



Propuestas prospectivas para un cambio de cobertura del suelo en la microcuenca La Rasta, municipio de Imués, Nariño*

Álvaro Javier Ceballos Freire^a ■ Diego Andrés Muñoz Guerrero^b
■ José Julián Apraez Muñoz^c ■ Marisol De la Cruz Pinta^d

Resumen: Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar una propuesta prospectiva para el cambio de cobertura del suelo en la microcuenca La Rasta, ubicada en el municipio de Imués. La propuesta se fundamenta en un estudio multitemporal de la microcuenca que genere el análisis prospectivo. Inicialmente, se crearon mapas de cobertura del suelo correspondientes a los años 1989 y 2023, permitiendo identificar la dinámica de cambios en este periodo, suscitando la base para construir un modelo prospectivo de coberturas para el año 2050. Este enfoque facilitó el análisis de variables críticas que influyeron significativamente en los cambios y su impacto en la microcuenca. En colaboración con la comunidad local, se diseñaron alternativas de mejora para optimizar las coberturas y la calidad del suelo a lo largo del tiempo. La participación activa de la comunidad de Imués enriqueció el proceso, al aportar conocimientos territoriales. Tras obtener estas alternativas y variables, se propuso un modelo ajustado que destacó los cambios direccionados hacia una menor degradación del suelo, promoviendo la conservación de las fuentes hídricas, flora y fauna silvestre, así como la preservación de la familia como componente fundamental de la agricultura. Este enfoque reveló la viabilidad de generar propuestas ambientales mediante modelos prospectivos, para lograr una distribución y apropiación mejorada del territorio, contribuyendo a su conservación.

Palabras clave: cobertura del suelo; análisis multitemporal; modelo prospectivo; conservación ambiental; participación comunitaria

Recibido: 13/03/2024. **Aceptado:** 30/04/2024. **Disponible en línea:** 30/06/2024.

Cómo citar: A. J. Ceballos Freire, D. A. Muñoz Guerrero, J. J. Apraez Muñoz, y M. de la Cruz Pinta, «Propuestas prospectivas para un cambio de cobertura del suelo en la microcuenca La Rasta, municipio de Imués, Nariño», Cien.Ing.Neogranadina, vol. 34, n.º 1, pp. 83–104.

* Artículo de investigación.

- a** Candidato a doctor en Ciencias Agrarias, magíster en Desarrollo Regional y Planificación del Territorio, especialista en Producción, Transformación y Comercialización de la Madera e ingeniero agroforestal. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
Correo electrónico: aceb1980@udenar.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9841-2270>
- b** Doctor en Geografía, magíster en Agroforestería Tropical, del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, e ingeniero agroforestal. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
Correo electrónico: dmunoz@udenar.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9673-2577>
- c** Doctor en Genética y Biología Molecular, magíster en Ciencias Agrarias e ingeniero agrónomo. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
Correo electrónico: apraez.julian@udenar.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7348-0912>
- d** Ingeniera ambiental. Pasto, Colombia.
Correo electrónico: mdelacruz@udenar.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9064-2093>

Prospective Proposals for a Change of Land Cover in the La Rasta Microbasin, Municipality of Imues

Abstract: This research aimed to develop prospective proposals for land cover change in the La Rasta micro-watershed, situated within the municipality of Imues. The proposals were formulated based on a multi-temporal study of the micro-watershed, enabling a prospective analysis. Initially, land cover maps were generated for the years 1989 and 2023 to delineate the dynamics of changes over this period, serving as the foundation for constructing a prospective land cover model for the year 2050. This approach facilitated the examination of critical variables that significantly influenced these changes and their repercussions on the micro-watershed. In collaboration with the local community, improvement alternatives were devised to optimize land cover and enhance soil quality over time. The active involvement of the Imués community enriched the process by contributing their territorial knowledge. Subsequently, an adjusted model was proposed, emphasizing changes aimed at mitigating soil degradation, promoting the conservation of water sources, flora, and wildlife, and preserving the family as a fundamental component of agriculture. This approach underscored the feasibility of formulating environmental proposals through prospective models to achieve an enhanced distribution and utilization of the territory, thereby contributing to its conservation.

Keywords: Land cover; Multitemporal analysis; Prospective model; Environmental conservation; Community participation

Propostas prospectivas para uma mudança na cobertura do solo na microbacia La Rasta, município de Imués, Nariño

Resumo: Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver uma proposta prospectiva para a mudança de cobertura do solo na microbacia La Rasta, localizada no município de Imués. A proposta se fundamenta em um estudo multitemporal da microbacia que gera a análise prospectiva. Inicialmente, foram criados mapas de cobertura do solo correspondentes aos anos de 1989 e 2023, permitindo identificar a dinâmica das mudanças nesse período, gerando a base para construir um modelo prospectivo de coberturas para o ano de 2050. Esse enfoque facilitou a análise de variáveis críticas que influenciaram significativamente nas mudanças e seu impacto na microbacia. Em colaboração com a comunidade local, foram projetadas alternativas de melhoria para otimizar as coberturas e a qualidade do solo ao longo do tempo. A participação ativa da comunidade de Imués enriqueceu o processo, ao contribuir com conhecimentos territoriais. Após obter essas alternativas e variáveis, foi proposto um modelo ajustado que destacou as mudanças direcionadas para uma menor degradação do solo, promovendo a conservação das fontes hídricas, flora e fauna silvestres, bem como a preservação da família como componente fundamental da agricultura. Esse enfoque revelou a viabilidade de gerar propostas ambientais por meio de modelos prospectivos, para alcançar uma distribuição e apropriação melhorada do território, contribuindo para a sua conservação.

Palavras-chave: cobertura do solo; análise multitemporal; modelo prospectivo; conservação ambiental; participação comunitária

Introducción

La gestión adecuada de los suelos, en sus funciones de producción y conservación, es primordial, debido a su relevancia económica y ecológica, supeditado a una preocupación por el deterioro de ecosistemas como los bosques, causado por conflictos de uso [1]. Informes como “Una agricultura sostenible adaptada al clima” [2] señalan que la expansión agrícola es la principal causa de deforestación y fragmentación de bosques a nivel mundial, lo que resulta en la pérdida de servicios ecosistémicos. Además, la FAO [3], [4] proyecta un aumento del 50 % en la producción de alimentos para 2050, lo que implicará una mayor expansión de la superficie cultivada con impactos ambientales significativos.

En Colombia, la deforestación en 2019 fue del 0,3 %, equivalente a 171 685 hectáreas, cuyas causas principales fueron la expansión agrícola en áreas de conservación y malas prácticas ganaderas [5]. En Nariño, la agricultura y la ganadería son pilares económicos que también enfrentan la pérdida de suelos, debido a estas actividades, a la diversidad climática y a condiciones bióticas [6], [7], [8].

Es así como esta enfrenta desafíos como el cambio climático y la presión antrópica, lo que requiere investigaciones prospectivas para evaluar escenarios de desarrollo agropecuario, considerando múltiples factores [9]. La participación comunitaria en la planificación territorial, según los mismos autores, puede potenciar la gestión territorial mediante alternativas locales más sostenibles y eficientes. El estudio en la microcuenca La Rasta, municipio de Imués (Nariño), buscó identificar propuestas ambientales para un manejo sostenible del suelo hasta 2050, empleando modelamiento prospectivo.

Antecedentes

La presente investigación se desarrolla en el municipio de Imués, con alturas que van desde los 1600 msnm hasta los 3000 msnm, y temperaturas que oscilan entre los 23 °C y los 7 °C. El municipio cuenta con una población urbana de

1006 habitantes (13,51 %) y una población rural de 6440 habitantes (86,49 %) [10]. Cuenta con una superficie de desarrollo agropecuario equivalente al 92,9 %, mientras que solo el 7,1 % corresponde a bosques naturales y áreas no agropecuarias [11].

Según el Plan departamental de extensión agropecuaria de Nariño [8], en Imués, el uso actual de los suelos supera en tres o más niveles la clase de vocación de uso principal recomendado, lo que genera una fuerte degradación de los suelos y la disminución de gran parte del territorio productivo, incidiendo directamente en la reducción o pérdida de la productividad biológica y económica del suelo.

Las actividad más relevante es la agricultura (trigo, papa, maíz, arveja y pastos de pastoreo para una ganadería extensiva y semiintensiva), lo cual ha causado deforestación en las partes altas de la microcuenca y en el área de sus riberas, contaminación de agroquímicos por escorrentía y quemadas frecuentes de poscosecha; a esto se suma que el uso y manejo de los recursos naturales en la microcuenca no es el adecuado, en especial en las partes altas cercanas al páramo, donde existe conflicto por el uso del suelo, por ampliación de la frontera agrícola, lo que genera la tala de ecosistemas boscosos, protectores y, por ende, la disminución del caudal promedio [12]. Esta problemática resalta la importancia de utilizar modelos espaciales y prospectivos en la toma de decisiones y en el ordenamiento del territorio.

En este contexto, investigaciones como la de Hardaker *et al.* [13] corroboró que coberturas con árboles en zonas agrícolas podría ser un mecanismo potencial para mejorar los servicios del ecosistema, para lo cual modelaron y mapearon estos efectos bajo la estrategia *Land Sharing* (producir conservando y conservar produciendo), demostrando que en 120 años, bajo opciones agroforestales, podrían conducir a un mayor aumento y a potenciar los beneficios y servicios ecosistémicos.

Por su lado, Palacios y Arellano [14] diseñaron, mediante el uso de imágenes satelitales en los años 2011, 2016 y 2020, una clasificación supervisada que identificó las coberturas del suelo, aplicando un modelo de simulación, combinado entre autómatas celulares y cadenas de Markov, con el

estadístico ROC y el coeficiente Kappase, que permitió una predicción robusta y confiable de la simulación, resaltando los modelos de predicción (inteligencia artificial) con redes neuronales artificiales en el paisaje.

Shahbazian *et al.* [15] aducen que el modelado de la dinámica espacial-temporal del cambio de uso de la tierra es de gran necesidad para comprender el estado del pasado, las causas del cambio y la predicción del futuro. Los mismos autores evalúan los cambios de uso de la tierra pasados, modelando los cambios futuros e identificando las causas de cambio en los usos del suelo y en el paisaje.

Por ello, Jahanishakib *et al.* [16] ratifican que la gestión eficiente del uso de la tierra requiere conciencia de los cambios pasados, las acciones actuales y los planes para el futuro, para lo cual utilizaron un modelo de cadena Autómata-Markov celular (CA-MC), para evaluar cada escenario. El enfoque permitió desarrollar escenarios espaciales prospectivos de cambio de uso de la tierra y elegir el patrón de paisaje más integrado al territorio.

Aporte teórico y metodológico de la investigación

La investigación presenta un aporte teórico y metodológico, al abordar, en primer lugar, un enfoque multitemporal que permite un análisis de la dinámica de cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo, con mapas correspondientes a diferentes años (1989 y 2023), como base para la construcción de un modelo prospectivo para el año 2050. Este enfoque temporal proporciona una comprensión detallada de las tendencias y factores críticos que influyen en los cambios de cobertura del suelo, lo que constituye un aporte significativo para la comprensión de la evolución del paisaje en la microcuenca. Además, la investigación incluye el conocimiento de la comunidad local para el enriquecimiento y construcción de los diseños y alternativas de mejora, para optimizar las coberturas y la calidad del suelo. Esta participación activa de la comunidad no solo fortalece la validez y relevancia de las propuestas desarrolladas, sino que también promueve la apropiación local de las soluciones propuestas, lo que aumenta su potencial de

implementación y éxito a largo plazo. Por último, la investigación logra aportar mediante los modelos realizados, como la preservación de los recursos naturales, concatenada con la conservación de la familia, como componente fundamental de la agricultura y genera propuestas ambientales con enfoque en la conservación del territorio, y el aporte de herramientas prácticas para la planificación y la gestión sostenible de la microcuenca.

Metodología

Zona de estudio

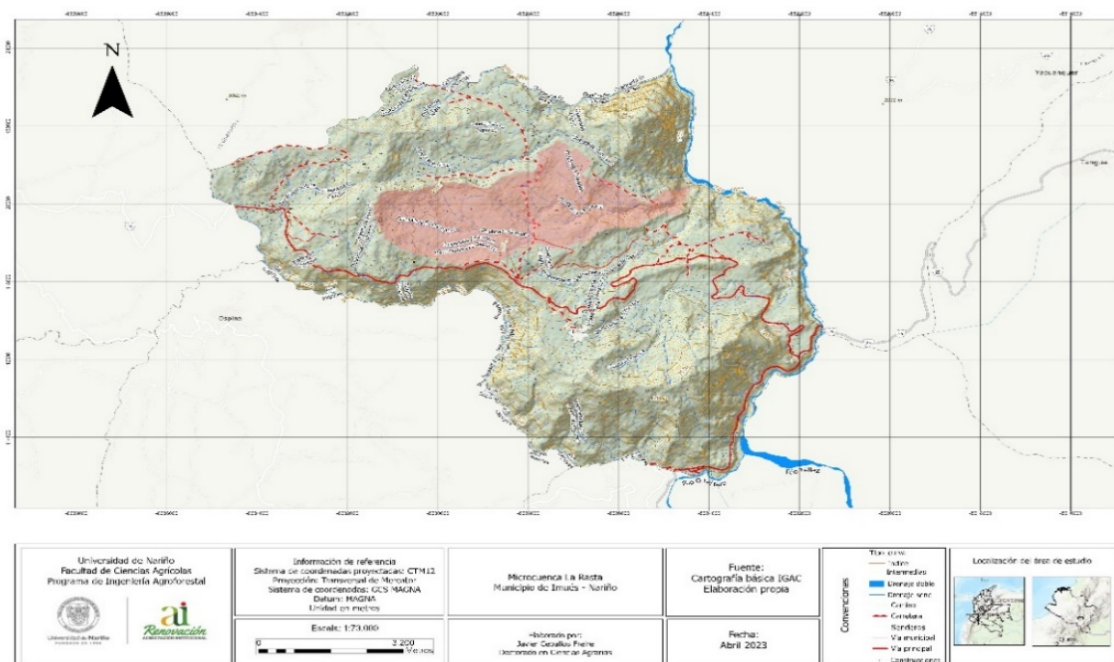
La presente investigación se realizó en el municipio de Imués, microcuenca La Rasta (figura 1), que, por sus condiciones geográficas y edafoclimáticas, son representativos en la zona andina nariñense y se caracteriza por tener una extensión de 7.2 km y un área total de 1135 hectáreas, correspondiente al 13,90 % del territorio.

Determinar la dinámica y los patrones espaciales de los cambios de las coberturas del suelo ocurridos en el periodo de 1989 a 2022

Para determinar esta dinámica y los patrones espaciales, se analizaron las variables socioeconómicas y biofísicas que tuvieron relación con las transformaciones de las coberturas, recopilando para esto información cartográfica de diversas fuentes, como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), y material cartográfico disponible (planchas bases). Los datos incluyeron fotografías aéreas de los periodos señalados, extraídos de imágenes satelitales Landsat 5 y 8.

Se realizó un análisis multitemporal, interpretando las imágenes de satélite Landsat 5, de 1989, y Landsat 8, del 2023, que fueron obtenidas de EarthExplorer y sometidas a corrección de calibración geométrica, radiométrica y atmosféricas [17]. Luego se aplicó la metodología de clasificación supervisada [18], la cual permitió comparar ciertos píxeles de las imágenes clasificadas con datos de referencia en campo reales. Con esto se obtuvieron matrices

Figura 1. Microcuenca La Rasta, municipio de Imués, Nariño



Fuente: elaboración propia.

de confusión que compararon los puntos obtenidos en las imágenes con los puntos de referencia en campo. Con estas matrices se calculó el coeficiente de Kappa, que permitió evaluar la concordancia entre las categorías diseñadas, obteniendo un índice que orientó la confiabilidad y precisión de los datos clasificados [19]. Para la clasificación y categorización del uso de los suelos se tuvo en cuenta la metodología Corine Land Cover [20].

Clasificación de imágenes supervisada

Se utilizó el entorno de programación Rstudio, con el empleo de códigos y *scripts* diseñados en específico para el procesamiento de estas imágenes. Para lo que se importaron y emplearon algunos paquetes como raster, rStoolbox, rgdal, sp, rgeos, ggplot2, factoextra y corrplot, los cuales proporcionaron las funciones y herramientas necesarias para el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales.

Para la construcción y análisis de las imágenes se utilizaron los modelos de Random Forest, máquinas de soporte vectorial (svm) y el árbol de

decisión. Al final se generó un mapa de clasificación, incluyendo el índice Kappa, calculado por cada modelo, seleccionando el más cercano a uno (1) dentro del índice, el cual fue exportado al *software* ArcGIS 10.8 para su interpretación, ajuste, corrección, vectorización y producción de las imágenes; con esto se evaluaron las transformaciones del paisaje en los periodos analizados y las áreas definidas.

Análisis multitemporal

Para el análisis multitemporal se eligió la herramienta Idrisi Selva. Se incorporaron dos capas correspondientes a los años 1989 y 2023, ambas proyectadas en el sistema de referencia Sirgas UTM zona 18. En el entorno de Idrisi se creó un proyecto dentro de una carpeta de trabajo designada. Se procedió a importar los archivos ASCII por medio de la función “File Import”, seleccionando los datos correspondientes a cada período de interés. En este proceso se eligió el sistema de referencia Magna Sirgas UTM zona 18.

El proceso culminó con la creación de dos nuevas capas denominadas “1989 new” y “2023 new”,

generando el análisis multitemporal, el cual mostró los cambios, ganancias y pérdidas en las coberturas en el ámbito espacial.

Finalmente, se llevaron a cabo las representaciones gráficas pertinentes para el análisis y la interpretación de los resultados, realizando con esto una simulación prospectiva para el año 2050, la cual fue alimentada con variables relevantes para dicho período.

Definición de las variables explicativas de los cambios de cobertura del suelo ocurridos entre 1989 y 2022 en la microcuenca La Rasta, municipio de Imués

Modelo prospectivo del año 2050

Por un lado, se seleccionaron y analizaron las variables de transición, considerando los resultados del análisis multitemporal y las que tuvieron mayor relevancia y relación, teniendo en cuenta el patrón espacial (interacción entre las variables y el patrón de localización) de cada cambio de cobertura identificado. Las variables identificadas fueron sometidas a la prueba de Cramer's. Eastman [21], [22] menciona que si bien la prueba no garantiza una adecuada modelización cuando los valores son altos, un índice bajo sí es un indicativo de exclusión de alguna variable.

Por otro lado, se definieron las transiciones potenciales o cambios más relevantes, en las que se eligieron aquellas áreas que afectaron más de una hectárea de superficie. Con esto, y definidas las transiciones en el *software* Idrisi módulo LCM, se agruparon en un submodelo en el que se agregaron las variables de transición, para luego generar mapas potenciales de transición que plasmaron el espacio-temporal del potencial de cambio (oscila entre 0 y 1), indicando el potencial de cada pixel para cambiar de una categoría de cobertura a otra. Este proceso se basa en el entrenamiento de las redes neuronales mediante la minimización del error cuadrático medio, variando la tasa de aprendizaje, el número de nodos en la capa intermedia, el número total de iteraciones y la revisión gráfica de la evolución del error cuadrático medio.

Para el desarrollo detallado dentro del módulo se siguieron los siguientes pasos:

- **Preparación de los datos de entrada y las variables:** se incluyeron las variables ambientales, socioeconómicas o factores que, de acuerdo con el análisis de campo, la caracterización y el conocimiento local, influyeron en los cambios de cobertura del suelo.
- **Generación del modelo prospectivo 2050:** se establecieron algunas hipótesis que guiaron el desarrollo del mismo y, a su vez, orientaron las transformaciones que se esperaban en el paisaje. De igual forma, se ajustaron las variables que se usaron en el modelo, como crecimiento poblacional, clima y pendiente, entre otras.

Se realizó un análisis de distancia euclidiana y una reclasificación raster para identificar la relación con algunas variables como vías y viviendas (aspectos importantes, de acuerdo con la literatura en los cambios de cobertura), entre los periodos evaluados. Para esto se utilizó el comando "Distance", del programa Idrisi Selva. Para encontrar las relaciones entre las variables físico-bióticas y socioeconómicas y realizar una calibración, se aplicaron regresiones logísticas en el periodo de tiempo evaluado, teniendo en cuenta la tabla 1 y algunas variables seleccionadas. Este modelo estadístico analizó la contribución de una serie de variables independientes en la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno específico (variable binomial), que presenta valores de 0 y 1, relacionado con la presencia o ausencia de coberturas de suelo de una categoría determinada:

$$\ln P/((1-P))=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+\dots+b_kx_k$$

Donde P es la probabilidad de que la variable dependiente sea igual a 1, mientras que las variables explicativas se definen con $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$, y b corresponde a los coeficientes de regresión [23]. El estadístico que se utilizó para evaluar el modelo de regresión es el ROC (Relative Operating Characteristic). Todo el proceso se realizó con el módulo Logisticreg del programa Idrisi Selva.

Al final se determinaron los escenarios en los cuales algunas variables han tenido incidencia

Tabla 1. Variables que se emplearon en la regresión logística

Variable explicativa	Descripción	Fuente
Altitud (AL) (curvas de nivel)	Altitud en m.s.n.m	ALOS PALSAR 12 metros de resolución.
Pendiente (PE)	Pendiente en %	Elaboración propia
Distancia a poblados (DP)	Asentamientos humanos	Estadísticos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)
Distancia a ríos (DR)	Distancia a ríos	Elaboración propia a partir de cartografía del IGAC
Distancia a vías principales (VP)	Vías que conectan a centros poblados	Elaboración propia a partir de cartografía del IGAC
Distancia a vías secundarias (DVS)	Vías que conectan a carreteras secundarias de zonas rurales y urbanas	Elaboración propia a partir de cartografía del IGAC
Precipitación (PR)	Precipitación media anual (mm)	Datos Worldclim
Usos actuales	Usos actuales del suelo	Mapas de usos del territorio, información primaria y secundaria
Áreas de conservación	Áreas con usos de conservación	Mapas de usos del territorio, información primaria y secundaria
Usos planificados del suelo	Áreas destinadas a vivienda y centros poblados	Mapas de usos del territorio, información primaria y secundaria
Infraestructura social	Vías, energía, recursos hídricos	Mapas de usos del territorio, información primaria y secundaria

Fuente: elaboración propia.

en la fragmentación y deterioro de bosques, y su relación con los sistemas agropecuarios que son de importancia para la microcuenca y que a su vez han disminuido los bienes y servicios ecosistémicos de la zona.

- Evaluación de las variables del modelo:** en el módulo “Land Change Modeler” se configuraron y evaluaron las variables que mayor influencia tuvieron en los cambios de coberturas, para lo cual se utilizó el coeficiente de correlación no paramétrica Cramer’s V, prueba que se usa para datos de nivel nominal (indican una categoría), que deriva de la prueba Chi cuadrado y que permitió observar la relación de Cramer’s V; estos valores varían entre 0 y 1, lo cual indican un valor de 0 independencia de los atributos y un valor de 1 o asociación perfecta. Se calculó en el módulo de Idrisi Selva, el cual tomó la raíz cuadrada del estadístico Chi cuadrado, dividido por el tamaño de la muestra y la longitud de la mínima dimensión:

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{N(k - 1)}}$$

Donde X^2 es Chi cuadrado derivado del test de Pearson; N es el número total de observaciones, y k es el número de filas o columnas (tomando el menor de ellas).

- Realización del modelo:** con la definición de las variables que mayor peso tuvieron en los cambios de cobertura, se procedió a ejecutar la simulación para el año 2050, utilizando los análisis multitemporales de los años 1989 y 2023 en función de los escenarios y variables definidos.
- Evaluación de los resultados:** en este paso se compararon las predicciones de modelo versus los escenarios actuales y pasados, para entender su validez y precisión. De igual forma, se analizaron espacialmente las áreas de pérdida y ganancia de coberturas del suelo.
- Generación de salidas gráficas y mapas prospectivos:** dentro del módulo “Land Change Modeler” se realizaron las salidas gráficas que representaron los cambios de cobertura del suelo para el año 2050, las cuales fueron la base para desarrollar la socialización con la comunidad y

generar cambios que mejoren la planificación y el ordenamiento de la microcuenca.

- **Análisis de sensibilidad e incertidumbre:** se practicaron estos análisis, en los que se evaluaron los resultados, con cambios en algunas variables del modelo.

Finalmente, con el ajuste de algunas coberturas, por medio de las socializaciones de los resultados y el uso de metodologías colectivas sociales se diseñaron alternativas que permitieran cambios en el paisaje, propendiendo por sistemas productivos más sostenibles (agroforestales) y por la generación de conectividad entre los relictos de bosque existentes en la microcuenca. Después se ajustó el modelo al año 2050, con cambios en algunas coberturas, los cuales nos mostraron escenarios prospectivos con un enfoque de sostenibilidad rural.

Propuestas de escenarios y alternativas tendenciales para el año 2050 que permitan el mejoramiento de los usos de los suelos en conflicto

Se empleó el modelo prospectivo inicial, el del año 2050, para identificar las tendencias en los cambios de cobertura del suelo en la microcuenca, sumados a la generación de alternativas para mejorar los conflictos en el uso del suelo. Se llevó a cabo una intersección de mapas para cuantificar los cambios de cobertura, más la caracterización de algunas fincas, y se utilizó el conocimiento local para explicar los determinantes de los cambios suscitados. Las propuestas de mejora se desarrollaron en colaboración con una asociación de agricultores (Asprolago) y se organizaron sesiones de trabajo con instituciones educativas del municipio. Se adaptó la metodología de las “Escuelas de campo para agricultores” para generar propuestas participativas y colaborativas, tanto en entornos educativos como en zonas rurales. Se realizó un diálogo para buscar alternativas basadas en prácticas

sostenibles o agroecosistémicas. Luego se modificó el modelo de usos de cobertura del suelo del año 2023, incorporando las alternativas prospectivas del año 2050.

Resultados y análisis

Determinar la dinámica y patrones especiales de los cambios de coberturas del suelo ocurridos en el periodo 1989 y 2022 en la microcuenca La Rasta, municipio de Imués

Se generó la clasificación con el método Support Vector Machine (svm); posteriormente, en el programa ArcGIS 10.8 se desarrolló la digitalización y elaboración de las coberturas para los años 1989 y 2023.

Se obtuvo, de acuerdo con los análisis y procesamiento de imágenes, la clasificación de coberturas de cada periodo, para lo cual se realizaron las respectivas salidas gráficas.

A continuación, se presentan las coberturas y áreas obtenidas:

Tabla 2. Área por cobertura en el año 1989, microcuenca La Rasta

Cobertura	Área (hectáreas)
Arbustales abiertos	84,8
Bosque de galería	105,7
Cereales	386,2
Mosaico de cultivos	195,2
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	128,8
Mosaico de pastos y cultivos	145,1
Mosaico de pastos con espacios naturales	34,1
Pastos enmalezados	35,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Área por cobertura en el año 2023, microcuenca La Rasta

Cobertura	Área (hectáreas)
Arbustales abiertos	96,0
Bosque de galería	112,6
Cereales	208,4
Mosaico de cultivos	194,0
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	112,3
Mosaico de pastos y cultivos	220,3
Mosaico de pastos con espacios naturales	41,8
Pastos enmalezados	129,6

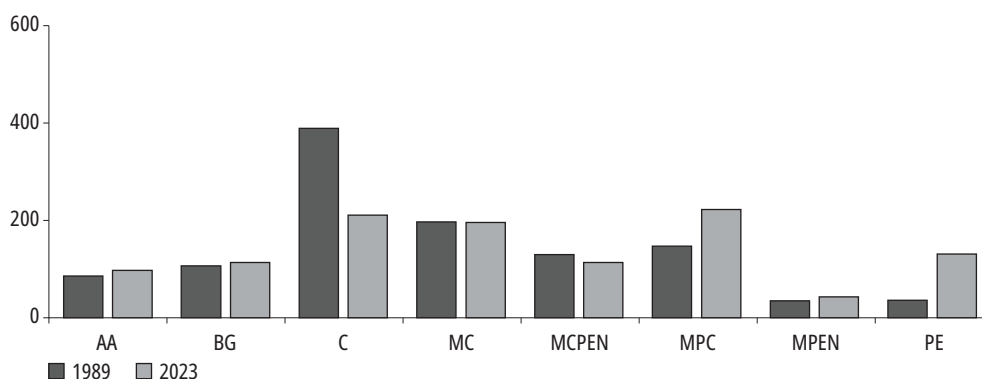
Fuente: elaboración propia.

Así se calcularon los cambios de las áreas de las coberturas entre los dos periodos, las cuales se presentan en la tabla 4.

Definición de las variables explicativas de los cambios de cobertura del suelo ocurridos entre 1989 y 2023 en la microcuenca La Rasta, municipio de Imués

Para desarrollar el primer modelo prospectivo al año 2050 se definieron las variables explicativas, que para este estudio se definieron como variables de transición y que influyeron en los cambios de coberturas entre los periodos evaluados, considerando los patrones espaciales como interacción

Figura 2. Cambios de cobertura de 1989 a 2023



Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Cambios de cobertura de 1989 a 2023, en la microcuenca La Rasta

Cambios de cobertura	Abreviatura	Área (has)
De cereales a arbustales abiertos	C a AA	11,4
De arbustales abiertos a bosque de galería	AA a BG	5,9
De mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales a cereales	MCPEN a C	5,9
De mosaico de pastos y cultivos a cereales	MPC a C	17,3
De cereales a mosaico de pastos y cultivos	C a MPC	97,1
De mosaico de pastos y cultivos a mosaico de pastos con espacios naturales	MPC a MPEN	8,5
De cereales a pastos enmalezados	C a PE	74,0
De mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales a pastos enmalezados	MCPEN a PE	9,1
De mosaicos de pastos y cultivos a pastos enmalezados	MPC a PE	5,8

Fuente: elaboración propia.

entre variables y localización. Para esta investigación, teniendo en cuenta el contexto del territorio, la caracterización de las fincas, el conocimiento local y algunos instrumentos de ordenamiento territorial del municipio, se definieron las variables, como pendiente, altitud sobre el nivel del mar, proximidad a vías, a construcciones y a fuentes hídricas, temperatura y precipitación. Al respecto, Muñoz [17] menciona que algunas de ellas, en la zona de estudio, suelen tener mayor incidencia en cuanto a los cambios de cobertura en el tiempo, debido a que son variables y factores que están directamente relacionados con la producción agrícola o con procesos de erosión; así mismo, fueron sometidas a la prueba de Cramer's.

Por un lado, los resultados de los valores de Cramer's V (tabla 5) fueron relativamente bajos para la mayoría de las combinaciones de variables de cobertura y características ambientales; sin embargo, es posible que estos tuvieran una baja variabilidad en los datos, lo cual motiva que exista una menor probabilidad de que haya asociaciones, supeditado a que la mayoría de los registros caen en una sola categoría; esto ocasiona que la asociación con otras variables será limitada. Por otro lado, se definieron las transiciones potenciales o cambios más relevantes, en los que se seleccionaron aquellas áreas que fueron afectadas por encima de una hectárea de superficie.

Se realizaron simulaciones teniendo en cuenta variables de pendientes, DEM, proximidad a vías, construcciones y fuentes hídricas, temperatura

y precipitación, obteniendo las variables que más influyeron según el factor de Cramer's V.

Es importante resaltar que los resultados basados en el contexto y los objetivos respaldan los hallazgos encontrados, debido a que el análisis se enmarca en la relación entre coberturas de la tierra y su interacción con características y variables ambientales diversas de la microcuenca. Esta relación en el campo del ordenamiento rural y la gestión ambiental permite comprender estas interacciones, lo cual tiene implicaciones significativas en procesos de sostenibilidad territorial y en la toma de decisiones relacionadas con el uso de la tierra.

Finalmente, los valores de Cramer's V pueden ser bajos en algunos casos, sin embargo, no descartan la posibilidad de que se susciten patrones significativos en los datos, y de su fuerza en la asociación o de ausencia en los mismos. Pueden existir relaciones complejas o tenues que requieran un análisis más preciso, pero estas proporcionan una información relevante dentro de las interacciones entre las coberturas y las variables, aunada a la carencia de datos bases en el área de estudio. Al respecto, Muñoz [17], en su estudio, obtiene valores relativamente bajos en el factor, sin embargo, resaltan la importancia de los mismos, debido a las herramientas de análisis que generaron para los estudios.

De acuerdo con los resultados, la variable que tuvo mayor influencia sobre los cambios entre 1989 y 2023 fue el DEM (Modelo de Elevación

Tabla 5. Factor Cramer's V por variable, microcuenca La Rasta

Coberturas / variables	Pendientes	DEM	Proximidad a vías	Proximidad a construcciones	Proximidad a fuentes hídricas	Temperatura	Precipitación
MPC	0,43	0,65	0,16	0,37	0,11	0,00	0,00
C	0,19	0,48	0,14	0,12	0,17	0,01	0,01
MPEN	0,10	0,47	0,15	0,23	0,10	0,01	0,01
PE	0,17	0,47	0,35	0,09	0,11	0,04	0,04
MC	0,19	0,37	0,09	0,21	0,08	0,00	0,00
BG	0,13	0,33	0,06	0,09	0,42	0,02	0,02
MPCEN	0,14	0,30	0,11	0,09	0,17	0,01	0,01
AA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

Digital), que está representada en la altura sobre el nivel de mal e indirectamente en las pendientes de la zona. Esta variable se relaciona directamente con coberturas de pastos enmalezados y bosques de galería, debido a la susceptibilidad de los suelos erosionados o con falta de coberturas y con pendientes pronunciadas. Al respecto, en el Plan de Ordenamiento Territorial de Imués 2000-2008 [24] se resalta que el municipio en general presenta condiciones agrestes con procesos de erosión y pendientes por encima del 60 %, además, que la ausencia de vegetación propicia los procesos de pérdida de suelo.

Otra variable importante para la elaboración del modelo prospectivo fue la proximidad de construcciones y de fuentes hídricas; esto permite inferir su influencia, junto a que la actividad agrícola en estas zonas se desarrolla en cercanías a centros poblados y a fuentes hídricas, lo que permite un mayor acceso al recurso agua y a insumos necesarios para la actividad, sin embargo, también ha ocasionado problemas en cuanto a contaminación de ríos y quebradas por el uso de agroquímicos, y el inadecuado uso del suelo. Barrero *et al.* [25] mencionan que “las modificaciones humanas son las más determinantes en la fragmentación de los ecosistemas, acelerando la pérdida de hábitat y la reducción de la diversidad biológica” por actividades como deforestación, erosión de suelos y contaminación de fuentes hídricas, entre otras.

Según el Plan de Desarrollo Municipal de Imués 2008-2011 [26], “el municipio de Imués se ha caracterizado por su producción triguera, la cual, ha venido disminuyendo considerablemente desde 1991, por efectos de la apertura económica, que provocó la sustitución de trigo y la cebada nacional, por productos importados, ya que los segundos, representaban mayor calidad y menor precio”.

De acuerdo con el Consolidado Agropecuario de Nariño 2006 [27], “del total del área cultivada (3776 has), en el municipio de Imués, el 50,7 %, se destinó a la siembra de trigo, el 25,2 % a maíz anual, el 11,9 % a frijol, el 4,8 % al fique y otras áreas a cebada, cebolla, papa, arveja y tomate de mesa y árbol”. Esto evidencia que se trata de cultivos que por su misma tradición y costumbres

difícilmente se han asociado con componentes arbóreos o arbustivos, generando la pérdida de bienes y servicios ecosistémicos esenciales para una de las zonas más áridas del país.

El Plan de Desarrollo Municipal de Imués 2020-2023 [28] señala y corrobora que en los años 2016-2018, los cultivos más representativos de este sector en el municipio fueron la papa, la cebolla de bulbo y el trigo; sin embargo, de 2017 al 2018, la producción disminuyó, y resalta que la cebada y los cítricos prácticamente han dejado de producirse en la zona.

Se identifica una tendencia histórica caracterizada por una reducción sustancial y una reconfiguración en la extensión de terrenos previamente destinados a la producción de cultivos de cereales y cítricos. Esto se atribuye a dos factores principales: la reconversión de dichos terrenos para otros fines agrícolas o la inactividad productiva, que ha derivado en la proliferación de áreas enmalezadas, las cuales presentan una baja capacidad de uso. Además, se observa una disminución significativa en la superficie destinada a cultivos y pastizales, que en gran medida ha evolucionado hacia pastizales enmalezados. Estos cambios en el uso de la tierra se explican por una combinación de factores, entre los que destacan las prácticas agrícolas inadecuadas, que han acarreado el agotamiento de los suelos, así como las transformaciones económicas, que han impactado de manera negativa en la región, y que en algunos casos han propiciado la expansión de la frontera agrícola hacia los pocos relictos de bosque existentes.

Según el estudio de Muñoz [17], una de las variables que más impactó en zonas agrícolas, generando un aumento en la producción, fue la Revolución Verde, que según el IGAC [29] causó una degradación de suelos en gran parte del territorio nacional, al desecar áreas pantanosas y dotar de riego a terrenos planos y en laderas. Este fenómeno conllevó a un incremento significativo en las áreas catalogadas como de “pastos enmalezados”, que pudo estar influenciado por la presión ejercida por las actividades agrícolas y ganaderas sobre los suelos de la región.

Es importante destacar que zonas que tuvieron algún proceso de transformación y han presentado

mejoras en sus condiciones de suelo sean de nuevo aprovechables para el uso agrícola o pecuario [30].

Escuelas de campo

Para corroborar las variables explicativas desde una dinámica social participativa y con base en el contexto territorial, se desarrollaron las Escuelas de campo, adaptadas para asociaciones y centros educativos, cuyos objetivos fueron la identificación del conocimiento empírico que tienen acerca de su territorio, teniendo en cuenta su percepción a través del tiempo y su afectación en el futuro de los territorios, propendiendo por la conservación y preservación de los ecosistemas estratégicos de la zona (figura 3).

Los resultados obtenidos con la Asociación Asprologo (destinada a procesos agrícolas, pecuarios y de conservación de la zona) reafirmaron, por medio de los talleres, la importancia de los cereales, ligada a la generación de ingresos significativos para los agricultores y la existencia de un mercado sólido que demandó este cultivo en los años ochenta y noventa, contribuyendo al fortalecimiento de la economía local y a la generación de empleo e ingresos. Sin embargo, como se ha mencionado, la dinámica económica experimentada en los últimos años, marcada por la apertura económica y la importación de cereales al país, ha desencadenado un impacto directo en la rentabilidad del cultivo, forzando a buscar alternativas que sean económicamente viables. Este proceso

de transición generó una serie de cambios en las prácticas agrícolas locales, con efectos negativos tanto en suelos como en las coberturas de la tierra, reflejados en áreas enmalezadas y degradadas, lo que representa un desafío adicional para la recuperación y restauración de los suelos. Se reconoce, entonces, que existe una interrelación compleja entre los factores económicos, las prácticas agrícolas y la conservación de ecosistemas.

Durante los talleres se destacaron aspectos relevantes relacionados con la pérdida acelerada de bosques nativos y la degradación de los suelos, influenciadas por varios factores, entre ellos, incendios forestales, tanto provocados por agentes externos como planificados en forma de quemas controladas destinadas a eliminar los residuos de las cosechas de cereales. También se identificó la tala de árboles como un factor significativo y que contribuyó a la pérdida de bosques, en particular durante la expansión agrícola en las décadas de los setenta y los ochenta, cuando los cultivos de cereales, con un enfoque principal en la cebada, ocuparon una parte considerable del territorio. Este proceso de cambio en el uso de la tierra ha tenido un impacto sustancial en la transformación de los suelos, llevándolos de su estado original a convertirse en pastos enmalezados. Estos hallazgos subrayan la interacción compleja entre las actividades humanas y el entorno natural, lo que ha resultado en cambios significativos en la cobertura de la tierra en el territorio.

Figura 3. Participación comunitaria en las Escuelas de campo, en Imués



Fuente: elaboración propia.

En la Asociación, de manera autónoma y democrática, seleccionaron las variables que más influenciaron en la pérdida de suelo y cobertura vegetal, y, a su vez, cuantificaron su importancia en los cambios. La tabla 6 presenta la evaluación de diferentes variables ambientales y su puntuación en relación con el cambio de suelos experimentado en los últimos años. Cada variable fue calificada en una escala del 1 al 10, en la que valores más altos indicaron una mayor contribución al problema.

Tabla 6. Puntuación por variable de la asociación Asprolago, microcuenca La Rasta

Variable	Puntaje
Incendios	8,2
Cambio climático	8,3
Mal manejo del suelo	8,5
Destrucción del componente arbóreo	8
Monocultivos	6
Construcción de vías	4
Extinción de especies de fauna en la zona	8
Escasez de agua	8,3

Fuente: elaboración propia.

Los resultados mostraron múltiples variables que han contribuido al cambio de los suelos en la zona, como el mal manejo del suelo, el cambio climático, la escasez de agua y la destrucción del componente arbóreo. Estos resultados resaltan

la complejidad de los factores que influyen en la transformación de los suelos. Además, se evidencia la necesidad de abordar los problemas identificados como prioridades en la gestión y conservación de los recursos naturales y la calidad del suelo en el área de estudio.

En cuanto al trabajo con instituciones educativas y niños de secundaria, permitió una valiosa estrategia para corroborar y definir algunas variables explicativas en los cambios suscitados en las coberturas, así como una sensibilización y una educación temprana sobre los problemas medioambientales y las actividades agrícolas y pecuarias de la zona. También se fomentó su naturaleza curiosa, el desafío al pensamiento convencional e identificar variables desde unas perspectivas ecológica, científica y vivencial, aunado a la participación de padres y tutores.

Los talleres tuvieron jornadas en las cuales los estudiantes, mediante dibujos y grupos de trabajo, se situaron en tres escenarios espacio-temporales, el pasado, el presente y el futuro; para cada caso, cada grupo identificó, de acuerdo con su conocimiento o relatos de sus padres o abuelos, cómo percibía su territorio.

Los resultados indicaron que, según la percepción del paisaje en tiempo pasado, existían en los territorios unas características ambientales notablemente distintas, en comparación con las actuales. Se observó una mayor extensión de áreas cubiertas con vegetación boscosa, mientras que era

Figura 4. Escenarios territoriales plasmados por comunidades e instituciones de Imués



Fuente: elaboración propia.



escasa la presencia de construcciones residenciales. Además, se destacó la mayor accesibilidad a fuentes hídricas que se encontraban en la zona, lo que podría haber influido en la configuración del paisaje. Este período se caracterizó por un entorno más exuberante y verde, con una diversidad de flora y fauna aparentemente más rica y variada, en comparación con la época presente.

En cuanto al contexto presente, los resultados revelaron que la percepción es contrastante con la época pasada, sugiriendo dos escenarios. En el primero se observa una mayor presencia de elementos que indican contaminación en las fuentes hídricas, lo que induce a pensar en un deterioro en la calidad de los cuerpos de agua del territorio. Además, se destacó la presencia de animales en las fincas, siendo un factor que genera intensificación de las actividades agropecuarias en la zona y, posiblemente, una reducción en la biodiversidad local.

En el segundo escenario, los participantes plasmaron un entorno con mayor cantidad de viviendas y construcciones, igual que una agricultura que en apariencia es poco sostenible. Esto podría interpretarse como un indicativo de un proceso de urbanización y expansión de áreas agrícolas que podría estar ejerciendo presión sobre los recursos naturales y el uso del suelo.

Para el futuro, de igual manera, se identificaron dos escenarios. En el primero se evidencia un ecosistema con mayores cuidados y preservación, con representaciones en torno a fuentes hídricas limpias y una mayor cantidad de árboles. Esto sugiere una visión optimista, articulada con la conservación y restauración de ecosistemas, lo cual garantizaría una disponibilidad de agua de calidad y mayor presencia de vegetación.

En el segundo, en contraste con el anterior, se denota un ecosistema que parece no ha tenido algún cuidado o procesos de mejora. Hay fuentes hídricas contaminadas y con caudal reducido, un mayor número de viviendas, árboles secos y talados, y un suelo erosionado. Este panorama podría interpretarse como una visión pesimista de la que se anticipan consecuencias negativas derivadas de prácticas insostenibles y de la falta de conservación y educación ambiental.

Al respecto, Rivera, Pérez y Weber [9], y Arteaga, Benítez y Castro [31] mencionan que la participación comunitaria en procesos de gestión y planificación territorial son esenciales para lograr mejores decisiones y acciones que aporten un mayor impacto en el corto, mediano y largo plazo.

Proponer escenarios y alternativas tendenciales para el año 2050 que permitan el mejoramiento de los usos de los suelos en conflicto

Con base en los hallazgos previos se llevó a cabo una proyección inicial al año 2050. Esta se basó en los ajustes de coberturas territoriales correspondientes al año de 2023, considerando las tendencias y cambios identificados, y propendiendo por incorporar coberturas con un componente arbóreo en los sistemas identificados. En la tabla 7 y la figura 5 se presentan los resultados obtenidos en esta proyección prospectiva.

Tabla 7. Coberturas previstas para el año 2050 de la microcuenca La Rasta, municipio de Imués

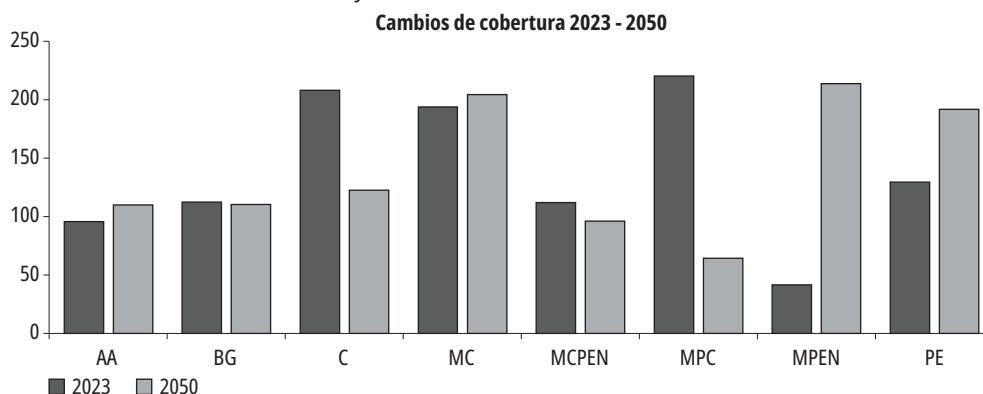
Cobertura	Área (ha)
Arbustales abiertos	110,1
Bosque de galería	110,4
Cereales	122,7
Mosaico de cultivos	204,6
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	96,4
Mosaico de pastos y cultivos	64,4
Mosaico de pastos con espacios naturales	214,1
Pastos enmalezados	191,9

Fuente: elaboración propia.

Se identificó una serie de cambios significativos en las coberturas de la microcuenca. Entre los que se destacan aspectos negativos como la disminución aproximada de dos hectáreas de bosque de galería y el incremento de áreas destinadas a pastos enmalezados.

La tendencia hacia el aumento de las áreas de pastos enmalezados ya se había identificado y estaba relacionada, en gran medida, con la

Figura 5. Cambios de cobertura entre 2023 y 2050



Fuente: elaboración propia.

expansión de los monocultivos de cereales, ocasionando la conversión de áreas agrícolas en zonas de pastos enmalezados. Estas coberturas quedan sin uso productivo, debido a su esterilidad, lo que contribuyó, en parte, a la disminución de los cultivos de cereales en el municipio y la microcuenca. Al respecto, Cabido *et al.* [32] mencionan que los cambios en las coberturas en los territorios se presentan por las dinámicas económicas y decisiones políticas que afectan directamente la rentabilidad e ingresos de los agricultores, lo que ocasiona que se tomen decisiones respecto a la implementación de nuevos cultivos que generen los ingresos económicos suficientes para suplir sus necesidades básicas y de la familia.

En este sentido, para lograr un ajuste en la propuesta de escenarios alternativos, basado en los resultados anteriores, se priorizaron algunas actividades y labores que propendieran por mejorar las coberturas y la sostenibilidad rural a futuro. Se incluyeron iniciativas de restauración ecológica de áreas que en la actualidad están abandonadas o presentan suelos poco fértiles. Además, se tuvo en cuenta el interés de la comunidad por realizar plantaciones arbóreas en las cercanías de las fuentes de agua, con el propósito de conservar, no solo dichas fuentes, sino también la biodiversidad que depende de ellas y los beneficios asociados.

Rivera, Pérez y Weber [9] afirman que, en cuanto a escenarios futuros, la participación de la comunidad es esencial a la hora de lograr una

mejor interpretación de los modelos y sistemas que deben incorporarse en los territorios. Cabe resaltar que en el ejercicio participativo para lograr estas propuestas, la comunidad reconoció que las prácticas agrícolas tradicionales han contribuido a la degradación de los suelos, lo que ha resultado en la pérdida de vegetación arbórea y en la escasez de agua. En consecuencia, se propusieron alternativas para abordar estos desafíos y promover una agricultura más sostenible y resiliente. A continuación, se presentan algunas alternativas propuestas:

- Promover la presencia de cercos vivos con un mayor componente arbóreo.
- Fomentar la plantación de árboles dispersos dentro de las parcelas para facilitar la fertilización natural y conservación del suelo.
- Implementar sistemas silvopastoriles que combinen la ganadería con la plantación de árboles.
- Valorar el papel fundamental de las familias en la producción de alimentos y promover la agricultura familiar.
- Estimular la creación de huertas familiares para diversificar la producción y aumentar la seguridad alimentaria.
- Impulsar la plantación de árboles a lo largo de las vías, lo que además contribuiría a la restauración de áreas degradadas y a la conservación de la biodiversidad local, generando conectividad con los relictos de bosques presentes en la zona.

Figura 6. Participación comunitaria en la evaluación de las alternativas propuestas



Fuente: elaboración propia.

Tras un detenido análisis de los resultados se concluyó que es fundamental incorporar el componente arbóreo en las coberturas de mosaico de cultivos, de pastos y cultivos, y de pastos, con el fin de promover la restauración, conservación y conectividad de los espacios naturales en la microcuenca, fomentar un mayor escalonamiento de estas actividades y lograr, en parte, una producción conservando y conservar produciendo. Con esto se llevaron a cabo ajustes en el mapa de coberturas correspondiente al año 2023, con el objetivo de mejorar las condiciones ambientales de la microcuenca (tabla 8 y anexo 5). Los resultados obtenidos de las áreas de cobertura modificadas fueron los siguientes:

Tabla 8. Área por cobertura en el año 2023, modificada, de la microcuenca La Rasta

Cobertura	Área (hectáreas)
Arbustales abiertos	58,3
Bosque de galería	108,6
Cereales	184,3
Mosaico de cultivos	83,8
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	285,2
Mosaico de pastos y cultivos	138,7
Mosaico de pastos con espacios naturales	203,4
Pastos enmalezados	52,5

Fuente: elaboración propia.

Siguiendo rigurosamente la metodología previamente detallada, se procedió a realizar un análisis multitemporal con el objetivo de comprender y cuantificar las modificaciones que han ocurrido en las coberturas de la microcuenca durante el período de tiempo que comprende desde el año 1989 hasta el 2023, teniendo en consideración las modificaciones y ajustes que se implementaron de acuerdo con las coberturas sugeridas por la comunidad y que se establecieron en zonas óptimas para este fin, permitiendo comprender la evolución de las condiciones del paisaje a lo largo del tiempo y evaluar el impacto de las intervenciones propuestas. Los resultados obtenidos en esta evaluación multitemporal identificaron cambios significativos en las coberturas de terreno.

La tabla 9 y el anexo 2 presentan los cambios de cobertura y de transformaciones en el paisaje que respaldan la efectividad de las intervenciones planificadas. Estos cambios se reflejan en las siguientes categorías:

- De C, MCPEN: representa una reducción de los monocultivos de cereales que, en parte, puede ser beneficiosa para el mejoramiento del suelo, la diversificación de la producción agrícola y la inclusión de un componente arbóreo o arbustivo.
- De MPC a AA: puede estar relacionado con cambios en la gestión de las tierras rurales, como la apertura de áreas previamente utilizadas para múltiples propósitos y su cercanía con estos espacios naturales que, por su misma dinámica, suelen generar conectividad.
- De PE a C: podría indicar un retorno a la agricultura de cereales, la cual es tradicional y está arraigada en la zona, posiblemente influenciado por factores económicos o de mercado; esta debería estar acompañada con procesos más sostenibles y que no afecten la fertilidad del suelo.
- De PE a MCPEN y MPEN: se puede evidenciar que están acordes con la estrategia de recuperación de suelos, conectividad y paisajes degradados, siendo un objetivo clave en la restauración ecológica.

Tabla 9. Cambios de cobertura entre 1989 y 2023, con coberturas modificadas, de la microcuenca La Rasta

Cambio de cobertura	Abreviaturas	Área (has)
De mosaico de cultivos a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	MC a MCPEN	111,5
De mosaico de cultivos a mosaico de pastos y cultivos	MC a MPC	61,5
De cereales a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	C a MCPEN	106,7
De mosaico de pastos y cultivos a arbustales abiertos	MPC a AA	57,8
De pastos enmalezados a cereales	PE a C	116,8
De pastos enmalezados a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	PE a MCPEN	127,9
De pastos enmalezados a mosaico de pastos con espacios naturales	PE a MPEN	70,4

Fuente: elaboración propia.

Se pueden evidenciar, en términos generales, que los ajustes y cambios de cobertura amparan la eficacia de las estrategias de gestión y planificación implementadas para mejorar la sostenibilidad ambiental en la microcuenca La Rasta. Estos cambios indican una tendencia hacia la diversificación de los usos de la tierra, la restauración de ecosistemas degradados y la conservación de recursos naturales, lo que contribuye a la resiliencia y a obtener un mejor paisaje. Barahona *et al.* [33] mencionan que el modelamiento de escenarios prospectivos ayuda a una mejor gestión del territorio y genera conciencia en los habitantes de la zona. Este tipo de estudios debería ser un instrumento esencial en la toma de decisiones a nivel rural, generando programas y proyectos que se encaminen hacia las propuestas encontradas.

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta la metodología utilizada en el modelamiento, se procedió a analizar las coberturas para el año 2050, incluyendo las modificaciones participativas.

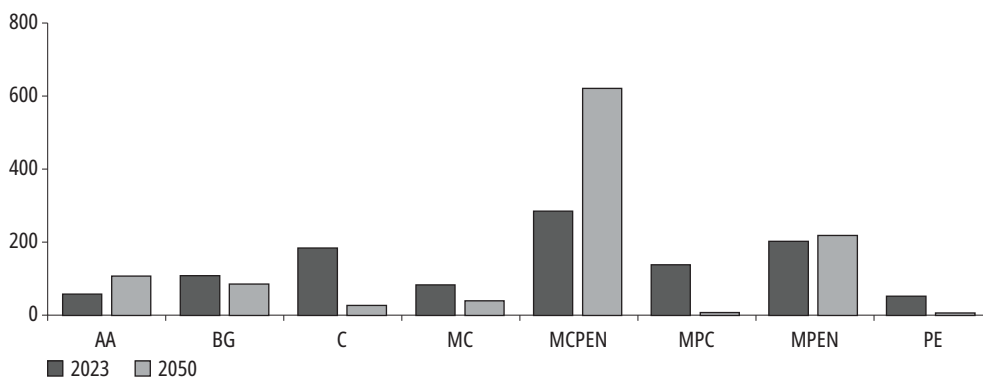
La tabla 10 y la figura 7 (anexo 3) muestran un enfoque integral hacia la gestión del paisaje y refleja un esfuerzo por mejorar la calidad ambiental y la sostenibilidad en la microcuenca, considerando las modificaciones realizadas. Estas proyecciones refuerzan la idea de que la planificación y la

Tabla 10. Coberturas al año 2050, con modificaciones, de la microcuenca La Rasta, municipio de Imués

Cobertura	Área (has)
Arbustales abiertos	107,5
Bosque de galería	86,2
Cereales	26,9
Mosaico de cultivos	40,2
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	621,3
Mosaico de pastos y cultivos	7,6
Mosaico de pastos con espacios naturales	218,8
Pastos enmalezados	6,5

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Cambios de cobertura, modificado, entre 2023-2050



Fuente: elaboración propia.

gestión de las coberturas pueden tener un impacto positivo en el paisaje y en la calidad ambiental. Además, se puede apreciar un aumento significativo en áreas de alto valor ecológico, como los mosaicos que incorporan cultivos, pastizales y espacios naturales. Esto demuestra que con ajustes e inclusión del componente arbóreo en los sistemas productivos tradicionales se puede lograr la conservación de ecosistemas naturales y la restauración de áreas degradadas.

La diversificación de las coberturas agrícolas por medio de mosaicos que combinan cultivos y pastizales sugiere un enfoque más equilibrado y sostenible para la agricultura en la microcuenca. Esto puede contribuir a la seguridad alimentaria, la resiliencia agrícola y la mitigación de riesgos asociados con monocultivos. La ganancia en áreas como arbustales abiertos puede indicar procesos que ayudan a la conservación y restauración de áreas de vegetación natural, lo que es esencial para mantener la biodiversidad y la conectividad del paisaje.

De igual forma, la reducción de áreas de pastos enmalezados indica un intento de revertir la degradación del suelo y convertir estas zonas en paisajes más productivos y ecológicamente más beneficiosos.

En general, estos cambios buscan abordar los desafíos ambientales y agrícolas, al tiempo que fomentan la resiliencia de los ecosistemas locales. Este análisis respalda la importancia de la planificación del uso de la tierra basada en la ciencia y la gestión sostenible de los recursos naturales, para garantizar procesos de escalonamiento bajo la premisa de producir conservando y conservar produciendo.

Conclusiones

Los modelos prospectivos, como los utilizados en este estudio, demuestran ser herramientas valiosas para comprender los cambios en la cobertura del territorio y evaluar la viabilidad de alternativas destinadas a mejorar la calidad de los suelos, la conectividad y la sostenibilidad rural en el marco de la calidad ambiental. Además, proporcionan una visión futura acerca de las orientaciones y las

decisiones de ordenamiento territorial y planificación ambiental.

El análisis de la microcuenca La Rasta indica que es factible implementar un proceso de ordenamiento territorial basado en la agricultura sostenible. Este enfoque busca mantener y evitar a lo largo del tiempo la degradación del suelo, promover la conservación del componente arbóreo nativo, proteger los ecosistemas estratégicos, preservar las fuentes hídricas, conservar la biodiversidad de fauna y flora, y mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales. Estas medidas pueden contribuir a la resiliencia de la microcuenca frente a los desafíos ambientales y agrícolas y al cambio climático.

El estudio destaca la importancia de la participación comunitaria en los procesos de gestión y planificación rural en la microcuenca La Rasta, que logran identificar los problemas ambientales, proponen soluciones sostenibles locales y enriquecen los procesos investigativos desarrollados por medio del conocimiento local. De igual forma, inducen la comprensión de los desafíos y oportunidades de su territorio, que garantizan la implementación exitosa de políticas de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible, en las que la comunidad participa como un actor clave en la conservación de los recursos naturales y promueve un sentido de propiedad compartida, lo que contribuye a un manejo más práctico y sostenible de los recursos naturales.

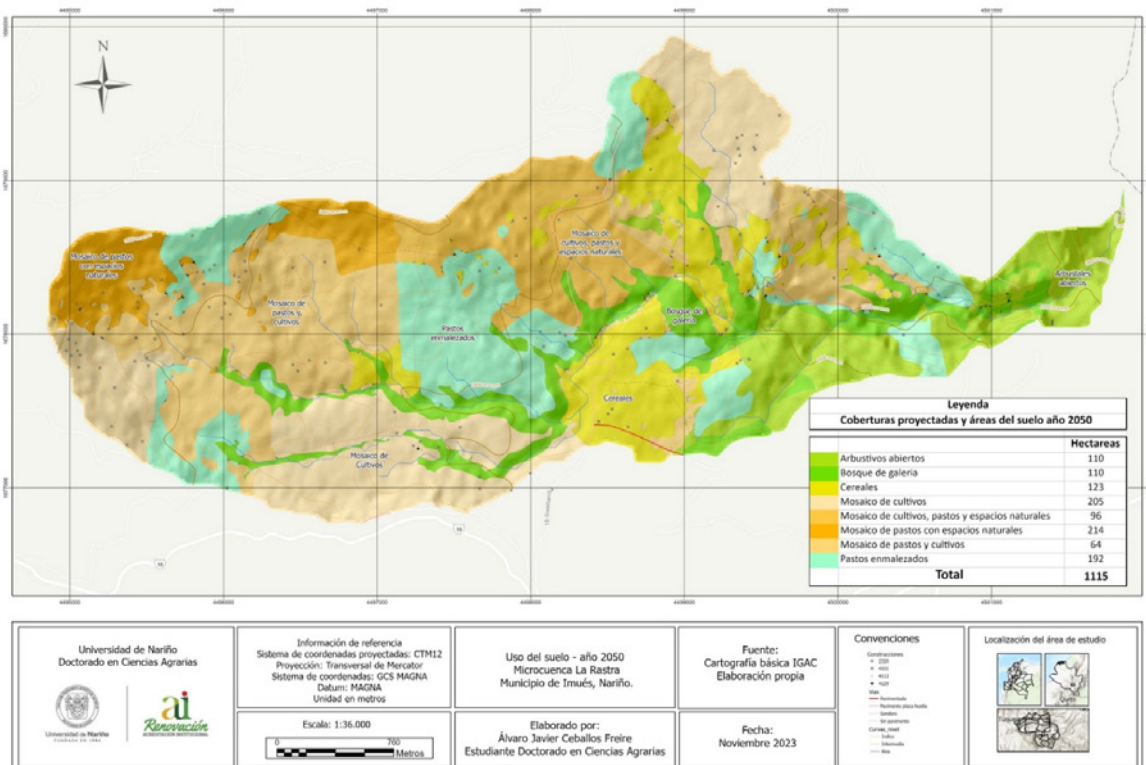
Referencias

- [1] M. Mónaco *et al.*, “Deforestación de los bosques nativos de Argentina: causas, impactos y propuestas de desarrollo alternativas”, *Revista Quipu Forestal. Colegio de graduados en Ciencias Forestales*, vol. 6, p. 9, 2020.
- [2] CAC Y SICA, “Estrategia agricultura sostenible adaptada al clima para la región del SICA (2018-2020)”, 2018.
- [3] FAO, “El estado Mundial de la agricultura y la alimentación 2019”, 2021b.
- [4] FAO, “*El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite*”, 2021a, doi: 10.4060/cb7654es
- [5] Minambiente-IDEAM, “Resultados de monitoreo deforestación 2019”, p. 16, 2019.

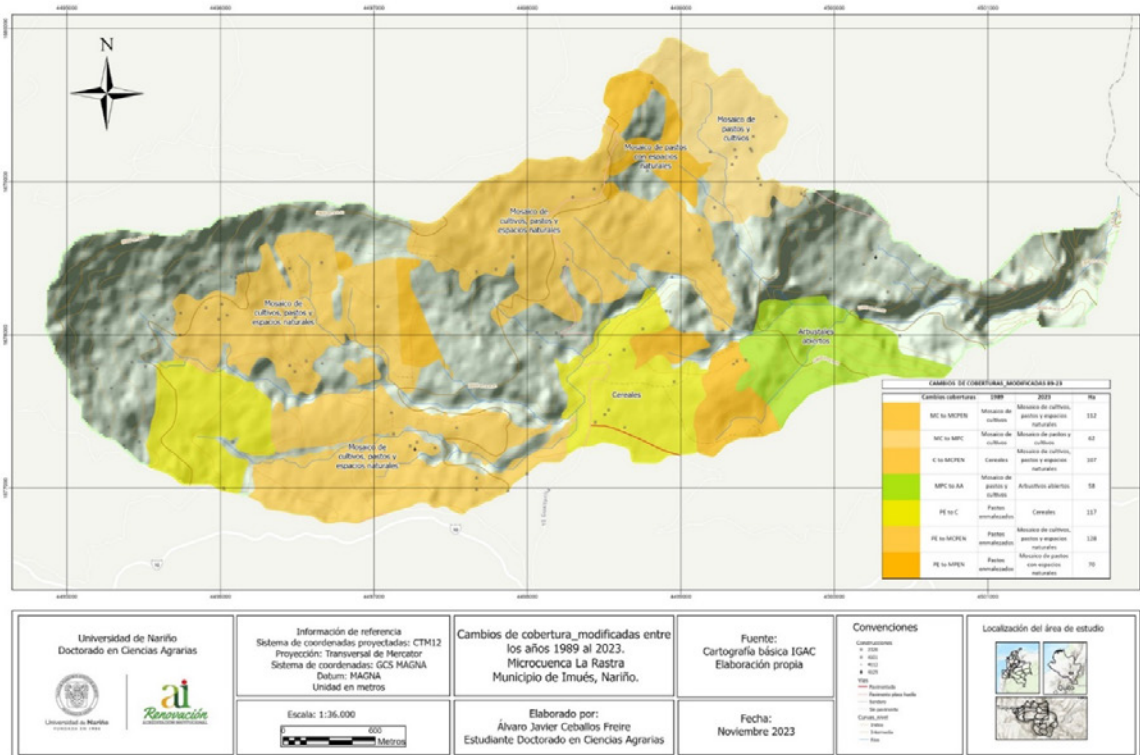
- [6] UPRA, “Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios para el departamento de Nariño a escala 1:100.000”, Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), p. 626, 2018.
- [7] UPRA, “Evaluación de Tierras para la zonificación con fines agropecuarios a nivel nacional. Metodología a escala general 1:100.000”, Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), p. 113, 2013.
- [8] SADER, “Plan departamental de extensión agropecuaria PDEA Nariño 2020-2023”, 2019, disponible en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36543>
- [9] C. Rivera, M. Pérez y S. Weber, “SIG colaborativo enfocado a la participación ciudadana para apoyar el proceso de elaboración del plan de ordenamiento territorial”, p. 19, 2017, disponible en https://www.researchgate.net/profile/Serena-Weber/publication/329191856_sig_colaborativo_enfocado_A_la_participacion_ciudadana_para_apoyar_el_proceso_de_elaboracion_del_plan_de_ordenamiento_territorial/links/5bfc0cf7458515b41d0f6f82/sig-colaborativo-enfocado-A-la-participacion-ciudadana-para-apoyar-el-proceso-de-elaboracion-del-plan-de-ordenamiento-territorial.pdf
- [10] L. Cerón y C. Erazo, “Plan estratégico de la secretaría de agricultura, medio ambiente y desarrollo rural”, 2020.
- [11] L. C. Flórez, “Formulación del plan de gestión ambiental en el municipio de Imués - Departamento de Nariño”, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2016, doi: 10.15446/revfacmed.v66n3.60060
- [12] Alcaldía de Imués, “Esquema de Ordenamiento Territorial Municipal de Imués”, 2018, disponible en <https://www.imues-narino.gov.co/planes/esquema-de-ordenamiento-territorial-municipal-de-imues>
- [13] A. Hardaker, T. Pagella y M. Rayment, “Ecosystem service and dis-service impacts of increasing tree cover on agricultural land by land-sparing and land-sharing in the Welsh uplands”, *Ecosystem Services*, 48, 2021, doi: 10.1016/j.ecoser.2021.101253
- [14] I. Palacios y K. Arellano, “Modelo predictivo del cambio de cobertura forestal en el área de conservación municipal Quilamo”, *Cantón Morona Revista Geoespacial*, vol. 18, no. 1, p. 13, 2021.
- [15] Z. Shahbazian, M. Faramarzi, N. Rostami and H. Mahdizadeh, “Integrating logistic regression and cellular automata–Markov models with the experts’ perceptions for detecting and simulating land use changes and their driving forces”, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 191, no. 7, 2019, doi: 10.1007/s10661-019-7555-4
- [16] F. Jahanishakib, S. H. Mirkarimi, A. Salmanmahiny and F. Poodat, “Land use change modeling through scenario-based cellular automata Markov: improving spatial forecasting”, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 190, no. 6, 2018, doi: 10.1007/s10661-018-6709-0
- [17] G. D. Muñoz, “La gestión de los paisajes de páramos en el marco de la iniciativa latinoamericana del paisaje: propuesta metodológica aplicada a Nariño, Colombia”, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia, 2017.
- [18] K. Castleman, “Digital image processing solution Manual-part one”, University Houston, 1996.
- [19] M. Hernández *et al.*, “Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en el municipio de Linares, Nuevo León”, *Revista Ecosistemas y recursos agropecuarios*, vol. 10, no. 2, p. 14, 2023, disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/era/v10n2/2007-901X-era-10-02-e3743.pdf>
- [20] IDEAM, “Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000”, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, D. C., p. 72, 2010.
- [21] J. R. Eastman, “*Idrisi selva guía para SIG y procedimiento de imágenes*”, Clark University, p. 229, 2012, disponible en <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/idrisi-Selva-Spanish-Manual.pdf>
- [22] J. R. Eastman, “Guide to GIS and Image Processing”, Clark University, p. 327, 2006, disponible en http://www.cartografia.cl/download/manuales/idrisi_andes.pdf
- [23] A. García, I. Santé y R. Crecente, “Análisis de los factores que condicionan la evolución de los usos del suelo en los pequeños asentamientos urbanos de la costa norte de Galicia”, *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, vol. 54, pp. 57-59, 2010.
- [24] Alcaldía Municipal de Imués, “Plan de Ordenamiento Territorial (2000-2008). Acuerdo No. 012”, disponible en https://admonimuesnarino.micolombiadigital.gov.co/sites/admonimuesnarino/content/files/000287/14332_acuerdo-012--200420001.pdf
- [25] H. Barrero *et al.*, “Dinámica de cambio de uso de suelo del sector Guangras en el Parque Nacional Sangay, Ecuador”, *Revista cubana de ciencias forestales*, vol. 10, no. 1, pp. 44-58, 2022, disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v10n1/2310-3469-cfp-10-01-44.pdf>
- [26] Alcaldía Municipal de Imués, “Plan de Desarrollo Imues 2008-2011. Construyendo futuro”, disponible

- en <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/13348/12586-1.pdf>
- [27] E. Zúñiga, A. Rueda, A. Suaza y A. Villarreal, “Consolidado agropecuario, acuícola y pesquero 2005, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente del departamento de Nariño, p. 123, 2006.
- [28] Alcaldía Municipal de Imués, “Plan de Desarrollo Imues 2020-2023. Volvamos a creer”, disponible en https://admonimuesnarino.micolombiadigital.gov.co/sites/admonimuesnarino/content/files/000205/10245_plan-de-desarrollo-volvamos-a-crear-imues-final.pdf
- [29] IGAC, “Suelos afectados por el mal uso, empiezan a sufrir las consecuencias de la “ola de calor” en Colombia”, 2015, disponible en <https://www.igac.gov.co/es/noticias/suelos-afectados-por-el-mal-uso-empiezan-sufrir-las-consecuencias-de-la-ola-de-calor-en#:~:text=igac%2C%20septiembre%201%2F2015.,han%20dado%20a%20sus%20suelos>
- [30] I. Palacios, D. Ushiña y D. Carrera, “Técnicas SIG para recuperación de suelos cangahuosos, con fines de agricultura comunitaria en Ilaló, Argentina”, *Ciencia del suelo*, vol. 38, no. 2, pp. 295-309, disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672020000200295&script=sci_arttext
- [31] F. Arteaga, M. Benítez y J. Castro, “La participación comunitaria en la planificación territorial para la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Aportes para la acción”, Universidad Católica de Manizales, Colombia, p. 171, 2023.
- [32] M. Cabido *et al.*, “Cambio en la cobertura de la vegetación del centro de la Argentina. ¿Factores directos o causas subyacentes?”, *La Heterogeneidad de la Vegetación de los Agroecosistemas*, pp. 271-300, 2005, disponible en https://www.researchgate.net/profile/Daniel-M-Caceres/publication/323548160_Cambios_en_la_cobertura_de_la_vegetacion_del_centro_de_Argentina_Factores_directos_o_causas_subyacentes/links/5aa6627ea6fdcc29af52b9d8/Cambios-en-la-cobertura-de-la-vegetacion-del-centro-de-Argentina-Factores-directos-o-causas-subyacentes.pdf
- [33] A. Barahona *et al.*, “Modelos prospectivos: análisis teóricos, revisión de literatura de estudios desarrollados por Godet y Mojica”, *Revista electrónica TAMBARA*, vol. 8, no. 47, pp. 655-669, 2019, disponible en https://tambara.org/wp-content/uploads/2019/09/5.ModelProspect_godetMojica_Sangu%C3%B1a_final.pdf

Anexo 1. Mapa de las coberturas del suelo en el año 2050, de la microcuenca La Rasta, municipio de Imués, Nariño



Anexo 2. Mapa de cambios de la cobertura entre los años 1989-2023, modificado, de la microcuenca La Rasta, municipio de Imués, Nariño



Anexo 3. Mapa de las coberturas del suelo en el año 2050, modificado, de la microcuenca La Rasta, municipio de Imués, Nariño

