

Identificación de áreas a reforestar con la aplicación de los sistemas de información geográfica y la metodología de multicriterio en el municipio de la Macarena, Meta

Herney Armando Echeverri Londoño, haecheverril@unadvirtual.edu.co

Paola Andrea Arenas Palomino, paarenasp@unadvirtual.edu.co;

Diego Alberto Perea Hurtado, dapereah@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: John Carlos Ruiz Caicedo, john.ruiz@unad.edu.co

RESUMEN

El estudio se centra en la identificación de áreas prioritarias para la reforestación en el municipio de La Macarena, Departamento del Meta, esta área es un ecosistema único y biodiverso que alberga una gran variedad de flora y fauna endémica. Sin embargo, esta región también se enfrenta a una grave amenaza, la deforestación es la principal causa de la degradación del ecosistema, convirtiendo las áreas deforestadas en tierras para la agricultura y la ganadería extensiva. Esta actividad es impulsada por la demanda de productos agrícolas y la búsqueda de nuevas tierras por parte de colonos y ganaderos. De aquí el objetivo de poder Identificar áreas a Reforestar con la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la metodología de Jerarquía analítica. Para ello, se recolectaron datos geoespaciales como mapas de cobertura vegetal, uso del suelo, pendientes, tipos de suelo y datos climáticos, obtenidos de diversas fuentes oficiales. Se definieron criterios de selección que incluyen factores ambientales (Cobertura del suelo, Clasificación climática, Humedales, Parques Nacionales). A través del método de Análisis Jerárquico (AHP), se asignaron pesos a estos criterios mediante consultas bibliográficas y criterios del grupo. Integrando estos datos en un SIG, se realizaron análisis espaciales para generar mapas de idoneidad, identificando áreas con condiciones óptimas para la reforestación. Los resultados mostraron varias zonas prioritarias, facilitando una toma de decisiones informada y precisa para la planificación de proyectos de reforestación, con beneficios potenciales en la

conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible local.

Palabras Claves: reforestación, Macarena, mapas, cobertura, SIG

INTRODUCCIÓN

La reforestación es una estrategia crucial para la conservación ambiental y la mitigación del cambio climático. En el municipio de La Macarena, Meta, una región reconocida por su biodiversidad y recursos naturales, la reforestación se presenta como una necesidad urgente para preservar su patrimonio ecológico y mejorar la calidad de vida de sus comunidades locales. Sin embargo, identificar las áreas más adecuadas para la reforestación requiere una planificación precisa y basada en datos. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la metodología de multicriterio emergen como herramientas fundamentales (Gutiérrez et, al 2016).

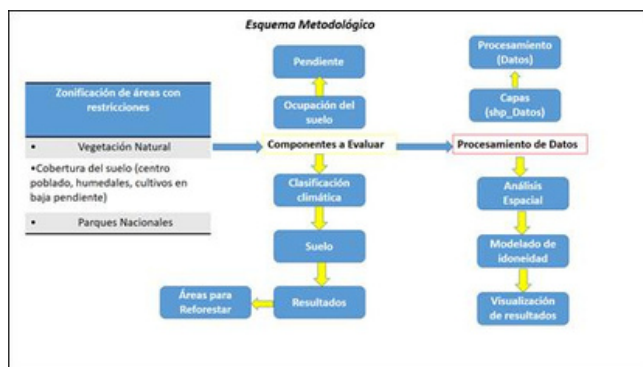
Los SIG permiten el manejo y análisis de grandes volúmenes de datos geoespaciales, facilitando la visualización y el entendimiento de las características del terreno, mientras que la metodología de multicriterio proporciona un marco para evaluar y ponderar diversos factores relevantes, tales como condiciones ambientales, sociales y económicas. Al combinar estas herramientas, se puede llevar a cabo un análisis detallado y riguroso para determinar las zonas prioritarias para la reforestación, asegurando así una intervención más eficiente y eficaz, (Olaya,2020).

En términos generales el procedimiento de análisis consiste en realizar una serie de superposiciones cartográficas substractivas que, permitiendo la selección de sitios aptos para la reforestación, obteniendo un mapa aptitud de zonas a plantar con especies forestal mediante procedimientos de superposición cartográfica (Martínez et al; 2021). Las coberturas que permiten excluir del análisis aquellas porciones del territorio en donde no es posible cumplir con el objetivo planteado.

Las áreas para excluir de la evaluación reciben un valor de uno y las zonas donde si es posible realizar la actividad se pondera con diez. Es importante tener en cuenta que la identificación de zonas a deforestar es un proceso complejo que requiere la consideración de una variedad de factores.

Los geoprocursos en SIG pueden ser una herramienta útil para este proceso, pero es importante utilizarlos en conjunto con otros métodos de análisis, como la evaluación de expertos y la participación de las partes interesadas (Zambrano et, al 2022)

Figura 1. Esquema Metodológico.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Componentes para evaluar.

- Cobertura del suelo: Identificar y clasificar los diferentes tipos de cobertura del suelo presentes en el municipio de La Marcarena apoyado con las capas vectoriales que proporciona los geoportales. <https://www.colombiainmapas.gov.co/>

- Clasificación climática según Caldas Lang: Determinar la clasificación climática del municipio de acuerdo al método de Caldas Lang realizado con la base de datos que proporciona el geo portal del IDEAM.

- Restricciones:

Humedales: Excluir las áreas de humedales del análisis de zonas potenciales para deforestación.

Parques nacionales: Excluir las áreas de parques nacionales del análisis de zonas potenciales para deforestación.

Desarrollo de los pasos a seguir para determinar las áreas a Reforestar.

1. Recopilación de datos:

- o Obtener capas de datos espaciales de cobertura del suelo, clasificación climática según Caldas Lang, humedales y parques nacionales.

- o Verificar la calidad y precisión de los datos.

2. Preprocesamiento de datos:

- o Convertir todos los datos a un sistema de referencia espacial común.

- o Re-muestrear las capas de datos a una resolución espacial adecuada.

- o Reclasificar las categorías de cobertura del suelo y clasificación climática según sea necesario.

3. Análisis espacial:

- o Análisis de cobertura del suelo:

Clasificar por medio del Nivel 1 adoptada por la leyenda Nacional IDEAM 2010.

Identificar áreas con baja densidad de cobertura forestal.

o Análisis de clasificación climática:

Identificar áreas con climas aptos para la agricultura o la ganadería.

o Análisis de restricciones:

Excluir las áreas de humedales y parques nacionales del análisis.

4. Modelado de idoneidad:

Desarrollar un modelo de idoneidad para identificar zonas con alto potencial de deforestación.

El modelo puede basarse en una combinación de los resultados de los análisis espaciales realizados, considerando la importancia relativa de cada factor.

5. Reclasificación de las capas

- Análisis de jerarquías analíticas para determinar el valor porcentual de influencia dentro de cada componente.

- Para este modelo, se propone que las variables correspondientes a la información de los indicadores sean calificadas dentro de un rango numérico comprendido entre uno (1) a diez (10), siendo los valores cercanos a diez, los correspondientes a una calificación deseable para desarrollar actividades forestales y los valores cercanos a uno, a una situación desfavorable o limitante para desarrollar dichas actividades.

Tabla N° 1. Distribución de las coberturas del suelo y su calificación.

Cobertura	Calificación
Áreas con cultivo	10
Arbustal	6
Herbazal	10
Mosaico de cultivos y espacios naturales	9
Pastos arbolados	4
Tierras desnudas y degradadas	10
Vegetación secundaria o en transición	5
Humedales	1
Paragués Nacionales	1

Fuente: Elaboración propia, 2024

Mapa de componente Ambiental con la Restricciones.

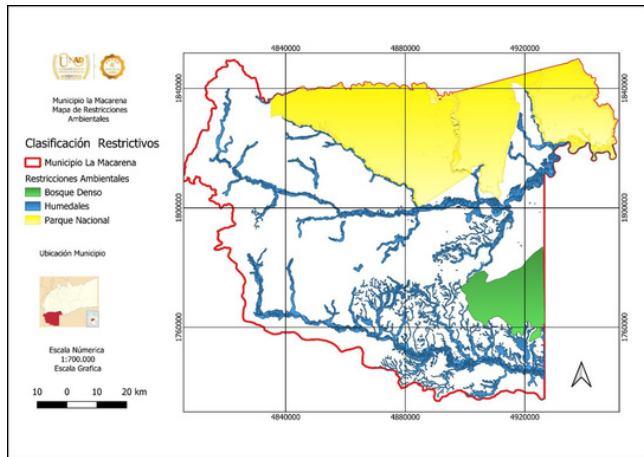
El mapa se clasificó en áreas con parques nacionales zonas de bosque denso y humedales estas áreas se clasificaron como do aptas para procesos de reforestación ya que por su condición natural y apoyado por la normativa se mantienen con buena cobertura de vegetación natural árboles, por medio del sistema de información geográfica se pudo calcular las áreas que ocupan en el Municipio de La Macarena estas coberturas.

Tabla 2. Coberturas con restricciones.

Coberturas Restricciones	Áreas en Hectáreas
Parque Nacionales	274113,450
Bosque Denso	47,602
humedales	68,230

Fuente: Autoría propia, 2024.

Figura 1. Restricciones Ambientales.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Mapa de cobertura del suelo.

Las coberturas de la tierra proporcionan información fundamental para diversos procesos nacionales como los mapas de ecosistemas, conflictos de uso del territorio, ordenación de cuencas y del territorio, seguimiento a la deforestación de los bosques, y los inventarios forestales, sólo por citar algunos. El Municipio la Macarena tienen una diversidad de área por coberturas constituidas por terrenos con bosque, pero ser un municipio de gran importancia ecológica y por su fragilidad se debe implementar zonas de recuperación forestal para mantenerlo en el tiempo (Niño,2018).

Análisis de la Cobertura del Suelo

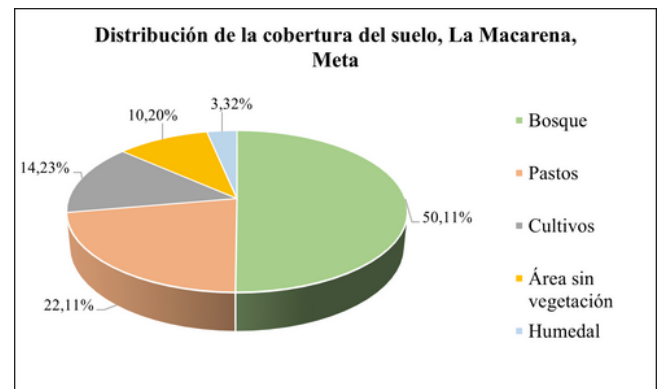
De acuerdo con datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) de Colombia para el año 2020, la cobertura del suelo dominante en el municipio de La Macarena es de bosque, sin embargo, hay que tener en cuenta que este municipio es de gran importancia ecológica y el área de bosque se ha visto afectada por la expansión agrícola y pecuaria lo que a la larga perjudicará las condiciones naturales del Municipio.

Porcentaje de Coberturas

El gráfico siguiente muestra la distribución porcentual de las principales coberturas del suelo en el municipio de La Macarena:

Imagen de un gráfico circular que muestra la distribución porcentual de las principales coberturas del suelo en el municipio de La Macarena. El bosque ocupa el 50,11%, seguido de los pastos (22,11%), los cultivos (14,23%), las áreas sin vegetación (10,2%), humedal (3,32%).

Gráfico 1. Coberturas del suelo, La Macarena, Meta.

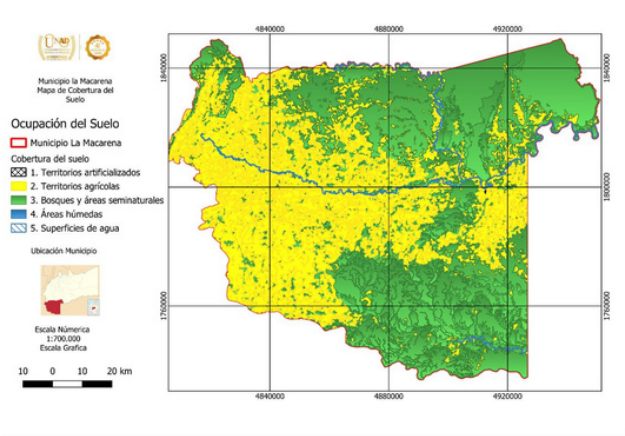


Fuente: Autoría propia, 2024.

Tabla 2. Distribución de las coberturas del suelo y su calificación.

Cobertura	Calificación
Áreas con cultivo	10
Arbustal	6
Herbazal	10
Mosaico de cultivos y espacios naturales	9
Pastos arbolados	4
Tierras desnudas y degradadas	10
Vegetación secundaria o en transición	5
Humedales	1
Paraués Nacionales	1

Fuente: Autoría propia, 2024.

Figura 2. Cobertura del suelo.

Fuente: Autoría propia, 2024.

Mapa Clasificación Climática

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM,2024). El municipio de La Macarena en el departamento del Meta, Colombia, presenta un clima Af: Bosque húmedo tropical. Este tipo de clima se caracteriza por las siguientes condiciones:

Precipitación:

- Precipitación anual abundante, generalmente superior a 1.750 mm.
- Precipitación distribuida a lo largo del año, sin estación seca definida.
- Los meses más húmedos coinciden con el paso del ZIT (Zona de Convergencia Intertropical).

Temperatura:

- Temperaturas medias anuales elevadas, alrededor de 25°C.
- Amplitud térmica anual pequeña, con una diferencia de pocos grados entre el mes más frío y el más cálido.
- Ausencia de heladas.

Humedad

- Humedad relativa alta durante todo el año, generalmente superior al 80%.

Otros aspectos:

- La evapotranspiración potencial es alta, debido a las altas temperaturas y la humedad.
- La nubosidad es abundante, especialmente durante la época de lluvias.

Vegetación:

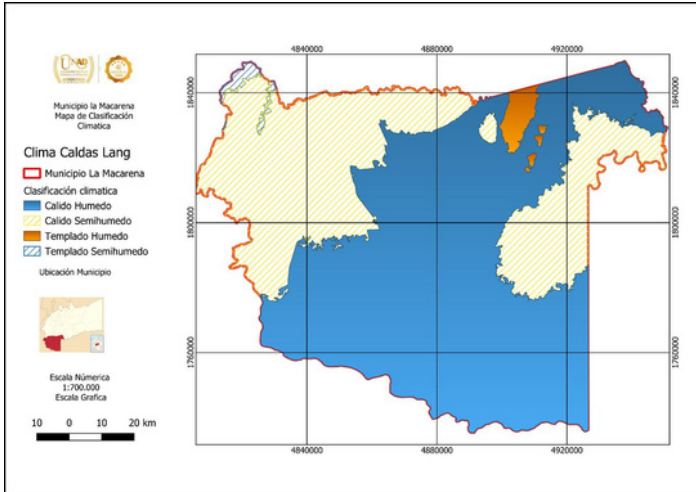
- El clima Af favorece el desarrollo de bosques húmedos tropicales, caracterizados por una gran diversidad de flora y fauna. Estos bosques son importantes para la regulación del clima, la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos.

Impactos del cambio climático

- El cambio climático podría afectar el clima Af del municipio de La Macarena, con posibles aumentos de la temperatura, cambios en los patrones de precipitación y mayor frecuencia de eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones. Estos cambios podrían tener impactos negativos sobre la agricultura, la ganadería, los ecosistemas naturales y la salud humana.

Es importante tomar medidas para mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse a sus impactos en el municipio de La Macarena. Estas medidas podrían incluir la reforestación, la conservación de los bosques, el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles y la implementación de sistemas de alerta temprana para eventos climáticos extremos.

Figura 3. Clasificación Climática.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Criterios utilizados para Identificando zonas prioritarias para reforestación en el municipio de La Macarena, Meta, Colombia:

Metodología.

Definición de criterios y subcriterios: Se identifican los factores relevantes que influyen en la aptitud para reforestar, agrupándolos en criterios y subcriterios. Los criterios utilizados, factores ambientales: Clima, suelo, cobertura vegetal.

Asignación de pesos: Se asigna un peso a cada criterio y subcriterio, utilizando técnicas como la comparación por pares. Los pesos deben reflejar la importancia relativa de cada factor en la determinación de la aptitud para reforestar (Sánchez, 2020).

Evaluación de alternativas: Se evalúa cada área del municipio en función de cada criterio y subcriterio, utilizando una escala numérica (por ejemplo, de 1 a 10) que represente su nivel de aptitud, siendo lo más cercanos a 10 con mayor aptitud para reforestar y lo más cercanos a 1 lo de no aptos para reforestar, por ejemplo zonas de humedales o cuerpos de agua.

Clasificación de aptitud: Se clasifican las áreas del municipio en categorías de aptitud para reforestar, por ejemplo:

- Alta: Áreas con las condiciones más favorables para la reforestación.
- Media: Áreas con condiciones moderadamente favorables para la reforestación.
- Moderada: Áreas con condiciones que presentan algunas limitaciones para la reforestación.
- Baja: Áreas con condiciones no favorables para la reforestación.

Tabla 3. Clasificación por Jerarquización Analítica (AHP)

Vocación	Clasificación	Criterios	Aptitud
Agroforestal	10	Clima semiHúmedo- Vocación Agroforestal	ALTO
Agroforestal	10	Clima semiHúmedo- Vocación Agroforestal	ALTO
Agroforestal	10	Clima semiHúmedo- Vocación Agroforestal	ALTO
Cuerpo de agua	1	Cuerpos de Agua	NO APTO
Agrícola	7	Cálido Húmedo - Vocación Agrícola	BAJA
Agrícola	8	Cálido Húmedo - Vocación Agrícola	MODERADO
Conservación de Suelos	1	Cuerpos de Agua	NO APTO
Agrícola	7	Cálido Húmedo - Vocación Agrícola	BAJA
Forestal	10	Clima semiHúmedo- Vocación Agroforestal	ALTO
Forestal	10	Clima semiHúmedo- Vocación Agroforestal	ALTO
Forestal	10	Clima semiHúmedo- Vocación Agroforestal	ALTO
Ganadera	8	Clima semiHúmedo- Vocación Agroforestal	MODERADO
Agroforestal	10	Clima semiHúmedo- Vocación Agroforestal	ALTO

Fuente: Autoría propia, 2024.

El uso del AHP para clasificar la aptitud para reforestar en el municipio La Macarena ofrece varios beneficios:

- Enfoque sistemático: Permite evaluar de manera estructurada y objetiva las diferentes áreas del municipio, considerando diversos factores relevantes.

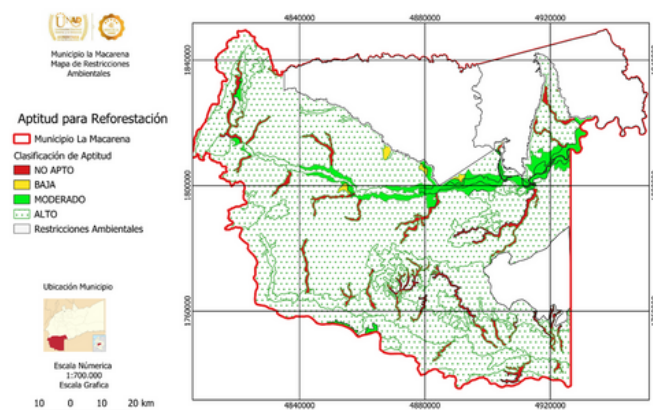
- Consideración de múltiples criterios: Toma en cuenta la interacción entre diferentes factores ambientales, sociales y económicos.
- Flexibilidad: Se puede adaptar a las condiciones específicas del municipio y a los objetivos de la reforestación.
- Comunicación efectiva: Facilita la comunicación y el intercambio de información entre diferentes actores interesados. (Sánchez, 2020)

Tabla 4. Clasificación con cálculos de áreas a reforestar.

Clasificación Aptitud	Área Ha	Color
ALTO	915011,12	
MODERADO	98585,07	
BAJO	25455,07	
NO APTO	125914,65	

Fuente: Autoría propia, 2024.

Figura 4. Áreas a reforestar con clasificación de Aptitud.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Recomendaciones

Temperatura: La temperatura promedio anual en La Macarena es de 28°C. Se recomienda seleccionar especies que toleren bien las altas temperaturas y la humedad, como, por ejemplo:

- Árboles: Teca (*Tectona grandis*), acacia (*Acacia mangium*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), Neem (*Azadirachta indica*).

- Palmas: Cocotero (*Cocos nucifera*), palma africana (*Elaeis guineensis*), iraca (*Carludovica palmata*).

Consideraciones del suelo tomada del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Tipo de suelo: En La Macarena predominan los suelos de tipo Inceptisoles y Ultisoles, los cuales son generalmente ácidos, con baja fertilidad y mal drenaje. Se recomienda seleccionar especies que estén adaptadas a estas condiciones de suelo, como, por ejemplo:

- Árboles: Pino (*Pinus spp.*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*), guayacán (*Tabebuia rosea*), aliso (*Alnus acuminata*).

- Arbustos: Frailejón (*Espeletia spp.*), moras (*Rubus spp.*), agraz (*Physalis peruviana*).

Recomendaciones adicionales:

- Diversidad de especies: Es importante seleccionar una diversidad de especies forestales para aumentar la resiliencia de los ecosistemas y reducir el riesgo de plagas y enfermedades.
- Reforestación nativa: Se recomienda priorizar la reforestación con especies nativas de la región, ya que estas están mejor adaptadas a las condiciones locales y contribuyen a la conservación de la biodiversidad.
- Manejo forestal sostenible: Es importante implementar prácticas de manejo forestal sostenible que garanticen la viabilidad económica y ambiental de los proyectos de reforestación.

Conclusiones

La evaluación multicriterio constituye la operación de apoyo a la toma de decisiones más importante de los SIG, éstos permiten conjuntar en un mismo ambiente de trabajo grandes volúmenes de información geográfica y mediante diversas operaciones de análisis, obtener un panorama general más detallado y racional de los problemas del territorio (Regil, 2005).

ENLACE DEL VIDEO SUSTENTACIÓN

<https://youtu.be/ER-6hRMiwJs>

BIBLIOGRAFÍA

- Barrios Martínez, A. M., & López Molina, Y. L. (2021). Delimitación y caracterización de áreas potenciales para mercados de carbono (Mc) por Reforestación en el Caribe Colombiano.
 - Chávez González, H., & González Guillén, M. D. J. (2015). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 8-23.
 - Corporación Autónoma Regional del Meta y el Ariari (Cormacarena). (2024). Recuperado de <https://www.cormacarena.gov.co/>
 - Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2024). Geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Recuperado de <https://geoportal.igac.gov.co/>
 - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2024). Recuperado de 2024.<http://www.ideam.gov.co/capas-geo>
 - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). (2024). Recuperado de <https://www.minagricultura.gov.co/>
 - Niño, L. (2018). Zonificación basada en la integración de la evaluación ambiental estratégica y modelado con múltiples criterios en la región de La Macarena, departamento del Meta, Orinoquía Colombiana. *Revista BIOLLANIA*, 1(15), 634-666.
 - Olaya, V. (2020). Sistemas de información geográfica. Un libro libre de Víctor Olaya. Recuperado de <https://volaya.github.io/libro-sig/>
 - Preciado Zambrano, J. L., Gómez Aguilera, M. F., & Chala Serna, M. L. 2022. Zonificación de áreas susceptibles a la deforestación en el municipio de Popayán departamento del Cauca.
 - Regil, H. H. (2005), Análisis del cambio de uso del suelo y vegetación para la obtención de la dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca, 1972-2000, tesis de Licenciatura, Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
 - Sánchez Lafont, M. N. (2020). Identificación de áreas a reforestar mediante evaluación multicriterio y sistemas de información geográficos (caso los córdobas-Córdoba).
 - Uyuni, G., Maillard, O., Azurduy, H., Flores-Valencia, M., Michme, G., & Vides-Almonacid, R. (2023). Identificación de áreas prioritarias para la restauración asistida en bosques afectados por incendios forestales en el departamento de Santa Cruz, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 58(2), 64-77.
 - Vargas Gutiérrez, L. A., & González Escobar, C. H. Conflictos en el uso del suelo y ocupación del territorio en la región los ríos Losada-Caño Perdido, municipio de la Macarena, Meta (2002 a 2016).
-