

Fecha de recibido: 14-05-2025  
Fecha de aceptado: 08-10-2025  
DOI: 10.22490/21456453.9874

# EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DEL MUNICIPIO DE AIPE, HUILA, COLOMBIA, Y SUS RESERVAS NATURALES DE LA SOCIEDAD CIVIL DURANTE LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS

## MULTITEMPORAL ASSESSMENT OF LAND COVER IN THE MUNICIPALITY OF AIPE, HUILA, COLOMBIA, AND ITS CIVIL SOCIETY NATURE RESERVES OVER THE PAST 30 YEARS

Diego Alejandro Tello-Ochoa <sup>1</sup>

María Daniela Pulido-Osorio <sup>2</sup>

Carmen Elena Barragán-Ruiz <sup>3</sup>

**Citación:** Tello-Ochoa, D.A., Pulido-Osorio, M.D., Barragán-Ruiz, C.E. (2026). Evaluación multitemporal de la cobertura vegetal del municipio de Aipe, Huila, Colombia, y sus reservas naturales de la sociedad civil durante los últimos 30 años. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 17(1), 295 - 317. <https://doi.org/10.22490/21456453.9874>

<sup>1</sup> Biólogo, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. diegochoa1998@hotmail.com

<sup>2</sup> Especialista Sistemas de Información Geográfica, Fundación Universitaria Navarra-Uninavarra, Neiva, Colombia. maria.pulidoosorio8@gmail.com

<sup>3</sup> Doctora en Ecología y Recursos Naturales, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil. car.hele.ruiz@gmail.com

# RESUMEN

**Contextualización:** Las actividades antrópicas son responsables por la transformación de los ecosistemas, alterando visiblemente su estructura ecológica y funcionalidad. En Colombia, uno de los biomas más impactados por estas transformaciones es el bosque seco tropical, presente en áreas restringidas del país. El municipio de Aipe alberga relictos de este ecosistema, destacándose por su relevancia ecológica y necesidad de conservación.

**Vacío de conocimiento:** A pesar de la reconocida presencia de bosque seco tropical en Aipe, persiste un vacío de conocimiento acerca de la dinámica de su cobertura vegetal en las últimas décadas, especialmente frente al impacto de las actividades antrópicas y los procesos de desertificación. Esta limitación restringe la comprensión de las transformaciones del paisaje y dificulta la formulación de estrategias eficaces de conservación y manejo. En este contexto, resulta prioritario generar información actualizada que permita evaluar con precisión los cambios en la cobertura vegetal y orientar la toma de decisiones en materia de gestión ambiental a escala local.

**Propósito:** Evaluar la cobertura vegetal del municipio de Aipe y sus reservas naturales de la sociedad civil a partir de un análisis multitemporal durante 30 años con uso de los Sistemas de Información Geográfica.

**Metodología:** Se aplicó clasificación supervisada mediante el algoritmo de “Máxima probabilidad”, realizando análisis con el índice de grado de fragmentación, conectividad y matrices de transición a la cobertura boscosa usando el software libre Qgis en su versión 3.28 y la extensión SemiAutomátic Classification Plugin - SCP versión 7.10.11.

**Resultados y conclusiones:** Entre 1992 y 2022, el municipio de Aipe experimentó una reducción de su cobertura boscosa, que descendió del 41,6% al 34,1% (-5.993 ha), mientras los pastizales y áreas agrícolas aumentaron progresivamente, confirmando la expansión agropecuaria como principal motor de transformación del paisaje. El análisis reveló que los bosques fueron remplazados primero por vegetación herbácea (1992-2010) y luego por pastos (2010-2022), con cambios estadísticamente significativos. El índice de fragmentación evidenció un deterioro progresivo ( $R^2 = 0,9229$ ), reflejando pérdida de conectividad y tendencia hacia la insularización de los parches. En las Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC), la cobertura mostró mayor estabilidad inicial, pero entre 2010 y 2022 se evidenció un aumento significativo de pastos.

**Palabras clave:** antropización, clasificación supervisada, fragmentación del bosque, paisaje, SIG.

# ABSTRACT

**Contextualization:** Anthropogenic activities are responsible for the transformation of ecosystems, visibly altering their ecological structure and functionality. In Colombia, one of the most impacted biomes by these transformations is the Tropical Dry Forest, which is restricted to limited areas of the country. The municipality of Aipe harbors remnants of this ecosystem, standing out for its ecological relevance and urgent need for conservation.

**Knowledge gap:** Despite the acknowledged presence of Tropical Dry Forest in Aipe, there remains a gap in knowledge regarding the dynamics of its vegetation cover over the past decades, particularly in relation to the impacts of human activities and desertification processes. This limitation constrains the understanding of landscape transformations and hinders the development of effective conservation and management strategies. In this context, generating updated information to accurately assess vegetation cover changes is a priority for guiding local-scale environmental management decisions.

**Purpose:** To assess the vegetation cover of the municipality of Aipe and its Civil Society Nature Reserves through a 30-year multitemporal analysis using Geographic Information Systems.

**Methodology:** Supervised classification was applied using the Maximum Likelihood algorithm, complemented by analyses of the fragmentation index, connectivity, and transition matrices of forest cover. The analyses were performed in QGIS version 3.28 with the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) version 7.10.11.

**Results and conclusions:** Between 1992 and 2022, Aipe experienced a decline in forest cover from 41.6% to 34.1% (-5,993 ha), while grasslands and agricultural areas progressively expanded, confirming agricultural development as the main driver of landscape transformation. The analysis revealed that forests were initially replaced by herbaceous vegetation (1992–2010) and subsequently by pastures (2010–2022), with statistically significant changes. The fragmentation index showed a progressive deterioration ( $R^2 = 0.9229$ ), indicating a loss of connectivity and a trend toward patch insularization. In the Civil Society Nature Reserves (RNSC), vegetation cover exhibited greater initial stability; however, between 2010 and 2022, a marked increase in pastures was detected.

**Keywords:** Anthropization, Forest fragmentation, GIS. Landscape, Supervised classification.

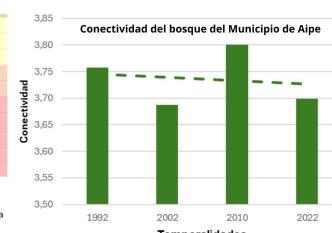
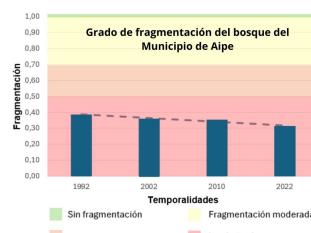
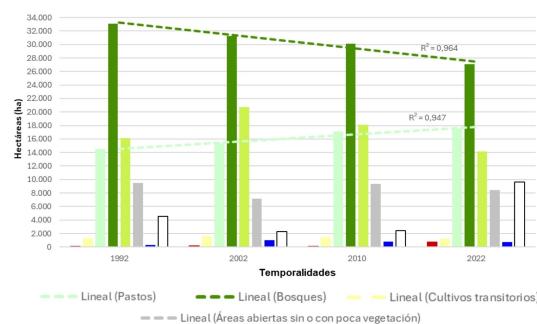
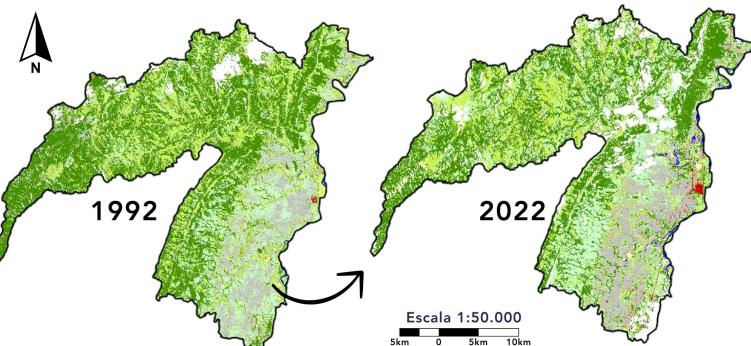
# RESUMEN GRÁFICO

## Cambios del Municipio de Aipe (1992-2022)

- Aumento en 2998 ha de Pastos
- Disminución de 5993 ha de Bosque
- Disminución de 2003 ha de Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
- Tendencias lineales en la perdida de cobertura boscosa y tendencia a la ganancia de coberturas pastosas.

### Leyenda de coberturas

1.1 - Zonas urbanizadas	3.2 - Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
2.1 - Cultivos transitorios	3.3 - Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
2.3 - Pastos	5.1 - Aguas continentales
3.1 - Bosques	6.1 - Nubes y sombras



Aumento del grado de fragmentación y disminución de conectividad del bosque del municipio de Aipe,

## 1 INTRODUCCIÓN

La cobertura vegetal es la capa natural que cubre una superficie terrestre determinada y que comprende diferentes características ambientales (Aldás, 2013). Esta juega un papel crucial en la protección del medio ambiente al mantener la estabilidad hídrica (Hernández-Calderón y Salamanca-Carvajal, 2019), siendo indicador en la evaluación de procesos biofísicos en los ecosistemas (Changalombo & Rivera, 2022). Desde hace más de tres décadas, los cambios en la cobertura vegetal se reconocen como una causa importante de alteraciones ambientales a nivel mundial (Lambin et al., 2013). La modificación y disminución de la cobertura vegetal tienen implicaciones en la disponibilidad y calidad de los bienes y servicios

ambientales que ofrecen los ecosistemas, así como en la dinámica ecosistémica (García et al., 2016; González et al., 2023).

La extensión de la cobertura original del bosque seco tropical (BsT) en Colombia se estima que cubría 8 146 000 ha (Espinal y Montenegro, 1977), mientras que para el 2014 solo se conservaba aproximadamente el 9 % del BsT, equivalente a 720 000 ha (Pizano y García, 2014). La principal causa de la reducción de la cobertura vegetal es la actividad antrópica. Acciones como la quema de combustibles fósiles y los cambios en el uso del suelo para ganadería, agricultura y urbanización han provocado un desequilibrio en el ciclo natural, modificando las propieda-

des de la superficie terrestre y favoreciendo la erosión y desertificación (Nakao Inouye et al., 2015). Estas actividades son responsables de la pérdida anual de 12 millones de hectáreas de cobertura vegetal en Colombia, lo que ha llevado a graves transformaciones en los paisajes y un aumento en la pérdida de biodiversidad (Mas y Flamenco, 2011; Vargas, 2013).

En el departamento del Huila, para el 2014, en términos territoriales el 49 % (977 000 hectáreas) está dedicado a la producción agrícola, con más de un millón de hectáreas destinadas a las actividades agropecuarias (Agronet, 2021). Estas actividades contribuyen a la degradación de los ecosistemas y aceleran la desertificación (Olaya et al., 2001; Núñez, 2017). El ecosistema representativo del municipio de Aipe es el BsT, uno de los más amenazados y menos estudiados a nivel nacional, debido a las actividades humanas (Alvarado-Solano & Otero-Ospina, 2015). Además, el 66,5 % del territorio está afectado por la desertificación, producto de la expansión agrícola, ganadera y urbana, lo que ha deteriorado la calidad del agua y del suelo, y ha causado la acumulación de lodo en ríos y embalses (CAM, 2024).

En la actualidad, el impacto específico de la actividad antrópica y la desertificación sobre la cobertura vegetal de Aipe en las úl-

timas tres décadas aún no ha sido determinado. Por ende, este estudio contribuye al conocimiento cualitativo y cuantitativo de la dinámica de la cobertura vegetal a lo largo de 30 años, mediante el análisis de imágenes satelitales de 1992, 2002, 2010 y 2022. Además, proporciona indicadores clave para la formulación de estrategias y la toma de decisiones orientadas a mitigar la degradación ambiental en la zona de estudio. La evaluación de los cambios en la cobertura vegetal contribuirá al diseño de acciones efectivas para el manejo y la recuperación del territorio municipal.

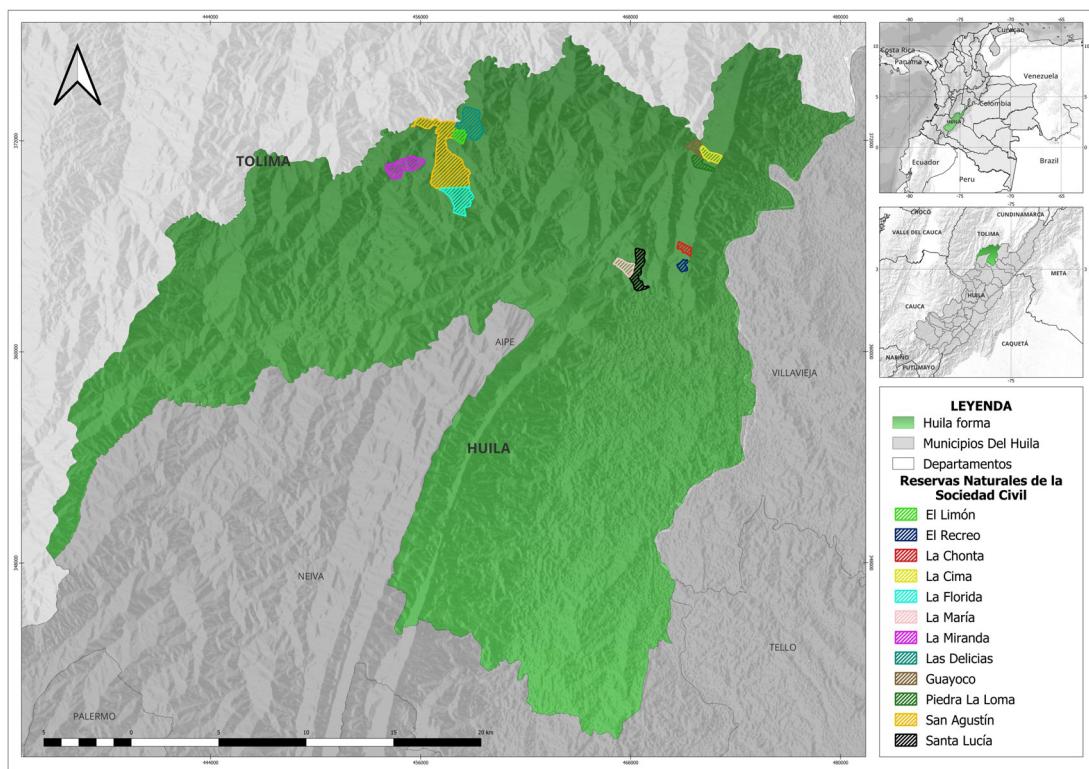
De esta forma, el objetivo de este estudio fue evaluar la transformación de la cobertura vegetal en el municipio de Aipe durante los últimos 30 años, considerando cuatro períodos específicos (1992, 2002, 2010 y 2022). Para alcanzar este propósito, se plantearon tres objetivos específicos orientados: 1) analizar la dinámica de la cobertura vegetal en las Reservas Naturales de la Sociedad Civil del municipio durante los períodos evaluados; 2) evaluar la conectividad y el grado de fragmentación del bosque, así como sus variaciones temporales en los diferentes momentos analizados; y 3) identificar las áreas de bosque con mayor nivel de transformación, reconociendo sus cambios espaciales y temporales en los períodos de estudio.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El municipio de Aipe, Huila (Lat: 3.2219 4444° N, Long: -75.23750000° O), se ubi-

ca en la región norte del departamento del Huila (Figura 1), específicamente en el valle interandino del río Magdalena, abarcando la zona de la cuenca alta.



**Figura 1.** Mapa de localización geográfica del municipio de Aipe, departamento del Huila, que resalta las doce áreas de las Reservas Naturales de la Sociedad Civil utilizadas en el estudio

**Fuente:** autores.

Aipe incluye la cuenca del río Aipe, la cual está ubicada entre formaciones rocosas como lo es la cordillera central de los Andes, albergando pequeños fragmentos de bosques secos que enriquecen el paisaje circundante (Hernández-Calderón y Salamanca-Carvajal, 2019). Aipe cuenta con una extensión de 801,04 km<sup>2</sup>, con un rango altitudinal que varía desde los 350 hasta los 640 m s.n.m. La temperatura varía entre los 23 °C y los 35 °C, y la precipitación fluctúa entre los 100 y los 2000 mm/año, siendo evidente una marcada estacionalidad climática que se extiende de 4 a 6 meses, periodo en el

cual las precipitaciones son inferiores a 100 mm (Díaz, 2017).

El municipio de Aipe cuenta con doce Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC), las cuales constituyen un importante aporte a la conservación del bosque seco tropical y a la conectividad ecológica de la región (Tabla 1). Estas reservas comenzaron a consolidarse desde el 2017, como respuesta al interés de las comunidades locales y propietarios de proteger los relictos de bosque, garantizar la preservación de la biodiversidad y fortalecer procesos de conservación participativa en el territorio.

### Tabla 1.

Informaciones de coordenadas de las doce Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC) del Municipio de Aipe, Huila

#	Reserva	Latitud (°N)	Longitud (°O)
1	El Limón	3,33636	-75,39329
2	El Recreo	3,367453	-75,38331
3	La Chonta	3,30569	-75,25991
4	La Cima	3,35359	-75,24681
5	La Florida	3,32627	-75,38011
6	La María	3,29500	-75,29025
7	La Miranda	3,34526	-75,40669
8	Las Delicias	3,36533	-75,37179
9	Guayoco	3,35611	-75,25493
10	Piedra La Loma	3,34945	-75,25136
11	San Agustín	3,34000	-75,38096
12	Santa Lucía	3,28775	-75,26375

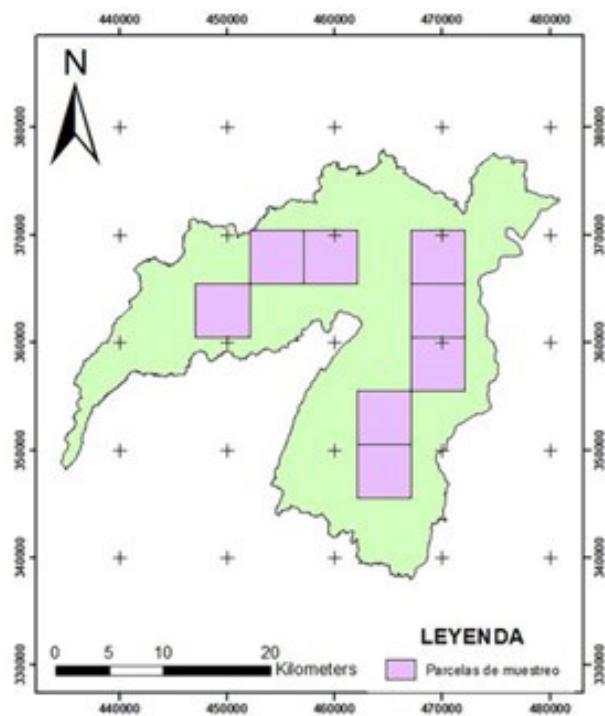
Fuente: autores.

## Diseño experimental

Se recopilaron datos sobre las coberturas y usos del suelo en el área de estudio, siguiendo la metodología del IDEAM, Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (IDEAM, 2010). Se aplicó un muestreo sistemático aleatorio que comprendió ocho parcelas de 25 km<sup>2</sup> cada una, las cuales en conjunto abarcaron 200 km<sup>2</sup>, equivalentes al 25 % del área total del municipio de Aipe (Figura 2). En las ocho parcelas seleccionadas se levantó información en campo sobre coberturas y usos del suelo, que sirvieron para realizar una clasificación supervisada en el

software QGIS 3.28 mediante el *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) con áreas conocidas y visitadas previamente, utilizando puntos de entrenamiento. Entre estas parcelas se incluyeron siete Reservas Naturales de la Sociedad Civil, lo que permitió integrar datos tanto de áreas de conservación como de otras coberturas características del municipio, haciendo el entrenamiento más eficaz y preciso. Los registros obtenidos garantizaron la representatividad del territorio y constituyeron la base para la clasificación supervisada multitemporal de todo el municipio de Aipe.

**Figura 2.** Mapa de la localización geográfica de las ocho parcelas de muestreo establecidas para la obtención de información a priori sobre las coberturas en el municipio de Aipe, departamento del Huila



Fuente: autores.

## Procesamiento de imágenes satelitales

Se usaron imágenes satelitales Landsat 4, 5 y 7 de los años 1992, 2002, 2010 y 2022 (Tabla 2) con nubosidad menor al 30 % y tamaño de píxel 30 m x 30 m, obtenidas del portal web *earthexplorer.usgs.gov* administrada por el *United States Geological Survey (USGS)*. Estas imágenes, provenientes de la colección

2, cuentan con productos de reflectancia superficial (*Surface Reflectance, SR*), los cuales incluyen correcciones atmosféricas estandarizadas. Adicionalmente, se aplicaron correcciones radiométricas a la imagen Landsat 7 del 2022, ya que presentaba “bandeado”, debido al fallo del *Scan Line Corrector (SLC)*, utilizando los archivos máscaras de validación que disponen las imágenes Landsat 7 para corregir este error.

**Tabla 2.**

Imágenes satelitales seleccionadas del satélite Landsat 4-5 y 7 utilizadas para la clasificación supervisada

Año	Satélite	Sensor	Codificación
1992	Landsat 4-5 TM C2 L1	TM	LT04_L1TP_008058_19920605_20200914_02_T1

Año	Satélite	Sensor	Codificación
2002	Landsat 7 ETM+ C2 L1	ETM+	LE07_L1TP_008058_20020921_20200916_02_T1
2010	Landsat 5 ETM+ C2 L1	ETM+	LT05_L1TP_008058_20100122_20200825_02_T1
2022	Landsat 7 ETM+ C2 L1	ETM+	LE07_L1TP_008058_20220926_20221022_02_T1

Fuente: autores.

Se realizó una clasificación supervisada para cada imagen, empleando el *SCP Dock* del complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), bajo el algoritmo de “máxima probabilidad”. Para este proceso, se definieron las coberturas del municipio mediante aproximadamente 50 polígonos de entrenamiento por clase, los cuales se clasificaron hasta nivel 2, siguiendo la metodología *Corine Land Cover (CLC)* adaptada por el IDEAM (2010) (Mendoza-Poggi et al., 2021).

A partir de los resultados de la clasificación, se seleccionó la cobertura boscosa con áreas superiores a 1 ha y se aplicaron distintos índices de análisis espacial. En primer lugar, se estimó el grado de fragmentación (F) propuesto por Galván-Guevara et al. (2015), con el propósito de cuantificar el estado de conservación de los bosques del municipio de Aipe. Este índice varía entre 0 y 1, donde F = 1 corresponde a ausencia de fragmentación; valores entre 1 y 0,7 indican fragmentación moderada; entre 0,7 y 0,5 representan un estado altamente fragmentado; y valores inferiores a 0,5 se asocian con bosques insularizados.

Posteriormente, se calculó el índice de conectividad espacial de los parches de bosque (*Forest Continuity Index, FCI*) de Vogelmann (1995), el cual evalúa la continuidad del bos-

que en función del área ( $m^2$ ) y perímetro (m) de los fragmentos. Los resultados se expresaron en una escala logarítmica natural, en la que los valores más altos representan una mayor conectividad y los valores más bajos reflejan fragmentación y discontinuidad (Vogelmann, 1995; León-Alfaro, 2019).

Finalmente, se identificaron las áreas con mayor transformación de la cobertura boscosa hacia otras categorías de uso del suelo durante tres escenarios (1992-2002, 2002-2010 y 2010-2022). Este análisis se llevó a cabo mediante la herramienta *Land Cover Change* del complemento SCP, que permite generar matrices de transición. Dichas matrices registraron los cambios de una cobertura hacia otra, especificando la magnitud de superficie transformada y la proporción de cobertura que permaneció estable en cada periodo. Los resultados fueron sistematizados en tablas y representados en mapas temáticos, lo que facilitó el análisis multitemporal, tanto a escala municipal como en la interpretación de las Reservas Naturales de la Sociedad Civil incluidas en el estudio.

## Análisis estadísticos

Se aplicaron pruebas de chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) de independencia para analizar los cambios temporales en la cobertura boscosa del mu-

nicipio de Aipe y de las Reservas Naturales de la Sociedad Civil, considerando cuatro periodos de estudio. El mismo procedimiento se utilizó para contrastar los patrones de transformación de la cobertura (pérdida y

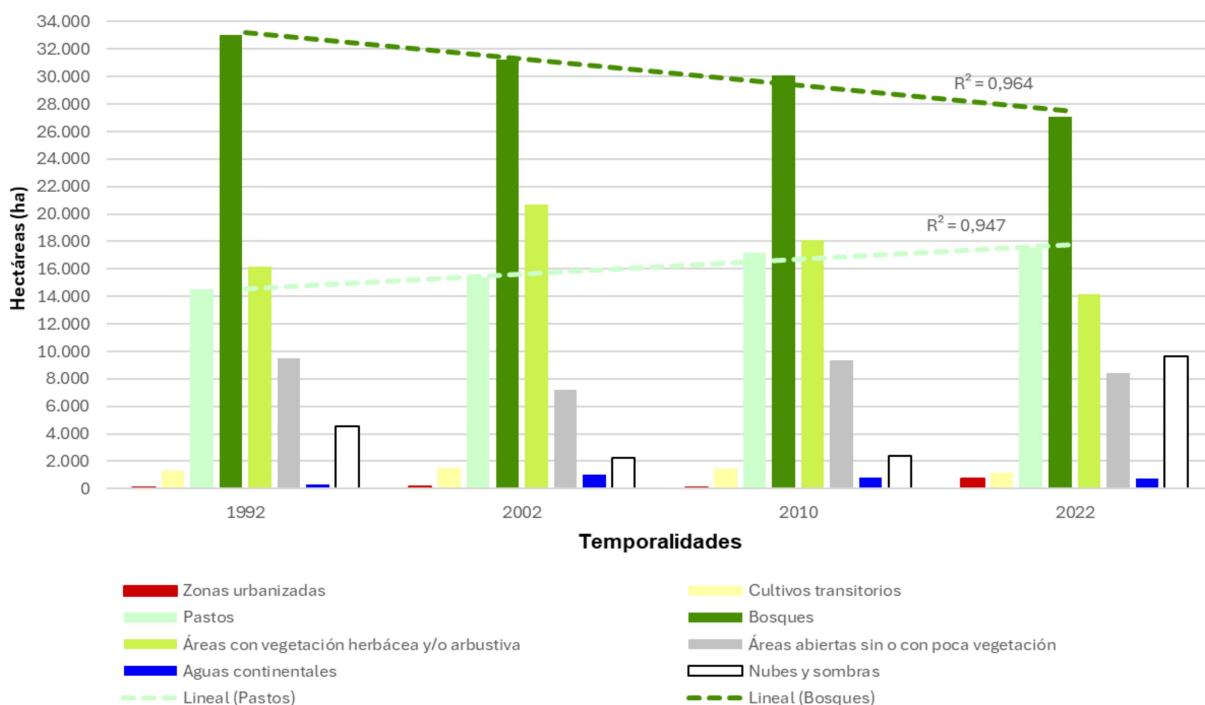
ganancia), con el fin de establecer si las diferencias observadas entre períodos presentaban significancia estadística. En todos los análisis se empleó un nivel de significancia de  $p < 0,05$ .

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Coberturas y uso del suelo del municipio de Aipe

En los cuatro escenarios analizados (1992, 2002, 2010 y 2022) se identificaron ocho coberturas de segundo nivel, según la metodología CLC adaptada para Colombia. Las coberturas predominantes fueron los bosques, las áreas con vegetación herbácea y/o arbus-

tiva y los pastos. En conjunto, se clasificaron cuatro categorías vegetales (bosques, pastos, áreas herbáceas y áreas sin vegetación), dos de uso del suelo (zonas urbanizadas y cultivos transitorios) y dos adicionales (aguas continentales y nubes/sombras), estas últimas relacionadas con cuerpos de agua superficiales y condiciones atmosféricas o de relieve que dificultan la interpretación (Figura 3).



**Figura 3.** Gráfica de barras que presenta la distribución de las coberturas vegetales en el municipio de Aipe para los años 1992, 2002, 2010 y 2022, obtenidas a partir de un proceso de clasificación supervisada de imágenes satelitales. Se incluyen las categorías principales de cobertura, entre ellas bosques y pastos en líneas punteadas, cuya dinámica temporal fue evaluada mediante el ajuste de modelos de regresión lineal ( $R^2$ ) para analizar tendencias en el periodo de estudio

Fuente: autores.

El análisis multitemporal evidenció variaciones significativas en todas las coberturas (Tabla 3). Los resultados de la prueba  $\chi^2$  de independencia ( $p < 0,05$ ) confirmaron que los cambios registrados entre períodos fueron estadísticamente significativos. Entre los patrones más relevantes se destacó la reducción de bosques y áreas abiertas, acompañada por el aumento de la vegetación herbácea y de las superficies urbanizadas, lo que refleja un proceso sostenido de sustitución de coberturas naturales por usos antrópicos. Estos resultados coinciden con lo documentado en otros estudios de la región, que señalan la expansión agropecuaria y la ganadería extensiva como principales motores de deforestación y pérdida de hábitats (Etter et al., 2006; Armenteras et al., 2011; IDEAM, 2018).

Adicionalmente, se observó un incremento en la extensión de aguas continentales y

una reducción en la proporción de áreas clasificadas como nubes y sombras. Este comportamiento se asocia a la marcada estacionalidad tropical, caracterizada por períodos alternados de lluvias intensas y sequías prolongadas (Tucker, 1979; Ruiz y Febles, 2004), así como a la influencia de eventos climáticos interanuales como El Niño, que modifican los regímenes de precipitación y las dinámicas hidrológicas a nivel nacional (Camacho, 2015; Márquez et al., 2016). En este contexto, la imagen de 1992 corresponde a un periodo de déficit hídrico asociado al evento El Niño 1991-1992, mientras que la de 2002 fue capturada tras un ciclo de mayor pluviosidad posterior al evento El Niño 2002-2003, lo cual explica el aumento de las aguas continentales y la reducción de la cobertura nubosa en esos años (Devis-Morales, 2003; IDEAM, 2018).

### Tabla 3.

Resultados de la prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) aplicada a las coberturas del municipio de Aipe para el periodo 1992–2002. La tabla presenta los valores de  $\chi^2$  calculados para cada categoría de cobertura, junto con el nivel de significancia estadística ( $p$ ), a fin de determinar si los cambios observados entre ambos años fueron estadísticamente significativos

Cobertura	$\chi^2$	p-valor	( $p < 0,05$ )
Zonas urbanizadas	18,72	1,53E-05	Significativo
Cultivos transitorios	21,87	2,90E-06	Significativo
Pastos	28,59	8,91E-08	Significativo
Bosques	88,05	6,39E-21	Significativo
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	722,05	4,76E-159	Significativo
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	190,34	5,12E-43	Significativo
Aguas continentales	389,47	2,13E-86	Significativo
Nubes y sombras	562,59	2,17E-124	Significativo

Fuente: autores.

Para los cambios presentados entre el 2002 y el 2010 se evidenció que la mayoría de las coberturas presentaron cambios estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ), con excepción de las áreas de cultivos transitorios, que no mostraron diferencias relevantes entre ambos años, como se observa en la tabla 3.

Entre los cambios más notables se destaca la reducción en la cobertura boscosa, acompañada de un incremento en los pastos y las áreas abiertas, lo cual confirma la tendencia hacia la sustitución de coberturas naturales por usos productivos y actividades agropecuarias. Esta dinámica coincide también con los hallazgos de un estudio en el departamento del Quindío, donde la vegetación secundaria y los bosques mixtos disminuyeron del 23 % al 9 % entre 1954 y 2009, como resultado de la expansión de áreas de pastoreo y cultivo intensivo; al mismo tiempo, los cultivos aumentaron un 410 % en el mismo periodo (Quintero-Gallego et al., 2018). Al

igual que en el municipio de Aipe, dicho estudio identifica la ganadería y la agricultura de mercado como los principales impulsores del cambio en la cobertura del suelo, mostrando que la transformación observada en Aipe refleja una tendencia compartida con otras áreas rurales de los Andes colombianos.

Asimismo, se observaron variaciones significativas en la vegetación herbácea y en las superficies urbanizadas, lo que refleja un proceso de transformación del paisaje asociado tanto a la expansión antrópica como a la dinámica natural de recuperación secundaria. Este patrón es consistente con lo reportado por Sánchez-Cuervo & Aide (2013) en diferentes regiones de Colombia, donde la conversión de bosques a áreas de uso agropecuario suele estar acompañada de procesos de regeneración secundaria en áreas abandonadas, generando mosaicos de vegetación herbácea y arbustiva.

#### Tabla 4.

Resultados de la prueba de Chi-cuadrado ( $X^2$ ) aplicada a las coberturas del municipio de Aipe para el periodo 2002-2010. La tabla presenta los valores de  $X^2$  calculados para cada categoría de cobertura, junto con el nivel de significancia estadística ( $p$ ), con el fin de determinar si los cambios observados entre ambos años fueron estadísticamente significativos

Cobertura	$X^2$	p-valor	( $p < 0,05$ )
Zonas urbanizadas	29,29	6,22E-08	Significativo
Cultivos transitorios	2,28	0,131	No significativo
Pastos	122,4	1,89E-28	Significativo
Bosques	34,27	4,80E-09	Significativo
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	226,81	2,96E-51	Significativo

Cobertura	$\chi^2$	p-valor	(p<0,05)
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	320,83	9,57E-72	Significativo
Aguas continentales	23,18	1,47E-06	Significativo
Nubes y sombras	4,03	0,0446	Significativo

Fuente: autores.

Entre 2002 y 2010, la mayoría de las coberturas presentaron cambios estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ), con excepción de los cultivos transitorios, que no mostraron diferencias relevantes entre ambos años (Tabla 4). Asimismo, se registraron variaciones significativas en la vegetación herbácea y en las superficies urbanizadas, asociadas tanto a la expansión antrópica como a procesos de re-

generación secundaria (Tabla 5). Este comportamiento es consistente con lo señalado por Sánchez-Cuervo & Aide (2013), quienes destacan que la conversión de bosques hacia usos agropecuarios suele acompañarse de la recuperación de vegetación herbácea y arbustiva en áreas abandonadas, generando paisajes en mosaico.

### Tabla 5.

Resultados de la prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) aplicada a las coberturas del municipio de Aipe para el periodo 2010–2022. La tabla presenta los valores de  $\chi^2$  calculados para cada categoría de cobertura, junto con el nivel de significancia estadística ( $p$ ), con el fin de determinar si los cambios observados entre ambos años fueron estadísticamente significativos

Cobertura	$\chi^2$	p-valor	(p<0,05)
Zonas urbanizadas	482,36	1,49E-106	Significativo
Cultivos transitorios	2,86	9,10E-02	No significativo
Pastos	34,64	3,92E-09	Significativo
Bosques	177,55	1,09E-40	Significativo
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	1196,77	1,44E-262	Significativo
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	41,59	1,14E-10	Significativo
Aguas continentales	3,2	7,30E-02	No significativo
Nubes y sombras	4459,62	1E-308	Significativo

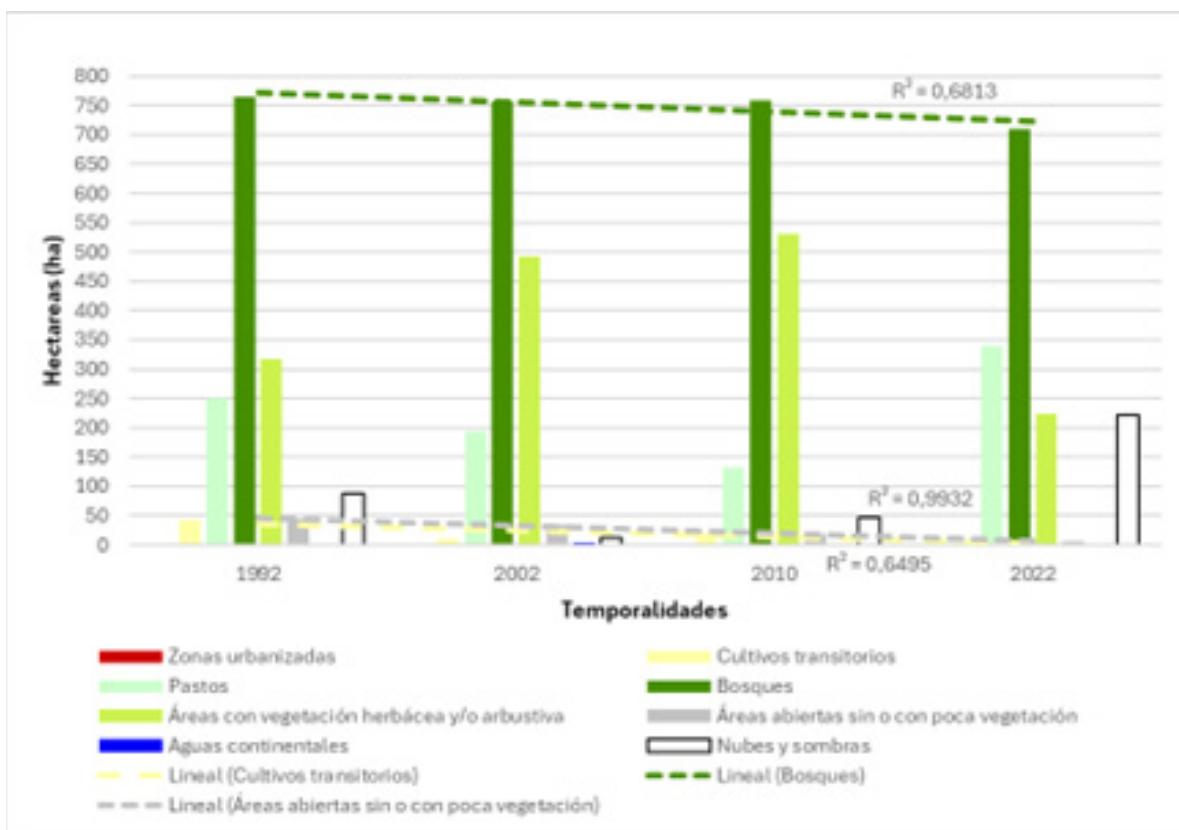
Fuente: autores.

## Coberturas y uso del suelo de las RNSC

El análisis comparativo de los tres escenarios (1992–2002, 2002–2010 y 2010–2022) evidenció que los cambios en las coberturas dentro de las RNSC no fueron homogéneos, sino que respondieron a dinámicas diferenciales según el periodo analizado (Figura 4). Entre 1992 y 2002 se registró una reducción significativa de pastos, acompañada por un incremento significativo de vegetación herbácea y arbustiva (Tabla. 6), lo que eviden-

cia un proceso de regeneración secundaria. En el periodo 2002–2010 los cambios fueron menos marcados y se limitaron principalmente a variaciones en la categoría de nubes y sombras, reflejando una mayor estabilidad en las coberturas naturales. Finalmente, entre 2010 y 2022 se observaron transformaciones más pronunciadas, con aumentos significativos en pastos y en nubes/sombras, y reducciones en vegetación herbácea/arbustiva y áreas abiertas, lo que indica una intensificación de procesos de sustitución de coberturas naturales por usos agropecuarios.

**Figura 4.** Gráfica comparativa que muestra los resultados de clasificación supervisada de coberturas de las RNSC del municipio Aipe en los años 1992, 2002, 2010 y 2022. En línea punteada se ven las tendencias lineales de los cambios de las coberturas a través del tiempo



**Fuente:** autores.

Si bien estos resultados muestran un aumento de la presión antrópica en las RNSC durante la última década, debe considerarse que su formalización legal ocurrió a partir de 2018. Esto implica que su papel como instrumentos de conservación aún se encuentra en una fase inicial de implementación. Las RNSC tienen como propósito garantizar la protección y el manejo sostenible de la biodiversidad en predios privados, favoreciendo la conectividad ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos. Sin embargo, el corto

tiempo transcurrido desde su reconocimiento formal limita la posibilidad de evidenciar impactos concretos en la dinámica del paisaje. En este sentido, los cambios detectados en los últimos períodos constituyen más bien una línea base que resalta la necesidad de fortalecer los procesos de gestión, monitoreo y acompañamiento técnico a las comunidades locales, de modo que estas reservas puedan cumplir efectivamente sus objetivos de conservación en el mediano y largo plazo.

**Tabla 6.**

Resultados de la prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) aplicada a las coberturas de las RNSC del municipio de Aipe (1992-2002, 2002-2010 y 2010- 2022). La tabla presenta los valores de  $\chi^2$  calculados para cada categoría de cobertura, junto con el nivel de significancia estadística (p), con el fin de determinar si los cambios observados entre ambos años fueron estadísticamente significativos

Cobertura	1992-2002			2002-2010			2010- 022		
	$\chi^2$	p-valor	(p<0,05)	$\chi^2$	p-valor	(p<0,05)	$\chi^2$	p-valor	(p<0,05)
Zonas urbanizadas	0,00	1.000	No significativo	0,50	0,479	No significativo	1,33	0,248	No significativo
Cultivos transitorios	35,59	2,43E-09	Significativo	2,09	0,149	No significativo	7,2	0,007	Significativo
Pastos	14,16	1,68E-04	Significativo	12,41	0,000426	Significativo	73,9	<0,0001	Significativo
Bosques	0,05	0,828	No significativo	0,00	0,971	No significativo	3,15	0,076	No significativo
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	75,62	3,44E-18	Significativo	2,02	0,155	No significativo	133,9	<0,0001	Significativo
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	2.02	0.155	No significativo	4.39	0.036	Significativo	5,33	0,021	Significativo
Aguas continentales	6.40	0.0114	Significativo	1.00	0.317	No significativo	1,33	0,248	No significativo
Nubes y sombras	106.58	5.50E-25	Significativo	21.00	0.000005	Significativo	122,6	<0,0001	Significativo

Fuente: autores.

## Grado de fragmentación y conectividad del bosque

La cobertura de bosque se categorizó como discontinua y fragmentada en todas las temporalidades analizadas (Figura 5a; Figura 5b). El análisis de la conectividad, basado en el índice FCI, mostró variaciones a lo largo del periodo estudiado. Es importante precisar que el FCI no tiene una escala absoluta (como índices normalizados entre 0 y 1), sino que funciona como un indicador relativo que permite comparar la continuidad del bosque entre diferentes años o áreas de estudio. De este modo, valores más altos del FCI indican mayor continuidad y compacidad de los parches de bosque, mientras que valores más bajos reflejan una mayor fragmentación y pérdida de conectividad (Vogelmann, 1995).

En este sentido, en 1992, el índice FCI alcanzó un valor de 3,76, lo que indica que los parches de bosque eran más densos, compactos y con menor perímetro, en comparación con años posteriores. En el 2002, el índice FCI bajó a 3,69, debido posiblemente, a una mayor fragmentación del bosque, ya que se dividió en pequeños parches con un perímetro total más extenso, pero con menor conectividad. En 2010, el índice FCI aumentó a 3,80, reflejando una mejora en la conectividad, ya que los parches restantes del bosque, aunque menos numerosos, eran más densos y estaban mejor preservados que en el 2002. Sin embargo, para este mismo año, el índice disminuye nuevamente, alcanzando un valor de 3,70, lo que indica una nueva fragmentación de los parches de bosque. Este aumento

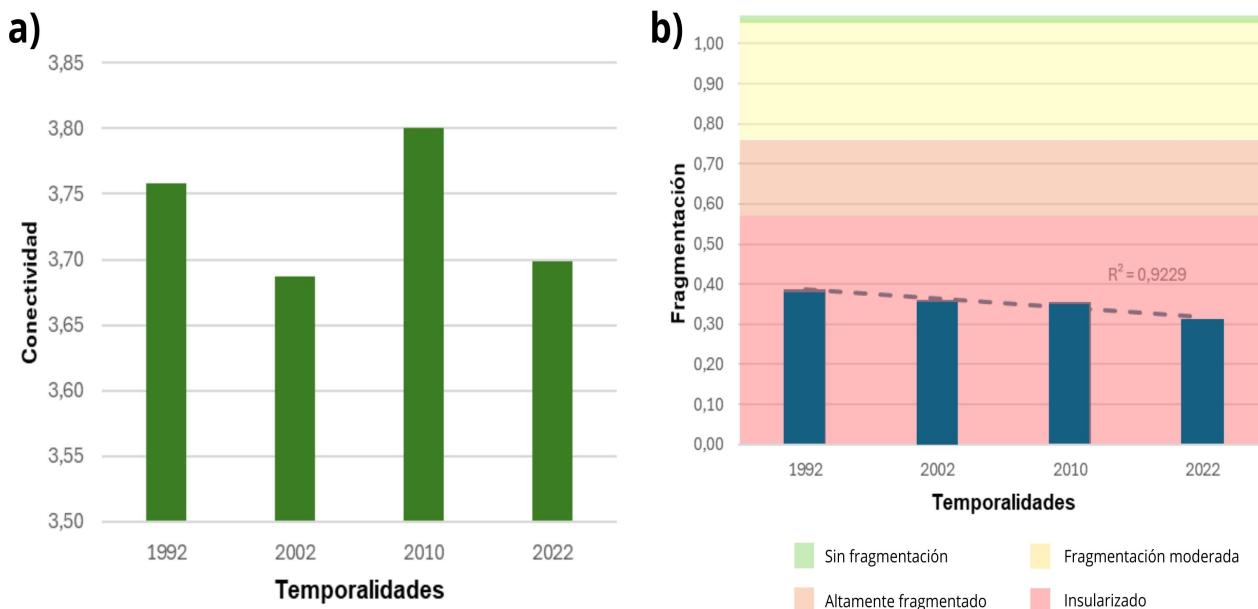
en el perímetro total de la cobertura refleja un deterioro y una tendencia progresiva de áreas desconectadas del municipio.

En cuanto al grado de fragmentación ( $F$ ) del bosque en Aipe, se evidencian cambios progresivos que reflejan un deterioro constante de la estructura del paisaje forestal. En 1992, el valor más alto (0,39) correspondió a la menor fragmentación registrada, aunque ya categorizada dentro del estado “Insularizado”. Posteriormente, los valores disminuyeron de manera continua: 0,36 en 2002, 0,35 en 2010 y 0,31 en 2022, indicando una tendencia sostenida hacia una mayor fragmentación. El análisis de regresión lineal confirmó esta dinámica negativa, con un valor de  $R^2 = 0,9229$  (Figura 5b), lo que evidencia un ajuste fuerte y una tendencia estadísticamente consistente hacia la reducción del índice de fragmentación.

Estos resultados muestran que, a pesar de que en todas las temporalidades la cobertura boscosa se mantiene en la categoría insularizada, el proceso de fragmentación se ha intensificado con el tiempo, lo que ha generado una pérdida gradual de conectividad y una degradación progresiva del paisaje forestal en el municipio. Resultados similares han sido documentados en otras áreas de estudio que tienen parches de Bst en Colombia. Por ejemplo, en el arroyo Pechelín (Montes de María, Sucre), se reportó un índice de fragmentación de  $F = 0,35$  para el 2010, coincidiendo con los valores obtenidos en Aipe para el mismo año (Vargas, 2013). Asimismo, estudios regionales sobre bosques secos en el Caribe y en cuencas del Cauca evidencian procesos análogos de re-

ducción de la cobertura arbórea y pérdida de conectividad, impulsados principalmente por la expansión de actividades agropecuarias y la presión antrópica constante (Etter et al., 2006; Pizano y García, 2014), lo que evi-

dencia que la dinámica observada en Aipe no es un fenómeno aislado, sino que responde a un patrón regional de degradación y fragmentación del paisaje forestal seco en Colombia.



**Figura 5.** a) Índice de Continuidad Forestal (FCI), calculado a partir de la relación área/perímetro de los parches de bosque, presentado para los años 1992, 2002, 2010 y 2022 en el municipio de Aipe. Valores altos indican mayor compacidad y continuidad; valores bajos reflejan fragmentación. b) Índice de Fragmentación (F), que mide el aislamiento de los parches y se clasifica desde continuo hasta insularizado. La línea punteada corresponde a la regresión lineal ( $R^2 = 0,9229$ ), que muestra la tendencia temporal

**Fuente:** autores.

## Transformación de la cobertura boscosa

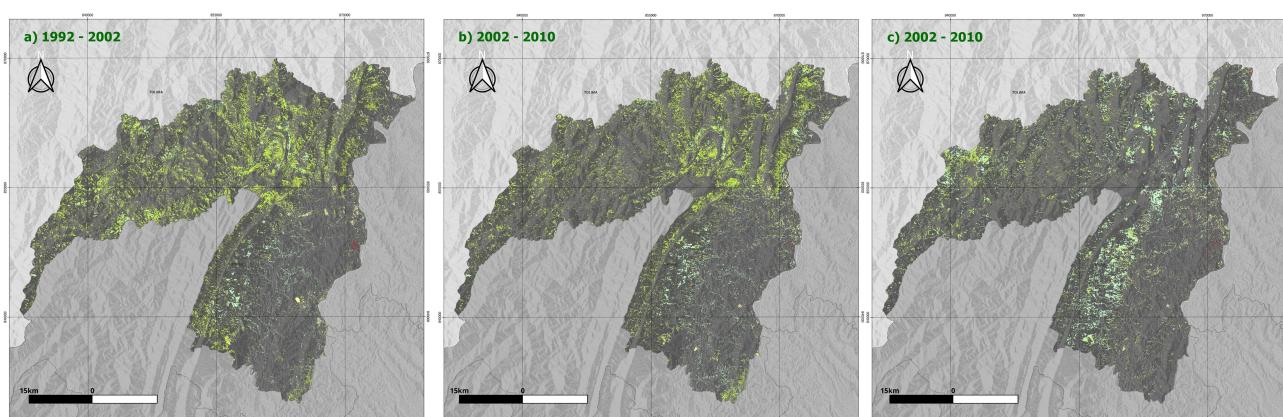
La transformación del bosque en el municipio de Aipe entre 1992 y 2002 evidenció un proceso de sucesión ecológica hacia áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, como se observa en la matriz de transición (Anexo C). En este periodo, únicamente 20 173 ha de bosque permanecieron intactas, mientras que 8297 ha (10,4 %) se con-

virtieron en vegetación herbácea/arbustiva y 2114 ha (2,7 %) en pastos, principalmente en las zonas centro, norte y sur del municipio (Figura 6a). El análisis de independencia  $\chi^2$  confirmó que estos cambios fueron estadísticamente significativos ( $\chi^2 = 17,83$ ;  $p < 0,001$ ), lo que evidencia una sustitución marcada de coberturas forestales por usos ganaderos, con implicaciones negativas para la biodiversidad, los ciclos de nutrientes y la capacidad de retención hídrica del suelo (Matías et al., 2020).

Durante el periodo 2002-2010 (Figura 6B) se mantuvo esta tendencia, con 2267 ha (8,3 %) transformadas en vegetación herbácea/arbustiva y 2267 ha (2,9 %) en pastos. El análisis  $\chi^2$  corroboró la significancia de estos cambios ( $\chi^2 = 34,27$ ;  $p < 0,001$ ), indicando que la presión antrópica continuó generando pérdidas en la cobertura boscosa.

Finalmente, entre 2010 y 2022 se registró un incremento más pronunciado de áreas

destinadas a pastos (4849 ha; 6,1 %) y a vegetación herbácea/arbustiva (2564 ha; 3,2 %) (Figura 6c). En este periodo, la cobertura boscosa descendió del 41,6 % en 1992 al 34,1 % en 2022, lo que representa una pérdida acumulada de 5993 ha (10,1 %) en tres décadas. El análisis  $\chi^2$  ( $\chi^2 = 177,55$ ;  $p < 0,001$ ) confirmó que esta reducción del bosque y su remplazo por pastos constituye un patrón consistente y acumulativo en el tiempo.



**Figura 6.** Mapas comparativos a escala 1:50.000 que ilustran la transformación de la cobertura boscosa en el municipio de Aipe, Huila, durante los siguientes periodos: a) 1992-2002, b) 2002-2010 y c) 2010-2022. Los parches coloreados representan áreas de bosque que fueron transformadas hacia otras coberturas, de acuerdo con la clasificación establecida en la leyenda del Corine Land Cover (CLC), donde cada color corresponde a una categoría específica de uso de cobertura

**Fuente:** autores.

## 4 CONCLUSIONES

Entre 1992 y 2022, el municipio de Aipe presentó una reducción sostenida y estadísticamente significativa del bosque seco tropical, mientras que los pastizales y las áreas agrícolas mostraron un crecimiento progresivo. Esta dinámica confirma el avance de la

frontera agropecuaria y la presión antrópica como principales motores de transformación del paisaje, con efectos negativos sobre la cobertura forestal y los servicios ecosistémicos asociados.

El análisis de las Reservas Naturales de la Sociedad Civil evidenció que estas han contribuido a mantener mayor estabilidad en las coberturas boscosas y en la vegetación herbácea-arbustiva dentro del municipio. No obstante, los cambios registrados entre 2010 y 2022 muestran que estas áreas también están siendo afectadas por procesos de expansión agropecuaria, lo que resalta la necesidad de fortalecer su gestión, el monitoreo permanente y el acompañamiento institucional para consolidar su papel en la conservación y la conectividad ecológica dentro del departamento.

La evaluación de la conectividad y fragmentación del bosque demostró que la cobertura boscosa de Aipe se encuentra altamente fragmentada y con tendencia creciente hacia la insularización. Esta condición compromete la funcionalidad ecológica del paisaje al limitar la movilidad de especies, reducir la regulación hídrica y disminuir la resiliencia del ecosistema. En este sentido, se requiere la implementación de corredores biológicos y planes de restauración que

mitiguen la pérdida de conectividad y eviten una degradación irreversible del bosque seco tropical. De la misma forma, la identificación de las áreas más transformadas reveló un patrón espacial diferenciado: entre 1992 y 2010 la deforestación se concentró en el norte del municipio, mientras que en el periodo 2010-2022 el proceso se intensificó hacia el sur. Este hallazgo constituye un insumo clave para orientar el ordenamiento territorial, priorizar zonas críticas y optimizar las acciones de restauración y conservación.

En conjunto, los resultados responden a los objetivos planteados y ofrecen una línea base sólida para la toma de decisiones ambientales dentro del municipio de Aipe, Huila, Colombia. Igualmente, la información generada proporciona herramientas técnicas para el diseño de políticas públicas, el fortalecimiento de las RNSC, la planificación de procesos de restauración ecológica y la búsqueda de un equilibrio entre la producción agropecuaria y la conservación de ecosistemas estratégicos como el bosque seco tropical.

## CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

**Autor 1:** Formulación del proyecto, recolección de información, investigación, análisis de datos, escritura.

**Autor 2:** Metodología, análisis de datos, conceptualización, revisión y edición.

**Autor 3:** Formulación del proyecto y coordinación de la investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y edición.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Asociación de Mujeres del

Bosque Seco Tropical (ASOBOSPA) y a los responsables por conservar las Reservas Na-

turales de la Sociedad Civil del municipio de Aipe, también por su valioso apoyo y colaboración en el desarrollo de esta investigación. Su contribución fue fundamental para

la realización del trabajo de campo y el acceso a información clave sobre los esfuerzos de conservación en la región.

## FINANCIAMIENTO

Nº aplica.

## USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Nº aplica.

## CONFLITO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## LITERATURA CITADA

Agronet. (2021, marzo 25). *Retos del departamento del Huila frente a la planificación del ordenamiento rural agropecuario*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Retos-del-departamento-del-Huila-frente-a-la-planificación-del-Huila-del-ordenamiento-rural-agropecuario.aspx>

Aldás, J. P. (2013). *Estudio de variación de la cobertura vegetal y estado actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida*. [Tesis de Magíster en Sistemas de Información Geográficas]. Repositorio Universidad San Francisco de Quito.

Alvarado-Solano, D. P. & Otero-Ospina, J. T. (2015). Spatial Distribution of Tropical Dry Forest in Valle Del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 20(3), 141-153. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n3.46703>

Armenteras, D., Rodríguez, N., Retana, J. & Morales, M. (2011). Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 11(3), 693-705. [https://www.researchgate.net/publication/226697849\\_Understanding\\_deforestation\\_in\\_montane\\_and\\_lowland\\_forests\\_of\\_the\\_Colombian\\_Andes](https://www.researchgate.net/publication/226697849_Understanding_deforestation_in_montane_and_lowland_forests_of_the_Colombian_Andes)

Benedetti Henao, C. (2015). El Fenómeno del Niño 1991-1992 - evidencia en la acumulación de capital humano. Unianandes. Disponible en: <https://hdl.handle.net/1992/13141>

Camacho, A. (2015). El Fenómeno del Niño 1991-1992: Evidencia en la acumulación de Capital Humano. *Repositorio Universidad de los Andes*.

Changalombo, D., Rivera, J. (2022). Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020. *Universidad Técnica de Cotopaxi*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7870>

Devis-Morales, A. (2003). Evolución del evento el niño 2002-2003 y efectos sobre la cuenca del pacífico colombiano y la bahía de Tumaco. *Boletín Científico CCCP*. [https://www.researchgate.net/publication/319145938\\_Evolucion\\_del\\_evento\\_El\\_Nino\\_2002-2003\\_y\\_efectos\\_sobre\\_la\\_cuenca\\_del\\_Pacifico\\_colombiana\\_y\\_la\\_Bahia\\_de\\_Tumaco](https://www.researchgate.net/publication/319145938_Evolucion_del_evento_El_Nino_2002-2003_y_efectos_sobre_la_cuenca_del_Pacifico_colombiana_y_la_Bahia_de_Tumaco)

Díaz, L. M. (2017). Caracterización fisonómico-estructural del bosque seco tropical en seis parcelas permanentes en Aipe (Huila) e implementación de prácticas comunitarias para su conservación. *Universidad distrital Francisco José de Caldas*. <http://hdl.handle.net/11349/6914>

Espinal, L. y Montenegro, E. (1963). Formaciones vegetales de Colombia. *Insti-tuto Geográfico Agustín Codazzi*, 201. [https://discovered.ed.ac.uk/discovery/fulldisplay?vid=44UOE\\_INST:44UOE\\_](https://discovered.ed.ac.uk/discovery/fulldisplay?vid=44UOE_INST:44UOE_)

VU2&tab=Everything&docid=alma992207343502466&lang=en&context=L&query=any,contains,god,%20humanity,%20cosmos&sortby=-date&facet=frbrgroupid,include-1310909670&offset=0

Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S. & Possingham, H. (2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(2-4), 369-386. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.013>

Galván-Guevara, Ballut-Dajud, De La Ossa-V. (2015). Determinación de la fragmentación del bosque seco del arroyo Pechelín, Montes de María, Caribe, Colombia. *Biota Colombiana*, 16(2): 149-157. <chrome-extension://efaidnbmnnibpcapcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/491/49144024007.pdf>

García Sancho, A. G., Nájera González, O., Murray Núñez, R. M. & Marceleño Flores, S. M. L. (2016). Dinámica espaciotemporal de la cobertura y uso del suelo en una cuenca hídrica. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(9), 29-42. <https://ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/42>

González-Hernández, L., Romo-Lozano, J. L., Cristóbal-Acevedo, D., Martínez Dá-mian, M. Á., Mohedano Caballero, L. (2023). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de cuatro sistemas forestales periurbanos a través de i-Tree Eco. *Madera y bosques*, 29(3). <https://www.redalyc.org/journal/617/61778755001/html/>

Hernández-Calderón, L. N., Salamanca-Carvajal, J. A. (2019). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico de la cuenca del Río Sardinata, del departamento de Norte de Santander-Colombia. *Universidad Católica de Colombia*.

IDEAM, (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. 72. <https://www.purace-cauca.gov.co/MiMunicipio/Documentos-Gesti%CB3n%20del%20riesgo%20Purac%C3%A9/Leyenda%20nacional%20coberturas%20tierra.pdf>

IDEAM. (2018). Bosques y deforestación en Colombia: Informe técnico anual de la tasa de deforestación nacional 2017. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.

Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205-241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>

León-Alfaro, Y. (2019). Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco, Costa Rica: Conectando el bosque para proteger el agua. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 102-120. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.67969>

Márquez, C. I., Ustariz, G., Peña, D. F., Caicedo, I. H., & Cuevas, A. (2016). *Fenómeno El Niño: Análisis comparativo 1997-1998 / 2014-2016*.

Mas, J. F. y Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*. 5(1), 1-24 <chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.camafu.org.mx/wp-content/uploads/2018/02/NS 5 1 Mas-Flamenco.pdf>

Matías, J., Rodríguez, M. J., Carrillo-Vico, A., Casals, J., Fondevilla, S., Haros, C. M., Pedroche, J., Aparicio, N., Fernández-García, N., Aguiló-Aguayo, I., Soler-Rivas, C., Caballero, P. A., Morte, A., Rico, D., & Reguera, M. (2024). *From “farm to fork”: Exploring the potential of nutrient-rich and stress-resilient emergent crops for sustainable and healthy food in the Mediterranean region in the face of climate change challenges*. *Plants*, 13(14), 1914. <https://doi.org/10.3390/plants13141914>

Mendoza-Poggi, M. L., Giler-Ormaza, A. M., Aguilar-Porro, C., Pimentel-Leiva, R. (2021). Evaluación del uso y cobertura del suelo en la cuenca río Chico. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2596>

Nakao Inouye, C. E., Cabral de Sousa, W., de Freitas, D. M., Simões, E. (2015). Modeling the spatial dynamics of urban growth and land use changes in the north coast of São Paulo, Brazil. *Ocean & Coastal Management*, 108, 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.12.016>

Núñez, E. J., Toro, O. A. (2017). Desarrollo de un modelo espacial a partir de herramientas de procesamiento digital de imágenes para cuantificar la tendencia de la desertificación del desierto de la Tatacoa, en el departamento del Huila. *Universidad Católica de Manizales*. Tesis de Maestría (Magíster en Teledetección). Universidad Católica de Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/1858>

Olaya, A., Sánchez, M., & Acebedo, J. C. (2001). La Tatacoa: Ecosistema estratégico de Colombia. Universidad Surcolombiana. <https://biblioteca.usco.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=11279>

Pizano, C. y García, H. (2014). El Bosque Seco Tropical en Colombia. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)*.

Quintero-Gallego M. E., Quintero-Angel M. & Vila-Ortega J. J. (2018). Exploring land use/land cover change and drivers in Andean mountains in Colombia: A case in rural Quindío. *Sci Total Environ.* 2018 Sep 1;634:1288-1299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.359>

Ruiz, T. y Febles, G. (2004). La desertificación y la sequía en el mundo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 8(2). Universidad de Colima. <chrome-extension://efaid-nbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/837/83780201.pdf>

Sánchez-Cuervo, A. M. & Aide, T. M. (2013). Consequences of the Armed Conflict, Forced Human Displacement, and Land Abandonment on Forest Cover Change in Colombia: A Multi-scaled Analysis. *Ecosystems* 16, 1052-1070. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9667-y>

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)

Vargas, J. A. (2013). Análisis multitemporal de la cobertura del suelo en el departamento del Huila (Alto Magdalena, Colombia). *UDCA*. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1297>

Vogelmann, J. E. (1995). Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology*, 9(2), 439-449. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.9020439.x>

#### Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



#### Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

