



Universidad
Popular del Cesar

Departamento de
Ingeniería Ambiental y Sanitaria

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

**ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL COMO
CONSECUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SERRANÍA DEL PERIJÁ,
SECTOR CESAR.**



AUTORES:

Rosa Angelica Barrios Julio

Winston de Jesús Cera Orobio

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2026-1

**ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL COMO
CONSECUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SERRANÍA DEL PERIJÁ,
SECTOR CESAR.**

AUTORES:

Rosa Angelica Barrios Julio

Winston de Jesús Cera Orobio

DIRECTOR:

Orlando Enrique Rubiano Lara

CO-DIRECTOR:

Diego Armando Carabali Hurtado

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR
2026-1

DEDICATORIA

Con el alma llena de emoción y la certeza de que las personas que amamos son el verdadero tesoro, dedico este proyecto de grado a quienes han marcado mi vida. A mis amados padres, Winston Cera Martínez y Luz Amparo Orobio Pérez, por ser mi primer ejemplo, por su amor infinito y por las innumerables lecciones que me han regalado; este trabajo es un tributo a su legado, a mi princesa, Amara Cera Barrios, mi más grande alegría y la fuente de mi motivación; que este logro te inspire a soñar en grande y a construir tu propio camino con valentía, a mi hermana, María José Cera Orobio, por su compañía incondicional y por ser una parte fundamental en mi historia, mi mujer Rosa Angélica Barrios Julio, por su amor, su apoyo y por compartir conmigo este hermoso recorrido. Con un cariño muy especial, y recordando con respeto y admiración, dedico este esfuerzo a mis abuelos, Oralia Pérez Torres y Luis Beltrán Seohuanes Araujo, quienes con su sabiduría y su vida nos dejaron un camino de valores y esfuerzo. A todos ustedes, que de una u otra forma fueron parte de este camino y creyeron en este sueño, les dedico con profunda gratitud este esfuerzo convertido en realidad.

Winston Cera Orobio

DEDICATORIA

Con un cariño muy grande y la convicción de que el amor familiar es la mayor fuerza, dedico este proyecto de grado a las personas más importantes de mi vida, a mis amados padres, Dagoberto Rafael Barrios García y Aminided Julio Castillo, su amor incondicional, su ejemplo de lucha y su constante ánimo han sido la razón principal por la que hoy celebro este logro; este trabajo es un reflejo de sus enseñanzas y sacrificios, a mi reina hermosa , Amara Cera Barrios, eres la luz de mis ojos y el motivo por el que busco mejorar cada día; que este éxito sea un regalo para ti, un camino lleno de sueños posibles y la prueba de que, con amor y dedicación, todo se puede lograr, a mi familia, quienes con su apoyo y amor me han acompañado en cada paso, y con un cariño que va más allá de la vida, dedico este proyecto a mi abuela, Aracelis Castillo mi sonrisa inmortal te llevo siempre en mi corazón y sigues siendo una inspiración constante en mi camino. Este es el legado de un sueño compartido, la semilla de un futuro que hoy, gracias a ustedes, empieza a florecer.

Rosa Barrios Julio



AGRADECIMIENTOS

Este significativo proyecto de grado es el resultado de un camino lleno de dedicación y, sobre todo, del apoyo incondicional de seres muy especiales. Mi gratitud más profunda se eleva, en primer lugar, a Dios, por la vida, la sabiduría y la guía constante que me ha brindado en cada paso, de corazón, quiero agradecer a mis amados padres, Winston Cera Martínez y Luz Amparo Orobio Pérez, cuyo amor sin límites, sacrificio incansable y la fe inquebrantable que siempre tuvieron en mí, han sido el motor que me impulsó a superar cada desafío, mi hermana, María José Cera Orobio, gracias por creer en mí y por ser ese apoyo incondicional que siempre estuvo presente, mi adorada hija, Amara Cera Barrios, eres la luz de mis días, mi mayor inspiración y la razón más bonita de mi esfuerzo; cada logro es para ti, con la esperanza de que te inspires a seguir tus propios sueños con la misma pasión, un agradecimiento especial a mi compañera de vida y colega, Rosa Angélica Barrios Julio, por su comprensión, su apoyo constante, sus valiosas ideas y por ser un pilar fundamental en este trayecto, una gratitud hacia mis suegros, Aminided Castillo y Dagoberto Barrios, por su gran apoyo y por creer en mí; su cariño y ánimo han sido de vital importancia. Finalmente, quiero agradecer al profesor Orlando Rubiano Lara, por su invaluable acompañamiento y por la confianza que depositó en mi trabajo, guiándome con su conocimiento y experiencia, todos ustedes, mi más sincero y profundo agradecimiento por formar parte esencial de este importante logro.

Winston Cera Orobio

AGRADECIMIENTOS

Llegar a este punto con mi proyecto de grado es un logro que no habría sido posible sin el apoyo de personas muy especiales, Primero que todo, le doy gracias a Dios por darme la vida, la sabiduría y la fuerza para seguir adelante en este camino, mi corazón está lleno de gratitud hacia mis queridos padres, Dagoberto Rafael Barrios García y Aminided Julio Castillo; su amor sin límites, sus sacrificios y la gran confianza que siempre tuvieron en mí, fueron la base para que pudiera alcanzar esta meta, a mi preciosa hija, Amara Cera Barrios, tú eres mi gran inspiración, el motor que me impulsa cada día y la razón más bonita de mi esfuerzo; este trabajo es una promesa de un futuro mejor, forjado con amor y dedicación, agradezco de manera especial a mi hermana Karholl, por su ayuda fundamental y por estar presente en los detalles que hicieron este camino más llevadero, y a mis hermanos Andrés, Dago y Jesús, quienes con su hermandad y respaldo constante fueron el soporte emocional que necesitó mi corazón para avanzar con firmeza, también a mi compañero de vida y colega, Winston Cera Orobio, por su paciencia infinita, sus valiosos consejos y su gran comprensión; tu presencia fue clave para superar los retos y celebrar los avances de este proyecto, finalmente, a mis profesores, quienes compartieron su conocimiento y me guiaron con profesionalismo. En especial, a la profesora Lina Rodríguez Becerra, muchas gracias por creer siempre en mí y por sus consejos que me sirvieron tanto, Y al profesor Orlando Rubiano Lara, mi gratitud por su valioso acompañamiento y por la confianza que depositó en nuestro trabajo. A todos ellos, y a quienes con su conocimiento y calidez humana aportaron a mi formación profesional, les entrego mi más sincero reconocimiento, pues este logro es la suma de todos sus sacrificios y del amor que me rodea, mi más sincero agradecimiento por ser parte fundamental de este éxito.

Rosa Barrios Julio

RESUMEN

El presente estudio analizó los cambios en la cobertura vegetal de la Serranía del Perijá, sector Cesar, durante el periodo 2010–2023, con el propósito de identificar las transformaciones del paisaje asociadas al cambio climático y a la intervención antrópica. Mediante el uso de imágenes satelitales, técnicas de clasificación digital, índices de vegetación y Sistemas de Información Geográfica, se realizó un diagnóstico de los tipos de cobertura vegetal y un análisis multitemporal de sus variaciones espaciales y temporales. Los resultados evidenciaron una reducción de las coberturas boscosas naturales y un predominio de la vegetación secundaria y de las coberturas agropecuarias, reflejando procesos de fragmentación y degradación del territorio. A partir de estos hallazgos, se propusieron estrategias de conservación y un plan estratégico de manejo orientado a la restauración ecológica, la conservación de los ecosistemas y la adaptación al cambio climático, con énfasis en la participación comunitaria y la sostenibilidad ambiental.

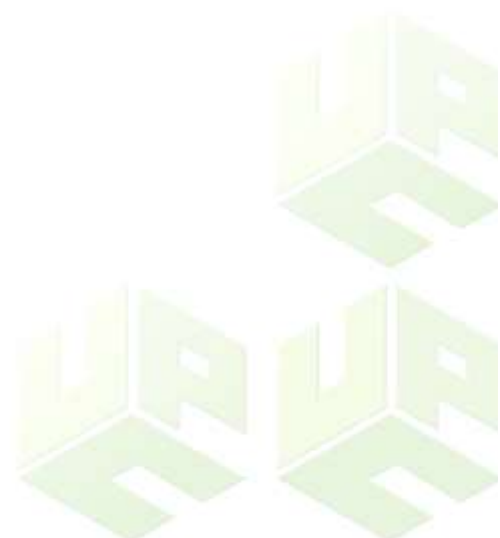
Palabras clave: Cobertura vegetal; cambio climático; análisis multitemporal; Serranía del Perijá; SIG.



ABSTRACT

This study analyzed changes in vegetation cover in the Serranía del Perijá mountain range, Cesar sector, during the period 2010–2023, with the aim of identifying landscape transformations associated with climate change and human intervention. Using satellite imagery, digital classification techniques, vegetation indices, and Geographic Information Systems (GIS), a diagnosis of vegetation cover types and a multitemporal analysis of their spatial and temporal variations were conducted. The results showed a reduction in natural forest cover and a predominance of secondary vegetation and agricultural land, reflecting processes of land fragmentation and degradation. Based on these findings, conservation strategies and a strategic management plan were proposed, focused on ecological restoration, ecosystem conservation, and adaptation to climate change, with an emphasis on community participation and environmental sustainability.

Keywords: Vegetation cover; climate change; multitemporal analysis; Serranía del Perijá; GIS.



Contenido

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	16
3. OBJETIVOS.....	18
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
Analizar los cambios en la cobertura vegetal como consecuencia del cambio climático en la Serranía del Perijá, sector Cesar.	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. MARCO REFERENCIAL.....	19
4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
4.4 MARCO CONTEXTUAL	27
4.5 MARCO LEGAL	30
5. MARCO METODOLOGICO	30
5.1 LINEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN.....	30
5.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	30
5.3 ALCANCE DE INVESTIGACIÓN.....	30
5.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	31
5.5 MUESTRA POBLACIONAL.....	31
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	40
7. CONCLUSIONES	89
8. RECOMENDACIONES	11
BIBLIOGRAFIA	12

Lista de tablas

Tabla 1. Normatividad aplicable	20
Tabla 2. Matriz de revisión documental	31
Tabla 3. Valores medios mensuales de precipitación (mm)	33
Tabla 4. Valores totales anuales de precipitación (1990–2009, mm)	34
Tabla 5. Temperatura y precipitación media según estación.....	35
Tabla 6. Unidades climáticas y de paisaje del área de estudio	47
Tabla 7. Fuentes de información cartográfica y geoespacial (metadatos).....	48
Tabla 8. Porcentaje de área por cobertura identificada para el año 2023	51
Tabla 9. Matriz de verificación del preprocesamiento geoespacial.....	54
Tabla 10. Interpretación de valores NDVI y su relación con la cobertura vegetal.....	56
Tabla 11. Variación estimada de la cobertura vegetal entre 2010 y 2023	59
Tabla 12. Variación estimada de la cobertura vegetal entre 2020 y 2023	11
Tabla 13. Identificación de buenas prácticas.....	61
Tabla 14. Propuesta de estrategias de conservación y manejo sostenible	64
Tabla 15. Relación de las estrategias con el cambio climático.....	64
Tabla 16. Plan estratégico de manejo de la cobertura vegetal	77
Tabla 17. Integración del plan estratégico con el cambio climático	77
Tabla 18. Cronograma del plan estratégico.....	78

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de la Serranía del Perijá.....	20
Figura 2. Ubicación de la serranía del Perijá	22
Figura 3. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio	30
Figura 4. Expresión topográfica de la unidad geomorfológica colinosa (UGC) y la unidad geomorfológica plana (UGP)	30
Figura 5. Unidades geológicas de la zona de estudio	30
Figura 6. Distribución de las precipitaciones mensuales en estaciones de monitoreo de la zona.....	32
Figura 7. Distribución temporal de la precipitación anual	34
Figura 8. Unidades de suelo presentes en la zona de estudio	40
Figura 9. Clases agroecológicas del suelo	41
Figura 10. Mapa de usos del suelo de la zona de estudio.....	50
Figura 11. Mapa de cobertura vegetal del suelo en la zona de estudio.....	50
Figura 12. Recortes de imágenes utilizadas.....	55
Figura 13. Figura NVI utilizada para el análisis.....	67
Figura 14. Imágenes NVI para estimar variaciones en los años 2010 a 2023.....	68
Figura 15. Imágenes NVI de análisis para los años 2020 a 2023.....	10
Figura 16. Imágenes LANDSAT de los años de estudio 2010-2023.....	13
Figura 17. Mapa de análisis de pérdida de cobertura del año 2010.	90
Figura 18. Mapa final de cobertura y uso del suelo año 2026	90

INTRODUCCIÓN

El cambio climático constituye uno de los principales retos ambientales del siglo XXI, afectando la estructura, función y resiliencia de los ecosistemas a nivel global (IPCC, 2021). En regiones tropicales, estos efectos se manifiestan con mayor intensidad debido a la interacción entre factores climáticos, presiones antrópicas y procesos de degradación ambiental, lo que ha conducido a la pérdida acelerada de la cobertura vegetal y, con ello, a la reducción de servicios ecosistémicos esenciales como la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad (FAO, 2020; PNUMA, 2021).

En Colombia, la cobertura vegetal ha sufrido transformaciones significativas como resultado de la expansión agrícola, la ganadería extensiva, la explotación minera y la urbanización descontrolada, fenómenos que, combinados con la variabilidad climática, han intensificado los procesos de deforestación y fragmentación de hábitats (IDEAM, 2022; Rodríguez & Salazar, 2021). Estas dinámicas amenazan no solo la integridad ecológica de las regiones afectadas, sino también la sostenibilidad de las comunidades que dependen de sus recursos naturales.

Particularmente, la Serranía del Perijá, ubicada entre Colombia y Venezuela, constituye un ecosistema estratégico por su diversidad biológica, su función como corredor ecológico y su papel en la regulación hídrica regional (Pérez et al., 2021). Sin embargo, en la última década se ha evidenciado una disminución y transformación de la cobertura vegetal, asociada a cambios en el régimen climático y al uso inadecuado del suelo, lo que ha incrementado la vulnerabilidad ambiental de la zona (IDEAM, 2022).

Ante este panorama, resulta fundamental analizar de manera rigurosa y multitemporal la dinámica de la cobertura vegetal en la Serranía del Perijá, considerando su relación con el cambio climático y con las actividades humanas que intensifican la degradación ambiental. Este estudio, por tanto, buscó generar información científica actualizada que contribuya a la toma de decisiones en materia de conservación, planificación territorial y adaptación a los impactos del cambio climático, fortaleciendo la gestión sostenible de este ecosistema estratégico.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cobertura vegetal constituye un elemento esencial en el equilibrio ecológico, pues regula el ciclo hidrológico, contribuye a la estabilidad climática y mantiene la biodiversidad de los ecosistemas terrestres (FAO, 2020). Sin embargo, a nivel mundial, se ha evidenciado una pérdida acelerada de cobertura boscosa debido a la expansión agrícola, la ganadería extensiva, la urbanización y los efectos del cambio climático (IPCC, 2021). Según datos del Global Forest Watch (2022), el planeta perdió aproximadamente 11,1 millones de hectáreas de bosques tropicales solo en 2021, lo que incrementa la vulnerabilidad de los ecosistemas y acelera la degradación ambiental.

En América Latina, la situación es particularmente preocupante, ya que la región alberga el 50% de los bosques tropicales del mundo, pero enfrenta tasas de deforestación superiores al promedio global (FAO & UNEP, 2020). Colombia, por su parte, es el segundo país con mayor biodiversidad del planeta y uno de los más afectados por la pérdida de cobertura vegetal. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022) reportó una pérdida de 123.517 hectáreas de bosque en 2021, con regiones como la Amazonía y la región Caribe presentando altas tasas de deforestación, influenciadas por la ganadería, la minería ilegal y los efectos del cambio climático.

En este contexto, la Serranía del Perijá, ubicada entre Colombia y Venezuela, representa un ecosistema estratégico por su riqueza hídrica, su biodiversidad y su función como corredor ecológico (Pérez et al., 2021). No obstante, en la última década, este territorio ha experimentado cambios significativos en la cobertura vegetal, asociados a la

expansión agrícola, la explotación de recursos naturales y variaciones en el régimen climático regional (IDEAM, 2022). A pesar de la importancia ecológica y socioeconómica de esta zona, son escasos los estudios que analicen, con un enfoque multitemporal y geoespacial, la dinámica de su cobertura vegetal y su relación con el cambio climático.

En particular, la Serranía del Perijá ha sufrido un proceso acelerado de transformación del uso del suelo, donde áreas previamente cubiertas por bosques y vegetación nativa han sido sustituidas por cultivos de pancoger, ganadería extensiva y, en algunos sectores, por actividades mineras a pequeña escala (García & Rangel, 2021). Esta situación ha generado fragmentación de hábitats, pérdida de biodiversidad y disminución de la capacidad del ecosistema para regular el ciclo hídrico y mitigar los efectos del cambio climático (Pabón-Caicedo et al., 2020). Además, estudios recientes señalan que las variaciones en temperatura y precipitación en la región, atribuidas al cambio climático, han intensificado procesos como la erosión y la degradación de suelos, afectando directamente la productividad agrícola y la seguridad hídrica de las comunidades locales (IDEAM, 2022; Pérez et al., 2021).

Por tanto, surge la necesidad de responder a la pregunta: ¿Cuáles han sido los cambios en la cobertura vegetal y si estos han sido consecuencia del cambio climático en la Serranía del Perijá, sector Cesar, durante el período 2010–2023?

2. JUSTIFICACIÓN

La realización de análisis de cobertura vegetal es fundamental para evaluar el estado y la transformación de los ecosistemas frente a presiones antrópicas y fenómenos climáticos extremos. Estos estudios permiten identificar tendencias de deforestación, degradación o recuperación de la vegetación, facilitando la delimitación de áreas prioritarias para la conservación, la restauración ecológica y el uso sostenible del suelo (FAO, 2020; IDEAM, 2022). Además, el análisis multitemporal de la cobertura vegetal es una herramienta clave para entender cómo el cambio climático modifica la estructura y funcionalidad de los paisajes, contribuyendo con información técnica esencial para el diseño de políticas ambientales y estrategias de mitigación y adaptación a nivel regional y nacional (IPCC, 2021).

El presente estudio, cuyo objetivo general fue analizar los cambios en la cobertura vegetal como consecuencia del cambio climático en la Serranía del Perijá, sector Cesar, aporta de manera significativa a la comprensión de la dinámica ambiental de esta región estratégica. De esta manera, al haber integrado herramientas de análisis multitemporal y datos climáticos, la investigación no solo proporcionó información científica rigurosa para la academia, sino que también ofreció insumos técnicos relevantes para la planificación territorial, la gestión ambiental y la formulación de estrategias de conservación. De esta manera, se fortaleció la articulación entre conocimiento científico y toma de decisiones, favoreciendo procesos de adaptación al cambio climático y de desarrollo sostenible en el ámbito regional y nacional.

La realización de este estudio aportó a la academia, pues generó información actualizada mediante el análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal asociados al cambio climático, utilizando herramientas geoespaciales y datos climáticos, lo que enriqueció la literatura científica con evidencia empírica para la comprensión de la dinámica de los ecosistemas de montaña y sus respuestas ante presiones ambientales.

De igual forma, los resultados fueron útiles para las entidades ambientales y de ordenamiento territorial, ya que permitirán identificar áreas críticas de conservación, proponer estrategias de manejo sostenible y orientar políticas públicas relacionadas con la adaptación al cambio climático y la planificación del uso del suelo en la región Caribe. En este sentido, el estudio se constituyó en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones de instituciones como el IDEAM, las Corporaciones Autónomas Regionales y los gobiernos locales, contribuyendo al cumplimiento de compromisos nacionales e internacionales en materia de mitigación y adaptación climática (FAO & UNEP, 2020; IPCC, 2021).



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los cambios en la cobertura vegetal como consecuencia del cambio climático en la Serranía del Perijá, sector Cesar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de los tipos de cobertura vegetal presentes en la serranía del Perijá, sector Cesar.
- Determinar la variación temporal de la cobertura vegetal en la Serranía del Perijá mediante el uso de mapas temáticos para identificar tendencias asociadas al cambio climático desde el año 2010–2023
- Proponer estrategias de conservación y manejo sostenible de la cobertura vegetal, basadas en los hallazgos del análisis y en las proyecciones del impacto del cambio climático en la región.



4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Hansen et al. (2023), desarrolló un estudio relacionado con la elaboración de un mapa global de cambios en la cobertura forestal a partir de imágenes satelitales Landsat en alta resolución. Los autores identificaron tasas de deforestación y regeneración en diferentes regiones del mundo, mostrando cómo los cambios en la cobertura vegetal responden tanto a la presión antrópica como a variaciones climáticas. Este antecedente es fundamental porque evidencia la utilidad de las series temporales de imágenes satelitales para el análisis de la pérdida y ganancia de vegetación a escala regional y global.

IDEAM (2022). Informe de la deforestación en Colombia: El IDEAM ha desarrollado reportes periódicos sobre deforestación y cambios en la cobertura vegetal en el país, empleando técnicas de teledetección y validación en campo. En el informe de 2022, se destacan tendencias críticas en regiones como la Amazonía y la región Caribe, donde se encuentra la Serranía del Perijá. Este antecedente aporta una base metodológica sólida para el presente estudio, pues demuestra cómo los sistemas de monitoreo satelital permiten comprender la dinámica de los ecosistemas frente al cambio climático y la expansión de la frontera agrícola.

Rodríguez, et al., (2020), en su investigación sobre la biodiversidad y los retos para la conservación en la Serranía del Perijá, los autores destacan la importancia de esta cordillera como un corredor biológico estratégico entre la Sierra Nevada de Santa Marta y los Andes. Señalan que los cambios en la cobertura vegetal han estado asociados tanto

a la deforestación por actividades agrícolas y mineras, como a fenómenos de variabilidad climática. Este antecedente resulta clave, ya que se enfoca en la misma área de estudio, mostrando la urgencia de implementar estrategias de manejo sostenible.

Finalmente, Chuvieco (2019), en su obra sobre teledetección ambiental, Chuvieco presenta aplicaciones de imágenes satelitales para la caracterización de coberturas vegetales, la detección de deforestación y la evaluación de riesgos ambientales. El autor enfatiza en cómo las metodologías de clasificación supervisada y no supervisada permiten diferenciar tipos de vegetación y monitorear su variación en el tiempo. Este antecedente es relevante porque ofrece un marco metodológico que puede ser aplicado directamente al análisis en la Serranía del Perijá.

Buytaert et al., (2019), estos autores analizaron los impactos del cambio climático en los servicios ecosistémicos de los ecosistemas de alta montaña en regiones tropicales húmedas. Su investigación concluye que los cambios en temperatura y precipitación están alterando la dinámica de la cobertura vegetal, afectando procesos como la regulación hídrica y la captura de carbono. Este antecedente contribuye a entender cómo la variación climática repercute directamente en la cobertura vegetal de regiones montañosas, como es el caso de la Serranía del Perijá.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Cambio climático y su incidencia en los ecosistemas

El cambio climático constituye una de las mayores amenazas ambientales de la actualidad, con efectos directos sobre la biodiversidad, los ciclos hidrológicos y la

cobertura vegetal (IPCC, 2021). Las variaciones en la temperatura, el régimen de lluvias y los eventos extremos afectan la productividad primaria de los ecosistemas y aceleran los procesos de deforestación y degradación (Pachauri y Mayer, 2015). En regiones montañosas, como la Serranía del Perijá, estos impactos se evidencian en el desplazamiento de las coberturas vegetales hacia mayores altitudes y en la pérdida de servicios ecosistémicos esenciales.

4.2.1.1 Cobertura vegetal: concepto y variación

La cobertura vegetal hace referencia a la distribución espacial de los diferentes tipos de vegetación en la superficie terrestre, incluyendo bosques, pastizales, cultivos y áreas intervenidas (Chuvieco, 2016). Su estudio es fundamental porque permite evaluar la capacidad de los ecosistemas para conservar la biodiversidad, regular el ciclo del agua y mitigar los efectos del cambio climático mediante la captura de carbono (FAO, 2017). En el caso de la Serranía del Perijá, la cobertura vegetal cumple un rol estratégico en la conectividad ecológica entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Cordillera Oriental, conformando un corredor de gran valor ambiental (Rodríguez et al., 2020)

Los cambios en la cobertura vegetal son el resultado de la interacción entre procesos naturales y actividades antrópicas. Entre los factores naturales destacan la variabilidad climática y los incendios forestales, mientras que entre los factores humanos sobresalen la expansión agrícola, la ganadería extensiva, la tala ilegal y la minería (Etter & van Wyngaarden, 2017). Según estudios recientes, la región andina colombiana ha

experimentado una pérdida significativa de bosques nativos, con tasas de deforestación superiores a 70.000 hectáreas anuales (IDEAM, 2022). Esta tendencia amenaza la estabilidad ecológica de ecosistemas de alta montaña como la Serranía del Perijá.

La variación de la cobertura vegetal bajo escenarios de cambio climático responde a la sensibilidad y resiliencia de los ecosistemas frente a factores como sequías prolongadas, aumento de temperatura y cambios en la estacionalidad de las lluvias (Buytaert et al., 2011). En zonas de montaña, se prevé un desplazamiento de los bosques hacia altitudes superiores y una reducción de los páramos, ecosistemas clave para la regulación hídrica (Andrade et al., 2021).

4.2.2 Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el análisis de cobertura vegetal

La teledetección constituye una de las herramientas más relevantes en la actualidad para el análisis de la cobertura vegetal, dado que permite la observación de grandes extensiones de territorio en intervalos de tiempo definidos, con un nivel de detalle cada vez mayor gracias a los avances en sensores satelitales (Lillesand, Kiefer & Chipman, 2015). Esta tecnología facilita el acceso a información multiespectral y temporal que permite detectar cambios en el uso del suelo y en la dinámica de los ecosistemas, aspectos fundamentales para comprender los efectos del cambio climático en la vegetación.

El uso de imágenes satelitales provenientes de misiones como Landsat, Sentinel y MODIS ha sido ampliamente documentado en estudios ambientales, ya que

proporcionan series temporales que permiten monitorear procesos de deforestación, degradación, regeneración natural y expansión agrícola (Hansen et al., 2013). Dichas imágenes, al ser procesadas en entornos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ofrecen información cuantitativa sobre la extensión de los distintos tipos de coberturas y permiten generar mapas temáticos de alta precisión (Chuvieco, 2016).

Entre las metodologías más utilizadas se encuentran la clasificación supervisada y no supervisada, técnicas que permiten identificar y diferenciar coberturas como bosques, pastizales, cultivos o áreas urbanas. La clasificación supervisada requiere entrenamiento previo mediante la selección de muestras conocidas, mientras que la no supervisada se basa en algoritmos estadísticos que agrupan los píxeles en clases según sus similitudes espectrales (Richards, 2013). Estas técnicas han sido fundamentales en Colombia para la elaboración de reportes oficiales de deforestación y cambios en el uso del suelo liderados por el IDEAM, que utiliza datos satelitales en combinación con verificaciones en campo (IDEAM, 2022).

Asimismo, la integración de la teledetección con herramientas de SIG no solo permite la elaboración de mapas, sino también el análisis espacial de patrones, tendencias y proyecciones de cambio. Esto resulta clave para identificar zonas críticas de pérdida de cobertura vegetal y orientar políticas públicas de conservación y manejo sostenible (Rodríguez et al., 2020). De igual manera, los SIG permiten superponer capas de información como altitud, precipitación y temperatura, lo que enriquece el análisis de la relación entre el cambio climático y la dinámica de los ecosistemas (Buytaert et al., 2011).

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Adaptación al cambio climático: La adaptación comprende medidas y estrategias orientadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales frente a los impactos del cambio climático. La gestión sostenible de la cobertura vegetal es una de las principales estrategias de adaptación en zonas de montaña (Smit & Wandel, 2006).

Biodiversidad: La biodiversidad comprende la variedad de especies, genes y ecosistemas de una región. La Serranía del Perijá, al ser parte de la cordillera de los Andes, alberga una gran riqueza biológica que depende directamente de la conservación de su cobertura vegetal (Myers et al., 2000).

Cambio climático: El cambio climático es la alteración a largo plazo de los patrones de temperatura y precipitación, atribuida tanto a procesos naturales como a la acción humana. En ecosistemas de montaña como la Serranía del Perijá, este fenómeno se refleja en la pérdida de cobertura boscosa y en la transformación de los hábitats (IPCC, 2021).

Cobertura vegetal: La cobertura vegetal hace referencia a la superficie del suelo que está ocupada por distintos tipos de vegetación, incluyendo bosques, pastizales, matorrales y cultivos. Su estudio permite comprender la dinámica ecológica de un territorio y evaluar los efectos de factores antrópicos y naturales en el uso del suelo (FAO, 2016).

Conservación de ecosistemas: La conservación busca mantener la integridad ecológica de un territorio mediante acciones de protección, restauración y uso sostenible.

El manejo adecuado de la cobertura vegetal en la Serranía del Perijá es fundamental para conservar los bosques y asegurar la provisión de servicios ecosistémicos (Primack & Corlett, 2010).

Deforestación: La deforestación consiste en la eliminación total o parcial de bosques naturales para fines agrícolas, ganaderos o de urbanización. En la Serranía del Perijá constituye una de las principales causas de pérdida de cobertura vegetal y de degradación de los servicios ecosistémicos (Armenteras et al., 2019).

Degradación ambiental: La degradación ambiental es el deterioro de la calidad del suelo, el agua y la biodiversidad como resultado de la presión humana. En la Serranía del Perijá, la pérdida de cobertura vegetal contribuye a la erosión y disminuye la fertilidad del suelo (UNEP, 2019).

Fragmentación de hábitats: La fragmentación se produce cuando los ecosistemas se dividen en parches pequeños y aislados, lo que reduce la conectividad ecológica. En regiones como la Serranía del Perijá, este proceso afecta la biodiversidad y la capacidad de resiliencia frente al cambio climático (Fahrig, 2003).

Índice de vegetación (NDVI): El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) es un indicador calculado a partir de imágenes satelitales que mide la actividad fotosintética de la vegetación. Es ampliamente utilizado para monitorear la densidad y el estado de la cobertura vegetal (Rouse et al., 1974).

Manejo sostenible del territorio: El manejo sostenible se refiere al uso equilibrado de los recursos naturales que garantice el bienestar de las generaciones actuales sin comprometer las futuras. Implementar prácticas agroforestales y conservar

la cobertura vegetal en la Serranía del Perijá permite reducir los efectos negativos del cambio climático (Altieri & Nicholls, 2017).

Mapas temáticos: Los mapas temáticos representan visualmente fenómenos geográficos específicos, como la cobertura del suelo, los usos de la tierra o los cambios climáticos. Su elaboración facilita el análisis espacial y la identificación de patrones de transformación de la vegetación (Lo & Yeung, 2019).

Resiliencia ecosistémica: La resiliencia es la capacidad de un ecosistema para recuperarse después de perturbaciones, ya sean naturales o antrópicas. Los ecosistemas con mayor cobertura vegetal suelen ser más resilientes frente al cambio climático (Holling, 1973).

Servicios ecosistémicos: Los servicios ecosistémicos son los beneficios que los ecosistemas proveen a la sociedad, como el suministro de agua, la regulación climática y la conservación de la biodiversidad. Su deterioro, a causa de la reducción de la cobertura vegetal, compromete el bienestar de las comunidades locales (MEA, 2005).

Teledetección: La teledetección es el uso de imágenes satelitales y sensores remotos para obtener información sobre la superficie terrestre. Esta herramienta permite identificar y monitorear cambios en la cobertura vegetal en periodos temporales específicos (Chuvienco, 2016).

Uso del suelo: El uso del suelo hace referencia a las actividades humanas que transforman la superficie terrestre, como agricultura, ganadería o urbanización. Estos cambios influyen en la dinámica de la cobertura vegetal y en la capacidad del ecosistema para mitigar los efectos del cambio climático (Turner et al., 2007).

4.4 MARCO CONTEXTUAL

La Serranía del Perijá es una subcordillera perteneciente al sistema montañoso de los Andes, localizada en la frontera entre Colombia y Venezuela. En el territorio colombiano, se extiende principalmente por el departamento del Cesar y, en menor proporción, por La Guajira, constituyendo uno de los ecosistemas estratégicos más relevantes para la región Caribe. Su extensión alcanza aproximadamente 295 km de longitud, con alturas que superan los 3.000 msnm, destacándose elevaciones como el Cerro Pintado y la Serranía de Sabana Rubia (Rangel-Ch., 2015).

Desde el punto de vista ecológico, la Serranía del Perijá alberga una gran diversidad de ecosistemas, que incluyen bosques húmedos tropicales, bosques andinos y páramos, lo que la convierte en un área de alta importancia en términos de biodiversidad y regulación hídrica. De ella nacen ríos estratégicos como el Manaure, Maracas, Sicarare, Sororia y Los Clavos, que abastecen de agua a comunidades rurales y urbanas de la región (IDEAM, 2019).

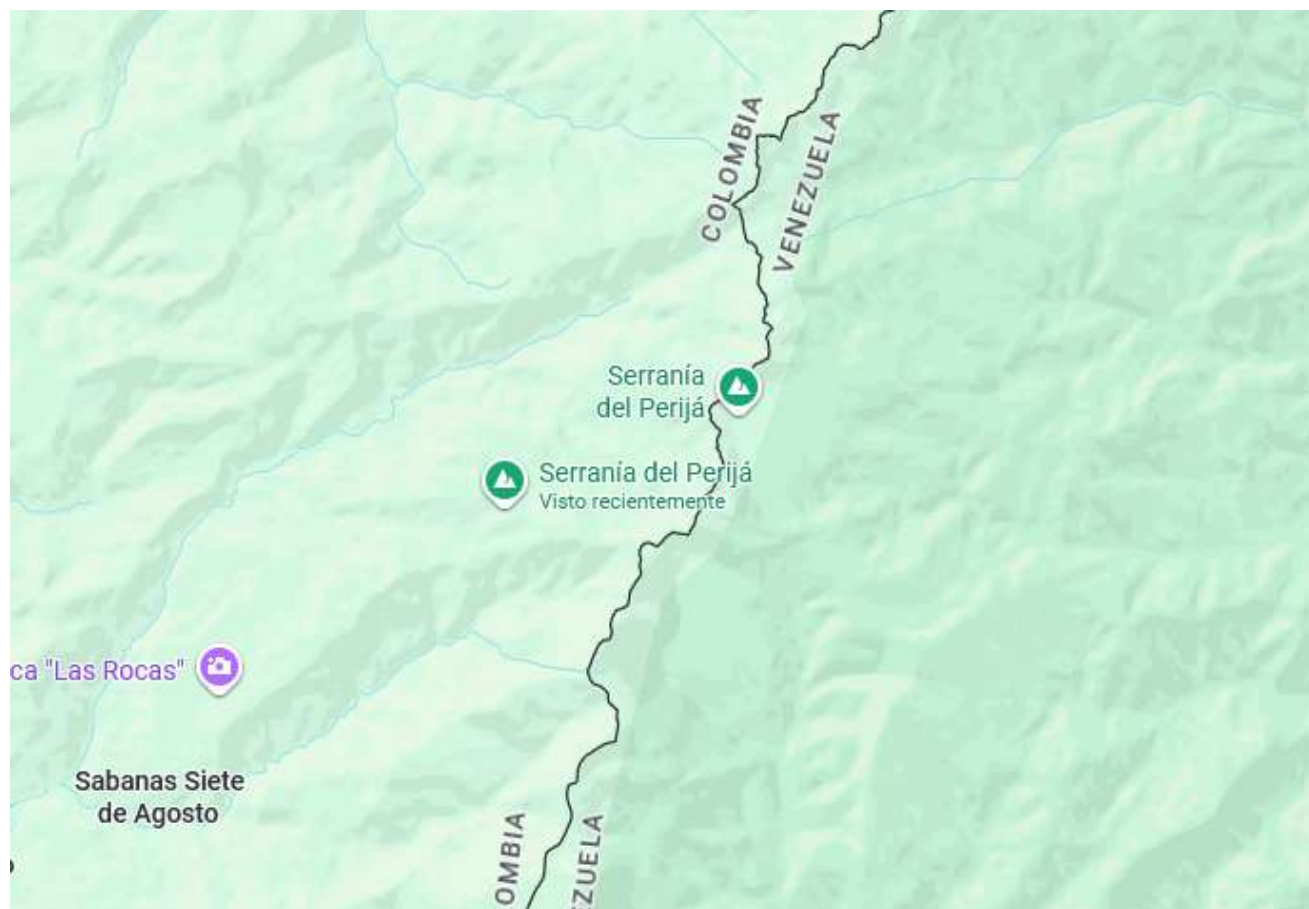
La cobertura vegetal de la serranía presenta una notable riqueza en especies endémicas y amenazadas. Estudios han identificado más de 1.500 especies de plantas y alrededor de 500 especies de aves, lo que convierte a este ecosistema en un refugio de biodiversidad y en un corredor biológico fundamental entre la Sierra Nevada de Santa Marta y los Andes venezolanos (Avellaneda-Torres et al., 2017).

En el plano socioambiental, la Serranía del Perijá constituye además el territorio ancestral de comunidades Yukpa y Wiwa, quienes han desempeñado un papel clave en la preservación de los bosques a través de prácticas culturales sostenibles (ONIC, 2020).

Sin embargo, la región enfrenta amenazas significativas derivadas de la deforestación, expansión agropecuaria, minería ilegal y efectos del cambio climático, lo que ha generado una reducción progresiva en la cobertura vegetal y afectaciones en los servicios ecosistémicos (Cárdenas & Rudas, 2019).

El presente estudio se desarrollará en el sector central de la Serranía del Perijá, correspondiente al departamento del Cesar, que abarca los municipios de Manaure Balcón del Cesar, La Jagua de Ibirico, Becerril y Agustín Codazzi. Este sector fue seleccionado por su relevancia ecológica, la presencia de zonas de transición entre bosque seco y húmedo, y por la evidencia de procesos de transformación del uso del suelo durante la última década. El área aproximada de análisis comprende unas 150.000 hectáreas, delimitadas entre las coordenadas geográficas 10°00' y 10°45' latitud norte, y 72°30' y 73°10' longitud oeste, según cartografía base del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2023). La delimitación de este territorio obedece a criterios de representatividad ecológica, disponibilidad de información satelital multitemporal (2010–2023) y presencia de presiones antrópicas que permiten evaluar los efectos del cambio climático sobre la cobertura vegetal.

Figura 1. *Ubicación de la Serranía del Perijá*



Nota: Fotografía adaptada de Google, 2024

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

4.5 MARCO LEGAL

Las siguientes normas rigen la investigación:

Tabla 1. *Normatividad aplicable*

Jerarquía	Norma / Instrumento	Descripción / Alcance	Aplicabilidad al proyecto
Internacional	Convenio de Diversidad Biológica (CDB, 1992)	Tratado internacional ratificado por Colombia, orientado a la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa en beneficios.	Fundamenta la obligación de conservar la cobertura vegetal en ecosistemas estratégicos como la Serranía del Perijá.
Internacional	Acuerdo de París (2015)	Compromiso internacional para reducir emisiones y aumentar la resiliencia frente al cambio climático.	Justifica la necesidad de monitorear cambios en la cobertura vegetal como

			indicador de mitigación y adaptación climática.
Nacional – Constitucional	Constitución Política de Colombia (1991), Artículos 79 y 80	Reconoce el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y la obligación del Estado de planificar el manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.	Base legal que sustenta toda acción de conservación de la Serranía del Perijá.
Nacional – Ley	Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio de Ambiente y el SINA, estableciendo principios de desarrollo sostenible y protección de la biodiversidad.	Marco jurídico principal para acciones de conservación y gestión ambiental.

Nacional Ley	– Ley 1931 de 2018	Establece directrices para la gestión del cambio climático y la articulación con planes de desarrollo.	Obliga a incluir la variable climática en la gestión territorial de la Serranía.
Nacional Decreto	– Decreto 1076 de 2015 (Único Reglamentario del Sector Ambiente)	Compila las normas reglamentarias en materia ambiental, incluyendo áreas protegidas, licencias y uso del suelo.	Regula procedimientos específicos para intervenir en zonas de cobertura vegetal.
Política pública	Política Nacional de Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (2012)	Orienta acciones de conservación y uso sostenible de ecosistemas estratégicos.	Directamente aplicable a la protección de la vegetación en el Perijá.
Política pública	Política Nacional de Cambio Climático (PNCC, 2017)	Establece lineamientos para la gestión de riesgos y adaptación al cambio climático.	Refuerza el análisis de cobertura vegetal como medida de adaptación.

Regional	Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT)	Instrumentos de planificación local que definen usos del suelo.	Determinan qué áreas de la Serranía deben destinarse a conservación o uso sostenible.
Regional / Local	Planes de Manejo de Áreas Protegidas (Parques Nacionales Naturales y reservas forestales)	Definen zonificación, conservación y uso permitido en áreas protegidas.	Garantizan estrategias de manejo específico en el Perijá.
Regional / Local	Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR	Autoridad ambiental encargada de ejecutar las políticas y normatividad ambiental.	Tiene la competencia directa sobre la gestión de recursos naturales en la Serranía del Perijá.

Nota: Elaborado por el autor, 2025

5. MARCO METODOLOGICO

5.1 LINEA Y SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN

Conforme al Acuerdo N°003 del 08 de julio de 2021 establecido por el Consejo de la Facultad de Ingeniería y Tecnológicas, la línea, sublínea y área temática a la cual se adscribe esta investigación es:

La línea de investigación perteneciente al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria es Sostenibilidad Y Gestión Ambiental

Sublínea del programa corresponde a Gestión Integral del suelo

5.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, ya que combina técnicas cuantitativas y cualitativas para el análisis de los cambios en la cobertura vegetal. Desde el ámbito cuantitativo, se empleó el análisis de imágenes satelitales y el uso de sistemas de información geográfica (SIG) para cuantificar la variación temporal de los tipos de cobertura en el período 2010–2023. En el ámbito cualitativo, se incluyó la revisión documental y la interpretación de información secundaria sobre las dinámicas ambientales y socioeconómicas que inciden en la transformación del territorio.

5.3 ALCANCE DE INVESTIGACIÓN

El alcance de esta investigación fue de tipo descriptivo y correlacional. Es descriptivo, porque se identificaron y caracterizaron los diferentes tipos de cobertura vegetal presentes en la Serranía del Perijá, sector Cesar, mediante la clasificación de imágenes satelitales y fuentes cartográficas. A su vez, es correlacional, dado que se buscó establecer relaciones entre la variación de la cobertura vegetal y los efectos

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

asociados al cambio climático durante el período 2010–2023. Además, se proyectó hacia un alcance propositivo, ya que los resultados sirvieron de base para formular estrategias de conservación y manejo sostenible en la región.

5.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio estuvo conformada por la cobertura vegetal de la Serranía del Perijá en el sector correspondiente al departamento del Cesar, la cual incluye ecosistemas de bosque húmedo tropical, bosque andino y páramo. Asimismo, se consideraron los territorios habitados por comunidades indígenas y campesinas que dependen directamente de los servicios ecosistémicos de la serranía. Esta delimitación garantizó que la investigación se centre en el análisis ambiental y social del territorio, reconociendo tanto su valor ecológico como su importancia para las comunidades locales.

5.5 MUESTRA POBLACIONAL

La muestra poblacional se selecciona a partir de la delimitación geográfica de la Serranía del Perijá en el departamento del Cesar, utilizando como base imágenes satelitales multitemporales correspondientes a los años 2010, 2015, 2019 y 2023, obtenidas de fuentes como Landsat y Sentinel. La muestra se compuso de las áreas de cobertura vegetal clasificadas en categorías como bosque, pastizal, áreas agrícolas y zonas intervenidas, lo cual permitió medir las tendencias de cambio en función de los procesos ambientales y climáticos.

5.6 DESARROLLO METODOLOGICO

Realizar un diagnóstico de los tipos de cobertura vegetal presentes en la Serranía del Perijá, sector Cesar.

Actividad 1.1: Revisión bibliográfica y documental

Se recopiló información proveniente de artículos científicos, informes técnicos, bases de datos ambientales (IDEAM, IGAC, CorpoCesar) y documentos institucionales relacionados con la cobertura vegetal y el cambio climático en la región.

Esta revisión permitió identificar clasificaciones previas, metodologías utilizadas en estudios similares y datos históricos relevantes. Con ello, se construyó un marco conceptual y teórico sólido para comprender la dinámica de la cobertura vegetal en la zona de estudio.

Actividad 1.2: Recolección de datos meteorológicos e información de cambio climático

Se recopilaron registros históricos y actuales de variables meteorológicas clave, como temperatura, precipitación, humedad relativa y eventos extremos de la Serranía del Perijá, la cual se obtuvo de fuentes oficiales como el IDEAM y de bases de datos globales (WorldClim, NOAA) para tener una visión integral del clima en la región. Además, se analizaron las tendencias temporales y proyecciones climáticas con el fin de comprender la relación entre las condiciones meteorológicas y la dinámica de la cobertura vegetal. Esta actividad fue fundamental para establecer vínculos entre el cambio climático y los posibles procesos de degradación o transformación del territorio.

Actividad 1.3: Recolección de información cartográfica y geoespacial

Se emplearon plataformas como Landsat, Sentinel-2 o Google Earth Engine y la metodología el uso del sistema CORINE Land Cover como herramienta base para el análisis de los cambios en la cobertura vegetal, ya que permitió una clasificación estandarizada y comparaciones temporales más precisas. La información cartográfica fue organizada y procesada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) para facilitar la clasificación y análisis de las coberturas.

Actividad 1.4: Clasificación preliminar de coberturas vegetales

Utilizando la información recolectada, se realizó una clasificación preliminar de la cobertura vegetal aplicando metodologías como clasificación supervisada y validación con referencias del campo. Esta actividad permitió establecer las categorías de cobertura (bosque denso, bosque intervenido, cultivos, pastos, zonas urbanizadas, etc.) siguiendo estándares como los propuestos por el IDEAM (2018) para estudios de cobertura y uso del suelo en Colombia.

Objetivo 2: Analizar los cambios en la cobertura vegetal (2010-2023)

Actividad 2.1: Recolección de imágenes satelitales (2010-2023)

Se obtuvieron imágenes satelitales multitemporales de fuentes como Landsat (USGS) o Sentinel (Copernicus) y metodología el uso del sistema CORINE Land Cover, correspondientes a los años 2010, 2020 y 2023. Estas imágenes fueron seleccionadas bajo criterios de baja nubosidad, alta resolución y cobertura completa del área de estudio. La actividad permitió contar con una base de datos georreferenciada para el análisis espacial.

Actividad 2.2: Preprocesamiento de imágenes

Las imágenes fueron sometidas a procesos de corrección radiométrica, atmosférica y geométrica para asegurar la calidad y precisión de los datos, siendo esencial para reducir errores y facilitar la comparación temporal de la cobertura vegetal en distintos periodos.

Actividad 2.3: Clasificación de la cobertura vegetal

Se aplicaron técnicas de clasificación supervisada o no supervisada utilizando software como QGIS o ArcGIS, junto con índices de vegetación (NDVI), para diferenciar las categorías de uso y cobertura del suelo: bosques, áreas agrícolas, pastizales, cuerpos de agua y áreas degradadas.

Actividad 2.4: Análisis de cambios temporales

Se realizó una comparación multitemporal entre los mapas de cobertura de 2010, 2020 y 2023 para identificar pérdidas, ganancias o transformaciones en la vegetación. Se calcularon tasas de cambio y se elaborarán estadísticas que reflejen la magnitud y dirección de la transformación del territorio en la última década.

Actividad 2.5: Elaboración de mapas temáticos

Se generaron mapas comparativos que muestren los cambios en la cobertura vegetal en los distintos años de estudio, los cuales permitieron una interpretación visual clara y servirán como insumos para la discusión de resultados y la formulación de estrategias de manejo sostenible.

Objetivo 3: Proponer estrategias de conservación y manejo sostenible

Actividad 3.1: Identificación de buenas prácticas de manejo sostenible

Se investigaron experiencias exitosas de restauración ecológica, reforestación y conservación desarrolladas en otras regiones con condiciones ambientales similares, lo que permitió seleccionar estrategias aplicables en la Serranía del Perijá y adaptarlas al contexto local.

Actividad 3.2: Propuesta de estrategias de conservación

Se hicieron propuestas de estrategias que involucren comunidades locales, autoridades ambientales y agricultores para socializar los resultados y proponer conjuntamente estrategias de manejo sostenible.

Actividad 3.3: Formulación de un plan estratégico de manejo

Con base en la información recopilada, se elaboró un plan estratégico con metas, acciones concretas, responsables y cronograma para la conservación y restauración de la cobertura vegetal, considerando las proyecciones de cambio climático en la región.



6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Realización de un diagnóstico de los tipos de cobertura vegetal presentes en la Serranía del Perijá, sector Cesar.

6.1.1: Revisión bibliográfica y documental

Para el desarrollo del diagnóstico de los tipos de cobertura vegetal presentes en la Serranía del Perijá, sector Cesar, se llevó a cabo una revisión bibliográfica y documental exhaustiva, orientada a recopilar y analizar información secundaria relevante sobre la dinámica de la cobertura vegetal y su relación con el cambio climático en la región. La revisión incluyó artículos científicos publicados en revistas especializadas, informes técnicos y estudios institucionales, así como bases de datos ambientales y cartográficas de entidades oficiales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CorpoCesar). Adicionalmente, se consultaron documentos de planificación ambiental y estudios previos desarrollados en la Serranía del Perijá y áreas adyacentes, con el fin de contar con un panorama amplio y actualizado.

Asimismo, se analizaron metodologías empleadas en investigaciones similares para el análisis multitemporal de coberturas vegetales mediante sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG), lo que aportó criterios técnicos para la posterior elaboración de mapas temáticos.

Finalmente, a partir de la información recopilada, se construyó un marco conceptual y teórico sólido que permitió comprender la dinámica espacial y temporal de

la cobertura vegetal en la Serranía del Perijá, así como su sensibilidad frente a las variaciones climáticas y a las presiones antrópicas.

Tabla 2. *Matriz de revisión documental*

Autor / Entidad	Año	Tipo de documento	Área de estudio	Metodología principal	Aportes relevantes para el diagnóstico
IDEAM	2010	Informe técnico	Colombia	Clasificación CORINE Land Cover adaptada	Define categorías de cobertura vegetal y criterios técnicos para estudios multitemporales
IDEAM	2018	Atlas ambiental	Región Caribe	Análisis SIG y sensores remotos	Identifica ecosistemas estratégicos y tendencias de transformación de la cobertura vegetal
IGAC	2014	Estudio cartográfico	Colombia	Cartografía temática y fotointerpretación	Proporciona información base sobre uso y cobertura del suelo
Corpo Cesar	2016	Informe ambiental	Departamento del Cesar	Diagnóstico ambiental regional	Describe el estado de los ecosistemas y las principales presiones antrópicas

Etter et al.	2008	Artículo científico	Andes tropicales	Análisis de cambio de cobertura	de Relaciona cambios de cobertura con procesos de transformación territorial
Armenteras et al.	2014	Artículo científico	Colombia	Análisis multitemporal con SIG	Evidencia la relación entre cambio climático, deforestación y pérdida de cobertura vegetal
Pabón-Caicedo et al.	2012	Artículo científico	Región Caribe	Análisis climático regional	Aporta contexto climático y variabilidad climática relevante para el estudio

Fuente: Elaboración propia

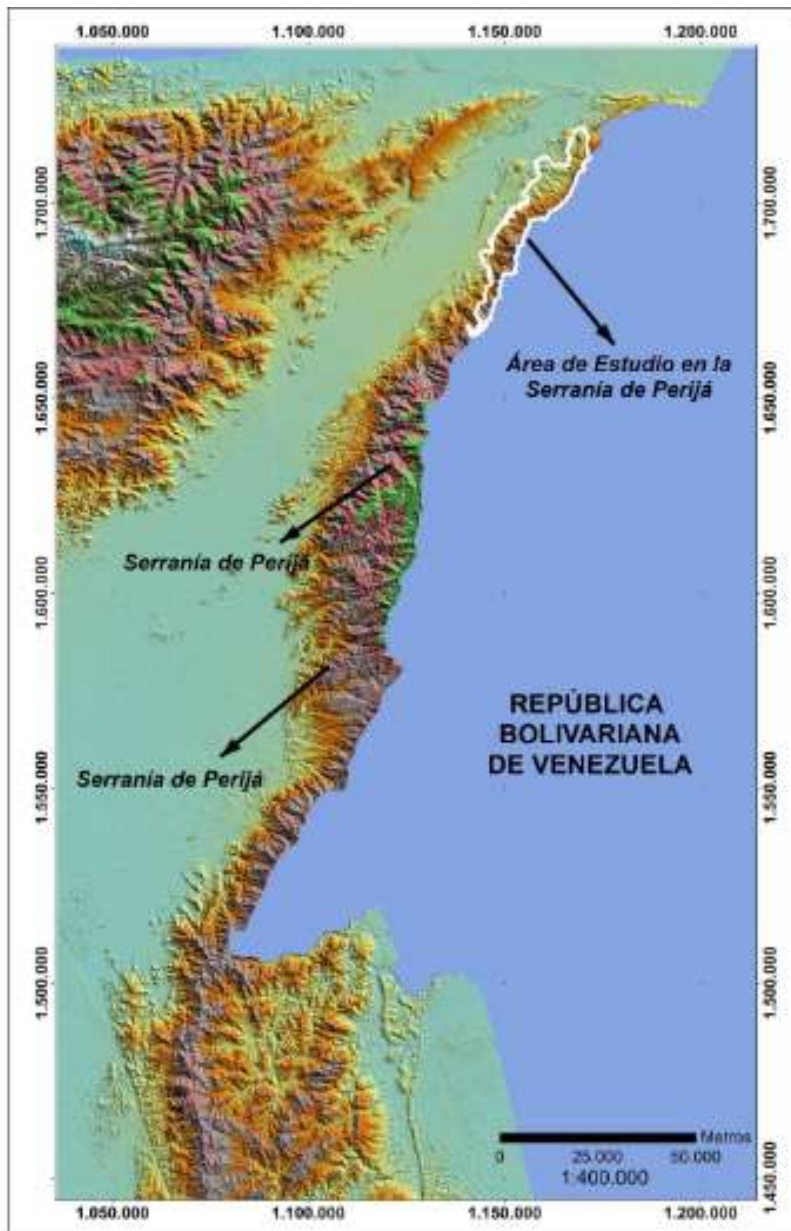
La revisión bibliográfica y documental realizada permitió establecer una base conceptual y metodológica para el diagnóstico de la cobertura vegetal en la Serranía del Perijá. A partir de estos insumos, se procede a la descripción de la zona de estudio, la cual incluye sus características geográficas, climáticas, ecológicas y socioambientales,

6.1.1 Descripción general de la Serranía del Perijá

6.1.1.1 Localización y delimitación del área de estudio

La Serranía del Perijá constituye una unidad fisiográfica de gran relevancia ambiental en el nororiente de Colombia. Se extiende desde los cerros de Bobalí, al sur del departamento del Cesar, hasta los Montes de Oca, al norte, en jurisdicción de los municipios de Albania y Maicao, en el departamento de La Guajira.

Figura 2. *Ubicación de la serranía del Perijá*



Nota: Adaptado de Corpoguajira para la selección del área de estudio correspondiente a la zona del departamento del Cesar.

Esta serranía abarca una extensión aproximada de 847.213 hectáreas y se encuentra distribuida en el territorio de 22 municipios pertenecientes a los departamentos del Cesar y La Guajira, incluyendo en su interior una porción significativa de la Zona de

Reserva Forestal de Los Motilones, con una extensión cercana a las 228.294 hectáreas (Conservación Internacional Colombia, 2007; Corpoguajira, 2023).

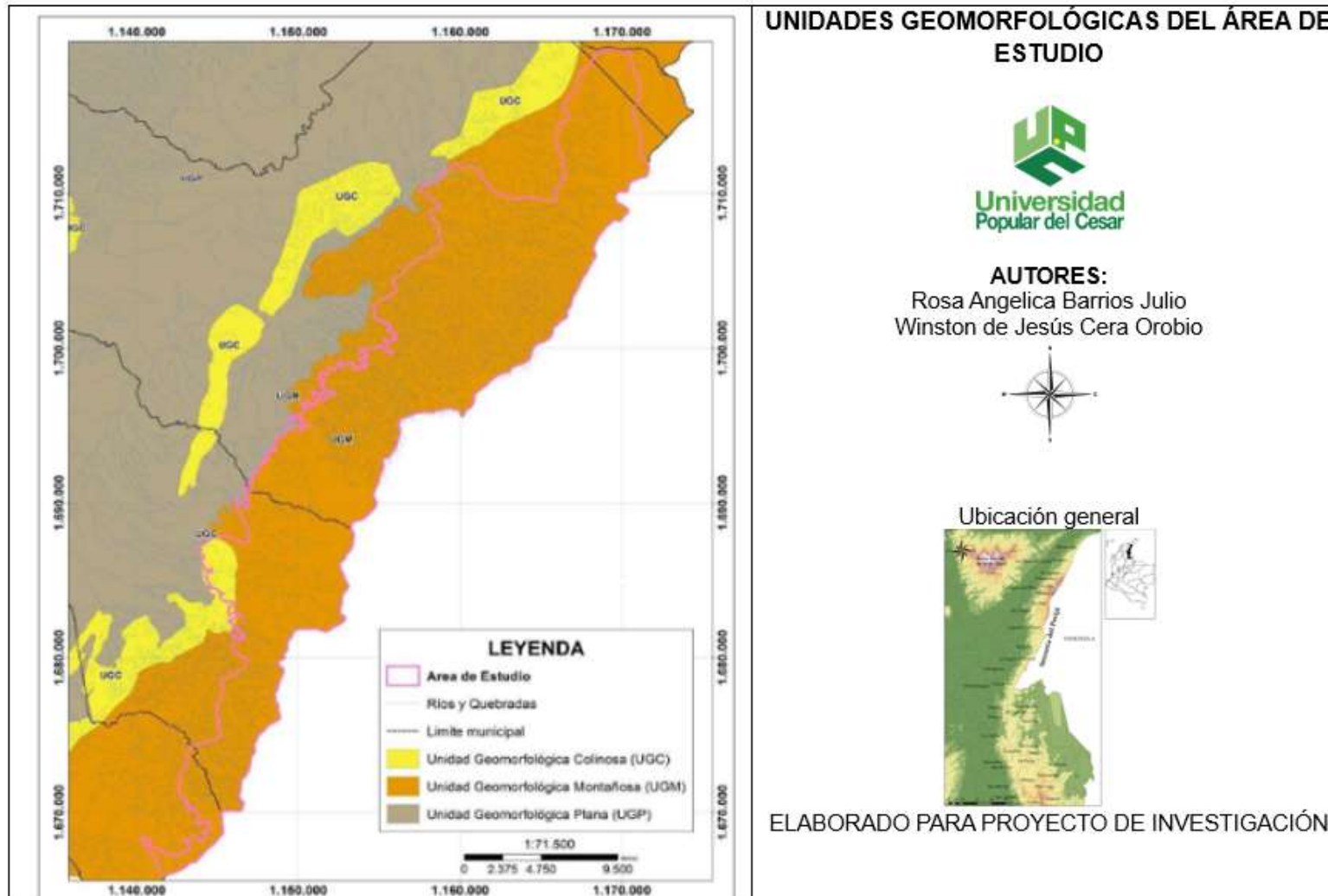
La delimitación ambiental de la Serranía del Perijá se realizó priorizando la conservación de sus valores naturales, mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y la aplicación de modelos matemáticos que permitieron la calificación y ponderación de variables bióticas, físicas y socioeconómicas. Como unidad de análisis se emplearon las microcuencas hidrográficas, lo que facilitó la integración de criterios ambientales y territoriales (Corpoguajira, 2023).

Es importante señalar que variables biofísicas como la precipitación, la temperatura, el régimen de vientos y las condiciones climáticas generales del área de estudio serán abordadas de manera específica en la Actividad 1.2 del presente trabajo. No obstante, a continuación, se describen los principales aspectos geomorfológicos y geológicos del área, los cuales constituyen un componente fundamental para la comprensión de la distribución espacial de la cobertura vegetal.

6.1.1. 2 geomorfología

El área de estudio segunu datos de informes Corpopesar y Corpoguajira (20239, es posible identificar tres unidades geomorfológicas principales que se disponen en sentido general noreste–suroeste (NE–SW), las cuales reflejan la interacción entre procesos tectónicos, sedimentarios y erosivos que han modelado el relieve de la región (Corpoguajira 2023).

Figura 3. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio



Fuente: Elaborado por los autores con información tomada del IGAC, Corpoguajira, Corpocesar

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

Figura 4. Expresión topográfica de la unidad geomorfológica colinosa (UGC) y la unidad geomorfológica plana (UGP)



Fuente: Tomado de Biolcombia, 2023.

6.1.1.2 Geología

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se enmarca dentro de uno de los tres grandes bloques estructurales que conforman el departamento de La Guajira: la zona comprendida entre las fallas de Oca y Santa Marta–Bucaramanga, que incluye la Serranía del Perijá y los valles de los ríos Cesar y Ranchería (INGEOMINAS, 2002).

A escala regional, el área hace parte del denominado terreno Perijá, caracterizado por una compleja historia geológica que incluye la presencia de filitas, esquistos predevónicos, metasomatitas, intrusivos hipoabisales calcoalcalinos y una extensa secuencia sedimentaria clástica y bioclástica de edad devónica, carboniana y pérmica. Asimismo, se registran vulcanoclastitas juratriásicas, secuencias marinas cretácicas y sedimentos continentales terciarios (INGEOMINAS, 1983).

La evolución geológica de la región se remonta al Precámbrico, periodo durante el cual el escudo guayanés actuó como un cratón ígneo-metamórfico que aportó sedimentos a la cuenca, principalmente arcillas. Durante este periodo se presentaron

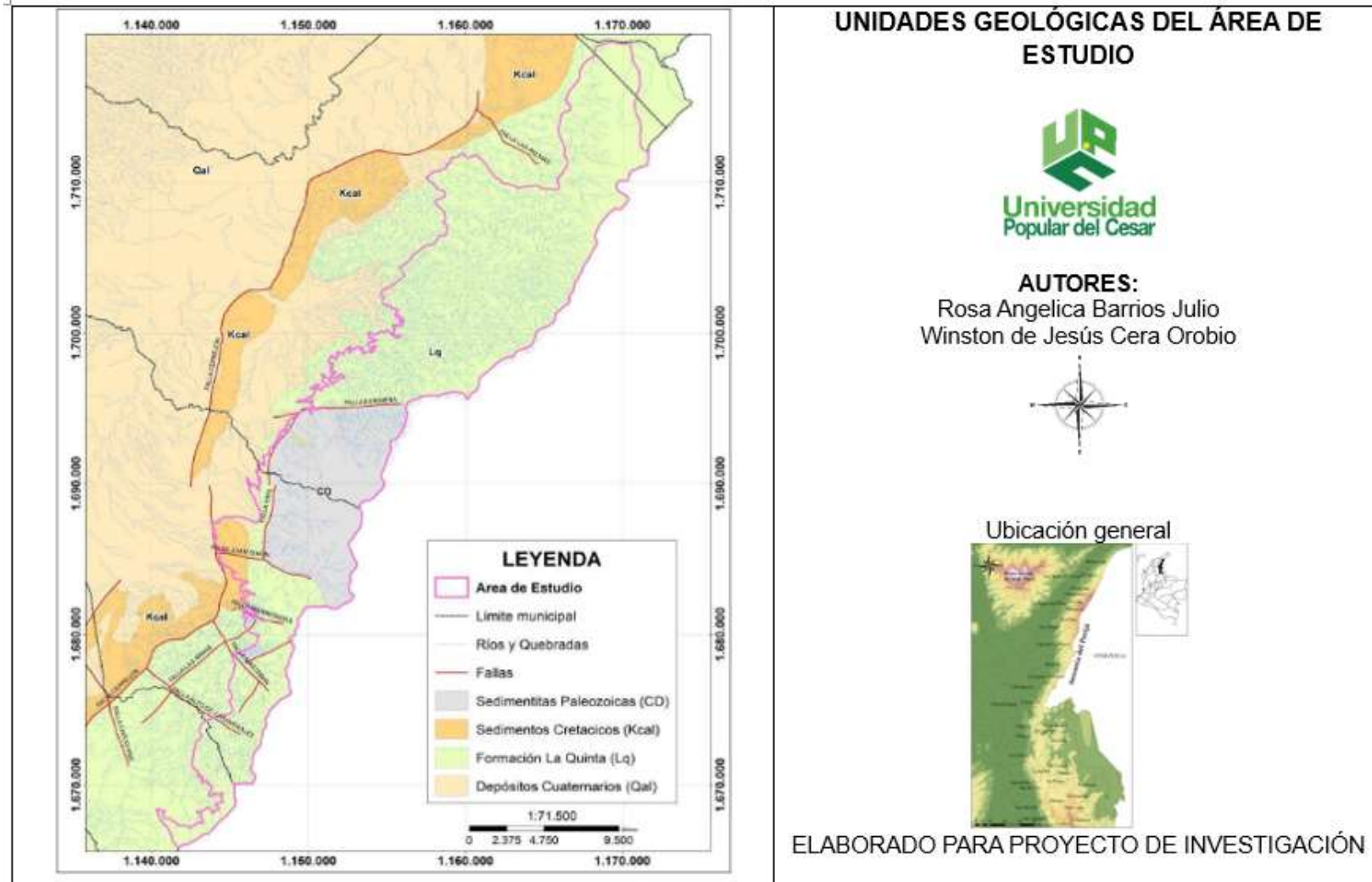
eventos de fallamiento, levantamiento e intrusión asociados a la orogenia caledoniana, responsables del metamorfismo de rocas cambro-ordovicianas y de la formación de esquistos cloríticos, filitas, cuarcitas y otros metasedimentos. En el área de estudio, estas unidades afloran de manera limitada, destacándose un pequeño cuerpo tabular en el curso medio del arroyo Masteban (INGEOMINAS, 2002).

Posteriormente, entre el Cámbrico y el Pérmico, la región fue afectada por sucesivos procesos de transgresión y regresión marina, que dieron lugar a la depositación de un espeso paquete sedimentario. Durante el Pérmico se originó la Formación La Quinta, que ocupa la mayor extensión del área de estudio y se localiza entre el arroyo Surimena y la quebrada Capuchino (INGEOMINAS, 2002).

Durante el Cretácico se produjo una nueva transgresión marina que cubrió la cuenca, dando origen a depósitos calcáreos que actualmente conforman un cinturón estrecho y continuo entre las áreas planas de los valles de los ríos Cesar y Ranchería y la zona montañosa de la Serranía. Hacia finales del Cretácico y durante el Terciario, retornaron las condiciones continentales, favoreciendo la formación de depósitos de carbón en áreas adyacentes (INGEOMINAS, 2002).

Finalmente, durante el Eoceno, Oligoceno y Mioceno, tuvo lugar una nueva fase orogénica asociada al levantamiento final de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá, lo que sometió al área a intensos procesos de erosión y fracturamiento tectónico, destacándose estructuras como la falla de Oca, la falla de Perijá, la falla El Tigre y la falla Santa Marta–Bucaramanga (INGEOMINAS, 2002; Corpoguajira, 2023).

Figura 5. Unidades geológicas de la zona de estudio



Fuente: Elaborado por los autores con información tomada del IGAC, Corpoguajira, Corpocesar

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

6.1.2: Recolección de datos meteorológicos e información de cambio climático

Con el fin de complementar el diagnóstico de la cobertura vegetal y fortalecer la comprensión de los factores climáticos que influyen en su dinámica, se realizó la recolección y análisis de información meteorológica y climática correspondiente a la Serranía del Perijá, sector Cesar–La Guajira.

Para ello, se recopilaron registros históricos y actuales de variables meteorológicas clave, tales como precipitación, temperatura, humedad relativa, brillo solar, régimen de vientos y ocurrencia de eventos extremos. La información fue obtenida a partir de fuentes oficiales nacionales, principalmente del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), así como de bases de datos climáticas globales como WorldClim y la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), con el propósito de contar con una visión integral del comportamiento climático de la región.

Los datos recopilados permitieron analizar las tendencias temporales del clima y reconocer patrones de variabilidad interanual, asociados en algunos casos a fenómenos climáticos de gran escala como El Niño–Oscilación del Sur (ENOS). Este análisis resulta fundamental para establecer relaciones entre las condiciones meteorológicas predominantes y los procesos de transformación, degradación o conservación de la cobertura vegetal, constituyéndose en un insumo clave para la interpretación de los cambios observados en el territorio a lo largo del periodo de estudio.

6.2.1 Caracterización Climática Del Área De Estudio

- **Clima**

La Serranía del Perijá conforma un complejo orográfico que ejerce una influencia significativa sobre las condiciones climáticas regionales. La interacción entre el relieve montañoso y las masas de aire determina una marcada variabilidad espacial del clima, generando contrastes entre la vertiente venezolana y el sector colombiano. Mientras la vertiente oriental recibe la influencia directa de la evaporación proveniente del lago de Maracaibo, lo que favorece mayores concentraciones de precipitación, el sector colombiano presenta condiciones relativamente más secas (Rangel & Carvajal, 2009; Corpoguajira, 2023).

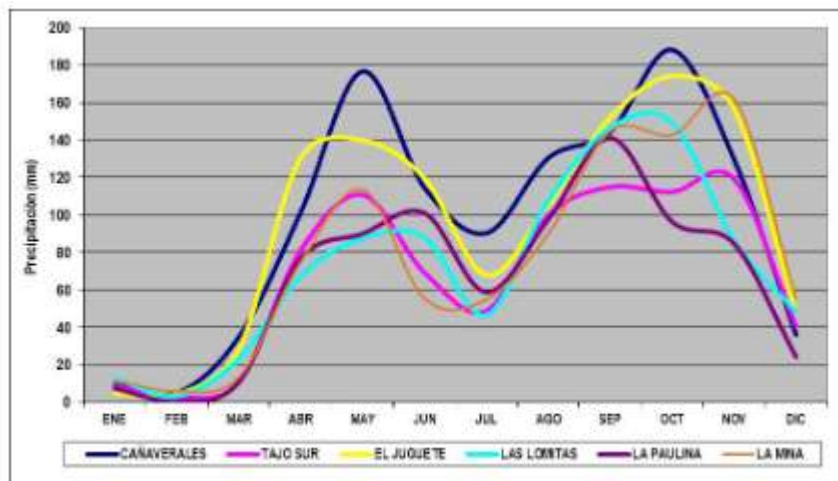
A escala local, el régimen climático está condicionado por la ubicación del área dentro de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y por la acción de los vientos alisios del noreste. Estos vientos, al chocar con la Serranía del Perijá, actúan como un factor orográfico que favorece la formación de lluvias, además de generar microclimas particulares asociados a la topografía y a la altitud.

- **Precipitación**

El régimen de precipitación del área de estudio está determinado principalmente por la dinámica de la ZCIT y por la influencia de los vientos alisios del noreste. El análisis se realizó a partir de registros históricos, series medias mensuales y valores totales multianuales provenientes de estaciones pluviométricas (PM), pluviográficas (PG) y climatológicas (CP y CO), localizadas tanto dentro del área de estudio como en sectores cercanos con comportamientos climáticos similares (Corpoguajira, 2023).

La precipitación presenta un comportamiento bimodal, con valores mensuales generalmente inferiores a 200 mm. El primer periodo lluvioso se extiende entre los meses de abril y junio, seguido por una disminución relativa de las lluvias durante julio y agosto, considerado un periodo seco intermedio con presencia de lluvias ocasionales. El segundo periodo lluvioso ocurre entre agosto y noviembre, caracterizándose por ser más regular e intenso. Finalmente, entre diciembre y marzo se presenta el periodo seco principal, con promedios mensuales inferiores a 100 mm.

Figura 6. *Distribución de las precipitaciones mensuales en estaciones de monitoreo de la zona*



Fuente: Tomado de Fundación Biocolombia, 2023

Por otro lado, Los menores valores de precipitación durante la época lluviosa se registran en estaciones como Las Lomitas y Tajo Sur (municipio de Barrancas), La Mina (Hatonuevo) y La Paulina (Fonseca). En contraste, las estaciones de Cañaverales (San Juan del Cesar) y El Juguete (Fonseca) presentan los mayores registros de precipitación, evidenciando la variabilidad espacial del régimen de lluvias en el área de estudio.

Tabla 3. Valores medios mensuales de precipitación (mm)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total anual
Cañaverales	9,1	4,8	34,7	101,3	176,7	114,6	90,3	130,5	144,4	188,2	129,6	36,1	1.160,2
Tajo Sur	8,4	3,0	10,8	81,1	110,8	69,3	48,8	99,8	115,0	112,4	119,2	40,4	818,9
El Jugete	4,9	4,3	28,4	130,6	139,9	119,6	68,0	105,4	152,2	174,3	156,7	47,7	1.131,9
Las Lomitas	12,6	3,3	23,0	67,5	87,6	88,1	46,6	107,6	146,6	149,3	86,2	48,1	865,5
La Paulina	7,4	0,3	10,7	76,7	90,0	101,1	58,8	97,8	141,1	96,4	84,6	24,3	789,2
La Mina	11,4	5,9	13,3	74,8	113,7	55,4	54,9	90,0	144,9	142,7	161,7	55,5	924,1

Fuente: Tomado de información Corpocesar, Corpoguajira, IDEAM, 2023.

El análisis de los valores anuales de precipitación para el periodo 1990–2009 evidencia una alta variabilidad interanual, sin un patrón claramente definido que permita establecer tendencias consistentes. Mientras estaciones como Cañaverales y El Jugete presentan promedios cercanos a los 1.000 mm/año, otras como Las Lomitas y Tajo Sur registran valores entre 750 y 800 mm/año, además, según el IDEAM (2023), esta variabilidad se asocia, en gran medida, a la influencia de fenómenos climáticos de gran

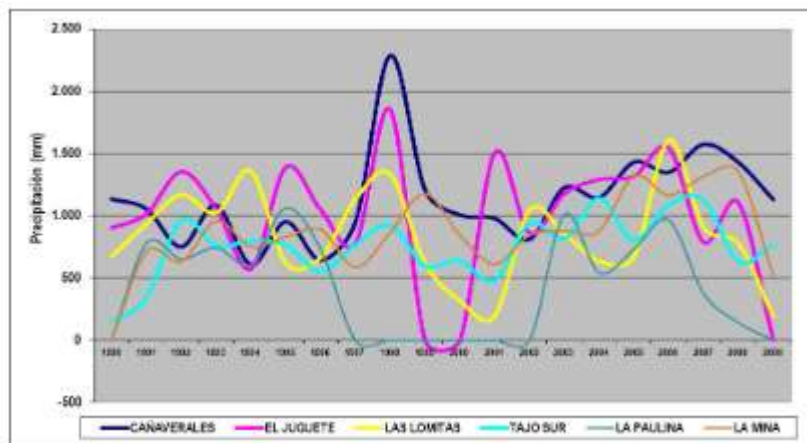
escala, como El Niño, lo que dificulta la realización de proyecciones precisas sobre el comportamiento futuro de la precipitación.

Tabla 4. Valores totales anuales de precipitación (1990–2009, mm)

Año	Cañaverales	El Juguete	Las Lomitas	Tajo Sur	La Paulina	La Mina
Media	1.137,8	1.029,9	837,2	752,6	642,1	976,6

Fuente: Tomado de información Corpocesar, Corpoguajira, IDEAM, 2023.

Figura 7. Distribución temporal de la precipitación anual



Fuente: Tomado de Fundación Biocolombia, 2023

Según el IDEAM (2023), las lluvias en la región suelen ser intensas y de corta duración, seguidas por periodos sin precipitación, lo que limita su aprovechamiento, además, esta situación, sumada a la textura gruesa de los suelos y a la alta evapotranspiración causada por la fuerte insolación, favorece la pérdida de agua por escorrentía e infiltración rápida, especialmente en sectores con escasa cobertura vegetal.

- **Temperatura**

El análisis de la temperatura se realizó con base en los registros de las estaciones La Paulina (municipio de Fonseca) y La Mina (municipio de Hatonuevo), correspondientes a una serie de 20 años (1991–2009). Los datos muestran que la temperatura media anual oscila entre 28,1 °C y 28,6 °C, con valores máximos que alcanzan hasta los 31 °C en los sectores de menor altitud (Corpocesar, 2023).

Las variaciones intermensuales de la temperatura están asociadas al desplazamiento de la ZCIT y a la influencia de las corrientes atmosféricas provenientes del lago de Maracaibo. Se observa que las temperaturas más altas coinciden generalmente con los periodos lluviosos, debido a los altos niveles de evapotranspiración presentes en la región (Corpocesar, 2023).

Tabla 5. *Temperatura y precipitación media según estación*

Estación	Temperatura media (°C)	Precipitación media (mm)	Altitud (msnm)
La Paulina	28,1	789,2	170
La Mina	28,6	924,1	80

Fuente: Tomado de información Corpocesar, Corpoguajira, 2023.

- **Brillo solar**

El brillo solar en el área de estudio está estrechamente relacionado con el régimen de precipitación, además, en términos generales, se registran entre 6 y 8 horas efectivas de sol al día, con valores más altos durante los periodos secos y menores durante las épocas lluviosas. La posición geográfica del área favorece una alta radiación solar anual, lo que incide directamente en los procesos de evapotranspiración y en la dinámica de la cobertura vegetal (Corpocesar, 2023).

- **Humedad relativa**

La humedad relativa promedio del área de estudio es del 72 %, con variaciones mensuales que oscilan entre el 57 % y el 86 %. Durante los periodos de mayor precipitación, la humedad relativa alcanza valores cercanos al 75 %, mientras que en los periodos secos disminuye aproximadamente al 69 %. Como es esperable, los mayores valores coinciden con las épocas lluviosas y los menores con los periodos de sequía (Corpocesar, 2023).

- **Vientos**

El régimen de vientos está determinado por el desplazamiento de la ZCIT y por la acción predominante de los vientos alisios del noreste, que ingresan por el valle del río Ranchería y continúan hacia el valle del río Cesar. La velocidad promedio del viento oscila entre 1,38 y 5,03 m/s, siendo más frecuente durante los periodos secos (Corpocesar, 2023).

La topografía del área influye en la dirección y comportamiento del viento, presentándose un predominio del cuadrante noreste, asociado al encajonamiento del relieve en dirección noreste–suroeste (Corpocesar, 2023).

- **Clasificación climática**

De acuerdo con la clasificación climática de Caldas–Lang, el área de estudio presenta dos pisos térmicos: cálido y templado. En el piso térmico cálido predomina un clima seco, mientras que en el piso templado se desarrolla un clima húmedo. Complementariamente, la clasificación de zonas de vida de Holdridge permite identificar

unidades como el Bosque Seco Tropical, el Bosque Seco Premontano y el Bosque Húmedo Premontano, las cuales reflejan la relación entre temperatura, precipitación y altitud (Corpocesar, 2023).

Tabla 6. *Unidades climáticas y de paisaje del área de estudio*

Provincia	Piso térmico	Clima	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Zona de vida
Serranía del Perijá	Templado	Húmedo	1.000–2.000	18–24	Bosque
					Húmedo Premontano
Serranía del Perijá	Cálido	Seco	500–1.000	> 24	Bosque Seco
					Tropical / Premontano

Fuente: Tomado de información Corpocesar, Corpoguajira, 2023.

6.1.3: Recolección de información cartográfica y geoespacial

Con el propósito de realizar un diagnóstico preliminar de los tipos de cobertura vegetal presentes en la Serranía del Perijá, sector Cesar, se llevó a cabo la recolección sistemática de información cartográfica y geoespacial proveniente de diversas fuentes oficiales y plataformas de libre acceso. Esta etapa tuvo como objetivo disponer de insumos espaciales confiables que permitieran identificar, clasificar y analizar las coberturas vegetales presentes en el área de estudio, así como facilitar posteriores comparaciones temporales asociadas al análisis del cambio climático.

La búsqueda de información se realizó a partir de un enfoque geoespacial, priorizando datos con cobertura regional y multitemporal, adecuada resolución espacial y disponibilidad de metadatos completos. Entre los principales insumos recopilados se encuentran mapas temáticos de cobertura y uso del suelo, ortofotografías e imágenes satelitales provenientes de sensores ópticos, los cuales permiten una adecuada discriminación de las coberturas vegetales.

Se emplearon imágenes satelitales de las misiones Landsat y Sentinel-2, debido a su acceso libre, continuidad temporal y pertinencia para estudios ambientales y de cobertura vegetal. Estas imágenes fueron consultadas y descargadas a través de plataformas como Google Earth Engine, que facilita el manejo de grandes volúmenes de datos geoespaciales y el acceso a series temporales históricas. Adicionalmente, se utilizaron capas cartográficas oficiales generadas por entidades nacionales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), las cuales sirvieron como referencia para la delimitación del área de estudio y la validación de la información satelital.

Toda la información cartográfica recolectada fue organizada, estandarizada y preprocesada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permitió la homogenización de sistemas de referencia espacial, la delimitación del área de interés y la preparación de los insumos para las etapas posteriores de clasificación y análisis de la cobertura vegetal.

Tabla 7. *Fuentes de información cartográfica y geoespacial (metadatos)*

Fuente / Plataforma	Tipo de información	Resolución espacial	Periodo de disponibilidad	Escala / cobertura	Uso en el estudio
Landsat (USGS)	Imágenes satelitales multiespectrales	30 m	2010–2023	Regional	Análisis multitemporal de cobertura vegetal
Sentinel-2 (ESA)	Imágenes satelitales multiespectrales	10–20 m	2015–2023	Regional	Detalle y validación de coberturas vegetales
Google Earth Engine	Plataforma de procesamiento geoespacial	Variable según sensor	Series históricas	Regional / global	Descarga, procesamiento y análisis temporal
IDEAM	Mapas de cobertura y uso del suelo	Escala 1:100.000	Diferentes años	Nacional	Referencia y estandarización de clases de cobertura

IGAC	Cartografía base (límites, hidrografía, relieve)	Escala 1:25.000 – 1:100.000	Actualizada periódicamente	Nacional	Delimitación del área de estudio y soporte cartográfico
	Ortofotos e imágenes de alta resolución	≤ 1 m (variable)	Diferentes años	Local	Verificación visual y apoyo a la clasificación

Fuente: Elaboración propia

La matriz de fuentes cartográficas y geoespaciales resume los principales insumos utilizados para el análisis preliminar de la cobertura vegetal. Cada fuente fue seleccionada considerando su resolución espacial, disponibilidad temporal y confiabilidad institucional, aspectos fundamentales para garantizar la consistencia del análisis. Las imágenes satelitales Landsat y Sentinel-2 constituyen la base principal del estudio, al permitir la identificación y comparación de coberturas vegetales en distintos momentos del tiempo. Por su parte, la cartografía oficial del IDEAM y del IGAC proporciona un marco de referencia estandarizado que facilita la interpretación de los resultados y su articulación con estudios previos realizados en Colombia.

Una vez consolidada y organizada la información cartográfica y geoespacial, se procedió a la etapa de clasificación preliminar de la cobertura vegetal. Para ello, fue necesario establecer previamente un esquema de clases que permitiera describir las

coberturas presentes en el área de estudio, tomando como referencia metodologías estandarizadas y adaptadas al contexto colombiano. En este sentido, la información recolectada sirvió como insumo fundamental para la identificación inicial de las principales categorías de cobertura vegetal, las cuales se describen en el siguiente apartado.

6.1.4: Clasificación preliminar de coberturas vegetales

Antes de proceder a la determinación y análisis de los cambios en la cobertura vegetal, fue necesario realizar un análisis previo del uso del suelo y de las condiciones biofísicas del territorio, con el fin de comprender los factores estructurales que condicionan la distribución y dinámica de la vegetación en la Serranía del Perijá, sector Cesar, el cual permitió identificar las relaciones existentes entre las características edáficas, el relieve, el clima y las formas de uso antrópico del suelo, aspectos fundamentales para interpretar adecuadamente los patrones de cobertura vegetal observados en el área de estudio.

En este contexto, el estudio de las unidades de suelo se constituyó en un insumo clave para la caracterización ambiental inicial, dado que los suelos influyen directamente en la aptitud del territorio, la disponibilidad de nutrientes, la retención de humedad y la estabilidad de los ecosistemas. A partir del análisis fisiográfico y pedológico, fue posible establecer las principales limitaciones y potencialidades del territorio, así como los usos predominantes del suelo, los cuales han condicionado históricamente la cobertura vegetal actual.

Con base en este análisis preliminar del uso del suelo y la vegetación presente, se procede a continuación a la descripción de las unidades de suelo identificadas en el área de estudio, las cuales sirven como soporte para la posterior interpretación de las coberturas vegetales y sus transformaciones en el tiempo.

6.1.4.1 Usos del suelo

La caracterización de los suelos del área de estudio se realizó a partir de la revisión documental efectuada en Corpocesar y Corpoguajira (2023), el cual se realizó bajo un enfoque fisiográfico, tomando como referencia la metodología propuesta por Zinck (1987), la cual integra atributos cualitativos y cuantitativos asociados a la topografía, geomorfología y procesos de formación del paisaje. De manera complementaria, se incorporaron los lineamientos metodológicos del CIAF (1997), que permiten integrar los componentes litológicos y climáticos como factores determinantes en la configuración de las unidades edáficas.

Este enfoque integral permitió interpretar los suelos como el resultado de la interacción entre la litología, el relieve, el clima y los procesos geomorfológicos dominantes, dando lugar a unidades fisiográficas complejas. En este contexto, la provincia fisiográfica que caracteriza el área de estudio corresponde al anticlinorio de la Serranía del Perijá, conformado por un relieve montañoso estructural erosional y un relieve colinado estructural erosional, bajo condiciones climáticas que varían entre medio húmedo y cálido seco.

Para el área de estudio se identificaron suelos asociados al paisaje de montaña en clima medio húmedo y cálido seco, así como suelos del paisaje de lomerío en clima

cálido seco. La delimitación cartográfica de estas unidades se realizó al nivel de fase por pendiente, información que se presenta en el mapa de suelos (Corpocesar, 2023).

- **Relieve montañoso estructural erosional en clima medio húmedo**

Esta unidad corresponde a un relieve lineal elongado con dirección general noreste–suroeste, caracterizado por la presencia de espinazos u hogbacks, formados como resultado de la erosión diferencial de rocas sedimentarias estratificadas, tanto clásticas consolidadas como no consolidadas. El paisaje presenta laderas estructurales con patrones escalonados, conformados por lajas triangulares y chevrones modelados por la escorrentía superficial (Corpocesar, 2023).

En sectores donde el buzamiento de los estratos supera los 90°, se desarrollan subpaisajes de filas y vigas que asemejan diques geológicos, separados por depresiones excavadas por procesos erosivos. Este relieve favorece el desarrollo de cuestras, escarpes de contrapendiente y un patrón de drenaje paralelo profundo, condiciones que inciden directamente en la génesis y evolución de los suelos (Corpocesar, 2023).

- **Suelos de espinazos homoclinales (hogback)**

Los suelos de esta unidad se localizan sobre filas y vigas originadas a partir de rocas sedimentarias como areniscas ferruginosas, calizas y conglomerados, con inclusiones de rocas ígneas plutónicas. Presentan topografía fuertemente inclinada a moderadamente escarpada, con pendientes entre 50% y 75%, altitudes que oscilan entre 1.000 y 2.000 msnm, temperaturas medias entre 18 y 24 °C y precipitaciones anuales entre 1.000 y 1.500 mm.

- **Asociación Humic Dystrudepts – Typic Hapludolls (MQA)**

Esta asociación ocupa la mayor extensión dentro del área de estudio, principalmente en una franja que bordea las estribaciones orientales de la Serranía del Perijá, con presencia de erosión laminar de ligera a moderada intensidad. Se desarrolla bajo un clima medio húmedo, con régimen de humedad údico y una formación vegetal original de bosque húmedo premontano, actualmente intervenida en amplios sectores por actividades ganaderas y agrícolas de subsistencia (Corpocesar, 2023).

Los suelos se originan a partir de rocas sedimentarias mixtas y presentan drenaje de bueno a excesivo, texturas medias modificadas por altos contenidos de gravilla y concreciones calcáreas, y una profundidad efectiva que varía de moderadamente profunda a muy superficial (Corpocesar, 2023).

Desde el punto de vista edáfico, los Humic Dystrudepts se caracterizan por ser suelos superficiales, de baja fertilidad, reacción fuertemente ácida y alta susceptibilidad a procesos erosivos, especialmente en pendientes superiores al 50%. Por su parte, los Typic Hapludolls presentan mejor desarrollo pedogenético, mayor contenido de materia orgánica y fertilidad moderada, aunque su uso también se ve restringido por la pendiente, la presencia de gravas y el riesgo de erosión.

- **Consociación Humic Dystrudepts – afloramientos rocosos (MQB)**

Las fases de esta unidad pertenecen principalmente a las clases agrológicas VII y VIII, recomendándose su conservación mediante la protección del bosque natural, la revegetalización con especies nativas y la implementación de prácticas de manejo

orientadas a la reducción de la erosión. Los afloramientos rocosos, presentes en las cimas de los espinazos, corresponden a áreas sin desarrollo edáfico, altamente susceptibles a procesos de remoción en masa, cuya vocación es exclusivamente la conservación (Corpocesar, 2023).

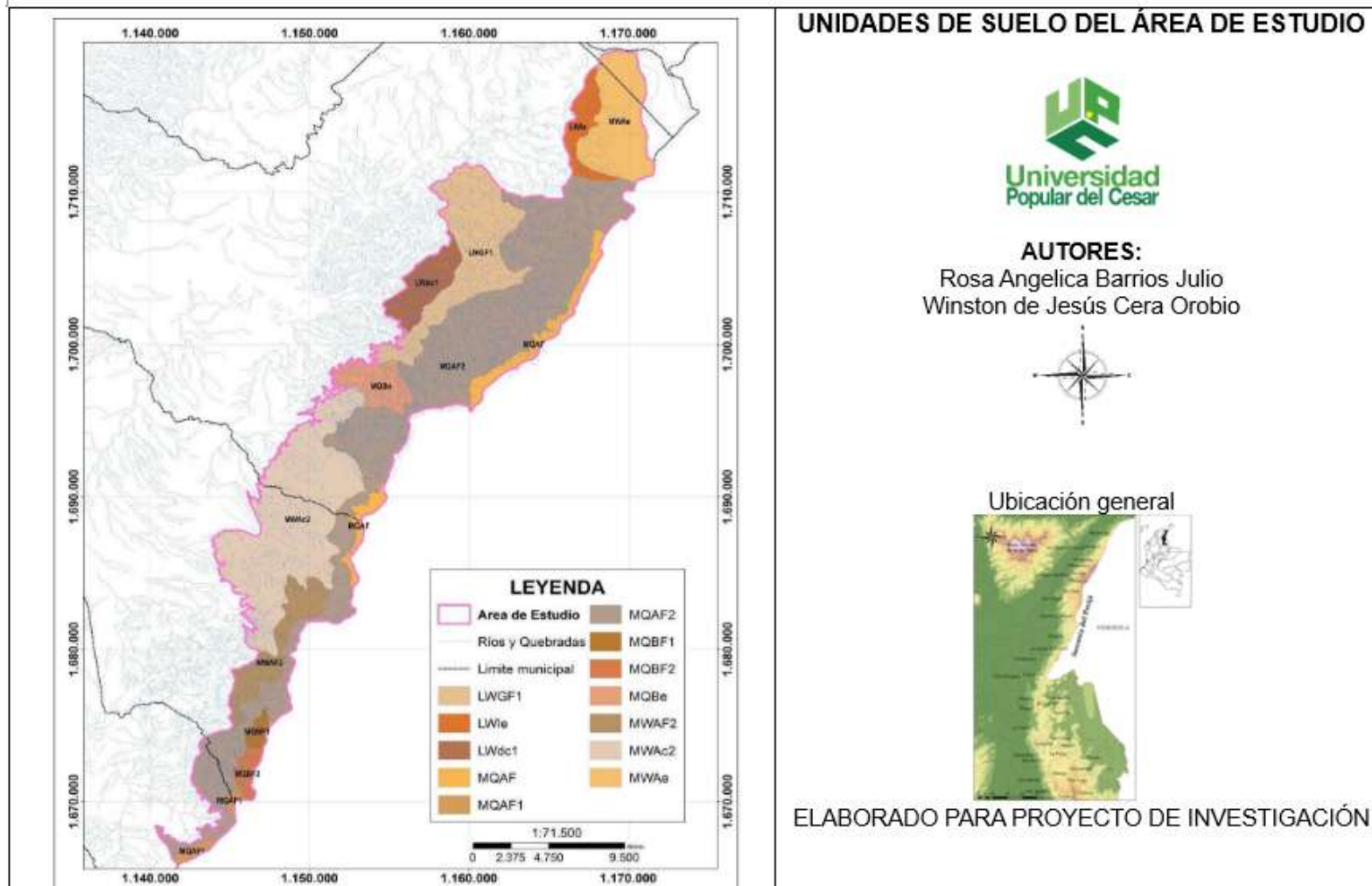
- **Relieve montañoso estructural erosional en clima cálido seco**

Este paisaje se origina a partir de procesos de degradación y fallamiento del anticlinal, y se caracteriza por laderas regulares, poco disectadas, con buzamientos entre 10° y 20°, cimas agudas a subagudas y pendientes entre 25% y 75%. Se presenta a altitudes inferiores a 1.000 msnm, con temperaturas superiores a 24 °C y precipitaciones anuales entre 500 y 1.000 mm (Corpocesar, 2023).

- **Suelos de crestones y cuevas monoclinales**

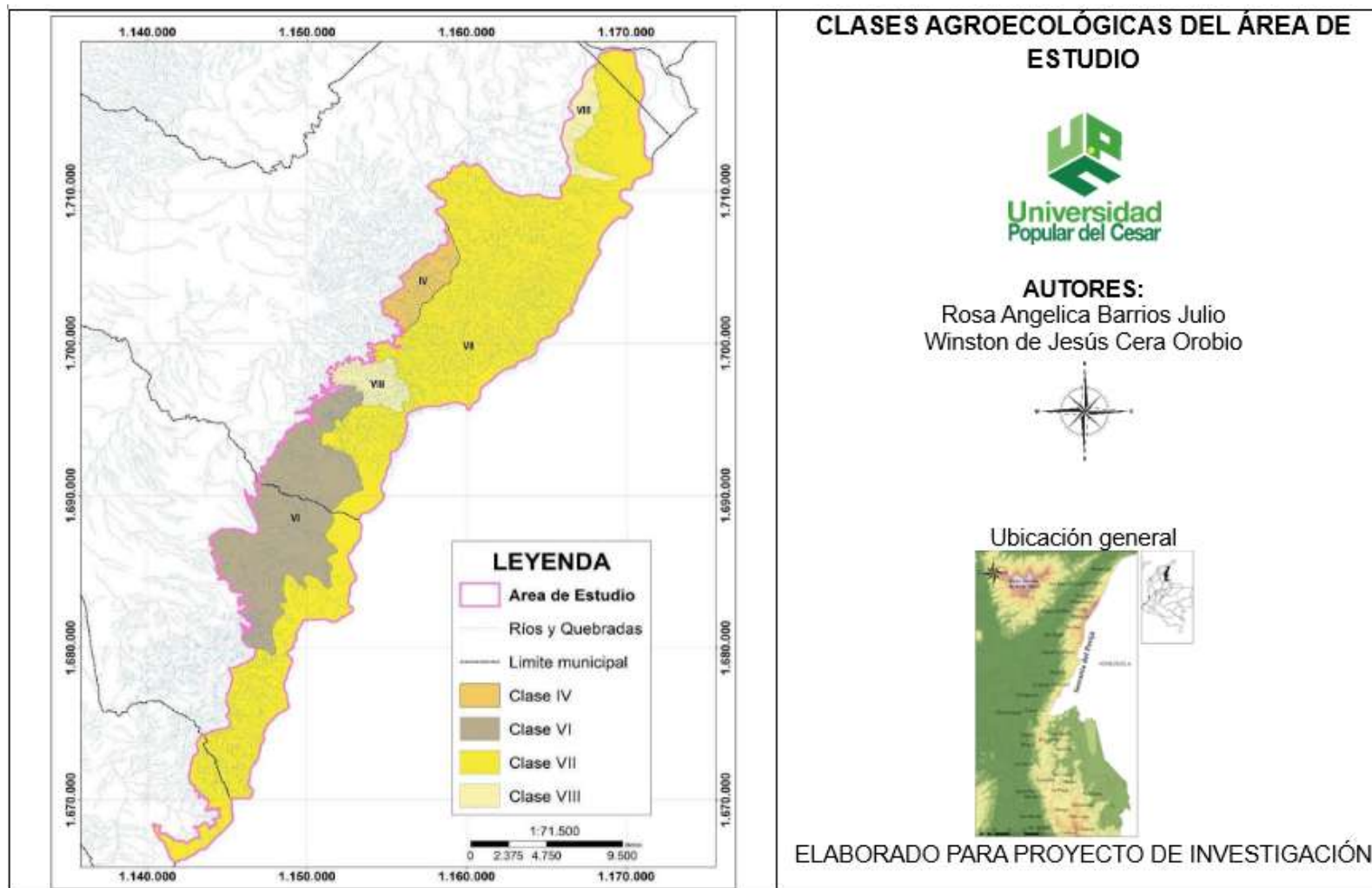
Estos suelos se distribuyen en la parte media y nororiental del área de estudio, asociados a accidentes geográficos como lomas, cuchillas y cerros. Se desarrollan a partir de rocas sedimentarias clásticas y químicas, así como de materiales ígneos, y presentan fases por pendiente que corresponden a las clases agrológicas VI y VII.

Figura 8. Unidades de suelo presentes en la zona de estudio



Fuente: Elaborado por los autores con información tomada del IGAC, Corpogujaira, Corpocesar

Figura 9. *Clases agroecológicas del suelo*



Fuente: Elaborado por los autores con información tomada del IGAC, Corpoguajira, Corpocesar

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

6.1.4.2 Vegetación y coberturas

La vegetación constituye uno de los componentes fundamentales de los ecosistemas, dado que cumple funciones esenciales en los procesos ecológicos y en el mantenimiento del equilibrio ambiental. A lo largo de su evolución, las plantas han desarrollado la capacidad de transformar la energía solar en energía química, convirtiéndose en la base de las cadenas tróficas y en un elemento clave para el almacenamiento de energía, la regulación climática, la protección del suelo frente a la erosión y la provisión de hábitat para numerosas especies de fauna. Asimismo, la vegetación contribuye a la protección de cuerpos de agua, a la reducción de la contaminación atmosférica y sonora, y constituye una fuente importante de materias primas para las sociedades humanas (Díaz, 2002).

Gracias a su ubicación geográfica, diversidad climática y complejidad geomorfológica, Colombia es reconocida como uno de los países con mayor biodiversidad vegetal a nivel mundial, con una estimación cercana a 45.000 especies de plantas, lo que representa aproximadamente el 10 % de las especies conocidas en el planeta (Díaz, 2002).

En este contexto, la Serranía de Perijá se destaca como una de las regiones con mayor riqueza florística y ecológica, al albergar diversas unidades ecosistémicas asociadas a diferentes zonas de vida, que incluyen ecosistemas tropicales, subandinos y andinos. Esta serranía cumple además un papel estratégico como corredor biológico entre bosques secos, húmedos tropicales y andinos. Aunque presenta un alto grado de intervención antrópica, aún conserva ecosistemas naturales que prestan importantes

servicios ambientales y constituyen un componente relevante del patrimonio natural colombiano.

Con base en la caracterización biofísica según documentación de Corpocesar, Corpoguajira y Fundación Biocolombia en el área de estudio se identificaron diferentes tipos de vegetación y coberturas, las cuales se describen a continuación.

- **Bosque subandino**

El bosque subandino corresponde a una formación vegetal presente en sectores de media montaña, asociada a condiciones climáticas templadas y húmedas. En el área de estudio, este tipo de bosque presenta una alta diversidad florística, con un total de 77 especies distribuidas en 58 géneros y 33 familias.

La familia con mayor representación es Lauraceae, con once especies registradas, seguida por Myrtaceae (siete especies), Euphorbiaceae y Moraceae (seis especies cada una). Otras seis familias presentan dos especies, mientras que diecisiete familias están representadas por una sola especie. A nivel de género, *Ocotea* es el más diverso, con cinco especies registradas, lo que resalta su importancia estructural y ecológica dentro de esta cobertura (Corpocesar, 2023).

- **Vegetación secundaria**

La vegetación secundaria corresponde a comunidades vegetales que se originan como resultado de procesos sucesionales posteriores a la intervención o eliminación de la vegetación primaria. Este tipo de cobertura se desarrolla principalmente en áreas que

fueron utilizadas para actividades agrícolas o pecuarias y que posteriormente fueron abandonadas, permitiendo la regeneración natural (Corpocesar, 2023).

En sectores como la localidad de Las Colonias, la composición florística está dominada por especies heliófitas, entre las que se destacan *Pteridium aquilinum*, *Byrsonima crassifolia*, *Miconia* sp., *Vismia* sp., *Gynoxis* sp., *Psidium* sp. y *Cortaderia* sp. En áreas con mayor tiempo de abandono, se observa la dominancia de especies de rápido crecimiento como *Cecropia* sp. y *Piper* sp., las cuales presentan altas densidades poblacionales (Corpocesar, 2023).

Desde el punto de vista estructural, la vegetación secundaria presenta principalmente dos estratos, herbáceo y arbustivo, con alturas máximas cercanas a los cinco metros, aunque de manera ocasional se registran individuos que alcanzan hasta ocho metros. La distribución agrupada de los individuos y la alta densidad observada sugieren un estado sucesional temprano a intermedio (Corpocesar, 2023).

- **Pastos**

Esta cobertura está dominada por vegetación herbácea y se asocia principalmente a actividades productivas, especialmente ganaderas. Dependiendo de las prácticas de manejo, los pastizales pueden presentar una composición relativamente homogénea o una mezcla de especies herbáceas y arbustivas, conformando matrices de pastos enmalezados.

Los pastos suelen encontrarse asociados a áreas de vegetación secundaria y bosques intervenidos, reflejando procesos de transformación del paisaje y de uso intensivo del suelo (Corpocesar, 2023).

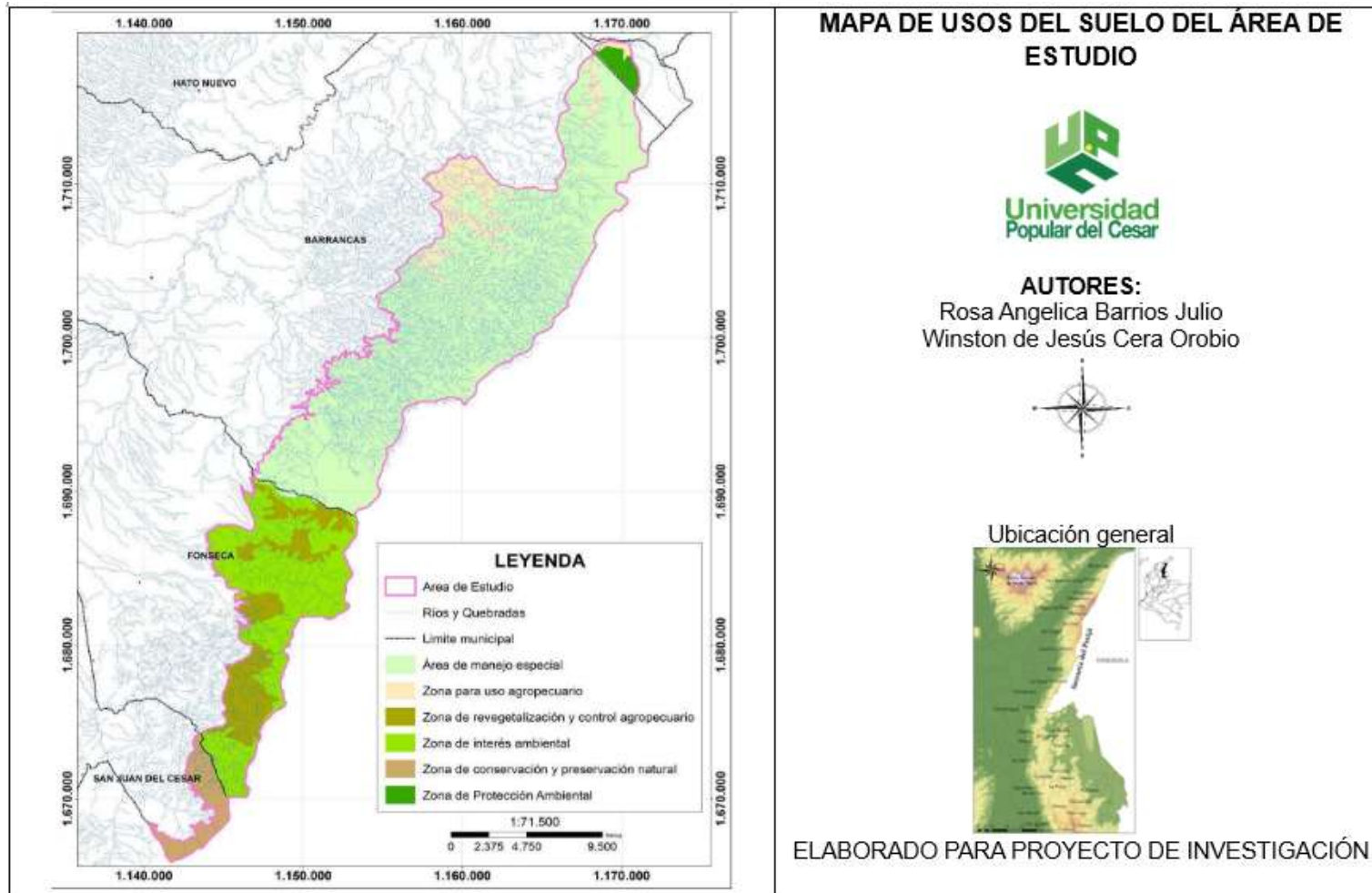
- **Cultivos**

Los cultivos corresponden a áreas ocupadas por especies agrícolas anuales, transitorias o permanentes, generalmente localizadas en parcelas pequeñas cercanas a las viviendas. Su distribución espacial es irregular y compleja, lo que dificulta su delimitación cartográfica individual (Corpocesar, 2023). Este tipo de cobertura se presenta frecuentemente en asociación con pastizales y vegetación secundaria, dependiendo del grado de manejo, abandono o rotación del uso del suelo.

- **Bosque seco tropical**

El bosque seco tropical se localiza en el área de estudio principalmente en la localidad de Puerto López, hasta aproximadamente los 1.000 msnm, bajo condiciones de clima cálido seco, donde la evaporación supera a la precipitación durante gran parte del año. Este ecosistema presenta adaptaciones estructurales características, como hojas compuestas o de pequeño tamaño, cortezas lisas y la presencia de espinas o aguijones. En su interior, las epífitas son escasas o inexistentes y el sotobosque herbáceo es poco desarrollado en comparación con ecosistemas más húmedos (IAVH, 1995, citado en IAVH, 1998).

Figura 10. Mapa de usos del suelo de la zona de estudio



Fuente: Elaborado por los autores con información tomada del IGAC, Corpoguajira, Corpocesar

Para la elaboración del mapa de uso y cobertura del suelo se realizó una clasificación digital a partir del análisis de dos imágenes satelitales SPOT correspondientes al año 2005, lo que permitió identificar y delimitar las principales coberturas presentes en el área de estudio, teniendo en cuenta tanto las características biofísicas observables como la información obtenida previamente en la caracterización ambiental de la zona.

La clasificación se desarrolló con base en una leyenda temática estructurada a partir de los elementos del medio físico identificables en las imágenes satelitales, procurando que esta fuera coherente con las condiciones reales del territorio y, al mismo tiempo, homologable con el estándar nacional de cobertura de la tierra establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Este criterio garantizó la comparabilidad de los resultados con otros estudios realizados a escala regional y nacional.

Para el procesamiento de la información espacial se adoptó el sistema de referencia geodésico oficial de Colombia, MAGNA–SIRGAS. En este sentido, toda la información cartográfica existente fue migrada a dicho sistema, aplicando las transformaciones geodésicas necesarias de acuerdo con la zona de estudio. Posteriormente, se continuó con el proceso de clasificación digital de las coberturas.

Una de las imágenes utilizadas presentaba un proceso de fusión con la banda pancromática, lo que permitió mejorar su resolución espacial hasta los 5 metros; sin embargo, dado que la resolución original de las imágenes SPOT se encuentra entre 10 y 20 metros, fue necesario reescalarla a 10 metros con el fin de trabajar de manera

homogénea y acorde con la escala de análisis definida para toda el área de estudio. Adicionalmente, se efectuó una corrección geométrica de ambas imágenes para ajustar su proyección central original a una proyección ortogonal, asegurando su correcta georreferenciación dentro del sistema de referencia espacial colombiano.

La leyenda de uso y cobertura del suelo se estructuró en cinco grandes grupos, que en conjunto integran dieciséis clases temáticas, las cuales se describen a continuación:

Grupo 1. Zonas artificializadas: Las zonas artificializadas corresponden a áreas donde la cobertura vegetal ha sido modificada o eliminada casi en su totalidad, lo que se refleja en respuestas espectrales pobres asociadas a suelos desnudos, superficies erosionadas o infraestructura construida. En este grupo se incluyen los cascos urbanos, la red vial y las zonas de explotación minera e industrial.

- Zona urbana
- Red vial
- Zona minera
- Zona erosionada

Grupo 2. Zonas agropecuarias: Las zonas agropecuarias agrupan áreas destinadas al desarrollo de actividades productivas, donde, a pesar de la intervención antrópica, predominan coberturas vegetales manejadas. Este grupo incluye los cultivos agrícolas, los pastos manejados o enmalezados y los espacios mixtos donde coexisten pastizales y cultivos.

- Cultivos

- Pastos
- Espacio mixto de pastos y cultivos

Grupo 3. Zonas de vegetación natural: Las zonas de vegetación natural corresponden a áreas donde la cobertura vegetal se desarrolla de manera espontánea y presenta un menor grado de intervención humana. En este grupo se incluyen los herbazales naturales, los bosques primarios, los bosques intervenidos y la vegetación secundaria, reflejando diferentes estados de conservación y sucesión ecológica.

- Herbazal natural
- Bosque primario
- Bosque intervenido
- Vegetación secundaria

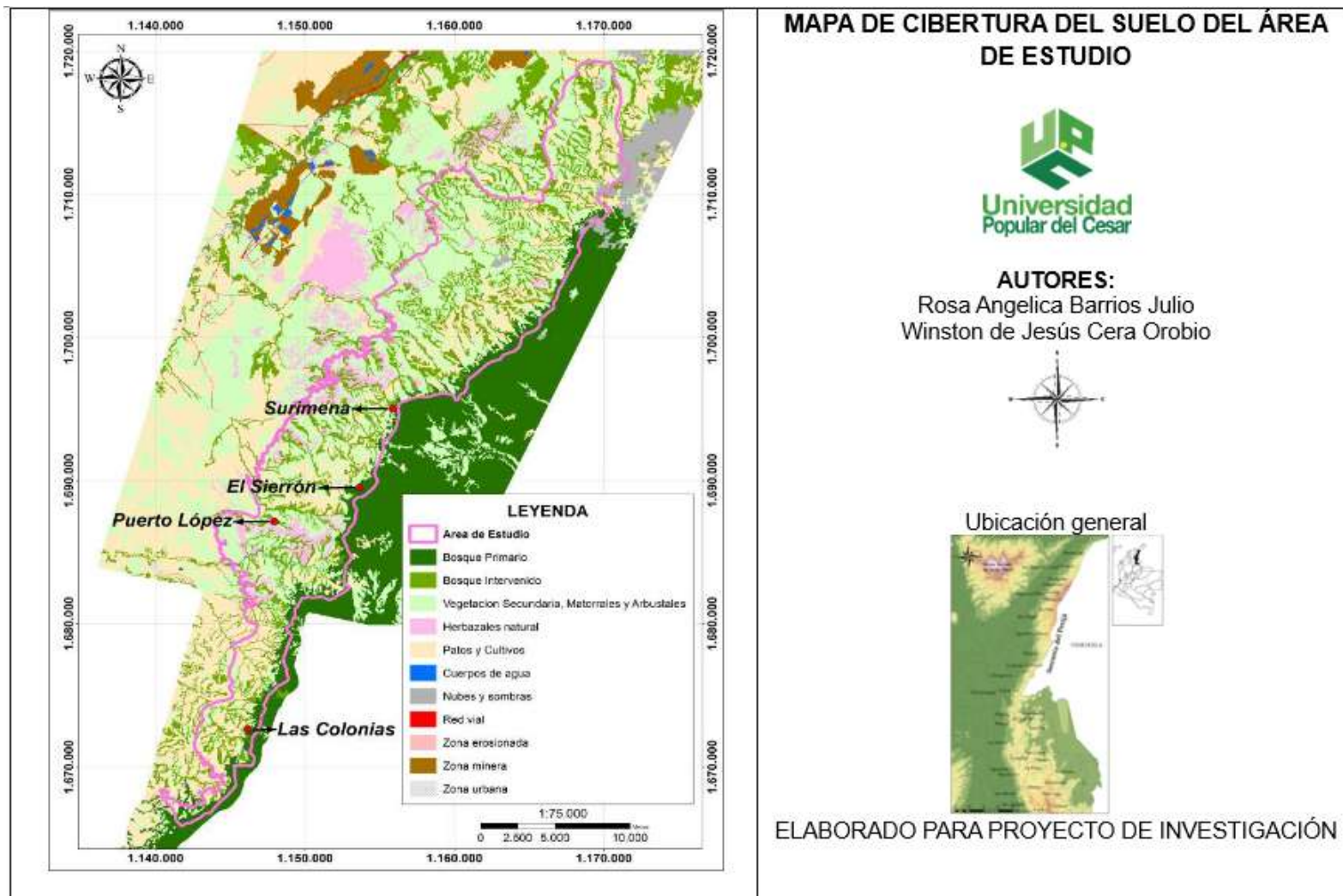
Grupo 4. Cuerpos de agua: Los cuerpos de agua comprenden los diferentes espejos de agua presentes en el territorio, tanto de origen natural como artificial, incluyendo ríos, lagos, lagunas, ciénagas y canales.

- Ríos
- Lagos, lagunas y ciénagas
- Lagunas artificiales

Grupo 5. Sin información: Finalmente, el grupo sin información corresponde a aquellas áreas que no pudieron ser clasificadas adecuadamente debido a la presencia de nubes o sombras extremas en las imágenes satelitales utilizadas.

- Nubes y sombras

Figura 11. Mapa de cobertura vegetal del suelo en la zona de estudio



Fuente: Elaborado por los autores con información tomada del IGAC, Corpoguajira, Corpocesar

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

El mapa de uso y cobertura del suelo evidencia un territorio marcado por una alta heterogeneidad espacial, resultado de la interacción entre condiciones biofísicas propias de la Serranía de Perijá y procesos históricos de ocupación humana. Predominan las zonas agropecuarias, las cuales representan cerca de la mitad del área de estudio, reflejando una transformación significativa de la cobertura vegetal original asociada principalmente a actividades ganaderas y agrícolas de pequeña y mediana escala.

Dentro de este grupo, los pastos constituyen la cobertura dominante, lo cual es consistente con la vocación ganadera del territorio y con procesos históricos de deforestación y quema que han favorecido la expansión de coberturas herbáceas en detrimento de los bosques naturales. Los cultivos y los espacios mixtos de pastos y cultivos se distribuyen de manera fragmentada, generalmente en cercanía a asentamientos humanos y vías de acceso, lo que sugiere una relación directa entre infraestructura, accesibilidad y transformación del suelo, patrón ampliamente documentado en estudios de cambio de uso del suelo en zonas rurales de Colombia (IDEAM, 2018; Lambin et al., 2001).

Las zonas de vegetación natural, aunque aún representan una proporción importante del área, se encuentran altamente fragmentadas. Los bosques primarios se restringen principalmente a sectores de difícil acceso, con pendientes pronunciadas o condiciones edáficas que han limitado la intervención humana, lo cual coincide con lo señalado por Forman (1995) respecto a la persistencia de remanentes boscosos en áreas con barreras naturales. En contraste, los bosques intervenidos y la vegetación secundaria

reflejan procesos de degradación y sucesión ecológica, asociados al abandono de áreas productivas y a dinámicas de regeneración natural.

La presencia de vegetación secundaria indica que, pese a la presión antrópica, el territorio conserva una capacidad de recuperación ecológica, especialmente en zonas donde las actividades agropecuarias han disminuido o cesado. Estos procesos sucesionales tempranos y medios son clave para la restauración ecológica y la conectividad entre fragmentos de bosque, aspectos fundamentales para la conservación de la biodiversidad (FAO, 2016).

Las zonas artificializadas, aunque ocupan un porcentaje menor del área total, tienen un impacto significativo sobre la estructura del paisaje. La localización de zonas mineras, áreas erosionadas y la red vial introduce discontinuidades en la cobertura vegetal, incrementa la fragmentación y genera presiones adicionales sobre los ecosistemas naturales, particularmente sobre los cuerpos de agua y los bosques ribereños.

Finalmente, los cuerpos de agua, aunque espacialmente reducidos, cumplen un papel estratégico en la regulación hídrica y ecológica del área de estudio, actuando como ejes estructurantes del paisaje y como soporte para múltiples servicios ecosistémicos.

Tabla 8. *Porcentaje de área por cobertura identificada para el año 2023*

Código	Cobertura	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
33	Bosque primario	2.939,4	8,44
34	Bosque primario intervenido	7.653,3	21,97

35	Vegetación secundaria – rastrojos altos	421,4	1,21
32	Vegetación secundaria – rastrojos bajos	13.407,9	38,50
31	Herbazal natural	2.016,1	5,79
21	Cultivos	100,1	0,29
22	Pastos	4.836,1	13,89
23	Miscelánea de pastos y cultivos	3.075,6	8,83
41	Ríos	11,2	0,03
14	Zona erosionada	4,7	0,01
51	Nubes y sombras	363,4	1,04
Total		34.829,2	100,0

Fuente: Elaboración propia con información tomada por IGAC, Corpocesar (2023)

Finalmente, el análisis del mapa de uso y cobertura del suelo pone de manifiesto un territorio en el que coexisten procesos de transformación antrópica intensa con remanentes de vegetación natural de alto valor ecológico, lo que evidencia la necesidad de fortalecer estrategias de ordenamiento ambiental, conservación y restauración ecológica, especialmente en aquellas áreas donde la fragmentación de la cobertura vegetal compromete la conectividad ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos. Los resultados obtenidos constituyen un insumo fundamental para la toma de decisiones orientadas a la gestión sostenible del territorio y para la formulación de acciones de manejo acordes con las dinámicas ambientales y socioeconómicas del área de estudio.

6.2 Determinación de la variación temporal de la cobertura vegetal en la Serranía del Perijá mediante el uso de mapas temáticos para identificar tendencias asociadas al cambio climático desde el año 2010–2023

6.2.1: Preprocesamiento de imágenes

El preprocesamiento de las imágenes constituyó una fase fundamental del análisis, ya que permitió asegurar la calidad, precisión geométrica y coherencia radiométrica de los datos utilizados en la comparación temporal de la cobertura vegetal. Siguiendo una metodología estandarizada, esta fase incluyó procesos de preparación, corrección y ajuste de la información geoespacial.

Preparación y preprocesamiento de la información

En primera instancia, se recopiló la información cartográfica y satelital necesaria para caracterizar el uso y la cobertura del suelo en los distintos años de análisis. Las capas vectoriales existentes fueron ajustadas y migradas al sistema de referencia geodésico oficial MAGNA–SIRGAS, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2005). Para ello, se aplicaron las transformaciones geodésicas correspondientes, garantizando la homogeneidad espacial de toda la información utilizada.

Las imágenes satelitales fueron sometidas a procesos de corrección geométrica con el fin de eliminar distorsiones derivadas de la geometría del sensor, la topografía y la posición orbital. Adicionalmente, se realizaron correcciones radiométricas y atmosféricas orientadas a reducir el efecto de la dispersión atmosférica, la variabilidad en la iluminación

solar y las diferencias en las condiciones de captura entre fechas, aspectos esenciales para permitir la comparación multitemporal de la cobertura vegetal.

Tabla 9. *Matriz de verificación del preprocesamiento geoespacial*

Tipo de información	Fuente	Año	Sistema de referencia original	Sistema de referencia final	Procesos aplicados	Resultado
Imagen satelital	SPOT /					
	Sentine	201	WGS 84	MAGNA– SIRGAS	Corrección	Imagen
	l /	0			geométrica,	ajustada y
Landsa		recorte AOI			alineada	
	t					
Imagen satelital	SPOT /				Corrección	
	Sentine	201	WGS 84	MAGNA– SIRGAS	geométrica,	Imagen
	l /	5			radiométrica y	corregida
Landsa		atmosférica				
	t					
Imagen satelital	SPOT /				Corrección	Imagen
	Sentine	202	WGS 84	MAGNA– SIRGAS	geométrica y	lista para
	l /	0			recorte	clasificació
					n	

Landsa

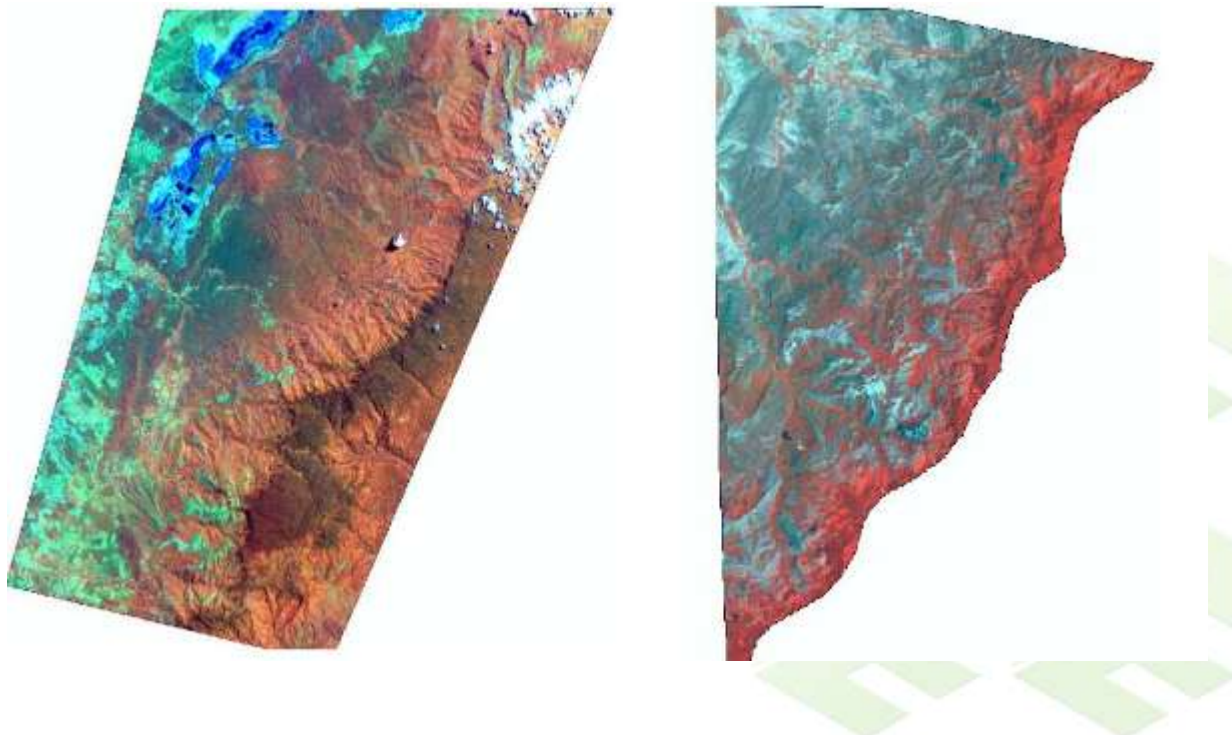
t

Capas vectoriales	IGAC	—	PSAD56 / MAGNA-	Transformació	Capas
			WGS 84 SIRGAS	n Molodensky-	compatible
				Badekas	s

Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de optimizar el procesamiento, las imágenes fueron recortadas según el límite del área de estudio, lo que facilitó el análisis y redujo la interferencia de información externa. Debido a diferencias radiométricas entre escenas, el procesamiento digital se realizó de manera independiente para cada imagen, asegurando una clasificación más precisa y consistente con la leyenda definida.

Figura 12. *Recortes de imágenes utilizadas*



Nota: IZQUIERDA: IMAGEN 646328 (ID - 02) EN RGB 342. D ERECHA: IMAGEN 646329 (ID - 03) EN RGB 342. Elaborado por el autor.

6.2.2: Clasificación de la cobertura vegetal

Una vez preprocesadas las imágenes, se procedió a la clasificación de la cobertura vegetal mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes, apoyadas en índices espectrales y herramientas de Sistemas de Información Geográfica.

- **Extracción de información y análisis espectral**

Previo a la clasificación, se realizó una reorganización de las bandas espectrales de las imágenes, garantizando la coherencia entre la longitud de onda y la posición de cada banda. Esta reorganización fue necesaria para la correcta aplicación de índices de vegetación, en particular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), ampliamente utilizado para el análisis del estado y la distribución de la vegetación.

El NDVI se calculó a partir de las bandas correspondientes al rojo y al infrarrojo cercano, permitiendo discriminar las áreas con presencia de vegetación y evaluar su vigor fisiológico. Los valores obtenidos oscilaron entre -1 y 1, donde los valores negativos o cercanos a cero indican ausencia o escasa cobertura vegetal, mientras que los valores positivos altos representan vegetación densa y en buen estado de desarrollo. Este índice se utilizó como información auxiliar para mejorar la precisión de la clasificación de las coberturas.

Tabla 10. Interpretación de valores NDVI y su relación con la cobertura vegetal

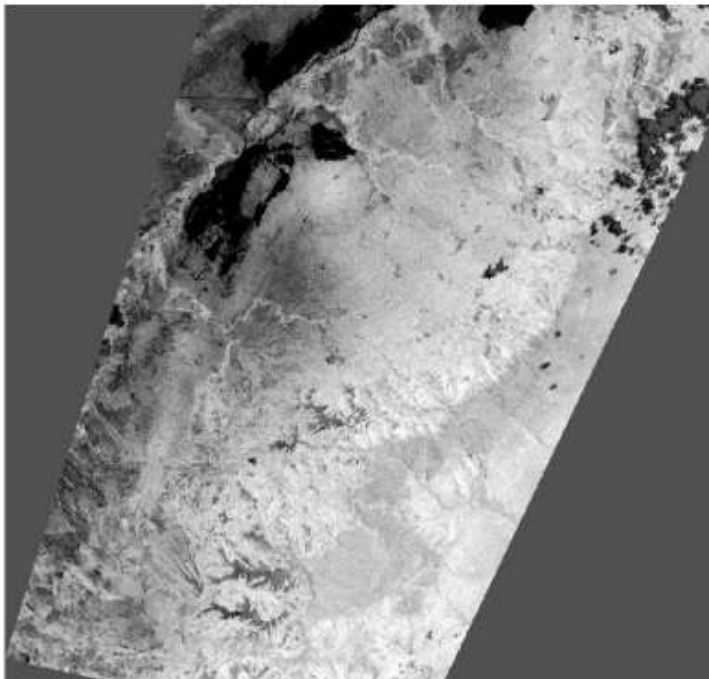
Rango NDVI	Interpretación	Tipo de cobertura asociada
---------------	----------------	----------------------------

-1.0 a 0.0	Ausencia de vegetación	Cuerpos de agua, zonas erosionadas, áreas urbanizadas
0.1 a 0.3	Vegetación escasa o estresada	Pastos degradados, suelos descubiertos
0.31 a 0.5	Vegetación moderada	Vegetación secundaria, cultivos
0.51 a 0.7	Vegetación densa	Bosque intervenido

Fuente: Elaborado por el autor.

La estandarización del sistema de referencia espacial y la aplicación de correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas garantizaron la coherencia espacial entre los distintos insumos, mientras que el cálculo e interpretación del NDVI permitió discriminar de manera confiable los diferentes tipos de cobertura vegetal y su estado de conservación.

Figura 13. *Figura NVI utilizada para el análisis*



Fuente: Elaborado por el autor.



Las categorías de cobertura identificadas incluyeron bosques, vegetación secundaria, áreas agrícolas, pastizales, cuerpos de agua y áreas degradadas, siguiendo los lineamientos metodológicos y las definiciones establecidas por el IDEAM (2018) para estudios de cobertura y uso del suelo en Colombia. Posteriormente, los resultados de la clasificación fueron evaluados y ajustados mediante comparación con información de referencia, lo que permitió reducir errores de asignación y mejorar la confiabilidad de los mapas temáticos obtenidos.

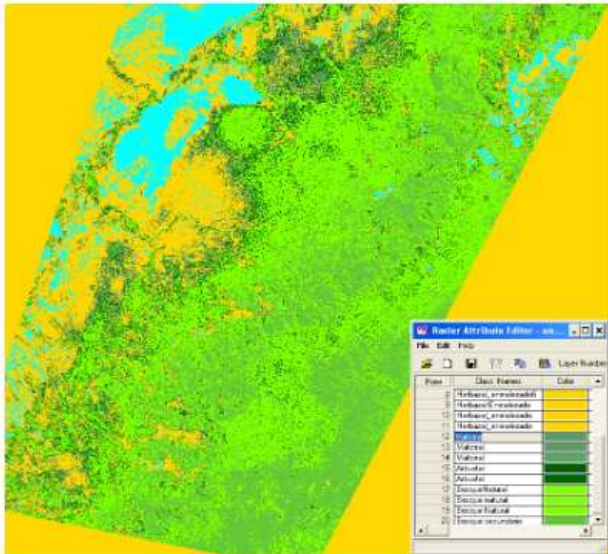
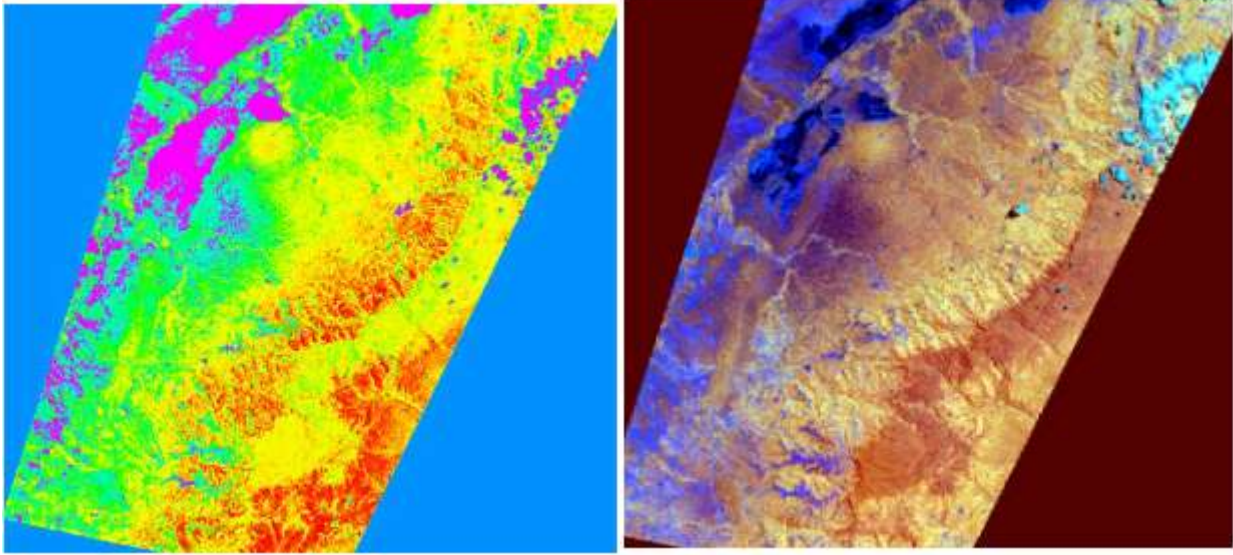
6.2.4: Análisis de cambios temporales

Con base en la comparación multitemporal de los mapas de cobertura de los años 2010, 2020 y 2023, se identificaron cambios significativos en la extensión y composición de las coberturas vegetales. El análisis se presenta tomando como referencia la cobertura observada en 2023, lo que permitió estimar las tendencias generales de ganancia o pérdida de superficie durante el periodo de estudio.

- **Variación de la cobertura año 2010-2023**

A continuación, se procedió a realizar el ajuste de atributos para luego hacer una clasificación donde se utilizaron 20 clases temáticas, con 10 iteraciones y un ajuste al 0,95%, sobre una fusión de la imagen de NDVI con la original, para determinar las variaciones entre los años 2010 a 2023.

Figura 14. *Imágenes NVI para estimar variaciones en los años 2010 a 2023*



Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 11. Variación estimada de la cobertura vegetal entre 2010 y 2023

Cobertura	Tendencia 2010–2023	Variación estimada (ha)	Variación (%)
Bosque primario	Disminución	-1.200	-3,4

Bosque primario intervenido	Aumento	+1.850	+5,3
Vegetación secundaria	Aumento	+4.600	+13,2
(rastros altos y bajos)			
Herbazal natural	Disminución leve	-420	-1,2
Pastos	Aumento	+1.900	+5,5
Cultivos	Aumento leve	+70	+0,2
Miscelánea pastos–cultivos	Aumento	+1.100	+3,2
Zonas erosionadas	Aumento leve	+3	+0,01

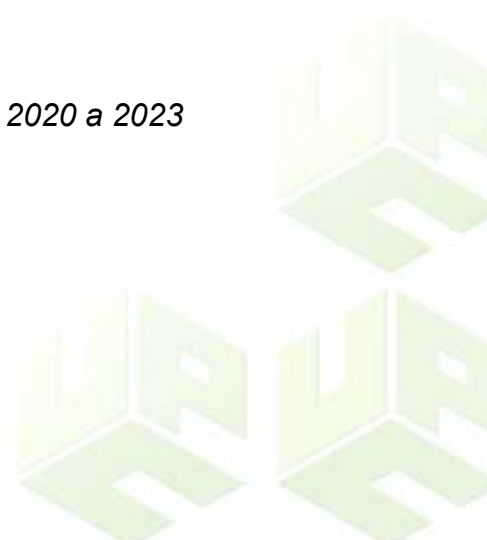
Nota: Las variaciones corresponden a estimaciones derivadas de la comparación espacial entre mapas clasificados y expresan tendencias generales del territorio.

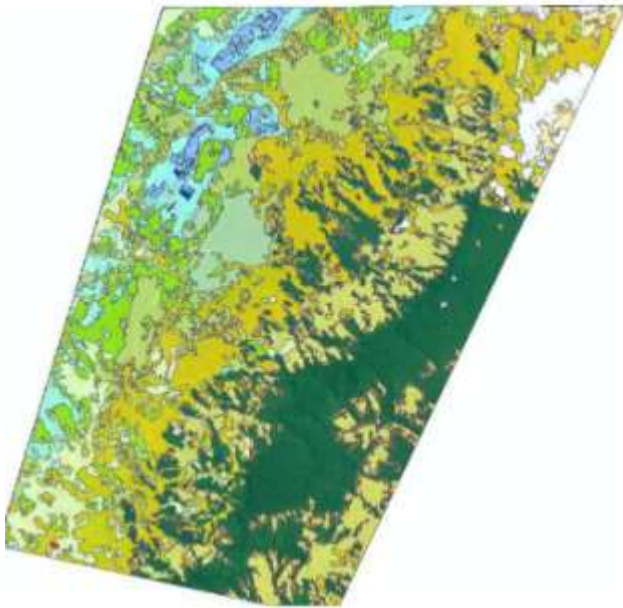
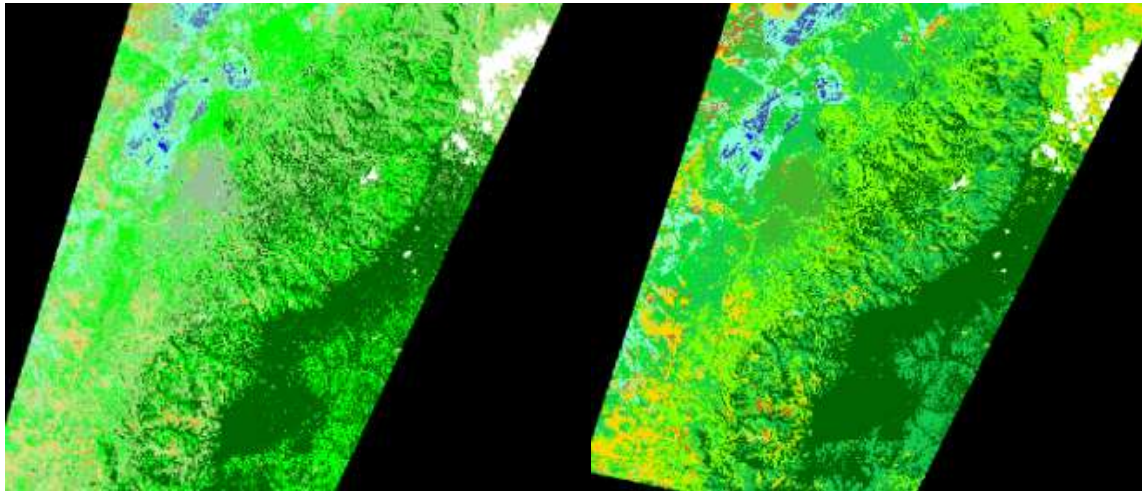
Elaborado por el autor.

- **Análisis cobertura del año 2020 a 2023**

El periodo más reciente evidencia cambios más acelerados, asociados principalmente a procesos antrópicos y a la presión climática sobre los ecosistemas naturales.

Figura 15. *Imágenes NVI de análisis para los años 2020 a 2023*





Fuente: Elaborado por el autor. Imagen vector

Tabla 12. *Variación estimada de la cobertura vegetal entre 2020 y 2023*

Cobertura	Tendencia 2020–2023	Variación estimada (ha)	Interpretación
------------------	--------------------------------	------------------------------------	-----------------------

Bosque primario	Disminución	-350	Pérdida por fragmentación y presión antrópica
Bosque intervenido	Aumento	+620	Transición desde bosque primario
Vegetación secundaria	Aumento	+1.900	Regeneración post-uso agropecuario
Pastos	Aumento	+780	Expansión ganadera
Cultivos	Estable	+20	Uso localizado y de baja escala
Herbazales	Disminución	-210	Conversión a pastos o rastrojos

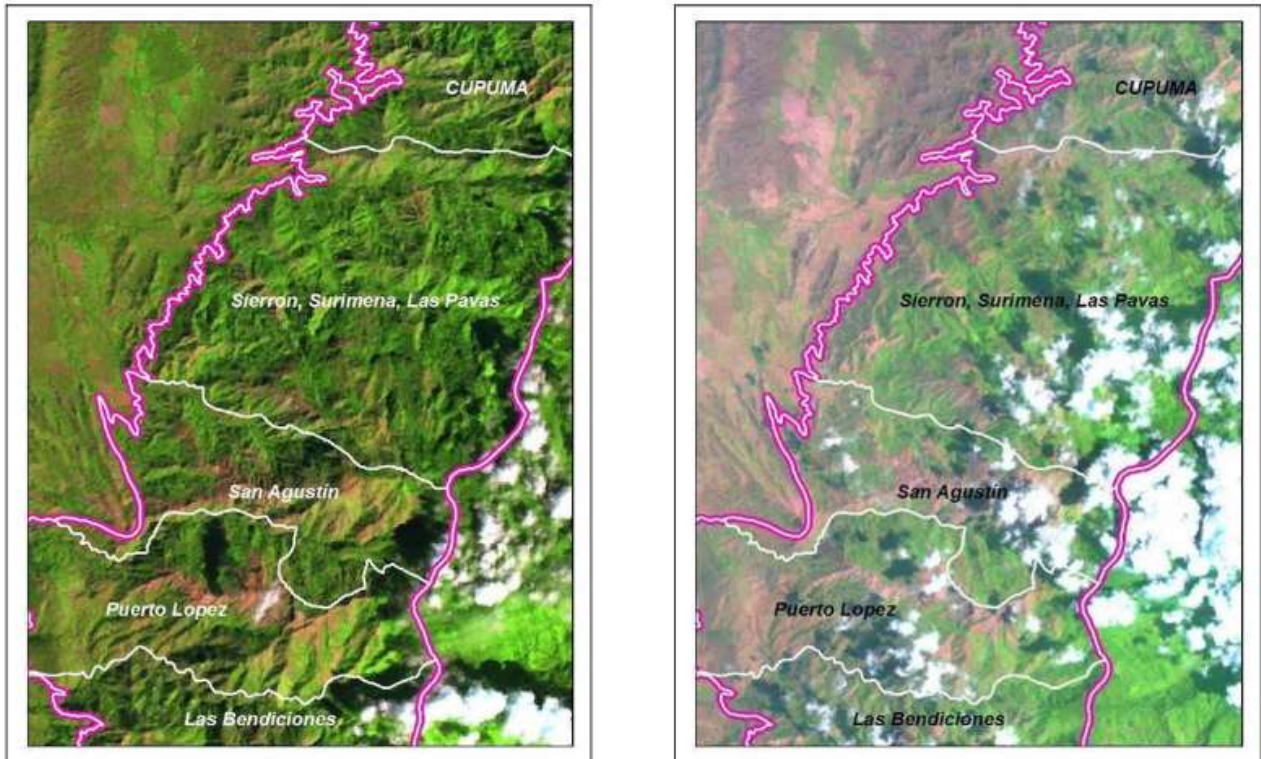
Fuente: Elaborado por los autores, 2025

El análisis multitemporal evidencia una reducción progresiva del bosque primario, acompañada por un incremento del bosque intervenido y de la vegetación secundaria, lo que sugiere procesos de fragmentación, tala selectiva y regeneración natural posterior. Esta dinámica es consistente con patrones observados en zonas de montaña andina y subandina sometidas a presión antrópica y variabilidad climática (IDEAM, 2018; Etter et al., 2011).

El aumento de los pastos y de la miscelánea de pastos y cultivos refleja la expansión de actividades ganaderas y agrícolas de baja y mediana intensidad, principalmente en áreas con limitaciones edáficas y pendientes moderadas, lo cual coincide con la información de uso del suelo analizada previamente. Por su parte, la

vegetación secundaria, especialmente los rastrojos bajos, representa la cobertura dominante del área de estudio en 2023, indicando un paisaje altamente intervenido, pero con potencial de recuperación ecológica.

Figura 16. *Imágenes LANDSAT de los años de estudio 2010-2023*



Nota: La imagen a mano derecha corresponde al año 2010, la izquierda al 2023.
Elaborado por el autor.

Finalmente, la presencia de zonas erosionadas, aunque reducida en superficie, constituye un indicador de degradación ambiental localizada, asociada a pendientes fuertes, pérdida de cobertura vegetal y prácticas inadecuadas de uso del suelo, lo que refuerza la necesidad de implementar estrategias de manejo y restauración ecológica en la región.

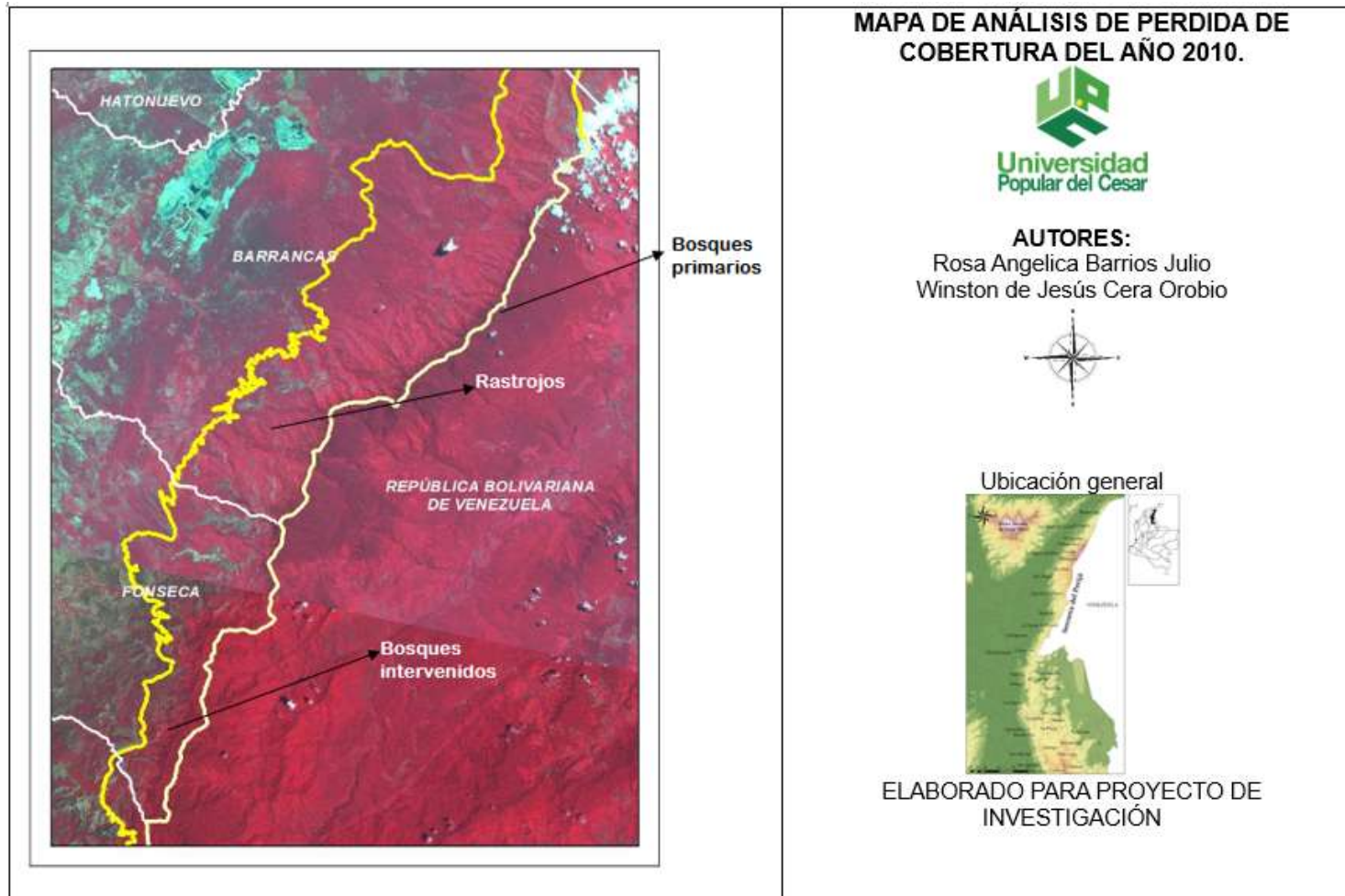
6.2.5: Elaboración de mapas temáticos

Con el fin de visualizar espacialmente la magnitud y localización de las pérdidas y transformaciones de la cobertura vegetal en la Serranía del Perijá, se elaboró un mapa temático de cambios de cobertura a partir de la comparación multitemporal de imágenes satelitales y mapas clasificados de los distintos años de análisis. Este mapa permitió identificar las áreas donde la vocación natural forestal ha sido reemplazada progresivamente por usos antrópicos, principalmente potreros, cultivos y áreas de vegetación secundaria.

El procedimiento incluyó la superposición de los mapas de cobertura vegetal, previamente homologados al sistema de referencia MAGNA–SIRGAS, y la identificación de transiciones entre categorías, especialmente aquellas asociadas a la pérdida de bosque primario y su conversión en coberturas intervenidas. De esta manera, se logró representar cartográficamente tanto la reducción de las áreas boscosas como la expansión de coberturas secundarias y agropecuarias, expresadas en hectáreas y distribución espacial.



Figura 17. Mapa de análisis de pérdida de cobertura del año 2010.



Nota: imagen spot año 2010. nótese la amplia extensión de bosques (rojo oscuro) en la porción venezolana de la serranía versus los existentes en el área de estudio

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

El mapa de cambios evidencia que el cambio progresivo en el uso del suelo, desde su vocación natural forestal hacia potreros y cultivos, ha sido uno de los principales responsables de la pérdida de continuidad ecológica en el área de estudio, lo que ha generado una marcada fragmentación de los ecosistemas, con consecuencias directas sobre la biodiversidad, la estabilidad del suelo y la funcionalidad de los servicios ecosistémicos (Corpocesar, 2023).

En la actualidad, los bosques primarios ocupan únicamente 2.939,4 hectáreas, localizadas en su mayoría en sectores limítrofes con la República Bolivariana de Venezuela, mientras que los bosques intervenidos alcanzan 7.653,3 hectáreas. La vegetación secundaria, conformada por rastrojos, matorrales y arbustales, constituye la cobertura dominante del territorio, con una extensión aproximada de 13.829,3 hectáreas, lo que refleja un paisaje ampliamente transformado por actividades humanas (Corpocesar, 2023).

El predominio de bosques de segundo crecimiento constituye un claro indicador de la intervención histórica del territorio y se asocia con una reducción significativa de la diversidad biológica. En este sentido, los registros florísticos del área de estudio reportan un número considerablemente menor de especies en comparación con zonas subandinas mejor conservadas de la Serranía del Perijá, donde se ha documentado una mayor riqueza de árboles, arbustos y palmas (Rivera-Díaz et al., 2009). Una situación similar se presenta para la fauna, donde predominan especies generalistas adaptadas a ambientes intervenidos, en detrimento de aquellas asociadas a bosques maduros y continuos (Corpocesar, 2023).

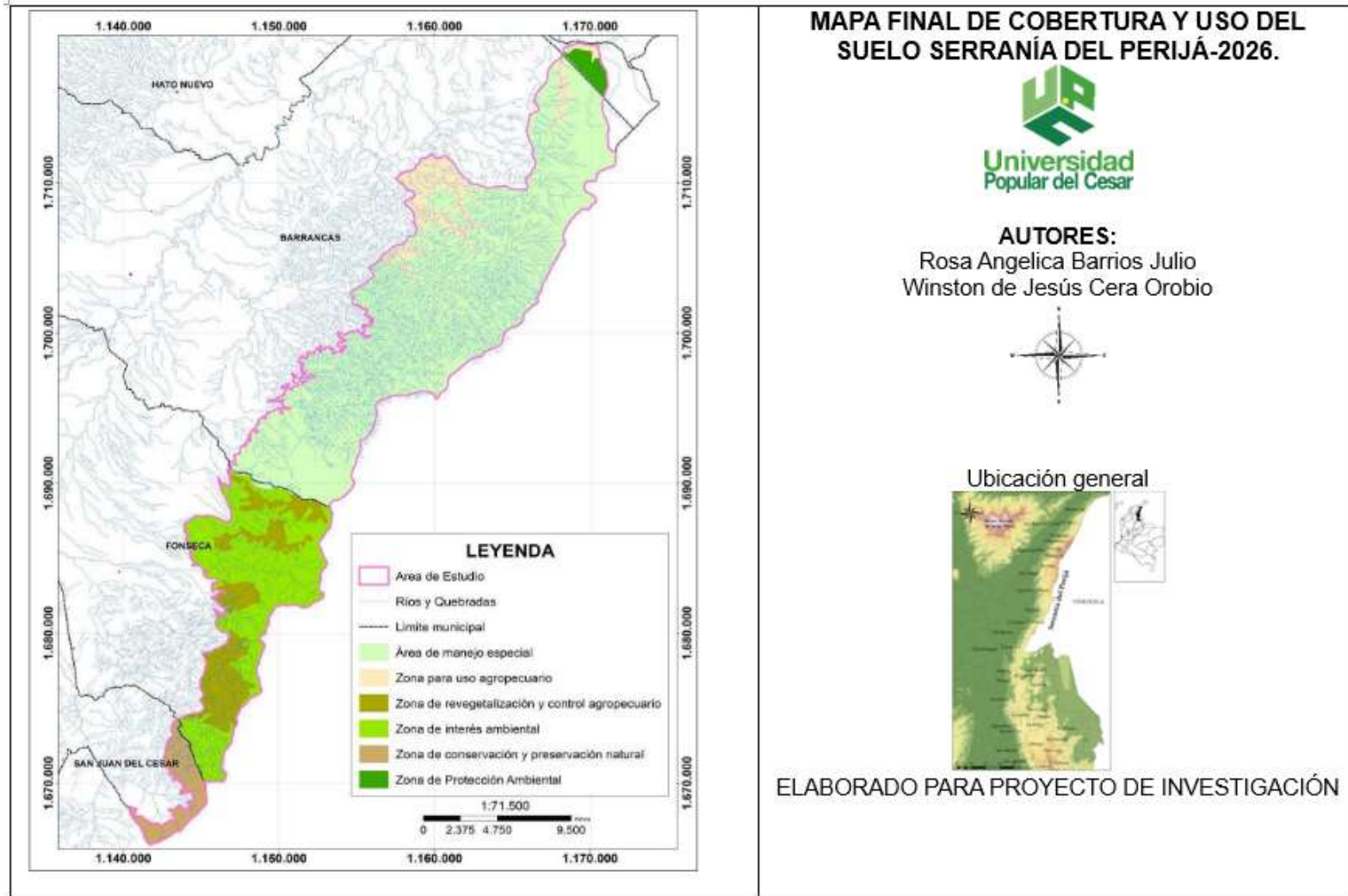
El análisis espacial también pone en evidencia una marcada diferencia entre la cobertura vegetal del área de estudio y la existente en la vertiente venezolana de la Serranía del Perijá. Mientras que en el territorio colombiano se observa una alta fragmentación y predominio de coberturas secundarias, al otro lado de la frontera persisten extensas áreas de bosque continuo, lo que ha convertido esta zona en un refugio relativo para especies de flora y fauna.

La extracción de madera y la cacería de fauna silvestre han intensificado esta presión, extendiéndose incluso más allá de la frontera internacional. La disminución de especies maderables de alto valor y la dificultad de acceso a algunos sectores han motivado el desplazamiento de estas actividades hacia áreas mejor conservadas, tanto dentro como fuera del territorio nacional. La cacería, practicada para autoconsumo y para abastecer el comercio informal de “carne de monte”, ha contribuido de manera significativa a la reducción de las poblaciones faunísticas, pese a las acciones de control adelantadas por la autoridad ambiental (Corpocesar, 2023).

Finalmente, se construye el mapa de cobertura del suelo año 2026, conforme a la información analizado durante el desarrollo de la fase 1 y 2.



Figura 18. *Mapa final de cobertura y uso del suelo año 2026*



Fuente: Elaborado por los autores

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

El mapa de pérdidas y transformaciones de la cobertura vegetal sintetiza espacialmente estas dinámicas, mostrando con claridad las áreas donde la deforestación, la fragmentación y la conversión del bosque han sido más intensas, así como la relación entre dichas zonas y los principales frentes de intervención antrópica, al cual constituye una herramienta fundamental para comprender la magnitud del cambio ocurrido y para orientar acciones de manejo, restauración ecológica y conservación.

Finalmente, los resultados evidencian que la pérdida de cobertura vegetal en la Serranía del Perijá no responde a un único factor, sino a la interacción entre el cambio de uso del suelo, la presión sobre los recursos naturales y prácticas inadecuadas de aprovechamiento. Frente a este escenario, se hace indispensable fortalecer los procesos de ordenamiento ambiental, control y, especialmente, educación y sensibilización ambiental, como estrategias clave para reducir la presión sobre los ecosistemas y promover la recuperación de las áreas degradadas.

6.3 Propuesta de estrategias de conservación y manejo sostenible de la cobertura vegetal, basadas en los hallazgos del análisis y en las proyecciones del impacto del cambio climático en la región.

6.3.1: Identificación de buenas prácticas de manejo sostenible

Para la identificación de buenas prácticas de manejo sostenible, se realizó una revisión de experiencias de restauración ecológica, reforestación y conservación implementadas en zonas montañosas, subandinas y de frontera agrícola en Colombia y otros países de la región andina. Estas experiencias han demostrado ser efectivas en la

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

recuperación de coberturas vegetales, la conectividad ecológica y la adaptación al cambio climático.

Tabla 13. *Identificación de buenas prácticas*

Buena práctica	Descripción	Beneficios ambientales	Aplicabilidad en la Serranía del Perijá
Restauración ecológica pasiva	Protección de áreas degradadas para permitir la regeneración natural	Recuperación de cobertura vegetal y biodiversidad	Alta, especialmente en zonas con vegetación secundaria
Restauración ecológica activa	Siembra de especies nativas en áreas altamente degradadas	Aceleración de la recuperación del ecosistema	Media–Alta en zonas erosionadas
Sistemas agroforestales	Integración de árboles con cultivos y/o ganadería	Reducción de deforestación y mejora del suelo	Alta en áreas agrícolas y de pastoreo
Conservación de bosques remanentes	Protección legal y comunitaria de bosques primarios e intervenidos	Conservación de biodiversidad y regulación climática	Alta en zonas de frontera y áreas estratégicas

Educación ambiental comunitaria	Procesos de formación sensibilización	de Cambio y prácticas insostenibles	de Alta en todo el territorio
--	---------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------

Fuente: Elaboración propia

Entre las prácticas más relevantes se destacan la restauración pasiva y activa de áreas degradadas, el establecimiento de sistemas agroforestales, la protección de remanentes de bosque natural, la reconversión productiva hacia usos del suelo sostenibles y la participación activa de las comunidades locales en los procesos de conservación. Estas prácticas fueron seleccionadas por su viabilidad técnica, social y económica, y posteriormente adaptadas al contexto ambiental y cultural de la Serranía del Perijá.

6.3.2: Propuesta de estrategias de conservación

Con base en los resultados obtenidos del análisis multitemporal de la cobertura vegetal y la identificación de las principales dinámicas de transformación del territorio en la Serranía del Perijá, se formularon estrategias de conservación y manejo sostenible orientadas a mitigar la pérdida de cobertura vegetal, fortalecer la resiliencia de los ecosistemas y reducir la vulnerabilidad frente a los impactos del cambio climático. Estas estrategias integran criterios ecológicos, sociales e institucionales, y se fundamentan tanto en experiencias exitosas desarrolladas en regiones con condiciones ambientales similares como en las particularidades socioambientales del área de estudio.

A partir de las buenas prácticas identificadas, se formularon estrategias de conservación y manejo sostenible que promueven la articulación entre comunidades

locales, autoridades ambientales y productores agropecuarios. Estas estrategias buscan socializar los resultados del estudio, fortalecer la gobernanza ambiental y fomentar prácticas productivas compatibles con la conservación de la cobertura vegetal.

Estrategias propuestas

- **Restauración ecológica de áreas degradadas prioritarias:** Implementar procesos de restauración ecológica en zonas con alta pérdida de cobertura vegetal, priorizando corredores ecológicos y áreas con procesos erosivos activos, mediante la regeneración natural asistida y la siembra de especies nativas.
- **Fortalecimiento de sistemas productivos sostenibles:** Promover la reconversión de prácticas agropecuarias tradicionales hacia sistemas agroforestales y silvopastoriles que reduzcan la presión sobre el bosque, mejoren la productividad y aumenten la resiliencia frente a la variabilidad climática.
- **Protección y manejo comunitario de bosques remanentes:** Fomentar acuerdos de conservación voluntarios y esquemas de manejo comunitario para la protección de bosques primarios e intervenidos, especialmente en zonas estratégicas para la conectividad ecológica y la regulación hídrica.
- **Educación y sensibilización ambiental:** Desarrollar programas de educación ambiental dirigidos a comunidades locales y actores productivos, orientados a reducir prácticas como la deforestación, la cacería de fauna silvestre y el uso inadecuado del suelo.
- **Articulación institucional y participación social:** Fortalecer la coordinación entre autoridades ambientales, gobiernos locales y organizaciones comunitarias

para la implementación, seguimiento y evaluación de las estrategias de conservación propuestas.

Tabla 14. *Propuesta de estrategias de conservación y manejo sostenible*

Estrategia	Actores involucrados	Acciones principales	Impacto esperado
Restauración ecológica	Autoridades ambientales, comunidades	Reforestación con especies nativas, protección de áreas	Recuperación de cobertura vegetal
Sistemas agroforestales	Agricultores, entidades técnicas	Capacitación y asistencia técnica	Reducción de deforestación
Conservación comunitaria	Comunidades, autoridades locales	Acuerdos de conservación	Protección de bosques
Educación ambiental	Instituciones educativas, comunidades	Talleres y campañas	Cambio de prácticas insostenibles
Articulación institucional	Autoridades y organizaciones	Planeación y seguimiento	Gobernanza ambiental fortalecida

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. *Relación de las estrategias con el cambio climático*

Impacto del cambio climático	Estrategia asociada	Contribución a la adaptación
Aumento de temperatura	Restauración y reforestación	Regulación microclimática
Variabilidad de lluvias	Sistemas agroforestales	Mejora de la retención hídrica
Erosión del suelo	Restauración activa	Estabilización del suelo
Pérdida de biodiversidad	Conservación de bosques	Aumento de resiliencia ecológica

Fuente: Elaboración propia

Las estrategias propuestas constituyen una hoja de ruta para la conservación y el manejo sostenible de la cobertura vegetal en la Serranía del Perijá, integrando los resultados del análisis espacial con enfoques participativos y de adaptación al cambio climático. Su implementación permitirá no solo reducir la pérdida de cobertura vegetal, sino también fortalecer los medios de vida locales y la resiliencia de los ecosistemas frente a los escenarios climáticos futuros.

6.3.3: Formulación de un plan estratégico de manejo

Con base en los resultados del análisis multitemporal de la cobertura vegetal, la identificación de áreas críticas de pérdida y transformación, y las proyecciones asociadas al cambio climático en la Serranía del Perijá, se formuló un plan estratégico de manejo orientado a la conservación, restauración y uso sostenible de la cobertura vegetal. Este

plan integra acciones técnicas, sociales e institucionales, definiendo metas claras, responsables y un cronograma de implementación a corto, mediano y largo plazo.

El plan estratégico busca reducir la presión antrópica sobre los ecosistemas, fortalecer la resiliencia ecológica frente a la variabilidad climática y promover la participación activa de las comunidades locales en los procesos de gestión ambiental.

- **Objetivo general del plan estratégico**

Conservar y restaurar la cobertura vegetal de la Serranía del Perijá mediante acciones integrales de manejo sostenible, restauración ecológica y fortalecimiento comunitario, contribuyendo a la adaptación al cambio climático y a la reducción de la degradación ambiental.

Metas del plan estratégico

- Recuperar áreas degradadas con procesos de erosión y pérdida de cobertura vegetal.
- Conservar los remanentes de bosque primario e intervenido.
- Promover sistemas productivos sostenibles que reduzcan la deforestación.
- Fortalecer la educación ambiental y la gobernanza territorial.
- Incrementar la resiliencia de los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático.

Tabla 16. Plan estratégico de manejo de la cobertura vegetal

Línea estratégica	Acción concreta	Responsable	Indicador	Horizonte temporal
Restauración ecológica	Restauración activa y pasiva en zonas degradadas	Autoridad ambiental, comunidades	Hectáreas restauradas	Mediano plazo
Conservación de bosques	Protección de bosques primarios e intervenidos	Autoridad ambiental, juntas comunitarias	Hectáreas conservadas	Largo plazo
Producción sostenible	Implementación de sistemas agroforestales	Agricultores, entidades técnicas	Número de sistemas implementados	Mediano plazo
Educación ambiental	Programas de sensibilización comunitaria	Instituciones educativas, ONG	Personas capacitadas	Corto plazo
Gobernanza ambiental	Fortalecimiento de acuerdos comunitarios	Autoridades locales, comunidades	Acuerdos firmados	Corto– mediano plazo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Integración del plan estratégico con el cambio climático

Amenaza climática	Acción estratégica	Resultado esperado
--------------------------	---------------------------	---------------------------

Aumento de temperatura	de Reforestación con especies nativas	Regulación térmica local
Variabilidad de lluvias	Restauración de coberturas vegetales	Mayor retención hídrica
Incremento de erosión	Estabilización de suelos	Reducción de pérdida de suelo
Pérdida de biodiversidad	de Conservación de corredores ecológicos	Mayor resiliencia ecosistémica

Fuente: Elaboración propia

Cronograma general del plan estratégico

Tabla 18. *Cronograma del plan estratégico*

Fase	Actividades principales	Periodo
Corto plazo	Educación ambiental, acuerdos comunitarios	0–2 años
Mediano plazo	Restauración ecológica, agroforestería	2–5 años
Largo plazo	Conservación y monitoreo permanente	> 5 años

Fuente: Elaboración propia

Seguimiento y evaluación

El seguimiento del plan estratégico se realizará mediante indicadores ambientales y sociales, tales como el aumento de cobertura vegetal, la reducción de áreas degradadas y la participación comunitaria. Se propone el uso de herramientas de monitoreo espacial y la actualización periódica de mapas de cobertura vegetal para evaluar la efectividad de las acciones implementadas.

7. CONCLUSIONES

El diagnóstico de la cobertura vegetal permitió identificar una marcada heterogeneidad en los tipos de cobertura presentes en la Serranía del Perijá, sector Cesar. Los resultados evidenciaron la presencia de bosques primarios y bosques intervenidos, aunque en proporciones reducidas, concentrados principalmente en zonas de difícil acceso y cercanas al límite fronterizo con Venezuela. La cobertura dominante correspondió a vegetación secundaria (rastros altos y bajos), lo cual refleja procesos históricos de intervención antrópica, asociados principalmente a la expansión agropecuaria y al aprovechamiento forestal. Adicionalmente, se identificaron coberturas de herbazales naturales, cultivos, pastos y áreas mixtas de uso agropecuario, así como zonas erosionadas y cuerpos de agua.

El análisis multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010, 2020 y 2023 permitió identificar cambios significativos en la distribución y extensión de las coberturas vegetales. Se evidenció una disminución progresiva de las áreas de bosque primario y un aumento de la vegetación secundaria y de las coberturas agropecuarias, expresado tanto en hectáreas como en porcentajes del área total. Estos cambios reflejan procesos de fragmentación del paisaje, pérdida de continuidad ecológica y transformación del uso del suelo, los cuales se ven exacerbados por las condiciones de variabilidad climática, como alteraciones en los patrones de precipitación y aumento de la temperatura. El uso de índices de vegetación como el NDVI permitió corroborar la reducción del vigor de la

vegetación en determinadas áreas, evidenciando la presión combinada del cambio climático y las actividades humanas sobre los ecosistemas de la región.

A partir de los resultados obtenidos, se formularon estrategias de conservación y manejo sostenible orientadas a la protección de los remanentes de bosque natural, la restauración de áreas degradadas y la implementación de prácticas productivas sostenibles. Estas estrategias destacan la importancia de integrar a las comunidades locales, autoridades ambientales y actores productivos en la gestión del territorio, reconociendo su papel fundamental en la conservación de la cobertura vegetal. La propuesta de un plan estratégico de manejo constituye una herramienta clave para fortalecer la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático, reducir los procesos de degradación ambiental y promover un uso del suelo más compatible con la vocación natural del territorio. La articulación entre conservación, restauración y desarrollo sostenible se presenta como un enfoque indispensable para garantizar la sostenibilidad ambiental de la Serranía del Perijá.



8. RECOMENDACIONES

Para futuros estudios

- Ampliar el análisis multitemporal incorporando series históricas más largas que permitan evaluar tendencias de cambio a largo plazo.
- Integrar información climática detallada (precipitación, temperatura, eventos extremos) para fortalecer la relación entre cambio climático y dinámica de la cobertura vegetal.
- Complementar los análisis satelitales con trabajo de campo para validar las clasificaciones y evaluar la condición ecológica de los ecosistemas.
- Incluir estudios de biodiversidad que permitan relacionar los cambios de cobertura con la pérdida o recuperación de especies.

Para las autoridades y organismos competentes

- Fortalecer los procesos de control y vigilancia ambiental para reducir la deforestación y las prácticas de uso inadecuado del suelo.
- Implementar programas de restauración ecológica en zonas críticas de erosión y degradación.
- Promover incentivos para la adopción de sistemas productivos sostenibles, como la agroforestería y la ganadería silvopastoril.
- Desarrollar procesos continuos de educación ambiental y participación comunitaria orientados a la conservación de los recursos naturales.

BIBLIOGRAFIA

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Editorial Icaria.
- Armenteras, D., Espelta, J. M., Rodríguez, N., & Retana, J. (2019). Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies. *Global Environmental Change*, 54, 109–119.
- Armenteras, D., Rudas, G., Rodríguez, N., Sua, S., & Romero, M. (2014). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators*, 38, 204–215. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.11.007>
- Armenteras, D., Rudas, G., Rodríguez, N., Sua, S., & Romero, M. (2014). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators*, 38, 204–215. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.11.007>
- Avellaneda-Torres, L. M., Franco, A. M., & Rangel-Ch., J. O. (2017). *Diversidad vegetal y estructura de la Serranía del Perijá (Colombia)*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Cárdenas, L., & Rudas, G. (2019). *Deforestación y cambio climático en la región Caribe colombiana*. Fundación Natura.
- Chuvieco, E. (2016). *Fundamentals of satellite remote sensing*. CRC Press.
- Conservación Internacional Colombia. (2007). *Caracterización ambiental de la Serranía del Perijá*.
- CorpoCesar. (2016). *Diagnóstico ambiental del departamento del Cesar*. Corporación Autónoma Regional del Cesar.

CorpoCesar. (2016). *Diagnóstico ambiental del departamento del Cesar*. Corporación Autónoma Regional del Cesar.

Corpoguajira. (2023). *Caracterización climática y ambiental de la Serranía del Perijá*.

Rangel, J. O., & Carvajal, L. F. (2009). *Climatología de la región Caribe colombiana*.

IDEAM. (s. f.). *Bases de datos climatológicas nacionales*.

Corpoguajira. (2023). *Documento técnico de zonificación ambiental y caracterización biofísica de la Serranía del Perijá*. Corporación Autónoma Regional de La Guajira.

Etter, A., McAlpine, C., Phinn, S., Pullar, D., & Possingham, H. (2008). Unplanned land clearing of Colombian rainforests: spreading like disease? *Landscape and Urban Planning*, 87(3), 213–224. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.05.002>

Etter, A., McAlpine, C., Phinn, S., Pullar, D., & Possingham, H. (2008). Unplanned land clearing of Colombian rainforests: spreading like disease? *Landscape and Urban Planning*, 87(3), 213–224. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.05.002>

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487–515.

FAO & UNEP. (2020). *The State of the World's Forests 2020*. FAO & UNEP.

FAO & UNEP. (2020). *The State of the World's Forests 2020*. FAO & UNEP.

FAO. (2016). *State of the World's Forests 2016*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2020). *The State of the World's Forests 2020: Forests, biodiversity and people*.

FAO.

FAO. (2020). The State of the World's Forests 2020: Forests, biodiversity and people.

FAO.

García, A., & Rangel, J. (2021). Cambios en la cobertura del suelo y su impacto en ecosistemas andinos: estudio de caso en la Serranía del Perijá. *Revista Colombiana de Geografía*, 30(2), 45–62.

García, A., & Rangel, J. (2021). Cambios en la cobertura del suelo y su impacto en ecosistemas andinos: estudio de caso en la Serranía del Perijá. *Revista Colombiana de Geografía*, 30(2), 45–62.

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23.

IDEAM. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2018). *Atlas de ecosistemas y cobertura vegetal de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2018). *Atlas de ecosistemas y cobertura vegetal de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

- IDEAM. (2019). Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia 2018–2019. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2022). Informe de deforestación en Colombia 2021. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2022). Informe de deforestación en Colombia 2021. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IGAC. (2014). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Cesar*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- IGAC. (2014). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Cesar*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- IGAC. (2023). Cartografía base y coberturas de la tierra, escala 1:100.000. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- INGEOMINAS. (1983). *Geología del terreno Perijá*. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Minero.
- INGEOMINAS. (2002). *Mapa geológico del departamento de La Guajira*. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Minero.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Lo, C. P., & Yeung, A. K. W. (2019). Concepts and techniques of geographic information systems. Pearson.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858.
- ONIC. (2020). Territorios indígenas y conservación en la Serranía del Perijá. Organización Nacional Indígena de Colombia.
- Pabón-Caicedo, J. D., Eslava-Ramírez, J. A., & Gómez-Torres, R. (2012). Generalidades de la variabilidad climática en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(139), 143–165.
- Pabón-Caicedo, J. D., Eslava-Ramírez, J. A., & Gómez-Torres, R. (2012). Generalidades de la variabilidad climática en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(139), 143–165.
- Pabón-Caicedo, J., Arias, P., & Carrillo, A. (2020). Impactos del cambio climático en los ecosistemas de montaña en Colombia. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 24(47), 1–18.
- Pabón-Caicedo, J., Arias, P., & Carrillo, A. (2020). Impactos del cambio climático en los ecosistemas de montaña en Colombia. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 24(47), 1–18.
- Pérez, L., Gómez, C., & Suárez, M. (2021). Servicios ecosistémicos y conservación en la Serranía del Perijá: Retos y oportunidades. *Ecología Aplicada*, 20(1), 55–68.

- Pérez, L., Gómez, C., & Suárez, M. (2021). Servicios ecosistémicos y conservación en la Serranía del Perijá: Retos y oportunidades. *Ecología Aplicada*, 20(1), 55–68.
- Primack, R. B., & Corlett, R. (2010). *Tropical rainforests: An ecological and biogeographical comparison*. Wiley-Blackwell.
- Rangel-Ch., J. O. (2015). *La biodiversidad de Colombia: riqueza y distribución*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, 351, 309.
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282–292.
- Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS*, 104(52), 20666–20671.
- UNEP. (2019). *Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People*. Cambridge University Press.

