

DINÁMICA DE LA COBERTURA TERRESTRE EN LA CUENCA DEL RÍO PAO, COJEDES, VENEZUELA**DYNAMICS OF LAND COVER IN THE PAO RIVER BASIN, COJEDES, VENEZUELA**Argel García¹, Luis Rumbo ¹¹UNELLEZ**Para correspondencia:** cctopam@gmail.com**Recibido:** 17/10/2025 **Admitido:** 10/11/2025**RESUMEN**

La dinámica reciente de cobertura/uso del suelo en la Cuenca del Río Pao (CRP) evidencia procesos de degradación territorial con implicaciones ecosistémicas críticas. Las principales transiciones incluyen la conversión de bosques a pastizales (1.274 ha) y cultivos (232 ha), así como la urbanización sobre pastizales (3.760 ha), generando fragmentación forestal, pérdida de biodiversidad y reducción de servicios ecosistémicos. La transformación de humedales (~44 ha) hacia cultivos y otras tierras compromete la regulación hídrica, mientras el incremento de asentamientos (5.181 ha) refleja una expansión urbana no planificada. Los indicadores de degradación más relevantes son la pérdida neta de bosques, la reducción de humedales (solo 1.075 ha conservadas), el aumento de “otras tierras” (5.557 ha posiblemente erosionadas) y el sellado del suelo por urbanización. Estas transformaciones disminuyen la capacidad de secuestro de carbono, aumentan la vulnerabilidad climática y fragmentan el paisaje, afectando la conectividad ecológica. En este contexto, se recomienda priorizar la restauración ecológica en zonas de transición bosque-pastizal y humedales, implementar monitoreo comunitario, aplicar zonificación participativa y promover prácticas agroecológicas con bioinsumos. El modelado espacial mediante QGIS y Earth Map permitirá identificar zonas críticas y orientar intervenciones. La relevancia de estos hallazgos se acentúa ante el avance del cambio climático. La gestión sostenible del suelo en la CRP es esencial para mitigar impactos climáticos y orientar los planes de recuperación en Cojedes.

Palabras clave: Cobertura terrestre, Earth Map, cuenca del río Pao.

ABSTRACT

The recent dynamics of land cover/use in the Pao River Basin (CRP) reveal processes of territorial degradation with critical ecosystem implications. The main transitions include the conversion of forests to pastures (1,274 ha) and crops (232 ha), as well as urbanization over pastures (3,760 ha), resulting in forest fragmentation, biodiversity loss, and reduction of ecosystem services. The transformation of wetlands (~44 ha) into cropland and other lands compromises water regulation, while the increase in settlements (5,181 ha) reflects unplanned urban expansion. The most relevant degradation indicators are net forest loss, reduction of wetlands (only 1,075 ha conserved), the increase of 'other lands' (5,557 ha possibly eroded), and soil sealing due to urbanization. These transformations reduce the carbon sequestration capacity, increase climate vulnerability, and fragment the landscape, affecting ecological connectivity. In this context, it is recommended to prioritize ecological restoration in forest-grassland transition areas and wetlands, implement community monitoring, apply participatory zoning, and promote agroecological practices with bioinputs. Spatial modeling using QGIS and Earth Map will allow the identification of critical areas and guide interventions. The relevance of these findings is heightened in the face of advancing climate change. Sustainable soil management in the CRP is essential to mitigate climate impacts and guide recovery plans in Cojedes.

Keywords: Land cover, Earth Map, Pao River basin.

Introducción

Tras la adopción de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y la proclamación del Decenio de las Naciones Unidas para los Desiertos y la Lucha contra la Desertificación (2010–2020), en septiembre de 2015 la comunidad internacional consensuó la “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. Este marco global incorpora 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas específicas (Naciones Unidas, 2018). En particular, el ODS 15 exhorta a los Estados a conservar, restaurar y fomentar el uso responsable de los ecosistemas terrestres, implementar una gestión forestal sostenible, combatir la desertificación, frenar y revertir la degradación de los suelos, y detener la pérdida de biodiversidad.

La meta 15.3 se orienta hacia la erradicación de la desertificación, la recuperación de tierras y suelos deteriorados (incluidos aquellos afectados por sequías, inundaciones y procesos de desertificación), con el propósito de alcanzar, para el año 2030, un equilibrio en la degradación del suelo a escala global. Para evaluar el progreso en esta meta, se ha establecido como indicador principal la “proporción de tierras degradadas respecto al total de superficie terrestre”. El monitoreo de este indicador se realiza mediante la integración de tres subcomponentes: la cobertura vegetal, la

productividad del suelo y las reservas de carbono tanto en la superficie como en el subsuelo.

En el contexto venezolano, es fundamental generar investigaciones científicas orientadas a la degradación de los suelos, tanto en cuencas hidrográficas de relevancia nacional, regional y local, como en zonas sujetas a regímenes de administración especial (ABRAES). Esta producción de conocimiento técnico busca aportar al cumplimiento de los compromisos establecidos en la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 15, con énfasis en la meta 15.3, que promueve la restauración de tierras degradadas y la lucha contra la desertificación.

La cuenca del río Pao (CRP), ubicada entre los estados Cojedes y Carabobo, constituye un ecosistema estratégico para la seguridad hídrica, la producción agropecuaria y la resiliencia ecológica del centro-occidente venezolano. Sin embargo, en las últimas décadas, este territorio ha sido objeto de una creciente presión antrópica que se manifiesta en la degradación de suelos, pérdida de cobertura vegetal, alteración de los ciclos hidrológicos y fragmentación de hábitats. Esta situación se agrava por la limitada articulación entre políticas públicas, capacidades técnicas locales y mecanismos de monitoreo ambiental, lo que dificulta la implementación de estrategias de gestión sustentable adaptadas a las realidades del territorio.

En este contexto, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 (ODS 15), centrado en la protección de los ecosistemas terrestres ofrece un marco normativo y técnico para orientar acciones de restauración, conservación y uso racional de los recursos naturales. Particularmente, los indicadores 15.3.1 (proporción de tierras degradadas en comparación con la superficie total) y 15.4.2 (índice de cobertura verde de las montañas y proporción de tierras montañosas degradadas) permiten evaluar el estado de salud de los ecosistemas y establecer metas verificables para su recuperación (UNCCD, 2022; ONU, 2015).

Por lo expuesto, se seleccionó como unidad de estudio. Bajo estas premisas, surgió la inquietud de evaluar la dinámica de la cobertura del suelo en la CRP, estado Cojedes, Venezuela; para apoyar la medición de los indicadores del ODS 15.

Marco Metodológico

Unidad de estudio

El estudio se realizó en la CRP. El río Pao es un afluente de la cuenca del Orinoco que recorre los estados Carabobo, Cojedes y Guárico. En Cojedes, atraviesa zonas de transición entre piedemonte montañoso y los Llanos occidentales, especialmente en los municipios Ricaurte y Lima Blanco. Su curso medio y alto está vinculado al embalse El Pao, un reservorio estratégico para abastecimiento hídrico y regulación ambiental. Entre sus

principales características hidrográficas se tiene: longitud total 268 km, altitud en el nacimiento 370 m (Embalse Cachinche, Carabobo), altitud en desembocadura 62 m (Río Portuguesa, Guárico). Subcuencas relevantes en Cojedes: Quebradas El Tigre, La Galera, Paso La Canoa, y afluentes menores que drenan hacia el embalse El Pao.

Usos del suelo y ecosistemas: predominan sistemas agropecuarios extensivos, con presencia de sabanas, bosques deciduos y relictos de vegetación riparia. Áreas de importancia ecológica: Galeras del Pao, Fila Colmenares, Cerro Paraima. Se reconocen zonas de recarga hídrica y corredores biológicos que conectan con la región montañosa de Nirgua y los Llanos de Portuguesa. Las principales presiones y amenazas son: Deforestación por expansión agrícola y ganadera, Sedimentación acelerada en el embalse El Pao, Contaminación difusa por agroquímicos y aguas residuales no tratadas. Vulnerabilidad climática: variabilidad en caudales, eventos extremos, pérdida de cobertura vegetal. (Paredes, 2009).

Datos utilizados por Earth Map para análisis de cobertura terrestre

1. Imágenes satelitales base

- **Landsat (NASA/USGS):** Resolución de 30 m, series temporales desde 1984.
- **Sentinel-2 (ESA):** Resolución de 10–20 m, alta frecuencia temporal desde 2015.

- **MODIS (NASA):** Resolución de 250–500 m, útil para análisis regionales y temporales.

2. Mapas de cobertura terrestre

- **Copernicus Global Land Cover (100 m):** Clasificación anual de tipos de cobertura (bosques, cultivos, pastizales, agua, urbano, etc.).
- **ESA WorldCover (10 m):** Alta resolución, útil para zonas rurales y urbanas.
- **MODIS Land Cover Type (MCD12Q1):** Clasificación anual según el esquema IGBP.

3. Indicadores derivados

- **NDVI (Índice de Vegetación Normalizado):** Para evaluar salud vegetal y cambios en cobertura.
- **EVI (Índice de Vegetación Mejorado):** Más sensible en zonas con alta biomasa.
- **Índice de Humedad del Suelo:** Derivado de sensores como SMAP o Sentinel-1.

4. Datos auxiliares

- **DEM (Modelos de Elevación Digital):** SRTM, ASTER, ALOS para análisis topográficos.
- **Datos climáticos:** CHIRPS (precipitación), ERA5 (temperatura, humedad).

- **Datos de uso del suelo:** FAO Global Agro-Ecological Zones (GAEZ), MapSPAM.

Métodos de Earth Map para análisis de cobertura terrestre

1. Procesamiento de imágenes satelitales multitemporales

- Utiliza series históricas de **Landsat**, **Sentinel-2**, y **MODIS**.
- Aplica algoritmos para corrección atmosférica, composición de mosaicos y detección de cambios.
- Permite comparar cobertura en distintos años o estaciones.

2. Clasificación de cobertura del suelo

- Emplea sistemas estandarizados como el **LCCS (Land Cover Classification System)** de la FAO.
- Ofrece clasificación supervisada y no supervisada:
 - **Supervisada:** basada en muestras de entrenamiento definidas por el usuario.
 - **No supervisada:** agrupación automática por similitud espectral.

3. Análisis basado en objetos y píxeles

- **OBIA (Object-Based Image Analysis):** segmenta imágenes en objetos homogéneos para análisis más precisos.
- **Pixel-based analysis:** útil para grandes extensiones y series temporales.

4. Generación de indicadores biofísicos

- Índices como **NDVI**, **EVI**, **Índice de humedad**, **Índice de quemas**, entre otros.
- Permite evaluar salud vegetal, degradación, y dinámica de ecosistemas.

5. Evaluación de precisión y validación

- Protocolos para verificación de resultados con datos de campo o fuentes externas.
- Matrices de confusión, coeficiente Kappa, y validación cruzada.

6. Sistemas de referencia y leyendas normalizadas

- Adopta normas **ISO** para leyendas de cobertura del suelo.
- Compatible con sistemas nacionales y regionales (ej. CORINE, MapBiomass).

7. Análisis estadístico y visualización

Tabla 1.

- Estadísticas agregadas por área de interés (AOI): promedio, tendencia, desviación.
- Visualización en mapas interactivos, gráficos temporales y exportación de resultados.

8. Enfoque participativo y accesible

- No requiere conocimientos previos en teledetección o SIG.
- Diseñada para ser usada por técnicos, investigadores, comunidades y tomadores de decisión.

Resultados y discusión

1. Dinámica de la transición cobertura/uso de la tierra en la CRP

Cuando se revisa como es la dinámica de la transición cobertura/uso de la tierra se aprecian transformaciones significativas las cuales se muestran en la tabla 1.

Cambio	Área (ha)	Implicaciones
Bosques → Pastizales	1.274	Fragmentación forestal, pérdida de biodiversidad, menor capacidad de infiltración y secuestro de carbono.
Bosques → Cultivos	232	Deforestación para agricultura, riesgo de erosión y agotamiento de suelos.
Pastizales → Asentamientos	3.760	Urbanización sobre suelos productivos, sellado del suelo, pérdida de capacidad de recarga hídrica.
Cultivos → Pastizales	2.238	Posible abandono agrícola o transición hacia ganadería extensiva, con riesgo de compactación y sobrepastoreo.
Humedales → Cultivos/Otras tierras	~44	Pérdida de zonas de regulación hídrica, mayor vulnerabilidad a inundaciones.

Cambio	Área (ha)	Implicaciones
Incremento de asentamientos	5.181	Expansión urbana sin planificación, presión sobre ecosistemas y servicios ambientales.

Fuente: García y Rumbo (2025)

Un análisis de la tabla 1, permite afirmar que existen los siguientes indicadores de degradación:

- Pérdida neta de bosques: Aunque se conservan 88.995 ha, se observa conversión hacia usos menos resilientes.
- Reducción de humedales: Solo 1.075 ha conservadas, con pérdidas hacia cultivos y otras tierras.
- Incremento de “otras tierras”: 5.557 ha, posiblemente áreas degradadas, erosionadas o sin cobertura vegetal definida.
- Sellado del suelo: Expansión de asentamientos sobre pastizales y bosques, afectando la capacidad de infiltración y regulación térmica.

Es plausible comentar, que estos resultados tienen unas implicaciones ecosistémicas las cuales son:

- Disminución de servicios ecosistémicos: Menor capacidad de secuestro de carbono, regulación hídrica y hábitat para fauna.
- Mayor vulnerabilidad climática: Cambios en cobertura afectan la

resiliencia frente a sequías, inundaciones y eventos extremos.

- Fragmentación del paisaje: Reducción de conectividad ecológica entre relictos forestales y cuerpos de agua.

Bajo este escenario se sugieren las siguientes recomendaciones estratégicas:

- Restauración ecológica prioritaria: En zonas de transición bosque–pastizal y humedales degradados.
- Monitoreo comunitario: Integrar actores locales en seguimiento de cambios y recuperación de suelos.
- Zonificación participativa: Redefinir usos del suelo en función de capacidad de carga y conservación.
- Incorporación de bioinsumos y agroecología: Para revertir degradación en cultivos y pastizales.
- Modelado espacial: Aplicar QGIS y Earth Map para identificar zonas críticas y priorizar intervenciones.

Es evidente que investigaciones de este tipo adquieren una relevancia creciente en el contexto actual, debido a los múltiples desafíos que el cambio climático impone tanto a los ecosistemas como a las sociedades humanas. En

esta línea, la Agencia Europea de Medio Ambiente destaca que el almacenamiento de carbono orgánico en los suelos (COS) y su evolución temporal constituyen una preocupación ambiental prioritaria. Además, advierte que la transformación de ecosistemas naturales en sistemas agrícolas conlleva una pérdida significativa de COS, lo que se traduce en emisiones adicionales de gases de efecto invernadero, intensificando el calentamiento global y agravando el cambio climático.

En el contexto europeo, las investigaciones más recientes confirman que la restauración de ecosistemas desempeña un papel clave en la captura de carbono atmosférico. Un ejemplo destacado es la rehabilitación de turberas, que ha resultado eficaz para contrarrestar la pérdida de carbono orgánico provocada por su explotación energética. Asimismo, transformar terrenos agrícolas en pastizales se presenta como una estrategia eficiente para aumentar el contenido de carbono en suelos cultivables, según lo indica el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea (UICN, 2022).

Sin embargo, las dinámicas territoriales recientes muestran una tendencia opuesta. Entre 1990 y 2012, Europa experimentó una disminución en la extensión de tierras agrícolas, cultivos permanentes, pastizales y vegetación seminatural. En particular, el proceso de urbanización entre 1990 y 2006 implicó la

conversión de suelos productivos en infraestructuras urbanas, vías y edificaciones, lo que ocasionó una pérdida del 0,81 % de la capacidad agrícola. Estas transformaciones suelen implicar el sellado del suelo con materiales impermeables, lo que no solo afecta la seguridad alimentaria, sino también reduce la capacidad del territorio para retener carbono orgánico, mitigar inundaciones y regular la temperatura ambiental (UICN, citado).

Ante tales evidencias, puede comentarse que, si se gestionan correctamente los recursos naturales en la CRP, en este caso el suelo, de manera especial, se puede lograr una reducción aceptable de los gases de efecto invernadero y a adaptarnos a los peores efectos del cambio climático. En cambio, si no se presta la debida atención al recurso suelo, se pueden agravar rápidamente los problemas relacionados con el cambio climático. Sin duda alguna, todas estas ideas cobran un interés supremo a la hora de abordar los diferentes planes de recuperación de cuencas en el estado Cojedes.

En el mismo contexto, y tomando en consideración el tamaño de la cuenca los resultados obtenidos deben tomarse con cierta cautela a la hora de elaborar propuestas para la recuperación de la cuenca, haciendo énfasis en tratar de recuperar aquellas zonas de alta pendiente y que son protectoras de los principales tributarios del río Pao.

Referencias

- Naciones Unidas (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf. [Consulta: 2022, febrero 23]
- Paredes, T., F. (2009). Nociones Elementales de la Climatología e Hidrología del estado Cojedes. Publicaciones del Área de Estudios de Postgrado – Serie Investigación. UNELLEZ, San Carlos, Cojedes - Venezuela
- Sims, N. C., Green, C., Newnham, G. J., England, J. R., Held, A., Wulder, M. A., & McKenzie, N. (2017). Good practice guidance. SDG indicator 15.3.1: proportion of land that is degraded over total land area. In United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany
- Trends.Earth. Conservación Internacional. Disponible en línea en: <http://trends.earth>. 2018. [Consulta: 2022, febrero 23]
- Grupo de Trabajo Científico para el Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2022). Restauración de los ecosistemas basada en la ciencia para la década de 2020 y más allá. Gland, Suiza: UICN