

Universidad Andina Simón Bolívar

Sede Ecuador

Área de Ambiente y Sustentabilidad

Maestría de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo

Los bosques del quebranto

Degradación de cobertura y variabilidad climática local en el Bosque Seco Tropical del Patía (Colombia) 2016 – 2024

Carlos Daniel Quiñonez Rodríguez

Tutor: William Sacher Freslon

Quito, 2026



Cláusula de cesión de derecho de publicación

Yo, Carlos Daniel Quiñonez Rodríguez, autor de la tesis intitulada “Los bosques del quebranto: degradación de cobertura y variabilidad climática local en el Bosque Seco Tropical del Patía (Colombia) 2016 – 2024”, mediante el presente documento dejo constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 24 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

01 de abril de 2026

Firma: _____

Resumen

El enfoque de esta investigación es analizar las dinámicas multidimensionales de la degradación del bosque seco tropical del Valle del Patía, el cual se localiza en el municipio de Patía, departamento del Cauca al suroccidente de Colombia. Se enfoca en la pérdida de cobertura vegetal y su impacto en las variaciones meteorológicas de precipitación y temperatura. El objetivo general es determinar la influencia de la degradación de la cobertura vegetal sobre la alteración de las condiciones meteorológicas durante el periodo 2016 – 2024.

Se recurre al procesamiento de imágenes de sensores remotos y al uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para producir un análisis multitemporal (2016 – 2024) de la cobertura vegetal, la temperatura y la precipitación. Se evidencia la reducción de la cobertura boscosa del ecosistema, con una pérdida neta significativa y una marcada tendencia al incremento de las variables analizadas, configurando un escenario de alta vulnerabilidad. Se identifica a la expansión agropecuaria como el principal vector de transformación de la cobertura vegetal del bosque seco tropical. Se concluye que revertir la degradación del sistema socioecológico demanda estrategias de gestión adaptativa que reconcilien la conservación ecológica con la equidad social.

Palabras clave: degradación ambiental, bosque seco tropical, valle del Patía, servicios ecosistémicos, sistemas socioecológicos, geografía ambiental, variables climáticas, teledetección

A Nalita, mi cálida compañía en los desvelos, quien aceptó con paciencia tantas noches de paseo que perdimos juntos en mi intento por escribir estas líneas.

A mi gordita, la responsable de mis pequeños descansos, de los silencios de reflexión, de mis sonrisas y de mi reencuentro con el amor.

Agradecimientos

Al inmenso, emblemático, resistente y resiliente territorio del valle del Patía, que me ha entregado el universo en un puñado de tierra fértil y en el arrullador sonido de sus sinuosas aguas. A su gente, que es el reflejo de mi rostro y el latido de mi sangre. A esa historia que fluye entre voces del saber, indómita y ejemplar, desde las raíces del siglo XVI. Es un territorio que no se define solo por su geografía, sino por la profunda y antigua sabiduría que ha germinado en su suelo, una memoria viva que se remonta a los primeros asentamientos y resistencias, y que se ha moldeado con el sudor, el cultivo y la tenaz persistencia de generaciones. Esta tierra es el primer acto de un gran relato, el fundamento físico y espiritual desde donde todo parte y al cual todo retorna.

Porque ellos son el susurro que habita en el viento, la brasa que enciende la memoria dormida. Ellos me inspiran, me llaman con voz de valle y de río, a develar las historias y su producción de territorio que el tiempo recuerda. Me motivan a buscar en cada piedra, en cada mirada, en cada nombre que se pierde en la noche, la huella luminosa de nuestro lugar, el mapa sagrado de nuestro origen. En su cotidianidad y en sus rituales, en el trabajo de la tierra y en la transmisión oral, se cifra un conocimiento geográfico y existencial único: un símbolo íntimo donde cada sendero, cada árbol y cada corriente de agua narra un capítulo de lucha, adaptación y profundo arraigo. Su llamado es una convocatoria para descifrar ese manuscrito territorial, a leer las marcas que han dejado en el paisaje y que convierten el valle en un texto vivo.

Ellos son la razón por la que escudriño en el pasado y el ahora: para devolverles, en palabras y textos, el eco de sus pasos, el temple de su silencio y la fiereza de su esperanza. Para tejer, con los hilos del tiempo, el poema eterno de esta tierra que lo es todo: cuna, refugio, eternidad y naturaleza. A la gente negra del Patía, que habita este Bosque Seco Tropical. Este compromiso, en mis atavismos de patiano, es un acto de reciprocidad y de amor, un intento de traducir en narrativa la esencia de una comunidad que ha forjado su identidad en íntima dialéctica con un ecosistema a la vez pródigo y exigente. Así, la palabra escrita se convierte en un espejo y en un legado, un reconocimiento a quienes, desde su ser y su habitar, han tejido la trama indestructible de un territorio que perdura como símbolo máximo de resistencia y pertenencia.

Tabla de contenidos

Figuras y tablas	13
Introducción.....	15
Capítulo primero Perspectivas teóricas	17
1. La dimensión ontológica y material del concepto de paisaje	17
2. Los sistemas socioecológicos	19
3. El enfoque de la sustentabilidad	21
4. Algunas notas acerca del cambio climático.....	23
5. Conclusiones.....	25
Capítulo segundo Relaciones y tensiones entre naturaleza e influencia antrópica a nivel regional	27
1. Deforestación en América Latina	27
1.1. Crisis e historia ambiental en Colombia.....	28
2. Una perspectiva nacional de la deforestación.....	31
2.1. Los impactos de la degradación ambiental en Colombia	35
2.2. La deforestación en el Cauca.....	35
3. Conclusiones.....	39
Capítulo tercero El BST del Patía como un Sistema Socioecológico	41
1. El Bosque Seco Tropical del Patía: un relicto amenazado	41
1.1. Contexto histórico de ocupación humana y transformación del paisaje	42
1.2. Caracterización ambiental del SEE del BST del Patía	43
1.3. Localización, contextualización e integración de subsistemas.....	43
2. Sustentabilidad y resiliencia socioecológica	46
2.1. La ecología política del BST del Patía	47
3. Conclusiones.....	48
Capítulo cuarto Un abordaje metodológico para comprender la degradación de cobertura en el valle del Patía.....	51
1. Cuantificación de la pérdida de cobertura vegetal.....	51
1.1. Planificación y delimitación del área de estudio	52
1.2. Levantamiento de puntos de referencia y selección de imágenes satelitales	53
1.3. Preprocesamiento y corrección atmosférica	54
1.4. Definición y caracterización de clases.....	55

1.5.	Creación de firmas espectrales y entrenamiento del clasificador.....	55
1.5.	La vectorización de los datos ráster.....	56
2.	Determinación de temperatura y precipitación.....	57
3.	Elaboración de cartografía temática	58
4.	Conclusiones.....	59
Capítulo quinto Un análisis espacio – temporal de la degradación de cobertura vegetal del BST del Patía		
61		
1.	¿Los bosques del quebranto?.....	61
2.	Una aproximación a la variabilidad meteorológica local	64
2.1.	Tendencias y variaciones de la temperatura	65
2.2.	Patrones de precipitación y un posible escenario de sequía	67
3.	Una geografía de los impulsores.....	69
4.	La escala de la ganadería	70
5.	Escenarios de cambio: proyecciones basadas en tendencias actuales	73
6.	Proyecciones de la cobertura vegetal.....	74
7.	Conclusiones.....	75
Conclusiones.....		
77		
Lista de referencias		
79		

Figuras y tablas

Figura 1. Millones de hectáreas reforestadas en Colombia entre 1969 a 1999	29
Figura 2. Barriles de petróleo derramados durante 1986 hasta 1994	30
Figura 3. Emisiones por tipo de contaminantes durante 1990.....	31
Figura 4. Deforestación nacional acumulada en Colombia durante 2002 a 2030	33
Figura 5. Deforestación acumulada en Colombia (2001 a 2030)	34
Figura 6. Aguas del río Patía contaminada por mercurio	38
Figura 7. Draga de oro en el cauce del río Patía.....	38
Figura 8. Localización del BST del valle del Patía en el municipio de Patía.....	44
Figura 9. Cambio por tipo de cobertura vegetal en el BST del Patía	62
Figura 10. Cambios de cobertura vegetal en el BST del Patía (2016 y 2024).....	63
Figura 11. Temperatura en el BST del Patía entre 2016 y 2024	66
Figura 12. Precipitaciones en el BST del Patía (2016 y 2024).....	67
Figura 13. Relación de temperatura y precipitación en el BST del Patía.....	68
Figura 14. Proyecciones por tipo de cobertura en el BST del Patía (2026–2034)	75
Tabla 1. Metadatos de las imágenes satelitales	54
Tabla 2. Estaciones meteorológicas del municipio de Patía.....	57
Tabla 3. Cambios de cobertura vegetal boscosa en el BST del Patía.....	62
Tabla 4. Comportamientos de la temperatura en el BST.....	65
Tabla 5. Distribución de GINI por tenencia de la tierra	71

Introducción

La presente investigación se sitúa en el Bosque Seco Tropical del río Patía, el cual se localiza en el departamento del Cauca al suroccidente de Colombia. Se considera el relicto de BST más pequeño a nivel nacional por representar el 1,5 % de la extensión total del ecosistema (Pizano et al. 2015). Este territorio no es solo un hotspot de biodiversidad con alto endemismo, sino también el espacio de vida de comunidades afrodescendientes cuyas historias y culturas están intrínsecamente ligadas al bosque. Sin embargo, la convergencia de presiones históricas y contemporáneas ha desencadenado un proceso acelerado de degradación que compromete la integridad del ecosistema y los medios de vida locales.

El problema central que motiva esta investigación es la ausencia de un diagnóstico integrado y cuantitativo que vincule explícitamente la degradación de la cobertura vegetal con las alteraciones en las variaciones meteorológicas locales en el BST del Patía. Si bien la deforestación es un fenómeno ampliamente documentado a escalas nacional y regional, sus impactos biofísicos directos sobre variables meteorológicas como la temperatura y la precipitación a escala local (especialmente en ecosistemas secos y frágiles) permanecen menos explorados, limitando el diseño de estrategias de gestión adaptativa basadas en evidencia científica sólida. Por ello, esta tesis se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera la degradación de la cobertura vegetal ha influido en la variabilidad de la temperatura y la precipitación local en el Bosque Seco Tropical del Patía durante el período 2016 – 2024?

El objetivo general de este estudio es determinar la influencia de la degradación de la cobertura vegetal sobre la alteración de las condiciones meteorológicas locales (temperatura y precipitación) en el BST del Patía durante el período 2016 – 2024. Este objetivo se operacionaliza a través de los siguientes objetivos específicos: primero, cuantificar la pérdida de cobertura vegetal con relación a los principales impulsores antrópicos identificados. Segundo, modelar espacialmente la variación de las condiciones climáticas en función de la degradación observada. Tercero, analizar la forma en que estas variaciones influye en la función ecológica del BST del Patía. Y cuarto, comprender desde una perspectiva interdisciplinaria, los factores impulsores de la deforestación y su relación con la configuración territorial y la vulnerabilidad de las comunidades locales.

La justificación de esta investigación se sustenta en tres pilares: su valor teórico, al integrar perspectivas de la geografía ambiental, la ecología del paisaje y la ciencia de sistemas socioecológicos para estudiar un fenómeno complejo; su relevancia metodológica, al aplicar y documentar un protocolo riguroso de teledetección para el monitoreo de ecosistemas secos tropicales, generando datos espaciales reproducibles; y su aplicación práctica, al proporcionar evidencia concreta para informar políticas de conservación, planes de manejo adaptativo y estrategias de restauración ecológica en un territorio crítico, contribuyendo así al enfoque de la sustentabilidad.

La metodología se fundamenta en un enfoque cuantitativo y geoespacial. Se realizó una clasificación supervisada de imágenes satelitales Sentinel – 2 utilizando el algoritmo de Máxima Verosimilitud en ArcGIS Pro (3.5) para mapear las clases *bosque* y *no bosque*. Paralelamente, se interpolaron datos de temperatura y precipitación de una red de estaciones meteorológicas mediante el método de Ponderación de Distancia Inversa (IDW). El análisis integrado de estas capas permitió cuantificar tasas de cambio, correlacionar espacialmente la pérdida de cobertura con aumentos de temperatura, y elaborar proyecciones lineales exploratorias.

La tesis se estructura en cinco capítulos. El *capítulo primero* establece el marco teórico, integrando conceptos de paisaje como entidad material, sistemas socioecológicos, sustentabilidad y cambio climático. El *capítulo segundo* contextualiza la problemática a escalas regional (América Latina) y nacional (Colombia – Cauca), analizando las causas y consecuencias de la deforestación. El *capítulo tercero* caracteriza en detalle el área de estudio, describiendo su biogeografía, ecología e historia ambiental. El *capítulo cuarto* detalla el diseño metodológico, explicando los procedimientos de teledetección, clasificación y análisis espacial. Finalmente, el *capítulo quinto* presenta y discute los resultados centrales del análisis espacio – temporal, las proyecciones futuras y las conclusiones derivadas de la investigación.

Capítulo primero

Perspectivas teóricas

En la gran cadena de causas y efectos,
ninguna sustancia o actividad puede
considerarse aislada
(Von Humboldt y Aimé Bonpland 1807)

La complejidad de la relación entre la degradación de la cobertura vegetal y las variaciones meteorológicas locales exige un marco teórico multidimensional que intente superar explicaciones reduccionistas. Por eso, este capítulo tiene como objetivo construir la estructura conceptual que fundamenta y orienta toda la investigación. Para ello, se integran cuatro perspectivas teóricas clave que, en conjunto, permiten comprender el fenómeno de estudio en su totalidad. En primer lugar, se aborda el concepto de paisaje desde una ontología material, superando su visión como mera representación escénica para entenderlo como una entidad geográfica viva y funcional, donde la vegetación actúa como regulador crítico de los flujos energéticos.

En segundo lugar, se introduce el enfoque de los sistemas socioecológicos (SSE), que permite analizar las dinámicas coevolutivas entre las comunidades humanas y su base biofísica, reconociendo la degradación ambiental como el resultado de trayectorias históricas sedimentadas. En tercer lugar, se estudia el enfoque de la sustentabilidad, que proporciona el marco normativo y analítico para evaluar las interconexiones entre las dimensiones ambiental, social y económica, y para plantear soluciones viables. Finalmente, se revisan algunos fundamentos del cambio climático. La integración de estos marcos teóricos es indispensable para analizar de manera integral cómo la pérdida de bosque no solo transforma el paisaje, sino que reconfigura las condiciones meteorológicas y la vulnerabilidad de todo el sistema socioecológico del valle del Patía.

1. La dimensión ontológica y material del concepto de paisaje

La investigación del paisaje se fundamenta en las bases epistemológicas de la tradición geográfica clásica. Tal como lo subrayó González (2012) utilizando las ideas de Carl Troll, el concepto de paisaje se consolidó como objeto de estudio específico de la geografía moderna durante el siglo XX, dando lugar a la ciencia del paisaje. Esta disciplina, cuyos orígenes Troll sitúa a finales del siglo XIX, surgió inicialmente del

análisis de ambientes extremos, como desiertos o zonas glaciares, donde los procesos físico – geográficos constituían el interés primordial. El desarrollo de paradigmas centrados en la génesis de las formas del relieve, con métodos predominantemente deductivos, impulsó notablemente el campo de la geomorfología, un enfoque que ganó amplia aceptación en la comunidad académica internacional.

Desde una perspectiva contemporánea, superando la noción reductiva del paisaje como mera representación escénica, se lo reconoce como una entidad geográfica compleja y material. Besse (2011), inspirándose en el concepto de geograficidad propuesto por Éric Dardel, postula que el paisaje constituye la manifestación fenoménica de la existencia humana en la Tierra. En este marco teórico, la cubierta vegetal opera, metafóricamente, como la epidermis del territorio. Su degradación, documentada para el período 2016 – 2024, trasciende una simple modificación estética; representa una alteración sustancial de la materialidad biofísica que media entre la radiación solar y la litosfera, influyendo de manera directa en los flujos energéticos y, en consecuencia, en los regímenes meteorológicos a escala local.

Esta conceptualización encuentra resonancia en la propuesta de Malcolm Andrews (2011), quien introduce la noción de ecología estética. Desde esta óptica, el paisaje debe ser comprendido como un sistema vivo y funcional, donde la vegetación actúa como un regulador homeostático clave. La degradación de dicha cobertura implica, por tanto, una ruptura en la integridad funcional del sistema paisajístico. Por citar un ejemplo, la consiguiente reducción en los servicios ecosistémicos de regulación térmica e hídrica manifiesta en el aumento de temperaturas o la alteración de la humedad relativa, se interpreta como un síntoma de una ecología fracturada, transformando un espacio antes resiliente en un entorno vulnerable a fenómenos meteorológicos extremos.

La dialéctica entre lo natural y lo artificial es examinada por Daniela Colafranceschi (2011), quien conceptualiza el paisaje contemporáneo como el resultado de una simbiosis absoluta. La degradación vegetal observada responde así a una creciente carga antrópica que reconfigura activamente el clima local. En su planteamiento, el paisaje funciona como un indicador sintético: el retroceso de la vegetación frente a procesos de urbanización o extractivismo genera respuestas meteorológicas mensurables (como el efecto de isla de calor o la alteración de los patrones de precipitación), evidenciando una transformación profunda. El paisaje deja de ser un escenario pasivo para erigirse en un agente reactivo y un registro sensible de la presión humana.

Esta aceleración en las transformaciones es destacada por Joan Nogué (2011), quien advierte sobre la velocidad sin precedentes con que cambia la fisonomía de los paisajes en las últimas décadas. La rapidez del proceso de degradación de la cubierta vegetal impide los mecanismos de adaptación y autorregulación de los sistemas ecológicos, desencadenando respuestas disruptivas en las variables meteorológicas. Según Nogué, esta pérdida de densidad y diversidad vegetal despoja al paisaje de su identidad biofísica específica, generando un *espacio anestesiado* cuya capacidad para amortiguar los impactos del cambio climático global a escala microclimática se ve severamente comprometida.

En síntesis, la teoría del paisaje integrada en este análisis permite conceptualizar la superficie vegetal como una interfaz crítica. Siguiendo a Besse (2011), quien define el paisaje como un *espacio háptico* de contacto e interacción, la desaparición de la vegetación altera parámetros fundamentales como la rugosidad superficial y el albedo. Estos cambios modifican a su vez la dinámica de la capa límite atmosférica, los patrones de viento y los intercambios de calor sensible y latente. Por consiguiente, investigar la influencia de la cobertura vegetal sobre la meteorología equivale a estudiar cómo la degradación estructural del paisaje altera la fenomenología atmosférica del espacio que habitamos.

2. Los sistemas socioecológicos

La conceptualización de los sistemas socioecológicos (SSE) parte de reconocerlos como unidades de análisis complejas e integradas, cuya ontología emerge de la interacción coevolutiva entre subsistemas sociales y ecológicos. Como establecen Berkes y Folke (1998) y Ostrom (2009), estos sistemas presentan propiedades holísticas que no pueden reducirse a la suma de sus partes constituyentes, ya que lo social y lo natural se co – constituyen mutuamente a través de un entramado recursivo de relaciones materiales, simbólicas y funcionales.

En este marco, las comunidades humanas (con sus estructuras institucionales, marcos cognitivos, sistemas de valor y prácticas socioeconómicas) mantienen una interdependencia bidireccional con los ecosistemas, cuyos componentes bióticos y abióticos (hidrología, edafología, biodiversidad) condicionan y son condicionados por dichas interacciones. Esta perspectiva supera los dualismos cartesianos sociedad – naturaleza, posicionando a los sistemas socioecológicos como sistemas adaptativos complejos caracterizados por propiedades emergentes, capacidades de autoorganización

y resiliencia, pero también por la existencia de umbrales críticos y puntos de bifurcación que pueden precipitar cambios de régimen irreversibles.

Por otro lado, la transformación histórica de los SSE está catalizada por la ocurrencia de *hitos críticos* o eventos desencadenantes, de origen tanto natural como antrópico, que reconfiguran de manera fundamental las relaciones entre las comunidades y su base biofísica. Ghiso (2000) subraya que estos acontecimientos (como la implantación de infraestructuras a gran escala, perturbaciones climáticas extremas, conflictos socio – políticos o cambios en los marcos regulatorios) operan como puntos de inflexión que definen trayectorias de sustentabilidad divergentes. Dichas trayectorias pueden orientarse hacia estados de mayor resiliencia y bienestar socioecológico, o bien hacia fases de degradación ambiental y fragmentación social. El análisis diacrónico de estos hitos permite desentrañar cómo, en cada coyuntura histórica, se han priorizado ciertos regímenes de valor (ya sean instrumentales, intrínsecos o relacionales) y cómo estas jerarquías axiológicas han modelado las prácticas de gestión territorial y la calidad de las relaciones sociedad – naturaleza.

En última instancia, la búsqueda de la sustentabilidad en los SSE exige una transición paradigmática hacia marcos normativos como el *Buen Vivir*, conceptualizado no como un estado final, sino como un proyecto de vida colectivo y plural que aspira a relaciones de armonía, reciprocidad y equidad entre los sistemas sociales y los ecosistemas (Escobar 2014). Esto implica avanzar hacia una *gobernanza relacional* capaz de reconocer, negociar y articular la multiplicidad de valores en juego, fortalecer la resiliencia comunitaria y fomentar procesos deliberativos de toma de decisiones. Solo mediante un enfoque *transdisciplinar, crítico y sensible a la pluralidad axiológica* será posible orientar a los SSE hacia trayectorias de sustentabilidad que reconcilien la integridad ecológica con la justicia social y la dignidad humana.

Asimismo, la transformación de los SSE constituye, en esencia, un proceso histórico y multidimensional donde las dinámicas biofísicas y socio – culturales se entrelazan de manera muy conectada. Desde la perspectiva de la Historia Ambiental (Worster 2008; McNeil, 2005), las transformaciones territoriales deben analizarse en trayectorias temporales de larga duración, identificando fases de cambio acelerado (como la expansión de la frontera agropecuaria o la implantación de sistemas de regulación hídrica) y sus impactos acumulativos y sinérgicos sobre la estructura y función de los SSE.

En ese orden de ideas, la transformación del paisaje se constituye como la expresión morfológica visible de la evolución de un SSE. En el contexto específico de esta investigación, la degradación de la cobertura vegetal no constituye un fenómeno episódico o aislado, sino la manifestación biofísica resultante de *procesos históricos sedimentados de cambio en el uso del suelo*. Estos procesos han sido impulsados por la convergencia de modelos económico – productivos (como la especialización en monocultivos) y marcos normativos e institucionales específicos, los cuales han reconfigurado de manera profunda las relaciones sociedad – naturaleza.

3. El enfoque de la sustentabilidad

El desarrollo sustentable se configura como un paradigma epistemológico integral que problematiza críticamente los modelos hegemónicos de desarrollo económico, anclados en los supuestos de explotación ilimitada de recursos y la maximización del crecimiento per se. Dichos modelos han evidenciado su carácter estructuralmente generador de externalidades ecológicas negativas y de exclusión social (Gutiérrez 2007). Su formulación principal, consagrada en el Informe Brundtland (1987), lo define como aquel proceso de desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias.

Esta definición establece una indisociabilidad fundamental entre las dimensiones económica, social y ambiental (Larrouyet 2015). Lejos de ser un concepto estático, representa un constructo dinámico y pluridimensional, cuya evolución teórica se sitúa en el contexto de una crítica histórica a los marcos de pensamiento desarrollistas del siglo XX. Estos incluyen las teorías neoclásicas, como el modelo dualista de Lewis (1955) y las etapas lineales del crecimiento de Rostow (1960) y las perspectivas estructuralistas, como las de Prebisch (1948), las cuales, a pesar de su contribución al análisis de las desigualdades centro – periferia, no integraron inicialmente la variable ecológica como una restricción estructural fundamental al proceso de desarrollo.

La estructura teórica de la sustentabilidad se fundamenta en un enfoque sistémico y transdisciplinar, que sintetiza contribuciones provenientes de la ecología, la economía ecológica, la sociología ambiental y la teoría política (Gutiérrez 2007). La ecología aporta conceptos nodales como la capacidad de carga, la resiliencia de los ecosistemas y el manejo para un rendimiento sostenido, conceptualizando los sistemas naturales como un capital natural que provee flujos de servicios esenciales (Alemán 2005). La economía ecológica, por su parte, formula una crítica estructural a la externalización de los costos

ambientales en la contabilidad económica convencional, abogando por su internalización y por una valoración de la naturaleza que trascienda su mera utilidad mercantil.

Desde este prisma, la cobertura vegetal se constituye como un componente estructural crítico del sistema ambiental y un *indicador proxy* fundamental de la salud ecosistémica (Larrouyet 2015). Funciona como un subsistema complejo que modula procesos climáticos a escalas local y regional a través de mecanismos biofísicos clave: la regulación de la evapotranspiración, la fijación de carbono, la modificación del albedo superficial y la influencia en los patrones de circulación atmosférica y de precipitación.

La degradación de este subsistema, producto de la deforestación, el cambio de uso de suelo o la fragmentación de hábitats, desestabiliza estos mecanismos regulatorios, generando alteraciones observables en las condiciones meteorológicas. Estas pueden manifestarse como un incremento de la temperatura, una reducción de la humedad relativa, una alteración de los regímenes pluviométricos y una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos. Por tanto, el estudio de la relación diádica entre cobertura vegetal y variación meteorológica se inscribe necesariamente en el análisis de los sistemas de sustentabilidad, donde las dimensiones ambiental, social y económica interactúan de manera recursiva y no lineal.

Otro aspecto para considerarse, como señalan las críticas al propio concepto de desarrollo sustentable, es que su implementación efectiva requiere trascender su inherente ambigüedad normativa y avanzar hacia un cambio civilizatorio que priorice la equidad intra e intergeneracional (Sachs 1999; Latouche 2008). En este sentido, la pérdida de cobertura vegetal no es únicamente una variable biofísica cuantificable, sino un fenómeno socioecológico que refleja, y simultáneamente exacerba, desigualdades estructurales, afectando de manera desproporcionada a las comunidades más vulnerables, cuyos medios de vida dependen directamente de los servicios ecosistémicos provistos por dicha cobertura.

En consecuencia, el análisis de la influencia de la degradación de la cobertura vegetal sobre las condiciones meteorológicas durante un periodo histórico determinado exige este marco teórico integrador. Permite postular la hipótesis de que las alteraciones meteorológicas observadas son el resultado de un proceso de retroalimentación dentro del sistema socioecológico: la presión antrópica sobre el territorio reduce la resiliencia ambiental, lo cual modifica el clima local, creando a su vez condiciones (Estrés hídrico, mayor vulnerabilidad a incendios) que pueden acelerar aún más la degradación y profundizar las vulnerabilidades sociales.

De este modo, la sustentabilidad en el marco de los sistemas socioecológicos se conceptualiza e integra como la capacidad de mantener la integridad ecológica y el bienestar social de manera perdurable, reconociendo explícitamente los límites biofísicos planetarios y el imperativo ético de la justicia intergeneracional. Desde el *Pensamiento Complejo* (Morin 1990), la sustentabilidad exige superar visiones reduccionistas y adoptar enfoques sistémicos que integren dialécticamente las dimensiones ecológicas, sociales, económicas y culturales.

En el contexto específico de esta investigación, la operacionalización de la sustentabilidad implica, primero, un manejo adaptativo; segundo, gobernanza multiescalar y policéntrica; y tercero, preservación de servicios ecosistémicos críticos. Comprender esta dinámica compleja y no lineal es fundamental para diseñar estrategias de adaptación y mitigación que sean genuinamente sustentables; es decir, que restauren el equilibrio ecológico mientras promueven la justicia social y la viabilidad económica de largo plazo, alineándose con propuestas como el paradigma del decrecimiento sostenible (Schneider et al. 2010).

4. Algunas notas acerca del cambio climático

La superficie terrestre y la atmósfera constituyen un sistema dinámico acoplado, caracterizado por relaciones de retroalimentación bidireccional continuas. En este sistema, las propiedades de la superficie modulan de forma crítica los intercambios de energía, masa y momento con la atmósfera inferior. El Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (2019) establece que las condiciones físicas, ecológicas e hidrológicas del suelo (con particular énfasis en la cobertura vegetal y el contenido de humedad edáfica) son determinantes fundamentales en la partición de los flujos de energía superficial (calor sensible frente a calor latente) y en el ciclo hidrológico.

La alteración antropogénica de estas condiciones, a través de procesos como la deforestación y la conversión de usos del suelo, modifica propiedades biofísicas clave (albedo, rugosidad aerodinámica, conductancia estomática), con efectos medibles sobre, por ejemplo, la temperatura, los perfiles térmicos de la capa límite atmosférica y los patrones de precipitación a escala local y regional. Esta dinámica adquiere especial relevancia en contextos como América Latina, donde la degradación de la cobertura vegetal no solo constituye una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también erosiona la capacidad de autorregulación climática inherente a los ecosistemas naturales (Salaverri y Botana 2022).

Así, la degradación de la cobertura vegetal se identifica como un forzante primario del cambio ambiental a escala planetaria. Se estima que aproximadamente el 25% de la superficie terrestre libre de hielo experimenta algún grado de degradación antrópicamente inducida, un proceso cuya intensidad y extensión se ven amplificadas por los efectos del cambio climático (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático 2019). En el contexto latinoamericano, la expansión de modelos de producción capitalistas intensivos en recursos a catalizado la transformación y pérdida de cobertura vegetal nativa.

Esta transformación se asocia con una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos hidroclimáticos extremos, conforme se alteran los balances de energía y agua a nivel de superficie (Salaverry y Botana 2022). Dichas alteraciones meteorológicas se manifiestan en un incremento en la tasa de evapotranspiración potencial y en una mayor recurrencia e intensidad de sequías agrícolas y ecológicas. Estos procesos son impulsados por el calentamiento diferencial de las superficies continentales, el cual ha demostrado ser más acelerado que el observado en los océanos (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático 2021).

El período 2016 – 2024 se inscribe dentro de una tendencia de calentamiento global inequívoca, con un incremento promedio de 1,09 °C en la temperatura superficial global para el decenio 2011 – 2020 en relación con niveles preindustriales (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático 2021). Durante el intervalo de estudio, este forzamiento climático global interactúa de manera sinérgica con procesos de degradación ambiental local. En biomas críticos como la Amazonía, la pérdida de cobertura forestal a gran escala compromete funciones ecosistémicas clave, entre ellas la evapotranspiración reciclada que sustenta los regímenes de precipitación regionales. Esta degradación aumenta la probabilidad de ocurrencia de sequías extremas y altera los ciclos hidrológicos de los cuales dependen sistemas socioecológicos complejos (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático 2019).

Cabe señalar que los marcos analíticos aplicados a la región frecuentemente han priorizado la evaluación de impactos económicos directos, relegando a un segundo plano la comprensión de los factores biofísicos sistémicos. Como argumentan Salaverry y Botana (2022), esta omisión lleva a subestimar cómo la pérdida de biodiversidad vegetal y la simplificación estructural del paisaje erosionan la resiliencia intrínseca de los territorios frente a las variaciones meteorológicas. Cada incremento en el forzamiento radiativo global potencia las alteraciones en las condiciones medias regionales,

particularmente en la temperatura y la humedad del suelo (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático 2021).

Así, la pérdida de vegetación actúa como un amplificador de este ciclo a través de dos vías principales: la reducción de la capacidad de sumidero de carbono de la biota terrestre y la alteración del balance radiativo y energético superficial (Salaverry y Botana 2022). El Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (2019) advierte que la continuación de las tendencias de degradación en zonas áridas y semiáridas de América Latina incrementará su vulnerabilidad a procesos de desertificación. Esta transición generará condiciones meteorológicas propicias para una mayor frecuencia y severidad de incendios forestales, junto con una creciente inestabilidad en la disponibilidad de recursos hídricos y en la seguridad alimentaria.

5. Conclusiones

La revisión teórica realizada permitió consolidar un marco integrador para el análisis de la degradación del BST del Patía. Se superó una concepción estática del paisaje para adoptar una visión dinámica y material, donde la cobertura vegetal se entiende, metafóricamente, como la *epidermis del territorio*, una interfaz biofísica clave que modula el intercambio de energía y agua con la atmósfera. La perspectiva de los sistemas socioecológicos proporcionó la lógica para analizar el problema no como un evento aislado, sino como el resultado de una coevolución histórica entre las prácticas sociales y la base ecológica, donde la degradación actual es síntoma de una ruptura en esta relación dialéctica.

El enfoque de la sustentabilidad aportó la dimensión normativa y el reconocimiento de la interdependencia entre integridad ecológica, bienestar social y viabilidad económica, esencial para plantear soluciones. Por último, la discusión sobre cambio climático precisó los mecanismos biofísicos a través de los cuales la pérdida de vegetación altera los balances radiativos e hídricos, exacerbando el calentamiento local. En conjunto, este capítulo construye la base conceptual que posiciona la investigación en el diálogo contemporáneo entre la geografía ambiental, la ecología política y la ciencia de la sostenibilidad, permitiendo abordar la pregunta de investigación desde una mirada compleja, sistémica y crítica.

Capítulo segundo

Relaciones y tensiones entre naturaleza e influencia antrópica a nivel regional

Ellos nos describen, susurró el otro con voz solemne. Esto es todo. Tienen el poder de la descripción y nosotros sucumbimos a las imágenes que construyen.
(Salman Rushdie 1988)

Antes de adentrarse en la problemática específica del BST del Patía, es crucial enmarcarla dentro de las dinámicas ambientales de mayor escala que la condicionan y explican. Este capítulo sitúa el estudio de caso en el contexto regional de América Latina y en el escenario nacional de Colombia, con un enfoque particular en el departamento del Cauca. El objetivo es analizar críticamente las causas estructurales, los impactos y las consecuencias de la deforestación y la pérdida de servicios ecosistémicos en estas escalas, revelando los patrones comunes y las particularidades que configuran el escenario en el que se desarrolla la degradación local.

Se parte de la premisa de que la deforestación no es un fenómeno aislado, sino la manifestación de una crisis socioambiental más amplia, impulsada por modelos de desarrollo extractivistas, dinámicas económicas globales, debilidad institucional y, en el caso colombiano, por el conflicto armado. Se examinará la magnitud de la pérdida de bosque en América Latina, para luego profundizar en la trayectoria histórica de la crisis ambiental en Colombia, identificando los principales impulsores y sus impactos acumulativos. Finalmente, el análisis se focalizará en el departamento del Cauca, mostrando cómo este territorio megadiverso concentra y ejemplifica las tensiones nacionales, con el BST del Patía emergiendo como un ecosistema estratégico particularmente amenazado.

1. Deforestación en América Latina

América Latina es una región de extraordinaria biodiversidad, albergando biomas clave como los bosques húmedos (44,1 %), bosques secos (8,9 %) y pastizales (16,4 %), y concentrando países megadiversos como Brasil, Colombia, y México (CEPAL y PNUMA 2001; Meyer et al. 2019). Sin embargo, esta riqueza está seriamente

comprometida por la deforestación, que ha causado una pérdida de cobertura forestal original, afectando a especies de plantas y vertebrados. Las tasas de deforestación alcanzaron 5.8 millones de hectáreas entre 1990 – 1995, con tasas anuales críticas en Centroamérica y el Caribe, y una gran pérdida absoluta en Brasil. Las principales causas son la expansión agrícola y la tala ilegal, la minería y el desarrollo de infraestructura, que provocaron la pérdida de 2.3 millones de kilómetros cuadrados de bosque tropical entre 2000 y 2018 (Negret et al. 2021).

Esta crisis conlleva pérdidas significativas de servicios ecosistémicos esenciales: el almacenamiento de carbono (contribuyendo al 23 % de las emisiones antropogénicas de GEI del sector de uso de la tierra a nivel global) (Landholm et al. 2019), la polinización, el control de plagas, la estabilización del suelo, y la alteración del ciclo del agua, lo que reduce la disponibilidad de agua dulce (Negret et al. 2021). En el caso de Colombia, esta crisis socioecológica se manifiesta en un acelerado deterioro, con tasas de deforestación que alcanzaron entre 300,000 y 800,000 hectáreas anuales en la década de 1990, siendo la expansión agropecuaria responsable del 73,3 % del fenómeno (Ministerio de Minas 1994; Departamento Nacional de Planeación 1995), amenazando el 10 % de la fauna y flora mundiales que alberga el país (Universidad Nacional de Colombia 1993).

1.1. Crisis e historia ambiental en Colombia

El análisis de la crisis ambiental colombiana se centra en la deforestación y la contaminación como ejes de una crisis socioecológica generada por dinámicas socioeconómicas y políticas de desarrollo. A pesar de la promulgación de la Constitución de 1992, que consagró el concepto de desarrollo sostenible (DNP 1995), la década de 1990 estuvo marcada por un acelerado deterioro de los recursos naturales. La deforestación alcanzó tasas alarmantes, con una pérdida anual estimada entre 300.000 y 800.000 hectáreas de bosque natural, atribuida en un 73,3 % a la expansión agropecuaria (Ministerio de Minas 1994; Departamento Nacional de Planeación 1995). Esta destrucción de hábitats, particularmente en el Chocó biogeográfico, amenazó gravemente la biodiversidad del país, que concentra el 10 % de la fauna y flora mundiales (Universidad Nacional de Colombia 1993).

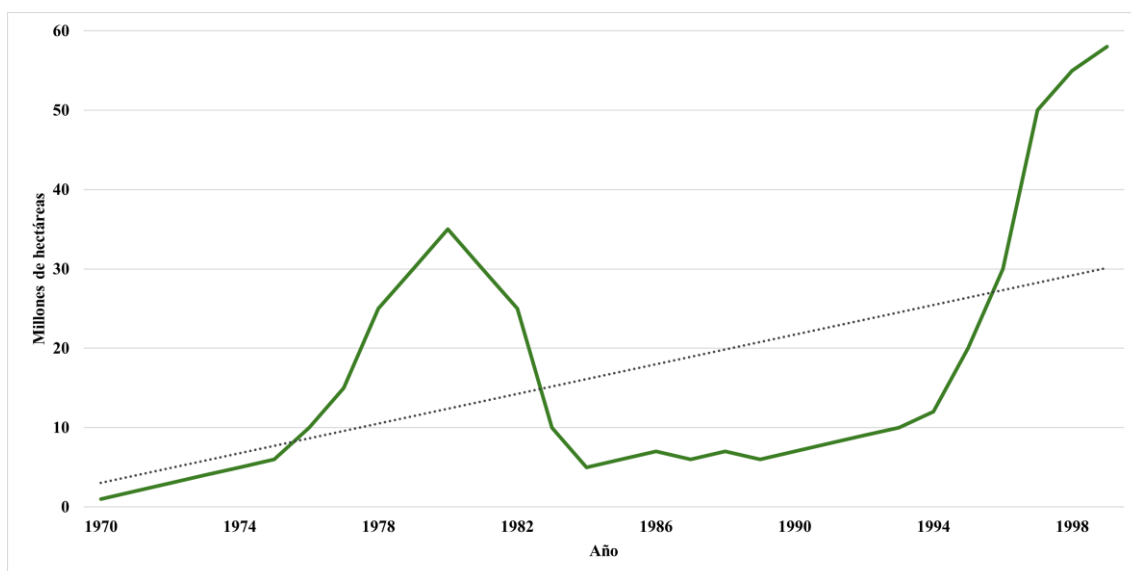


Figura 1. Millones de hectáreas reforestadas en Colombia entre 1969 a 1999

Fuente: Adaptada a partir de los datos del Departamento Nacional de Planeación (1995)

Retomando la crisis ambiental colombiana, el texto complementario destaca que, a pesar de los esfuerzos, la reforestación en el siglo XX mostró un patrón volátil: inició con un crecimiento lento (10-15 millones de hectáreas reforestadas a principios de 1970), alcanzó un pico notable de 35 – 40 millones entre 1970 y 1980, y luego disminuyó a 10-15 millones en 1990, para finalmente alcanzar un nuevo rango de 50-60 millones hacia el año 2000. A pesar de estas fluctuaciones, la línea de tendencia (coeficiente de precisión lineal de 0.323) indica un aumento general moderado de la reforestación en el largo plazo, sugiriendo la influencia de políticas o factores económicos. Paralelamente, la degradación de los suelos y recursos hídricos constituye otro eje crítico: para 1988, el 45 % de los suelos se usaba inadecuadamente y el 8,5 % del territorio nacional presentaba erosión severa, con una degradación anual de entre 170.000 y 200.000 hectáreas (IGAC 1988). La contaminación hídrica era grave, con menos del 5 % de los municipios tratando sus aguas residuales, y se sumaba el problema de la contaminación por derramamiento de petróleo, que totalizó 1.16 millones de barriles vertidos entre 1986 y 1994.



Figura 2. Barriles de petróleo derramados durante 1986 hasta 1994

Fuente: Adaptada a partir de los datos del Departamento Nacional de Planeación (1995)

La línea de tendencia del gráfico permite evidenciar, con un coeficiente de presión lineal correspondiente a 2.349, una relación extremadamente débil entre el tiempo y la cantidad de barriles de petróleo derramados. Esto sugiere que no hay una tendencia clara a lo largo del periodo analizado. Esta línea se mantiene casi horizontal, reflejando que los altibajos de los datos puntuales no siguen un patrón lineal consistente. Esto se debe a que el derramamiento de petróleo tiene una relación con factores externos como es el caso de los atentados.

Otro aspecto importante para resaltar es la situación vivida en las zonas urbanas, la contaminación del aire y el manejo inadecuado de los residuos sólidos deterioraban la calidad de vida de sus habitantes. Las emisiones anuales de contaminantes atmosféricos superaban los 4.1 millones de toneladas, de acuerdo con información del Ministerio de Salud Nacional (1990). Ese dato se entrega desagregado por fuentes móviles, fijas y el total de las emisiones respecto al tipo de gas contaminante, en el gráfico que se relaciona de forma posterior:

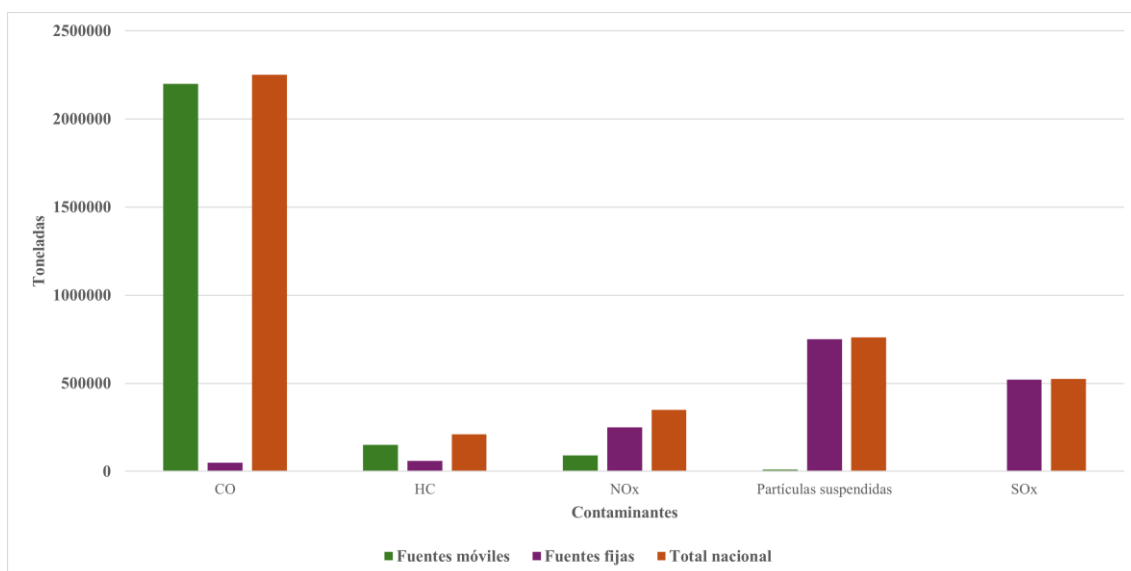


Figura 3. Emisiones por tipo de contaminantes durante 1990

Fuente: Adaptada a partir de los datos del Ministerio de Salud de Colombia (1990)

Los vehículos fueron los principales responsables del monóxido de carbono. Ciudades principales de Colombia como Bogotá y Medellín enfrentaban niveles alarmantes de partículas y dióxido de azufre durante el periodo de análisis (DNP y PNUD 1992). En palabras del Departamento Nacional de Planeación (1995), la disposición de residuos sólidos era otro problema crítico, con solo siete capitales utilizando rellenos sanitarios, mientras que en otras ciudades los desechos eran vertidos en cuerpos de agua o depositados a cielo abierto. Esto generaba riesgos sanitarios, especialmente para los 8.5 millones de colombianos sin acceso a agua potable y los 12.5 millones sin alcantarillado (Departamento Nacional de Planeación 1995).

Finalmente, y según la última fuente citada, los desastres naturales, en su mayoría de origen hidrometeorológico, agudizaban la crisis ambiental y climática. Durante el año de 1993, una cifra que superaba los más de 128.000 personas en 28 de 32 departamentos. Entonces, esta nociva combinación de degradación ambiental y deficiencia social exacerbaba la vulnerabilidad de las comunidades. Por esto, hasta esta parte y atendiendo a un contexto histórico bastante superficial, podría decirse que la crisis ambiental de Colombia en los años noventa reflejó un modelo de desarrollo insostenible, con profundas consecuencias para los ecosistemas y la sociedad, un legado que todavía demanda acciones integrales para su superación en el contexto actual del medio ambiente.

2. Una perspectiva nacional de la deforestación

Colombia, el país con la mayor diversidad de aves del mundo (más de 1.900 especies), ha enfrentado cifras alarmantes de deforestación, perdiendo 1.99 millones de hectáreas de bosque primario y 5.3 millones de hectáreas de cobertura forestal total entre 2002 y 2023 (Cárdenas y Lobos 2024). Esta pérdida contribuyó con 1.24 gigatoneladas de emisiones de entre 2013 y 2020 (Cárdenas y Lobos 2024). Los factores impulsores son multifacéticos: expansión agrícola, minería, infraestructura y, notablemente, los cultivos de uso ilícito (Cárdenas y Lobos 2024).

El cultivo de coca ha sido un motor significativo, asociándose al 42 % de la pérdida de bosques en regiones como Amazonía, y un 47 % de estos cultivos se ubican en Parques Nacionales Naturales, degradando suelos mediante tala y quema (Santos et al. 2021). Adicionalmente, el conflicto armado exacerbó la deforestación, pues las actividades paramilitares en las décadas de 1990 y 2000 redujeron la cobertura forestal para asegurar áreas para cultivos ilícitos y agricultura extensiva, correlacionándose la proximidad a bastiones paramilitares con mayores tasas de deforestación (Fergusson et al. 2014). Esta deforestación tiene graves consecuencias en los servicios ecosistémicos: el 96,5 % de 550 especies de aves dependientes de bosques habían perdido su hábitat para 2015, amenazando la polinización y el control de plagas (Negret et al. 2021), e irrumpiendo los servicios de regulación del agua (Foley et al. 2005; Portillo et al. 2015). El fenómeno cobra especial relevancia por el incremento del 35 % en la tasa de deforestación en 2024 respecto a 2023, exacerbando la pérdida de servicios en biomas estratégicos.

En detalle, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2023) registra en el Plan Integral de Contención de la Deforestación 2023 – 2026, las cifras históricas que muestran que en las dos últimas décadas se han deforestado 3.306.393 hectáreas de bosque en Colombia como se relaciona en la siguiente gráfica:

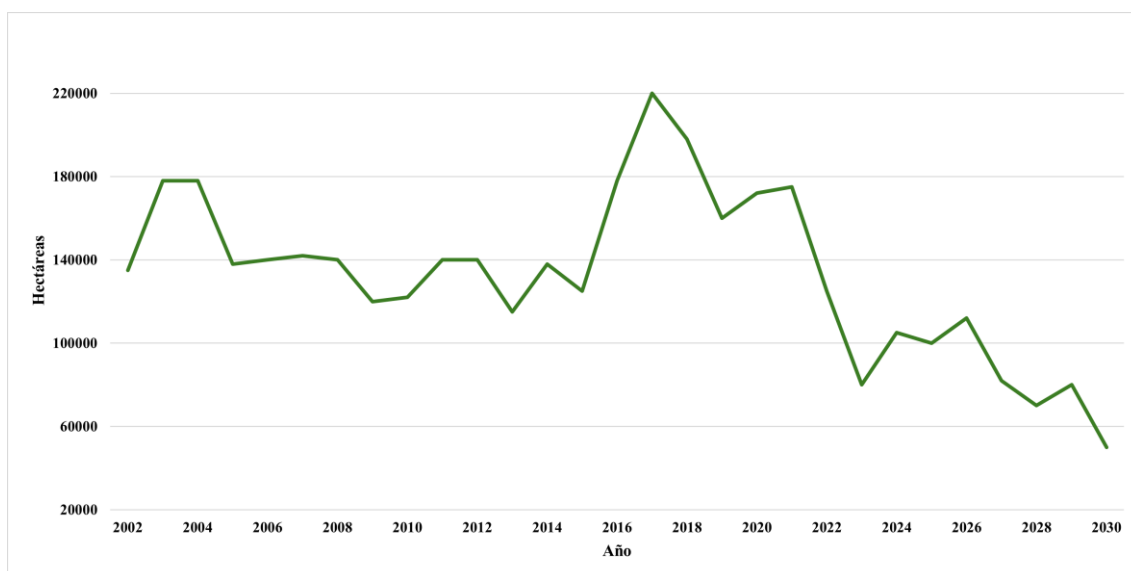


Figura 4. Deforestación nacional acumulada en Colombia durante 2002 a 2030

Fuente: Adaptada a partir de los datos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2023)

La figura anterior muestra una serie temporal en que se puede observar una etapa de estabilidad relativa entre 2002 y 2015, con fluctuaciones alrededor de valores entre 130.000 y 160.000 hectáreas. Posteriormente, se presenta un pico pronunciado entre 2016 y 2018, alcanzando un máximo superior de 220.000 hectáreas, lo que sugiere un periodo crítico de pérdida forestal. Sin embargo, a partir de 2019 inicia una tendencia descendente sostenida, que se mantiene hasta la proyección en 2030, con una disminución progresiva que se espera y culmine por debajo de las 100.000 hectáreas. Por otro lado, esta misma fuente entrega los registros de la cantidad acumulada de hectáreas deforestadas para el caso de cada uno de los departamentos de Colombia, acentuando en los que han disminuido o aumentado en estas cifras. Lo anterior, se evidencia en la siguiente figura:

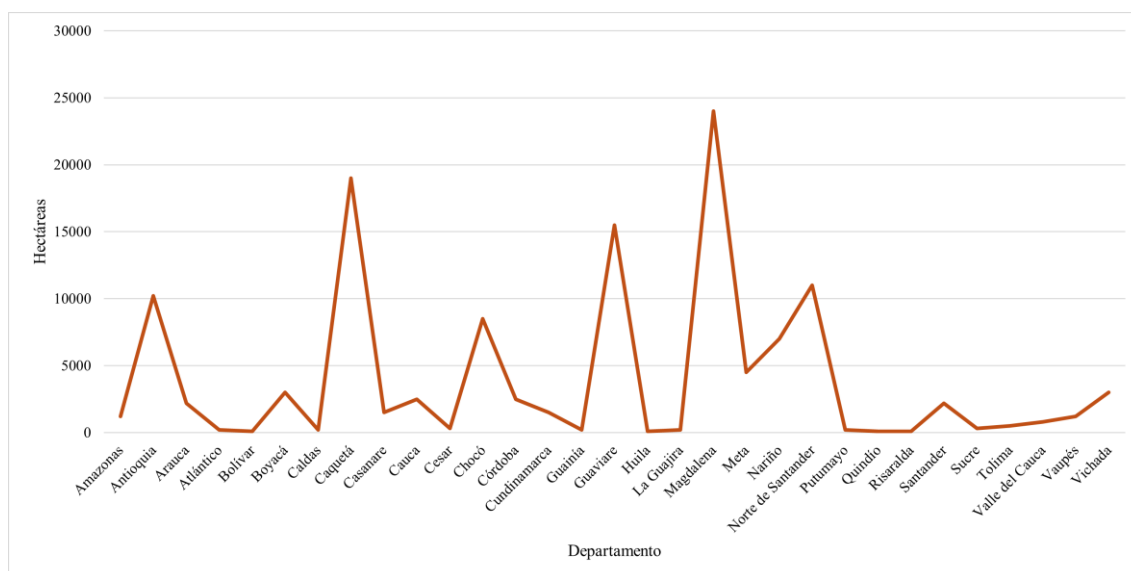


Figura 5. Deforestación acumulada en Colombia (2001 a 2030)

Fuente: Adaptada a partir de los datos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2023)

El departamento del Meta se destaca como el departamento más afectado por la deforestación en Colombia, superando las 25.000 hectáreas, seguido por Caquetá con cerca de 20.000, y en menor medida Antioquia, Guaviare y Norte de Santander, todos con valores entre 10.000 y 12.000. Estos departamentos están ubicados principalmente en zonas de transición entre la Amazonía y los Andes, o en regiones con alta presión por expansión agrícola y ganadera. Por su parte, el departamento del Cauca en donde se localiza el BST del Patía, se encuentra en la posición 12, con cerca de 2.500 hectáreas deforestadas.

Caso contrario ocurre con departamentos como Atlántico. San Andrés y Sucre, asimismo como el Distrito Capital que es Bogotá, lugares los cuales muestran niveles muy bajos de deforestación acumulada, lo cual es consistente con su menor cobertura boscosa natural o su grado de urbanización. Esta figura hace posible evidenciar que la deforestación está concentrada territorialmente, afectando de forma desproporcionada ciertas regiones en que, además, se encuentra una gran presencia de biodiversidad como la región Amazónica y de la Orinoquía. Estos resultados apuntan a la necesidad de implementar estrategias focalizadas por región, considerando los factores económicos y de producción, el uso del suelo y la presión sobre los ecosistemas, con el fin de reducir la pérdida forestal de manera efectiva.

2.1. Los impactos de la degradación ambiental en Colombia

Colombia integra ese selecto grupo de países denominados megadiversos, una categoría que agrupa a las naciones que concentran los mayores índices de biodiversidad en el planeta. El tamaño de esta riqueza natural se evidencia al momento en que se resalta que Colombia alberga cerca del 10 % de la diversidad biológica del planeta (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 2024). De acuerdo con Arbeláez (2013) en el país podrían existir entre 200.000 y 900.000 especies, logrando que, aproximadamente, por la existencia de 10 especies en el mundo, una habita en el territorio colombiano.

Esta extrema concentración de riqueza biológica implica que Colombia asume una responsabilidad ecológica global desproporcionadamente grande. Cualquier pérdida significativa de hábitat o especies dentro de su zonificación ecosistémica genera un impacto mucho mayor en las métricas de biodiversidad planetaria que pérdidas similares en países con menor concentración biológica. Colombia, metafóricamente, podría categorizarse como un laboratorio natural para el estudio de los procesos ecológicos, dada la excepcional dinámica que ha propiciado la especiación y la diversificación. Por lo tanto, el conocimiento y la protección de la diversidad biológica no son meramente un asunto del orden regional o nacional, sino un componente crítico para la estabilidad ambiental a nivel global.

A pesar de esto, las áreas de importancia ambiental y los componentes que la integran han enfrentado históricamente presiones como la deforestación, que entre los años 2000 y 2020 arrasó con más de 3 millones de hectáreas de bosque (Global Forest Watch 2021), y conflictos socioambientales derivados del modelo extractivista. En ese orden de ideas y en atención a la importancia ambiental de Colombia, en donde se localiza el parche de BST que es de interés para esta investigación, desde un punto de vista contextual se considera valioso que esta parte del capítulo explore la evolución histórica, de una forma somera podría decirse, de las consecuencias de la relación entre sociedad y medio ambiente generalmente, así como los desafíos actuales en materia de conservación, cambio climático y políticas sostenibles, contrastando su extraordinaria biodiversidad con las urgencias y crisis ecológicas que hoy la amenazan.

2.2. La deforestación en el Cauca

El departamento del Cauca se localiza en el suroccidente de Colombia y ejemplifica la crisis nacional de la deforestación, con sus diversos ecosistemas

estratégicos que contienen humedales, páramos, manglares y bosques secos tropicales. Este departamento se encuentra entre los principales departamentos en términos de deforestación y cultivos de coca para el uso ilícito. El Cauca fue identificado como un punto crítico donde altas proporciones de deforestación coincidían con el cultivo de coca, impulsado por una presencia institucional débil y el conflicto en curso (Santos et al. 2021). Esto ha llevado a pérdidas sustanciales de servicios ecosistémicos, particularmente en almacenamiento de carbono, biodiversidad y estabilidad del suelo.

En ese sentido, la deforestación en el Cauca ha sido monitoreada por medio de una serie de inventarios y planes ambientales, revelando que existe un patrón de pérdida significativa de cobertura boscosa. Según datos del inventario departamental de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se encuentran en el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial del Cauca 2040 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2016), el sector forestal es uno de los principales emisores de GEI en el departamento, con un aporte del 46,72 % de las emisiones totales durante el año 2012. De acuerdo con Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2016, 33) estas emisiones relacionadas con la deforestación se generan principalmente por:

- 1) remociones de lena y carbono de los suelos en bosques naturales, asociado al uso de esta como combustible para cocción, funcionamiento de hornillas paneleras y producción ladrillera artesanal, las emisiones del subsector corresponden a 1,38298 ktCO₂-eq; 2) deforestación proveniente de la transformación de las tierras con bosque natural en pastizales, tierras de cultivo, humedales, asentamientos, tierras para otros usos forestales y otras tierras, se estiman emisiones correspondientes a 0,8329 ktCO₂-eq.

En términos de áreas afectadas, el Plan de Gestión Ambiental Regional de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (2024b) entrega un balance histórico respecto al comportamiento de la deforestación en el departamento. En este se muestra que, en la década de 1990, la deforestación alcanzó su punto más alto, con 150.747 hectáreas perdidas, lo que refleja una grave presión sobre los ecosistemas. Sin embargo, a partir del año 2000, esta tendencia comenzó a disminuir notablemente, reduciéndose a 35.202 hasta el año 2005, pero con un aumento considerable de 52.420 hectáreas hasta el año 2010. A partir de este periodo, se evidencia una reducción progresiva la cual sugiere que las políticas ambientales y los cambios en el uso del suelo empezaron a tener efecto positivo, aunque la deforestación no se detuvo por completo.

Así, desde el 2010 en adelante, los datos muestran una relativa estabilización con cifras anuales de deforestación que oscilan entre 1.285 y 3,048 hectáreas. En el año 2012 se destaca un repunte en la pérdida de bosques, posiblemente vinculado a factores como

la expansión agrícola o conflictos territoriales. En contraste, la regeneración de áreas boscosas solo aparece registrada desde 2010, con un máximo de 9.686 hectáreas recuperadas en 2010 – 2012, seguido de un descenso de los años siguientes. Esto indica que, aunque hubo esfuerzos por restaurar los ecosistemas, estos no fueron suficientes para compensar las pérdidas en la mayoría de los periodos. Los datos más recientes, correspondientes a 2020 – 2022, presentan una situación en que la pérdida de cobertura tuvo una equivalencia de 3.048 hectáreas, sin registros de regeneración, lo que mantuvo la tendencia negativa.

Si bien el Cauca ha mostrado un comportamiento de reducción considerable, y al menos registrado, de la deforestación desde los años 90, aun enfrenta desafíos para garantizar la recuperación sostenible de sus bosques. La regeneración o restauración, aunque muestra avances en los últimos años, sigue siendo insuficiente para contrarrestar por completo las pérdidas. Sería fundamental profundizar en las causas detrás de los picos de deforestación y replicar las estrategias exitosas de recuperación de cobertura vegetal, de manera que se asegure la conservación a largo plazo. Además, mejorar la transparencia y el detalle de los datos facilitaría un análisis más preciso, próximo a la realidad y acciones más efectivas, ya que comunidades locales afirman que la situación de deforestación es más grave de lo que las cifras reflejan.

Ahora bien, desde otra perspectiva y en el contexto del Plan de Acción Cuatrienal de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (2024a), se cuantifica que la deforestación ha afectado el 25 % de los ecosistemas estratégicos. Además, el grado de transformación de ecosistemas generales alcanza el 40 % en zonas productivas, donde la deforestación contribuye al 60 % de la degradación ambiental (Gobernación del Cauca 2024). Causas cuantificables incluyen: ampliación de la frontera agrícola, minería ilegal y cultivos de uso ilícito, actividades responsables del 45 %, 20 % y 15 % respectivamente de la deforestación en el departamento.

Las siguientes fotografías evidencian los daños ambientales de las prácticas de minería ilegal en el municipio de Patía:



Figura 6. Aguas del río Patía contaminada por mercurio
Fuente: Oscar Gerardo Salazar (2025)



Figura 7. Draga de oro en el cauce del río Patía
Fuente: Oscar Gerardo Salazar (2025)

Así, la deforestación en el departamento del Cauca es un fenómeno espacialmente concentrado en varios puntos calientes o *hotspots*. El Macizo Colombiano, a pesar de su importancia, es el área más afectada, concentrando el 50 % de la deforestación total entre 2010 y 2020 en las zonas hidrográficas Cauca y Patía, lo que fragmenta corredores ecológicos de páramos por la conversión a usos agropecuarios (Corporación Autónoma Regional del Cauca 2024b). El Pacífico caucano registra el 35 % de la deforestación departamental, afectando manglares y bosques costeros, con una pérdida del 15 % de

cobertura de manglar en la Unidad Ambiental Costera Llanura Aluvial del Sur (UAC – LLAS), lo que ha reducido la conectividad ecológica en un 30 % y afecta la conservación de biodiversidad (Corporación Autónoma Regional del Cauca 2024b). Además, el norte del Cauca también es crítico, con la deforestación de 237 hectáreas de bosque seco tropical en la reserva natural Japío en 2022.

Esta deforestación en ecosistemas estratégicos aumenta la vulnerabilidad ecológica al cambio climático, con proyecciones de pérdida del 15 % adicional de cobertura boscosa para 2040 por sequías y erosión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2016), lo que se traduce en una reducción del 25 % en la provisión de agua y un aumento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Para abordar esta crisis, se requieren enfoques integrales que unan objetivos ambientales, sociales y económicos. La implementación de Programas de Desarrollo Alternativo que promuevan medios de vida sostenibles mediante la agroecología, la gobernanza forestal y los mercados verdes, es crucial para reducir la dependencia de actividades ilícitas (Santo et al. 2021; Landholm et al. 2019). También es fundamental el fortalecimiento de la tenencia de la tierra y la participación comunitaria, ya que los derechos de propiedad colectiva y las políticas ambientales comunitarias han demostrado reducir la deforestación en territorios indígenas y afrodescendientes (Santos et al. 2021). Finalmente, se necesita mejorar la coherencia política armonizando las políticas de minería, agricultura y conservación, y fomentando la cooperación regional e internacional (Cárdenas y Lobos 2024).

3. Conclusiones

El análisis multiescalar desarrollado en este capítulo confirmó que la degradación del BST del Patía es la manifestación local de patrones estructurales que responden al nivel regional y local. A nivel latinoamericano y colombiano, la deforestación atiende principalmente a un modelo de desarrollo basado en la expansión de la frontera agropecuaria, la extracción de recursos y, en contextos específicos, a economías ilícitas, todo ello agravado por una gobernanza ambiental frecuentemente débil o contradictoria. Colombia, a pesar de su *estatus* de país megadiverso, presenta una de las tasas de pérdida de bosque más altas de la región, una paradoja que evidencia la desconexión entre el reconocimiento de su riqueza natural y las políticas efectivas para su conservación.

El departamento del Cauca refleja fielmente esta tensión, siendo un territorio de alta biodiversidad donde persisten presiones críticas como la minería ilegal y la conversión de ecosistemas para usos agropecuarios. Este contexto macro demuestra que

el BST del Patía no se degrada en el vacío; por el contrario, su vulnerabilidad es exacerbada por dinámicas económicas, institucionales y sociales que operan a escalas superiores. Comprender este entramado de causas es indispensable para diseñar soluciones que no se limiten a abordar los síntomas locales, sino que también confronten los impulsores subyacentes de la degradación ambiental en el país y la región.

Capítulo tercero

El BST del Patía como un Sistema Socioecológico

El bosque es nuestro hogar [...] nos da vida y refugio. Es una belleza entregada por el cielo, de la que vivimos y tenemos nuestro diario sustento, por todas las bondades que nos ofrece.
(Mélida Caicedo, mujer corta mate 2025)

Para analizar con precisión la degradación de un ecosistema, es indispensable conocer, a modo de diagnóstico, sus características principales, su historia y el contexto específico que lo hace único y vulnerable. Este capítulo tiene como objetivo proporcionar esa línea base integral del área de estudio, caracterizando las dimensiones biogeográficas, ecológicas e histórico – antrópicas que configuran el sistema socioecológico del Bosque Seco Tropical (BST) del Patía. Se comienza presentando este ecosistema como un relicto ecológico amenazado, un *enclave subxerofítico* de excepcional valor por su biodiversidad y alto endemismo, pero que figura entre los más degradados de Colombia.

Luego, se reconstruye la historia ambiental de la ocupación humana, desde su papel como refugio de comunidades cimarronas hasta la transformación radical del paisaje en el siglo XX, impulsada por la colonización y la consolidación de la ganadería extensiva como principal motor de deforestación. Posteriormente, se detalla la caracterización ambiental del sistema, describiendo su localización, geomorfología, climatología, hidrografía y los componentes clave de su flora y fauna, con énfasis en las adaptaciones a la sequía y las interacciones ecológicas vitales. Esta caracterización no solo permite entender por qué el BST del Patía es estratégico, sino que revela las raíces históricas y las condiciones biofísicas particulares que explican su estado crítico actual de fragmentación y vulnerabilidad.

1. El Bosque Seco Tropical del Patía: un relicto amenazado

El Bosque Seco Tropical (BST) del Patía es un relicto ecológico amenazado y uno de los ecosistemas secos más severamente degradados de Colombia, afectado por la acción antrópica acumulativa y su extrema vulnerabilidad al cambio climático (Padilla 2020). Esta situación dual exige la implementación urgente de estrategias integrales de conservación y restauración activa (Padilla 2020). Este ecosistema, una formación

orobiótica azonal, presenta alteraciones significativas por deforestación intensiva, erosión edáfica, desertificación, minería e infraestructura (Padilla 2020). Existe una notable escasez de estudios sistemáticos y datos geoespaciales sobre su composición y dinámica, dificultando la comprensión de su vulnerabilidad e imperando la generación de investigaciones interdisciplinarias.

1.1. Contexto histórico de ocupación humana y transformación del paisaje

La historia ambiental de la ocupación del BST del Patía es notablemente escasa en la literatura (Quiñonez y Osorio 2024, 76). Durante el siglo XVII, el territorio sirvió como refugio para comunidades cimarronas, consolidando espacios de resistencia. Esta configuración fue alterada en el siglo XVIII con la expansión de haciendas coloniales vinculadas a la minería. A pesar de esto, en el siglo XIX se consolidaron grandes propietarios negros con propiedades a escala familiar y una integración más armónica con el ecosistema.

El cambio drástico ocurrió en el siglo XX (1930-1980) con la recolonización por inmigrantes mestizos, impulsada por la vía Panamericana, que transformó el valle en un mosaico de grandes haciendas ganaderas (Quiñonez y Osorio 2024). Este fenómeno implicó la destrucción masiva de bosque para introducir ganado (Quiñonez y Osorio 2024). La cobertura boscosa se redujo drásticamente del 15,5 % en 1961 a solo el 7 % en 2011, mientras que los pastizales dominaron el 68 % del área, siendo la ganadería el principal motor de la deforestación (Vergara 2015).

La degradación ambiental ha generado erosión, reducción de biodiversidad y escasez hídrica, con un incremento en la aridez debido a la tala (Quiñonez y Osorio 2024). El BST es extremadamente sensible a efectos climáticos extremos. Su degradación amenaza medios de vida y sistemas hidrográficos, como el río Patía Alto (Mazo et al. 2016). La zona exhibe una pérdida moderada a alta de servicios ecosistémicos (SE) de regulación y alta vulnerabilidad de oferta (Díaz et al. 2020; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto Humboldt, 2021). La falta de reconocimiento del valor de estos SE (Lara et al. 2023) agrava los riesgos.

Las disparidades socioambientales están intrínsecamente ligadas a esta crisis. Las comunidades vulnerables asumen desproporcionadamente la carga de la degradación, un fenómeno identificado como “ecologismo de los pobres” (Martínez Alier 2021). La lógica

de desarrollo impone áreas de sacrificio y genera un despojo acumulativo o acumulación por desposesión (Harvey 1996), configurando una injusticia ambiental distributiva.

1.2. Caracterización ambiental del SEE del BST del Patía

El BST del Patía se localiza en el valle geográfico del río Patía, ubicado en el suroccidente de Colombia, es una de las regiones más secas del país, con precipitaciones anuales entre 800 y 1200 mm y una temperatura promedio de 24°C (Vergara 2015). Estas condiciones son resultado de su posición orográfica entre las cordilleras Central y Occidental, que actúan como barrera e impiden el ingreso de humedad del Pacífico (Vergara y Torres 2017; Pizano y García 2014), creando un enclave biogeográfico único que sustenta la existencia del BST.

1.3. Localización, contextualización e integración de subsistemas

El ecosistema del Bosque Seco Tropical (BST) del Patía se asienta sobre una geología heterogénea de secuencias sedimentarias del Terciario Superior – Cuaternario y depósitos aluviales, lo que, junto con la presencia de llanuras susceptibles a licuefacción (Varela y Torres 2017), le confiere una alta vulnerabilidad geotécnica. Su geomorfología es dual: una llanura aluvial fluvio-tectónica con suelos profundos que actúa como captador y almacenador de agua (IGAC 2006; Pizano y García 2014) y un sistema de lomeríos de disección con mayor estrés hídrico (Strahler y Strahler 2005; Pizano y García 2014). Esta dualidad define su ecología, proporcionando al valle corredores de conectividad y a los lomeríos, hábitats fragmentados con endemismos (Pizano y García 2014).

Las amenazas antrópicas también se bifurcan: la llanura sufre la expansión agrícola/ganadera (IGAC 2006), mientras que los lomeríos enfrentan erosión y desertificación por sobrepastoreo (Pizano y García 2024). Hidrográficamente, el río Patía es el eje central de un sistema de drenajes meándricos y dendríticos (Gobernación del Cauca 2020), que se superpone a un acuífero aluvial crucial; la cobertura vegetal del BST funciona como una zona de recarga hídrica, siendo un reservorio estratégico de agua subterránea, vital en un clima estacionalmente seco.

locales y aunando lo mencionado por Fernández y Fernández (1992), las especies arbóreas más comunes incluyen, el Guásimo (*Guazuma ulmifolia*), Igüa, (*Anacardium excelsum*), Caracolí (*Bursera simaruba*), el puro, totumo, mate o calabacero (*Crescentia cujete*), Yarumo (*Cecropia angustifolia*), Ceibo mil pesos (*Hura crepitans*), los Guayacanes amarillos (*Handroanthus chrysanthus*) y el Flormorado (*Tabebuia rosea*) tan emblemáticos de este valle geográfico. Las últimas cinco especies, de acuerdo con Pizano et al. (2016) hacen parte de la cobertura de rastrojo y bosque secundario.

La fauna del BST del valle del Patía es menos conocida que la flora, pero se han registrado varias especies de mamíferos, aves, reptiles y anfibios. De acuerdo con Camila Pizano y Hernando García (2010), entre estos se destacan Turpial enlutado (*Icterus nigrogularis*), Sapo de línea amarilla (*Lithodytes lineatus*), Ratón espinoso (*Heteromys anomalus*), Langosta gigante (*Tropidacris sp.*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*). Algunas especies como la Zarigüeya (*Didelphis marsupialis*), Ardilla de cola roja (*Notosciurus granatensis*), Zorro cangrejero (*Cerdocyon thous*) y el Mapurito (*Conepatus semistriatus*) se encuentran en riesgo (Díaz et al. 2023).

Desde la perspectiva ecológica vale la pena mencionar que las especies presentes en este ecosistema han desarrollado una serie de prácticas adaptativas con relación a los periodos de sequía que son tan característicos en el BST. Algunas especies de plantas han desarrollado estrategias como la caducifolia, el cual es un proceso que consiste en la pérdida de hojas durante épocas secas para minimizar la pérdida de agua por transpiración (Borchert, 1994). Por su parte Pizano y García (2014) destacan que muchas especies desarrollan hojas pequeñas y gruesas, o espinas, que les permiten reducir la superficie expuesta al sol para evitar la herbivoría, es decir, que los animales se alimenten de ellas (Granados et al. 2008).

Además, las interacciones ecológicas en el BST del valle del Patía se consideran como procesos fundamentales porque de ellas depende directamente el mantenimiento de la biodiversidad y la funcionalidad del ecosistema. Algunas especies animales y vegetales se encuentran estrechamente relacionados a través de procesos como la polinización, la dispersión de semillas y la ya mencionada herbivoría. Por ejemplo, uno de los servicios ecosistémicos intermedios más importantes que aparece en el proceso de las interacciones ecológicas es la polinización, donde las abejas, los murciélagos y los colibríes son los principales polinizadores.

Aproximadamente el 70 % de las plantas del Bosque Seco Tropical son polinizadas por insectos. Para el caso particular del bioma del valle del Patía, especies

como la rosa amarilla (*Cochlospermum vitifolium*) y el Guásimo (*Guazuma ulmifolia*) dependen de este proceso para su óptima fase de reproducción (Pizano y García, 2014). Por otro lado, está la dispersión de semillas, mecanismo el cual también se considera crucial para la regeneración de la cobertura vegetal del bosque. Algunas especies de árboles como el caracolí (*Anacardium excelsum*) y el palo mulato (*Bursera simaruba*) producen frutos carnosos que son comidos por algunas aves y mamíferos quienes dispersan las semillas por medio de sus excretas (Pizano y García, 2014).

Por lo descrito, el bosque seco tropical del Patía se considera un ecosistema estratégico de excepcional valor ecológico en el orden local, regional y nacional, caracterizado por su condición de enclave subxerofítico que ha favorecido la evolución de una biota única con elevados niveles de endemismo y especialización morfo – fisiológica. No obstante, este hotspot de biodiversidad enfrenta presiones antrópicas severas que han generado fragmentación, introducción de especies exóticas y pérdida de cobertura vegetal, comprometiendo su integridad ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos. La evidencia presentada acentúa la urgencia de implementar estrategias de conservación y manejo adaptativo que mitiguen estas amenazas, prioricen la investigación en taxones subrepresentados y fortalezcan la protección de este corredor biológico, vital para la conectividad entre los Andes y el Pacífico colombiano.

En definitiva, el bosque seco tropical del Patía constituye un *hotspot* de biodiversidad y un corredor ecológico estratégico, cuya preservación es un imperativo ambiental y de justicia social. La evidencia presentada demuestra que su singular composición ecosistémica, adaptada a condiciones de aridez y con alto endemismo, enfrenta amenazas críticas derivadas de la fragmentación de hábitat, el cambio de uso del suelo y la introducción de especies exóticas. La degradación de este ecosistema no solo implica una pérdida ecológica irreversible, sino también el colapso de servicios ambientales para las comunidades que históricamente han dependido de él.

La supervivencia de este relicto ecológico depende de la implementación inmediata de estrategias de conservación integrales y adaptativas. Es urgente priorizar la restauración ecológica, llenar los vacíos de conocimiento del ecosistema y fortalecer la gobernanza local. Proteger el bosque seco tropical del Patía es más que un objetivo de conservación; es un compromiso con la equidad intergeneracional y el reconocimiento del valor de las características naturales del ecosistema.

2. Sustentabilidad y resiliencia socioecológica

La crisis de sustentabilidad que enfrenta el BST del Patía, debe entenderse no solo como un deterioro ambiental, sino como la consecuencia de una interacción compleja entre procesos ecológicos de larga data y dinámicas socioeconómicas basadas en la explotación continua. Esta región constituye un sistema socioecológico cuya capacidad de recuperación ha sido debilitada de manera constante por modelos de desarrollo que no han considerado la particularidad de su ecosistema de BST.

Lo anterior ocurre porque este ecosistema está siendo amenazada por un patrón de uso de la tierra que ha favorecido la cría de ganado a gran escala y la explotación de recursos, en detrimento de la aptitud natural del territorio. Este deterioro ambiental no es un suceso puntual, sino una dinámica progresiva que ha minado la resiliencia del ecosistema, disminuyendo su capacidad para enfrentar perturbaciones externas.

Cerca del 90 % de la superficie del valle está destinada a la ganadería extensiva de doble propósito. Sin embargo, este modelo contrasta con la vocación real del suelo: apenas un 7 % del territorio municipal es apto para agricultura intensiva, mientras que más del 66 % corresponde a tierras de las clases VII y VIII, cuya función natural es la conservación o restauración forestal. Esta divergencia entre el uso actual y la aptitud del territorio ha desencadenado graves conflictos ecológicos (Martínez Alier 2021). El pastoreo en laderas pronunciadas compacta el suelo, reduce la infiltración del agua e intensifica los deslizamientos. En áreas como la Meseta de Piedra Sentada y las estribaciones montañosas, la erosión ha creado paisajes degradados o *cárcavas*, donde la vida prácticamente ha desaparecido.

Históricamente la pérdida de cobertura forestal se debe a varias causas: la ampliación de la frontera agropecuaria, la ocupación de laderas y la tala para leña, tanto doméstica como para ladrilleras. Además, entre junio y septiembre, las quemas para renovar pastos o preparar terrenos agrícolas agravan el daño, destruyendo la vegetación y la microfauna del suelo (Quiñonez y Osorio 2024). Las consecuencias sobre el agua son igualmente graves. Los principales ríos, como el Patía y Guachicono, reciben continuos vertimientos derivados de la minería ilegal. Al mismo tiempo, la erosión ha incrementado la sedimentación, reduciendo los caudales, alterando la dinámica natural de las crecidas y secando humedales y antiguos meandros en el sur del municipio.

2.1. La ecología política del BST del Patía

El desafío del valle del Patía trasciende lo técnico y se sitúa en el ámbito de lo ético y lo político. Al formar parte del Chocó Biogeográfico y el Macizo Colombiano, la región adquiere una relevancia ecológica que demanda una responsabilidad de

conservación a escala global. Sin embargo, esta importancia contrasta dramáticamente con su realidad de marginalidad social y abandono institucional. Un avance jurídico fundamental es la propuesta de declarar a la cuenca del río Patía como Sujeto de Derechos, inspirada en precedentes como el del río Atrato.

Este proyecto reconoce el valor intrínseco del río y sus derechos a existir, fluir, mantener su integridad ecológica y ser restaurado. Su objetivo principal es declarar jurídicamente al río, su cuenca y afluentes como sujeto de derechos, tanto individuales como colectivos. Para ello, se propone crear una Comisión de Protectores, un cuerpo colegiado con representación del Estado y las comunidades, encargado de la custodia y representación legal del río. Además, se contempla diseñar un Plan de Protección a 10 años que sirva como hoja de ruta para la descontaminación, reforestación y saneamiento ambiental. Un componente crucial es la restricción minera, que busca declarar la cuenca alta como área excluida de la minería para proteger el nacimiento de sus aguas.

Esta iniciativa pretende saldar una *deuda histórica* con las comunidades afrodescendientes, indígenas y campesinas, cuyos medios de vida se han visto deteriorados por la contaminación y la explotación minera indiscriminada. La declaración de la cuenca alta como Área de Protección para la Producción de Alimentos (APPA) refuerza el principio de que la sustentabilidad ecológica es inseparable de la seguridad alimentaria y la justicia social.

3. Conclusiones

La caracterización biogeográfica e histórica realizada confirmó la singularidad y la extrema vulnerabilidad del BST del Patía. Su condición de enclave seco, determinado por la sombra orográfica de las cordilleras Central y Occidental, ha esculpido un ecosistema único con una biota especializada y de alto endemismo. Sin embargo, esta misma condición lo hace ecológicamente frágil. La revisión histórico – ambiental demostró de manera concluyente que la transformación del paisaje tiene raíces profundas, con la consolidación del modelo ganadero extensivo en el siglo XX como el vector principal de deforestación histórica, proceso que fragmentó masivamente la cobertura original.

En la actualidad, el ecosistema enfrenta presiones antrópicas acumulativas (ganadería, agricultura, minería ilegal) que han degradado su estructura y función, comprometiendo severamente servicios ecosistémicos críticos como la regulación hídrica y climática. Esta degradación impacta directamente a las comunidades afrodescendientes locales, cuyos medios de vida y cultura están indisolublemente ligados al bosque. En

definitiva, este capítulo establece que el BST del Patía es mucho más que un conjunto de árboles; es un sistema socioecológico complejo donde la degradación ambiental actual es el resultado de trayectorias históricas sedimentadas de cambio en el uso del suelo, las cuales han configurado un escenario de alta fragilidad que demanda intervenciones urgentes y contextualizadas.

Capítulo cuarto

Un abordaje metodológico para comprender la degradación de cobertura en el valle del Patía

La deforestación de los bosques tropicales es una de las principales fuerzas que impulsan la sexta extinción masiva de la historia. Miles de especies están desapareciendo cada año, muchas de ellas antes de ser descubiertas.
(Elizabeth Kolbert 2014)

Este capítulo tiene como objetivo exponer en detalle el marco y los procedimientos metodológicos implementados para generar la evidencia empírica central de esta investigación. Se describe un diseño secuencial de carácter cuantitativo, basado fundamentalmente en el procesamiento digital de imágenes de satélite y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología se divide en dos ejes principales: primero, la cuantificación multitemporal de la cobertura vegetal, a través de la *clasificación supervisada* de imágenes Sentinel – 2 utilizando el algoritmo de Máxima Verosimilitud en ArcGIS Pro (3.5), un proceso que incluye desde la planificación y preprocesamiento radiométrico hasta la validación de precisión y la vectorización de resultados.

Segundo, la determinación de las variables meteorológicas de *temperatura* y *precipitación*, mediante la interpolación espacial (método de Ponderación de Distancia Inversa – IDW) de datos puntuales provenientes de una red de estaciones meteorológicas oficiales. Finalmente, se explica el proceso de elaboración de cartografía temática para la representación espacial de los resultados. La explicitación de este protocolo es fundamental para justificar la selección de técnicas, garantizar la validez científica de los hallazgos y permitir la replicabilidad del estudio, construyendo así la base técnica sobre la que se sustentará el análisis integrado del capítulo final.

1. Cuantificación de la pérdida de cobertura vegetal

La metodología propuesta se fundamenta en el uso de Sistemas de Información Geográfica como ArcGIS Pro (3.5) como principal herramienta para el procesamiento e interpretación de imágenes satelitales. Con ello se hace posible la identificación de patrones de transformación en la vegetación, tales como la deforestación, la regeneración

secundaria y la expansión de usos agrícolas que son problemáticas comunes en ecosistemas frágiles. El proceso se divide en fases secuenciales que integran la adquisición de datos, el trabajo de campo, el preprocesamiento digital, la clasificación supervisada a partir de puntos de entrenamiento y el modelado de cambios con el fin de generar cartografía temática y análisis cuantitativo de la problemática.

Con ello, se realizó el proceso de clasificación de imágenes satelitales, entendido como el proceso en que se le asigna a cada píxel una categoría de cobertura del suelo, como bosque y no bosque para el caso puntual de esta investigación. Este proceso se realiza a través del método de clasificación supervisada. La principal ventaja de este enfoque es que se trata de un proceso guiado por el analista, quien utiliza el conocimiento previo del área de estudio y los datos de campo para definir y entrenar el modelo. Al Aguiar el proceso, el investigador logra una cartografía e inventario de las dos clases definidas para el estudio de manera controlada y adaptada a los objetivos del proceso de clasificación de coberturas vegetales en el BST.

1.1. Planificación y delimitación del área de estudio

En esta fase inicial de la investigación, se procedió a la selección y delimitación precisa del área de estudio. Este proceso se sustenta en el uso de información cartográfica oficial, generada y avalada por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). Fue a partir de esta cartografía oficial, dentro del marco categórico de los ecosistemas estratégicos, que se identificó y seleccionó como objeto de estudio la unidad biogeográfica correspondiente al BST del Patía localizado en el municipio de Patía (Cauca, Colombia).

Este ecosistema representa una extensión de 5 795 hectáreas, lo cual equivale al 7,66 % de la extensión total del municipio. La elección de esta área se justifica por su representatividad ecológica y estado de prioridad para la conservación, según criterios técnicos establecidos por la autoridad ambiental. Por lo tanto, investigaciones relacionadas con este ecosistema son pertinentes para su conservación y restauración. La temporalidad definida para el área de estudio corresponde al periodo de 2016 hasta el 2024.

1.2. Levantamiento de puntos de referencia y selección de imágenes satelitales

Primero, el proceso se inició con la delimitación espacial del área de estudio mediante la creación de un polígono en formato shapefile (.shp) correspondiente al recuadro que cubre la delimitación del bosque seco tropical realizada por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). Este polígono fue realizado para efectos de máscara espacial respecto al recorte de las escenas satelitales (Instituto Geográfico Agustín Codazzi 2021), optimizando de esta forma el almacenamiento y la necesidad computacional como elementos requeridos para el procesamiento subsiguiente al eliminar datos externos al área de estudio

Segundo, la adquisición de puntos de entrenamiento se efectuó mediante trabajo de campo, empleando un dispositivo GPS de precisión para georreferenciar puntos de control en sectores de acceso practicable. Cabe destacar que dichos puntos no pretenden constituir una muestra estadísticamente significativa del área de estudio en su totalidad; su función primordial fue operar como un soporte de calibración interpretativa durante la fase de clasificación supervisada. Fue fundamental precisar que estos datos de campo fueron utilizados con un propósito estrictamente cualitativo para la delimitación de las áreas de entrenamiento, excluyéndose de su empleo en el proceso de validación cuantitativa de la clasificación resultante.

Tercero, la adquisición y el procesamiento primario de las imágenes satelitales se realizó a través de la plataforma Planet Labs. A estas escenas satelitales obtenidas por medio de sensores remotos se les realizó el procedimiento de ortorrectificación y corrección atmosférica de reflectancia superficial y máscara de calidad, directamente desde la misión Sentinel – 2 del programa Copérnico. Para el análisis se seleccionaron escenas satelitales con una cobertura nubosa inferior al 10 % en el área de interés, lo que garantizó una mínima interferencia atmosférica y evitó que algunas partes del terreno carezcan de visibilidad respecto al tipo de cobertura del suelo. Del mismo modo, se consideró un rango temporal que incluye los años 2016, 2018, 2020, 2022 y 2024, eligiendo imágenes correspondientes a la misma época del año con el fin controlar los efectos estacionales de la reflectancia del tipo de cobertura.

En la siguiente tabla se encuentra la información relacionada para cada una de las imágenes que fueron utilizadas:

Tabla 1
Metadatos de las imágenes satelitales

Sensor	Imagen (ID)	Resolución espacial	Fecha
Sentinel – 2	e698f9d4-1fca-4192-8932-26254dc89006	3,0 metros por píxel	31/10/2016
	8dcd3c04-19fb-428b-802 ^a -9c9934c13b7e		16/10/2018
	57d13564-f354-4c67-94df-46 ^a 505ec050c		11/10/2020
	13ca28ac-8cac-4b14-b5a0-79c2f63805bc		10/10/2022
	30e09232-53 ^a 1-4381-b7e3-83 ^a 45e7dab6e		26/10/2024

Elaboración propia

1.3. Preprocesamiento y corrección atmosférica

Mediante el módulo de preprocesamiento del SCP (Semi – Automatic Classification Plugin), se aplicó a cada imagen una corrección atmosférica para convertir los valores digitales de radiación espectral en reflectancia superficial aparente, que es una propiedad intrínseca de los materiales en tierra. En atención a lo sugerido por Chávez (1996) el algoritmo empleado fue DOS1 (Dark Object Subtraction).

Este método de corrección citado, ampliamente adoptado por su balance entre eficiencia computacional y efectividad, se fundamenta en el supuesto físico de que existen píxeles en las imágenes (objetos oscuros) cuya reflectancia real es cercana a cero (aguas profundas, sombras topográficas). La radiación registrada por el sensor para estos píxeles se atribuye casi exclusivamente al L_p (Path Radiance), resultante de la dispersión atmosférica (efecto bruma). La ecuación del modelo DOS1 corresponde a:

$$P = ((\pi * (L\lambda - Lp * d^2))/(ESUN\lambda * \cos \phi_s))$$

Donde p es la reflectancia superficial, $L\lambda$ es la radiancia espectral medida en el sensor, L_p es la radiancia del objeto oscuro, d es la distancia Tierra – Sol en Unidades Astronómicas, $ESUN\lambda$ es la irradiancia solar exoatmosférica media en la banda espectral λ , y ϕ_s es el ángulo cenital solar, Como lo menciona Chávez (1996) citado en Leyton y Fernández (2023), dado que prácticamente ningún objeto terrestre posee una reflectancia absoluta del 0 %, el modelo DOS1 refinado incorpora una reflectancia mínima asumida, típicamente del 1 % (0.01), para una estimación más realista de la contribución atmosférica. Esta corrección es fundamental para análisis de cambio, ya que elimina los

artefactos atmosféricos que podrían ser interpretados como cambios reales en la cobertura terrestre.

1.4. Definición y caracterización de clases

Primero, se establecen las clases (Tipos de cobertura que se van a clasificar) para definir un conjunto de tipologías basadas en el conocimiento previo del área de estudio. Lo anterior, para el caso del BST tropical se ha definido como áreas de bosque y no bosque. Estas clases se denominan clases informativas para distinguirlas de las clases espectrales generadas por métodos no supervisados. Segundo, para caracterizar cada clase, se seleccionaron áreas de entrenamiento las cuales se tratan de zonas homogéneas dentro de la imagen donde se conoce con certeza la clase en la fecha en que se tomó la imagen (Poveda et al. 2022).

Tercero, una vez seleccionadas las áreas de entrenamiento, se extrajeron los valores de reflectancia para cada banda dentro de esas áreas. Dado que cada clase está compuesta por múltiples píxeles, la salida no es un valor único por banda, sino una distribución de reflectividades. Las propiedades estadísticas más relevantes para esta distribución corresponden a la media, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos para cada una de las bandas que componen a la imagen satelital. Estas estadísticas definen la firma espectral única para cada clase.

1.5. Creación de firmas espectrales y entrenamiento del clasificador

Estas firmas se crearon a partir de una dispersión de puntos en formato shapefile (.shp) sobre la imagen satelital, las cuales se crean a partir de las herramientas multivariantes del análisis espacial (Ávila 2019) dispuestas en la caja de herramientas del SIG. Estas firmas consisten en crear un archivo de firma ASCII de clases definidas mediante datos de muestra (puntos en .shp) y un conjunto de bandas de ráster.

La definición de las firmas espectrales representativas de cada clase se realizó mediante la digitalización de Regiones de Interés (ROIs) o Áreas de Entrenamiento como lo menciona Congedo (2017). Las ROIs son conjuntos de multipuntos digitalizados sobre áreas homogéneas o puras que reunían las condiciones de la tabla anterior, las cuales capturan la variabilidad espectral intraclassa mientras minimizan la varianza. Para garantizar la robustez del clasificador, se recopilaron múltiples ROIs para cada clase (aproximadamente 10.000 puntos para cada una), distribuidas espacialmente a lo largo de la escena satelital.

El criterio de selección se basó en el conocimiento previo del tipo de cobertura del ecosistema obtenido de la fase de trabajo de campo, estudios previos e índices espectrales como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que permite aislar eficientemente la vegetación fotosintéticamente activa. Estas firmas espectrales constituyeron el input fundamental para el algoritmo de clasificación supervisada que se denomina como de Máxima Verosimilitud, el cual asume una distribución gaussiana de los datos y asigna cada píxel a la clase para la cual tiene mayor probabilidad de pertenencia. El método de la Máxima Verosimilitud fue seleccionado porque, se puede configurar para asignar solo un píxel si su probabilidad más alta supera un umbral determinado, lo que ayuda a evitar la sobreclasificación.

1.5. La vectorización de los datos ráster

Una vez clasificado el ráster, se procede a su conversión al modelo vectorial mediante la herramienta de ráster a polígono de la caja de conversión. Este proceso traduce cada grupo de píxeles con valores idénticos en polígonos discretos, conservando los atributos numéricos resultantes de la clasificación (o reclasificación si se ha considerado). Es aquí donde emerge la geometría vectorial inicial, aunque con una característica inevitable: los bordes quebrados y escalonados, procedentes de la estructura cuadrícula propia del formato ráster. La transición genera límites angulosos que requieren un tratamiento posterior para alcanzar la suavidad cartográfica deseada (Medida et al. 2022).

La fase de suavizado de bordes compartidos (herramientas de cartografía) representa el refinamiento geométrico del conjunto de polígonos. Utilizando esta herramienta se aplica el algoritmo PAEK, que calcula un polígono suavizado que no pasará a través de los vértices del polígono de entrada, para suavizar las líneas quebradas mediante técnica de generalización, eliminando las irregularidades pixeladas mientras se mantiene la forma general del shapefile. Además, en esta parte se utiliza como capas de barrera de entrada el polígono de bosque seco tropical. Simultáneamente, se garantiza la integridad topológica de los bordes compartidos entre polígonos adyacentes, asegurando que no existan superposiciones ni espacios vacíos entre ellos. Este proceso no solo mejora la representación visual, sino que también optimiza la geometría para análisis espaciales avanzados, produciendo un shapefile cartográficamente armónico.

Con los polígonos ya convertidos y suavizados, se crean los metadatos de la capa en que componentes como tipo, etiquetas, resumen, descripción, créditos y limitaciones al uso. Por otro lado, se suministra información a la tabla de atributos para la validación

y documentación de los datos. Metódicamente, se crean nuevos campos que capturan esta información como el área o superficie real de cada polígono en las unidades de medida apropiadas para el estudio (hectáreas en este caso), permitiendo validaciones cuantitativas; un campo que categoriza el nombre de la cobertura para una denominación descriptiva correspondiente a cada categoría temática; y algunos campos adicionales como año o fecha de generación que documentan la procedencia y el contexto temporal de los datos, garantizando la trazabilidad del proceso.

Luego, por medio de la selección por atributos se agrupan los shapefiles según criterios temáticos específicos, utilizando expresiones lógicas que permiten agrupar cada categoría de interés dentro de la clasificación, a través de las herramientas de configuración de editor, específicamente fusionar, se crea una sola delimitación de shapefile por clase relacionada al tipo de clasificación temática de la capa. Posterior a ello, los múltiples polígonos que componen una misma categoría se consolidan en entidades únicas, generando una representación simplificada que mantiene la exactitud en los bordes externos.

2. Determinación de temperatura y precipitación

Los datos primarios de precipitación y temperatura que sustentan el modelo proyectivo fueron obtenidos de una red de estaciones meteorológicas, cuyos identificadores y ubicaciones se especifican en la siguiente tabla. Esta selección de estaciones buscó proporcionar una cobertura espacial representativa del área de estudio, permitiendo captar la heterogeneidad climática del bosque seco tropical del Patía. La utilización de fuentes de datos oficiales constituyó la base para garantizar la validez inicial del ejercicio de modelización espacial emprendido.

Tabla 2
Estaciones meteorológicas del municipio de Patía

Código	Nombre	Coordenada X	Coordenada (Y)
52017070	Bocatoma Sajandí	4548639,1386	1803579,9302
52010160	La Mesa	4541738,1574	1808580,8362
52027030	Puente Fierro – Guachicono	4566281,4472	1796869,2841
52017030	La Fonda – AUT	4549825,712	1795946,1703
52010080	Sajandí	4549496,8923	1800303,8312
52020060	Patía	4549421,5301	1783270,7138
52010180	Patía	4549112,6033	1787182,149

Código	Nombre	Coordenada X	Coordenada (Y)
52025040	Sajandí	4553150,0983	1788799,442
52015020	Fonda La CITEC	4549455,235	1796192,9911
52025080	Estrecho Patía – AUT	4541599,9782	1775167,0074

Elaboración propia

Para transformar estos datos puntuales en superficies climáticas continuas y rasterizadas, se implementó el método de interpolación geoespacial conocido como Ponderación de Distancia Inversa (IDW, por sus siglas en inglés). Este algoritmo determinista se fundamenta en el principio geográfico de la autocorrelación espacial, postulando que la influencia de un valor conocido disminuye de forma proporcional al aumento de la distancia. En consecuencia, el método asigna una mayor ponderación a las estaciones meteorológicas ubicadas en las proximidades del punto de estimación.

El procedimiento de cálculo para cada celda de la malla de salida consistió en el cálculo de un promedio ponderado de los valores registrados en las estaciones circundantes dentro de un radio de búsqueda predefinido. El peso asignado a cada estación se determina inversamente a su distancia elevada a una potencia específica, generalmente al cuadrado. Esta relación matemática aseguró que las observaciones más cercanas al centroide de la celda ejerzan una influencia desproporcionadamente mayor en el valor interpolado final, preservando así la estructura local de los datos.

La aplicación de la técnica IDW permitió, por lo tanto, generar campos espaciales completos de las variables climáticas a partir de observaciones discretas. Esta metodología fue seleccionada por su eficiencia computacional y su capacidad para generar superficies que honran los valores extremos registrados en las estaciones, lo que resulta crucial para un análisis preliminar de la variabilidad meteorológica proyectada. Las superficies resultantes constituyen la capa de entrada fundamental para el subsiguiente análisis de la dinámica de la cobertura vegetal.

3. Elaboración de cartografía temática

Una vez ejecutados los procedimientos descritos, las capas geográficas, previamente georreferenciadas conforme a lo dispuesto en la Resolución 471 de 2021, específicamente en su artículo 4, que establece el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA – SIRGAS, se transforman en productos cartográficos finales, tales como mapas temáticos, los cuales constituyen la representación visual y espacial de los

resultados obtenidos. Esto implica la creación de un mapa temático de cobertura del suelo con todos los elementos cartográficos esenciales como la leyenda, escala gráfica y numérica, un norte orientado, un título descriptivo, información sobre la fuente de datos, el sistema de coordenadas y los créditos del autor. El mapa es exportado en formato digital (JPEG) con una resolución de 600 puntos por pulgada y una profundidad de color verdadero de 24 bits.

4. Conclusiones

El desarrollo y aplicación del marco metodológico expuesto demostró ser completo y adecuado para los objetivos de la investigación. La implementación de un protocolo estructurado de clasificación supervisada, basado en el algoritmo de Máxima Verosimilitud y apoyado por trabajo de campo para la definición de firmas espectrales, permitió una discriminación precisa y validada de las clases (tipos de cobertura del suelo) *bosque* y *no bosque* a lo largo de la serie temporal. Las etapas críticas de preprocesamiento, en particular la corrección atmosférica mediante el modelo DOS1, garantizaron la homogeneidad radiométrica necesaria para un análisis de cambio confiable.

La validación mediante matrices de confusión aportó solvencia estadística a los resultados de la clasificación. De manera paralela, la interpolación IDW de los datos meteorológicos permitió generar superficies meteorológicas continuas representativas del área de estudio a partir de observaciones puntuales. La transición exitosa del modelo ráster al vectorial y la elaboración de cartografía temática produjeron una base de datos espacial de alta integridad. En conjunto, la metodología implementada generó los insumos geospaciales cuantitativos y confiables necesarios para diagnosticar las trayectorias de degradación, cumpliendo con los principios de transparencia y reproducibilidad, y constituyendo un aporte metodológico aplicable al monitoreo de otros ecosistemas secos tropicales.

Capítulo quinto

Un análisis espacio – temporal de la degradación de cobertura vegetal del BST del Patía

La Tierra podría estar viva, [...] como un árbol. Un árbol que existe con apacibilidad, que nunca se mueve, excepto para balancearse con el viento, aunque no deja de conversar con la luz del sol y con el suelo.
(Richard Powers 2018)

Con el marco teórico establecido, el contexto comprendido y la metodología implementada, este capítulo presenta el centro del análisis empírico: la integración y discusión de los resultados que responden a la pregunta central de la investigación. El objetivo es diagnosticar las trayectorias concretas de degradación del BST del Patía mediante un análisis cuantitativo y espacial de la pérdida de cobertura vegetal, las variaciones meteorológicas asociadas y la identificación de sus impulsores, proyectando además escenarios futuros exploratorios basados en las tendencias actuales. Se inicia interrogando la metáfora de *los bosques del quebranto*, presentando y analizando los mapas y estadísticas que revelan la magnitud, localización y dinámica temporal de la pérdida de cobertura boscosa entre 2016 y 2024.

Luego, se realiza una aproximación a la variabilidad meteorológica local, examinando las tendencias de aumento de temperatura y los patrones de precipitación, para explorar la posible configuración de un escenario de sequía. A continuación, se construye una geografía de los impulsores, correlacionando espacialmente la deforestación con el aumento de temperatura e identificando las actividades antrópicas (principalmente la expansión agropecuaria) como fuerzas motrices. Con base en estas tendencias, se plantean escenarios de cambio y proyecciones de la cobertura vegetal a futuro, utilizando un modelo lineal simplificado con fines heurísticos. Este análisis integrado busca evidenciar no solo el estado de degradación, sino el acoplamiento crítico entre la transformación del paisaje y la alteración del microclima, configurando un panorama de vulnerabilidad socioecológica acelerada para el valle del Patía.

1. ¿Los bosques del quebranto?

La degradación de los parches de bosque seco tropical del valle del Patía no constituye un fenómeno aislado, sino que representa una manifestación localizada de una tendencia de degradación ambiental de escala nacional e incluso global. Para comprender cabalmente su magnitud y dinámica, se torna imperativo examinar cuantitativamente las tasas de pérdida de cobertura vegetal y analizar diacrónicamente su evolución temporal. Los datos cuantitativos sobre deforestación, pese a presentar ocasionalmente aparentes discrepancias o inconsistencia metodológica, develan en última instancia una narrativa estructural compleja.

Como evidencia de lo anterior, el siguiente mapa muestra la distribución espacial de los cambios de cobertura vegetal respecto al año 2016 y 2024:

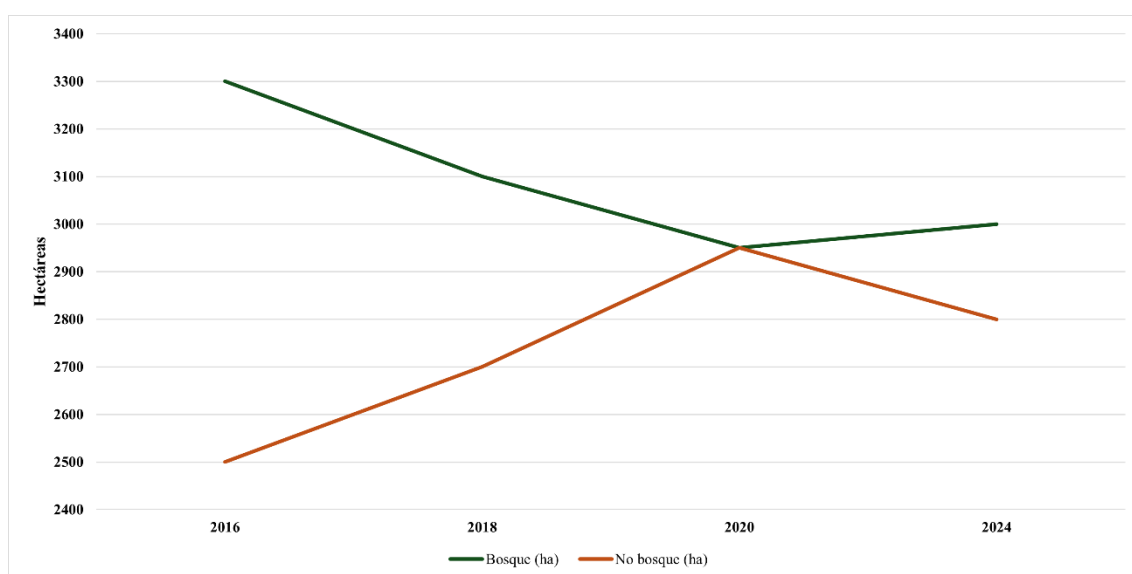


Figura 9. Cambio por tipo de cobertura vegetal en el BST del Patía
Elaboración propia

En ese orden de ideas, el análisis multitemporal de la cobertura vegetal en el BST del Valle del Patía, correspondiente al periodo 2016 a 2024, muestra un patrón caracterizado por una trayectoria general negativa y una alteración interanual notable. Los datos obtenidos mediante la clasificación supervisada de imágenes satelitales Sentinel 2, revelarían una disminución de la superficie boscosa, lo cual podría ser un indicador de la presión antrópica y la vulnerabilidad de este ecosistema. Los datos cuantitativos se entregan en la siguiente tabla y figura, respecto a la clasificación de coberturas:

Tabla 3
Cambios de cobertura vegetal boscosa en el BST del Patía

Año	Bosque (ha)	Variación (ha)	No bosque (ha)	Variación (ha)
2016	3276	-169	2518	169

Año	Bosque (ha)	Variación (ha)	No bosque (ha)	Variación (ha)
2018	3107	-144	2687	144
2020	2963	-117	2831	117
2022	2846	155	2948	-155
2024	3001	N/A	2793	N/A

Elaboración propia

La línea base de 2016 registró una extensión de bosque de 3.276 hectáreas (ha), frente a una matriz de no bosque de 2.518 ha. La secuencia temporal subsiguiente (2018, 2020) mostraría una tendencia de pérdida neta de hábitat forestal, con la cobertura reducida a 3.107 y 2.963 hectáreas, respectivamente. Esta dinámica representaría una disminución absoluta de 309 hectáreas entre 2016 y 2020, equivalente a una tasa de cambio negativa del 9,4 %. Estas variaciones se representan cartográficamente en la siguiente figura, donde los círculos resaltados en negro mostrarían las áreas con cambios más significativos en la cobertura de bosque:

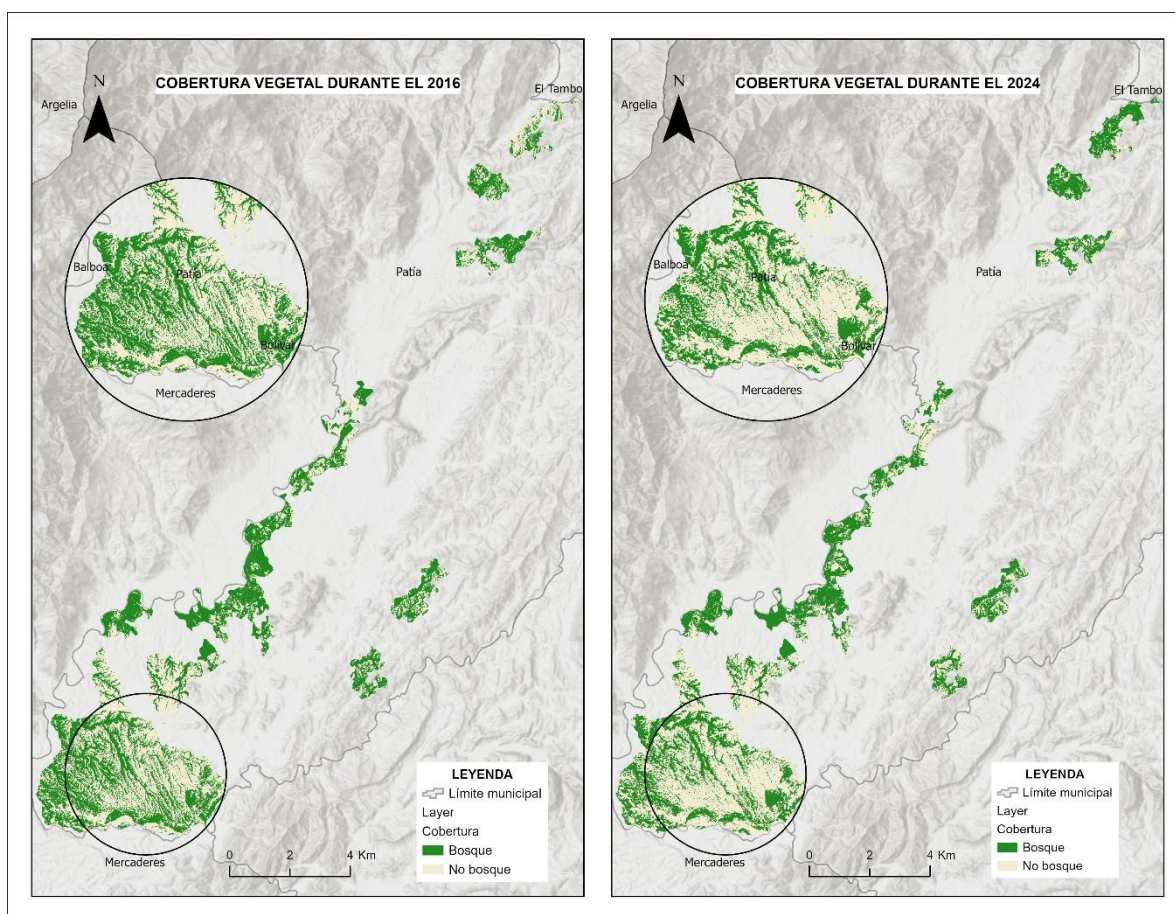


Figura 10. Cambios de cobertura vegetal en el BST del Patía (2016 y 2024)

Elaboración propia

Una revisión detallada de la serie temporal muestra, no obstante, fluctuaciones complejas. La existencia de dos registros discrepantes para el año 2020 (2.963 hectáreas de bosque y 2.846 en no bosque) plantearía la posibilidad de mediciones realizadas en distintos momentos fenológicos. Esta divergencia podría ser sintomática de la celeridad del proceso de deforestación, donde una medición intra – anual posterior capturaría una pérdida acumulada adicional. De considerarse el valor de 2.846 hectáreas como un dato válido y posterior, la pérdida acumulada para el intervalo 2016 – 2022 se elevaría a 430 ha, representando una reducción del 13,1 % de la cobertura arbórea original.

Esta tasa de pérdida podría ser congruente con el estado crítico de conservación que presenta la formación de BST a nivel nacional, del cual la literatura estima la persistencia de menos del 8 % de su extensión (Pardo 2018). Por otro lado, un hallazgo notable, y que se contrapone a la tendencia histórica, es el incremento de la cobertura boscosa registrada en 2024, la cual alcanzó un valor de 3.001 hectáreas. Este dato implicaría una recuperación neta de 155 hectáreas de bosque con respecto a 2022, lo que sugeriría una potencial reversión de la tendencia negativa. Fenomenológicamente, esta recuperación *podría ser atribuida* a dos mecanismos no excluyentes: primero, la resiliencia ecofisiológica del ecosistema, manifestada mediante procesos de sucesión secundaria en áreas previamente sometidas a usos agropecuarios (Cubero et al. 2024); o segundo, la implementación de iniciativas de restauración ecológica. Sin embargo, es imperativo adoptar una postura prudente frente a este aparente punto de inflexión.

Dicha recuperación contrasta con las tendencias macro de deforestación reportadas para los biomas tropicales y, específicamente, con los eventos de pérdida masiva de cobertura asociados a incendios de origen antrópico registrados en la región durante el mismo año 2024 (Goldman et al. 2025). En ausencia de evidencia empírica concreta que corrobore programas de reforestación o la estabilización de las causas de deforestación, la hipótesis más leve *sugeriría* un fenómeno transitorio, que no lograría revertir la trayectoria secular de degradación.

2. Una aproximación a la variabilidad meteorológica local

Vale la pena mencionar que, desde una perspectiva metodológica, el análisis de este apartado se fundamenta en la aplicación de proyecciones de carácter preliminar y esencialmente descriptivo. Dichas proyecciones, de naturaleza deliberadamente elemental, tienen como objetivo ilustrar la existencia de una tendencia proyectada hacia

la variabilidad en las condiciones climáticas y en la dinámica de la cobertura vegetal. La simplicidad del modelo aquí empleado no pretende cuantificar con precisión las magnitudes de dichos cambios, sino operar como una demostración heurística inicial.

Con la aclaración anterior, el estudio del estado climático en el BST del Patía durante el periodo de investigación, mediante técnicas de teledetección, *pondría de manifiesto* una interconexión entre la pérdida de cobertura vegetal y la modificación de los regímenes térmicos. La transformación antrópica de la cobertura de bosque *se mostraría* como un factor que *podría alterar* la temperatura y las precipitaciones.

2.1. Tendencias y variaciones de la temperatura

El cambio de cobertura vegetal densa del bosque se relaciona con una propagación vertical, la cual genera una afectación en el comportamiento de la temperatura del aire en capas bajas (Pardo 2018). Los datos, en términos generales, indicarían un ascenso de esta variable desde los 22 °C en 2016 hasta los 36 °C en 2024. De forma complementaria, se muestra la siguiente tabla con información numérica relacionada:

Tabla 4
Comportamientos de la temperatura en el BST

Año	Mínima (°C)	Variación (°C)	Máxima (°C)	Variación (°C)	Media (°C)	Variación (°C)
2016	21	-1	24	0	22	1
2017	20	1	24	1	23	0
2018	21	3	25	1	23	2
2019	24	3	26	3	25	3
2020	27	4	29	7	28	4
2021	31	2	36	-1	32	2
2022	33	1	35	1	34	1
2023	34	- 1	36	1	35	1
2024	33	N/A	37	N/A	36	N/A

Elaboración propia

El análisis de la serie temporal (2016 – 2024) evidenciaría una tendencia de incremento en las temperaturas mínimas, máximas y medias. Los valores registraron una transición desde 21 °C, 24 °C y 22 °C en 2016 hasta 33 °C, 37 °C y 36 °C en 2024, respectivamente. Las variaciones interanuales arrojaron incrementos promedio de +1.13 °C (mínimas), +1.50 °C (máximas) y +1.63 °C (medias). El periodo 2020 – 2021 se

destacaría por una anomalía térmica positiva en las temperaturas máximas (+7 °C), lo que sugeriría la posible influencia de un evento climático singular.

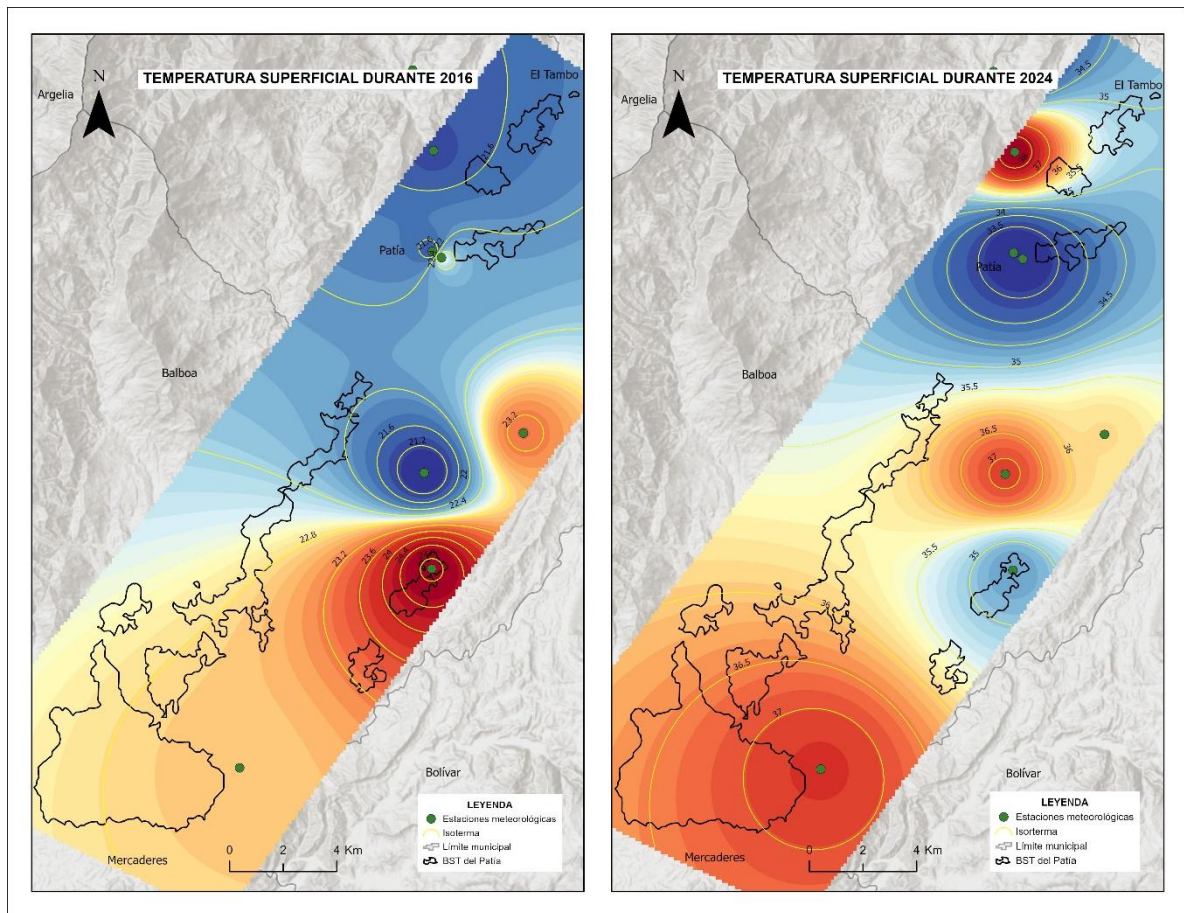


Figura 11. Temperatura en el BST del Patía entre 2016 y 2024
Elaboración propia

Un análisis de regresión lineal aplicado a las series temporales confirma la solidez de la tendencia ascendente. Los coeficientes de determinación (R^2) superan 0.89, con un nivel de significancia extremadamente robusto ($p < 0.0001$). La serie de temperaturas medias presenta el ajuste más fuerte ($R^2 = 0.95$), subrayando la consistencia del calentamiento. Si bien se identifican fluctuaciones interanuales de signo negativo (por ejemplo, un decremento de -1 °C en las mínimas para el periodo 2016 – 2017), la trayectoria general es inequívocamente positiva y de gran pendiente. La tasa de calentamiento implícita, próxima a los +2 °C por año, es excepcionalmente elevada en el contexto climático global observado, lo que podría indicar que los datos permiten suponer que el BST del Patía cuenta con un microclima altamente susceptible a variaciones.

Según Goldman et al. (2025) las temperaturas ambientales tan elevadas incrementan el déficit de presión de vapor (VPD), disminuye la provisión de agua y convierte a la

vegetación remanente en ser susceptible a fenómenos de decaimiento funcional y disturbios de gran intensidad, como los incendios forestales. En un ecosistema que de por sí se caracteriza por una marcada estacionalidad de las precipitaciones, el aumento de la temperatura actúa como un multiplicador de riesgo, incrementando la fragilidad y reduciendo la ventana de resiliencia del sistema.

2.2. Patrones de precipitación y un posible escenario de sequía

A diferencia de las variables térmicas, el régimen de precipitación anual en el BST del Patía evidenciaría una variabilidad alta, carente de una tendencia lineal estadísticamente significativa. El año 2021 se registró como el más húmedo (2.113 mm), mientras que el 2024 constituyó el extremo seco (1.448 mm). Esta ausencia de un patrón de aridificación a largo plazo enmascararía, no obstante, un fenómeno que podría ser crítico: la combinación de un aumento de la temperatura con periodos de baja precipitación generaría un escenario de sequía durante 2022, 2023 y 2024.

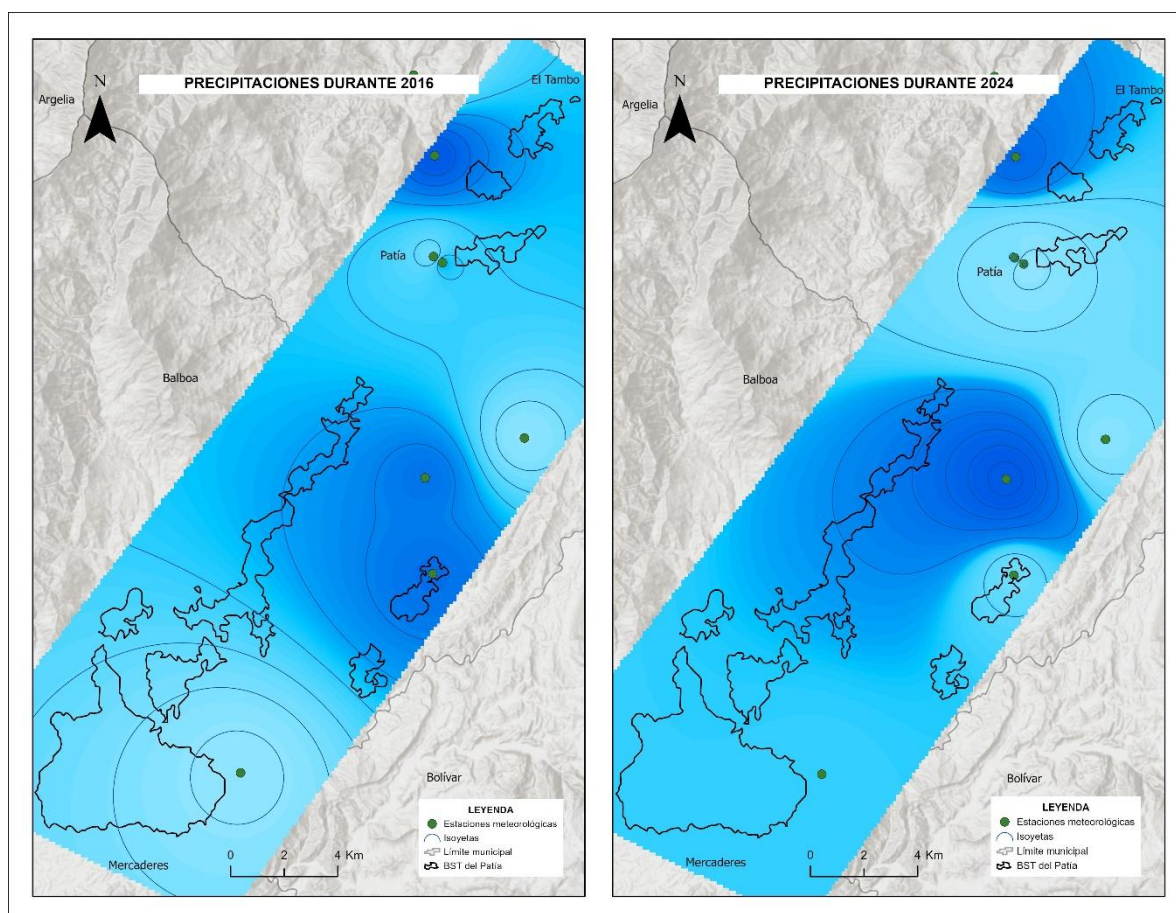


Figura 12. Precipitaciones en el BST del Patía (2016 y 2024)
Elaboración propia

Esta condición sería particularmente negativa para ecosistemas secos. El incremento térmico atmosférico podría llegar a potenciar los efectos de los déficits hídricos al intensificar la demanda evapotranspirativa, lo que conduciría a un agotamiento más rápido de la humedad del suelo. Esta combinación de factores elevaría la vulnerabilidad de la vegetación al estrés, comprometiendo potencialmente su capacidad de recuperación y promoviendo potenciales transiciones a estados alternativos del ecosistema, un fenómeno conceptualizado como histéresis ecológica.

Por otra parte, el siguiente gráfico muestra la relación de las temperaturas y precipitaciones medias calculadas para el periodo de análisis:

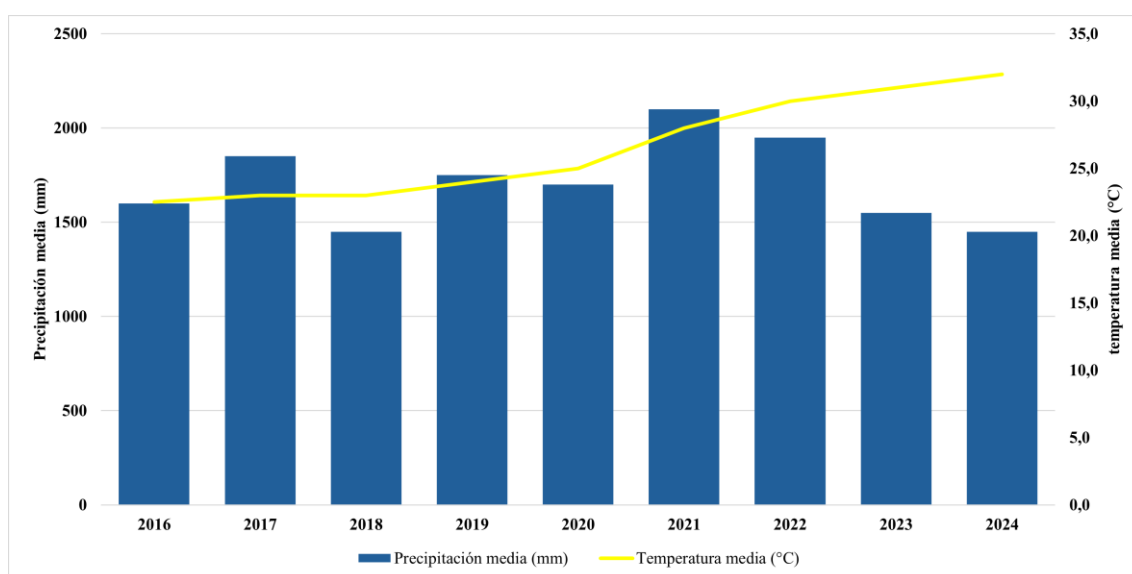


Figura 13. Relación de temperatura y precipitación en el BST del Patía
Fuente: Adaptada a partir de los datos del Sistema de Información para la gestión de datos hidrológicos y meteorológicos (2025)

Esa figura revela la aplicación de un modelo de regresión lineal simple en donde se evidencia una pendiente pronunciada y estadísticamente significativa, lo que sugiere un proceso de calentamiento no meramente progresivo, sino acelerado en el contexto temporal analizado. Esta tendencia de fondo se ve superpuesta a una significativa variabilidad interanual, con una amplitud térmica aproximada de 14°C entre el valor mínimo y máximo del periodo, indicativa de una creciente inestabilidad en el régimen térmico. Cabe destacar la presencia de un máximo extremo en el año 2023, el cual se alinea con los registros globales que lo sitúan como el año más cálido del registro instrumental histórico.

Este pico de aumento puede atribuirse a la superposición de la tendencia de calentamiento antropogénico de largo plazo con la variabilidad natural intrínseca del

sistema climático, particularmente, la probable fase positiva del fenómeno de El Niño (ENSO), conocido por su efecto de forzamiento cálido a escala global. En contraste, el descenso abrupto observado en el año 2024, si bien de magnitud considerable, se interpreta dentro del marco climático como una anomalía transitoria que no invalida la tendencia de calentamiento a largo plazo, sino que constituye una fluctuación temporal dentro de ella. Dicha desviación negativa podría estar modulada por la transición a una fase fría del ENSO (La Niña), la cual ejerce una influencia de enfriamiento que, si bien puede amortiguar temporalmente la tendencia secular, no invalida ni revierte la trayectoria de calentamiento subyacente.

Desde una perspectiva climática, la pendiente de la tendencia observada es consistente con los patrones de cambio climático global, aunque su magnitud sugiere una vulnerabilidad regional particularmente acentuada. Las implicaciones de esta trayectoria son profundas, apuntando hacia una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos (olas de calor, sequías metabólicas) y una potencial reorganización de los regímenes de precipitación.

3. Una geografía de los impulsores

La interpretación de las series de cobertura vegetal y de temperatura de superficie terrestre (LST) revela una correlación espacial significativa: las áreas que exhiben una mayor remoción de la cobertura boscosa corresponden de manera consistente con los polígonos de mayores temperaturas. Esta covariación no es aleatoria, sino que constituye un indicador sólido de la naturaleza y la intensidad de las actividades antrópicas subyacentes al proceso de deforestación que de acuerdo con el proceso de clasificación supervisada de las imágenes satelitales corresponden a áreas a las cuales se les ha removido la cobertura boscosa para ser reemplazada con pastos para la ganadería.

La conversión de bosques primarios y secundarios en matrices agropecuarias se erige como el principal vector de cambio de uso del suelo y pérdida de biodiversidad en los biomas tropicales. En el contexto específico del BST del Patía, la superposición espacial entre los frentes de deforestación identificados y los clusters de puntos de calor sugiere de manera contundente que la expansión de la frontera agrícola (específicamente, los monocultivos extensivos y la ganadería bovina) actúa como el factor de presión predominante. Este proceso de homogenización del paisaje, que sustituye la complejidad estructural del bosque por coberturas simplificadas (pastizales, cultivos), no solo implica la remoción de la biomasa aérea, sino que induce una profunda alteración de las

propiedades biofísicas de la superficie. La reducción en la evapotranspiración, el aumento del albedo superficial y la pérdida de capacidad de infiltración resultan en una modificación del balance energético local, que se manifiesta termográficamente como un incremento en la LST, fenómeno consistentemente documentado como islas de calor de origen antrópico.

El impacto de estos impulsores trasciende la mera alteración de variables biofísicas y se propaga a través del sistema socioecológico. La cartografía presentada previamente, en donde se muestran a las zonas afectadas por las altas temperaturas, operacionaliza y visibiliza el nexo causal entre la degradación ambiental y la vulnerabilidad social. La deforestación conlleva a la fragmentación de hábitats, la degradación y erosión edáfica acelerada, y la consiguiente disminución en la provisión de servicios ecosistémicos críticos, entre los que destacan la provisión de agua, la polinización y la disponibilidad de recursos maderables y no maderables.

Una de las actividades que mayor impacto han generado sobre el bosque seco tropical del Patía ha sido la ganadería y los monocultivos (Quiñonez y Osorio 2024). Esta cascada de efectos socava directamente los fundamentos ecológicos que sostienen los medios de vida de las comunidades locales, perpetuando ciclos de pobreza y limitando severamente las trayectorias de desarrollo económico, con especial incidencia en los grupos socioeconómicos más desfavorecidos. En última instancia, el caso del Valle del Patía se configura como un arquetipo de acoplamiento negativo entre la degradación ambiental y el subdesarrollo socioeconómico.

4. La escala de la ganadería

Anteriormente se mencionó que la ganadería es el principal vector del proceso de deforestación en el municipio de Patía. A partir de Quiñonez y Osorio (2024) se entrega una visión, más desde el punto de vista territorial, de la forma en que esta actividad se relaciona a escala en el nivel de producción. En ese orden de ideas, se debe mencionar que la ganadería que se practica, al menos a partir de finales del siglo XX, se realiza a escala extensiva sobre las haciendas pertenecientes a grandes ganaderos que no pertenecen a comunidades locales que habitan en el BST del Patía.

Aunando lo anterior, la ganadería en el valle del Patía durante gran parte del siglo XX, especialmente entre 1930 y 1980, experimentó una transición profunda desde un modelo de subsistencia comunitaria hacia un sistema de hacienda extractivo y empresarial. En sus inicios, la actividad estaba liderada por los llamados *grandes propietarios negros*, quienes mantenían una estructura socioespacial abierta y basada en

la posesión de ganado criollo. En este periodo, la tierra no se explotaba de manera intensiva; más bien, el acceso a los recursos era colectivo, permitiendo que familias sin propiedades grandes criaran sus animales en terrenos compartidos sin cercas ni límites rígidos, apoyados en un control social basado en el respeto familiar.

La transformación radical comenzó con la llegada de inmigrantes mestizos (denominados *blancos* por la comunidad local) provenientes de regiones como Antioquia, Popayán y Pasto, facilitada por la construcción de la carretera Panamericana en la década de 1930. Estos nuevos actores introdujeron la lógica de la hacienda ganadera como empresa privada, lo que provocó el paso de un paisaje de vegas y llanos abiertos a uno de potreros cerrados con alambre de púas. Este cambio no fue solo físico, sino también tecnológico y biológico: el ganado criollo fue reemplazado paulatinamente por razas introducidas como el Cebú puro, Brahman y Gyr, lo que a su vez obligó a sustituir los pastos nativos por variedades foráneas como el puntero, angleton o estrella.

Los actores involucrados en esta dinámica incluyeron a los inmigrantes mestizos, quienes utilizaron su capital y conexiones políticas para acumular tierras, a menudo mediante el despojo, el engaño o la explotación de leyes sobre *baldíos* que los pobladores negros desconocían. Entre ellos destacan familias antioqueñas que se convirtieron en poderosos gamonales al introducir ganado puro de Estados Unidos y consolidar grandes extensiones de tierra. Por otro lado, los antiguos propietarios negros y los campesinos pobres terminaron desplazados hacia las zonas menos productivas, como las orillas de las carreteras o las vegas de los ríos, convirtiéndose en muchos casos en mano de obra para las mismas haciendas que ocuparon sus territorios ancestrales.

Por otro lado, como el negocio ganadero en el Patía demanda grandes extensiones de terreno, se considera necesario un análisis de la desigualdad en la tenencia de la tierra. Para ello se utiliza información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2025), la cual se evidencia de forma sintética en la siguiente tabla la cual contiene el porcentaje de propiedad de la tierra para el 1 %, 5 % y 10 % de los mayores propietarios a nivel municipal:

Tabla 5
Distribución de GINI por tenencia de la tierra

Rango percentil	Rango del índice Gini	Interpretación estadística
1 – 10	28,4 – 67,2	Baja a media desigualdad en la distribución predial.
11 – 20	69,0 – 82,1	Aumento acelerado del índice; transición hacia

Rango percentil	Rango del índice Gini	Interpretación estadística
		alta desigualdad.
21 – 30	83,1 – 90,4	Alta desigualdad consolidada; fuerte concentración de la tierra.
31 – 80	90,5 – 99,9	Desigualdad extrema sostenida en la mayor parte de la distribución.
81 – 100	100	Máxima desigualdad (concentración absoluta).

Elaboración propia

Con base en la tabla completa del Índice de Gini Municipal para Patía¹, se evidencia una distribución altamente asimétrica y concentrada hacia valores elevados del indicador. El rango del índice va desde 28,4 en el percentil 1 hasta 100 en los percentiles superiores, lo que muestra una amplitud cercana a 72 puntos y revela una estructura extremadamente desigual. En los percentiles más bajos (1 – 10) los valores del Gini se ubican entre 28,4 y 67,2, lo que corresponde a municipios con una distribución de la tierra relativamente más homogénea; sin embargo, Patía transita rápidamente fuera de este rango, indicando que la equidad predial es marginal y poco representativa dentro de su estructura territorial.

A partir de los percentiles intermedios (11–30) se observa un incremento acelerado del índice, pasando de valores cercanos a 69 hasta aproximadamente 90, lo que implica un cambio brusco hacia escenarios de alta concentración. Este comportamiento estadístico indica que, en pocos tramos, la desigualdad se intensifica de manera significativa, sugiriendo que una proporción cada vez menor de propietarios concentra superficies crecientes de tierra. En los percentiles siguientes (31 – 80) el indicador se mantiene de forma sostenida por encima de 90, lo que confirma que no se trata de valores extremos aislados, sino de un patrón estable de alta concentración predial. Finalmente, en los percentiles superiores (81 – 100) el índice alcanza el valor máximo de 100, lo que significa que la desigualdad llega a su expresión límite y la curva se aplana, reflejando una dominancia casi total de grandes propietarios sobre la superficie rural.

Desde el punto de vista territorial, esta distribución estadística traduce una estructura agraria caracterizada por el predominio de grandes unidades productivas, una fragmentación desigual del suelo y una limitada participación de pequeños productores en la tenencia de la tierra. La permanencia prolongada del municipio en rangos altos del

¹ El número de propietarios corresponde a 4.602 predios los cuales les pertenece a 4.458 propietarios. El área de cálculo corresponde a 71.795 hectáreas que determinada un Índice de GINI de 0,8.

índice sugiere que la concentración no es coyuntural, sino estructural, asociada a procesos históricos de apropiación del suelo, a modelos productivos extensivos y a una débil democratización del acceso a la tierra. En este sentido, el Índice de Gini no solo describe una desigualdad cuantitativa, sino que expresa una forma de organización territorial donde el control del recurso tierra se encuentra altamente concentrado, con implicaciones directas sobre el desarrollo rural, la equidad social y las posibilidades de ordenamiento territorial más inclusivo.

5. Escenarios de cambio: proyecciones basadas en tendencias actuales

El análisis de las trayectorias históricas de pérdida de cobertura boscosa y las variaciones del estado climático en el BST del Patía permiten proyectar un escenario futuro de vulnerabilidad socioecológica acelerada/exagerada, que aquí se expone de una forma apenas simplista y con fines exploratorios que sirven como sustento para mostrar que efectivamente el clima local está cambiando. De persistir la tasa de deforestación observada en el período 2016 – 2022 (considerando el dato de 2024 como una anomalía dentro de la tendencia secular más que como una reversión de esta), la superficie forestal remanente continuaría su contracción.

La relación entre el aumento de las temperaturas y la mayor frecuencia e intensidad de períodos de escasez de precipitaciones, como el registrado en 2024, actúa como un amplificador de perturbaciones. Los incendios forestales, identificados recientemente (en trabajo de campo) como un potenciador primario de la reducción de cobertura, constituyen una amenaza crítica cuya probabilidad de ignición y potencial de propagación se ven exacerbados por estas condiciones. Las temperaturas elevadas no solo reducen el contenido de humedad de la biomasa combustible (aumentando la inflamabilidad), sino que comprometen la fisiología arbórea, disminuyendo su capacidad de resiliencia hidráulica y su tolerancia a la sequía. Esta vulnerabilidad es particularmente aguda en regiones de clima árido y semiárido, donde los márgenes de adaptación fisiológica de las especies son más estrechos.

Un elemento crítico en esta dinámica es el fenómeno de la histéresis ecológica, que postula el retraso y, en casos severos, la imposibilidad de recuperación del sistema tras una perturbación, incluso una vez restablecidas las condiciones ambientales iniciales. Las denominadas sequías cálidas imponen una huella fisiológica persistente en los individuos arbóreos supervivientes, manifestada en un crecimiento radial reducido, daño xilemático por embolismo y una capacidad de secuestro de carbono comprometida a largo

plazo. De superarse el umbral de resiliencia del bosque del Patía, la reversión del estado degradado se tornaría biogeofísicamente improbable, encauzando al ecosistema hacia un estado estable alternativo caracterizado por una biomasa drásticamente reducida y una pérdida de funcionalidad (Goldman et al. 2025). A largo plazo, esta trayectoria conlleva un riesgo inminente de desertificación, uno de los procesos de degradación de tierras más severos que afectan a los ecosistemas secos a escala global.

En este contexto, el análisis cuantitativo y espacial subraya la imperativa necesidad de transitar hacia un marco de gestión territorial integral y adaptativa. Los hallazgos demuestran que las políticas de conservación no pueden limitarse a medidas reactivas de prohibición de la tala, sino que deben implementar estrategias proactivas que aborden los impulsores subyacentes de la deforestación, como la expansión de la frontera agropecuaria, y mitiguen simultáneamente los efectos del cambio climático a escala local (calentamiento regional). Solo mediante una gobernanza que ataque de forma sinérgica las causas y los síntomas se podrá evitar el potencial colapso del sistema socioecológico del Valle del Patía.

6. Proyecciones de la cobertura vegetal

Las proyecciones modeladas, que extrapolan la tendencia subyacente, indican una profundización del proceso de deforestación. Se anticipa una pérdida adicional de -292 ha entre 2026 y 2034 (de 2.795 a 2.602 hectáreas), con una tasa media anual de -36.5 ha/año. Si bien esta tasa numérica es ligeramente inferior a la del período histórico (2016 – 2024), su impacto acumulativo es severo: para 2034, se proyecta que la cobertura de bosque se habrá reducido a tan solo 2.602 hectáreas, lo que representa una pérdida total del 20,6 % respecto al línea base de 2016 (3.276 ha). Esta trayectoria confirma que las presiones antrópicas subyacentes no solo persistirán, sino que pueden estar intensificándose. Los detalles se entregan en la siguiente figura:

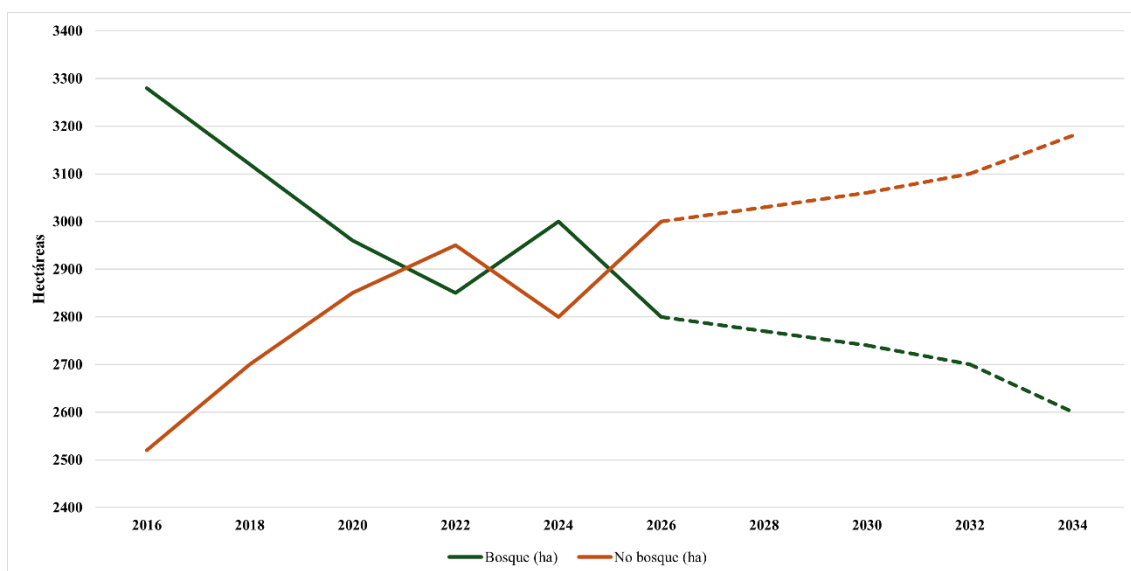


Figura 14. Proyecciones por tipo de cobertura en el BST del Patía (2026–2034)
Elaboración propia

Aunando lo anterior, la pérdida forestal proyectada consolida un paisaje cada vez más fragmentado y dominado por matrices de no bosque (que alcanzarían las 3.192 hectáreas en 2034). Este umbral de pérdida de hábitat (más del 80 % de la cobertura original) se acerca críticamente a los límites teóricos de resiliencia ecológica para ecosistemas secos tropicales (Guerra et al. 2021). La continua reducción del bosque incrementa la vulnerabilidad del sistema mediante múltiples ciclos de retroalimentación en aumento que incluirían reducción de la resiliencia hidrológica, amplificación del calentamiento local y aumento de la inflamabilidad.

La convergencia de estas dinámicas sugiere un alto riesgo de que el ecosistema de bosque seco tropical del Patía transgreda un umbral crítico, allanando el camino hacia un estado alternativo degradado de tipo sabanoide, es decir, que haya perdido su estructura y función original (Lance 2012) o incluso hacia procesos incipientes de desertificación, los cuales son extremadamente difíciles y costosos de revertir. De esta manera, podría decirse que la integración de datos observados y proyecciones no solo valida la tendencia histórica de declive, sino que proyecta su aceleración y la insuficiencia de las medidas de conservación actuales. Metafóricamente, la ventana de oportunidad para evitar la degradación irreversible se está cerrando rápidamente.

7. Conclusiones

El análisis integrado de los resultados ofrece una evidencia significativa y cuantitativa del acoplamiento entre la degradación de la cobertura vegetal y la alteración

de las variables meteorológicas a nivel local en el BST del Patía durante el período 2016 – 2024. Se verificó una pérdida neta significativa de cobertura boscosa y una tendencia clara y estadísticamente sólida al incremento de las temperaturas (medias, mínimas y máximas). La correlación espacial es visible: los frentes de deforestación coinciden sistemáticamente con las zonas de mayor temperatura, configurando *puntos calientes* de origen antrópico que confirman a la expansión agropecuaria, y en particular a la ganadería, como el principal impulsor directo de la transformación.

Aunque la precipitación no mostró una tendencia lineal, la combinación de temperaturas más altas con períodos de baja pluviosidad (2024) proyecta un escenario de mayor estrés hídrico y riesgo de sequías metabólicas para la vegetación. Las proyecciones exploratorias, basadas en la tendencia actual, alertan sobre una posible profundización de la degradación y un riesgo creciente de que el ecosistema transgreda umbrales críticos de resiliencia, acercándose a estados alternativos degradados de difícil reversión. En síntesis, este capítulo demuestra que la degradación del BST del Patía es un proceso activo que no solo reduce la biodiversidad, sino que reconfigura las condiciones biofísicas fundamentales del territorio, exacerbando su vulnerabilidad y exigiendo, con urgencia, estrategias de gestión que aborden de manera sinérgica las causas antrópicas y los síntomas climáticos locales.

Conclusiones

Esta investigación, con cierto grado de aceptación, logró cumplir su objetivo general al demostrar la influencia significativa de la degradación de la cobertura vegetal sobre la variación de las variables meteorológicas locales en el Bosque Seco Tropical (BST) del Patía durante el período 2016 – 2024. Mediante un enfoque metodológico, se cuantificó una *pérdida neta de cobertura boscosa* correspondiente a 309 (ha) entre los años 2016 y 2022, con una recuperación para el año 2024 que no eleva la tendencia de reducción general de cobertura. Además, se evidenció una *tendencia clara al incremento de las temperaturas* medias, mínimas y máximas en el área de estudio. La correlación espacial entre los frentes de deforestación y los polígonos de mayor temperatura confirma que la transformación antrópica del paisaje actúa como un forzante directo del calentamiento local, configurando un escenario de alta vulnerabilidad socioecológica.

La *principal contribución* de esta tesis reside en la cuantificación a partir de un análisis multitemporal (relación espacio – temporal) para un ecosistema seco tropical específico, generando una línea base científica estructurada que supera, de cierta forma, la descripción cualitativa. Se confirma que la *expansión agropecuaria, en particular la ganadería extensiva de nivel industrial producida en las haciendas de propiedad de grupos sociales exógenas al territorio* constituye el principal vector histórico y contemporáneo de la degradación, un patrón que refleja las dinámicas estructurales de deforestación identificadas a nivel nacional y regional.

Si bien el régimen de precipitación no mostró una tendencia lineal estadísticamente significativa en el período analizado, la conjunción de temperaturas más elevadas con episodios de baja pluviosidad (como el registrado en 2024) proyecta un *escenario de mayor estrés hídrico y riesgo de sequías metabólicas* para la vegetación remanente y, en términos generales, para el ecosistema como tal. Las proyecciones exploratorias, basadas en la tendencia secular, alertan sobre la posibilidad de que el ecosistema transgreda umbrales críticos de resiliencia, acercándose a estados alternativos degradados de difícil reversión.

Frente a las posibles amenazas de desertificación y sequía, se requiere una intervención institucional a nivel regional. Esta debe impulsar, mediante políticas específicas, la creación de un *plan de manejo ambiental* y un sistema de zonificación que delimite espacialmente los usos permitidos y las restricciones a las actividades humanas.

Paralelamente, es fundamental redirigir las actividades productivas de gran escala hacia modelos sostenibles. Esto implica *adoptar técnicas agropecuarias sostenibles*, implementar procesos de reconversión y recuperar la biodiversidad y la conectividad entre áreas de valor ambiental, dando especial importancia a la agricultura familiar para asegurar la sostenibilidad integral del territorio.

En síntesis, esta investigación corrobora que la degradación del BST del Patía es un *fenómeno socioecológico complejo*, donde la pérdida de cobertura vegetal opera como un amplificador de la vulnerabilidad meteorológica local. Los hallazgos subrayan que la conservación de este relicto no es solo un imperativo de biodiversidad, sino una estrategia fundamental de adaptación climática para salvaguardar servicios ecosistémicos regulatorios clave y los medios de vida de las comunidades que históricamente han habitado este territorio. Revertir la trayectoria de degradación exige, por tanto, un *cambio de paradigma en la gestión territorial hacia* enfoques integrados y adaptativos que reconcilien la conservación ecológica con la equidad social y la viabilidad económica en el valle del Patía.

Lista de referencias

- Arbeláez, Enriquez. 2013. "Knowledge of Colombian biodiversity: published and indexed". *Biodiversity and Conservation* 22 (12): 2875-906. doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0560-y>.
- Alemán, Trinidad. 2005. "Desarrollo sustentable: teoría y práctica". *Ecofronteras: revista cuatrimestral de divulgación de la ciencia* 24: 4-10. <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/864>
- Andrews, Malcon. "Landscape: An Aesthetic Ecology". En *Teoría y paisaje: reflexiones desde miradas interdisciplinarias*, editado por Laura Puigbert, Ágata Losantos y Gemma Bretcha, 73-88. Olot: Observatorio del Paisaje de Cataluña.
- Ávila, Ana Patricia. 2019. "Análisis y clasificación de firmas espectrales utilizando técnicas de aprendizaje automático". Tesis de maestría, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1009/1677>.
- Berkes, Fikret. y Carl Folke. Ed. 1998. *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Besse, Jean. 2011. "Landscape: An Aesthetic Ecology". En *Teoría y paisaje: reflexiones desde miradas interdisciplinarias* editado por Laura Puigbert, Ágata Losantos y Gemma Bretcha, 7-24. Olot: Observatorio del Paisaje de Cataluña.
- Borchert, Rolf. 1994. "Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees". *Ecology* 75, (5): 1437-49. doi: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1937467>.
- Brundtland, Gro Harlem. 1987. *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press.
- Colafranceschi, Daniela. 2011. "Arquitectura y paisaje: geografías de proximidad". En *Teoría y paisaje: reflexiones desde miradas interdisciplinarias*, editado por Laura Puigbert, Ágata Losantos y Gemma Bretcha, 55-72. Olot: Observatorio del Paisaje de Cataluña; Barcelona: Universidad Pompeu Fabra.
- Escobar, Arturo. 2014. *Sentipensar con la tierra: nuevas lecturas sobre desarrollo, territorio y diferencia*. Medellín: Universidad Autónoma Latinoamericana.

- Ghiso, Alfredo. “Potenciando la diversidad: diálogo de saberes, una práctica hermenéutica colectiva”. Ponencia presentada en la segunda versión del seminario “Diálogo de Saberes”, febrero de 2000.
- González, Juan. 2012. “Carl Troll y la geografía del paisaje: vida, obra y traducción de un texto fundamental”. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 59: 173-200. <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1470>
- Gutiérrez, Esthela. 2007. “De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable. Historia de la construcción de un enfoque multidisciplinario”. *Trayectorias* 9 (25): 45-60. Redalyc, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60715120006>
- Cárdenas, Mario e Ivonne Lobos. 2024. *Comprender y superar la (in)coherencia de las políticas para controlar la deforestación en Colombia: una necesidad para alcanzar la Agenda 2030 y los objetivos climáticos*. Estocolmo: Instituto Ambiental de Estocolmo.
- Chávez, Pat. 1996. “Image – Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved”. *Photogrammetric Engineering y Remote Sensing* 62 (9): 1025-36. https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1996journal/sep/1996_sep_1025-1036.pdf.
- Colombia Gobernación del Cauca. *Plan de Ordenamiento Departamental del Cauca. Documento síntesis*. Popayán: Gobernación del Cauca, 2020.
- . 2024. *Plan de Desarrollo Departamental del Cauca, la fuerza del pueblo 2024–2027*. Popayán: Gobernación del Cauca.
- Congedo, Luca. 2017. *Semi – Automatic Classification Plugin Documentation Versión 5.3.6.1*. 1 de julio. https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/_/downloads/es/latest/pdf/
- Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2024a. *Educación Ambiental para un Cauca Sostenible. Plan de Acción 2024 – 2027*. Popayán: Corporación Autónoma Regional del Cauca.
- . 2024b. *Plan de Gestión Ambiental Regional*. Popayán: Corporación Autónoma Regional del Cauca.
- Cubero, Julián, Nara González, Rafael Ortiz, Diego Pérez, Alejandro Reyes y Juana Téllez. 2024. “El bosque, palanca de desarrollo sostenible en Colombia”. *BBVA Research*, octubre. https://www.bbva.com/wp-content/uploads/2024/10/Colombia-_El-bosque-palanca-de-desarrollo-sostenible-en-Colombia-1.pdf

- Dasgupta, Partha. 2021. *The Economics of Biodiversity*. Londres: Crown copyright.
- Departamento Nacional de Planeación. 1995. *Crisis ambiental en Colombia*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- . 2018. *Valoración económica de la degradación ambiental en Colombia 2015*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Díaz, Angélica, Danny Zurc, Juan Jaramillo y Angélica Benítez. 2023. “Mamíferos en riesgo del bosque seco tropical”. En *Biodiversidad: umbrales de transformación. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*, editado por Luz Moreno y Germán Andrade, sec. “Mamíferos en riesgo del bosque seco tropical”. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Díaz, Julián, Paola Isaacs y María Arce. 2020. “Vulnerabilidad de la oferta de servicios ecosistémicos”. En *Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*, editado por Luz Moreno y Germán Andrade, sec. “Vulnerabilidad de la oferta de servicios ecosistémicos”. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Duarte, Héctor, Antonia Schmidt y Sofía Wahl. 2022. “La deforestación relacionada con la coca en Colombia: un llamado para alinear las políticas de drogas y ambientales para el desarrollo sostenible”. *Journal of Illicit Economies and Development* 3 (1): 10–23. doi: <https://doi.org/10.31389/jied.79>.
- Etter, Andrés, Clive Mcalpine y Hugo Possingham. 2008. “Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: a regionalized spatial approach”. *Annals of the Association of American Geographers* 98 (1): 2-23. doi: 10.1080/00045600701733911.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. *El estado de los bosques del mundo*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>
- Fergusson, Leopoldo, Darío Romero y Juan Vargas. 2014. *Impacto ambiental del conflicto civil: Los efectos en la deforestación de la expansión paramilitar en Colombia*. Centros de Estudios sobre Desarrollo Económico.
- Fernández, Álvaro y Sandra Fernández. 1992. “Contribución al estudio florístico de la hoya hidrográfica del río Patía”. *Revista novedades colombianas* 5 (1): 27-43. doi: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/novedades/article/view/2095>

- Foley, Jonathan, Ruth Defries, Gregory Asner, Carol Barford, Gordon Bonan, Stephen Carpenter, Stuart Chapin, Michael Coe, Gretchen Daily, Peter Snyder, Holly Gibbs, Joseph Helkowski, Tracey Holloway, Erica Howard, Christopher Kucharik, Chad Monfreda, Jonathan Patz, Colin Prentice y Navin Ramankutty. 2005. Global consequences of land use. *Science*. 309 (5734): 570-574. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.
- Fondo Mundial para la Naturaleza. 2020. “Informe Planeta Vivo 2020: Revertir la curva de la pérdida de biodiversidad”. *Fondo Mundial para la Naturaleza*. 10 de septiembre. https://www.wwf.org.co/?364810/Informe-Planeta-Vivo-2020&ads_cmpid=23101750052&ads_adid=&ads_matchtype=&ads_network=x&ads_creative=&utm_term=&ads_targetid=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&ttv=2&gad_source=1&gad_campaignid=23106000238&gbraid=0AAAAADg0uVpu_xcb-WHBHJ8qc78RYTrhY&gclid=Cj0KCQjwmYzIBhC6ARIsAHA3IkROoTBU_PnCbb_61bTovs7WzS9ivH1-eCgZVVgJosrBF7UGFA8CA4YaAieWEALw_wcB.
- García, David. 2021. “Determinación de la temperatura de la superficie terrestre mediante imágenes Landsat 8: Estudio comparativo de algoritmos sobre la ciudad de Granada”. *Revista de teledetección* (58): 1-21. doi: 10.4995/raet.2021.14538
- García, Hernando, Germán Corzo, Paola Isaacs y Andrés Etter. 2014. “Distribución y estado actual de los remantes del bioma de bosque seco tropical en Colombia: insumos para su gestión”. En *el Bosque Tropical en Colombia*, editado por Camila Pizano y Hernando García, 229-251. Bogotá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- García, José. Radiación de un Cuerpo Negro. Ley de Emisión de Planck. 2008. Una breve introducción. Documento de trabajo, julio.
- Goldman, Elizabeth, Sarah Carter y Michelle Sims. 2025. “Los incendios impulsaron una pérdida récord de bosques tropicales en el 2024”. *World Resources Institute – Global Forest Review*. 21 de mayo. <https://gfr.wri.org/es/node/105>
- Granados, D, Ruíz, P. y Barrera, H. 2008. “Ecología de la herbivoría”. *Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente* 14 (1): 51-64. doi: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40182008000100009&script=sci_abstract.

- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. “El Cambio Climático y La Tierra”. *Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático*. 2019. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. “Cambio climático 2021. Bases físicas, resumen para responsables de políticas”. *Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_Spanish.pdf
- Guerra, Francisco, Arturo García y Miguel Martínez. 2021. “Evaluación de la resiliencia ecológica de los bosques tropicales secos: una aproximación multiescalar”. *Madera y bosques* 26 (3): 1-19. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2631983>
- Harvey, David. 1996. *Justicia, Naturaleza y Geografía de la diferencia*. Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales del Ecuador.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2024. *Informe del estado del ambiente y los recursos naturales renovables: 2023*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2021. *Evaluación de imágenes satelitales*. Instituto Bogotá: Geográfico Agustín Codazzi.
- Iwan, Agustina, Marcela Guerrero, Asunción Romanelli y Emilia Bocanegra. 2017. “Valoración económica de los servicios ecosistémicos de una Laguna del sudeste bonaerense (Argentina)”. *Investigaciones Geográficas* (68): 173–89. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.10>.
- Kolbert, Elizabeth. 2014. *La Sexta Extinción: Una Historia Antinatural*. Nueva York: Crítica.
- Landholm, David, Prajal Pradhan, Peter Wegmann y Miguel Romero. 2019. “Reducción de la deforestación y mejora de la productividad ganadera: potencial de mitigación de gases de efecto invernadero de los sistemas silvopastoriles en Caquetá”. *Environmental Research* (14): 1-12. doi: 10.1088/1748-9326/ab3db6
- Lara, Bruno, Marcelo Gandini y Sofia Salese. 2023. “Cambios en los servicios ecosistémicos de regulación y relación con los cambios en el uso del suelo en la región pampeana (Argentina)”. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 29 (3): 2-16. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.10.073>

- Larrouyet, María. 2015. *Desarrollo sustentable: origen, evolución y su implementación para el cuidado del planeta*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Leyton, David y Oscar Fernández. 2023. “Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat de la expansión urbana de Popayán Cauca, en el periodo 1999-2023”. Trabajo de grado, Universidad Santiago de Cali. <https://repositorio.usc.edu.co/items/c122c87e-6559-43ac-825a-adc89f8c4b5f>
- Lewis, William. 1955. *Teoría del desarrollo económico*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Martínez Alier, Joan. 2021. *El ecologismo de los pobres: conflictos ambientales y lenguajes de valoración*. Barcelona: Icaria.
- Matos, Laura, Bardella Joana y Layne Emilly. 2023. “Servicios ecosistémicos culturales y métodos de valoración: una revisión sistemática”. *Turismo y Sociedad* 34: 111-126. doi: <https://doi.org/10.18601/01207555.n34.04>.
- Mazo, Nathaly de los Ángeles, Jorge Eliecer Rubiano y Aracely Castro. 2016. “Sistemas agroforestales como estrategia para el manejo de ecosistemas de Bosque Seco Tropical en el suroccidente colombiano utilizando los SIG”. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 25 (1): 65-77. doi: [dx.doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.41993](https://doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.41993).
- McNeill, John. 2005. “Environmental History in the Modern World”. *Historia Ambiental* 10 (1): 119-121. <https://www.jstor.org/stable/i382361>
- Meyer, Victoria, Sassan Saatchi, Antonia Ferraz, Liang Xu, Álvaro Duque, Mariano García y Jerónimo Chave. 2019. “Degradación forestal y pérdida de biomasa en la región del Chocó colombiano”. *Carbon Balance Manage* 14 (2): 1-15. doi: <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0117-9>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2016. *Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial. Cauca 2040*. Bogotá: Linca Publicidad.
- . 2023. *Plan Integral de Contención de la Deforestación: 2023 – 2026*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Montes, Carmen y Víctor Forero. 2021. “Servicios ecosistémicos culturales y diservicios en un parque urbano de Bogotá, Colombia”. *Ambiente y Sociedad* (24): 2-21. doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190045r3vu2021L3AO>.
- Mosquera, Yilver. 2020. “Territorios de la negritud en Colombia: De las expoliaciones, extrahecciones a las re-existencias en el valle del Patía”. *Revista de Geografía*

Norte Grande (76): 9-29. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000200009>.

Morin, Edgar. 1990. *introducción al pensamiento complejo*. Madrid: Gedisa.

Negret, Pablo, Martine Maron, Richard Fuller, Hugh Possingham, James Watson y Jeremy Simmonds. “Deforestación y pérdida de hábitat de aves en Colombia”. *Biological Conservation* 257, (2021): 1-35. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.05.30.125849>

Nogué, Joan. 2011. “Paisaje y comunicación: el resurgir de las geografías emocionales”. En *Teoría y paisaje: reflexiones desde miradas interdisciplinarias*, editado por Laura Puigbert, Ágata Losantos y Gemma Bretcha, 25-42. Olot: Observatorio del Paisaje de Cataluña; Barcelona: Universidad Pompeu Fabra.

Ostrom, Elinor. 2009. “Un marco general para el análisis de la sostenibilidad de los sistemas socioecológicos”. *Ciencia* 325 (5939): 419-22. doi: 10.1126/ciencia.1172133

Oyarzún, Carlos, Laura Nahuelhual y Daisy Núñez. 2005. “Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica”. *Revista ambiente y desarrollo de CIPMA* 20 (3): 88-95

Padilla, Dora Nancy. 2020. “Heterópteros acuáticos y semiacuáticos asociados al bosque del Patía, suroeste de Colombia”. *Biota colombiana* 21 (2): 15-20. doi: <https://doi.org/10.21068/c2020.v21n02a01>

Pardo, Karen. “El bosque seco tropical en Colombia, amenazado por 13 actividades – El Tiempo”. *El Tiempo*, 14 de marzo de 2018. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/el-bosque-seco-tropical-en-colombia-esta-amenazado-por-13-actividades-distintas-193442>

Pizano, Camila, Roy González, René López, Rubén Jurado, Hermes Cuadros, Alejandro Castaño, Alicia Rojas, Karen Pérez, Hernando Vergara, Álvaro Idárraga, Paola Isaacs y Hernando García. 2015. “El Bosque Seco Tropical en Colombia”. En *Biodiversidad 2015. Estado y Tendencias de la Biodiversidad Continental de Colombia*, editado por María Gómez, Luz Moreno, Germán Andrade y Cristina Rueda, sec. “El Bosque Seco Tropical en Colombia”. Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt.

Pizano, Camila y Hernando García, eds. 2014. *El Bosque Seco Tropical en Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Portela, Lliney y Annie Rivero. 2019. “Valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos en montañas de Guamuhaya, Cienfuegos, Cuba”. *Universidad Y Sociedad* 11 (3): 47–55. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1221>
- Portillo, Carlos. Arturo Sánchez, Julio Calvo, Mauricio Quesada y Mario Marcos. 2015. “The role of tropical dry forests for biodiversity, carbon and water conservation in the neotropics: Lessons learned and opportunities for its sustainable management”. *Regional Environmental Change* 12 (6): 1039-49. doi: <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0689-6>
- Portillo, Carlos y Gerardo Sánchez. 2010. “Extensión y conservación de los bosques secos tropicales en las Américas”. *Conservación Biológica* 143 (1): 144-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>
- Poveda, Yoan, Mauricio Bermúdez y Pablo Leguizamo. 2022. “Evaluación de métodos de clasificación supervisada para la estimación de cambios espacio – temporales de cobertura en los páramos de Merchán y Telecom, Cordillera Oriental de Colombia”. *Boletín de Geología* 44 (2): 51-72. doi: <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022002>
- Powers, Richard. *El clamor de los bosques*. Madrid: Alianza Editorial, 2027.
- Prebisch, Raúl. *El desarrollo económico en América Latina y algunos de sus principales problemas*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe
- Quiñonez, Carlos y Carlos Osorio. 2024. *Patía, de la tierra de nadie a las grandes haciendas*. Popayán: Universidad del Cauca.
- Rostow, Walt. 1960. *Las etapas del crecimiento económico*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Sauer, Carl. 1925. *Morfología del paisaje*. California: Universidad de California.
- Sachs, Wolfgang. 1999. *Planet dialectics: explorations in environment and development*. Londres: Zed Books.
- Salaverry, Edgardo y María Botana. “Las teorías sobre cambio climático aplicadas en América Latina y la estandarización de los sistemas ambientales”. *Universidad Nacional de La Plata*. https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.15067/ev.15067.pdf
- Schneider, Francois, Giorgos Kallis y Joan Martínez Alier. “¿Crisis u oportunidad? Decrecimiento económico para la equidad social y la sostenibilidad ecológica”.

Revista de producción más limpia 18 (6): 511-518. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.01.014>

Toledo, Víctor y Narciso Barrera. 2008. *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona: Icaria Editorial.

Vergara, Hernando y Patricia Torres. 2017. “Aspectos generales del valle del Patía”. *Revista novedades colombianas* 12 (1): 11-24. doi:
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/novedades/article/view/1157>

Vergara, Hernando. 2015. “Patrones de la vegetación y tipos de uso de la tierra en el valle del Patía”. *Colombia Forestal* 18 (1): 25-45. doi:
<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.1.a02>

Woster, Donald. 2008. *Transformaciones de la tierra*. Montevideo: Coscoroba Ediciones y Biblioteca Latinoamericana de Ecología Política.