectáreas de herbazal denso de tierra firme no arbolado, 6264,51 hectáreas de vegetación secundaria baja y 4962,05 hectáreas de bosques de galería, comprometiendo tanto la productividad primaria como la regulación hídrica de los sistemas agrícolas adyacentes. En conjunto las coberturas representan el 71,5 % de la superficie total afectada por incendios durante la temporada 2026.

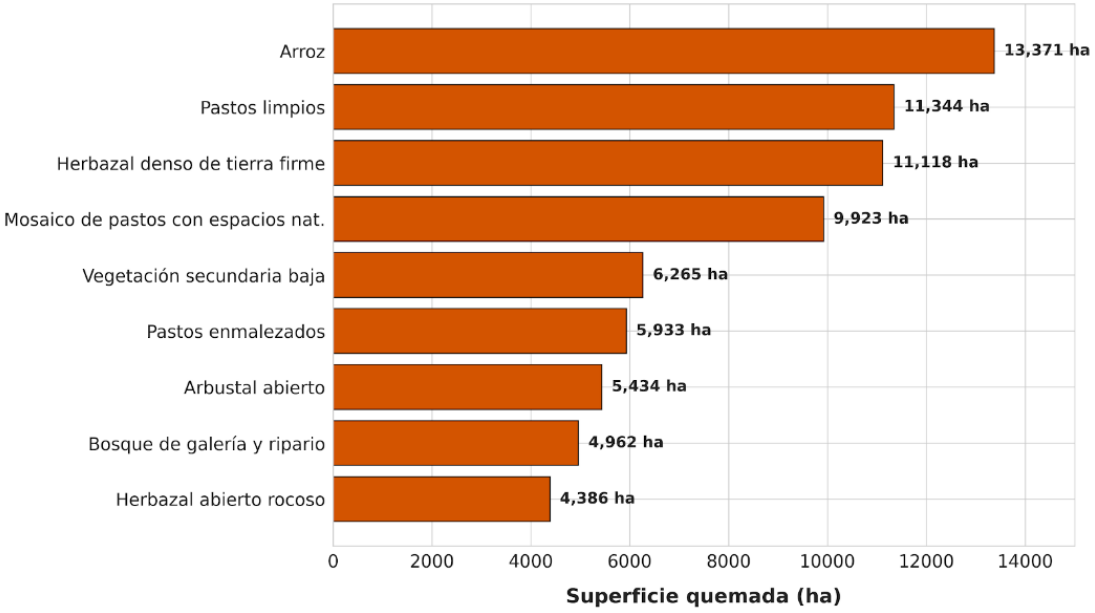


Figura 7. Superficie agrupada por las principales coberturas del suelo afectadas en 2026.

4. Discusión

Los resultados de la temporada 2026 evidenciaron una alteración en el régimen de fuego del departamento del Tolima, impulsada por la convergencia de vulnerabilidades estructurales y el forzamiento meteorológico del fenómeno de El Niño (Minambiente, 2026). La magnitud del área quemada, que superó en un 1791 % la media histórica (2000-2025), esto constata que los umbrales de resiliencia del paisaje han sido sobrepasados. El hallazgo relevante de este estudio es la comprobación empírica de una asimetría espacial, ya que tan solo el 1,8 % de las áreas quemadas (eventos ≥ 1000 ha) fueron responsables del 55,7 % del área total afectada. Este comportamiento, donde la distribución de tamaños pierde su escala característica, demuestra que bajo condiciones de sequía extrema, el paisaje andino experimentó un estado de criticidad autoorganizada.

Estos hallazgos concuerdan con la investigación de Naval et al. (2023) en Argentina, quienes evidenciaron que, bajo forzamientos meteorológicos extremos, las barreras topográficas pierden eficacia y una inferior proporción de igniciones concentra casi toda la superficie afectada. Esta propagación no lineal desborda la capacidad de extinción operativa, exigiendo un cambio urgente hacia el manejo preventivo del territorio. Dicha vulnerabilidad está intrínsecamente ligada al forzamiento macroclimático de El Niño (ENOS); tal como lo demostraron Neger et al. (2022) en México, donde la génesis de estos megaincendios está fuertemente correlacionada con anomalías negativas de precipitación, ocurriendo invariablemente bajo la convergencia de sequías prolongadas, altas temperaturas y vientos intensos.

Es en este contexto analítico, cobra relevancia el concepto global de "megaincendio" (megafires, en inglés). Aunque en la literatura científica global este término es común, la ecología del fuego suele asociarlo a eventos catastróficos que, además de desbordar la capacidad de supresión, superan el umbral de las 10000 ha (Linley et al., 2022). En el contexto colombiano este término aún no cuenta con un consenso operativo estricto, si bien el incendio más grande mapeado en la temporada 2026 en el Tolima alcanzó las 7204 ha, su proximidad a dicho umbral y la comprobación empírica de una distribución de tamaños constituyen una alerta temprana indiscutible. Por lo tanto, la materialización de verdaderos megaincendios (> 10000 ha) en los Andes durante futuras oscilaciones extremas de El Niño ha dejado de ser una especulación teórica para convertirse en un escenario probable, lo que exige una reingeniería urgente en la política nacional de gestión del riesgo de

desastres, transitando de la supresión reactiva al manejo preventivo del paisaje (UNEP, 2022).

Durante la temporada de 2024, el departamento del Tolima ya había experimentado un evento extremo de aproximadamente 8000 ha en el municipio de Natagaima (Perea-Ardila & Murillo-Sandoval, 2025; UNGRD, 2024). Dicho evento debió operar como una alerta temprana sobre las consecuencias negativas de la sinergia entre el fenómeno de El Niño y la acumulación de combustibles secos en la región. No obstante, la irrupción de múltiples incendios de gran tamaño durante 2026 evidenciaron que las advertencias ecológicas de 2024 no se tradujeron en una adaptación estructural de las capacidades operativas e institucionales, permitiendo que las vulnerabilidades del territorio facilitaran una catástrofe a una escala aún mayor (Gobernación del Tolima, 2026).

Por otro lado, la incidencia espacial sobre la infraestructura ecológica reveló un escenario de afectación, particularmente en el BsT. La afectación de más de 2600 ha, equivalentes a un 6 % del total remanente en el Tolima en un solo trimestre, representa un impacto ecosistémico. Esta severidad fomenta un ciclo de retroalimentación positiva (fuego-pasto), donde la apertura del dosel arbóreo facilita la rápida colonización de gramíneas altamente inflamables (Hoffmann et al., 2003; Vilá et al., 2001). Esto agrava esta situación la distribución espacial del impacto respecto a los portafolios de conservación nacional. El hecho de que el 97,5 % de las 9808 ha dentro de CONPES (3,38 % del área quemada total) coincida con las prioridades del CONPES 3680 sobre zonas de "alta insuficiencia y urgente necesidad de gestión", esto subraya una desconexión entre las declaratorias de protección de papel las prioridades territoriales.

Si bien la afectación en el RUNAP (26,14 ha) parece marginal en términos absolutos, esta cifra debe interpretarse con cautela debido al histórico déficit de representatividad que sufre el BsT en el sistema de conservación colombiano (Corzo et al., 2023). Dado que la inmensa mayoría de los relictos de BsT carecen de figuras de protección estricta, la baja afectación nominal dentro del RUNAP no refleja una contención exitosa del fuego, sino la desprotección jurídica del ecosistema que arden masivamente en su matriz exterior (Corzo et al., 2023; Mejía & Mendieta, 2016). Aun así, la mera ocurrencia de fuegos al interior de los pocos Distritos de Conservación y Reservas Forestales Protectoras existentes, indica que incluso estos escasos núcleos de conservación estricta no están exentos del escape de igniciones circundantes (Cardil et al., 2026).

Asimismo, el análisis detallado de las coberturas del suelo confirma que la dinámica del fuego en el Tolima está intrínsecamente ligada a la frontera agropecuaria (Armenteras, 2024). La masiva concentración del impacto en agroecosistemas ganaderos, arroceros y mosaicos de pastos, que en conjunto sumaron el 71,5 % de la afectación total del área quemada, apunta que el origen del fuego sigue un patrón cultural de quema para limpieza de terrenos y renovación de pasturas (Armenteras et al., 2018). Bajo las condiciones anómalas de 2026, estas igniciones escaparon del control local, utilizando los ecotonos de herbazales y vegetación secundaria como vectores de propagación hacia ecosistemas naturales contiguos. Este desbordamiento generó una profunda crisis socioeconómica en las áreas de protección cultural y campesina (Cortolima, 2026). La afectación de casi el 6,01 % de los resguardos indígenas del Tolima (destacando el impacto en comunidades Pijao como Putucnila y Lomas de Hilarco), compromete no solo la base de sus medios de vida y soberanía alimentaria, sino su patrimonio biocultural. Del mismo modo, la afectación de 2967 ha al interior de la Zona de Reserva Campesina Chaparral "Tierra, Vida y Paz" representa un retroceso directo en los procesos de estabilización socioambiental e implementación de acuerdos agrarios en el posconflicto (Santaella, 2017).

Desde una perspectiva geomática, la principal contribución de este estudio radicó en demostrar la necesidad estricta de transitar hacia resoluciones espaciales finas (10 m) para el diagnóstico de incendios forestales en ecosistemas andinos fragmentados. La capacidad de la constelación Sentinel-2 para cartografiar con alta fidelidad geométrica los 874 incendios menores a 100 hectáreas (88,7 % de la frecuencia total) reduce drásticamente el sesgo histórico de omisión inherente a los productos globales derivados de sensores térmicos o multiespectrales de mediana resolución como MODIS o VIIRS (Chuvieco et al., 2019). Este nivel de detalle probó ser indispensable para revelar la verdadera asimetría espacial del régimen de fuego y cuantificar con exactitud la infiltración del daño en infraestructuras ecológicas críticas (Colonna et al., 2026).

No obstante, el enfoque presente estudio presenta limitaciones inherentes a la teledetección óptica pasiva. La persistencia de la cobertura nubosa, característica de la compleja orografía andina y la presencia de densas plumas de humo durante la fase activa de los grandes incendios, restringieron temporalmente la disponibilidad de mosaicos libres de ruido atmosférico. Sumado a esto, la rápida regeneración fenológica (rebrote post-fuego) de los pastizales y la vegetación secundaria en ambientes neotropicales tiende a difuminar la señal radiométrica de las cicatrices en un lapso corto de tiempo (López, 2020). En

consecuencia, al estar el mapeo parcialmente condicionado por detecciones activas previas (focos de calor), el inventario es susceptible a errores de omisión sistemáticos en incendios de sotobosque superficiales de baja energía radiativa o en frentes de avance rápidamente extinguidos bajo nubes. Todo esto implica que las 87957 ha totales reportadas deben interpretarse como una estimación conservadora frente a la magnitud real del desastre temporal. Desde una perspectiva de escala espacial, resulta necesario evitar sesgos de interpretación frente a la magnitud del impacto departamental. Si bien áreas quemadas representan el 3,7 % de la superficie total del Tolima, este valor regional enmascara la severidad local del desastre ecológico. Al analizar la incidencia a una escala ecosistémica más fina, se evidencia que el fuego no se distribuyó de manera homogénea en el territorio, sino que se localizó en zonas específicas (Figura 1).

Asimismo, es necesario reflexionar sobre la naturaleza de la línea base histórica utilizada para la comparativa estacional. La Colección 1 de MapBiomas Fuego Colombia constituye un esfuerzo analítico y representa el único insumo geoespacial continuo disponible para Colombia que permite evaluar la trayectoria del fuego a nivel departamental a lo largo de las últimas dos décadas y media (2000-2025) (MapBiomas, 2026). Sin embargo, al tratarse de una primera versión del producto basada en mosaicos de la serie Landsat (30 metros de resolución espacial), es probable que exista una subestimación intrínseca del área quemada histórica, particularmente en la detección de cicatrices menores a 100 hectáreas que dominan la frecuencia de igniciones en los paisajes andinos fragmentados (Alencar et al., 2022; Roteta et al., 2019).

Para superar estas barreras analíticas, los estudios futuros en la ecología del fuego colombiana deberán evolucionar hacia la fusión sinérgica de múltiples sensores. La integración de imágenes satelitales de Radar de Apertura Sintética (SAR), capaces de penetrar la interferencia atmosférica y el humo, resulta prioritaria para garantizar auditorías territoriales continuas (Hadj-Rabah, 2026). Asimismo, resulta necesario automatizar los flujos de extracción de cicatrices mediante arquitecturas de aprendizaje profundo acopladas a constelaciones de muy alta cadencia temporal (como PlanetScope), agilizando los tiempos de respuesta operativa post-desastre (Martins et al., 2022). Finalmente, la cartografía detallada consolidada en esta investigación constituye el insumo empírico ideal para futuras líneas de trabajo orientadas a evaluar el fenómeno de coalescencia espacial de los grandes incendios en los BsT, validar modelos predictivos de susceptibilidad y

adaptar marcos metodológicos que permitan evaluar y comparar la incertidumbre de los inventarios (registros) institucionales de incendios forestales frente a la evidencia satelital.

5. Conclusiones

La temporada seca de 2026 marcó un punto de inflexión en la dinámica del fuego en el departamento del Tolima. El análisis espacial comprobó que el fenómeno de El Niño no solo aumentó la magnitud superficial de las quemas, alcanzando un estimado conservador de 87957 ha (un incremento superior al 1.700 % frente al promedio trimestral histórico), sino que alteró fundamentalmente el régimen local. La irrupción de 18 grandes incendios mayores a 1000 ha, históricamente ausentes en los registros satelitales del departamento, evidenciaron la transición hacia un estado de criticidad autorganizada.

El impacto sobre el patrimonio natural y sociocultural demanda una reevaluación urgente de la política ambiental territorial. La afectación trimestral de aproximadamente el 6 % de la cobertura departamental remanente de BsT, sumada a la fuerte concentración de cicatrices en ecosistemas con alta insuficiencia de gestión (CONPES 3680) y la afectación directa del RUNAP, expone el avance de la frontera agropecuaria y la aceleración del ciclo fuego-pasto. Paralelamente, la penetración del fuego en el 6,01 % de los resguardos indígenas Pijao y la severa afectación de Zonas de Reserva Campesina demuestran que los eventos de incendios amenazan de manera directa los medios de vida, la soberanía alimentaria y la estabilización socioeconómica regional.

Finalmente, la materialización estadística de igniciones cercanas al umbral internacional de los grandes incendios confirma que el escenario de riesgo extremo ha dejado de ser una proyección climática distante, lo que exige el abandono del paradigma reactivo de extinción en favor de estrategias proactivas de gobernanza territorial y manejo preventivo de combustibles vegetales. Ante el presnete vacío de información institucional, la presente investigación constituye un primer esfuerzo por mapear y dimensionar este fenómeno, proporcionando la primera evidencia empírica de los impactos territoriales atribuidos a esta temporada de grandes incendios en el departamento.

6. Referencias

Alencar, A. A. C., Arruda, V. L. S., da Silva, W. V., Conciani, D. E., Costa, D. P., Crusco, N., Duverger, S. G., Ferreira, N. C., Franca-Rocha, W., Hasenack, H., Martenexen, L. F. M., Piontekowski, V. J., Ribeiro, N. V., Rosa, E. R., Rosa, M. R., Dos Santos, S. M. B., Shimbo, J. Z., & Vélez-Martin, E. (2022). Long-Term Landsat-Based Monthly Burned Area Dataset for the Brazilian Biomes Using Deep Learning. *Remote Sensing*, *14*(11), 1–29. https://doi.org/10.3390/rs14112510

Andela, N., Morton, D. C., Giglio, L., Chen, Y., Van Der Werf, G. R., Kasibhatla, P. S., DeFries, R. S., Collatz, G. J., Hantson, S., Kloster, S., Bachelet, D., Forrest, M., Lasslop, G., Li, F., Mangeon, S., Melton, J. R., Yue, C., & Randerson, J. T. (2017). A human-driven decline in global burned area. *Science*, *356*(6345), 1356–1362. https://doi.org/10.1126/science.aal4108

Argañaraz, J. P., Pizarro, G. G., Zak, M., & Bellis, L. M. (2015). Fire regime, climate, and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina. *Fire Ecology*, *11*(1), 55–73. https://doi.org/10.4996/fireecology.1101055

Armenteras-Pascual, D., Retana-Alumbreros, J., Molowny-Horas, R., Roman-Cuesta, R. M., Gonzalez-Alonso, F., & Morales-Rivas, M. (2011). Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agricultural and Forest Meteorology*, *151*(3), 279–289. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.002

Armenteras, D. (2024). Repensando la gestión de incendios forestales en Suramérica: un enfoque integrado en la era del cambio climático. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *48*(186), 210–215. https://doi.org/10.18257/raccefyn.2600

Armenteras, D., González, T., Meza, M., Ramírez-Delgado, J. P., Cabrera, E., Galindo, G., & Yepes, A. (2018). *Causas de Degradación Forestal en Colombia: una primera aproximación.* Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia-IDEAM, Programa ONU-REDD.

Bowman, D. M. J. S., Kolden, C. A., Abatzoglou, J. T., Johnston, F. H., van der Werf, G. R., & Flannigan, M. (2020). Vegetation fires in the Anthropocene. *Nature Reviews Earth and Environment*, *1*(10), 500–515. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0085-3

Cardil, A., Rodrigues, M., Ascoli, D., Ortega, M., Quiñones, T., Erdozain, M., Oliveras, I., Spadoni, G. L., Rampirez, J., Molina, J. R., Mouillot, F., Silva, C. A., Mohan, M., Martínez-Bentué, C., & De-Miguel, S. (2026). Protected areas influence fire regimes globally. *Journal of Environmental Management*, *398*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.128285

Chen, Y., Morton, D. C., Andela, N., Werf, G. R. Van Der, Giglio, L., & Randerson, J. T. (2017). A pan-tropical cascade of fire driven by El Niño/Southern Oscillation. *Nature Climate Change*, *7*, 906–911. https://doi.org/10.1038/s41558-017-0014-8

Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanasse, M., Koutsias, N., García, M., Yebra, M., Padilla, M., Gitas, I., Heil, A., Hawbaker, T. J., & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, *225*(November 2018), 45–64. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013

Chuvieco, E., Pettinari, M. L., Koutsias, N., Forkel, M., Hantson, S., & Turco, M. (2021). Human and climate drivers of global biomass burning variability. *Science of the Total Environment*, *779*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146361

Clauset, A., Shalizi, C. R., & Newman, M. E. (2009). Power-Law Distributions in Empirical Data∗. *SIAM Review*, *51*(4), 661–703.

Colonna, R., Filizzola, C., Di Leo, V., Mancusi, I., Lisi, M., & Tramutoli, V. (2026). High-Resolution Burned Area Mapping Using Sentinel-2 Imagery and Robust Satellite Techniques. *Remote Sensing*, *18*, 1–27.

Cortolima. (2014). *Atlas ambiental del Tolima*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Tolima.

Cortolima. (2024). *Plan de gestión ambiental regional del Tolima 2024-2050*. https://cortolima.gov.co/images/pgar/documentos/Cartilla_PGAR_2024_-_2050_v3.pdf

Cortolima. (2026, August 22). *Incendios forestales han afectado más de 22.000 hectáreas en el Tolima*. https://cortolima.gov.co/sala-de-prensa/noticias/4598-incendios-forestales-han-afectado-mas-de-22-000-hectareas-en-el-tolima

Corzo, G., Corral-Gómez, J. N., Castillo, L. S., Correa, C., & Vargas, S. (2023). Efectividad de las áreas protegidas del bosque seco tropical. In L. A. Moreno & G. Andrade (Eds.), *Biodiversidad: umbrales de transformación. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia* (p. 29). . Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Cui, W., & Perera, A. (2008). What do we know about forest fire size distribution, and why is this knowledge useful for forest management? *International Journal OfWildland Fire*, *17*, 234–244.

Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D. P., Humber, M. L., & Justice, C. O. (2018). The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*, *217*, 72–85. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, *202*, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Hadj-Rabah, R. (2026). Assessment of Dual-Polarization Sentinel-1 SAR Data for Improved Wildfire Burned Area Mapping: A Case Study of the Palisades Region, USA. *Geomatics*, *6*, 1–20.

Hantson, S., Pueyo, S., & Chuvieco, E. (2014). Global fire size distribution is driven by human impact and climate. *Global Ecology and Biogeography*, *24*, 1–10. https://doi.org/10.1111/geb.12246

Hoffmann, W. A., Schroeder, W., & Jackson, R. B. (2003). Regional feedbacks among fire, climate, and tropical deforestation. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-ATMOSPHERES*, *108*(D23). https://doi.org/10.1029/2003JD003494 WE - Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)

IDEAM. (2026, September 14). *Semana de contrastes en el país: Alertas activas por incendios y deslizamientos de tierra a mediados de septiembre*. https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/noticia/semana-de-contrastes-en-el-pais-alertas-activas-por-incendios-y-deslizamientos-de-tierra-mediados-de

IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf

Jolly, W. M., Cochrane, M. A., Freeborn, P. H., Holden, Z. A., Brown, T. J., Williamson, G. J., & Bowman, D. M. J. S. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, *6*(1), 1–11.

https://doi.org/10.1038/ncomms8537

Kelly, L. T., Giljohann, K. M., Duane, A., Aquilué, N., Archibald, S., Batllori, E., Bennett, A. F., Buckland, S. T., Canelles, Q., Clarke, M. F., Fortin, M., Hermoso, V., Herrando, S., Keane, R. E., Lake, F. K., Mccarthy, M. A., Morán-ordóñez, A., Parr, C. L., Pausas, J. G., … Brotons, L. (2020). Fire and biodiversity in the Anthropocene. *Science*, *370*(929), 1–10. https://doi.org/10.1126/science.abb0355

Linley, G. D., Jolly, C. J., Doherty, T. S., Geary, W. L., Armenteras, D., Belcher, C. M., Bliege Bird, R., Duane, A., Fletcher, M., Giorgis, M. A., Haslem, A., Jones, G. M., Kelly, L. T., Lee, C. K. F., Nolan, R. H., Parr, C. L., Pausas, J. G., Price, J. N., Regos, A., … Nimmo, D. G. (2022). What do you mean, 'megafire'? *Global Ecology and Biogeography*, *31*(10), 1906–1922. https://doi.org/10.1111/geb.13499

López, A. (2020). Estudio de la severidad del incendio de 2012 y regeneración de la vegetación del Bosque La Primavera, México, mediante imágenes LANDSAT 7. *Revista Cartográfica*, *101*, 35–50.

Malamud, B., Morein, G., & Turcotte, D. (1998). Forest Fires: An Example of Self-Organized Critical Behavior. *Science*, *5384*(1840–1842).

MapBiomas. (2026). *MapBiomas Fuego: Documento de base teórica sobre algoritmos (ATBD). MapBiomas Fuego Colombia, Colección 1.* https://colombia.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/9/2026/09/Apendice-General-MapBiomas-Fuego-Colombia-C1.0-ES.pdf

Martins, V. S., Roy, D. P., Huang, H., Boschetti, L., Zhang, H. K., & Yan, L. (2022). Deep learning high resolution burned area mapping by transfer learning from Landsat-8 to PlanetScope. *Remote Sensing of Environment*, *280*, 1–20. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113203

Mejía, L., & Mendieta, I. (2016). *¿Parques de papel? Áreas protegidas y deforestación en Colombia* (No. 248; Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional). https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_248.pdf

Minambiente. (2026, May 28). *Minambiente activa medidas para actuar frente al fenómeno de El Niño*. https://www.minambiente.gov.co/minambiente-activa-17-medidas-y-recomendaciones-para-actuar-frente-al-fenomeno-de-el-nino-en-colombia/

Naval, M., Albornoz, J., Bellis, L., Baldini, C., Arcamone, J., Silvetti, L., Álvarez, M., & Argañaraz, J. (2023). Megaincendios 2020 en Córdoba: Incidencia del fuego en áreas de valor ecológico y socioeconómico. *Ecología Austral*, *33*, 136–151.

Neger, C., León-Cruz, J., Sarmiento, L., & Manzo-Delgado, L. (2022). Dinámica espaciotemporal, causas y efectos de los megaincendios forestales en México. *Madera y Bosques*, *28*(2), 1–21. https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822453

Perea-Ardila, M. A., & Murillo-Sandoval, P. J. (2025). Evaluación de las áreas quemadas durante el megaincendio de Natagaima, Tolima 2024 mediante teledetección satelital. *VII Congreso Internacional de Ciencias Agrarias y Ambientales (CICAA 2025): Verde Digital: Innovación y Transformación Tecnológica*. https://eventos.unad.edu.co/vii-congreso-internacional-de-ciencias-agrarias-y-ambientales-cicaa-2025-verde-digital-innovacion-y-transformacion-tecnologica

Roteta, E., Bastarrika, A., Franquesa, M., & Chuvieco, E. (2021). Landsat and Sentinel-2

Based Burned Area Mapping Tools in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, *13*, 1–28.

Roteta, E., Bastarrika, A., Padilla, M., Storm, T., & Chuvieco, E. (2019). Development of a Sentinel-2 burned area algorithm : Generation of a small fi re database for sub-Saharan Africa. *Remote Sensing of Environment*, *222*, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.011

Santaella, H. (2017). Acuerdo de Desarrollo Rural Integral y derecho agrario del posconflicto: mitos , verdades y desafíos de su materialización. *Revista Digital de Derecho Administrativo*, *17*, 311–342.

Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., & Csiszar, I. A. (2014). The New VIIRS 375m 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

Tolima, G. del. (2026, August 14). *Se declara la calamidad pública en el Tolima ante emergencia por incendios*. https://tolima.gov.co/noticias/10190-se-declara-la-calamidad-publica-en-el-tolima-ante-emergencia-por-incendios

UNEP. (2022). Spreading like Wildfire – The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires. A UNEP Rapid Response Assessment. In A. Sullivan, E. Baker, & T. Kurvis (Eds.), *United Nations Environment Programme*. United Nations Environment Programme. https://doi.org/10.1038/news000413-8

UNGRD. (2019). *Lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28309/Cartilla_Incendios_2019-.pdf?sequence=4

UNGRD. (2024, September 20). *Incendios forestales: Natagaima y Aipe concentran el 83% de las operaciones aéreas en el país*. https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2024/Incendios-forestales-Natagaima-y-Aipe-concentran-el-83-de-las-operaciones-aereas-en-el-pais.aspx

UNGRD. (2026, October 6). *En septiembre, UNGRD activó capacidades para apoyar la respuesta a incendios forestales*. http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2026/En-septiembre-UNGRD-activo-capacidades-para-apoyar-la-respuesta-a-incendios-forestales.aspx

Vilá, M., Lloret, F., Ogheri, E., & Terradas, J. (2001). Positive fire-grass feedback in Mediterranean Basin woodlands. *Forest Ecology and Management*, *147*, 1–14.