



Artículo de Investigación / *Research Article*

## EVOLUCIÓN DE LA COBERTURA DE SUELO EN EL ASENTAMIENTO BELEN, DISTRITO DE TACUARAS, DEPARTAMENTO DE ÑEEMBUCÚ, PARAGUAY

*Soil cover dynamics in the Belen Settlement, Tacuaras District, Ñeembucú Department, Paraguay.*

Claudio Manuel Morinigo Ortiz<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0007-5040-7393>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Pilar, Pilar, Paraguay

[claudiomorinigo8@gmail.com](mailto:claudiomorinigo8@gmail.com)

### INFORMACIÓN SOBRE ARTÍCULO

*Palabras Clave:*

*Cobertura del suelo*

*Cambios*

*Transición*

*Ganancias*

*Pérdidas*

*Keywords:*

*Soil cover*

*Changes*

*Transition*

*Gains*

*Losses*

*Historial del Artículo*

Fecha de Recepción: 29/12/2025

Fecha de Aprobación: 28/05/2026

Fecha de Publicación: 04/06/2026

Área del conocimiento: Ciencias Sociales

### RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar los cambios en la cobertura del suelo ocurridos en el asentamiento Belén, Departamento de Ñeembucú, a través de un análisis multitemporal para el periodo 1995-2022, identificando las trayectorias de cambio, la transición de la cobertura, la persistencia, ganancia y pérdidas y la estructura interna de los bosques. A los efectos del estudio, se aplica un enfoque cuantitativo con un diseño longitudinal de tendencia, empleando técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica para el análisis de datos de Mapbiomas. Dicha metodología permite cuantificar las transiciones, ganancias, pérdidas y persistencia de las distintas clases de cobertura. Los resultados evidencian una transformación crítica del paisaje, que se caracteriza por la reducción de la cobertura dominante de pastizales inundables. Esta pérdida es compensada por una expansión de pastizales secos e incremento de leñosas inundables, lo que indica un proceso concurrente de deshumectación del paisaje y de sucesión ecológica. Se constata la existencia de una presión antrópica directa, manifestada en la deforestación de leñosas cerradas y la expansión de coberturas de uso productivo. Se concluye que la dinámica observada es impulsada por la combinación de una alteración del régimen hidrológico y la intensificación del uso del suelo, factores que comprometen la sostenibilidad del ecosistema, lo que pone de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de gestión adaptativa, que contemplen la conservación de los humedales remanentes y el fomento de sistemas productivos sostenibles.

### ABSTRACT

This study aims to evaluate land cover changes in the Belén settlement, Ñeembucú Department, through a multi-temporal analysis for the period 1995–2022. The analysis identifies change trajectories, land cover transitions, persistence, gains and losses, and the internal structure of the forests. A quantitative approach with a longitudinal trend design is used, employing remote sensing techniques and Geographic Information Systems (GIS) for the analysis of Mapbiomas data. This methodology allows for the quantification of transitions, gains, losses, and persistence of different land cover classes. The results reveal a critical landscape transformation, characterized by a reduction in the dominant cover of floodplain grasslands. This loss is offset by an expansion of dry grasslands and an increase in floodplain woody vegetation, indicating a concurrent process of landscape dehumidification and ecological succession. The existence of direct anthropogenic pressure is evident, manifested in the deforestation of dense woodlands and the expansion of land use for production. It is concluded that the observed dynamics are driven by a combination of altered hydrological regimes and intensified land use, factors that compromise the sustainability of the ecosystem. This highlights the need to implement adaptive management strategies that include the conservation of remaining wetlands and the promotion of sustainable production systems.

Autor de correspondencia

Email: [claudiomorinigo8@gmail.com](mailto:claudiomorinigo8@gmail.com) (Claudio Manuel Morinigo Ortiz)

<https://doi.org/10.70833/rseisa20item797>

Conflictos de Interés: Los autores declaran no tener conflicto de interés de ningún tipo.

Este es un artículo de acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY. Licencia <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Citación recomendada: Morinigo Ortiz, C. M. (2026). Evolución de la cobertura de suelo en el asentamiento Belén, Distrito de Tacuaras, Departamento de Ñeembucú, Paraguay. Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico (Encarnación), 20(20): e2026014

## Introducción

Los cambios en la cobertura del suelo representan uno de los impulsores más significativos de la transformación ambiental a escala global, con profundas implicaciones para la salud ecosistémica, la resiliencia climática y la seguridad alimentaria.

Al respecto, dichos procesos, impulsados por la interacción entre factores naturales y presiones antrópicas, alteran de manera irreversible la estructura y función de los paisajes, afectando particularmente a ecosistemas frágiles como humedales y bosques (Tonini et al., 2023; Yaseen et al., 2024).

En efecto, la conversión de ecosistemas naturales hacia usos agrícolas y urbanos ha alcanzado magnitudes sin precedentes. Se estima que el 80% de la pérdida de bosques tropicales se relaciona directamente con la expansión de la frontera agrícola, generando impactos en cascada sobre la biodiversidad, los ciclos hidrológicos y la salud del suelo (Hasanah et al., 2023).

En este sentido, la salud del suelo emerge como un indicador crítico para la evaluación de estas consecuencias, ya que sustenta funciones ecosistémicas clave: el almacenamiento de carbono, la regulación hídrica y el soporte de la biodiversidad (Grover et al., 2024). Las alteraciones en sus propiedades, como la reducción de hasta un 83% en materia orgánica, aceleran los procesos de degradación (Hasanah et al., 2023).

Estas transformaciones resultan particularmente críticas en sistemas de humedal, atendiendo a su papel fundamental en la recarga de acuíferos, la mitigación de inundaciones y como hábitat para especies especializadas (Palaniyandi & Mahato, 2024). En el contexto sudamericano, los humedales del Gran Chaco y la Cuenca del Plata enfrentan presiones similares, con consecuencias aún no completamente cuantificadas (Rahayu et al., 2023).

Ante este panorama, el monitoreo espacio-temporal mediante teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) se vuelve indispensable. Estas herramientas permiten cuantificar ganancias y pérdidas de cobertura, analizar trayectorias de cambio y evaluar patrones de fragmentación, proporcionando así una base científica para la toma de decisiones (Tonini et al., 2023; Krivoguz, 2024).

Por otra parte, ciertos enfoques innovadores como el uso de redes neuronales convolucionales (CNN) han demostrado mejorar la discriminación de clases complejas, tales como los pastizales inundables y las leñosas higrófilas, que son cruciales para la caracterización de ecosistemas de humedal (Krivoguz, 2024; Pimentel et al., 2022).

El presente estudio aborda esta necesidad en el asentamiento Belén (Departamento de Ñeembucú, Paraguay), que se constituye como un área representativa de los humedales del Paraguay Oriental.

El objetivo del trabajo se centra en evaluar los cambios producidos en la cobertura del suelo en el asentamiento Belén, Departamento de Ñeembucú, a través de un análisis multitemporal para el periodo 1995-2022; para el efecto se busca caracterizar las trayectorias de cambios, la transición de la cobertura, la persistencia, ganancia y pérdidas y la estructura interna de los bosques.

Cabe resaltar que este trabajo busca generar información de base para la gestión sostenible de los humedales en Paraguay. Para ello, se integran metodologías validadas en contextos similares, aportando evidencia sobre los impactos de la transformación antrópica en ecosistemas frágiles (Guo et al., 2024; Aguirre-Calderón et al., 2024).

## **Metodología**

El presente trabajo se fundamenta en un enfoque de investigación cuantitativo, puesto que busca la valoración y el análisis, por medios estadísticos, de los cambios en la cobertura del suelo a través de datos geoespaciales.

El enfoque, facilita la identificación detallada de cambios y tendencias en áreas urbanizadas y ecosistemas naturales, permitiendo un análisis integral del modelo espacial (Krivoguz, 2024).

El alcance de la investigación es de carácter descriptivo-correlacional. El análisis descriptivo es un enfoque esencial para los estudios ambientales, donde los datos de teledetección se pueden utilizar para monitorear los cambios en el uso del suelo, la cubierta vegetal y otros parámetros ecológicos a lo largo del tiempo (Farfán Pimentel et al., 2022).

El análisis del terreno, que se lleva a cabo mediante el empleo de datos de teledetección, entre los que se cuentan los modelos digitales de elevación y las imágenes Landsat, facilita una evaluación detallada de aspectos tales como la topografía, la vegetación, así como el uso y la cobertura del suelo (Oruonye et al., 2022).

En consecuencia, la información así obtenida reviste una importancia fundamental para la planificación del desarrollo sostenible, la exploración de recursos naturales y las evaluaciones concernientes a los riesgos ambientales.

La investigación sobre uso del suelo y cambio de cobertura es efectivamente correlacional, ya que enfatiza transiciones específicas entre clases de uso de suelo y tipos de cobertura terrestre (Tonini et al., 2023).

Además, el trabajo adopta una vertiente longitudinal de tendencia, el cual permite examinar la evolución de

las coberturas del suelo en el asentamiento Belén a lo largo de un periodo definido.

El aspecto longitudinal de tendencia se emplea para analizar los cambios del uso de suelo o cobertura terrestre, influenciadas por la urbanización, la industrialización y la expansión agrícola (Palaniyandi & Mahato, 2024).

La población, en el contexto que implica la naturaleza de la presente investigación, se define como la totalidad de las unidades espaciales (píxeles) que componen el área geográfica de interés durante el período temporal completo del estudio, de 27 años, que corresponde al asentamiento Belén, en una superficie en torno a 2.300 hectáreas.

El enfoque metodológico para abordar los objetivos se centra en el uso de técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se recurre al análisis de series temporales de imágenes satelitales, utilizados los brindados por programas del satélite Landsat debido a su extenso archivo histórico y su idoneidad para estudios de cobertura terrestre multitemporales (Rodríguez-Rosales et al., 2024).

Los datos de las clases de cobertura del suelo fueron obtenidos del site Mapbiomas Paraguay, <https://paraguay.mapbiomas.org>, específicamente de la colección 2.0, datos que presentan una resolución espacial de 30 metros, derivados de un mosaico de imágenes de los satélites Landsat, utilizando el Google Earth Engine, considerando el municipio de Tacuaras. Posteriormente, fue recortada para el área específica del Asentamiento Belén. Para caracterizar las alteraciones de las clases de cobertura del suelo fueron utilizadas mapas e índices, empleando el software Python 3.1. 1.

Mapa Espacial de Cobertura del Suelo: La metodología para su creación comienza con el filtrado del conjunto de datos completo para aislar exclusivamente los registros (puntos con coordenadas

longitude, latitude y clase) correspondientes al año en análisis. Posteriormente, estos puntos se visualizan mediante un gráfico de dispersión (scatter plot), donde la posición de cada punto en el plano se define por sus coordenadas geográficas. A cada punto se le asigna un color específico según su código de clase (clase), utilizando una paleta de colores predefinida que se corresponde con la leyenda oficial de MapBiomias para facilitar la identificación visual. Para simular una apariencia de raster o cuadrícula continua, se utilizan marcadores cuadrados de tamaño reducido. Luego, se añaden los elementos cartográficos esenciales para su interpretación: un título descriptivo, etiquetas en los ejes de coordenadas y una leyenda que asocia de forma explícita cada color con el nombre de la clase de cobertura correspondiente.

**Matriz de Transición de Cobertura del Suelo:** La metodología para su construcción se basa en un análisis de tabulación cruzada de los datos espaciales. Primero, los datos, originalmente en formato de lista de coordenadas, se reestructuran para que cada punto geográfico único (longitude, latitude) tenga en una misma fila su clase de cobertura correspondiente para el año inicial (1995) y el año final (2022). A continuación, se realiza una tabulación cruzada para contar el número de puntos para cada posible combinación de transición. Formalmente, cada celda  $M_{ij}$  de la matriz se calcula como la cantidad total de píxeles que pertenecían a la clase  $i$  en el tiempo  $t_1$  y a la clase  $j$  en el tiempo  $t_2$ , según la fórmula:

$$M_{ij} = |\{p | C(p, t_1) = i \wedge C(p, t_2) = j\}|$$

..donde  $p$  es cada coordenada única,  $C(p, t)$  es la clase del píxel  $p$  en el tiempo  $t$ , con  $t_1 = 2016$  y  $t_2 = 2022$ .

Esta matriz de conteos de píxeles se representa visualmente como un mapa de calor, donde la intensidad del color de cada celda es directamente proporcional al valor numérico de  $M_{ij}$ , permitiendo una rápida identificación de las transiciones más y menos frecuentes. La diagonal de la matriz ( $i=j$ )

muestra la cantidad de píxeles que permanecieron estables en su clase durante el período.

**Análisis de Ganancias, Pérdidas y Persistencia:** El análisis se fundamenta en la matriz de transición de áreas  $M$ , donde cada elemento  $M_{ij}$  representa la superficie en hectáreas que transitó de la clase inicial  $i$  (en 1995) a la clase final  $j$  (en 2022). A partir de esta matriz, se calculan tres métricas clave para cada clase: 1) la Persistencia ( $P_i$ ), que es el área que no cambió de clase y corresponde a los elementos de la diagonal de la matriz ( $P_i = M_{i,i}$ ); 2) las Pérdidas ( $L_i$ ), que representan el área total de la clase  $i$  en 1995 que se convirtió en cualquier otra clase para 2022, calculada como la suma de la fila de la clase menos su persistencia ( $L_i = (\sum_j M_{ij}) - M_{i,i}$ ); y 3) las Ganancias ( $G_i$ ), que es el área total que la clase  $i$  adquirió de todas las demás clases, calculada como la suma de la columna de la clase menos su persistencia ( $G_i = (\sum_j M_{ji}) - M_{i,i}$ ). Estos tres valores se visualizan para cada clase en el gráfico de barras, permitiendo una comparación directa de su magnitud y revelando qué clases fueron las más estables, dinámicas, expansivas o recesivas durante el período de estudio.

**Matriz de Adyacencia de Clases:** La metodología se inicia convirtiendo los datos de puntos geográficos en una cuadrícula o raster para establecer relaciones de vecindad. Posteriormente, el análisis recorre cada píxel de la cuadrícula, identificando la clase de sus ocho vecinos inmediatos (vecindad de Moore). Por cada par de píxeles adyacentes con clases  $i$  y  $j$ , se incrementa un contador para esa interacción específica. Para asegurar que cada límite entre dos clases se cuente solo una vez, el proceso es simétrico (la adyacencia entre la clase  $i$  y la  $j$  es la misma que entre  $j$  e  $i$ ). El resultado es una matriz cuadrada y simétrica,  $A$ , donde cada celda  $A_{ij}$  contiene el número total de bordes compartidos entre los píxeles de la clase  $i$  y los de la clase  $j$  en todo el paisaje. Esta matriz de frecuencias de adyacencia se visualiza como un mapa de calor, donde una mayor intensidad de color

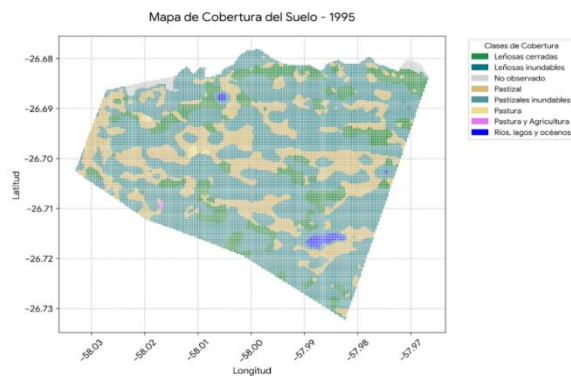
indica una asociación espacial más fuerte y una frontera más extensa entre las dos clases. Los valores en la diagonal (Aii) representan la cohesión interna de cada clase, es decir, la cantidad de bordes entre píxeles de la misma clase.

## Resultados y Discusión

El presente trabajo de investigación se orienta a obtener información con respecto a la evolución de la cobertura de suelo en el asentamiento Belén, Departamento de Ñeembucú, en el periodo 1995-2022.

### Gráfico N°1

Mapa de cobertura del suelo, año 1995



Nota: Elaboración propia

El mapa en análisis se fundamenta en el material que representa la distribución de las diferentes clases de cobertura del suelo, correspondiente al área que abarca el Asentamiento Belén. Dicha área se encuentra geográficamente delimitada por las siguientes coordenadas, expresadas en grados decimales: longitud, entre  $-58.03^\circ$  y  $-57.97^\circ$ ; y latitud, entre  $-26.73^\circ$  y  $-26.68^\circ$ . Este sistema de referencia tiene la ventaja de garantizar la precisa georreferenciación del territorio objeto de estudio.

El análisis de la cobertura de suelo que corresponde al año 1995 evidencia un paisaje predominantemente natural y seminatural, el cual se caracteriza por un complejo mosaico de humedales y pastizales donde la presión por actividades agrícolas intensivas resulta todavía incipiente.

Al respecto, el análisis de la cobertura revela la predominancia de ciertas clases sobre el territorio estudiado. En este sentido, se destaca los pastizales inundables con una superficie aproximada de 1538.46 hectáreas (ha), la clase pastizales con 686.7 ha, seguida por las leñosas cerradas que ocupan 358.74 ha, los cuerpos de agua con 18.36 ha y la pastura con 8.55 hectáreas (ha). Otras coberturas presentan una representatividad menor, tales como la clase mixta de pastura y agricultura con 1.44 ha y las leñosas inundables con 1.35 ha.

La clase pastizales inundables se establece como la cobertura dominante, constituyéndose en la matriz principal que configura el paisaje, lo cual evidencia la existencia de un sistema de humedales de gran extensión.

En efecto, su notable preponderancia sugiere que el área de estudio corresponde a un ecosistema con características muy definidas, que comprende una llanura de inundación, la cual se caracteriza por un drenaje deficiente y por estar sujeta a anegamientos de carácter estacional o permanente.

La clase pastizal alcanza una importante representatividad en el paisaje estudiado, caracterizándose por una distribución fragmentada en superficies, situadas específicamente en áreas no sujetas a inundación. Son formaciones naturales que, a diferencia de las pasturas, se encuentran al margen de la presión del pastoreo, en una fase distinta dentro del proceso de sucesión ecológica del ecosistema.

La interrelación entre ambas clases de cobertura (pastizales y pastizales inundable) constituye un rasgo característico de los sistemas de producción ganadera de tipo extensivo que se desarrollan en los ecosistemas de humedal.

La clase leñosas cerradas no se configura como una cobertura continua, sino que se manifiesta en forma de

islas o formaciones aisladas dentro de la matriz predominante de pastizales inundables y pastizales.

Al respecto, su particular distribución espacial permite inferir que dichas formaciones arbóreas corresponden a bosques o monte nativo, los cuales se asientan sobre las áreas de mayor elevación topográfica, quedando así protegidos del anegamiento periódico.

En el área de estudio, se llega a constatar la presencia de cuerpos de agua permanentes, correspondientes a lagos y lagunas de dimensiones reducidas. Si bien su superficie agregada resulta limitada, su relevancia ecológica es significativa.

En este sentido, cabe poner de resalto que la existencia de dichas formaciones hídricas, aun siendo de extensión limitada, constituye un importante indicador que refuerza la caracterización del área como un sistema de alta influencia hídrica.

Las pasturas constituyen extensiones de forma irregular que se encuentran dispuestas en mosaico, intercaladas con los pastizales inundables. Al respecto, dicha disposición espacial sugiere que estas coberturas se asientan sobre terrenos de mayor elevación relativa o con un drenaje más eficiente.

Esta particular condición inherente a la pastura que se desarrolla en la zona, es la que permite el establecimiento y desarrollo de gramíneas no hidrófilas, las que finalmente resultan aptas para el sostenimiento de la actividad ganadera.

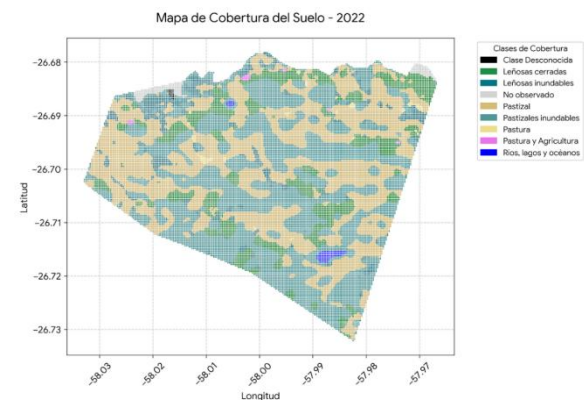
La clase mixta conformada por la pastura y agricultura, obtiene una representatividad prácticamente nula en el paisaje, manifestándose únicamente a través de espacios cuya área de extensión resultan usualmente mínima.

Esta presencia constituye un indicador inequívoco de que la presión por actividades agrícolas de carácter intensivo era aún incipiente o, en efecto, inexistente en el territorio durante el período de análisis.

La clase leñosas inundables alcanza una escasa delimitación dentro del territorio analizado y, por consiguiente, no llega a constituir una comunidad vegetal de relevancia, tanto por su escasez como por la dificultad para diferenciarla de otras coberturas, particularmente de los pastizales inundables y las leñosas cerradas.

## Gráfico N°2

Mapa de cobertura del suelo, año 2022



Nota: Elaboración propia

El análisis de los datos evidencia una significativa transformación del paisaje, la cual se encuentra dominada por una alteración sustancial del régimen hidrológico y una intensificación del uso del suelo. En este sentido, la dinámica principal observada en el periodo de estudio constituye la transformación de los ecosistemas de humedales.

Al respecto, se constata que el cambio de mayor magnitud corresponde a la pérdida de 498.24 ha de pastizales inundables, lo que representa una disminución del 32.4% de su superficie original. Este ecosistema, que constituía la cobertura dominante en 1995, ha experimentado una reducción considerable, tendencia que se ve corroborada por la disminución paralela del 37.7% en la superficie categorizada como cuerpos de agua.

Como consecuencia directa de la transformación, se registra una expansión de los pastizales no inundables. Dicha clase ha experimentado la mayor ganancia neta en superficie (+371.34 ha), convirtiéndose en la

cobertura más extendida para el año 2022. Este proceso sugiere que las antiguas áreas de humedal, al perder el pulso de inundación, son colonizadas por especies de gramíneas adaptadas a condiciones de sequedad.

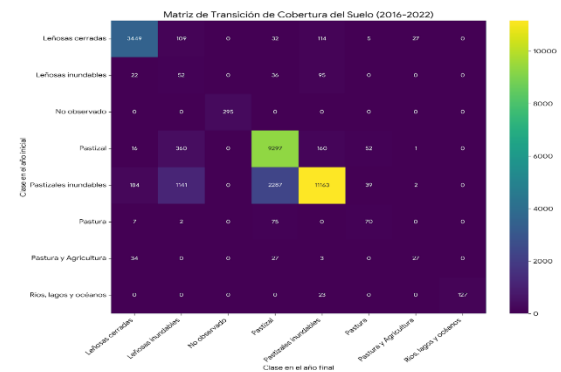
Por otra parte, un hallazgo de relevancia se refiere al incremento de la clase leñosas inundables, que ha pasado de una presencia marginal (1.35 ha) a ocupar una superficie considerable (149.76 ha). Este fenómeno indica un proceso de sucesión ecológica en porciones de los antiguos pastizales que, si bien presentan un menor régimen de inundación, han mantenido la humedad edáfica de manera suficiente como para permitir el establecimiento de especies leñosas higrófilas.

De forma paralela a los cambios hidrológicos, se observa una clara señal de presión humana, que se manifiesta en la deforestación de leñosas cerradas. La pérdida registrada de 24.66 ha (-6.9%) en esta clase representa un proceso de degradación de los bosques secos del área, cuya conversión a pastizales resulta la hipótesis más probable en el contexto de la expansión productiva (agricultura y ganadería).

Cabe resaltar la tendencia hacia la tecnificación e intensificación del uso del suelo. Aunque los valores absolutos son moderados, el crecimiento relativo de las clases pastura (+74.7%) y pastura y agricultura (+256.3%) resulta muy significativo, indicando una transición desde el uso de pastizales naturales hacia sistemas productivos de mayor rendimiento.

### Gráfico N°3

Matriz de transición de cobertura del suelo, año 1995 - 2022



Nota: Elaboración propia

La visualización de la matriz de transición para el periodo comprendido entre 1995 y 2022 manifiesta un cambio apreciable en la estructura del paisaje. Se observa una transición desde un sistema dominado por pastizales inundables hacia uno caracterizado por pastizales más secos y una mayor presencia de vegetación leñosa, lo que sugiere modificaciones sustanciales tanto en los regímenes hídricos como en las prácticas de uso de la tierra. En este orden, el análisis detallado permite identificar ciertas dinámicas

**Reducción de Pastizales Inundables:** Se registra una fuerte reducción de esta clase, que se constituye en la transformación más significativa del periodo analizado. Al respecto, se constata una pérdida neta de 498.24 ha, posicionándose como la cobertura que mayor superficie ha cedido.

**Expansión de Pastizales Secos:** Por otra parte, se verifica una importante expansión de la clase pastizal. Una proporción mayoritaria de la superficie perdida por los ecosistemas inundables se ha convertido efectivamente en pastizal, clase que ha experimentado una ganancia neta superior a las 370 ha, convirtiéndose así en la cobertura dominante para el año 2022.

**Crecimiento de Leñosas Inundables:** Resulta importante destacar el incremento que ha experimentado la vegetación leñosa adaptada a la

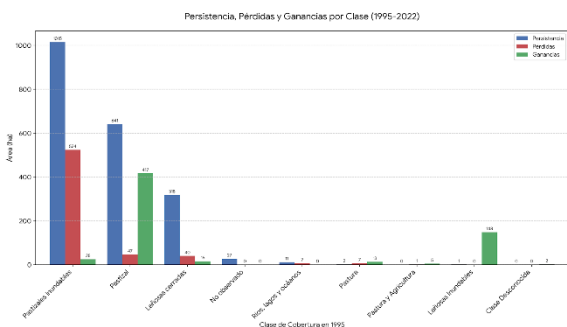
humedad. En este sentido, una fracción considerable de los antiguos pastizales inundables ha evolucionado hacia esta clase, la cual presenta el mayor crecimiento proporcional con un aumento cercano a las 150 ha.

**Pérdida de otras Coberturas Naturales:** De forma complementaria, se observa una pérdida en la superficie de leñosas cerradas y de cuerpos de agua. En el caso de las primeras, la disminución neta es de aproximadamente 25 ha, mientras que la segunda categoría ha disminuido en 7 ha.

**Aumento de Coberturas Antrópicas:** Así mismo, se constata un ligero pero significativo aumento en la superficie destinada a la clase pastura. Dicha cobertura registra un crecimiento neto de unas 6 ha a lo largo de todo el periodo, indicando una débil intensificación del uso del suelo.

**Gráfico N°4**

*Análisis de persistencia, ganancias y pérdidas por clase, año 1995 – 2022*



Nota: Elaboración propia

El gráfico de barras agrupadas expone la dinámica de cambio para cada clase de cobertura, contrastando la situación del año 1995 con la del 2022. Dicho análisis se desglosa en tres componentes: Persistencia, definida como el área en hectáreas que mantuvo su clasificación; Pérdidas, correspondiente al área transformada a otras clases; y Ganancias, que representa el área incorporada desde otras categorías por procesos de conversión.

**Pastizales Inundables:** Esta clase se caracteriza por una elevada inestabilidad y un marcado retroceso. Aunque exhibía la mayor superficie inicial, solo

mantuvo una persistencia de 1015 ha, registrando simultáneamente las pérdidas más significativas del conjunto, con 523 ha cedidas a otras categorías. Al respecto, las ganancias mínimas que alcanza 25 ha confirman su pronunciada tendencia a la reducción o disminución.

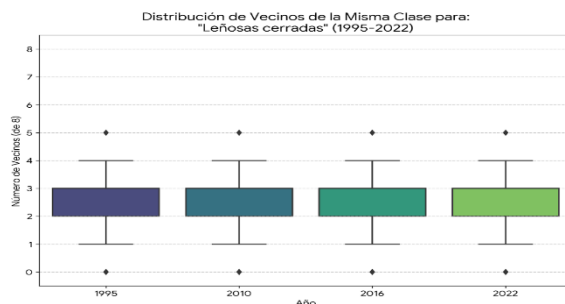
**Pastizal:** De manera opuesta, la clase pastizal demostró una notable estabilidad y capacidad de expansión. Presenta una alta persistencia de 641 ha con pérdidas reducidas de 46 ha. En efecto, esta categoría se constituyó como la principal receptora de superficie, con una ganancia de 417 ha provenientes principalmente de la transformación de pastizales inundables.

**Leñosas Cerradas:** La cobertura de leñosas cerradas se caracteriza por una estabilidad relativa. Este comportamiento se evidencia en una persistencia de 318 ha y en una dinámica de cambio moderada, donde una pérdida de 40 ha fue parcialmente compensada por una ganancia de 16 ha, lo que resulta en la pérdida neta previamente observada.

**Leñosas Inundables:** Se resalta el caso de las leñosas inundables, cuya superficie inicial marginal condiciona una persistencia casi nula. Sin embargo, esta clase exhibe las ganancias proporcionales más elevadas, con un incremento de 148 ha, lo que denota el crecimiento relativo más acentuado dentro del conjunto de coberturas analizadas.

**Gráfico N°5**

*Análisis de la estructura interna de los bosques a lo largo de los años 1995 - 2022*



Nota: Elaboración propia

El análisis de la fragmentación de la clase leñosas cerradas revela una dinámica particular. A pesar de registrarse una pérdida neta de 24.66 hectáreas (-6.9%) en términos de superficie, los indicadores espaciales señalan que la estructura de fragmentación del bosque remanente no ha sufrido alteraciones significativas durante el periodo de estudio.

**Estabilidad de la estructura de fragmentación:** Se constata que la cobertura de leñosas cerradas, la cual ya presentaba un estado de fragmentación considerable en 1995, ha mantenido dicho patrón estructural hasta el año 2022. En este sentido, la mediana de 2.5 vecinos sugiere la predominancia de fragmentos de formas irregulares o lineales, caracterizados por una elevada proporción de área de borde en relación con su superficie total.

**Mecanismos inferidos de pérdida de cobertura:** La combinación de una reducción del área total con la estabilidad de los índices de fragmentación apunta a un proceso de degradación específico. Se infiere que la pérdida de cobertura no se ha producido mediante la eliminación de fragmentos de gran superficie, lo cual habría modificado drásticamente la estructura espacial. Por el contrario, resulta altamente probable que la deforestación haya ocurrido a través de dos mecanismos no excluyentes:

**Erosión de bordes:** Este proceso consiste en una pérdida gradual y difusa en los perímetros de los fragmentos existentes. Al producir sucesivas retracciones perimetrales, se mantiene una distribución estadística de la conectividad relativamente constante.

**Desaparición de fragmentos menores:** Se refiere a la eliminación completa de los fragmentos más pequeños y aislados del sistema. Si bien esta dinámica reduce el área total de la cobertura, su impacto sobre los índices de conectividad de los fragmentos remanentes de mayor tamaño es limitado.

## Discusión

Los resultados del presente estudio revelan una transformación significativa en la cobertura del suelo del asentamiento Belén entre 1995 y 2022. Al respecto, se constata una pérdida sustancial de ecosistemas de humedal, evidenciada por la disminución de pastizales inundables (-498.24 ha) y cuerpos de agua (-37.7%), junto a una expansión de usos antropogénicos como los pastizales secos (+371.34 ha) y las leñosas inundables (+148.41 ha).

Estos cambios reflejan una alteración crítica del régimen hidrológico y una intensificación del uso del suelo, lo cual resulta consistente con patrones globales de degradación de humedales (Krivoguz, 2024). En este sentido, la reducción del 32.4% en pastizales inundables sugiere un proceso de "deshumectación" del paisaje, donde la pérdida del pulso de inundación permite la colonización por especies menos tolerantes al anegamiento, fenómeno que ha sido referido en otros contextos como "sabanización" (Krivoguz, 2024).

**Implicaciones de la transformación hidrológica:** La pérdida de humedales observada en Belén se alinea con tendencias documentadas a nivel global. Tonini et al. (2023) señalan que la reducción de coberturas naturales está intrínsecamente ligada a cambios en el uso del suelo que modifican los ciclos hidrológicos. La transición hacia pastizales secos coincide con lo reportado por Hasanah et al. (2023), quienes demostraron que la conversión de ecosistemas naturales puede reducir la conductividad hidráulica del suelo hasta en un 95%.

Esta alteración tiene consecuencias críticas para la salud del suelo: se estima que la conversión de pastizales inundables a usos agrícolas puede reducir el carbono orgánico en hasta un 83% (Hasanah et al., 2023). Por otra parte, la disminución de cuerpos de agua afecta directamente la biodiversidad edáfica y los

servicios ecosistémicos asociados (Grover et al., 2024).

Procesos de sucesión ecológica y presión antrópica: El notable incremento de leñosas inundables (+11,000% respecto a 1995) indica procesos de sucesión ecológica en áreas con humedad edáfica residual, como respuesta a la degradación hidrológica. Según Yaseen et al. (2024), la deforestación altera el microclima y favorece el establecimiento de especies leñosas higrófilas, mecanismo que coincide con lo observado por Palaniyandi y Mahato (2024).

Paralelamente, la deforestación de leñosas cerradas (-6.9%) y su conversión a pastizales evidencia una presión antrópica directa. Este patrón, vinculado a la expansión agrícola-ganadera, ha sido ampliamente documentado en regiones con dinámicas socioeconómicas similares (Rahayu et al., 2023).

Fragmentación y degradación del suelo: La estabilidad estructural de los fragmentos boscosos remanentes, pese a la pérdida neta de área, sugiere mecanismos de degradación periférica y la desaparición de fragmentos de menor tamaño. Si bien este proceso no altera significativamente la estructura espacial global, compromete la conectividad ecológica a largo plazo (Aguirre-Calderón et al., 2024).

La transición hacia coberturas antrópicas, como la pastura (+74.7%) y la combinación pastura-agricultura (+256.3%), refleja una tecnificación productiva que degrada la salud del suelo. Grover et al. (2024) reportan que dichas prácticas aumentan la densidad aparente y reducen la materia orgánica, lo cual subraya la necesidad de integrar el monitoreo satelital en la gestión sostenible del territorio (Krivoguz, 2024).

Lineamientos para una gestión sostenible: Los cambios identificados en Belén, al reflejar patrones globales, ofrecen oportunidades para la mitigación. En este orden, la expansión de leñosas inundables podría

ser aprovechada para el diseño de sistemas silvopastoriles que combinen producción y conservación (Grover et al., 2024).

Asimismo, la persistencia de pastizales secos (641 ha) como matriz dominante valida su rol como indicador de la transformación hidrológica. Esto enfatiza la necesidad de estrategias de restauración basadas en la capacidad de carga vegetal para recuperar los servicios ecosistémicos (Guo et al., 2024). Resulta importante, por tanto, priorizar la conservación de humedales remanentes y la implementación de prácticas agroforestales.

En fin, la evolución de la cobertura del suelo en el asentamiento Belén, para el periodo 1995-2022, evidencia una transición ecológica acelerada, que es impulsada por alteraciones hidrológicas y la presión antrópica. En efecto, la pérdida de humedales y bosques secos, junto a la expansión de pastizales secos y usos agrícolas, refleja un patrón de degradación que compromete la salud del suelo y la resiliencia del ecosistema.

Sin embargo, la aparición de procesos de sucesión, como el avance de leñosas inundables, ofrece oportunidades para intervenciones de restauración basadas en evidencia científica.

Cabe resaltar que las futuras estrategias de gestión deberían integrar el monitoreo satelital con enfoques de manejo adaptativo. Es fundamental priorizar la conservación de los humedales remanentes y la implementación de prácticas que permitan recuperar la funcionalidad ecosistémica en un contexto de cambio global.

Desde el punto de vista metodológico, el presente trabajo puede presentar una limitación asociada a la resolución espacial de 30 metros (píxel de 900 m<sup>2</sup>), la cual implica la necesaria existencia de “píxeles mixtos”, especialmente en zonas de transición ecológica. Además de una posible confusión espectral

inherente a los ecosistemas de humedal, donde la firma espectral de los pastizales inundables y de las leñosas inundables puede presentar similitudes bajo determinadas condiciones de saturación hídrica, lo que introduce un margen de error en la clasificación automatizada empleada por MapBiomias.

## Conclusiones

El análisis multitemporal del asentamiento Belén (1995-2022) revela una transformación crítica de la cobertura del suelo, que se evidencia en la reducción del 32.4% en pastizales inundables (-498.24 ha) y del 37.7% en cuerpos de agua. Al respecto, esta pérdida refleja una alteración sustancial del régimen hidrológico, donde la disminución del pulso de inundación ha impulsado un proceso de deshumectación del paisaje.

En este sentido, la transición hacia coberturas antropogénicas se manifiesta en la notable expansión de pastizales secos (+371.34 ha), así como en áreas productivas de pasturas (+74.7%) y en sistemas mixtos de pastura agricultura (+256.3%). Estos cambios evidencian una intensificación del uso del suelo, la cual se halla directamente vinculada a las actividades agropecuarias de la zona.

Por otra parte, el incremento de leñosas inundables (+148.41 ha) indica la presencia de procesos de sucesión ecológica en áreas con humedad edáfica residual. Dicho fenómeno representa una respuesta adaptativa del ecosistema a la degradación hidrológica, en la que la alteración del microclima favorece el establecimiento de especies leñosas higrófilas.

En lo concerniente a la vegetación nativa, si bien se constató una pérdida neta de área en las leñosas cerradas (-24.66 ha), los indicadores espaciales revelan una estabilidad en su estructura de fragmentación. Este patrón sugiere la existencia de mecanismos de degradación periférica y la

desaparición de fragmentos pequeños, procesos que comprometen la conectividad ecológica a largo plazo.

De los hallazgos se desprende la necesidad de implementar estrategias integrales para la gestión sostenible del territorio. Cabe resaltar, a los efectos del presente estudio, las siguientes acciones prioritarias:

**Conservación de humedales remanentes:** Implementar regulaciones que limiten su conversión a usos productivos y protejan su función hidrológica.

**Implementación de sistemas silvopastoriles:** Aprovechar la expansión natural de leñosas inundables para integrar la producción ganadera con la conservación de la biodiversidad.

**Restauración de ecosistemas degradados:** Focalizar esfuerzos en áreas críticas de pastizales inundables para recuperar los servicios ecosistémicos hídricos.

**Monitoreo continuo del territorio:** Utilizar de forma sistemática la teledetección y los SIG para evaluar la efectividad de las intervenciones y ajustar las prácticas de manejo según la capacidad de carga del ecosistema.

En efecto, la adopción de estas medidas, alineadas con enfoques de manejo adaptativo, resulta fundamental para revertir las tendencias de degradación observadas y promover la resiliencia del ecosistema en un contexto de cambio global.

## Referencias

- Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., Olivas-García, J. M., & Cuéllar-Rodríguez, L. G. (2024). Efecto del manejo forestal en los ecosistemas forestales. *Ciencia e Investigación Agraria*, 11(22), 27-33. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi22.345>
- Badapalli, P. K., Babu, K. R., & Pujari, P. S. (2023). Land Degradation and Desertification (pp. 13-49). Springer Nature.

- [https://doi.org/10.1007/978-981-99-6729-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-99-6729-2_2)
- Bairwa, K. C., Jethoo, A. S., Yadav, A., Muhammad, S. A., & Chauhan, S. (2024). Longitudinal Assessment of Urban Land Transformations with Multi-Sensory Remote Sensing in a Semi-Arid Metropolitan City. 1–5. <https://doi.org/10.1109/iemecon62401.2024.10846040>
- Braimoh, A. K., & Vlek, P. L. G. (2005). Land-Cover Change Trajectories in Northern Ghana. *Environmental Management*, 36(3), 356–373. <https://doi.org/10.1007/S00267-004-0283-7>
- Deus, R. F., & Tenedório, J. A. (2021). Coastal Land-Use and Land-Cover Change Trajectories: Are They Sustainable? *Sustainability*, 13(16), 8840. <https://doi.org/10.3390/SU13168840>
- Eso, A. (2023). Land Cover Change Detection Using Multi-spectral Satellite Images. In *Lecture notes in networks and systems* (pp. 799–810). [https://doi.org/10.1007/978-981-99-0981-0\\_60](https://doi.org/10.1007/978-981-99-0981-0_60)
- Farfán Pimentel, J. F., Delgado Arenas, R., Shimizu Santillán, S. M., Guillén Aparicio, P. E., & Farfán Pimentel, D. E. (2022). Application Of Remote Sensing In Environmental Studies: A Theoretical Review. *International Journal of Environmental, Sustainability, and Social Sciences*, 3(1), 137–143. <https://doi.org/10.38142/ijess.v3i1.198>
- Fauzan, H., & Syarief, A. (2024). Analysis of Land Cover Changes in Batang Anai Subdistrict, Padang Pariaman Regency, from 2002 to 2022. <https://doi.org/10.58578/aldyas.v3i2.2936>
- Grover, D., Kalonia, N., Dahiya, B., & Rani, P. (2024). Soil health for sustainable agriculture (pp. 117–145). <https://doi.org/10.58532/v3bcag19p4ch4>
- Guo, Z., Chen, D., Ning, T., & Zhang, W. (2024). High quality sustainable development of soil and water conservation vegetation. <https://doi.org/10.22541/au.170670887.70440900/v1>
- Hasanah, U., Amami, A. A., y Amelia, R. (2023). Forest conversion to agricultural lands: impact on soil physical characteristics. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1253, 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1253/1/012027>
- Krivoguz, D. (2024). Geo-spatial analysis of urbanization and environmental changes with deep neural networks: Insights from a three-decade study in Kerch peninsula. *Ecological Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102513>
- Mao, Y. (2023). 13 - Cross-Sectional Studies (pp. 269–291). Cambridge University Press eBooks. <https://doi.org/10.1017/9781009010054.014>
- Neelam, K., Ayare, B. L., Bhangre, H. N., Ingle, P. M., & Kasture, M. C. (2024). Land Use and Land Cover Change Detection Using Remote Sensing in the Kal River Basin, Raigad District, Maharashtra, India. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(10), 58–69. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i104467>
- Oruonye, E., Tukura, E. D., Zemba, A. A., & Ahmed, Y. (2022). Terrain analysis for environmental sustainability in Taraba

- Central Senatorial Districts, North-East, Nigeria.  
<https://doi.org/10.15406/freij.2022.05.00105>
- Palaniyandi, M., & Mahato, D. (2024). Spatial and Temporal Analysis of Land Use: Land Covers Changes Using Remote Sensing and GIS: A Case Study from Bijoy River Basin, Tripura, India. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 28(9), 152–165.  
<https://doi.org/10.9734/jgeesi/2024/v28i9818>
- Rahayu, C. U., Indarto, I., Putra, B. T. W., & Nadzirah, R. (2023). Land Cover Changes Based on Landsat Imagery Interpretation. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 12(1), 1.  
<https://doi.org/10.23960/jtep-1.v12i1.1-13>
- Rodríguez-Rosales, J., González-Camacho, J. M., Macedo-Cruz, A., & Fernández-Ordoñez, Y. M. (2024). Estimación del cambio de cobertura terrestre utilizando imágenes satelitales Landsat y el clasificador forestal aleatorio. *Agrociencia*, 1–17.  
<https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i8.2846>
- Samani, K. M., Pordel, N., Hosseini, V., & Shakeri, Z. (2020). Effect of land-use changes on chemical and physical properties of soil in western Iran (Zagros oak forests). *Journal of Forestry Research*, 31(2), 637–647.  
<https://doi.org/10.1007/S11676-018-0799-Y>
- Tan, L., Tiong, R. L. K., Zhang, Z., & Najafzadeh, M. (2023). Land Use Land Cover Change Detection using Remote Sensing and Random Forest Model.  
<https://doi.org/10.20944/preprints202308.2000.v1>
- Tonini, M., Koutsias, N., Parente, J., & Di Ventura, M. (2023). Transitions between use/land cover classes and burnt areas in Europe.  
<https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-5159>
- Vaid, T., & Pathania, S. S. (2024). Land Use-Land Cover Changes and Associated Drivers: A case of Salooni Block of Chamba. *Current World Environment*.  
<https://doi.org/10.12944/cwe.19.1.40>
- Yaseen, U., Khan, M. Y., Zia, M. S., Ahmad, Z., Ahmad, B., & Younas, M. (2024). The Loss Canopies, Damaged Soil: Evaluating The Interconnected Effects Of Deforestation And Agroforestry Decline On Soil Health. 2(1), 17–30.  
<https://doi.org/10.55627/agribiol.002.01.0840>