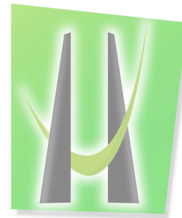


**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS A REFORESTAR MEDIANTE EVALUACIÓN  
MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS (CASO  
LOS CÓRDOBAS - CÓRDOBA)**

**MARÍA NELLA SÁNCHEZ LAFONT**



**UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2018**

**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS A REFORESTAR MEDIANTE EVALUACIÓN  
MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS (CASO  
LOS CÓRDOBAS - CÓRDOBA)**

**MARÍA NELLA SÁNCHEZ LAFONT**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar  
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES**

**2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre *Dallys Lafont B.*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	10
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. OBJETIVO GENERAL	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. MARCO TEÓRICO	15
4.1. MARCO CONCEPTUAL	15
4.2. MARCO DE REFERENCIA	20
4.3. MARCO LEGAL	27
5. ÁREA DE ESTUDIO	28
6. METODOLOGÍA	30
6.1. TIPO DE TRABAJO	30
6.2. MATERIALES	30
6.3. MÉTODOS	31
7. RESULTADOS	36
8. DISCUSIONES	48
9. CONCLUSIONES	51
10. RECOMENDACIONES	52
11. BIBLIOGRAFÍA	53

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Tipos de Reforestación	15
<b>Figura 2.</b> Componentes del Sistema de Información Geográfica	18
<b>Figura 3.</b> Esquema del Sistema de Información Geográfico en la Nube	19
<b>Figura 4.</b> Localización Área de Estudio	29
<b>Figura 5.</b> Modelo Cartográfico	33
<b>Figura 6.</b> Distancia a los Cuerpos de Agua	37
<b>Figura 7.</b> Densidad Cobertura Vegetal	39
<b>Figura 8.</b> Grados de la Pendiente	40
<b>Figura 9.</b> Aptitud del Suelo	41
<b>Figura 10.</b> Erosionabilidad del Suelo	43
<b>Figura 11.</b> Zonas de Reserva	44
<b>Figura 12.</b> Movimientos en Masa	45
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de Áreas Para Reforestar	46
<b>Figura 14.</b> Áreas Prioritarias Para Reforestar	48

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Grado de la Pendiente	32
<b>Tabla 2.</b> Escala de Preferencia de Saaty	34
<b>Tabla 3.</b> Valores Asignados a Cada Variables Según su Escala de Preferencia	34-35
<b>Tabla 4.</b> Escala de Preferencia de las Variables	38
<b>Tabla 5.</b> Rango de Priorización Para Zonas a Reforestar	39

## Glosario

**Abibe:** Serranía

**AMC:** Análisis Multicriterio

**BTS:** Bosque Seco Tropical

**CGIS:** Canadá Sistema de Información Geográfico

**DEM:** Modelo de Elevación Digital

**EAE:** Evaluación Ambiental Estratégica

**EMC:** Evaluación Multicriterio

**EOT:** Esquema de Ordenamiento Territorial

**Fuzzy:** Enfoque para la estabilización de mapas

**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

**IGAC:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi

**Escala de Preferencia de Saaty:** Incluye los rangos de ponderación asignado a una variable.

**MJA:** Técnica de Evaluación Multicriterio

**MOLA:** Modulo de apoyo de Evaluacion Multicriterio

**Reforestación:** Conjunto de actividades que comprende la planeación, la operación, el control y la supervisión de todos los procesos involucrados en la plantación de árboles.

**SIG:** Sistemas de Información Geográfico

**Teledetección:** Detección a distancia de informaciones que se producen en la superficie de la Tierra y sobre otros astros solares y que se realiza mediante satélites y sondas artificiales.

**URISA:** Sistema de Información Urbano Regional

## **RESUMEN**

Los Bosques en el mundo han sufrido procesos de pérdida de cobertura a causa de actividades antrópicas trayendo consigo alteraciones en los ecosistemas, riesgos ambientales, cambio en las coberturas del suelo, entre otros aspectos. Para el municipio de Los Córdoba, se realizó una priorización de áreas a reforestar a partir del uso de EMC y SIG.

Teniendo como resultado que los Sistemas de Información Geográficos son de gran ayuda para la toma de decisiones en el territorio, se encontró que el 8% del áreas de estudio debe ser reforestado de manera inmediata y el 44% a corto plazo, a mediano plazo el 34% y a largo plazo el 14%.

**PALABRAS CLAVES:** Sistema de Información Geográfico, Evaluación Multicriterio, Reforestación, Degradación, Áreas de Reserva.



## ABSTRACT

Forests in the world have had a loss of coverage, a cause of anthropogenic activities, betrayal, alterations in ecosystems, environmental risks, changes in soil, among other aspects. For the municipality of Los Córdoba, a prioritization of areas to be reforested was made based on the use of EMC and GIS.

Having as a result that the Geographic Information Systems are of great help for the decision making in the territory, they find that 8% of the study areas should be reforested immediately and 44% in the short term, in the medium term 34% and in the long term 14%.

**KEY WORDS:** Geographic Information System, Multicriteria Evaluation, Reforestation, Degradation, Reserve Areas.

## INTRODUCCIÓN

La reforestación se ha convertido en la salida a la pérdida de cobertura de los bosques presentes en el mundo; estos ecosistemas han sido alterados con el paso del tiempo debido a actividades antrópicas, olvidando el uso sostenible que se le puede brindar a estas áreas al momento de ser explotadas. Cada año son miles de hectáreas que se convierten en zonas deforestadas y no se corrigen con procesos de reforestación.

Dentro de los bosques más afectados en el país, se encuentran los ecosistemas de bosque seco tropical (BST), presente en el área de estudio, estas áreas históricamente han sido transformadas por los procesos de colonización para dar paso a la actividad agrícola y ganadera, lo que los ha llevado a ser uno de los ecosistemas más fragmentados.

Para evaluar áreas de reforestación en los territorios, se han utilizados modelos lógicos y matemáticos; dependiendo de las variables a estudiar. En el presente estudio, se implementa un modelo de Evaluación Multicriterio utilizando variables como pendientes, densidad de la cobertura vegetal, erosionabilidad, cercanía a los recursos hídricos, movimientos en masa, aptitud del suelo; a las cuales se les asignó un rango de preferencia e integrando al Sistema de Información Geográfico para la superposición de capas mediante álgebra de mapas.

Los SIG juegan un papel fundamental en los estudios realizados en la actualidad, ya que gracias a estos se puede manipular, depurar y modelar información que se encuentre espacializada y tener una respuesta al cómo, cuándo y por qué de un fenómeno. Tal como se hizo en el actual estudio para tomar decisión sobre las zonas que se deben reforestar de forma prioritaria.

## 1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Los bosques de una determinada zona moderan el ciclo hidrológico, las condiciones climatológicas, protegen los suelos de procesos de degradación y erosión, disminuyen las inundaciones, preservan miles de especies, reducen la carga de sedimentos de los ríos y demás factores naturales que condicionan una región. Por ello los procesos de deforestación, implicarían grandes cambios no sólo en la pérdida de madera sino en la gran biodiversidad presente en dichos bosques y la influencia que estos tienen en las condiciones físicas del paisaje.

Citando a Gómez – Pompa et al., (1991), más de once millones de hectáreas de bosques tropicales maduros son convertidas a la agricultura, pastos u otros usos cada año, menos del 10 % de las tierras deforestadas son reforestadas, provocando así la pérdida de capa vegetal y ocasionando otros problemas ambientales a los territorios donde se localizan estos ecosistemas. El hecho de evadir procesos de reforestación implica que en algunos años sucedan fenómenos con daños irreparables o difíciles de controlar por el hombre.

Según IDEAM (2011), la tasa de deforestación en Colombia actualmente alcanza valores promedio de 120.000 hectáreas por año; dentro de los principales factores causantes de esta problemática, se encuentran: la expansión de la frontera agrícola, actividades mineras, extracción de madera para el consumo de leña, presencia de cultivos ilícitos, incendios forestales, y la intensiva comercialización indiscriminada de diversas especies maderables.

En Colombia los bosques más afectados por procesos de deforestación, se encuentran los ecosistemas de bosque seco tropical (BST), que históricamente han sido transformados por los procesos de colonización para dar paso a la actividad agrícola y ganadera, lo que los ha convertido en los ecosistemas más fragmentados

en país. “Originalmente este ecosistema cubría más de 9 millones de hectáreas, de las cuales quedan apenas un 8% de BST, la mayor cobertura se encuentra en la región Caribe colombiana” (Pizano et al., 2014), radicando así la importancia que tiene esta zona del país para la conservación y recuperación de dicho ecosistema.

En el mismo orden de ideas, el departamento de Córdoba conserva 1.673 hectáreas de bosque seco natural y 10.696 hectáreas de bosque seco fragmentado con mosaicos de pastos y cultivos. De hecho, la gran mayoría de bosque seco tropical en Colombia se encuentra fragmentado con presencia de vegetación secundaria, lo que afecta la conservación de este ecosistema, y de las especies que allí habitan (Pizano et al., 2014).

Debido a la magnitud del problema en el país resulta necesario identificar zonas para priorizar en cuanto a la solución o mitigación de la problemática de deforestación, dichas áreas pueden ser seleccionadas en función a sus condiciones naturales encaminadas principalmente a la susceptibilidad a presentar problemas de degradación por el hecho de haber removido la capa vegetal protectora.

Ante el contexto planteado las herramientas de Sistemas de Información Geográficas son la solución para la identificación de dichas áreas y toma de decisiones ante procesos de reforestación que ayude a la recuperación progresiva de los ecosistemas afectados, priorizando siempre que estas herramientas brindan una abstracción de la realidad que puede ser modelada y manipulada para diversos estudios territoriales.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Identificar áreas prioritarias para reforestación en el municipio de Los Córdoba (Córdoba), a partir de una Evaluación Multicriterio (EMC) y Sistemas de Información Geográficos (SIG).

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los criterios espaciales de cada una de las variables a estudiar en el municipio de Los Córdoba.
- Realizar una evaluación multicriterio para el análisis de variables.
- Zonificar áreas prioritarias a reforestar.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La reforestación trae consigo aspectos administrativos, jurídicos, ambientales, económicos, técnicos, sociales entre otros; estos deben ir de la mano a la hora de realizar dicho proceso, debido que es una actividad conjunta para su desarrollo y futuros procesos dentro de los bosques a reforestar. Por ello realizar procesos de reforestación en los bosques ayuda en temas como el ciclo hidrológico, las condiciones ambientales, a prevenir o atenuar procesos de degradación, erosión e inundación; por ello la conservación de estos ecosistemas son fundamental para los territorios donde estos se encuentran.

Para el caso del municipio de Los Córdoba que presenta bosque seco tropical (BST) en algunas zonas de su territorio estas han sido tomadas para uso agrícola y ganadero, trayendo consigo la pérdida de este y consigo problemas ambientales como suelos degradados, procesos erosivos, inundaciones y demás. Consecuentemente la población sigue afectada los bosques, talando los árboles, y cambiando el uso del suelo de acuerdo con la aptitud que presenta.

Pero hoy día las herramientas informáticas como los Sistemas de Información Geográficos son de gran ayuda ante estas problemáticas debido que facilitan gran parte del trabajo como es la recolección y almacenamiento de gran cantidad de datos, así mismo ayudan a realizar zonificaciones y modelamientos; lo que los ha vuelto una herramienta indispensable en los diversos estudios aplicados al territorio.

Así mismo los SIG se complementan con la Evaluación Multicriterio ya que al poder manejar, almacenar y manipular gran cantidad de datos espaciales, se vuelve un poco más sencillo la toma de decisiones para priorizar áreas de reforestación, debido que esto se realiza bajo ciertos criterios para cumplir con el objetivo principal del estudio sin que se vea implicado el territorio de forma negativa.

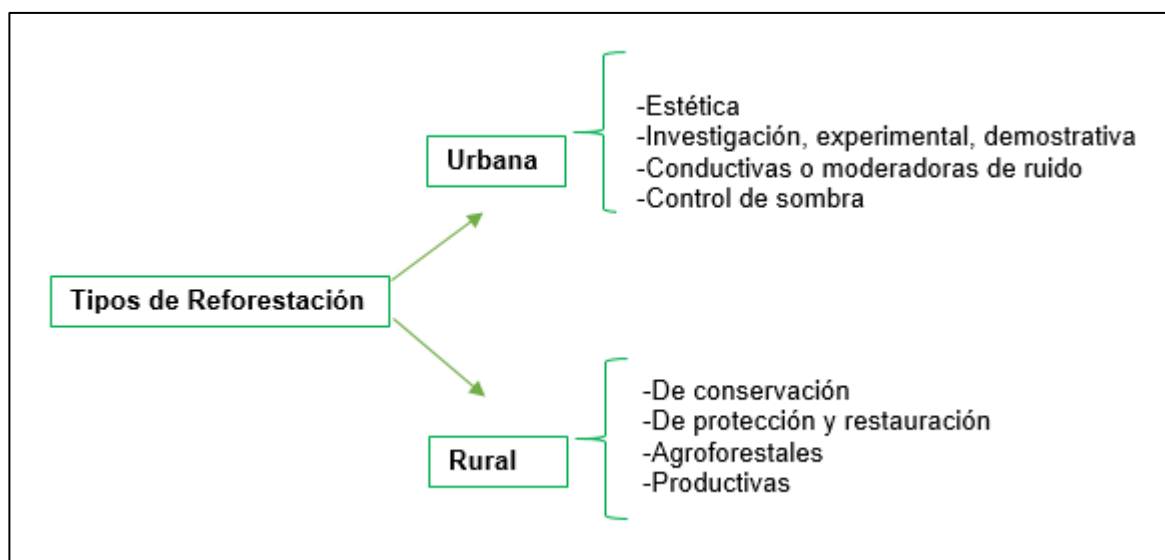
## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. MARCO CONCEPTUAL

“La reforestación es un conjunto de actividades que comprende la planeación, la operación, el control y la supervisión de todos los procesos involucrados en la plantación de árboles” (Comisión Nacional Forestal, 2010). Esta se encuentra enmarcada en el ámbito de la silvicultura que son zonas destinadas a ser reconstruidas debido que históricamente eran bosques que fueron desaparecidos ya sea por incendios forestales (provocados, accidentales o naturales), ampliación de las fronteras agrícolas y ganaderas, extensión de áreas rurales o por extracción de madera para la industria y demás fines.

Existen dos tipos de reforestación dependiendo del objetivo de esta.

**Figura 1.** Tipos de Reforestación



**Fuente:** Comisión Nacional Forestal, 2010.

- **Urbana**

- Estética: su objetivo es adornar o proteger una región, lugar o sitio (banquetas, parques, camellones entre otros).
- Investigación, experimental, demostrativa: se utiliza con el fin de crear conciencia ambiental a la población local y así poder desarrollar interés por el cuidado del medio ambiente. Así mismo se usan como experimentos de introducción de nuevas especies u observar como es el desarrollo de algunas especies de región diferente.
- Conductivas o moderadoras de ruido: su objetivo es amortiguar el ruido de las calles, parque o zonas industriales; este tipo de reforestación se hace siguiendo algún lineamiento especial.
- Control de sombra: es utilizado en los hogares para reducir la intensidad de luz.

- **Rural**

- De conservación: esta forma de reforestación se realiza a través de acahuales; ayudando a avanzar de manera más acelerada el crecimiento de vegetación.
- De protección y restauración: ayuda a la estabilización y restauración de terrenos que sufren grandes índices de erosión y degradación.
- Agroforestal: se plantan arboles juntos con especies agrícolas, frutícolas, hortícolas o pastizales, para así aprovechar los beneficios tanto económicos como ecológicos, también se le conoce como un sistema agrosilvopastoril.



- Productiva: su finalidad es obtener productos de calidad ya sea para el uso industrial, ornamental artesanal entre otros.

Cabe resaltar que cuando se realiza proceso de reforestación para restauración y conservación como se plantea en este tipo de investigación se debe hacer con especies endémicas ya que así se mantendría el paisaje original y lo más importante es que no se colocaría en riesgo a otras especies vegetales y animales que hacen parte de los macro y micro hábitad que mantienen el equilibrio de los ecosistemas.

Por su parte, la Evaluación Multicriterio (EMC) consiste en una serie de técnicas y herramientas que aportan a la toma de decisiones en situaciones cuando intervienen una multiplicidad de variables en la generación y comportamiento de un fenómeno; lo que indica entonces que deben establecerse criterios de prioridad para dar más importancia a una variable que otra en función de su nivel de influencia en el tema que se aborda con el fin de garantizar que las decisiones finales que se tomen estén acorde a la realidad de lo que se pretende solucionar (Gómez & Barredo, 2005).

Los fundamentos de la EMC se basan en la priorización de criterios, partiendo del hecho de que a pesar de que muchas variables interfieran en el comportamiento de un fenómeno o hecho en particular, no todas influyen con la misma intensidad por tanto se requiere otorgarle pesos a cada una de ellas (Da Silva & Cardozo, 2015). Dicho otorgamiento de pesos se hace con base en distintos métodos, por ejemplo, la revisión de antecedentes sobre la temática que permite estimar el nivel de influencia de cada variable o criterio y la aplicación de análisis estadísticos.

Una de las formas de ejecución de una EMC es a través de un Proceso Analítico Jerárquico (AHP) en donde se establece una escala de preferencia de criterios por medio de la escala de Saaty; esta escala va de 1 a 9 y se utiliza para estimar los niveles de influencia de un criterio respecto a los demás (Osorio & Ojeda, 2008)

Según (Osorio & Ojeda, 2008); el AHP fue desarrollado a finales de los 60 por Thomas Saaty quien a partir de sus investigaciones en el campo militar y su experiencia docente formuló una herramienta sencilla para ayudar a las personas responsables de la toma de decisiones; esta proporciona la posibilidad de incluir datos cuantitativos. Su mayor ventaja es que permite organizar las variables de manera eficiente y gráfica, las puede descomponer, analizar por partes, observar su comportamiento y por último sintetizarlas. En palabras más castizas, este busca desarreglar un problema y unir todas las soluciones en una sola conclusión.

Por su parte los Sistemas de Información Geográficos (SIG) son un conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014). Estos sistemas se extienden para investigaciones ambientales y ciencias de la tierra; lo cual se realizaba antes en programas de una forma independiente, pero con la llegada de los Sistemas de Información Geográficos esto ha evolucionado dando paso a una nueva disciplina como es la Ciencia de la Información Geográfica.

Para la década de los 60's empiezan a surgir los SIG, en 1963 Roger Tomlinson desarrolla Canadá Sistema de Información Geográfico (CGIS) que era un inventario de la tierra nacional de Canadá, la asociación de sistemas de información Urbano Regional (URISA) el cual sigue en uso (Olaya, Sistemas de Información Geográfica, 2014). A partir de esta fecha se empiezan a publicar diversos trabajos desarrollados en Norteamérica y algunos países europeos.

La era moderna de los SIG, empieza a partir de los 70's cuando los analistas empiezan los procesos de programar computadoras y así mecanizar los diferentes procesos que antes se realizaban de forma manual; además de ello la creación de software e implementación de estos tuvo un gran avance debido que permitían una manipulación mucho mejor de los datos geográficos trayendo consigo nueva información; a medida que la demanda iba avanzando la tecnología SIG se fue

volviendo más accesible para los usuarios debido a los bajos costos que fue tomando así como el gran número de personas con capacidad para su manipulación.

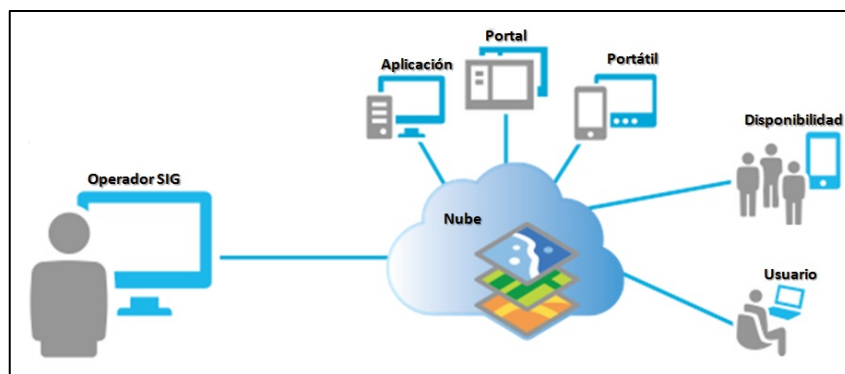
**Figura 2.** Componentes del Sistema de Información Geográfica



**Fuente:** Viloría, 2017.

Actualmente los SIG han evolucionado a pasos agigantados; hoy día ya no solo se habla SIG de escritorio sino también de SIG en la nube gracias a la tecnología globalizadora del internet, la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), los Big Data los cuales son componentes que han abonado al camino de los SIG en la web o nube permitiendo una reinención de los fundamentos de los SIG. Esto proporciona una gama de datos en línea para la elaboración de mapas, consultas y obtención de esta en diferentes formatos; dejándolos así a disposición del público, entidades, organizaciones de forma abierta aportando una nueva visión de los SIG.

**Figura 3.** Esquema de Sistemas de Información Geográfica en la Nube



**Fuente:** Vilorio, 2017.

La integración de los SIG y la EMC representa una ventaja importante que permite el manejo de diversos tipos de información espacial que puedan ser integrados mediante una identificación de criterios de peso, para obtener como resultado final información cartográfica que permita tomar decisiones y plantear soluciones a una gran variedad de problemáticas; en este sentido los SIG generan un importante aporte al desarrollo y avance de la EMC en campos de investigación que ponen al servicio las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) como aporte a la toma de decisiones y planificación del territorio (Gómez & Barredo, 2005; Olaya, 2011).

#### **4.2. MARCO DE REFERENCIA**

Los estudios que involucran Evaluación Multicriterio en conjunto con Sistemas de Información Geográficos se han visto reflejados a nivel mundial, regional y nacional debido a las ventajas que presentan en la toma de decisiones en el ámbito de la investigación.

En ese mismo orden de ideas (Cos & Martín, 2007) realizaron un estudio en la Comunidad Autónoma de Cantabria haciendo uso de los Sistemas de Información Geográficos y Evaluación Multicriterio para la delimitación de unidades funcionales y subregionales homogéneas; para lo que establecieron tres aspectos

fundamentales: la organización de ventanas de trabajo para ámbitos específicos, la identificación de criterios relevantes en la organización y vinculación territorial de las diferentes unidades comarcales y finalmente la determinación de umbrales específicos de estandarización difusa.

Donde utilizaron variables como el medio fisiográfico y natural, organización del territorio (unidades y elementos), estructura sociodemográfica de la población, funciones económicas de los núcleos, infraestructuras, equipamientos y servicios. Para la información cartográfica se tomaron de referencia el mapa topografía, ortofotos y un DEM; por la parte estadística tomaron la encuesta de infraestructura y equipamientos locales y el patrón de habitantes.

En el desarrollo del proyecto resultó fundamental el uso de herramientas SIG en la incorporación del método multicriterio para abordar un estudio geográfico, en el que al trabajar directamente sobre el territorio se tuvieron consideraciones y simultáneamente un amplio conjunto de variables. Su aplicación resultó ventajosa ya que por un lado permitió el establecimiento de grados de adecuación dentro de umbrales aptos y por otro facilitó la incorporación de pesos o grados de participación diferentes de los criterios en el resultado final.

En la ciudad de Comayagua – Honduras (Palma, 2015) realizó la búsqueda de escenarios alternativos para el mejoramiento socio-espacial de las áreas urbanas populares de la ciudad a través de Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográficos; para lo cual tuvo un primer paso que fue obtener cartografía vector de centros de salud, equipamientos educativos, rutas de transporte, los cuales fueron transformados en formato raster para trabajar con el píxel como unidad de medida

En el desarrollo de este se obtuvieron salidas de accesibilidad a las cuales se les aplicó álgebra de mapas. El valor mayor fue el de mayor accesibilidad y el de menor valor el de menos accesibilidad; al realizar la ponderación de las diferentes accesibilidades de las variables resultó el mapa de accesibilidad para el mejoramiento socio-espacial de las áreas urbanas populares.

(Valpreda, 2007) evaluó el impacto ambiental de los circuitos productivos y turísticos en Cuyo teniendo en cuenta dos aspectos básicos. Por un lado, el aspecto geográfico que hace referencia al conjunto de condiciones que cada lugar posee y por otra parte el aspecto decisional que hace referencia al proceso de toma de decisiones en el que intervienen un conjunto de procedimientos para ponderar los impactos ambientales. El estudio de estos dos aspectos fue abordado a partir de la integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), técnicas de Teledetección y Evaluación Multicriterio (EMC).

Dentro de los criterios establecieron la fluidez del tránsito, actividad económica, calidad de vida, patrimonio natural /cultural, áreas sensibles, riesgos naturales, contaminación desertificación. La integración de esas tres herramientas se realizó a través del diseño de un modelo cartográfico, lo que permitió conocer las formas de organización del territorio y las características del medio natural.

Por su parte (Pozzobon & Gutiérrez, 2003) diseñaron un modelo para la selección y priorización de áreas a reforestar utilizando técnicas de Evaluación Multicriterio, Sistemas de Información Geográficos, e imágenes satelitales en la periferia de la ciudad de Mérida (Venezuela), recopilaron y automatizaron la información requerida para estructurar el modelo usando técnicas digitales.

Concluyeron que la técnica de Evaluación Multicriterio utilizada MJA, los Sistemas de Información Geográfica y las imágenes de Percepción Remota, ayudaron al desarrollo del modelo deseado, así como la integración del SIG con las TEMC

facilitó tanto el diseño del mismo como su implementación; esta integración les concedió conjugar de forma efectiva los mapas-factores (criterios) y las restricciones, con las reglas de decisión y de esta manera producir la capa o modelo de decisión final.

(Bosque & García, 2004) en la VII conferencia Iberoamericana sobre SIG expusieron su trabajo sobre asignación óptima de usos del suelo mediante generación de parcelas por medio de Sistemas de Información Geográficos y técnicas de Evaluación Multicriterio el cual fue realizado para la cuenca de río Tuy y el Estado de Miranda donde se requería generar usos óptimos debido que a estudios anteriores los sectores agrícola, sistema urbano, áreas de administración especial, turismo y transporte presentaban ciertos problemas de conflicto y uso.

Para lo cual utilizaron los SIG como herramientas para combinar informaciones dispares, los modelos de capacidad de acogida del territorio basados en los conceptos de aptitud e impacto y las Técnicas de Evaluación Multicriterio y Multiobjetivo. Seguidamente, generaron mapas de adecuación para cada uno de los usos que deseaban localizar y que suponían que compiten por el terreno y por ello son objetivos conflictivos entre sí, cada uno esos mapas de adecuación fueron ordenados de mayor a menor grado de adecuación para recibir un uso; ya con los mapas ordenados y un valor de ponderación para cada uno de ellos fueron tratados por el módulo MOLA que les aplica una versión del procedimiento del "Punto ideal".

Para el mismo contexto venezolano (Barredo & Bosque, 1999) implementaron la Evaluación Multicriterio con los Sistemas de Información Geográficos para comparar el comportamiento de la EMC utilizando el método de sumatoria lineal, y el de precedencia (clasificación) para la asignación de áreas urbanas en la cuenca del Lago de Valencia. Concluyeron que existe una alta correspondencia espacial entre las áreas óptimas seleccionadas con ambos métodos.

Así mismo el estudio realizado por (Sánchez et, al., 2004) utilizaron un Análisis Multicriterio (AMC) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) donde se lograron determinar áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí Costa Rica, a través de criterios de prioridad en tres escenarios: calidad actual del agua (9 criterios); cantidad aprovechable de agua (4 criterios) y recuperación de la cobertura vegetal en las orillas de los ríos (9 criterios), dieron como resultado que la predominancia de cobertura forestal en la cuenca determinó bajos valores de riesgo sobre las condiciones de calidad del agua, según el criterio de prioridad de uso actual del suelo.

En el mismo orden de ideas (Casquete, 2018) diseñó un modelo para la identificación de áreas con potencial de conservación mediante la integración de Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la zona urbana de La Parroquia Guayaquil, con la finalidad de delimitar áreas que puedan ser conservadas por su valor ecosistémico, utilizando datos como ecosistemas, cobertura y uso de la tierra y riesgo; estas capas se ponderaron y se le aplicó una sumatoria lineal ponderada. Obteniendo 5 categorías Muy Alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja.

Para el contexto mexicano (Ceballos & López, 2010) delimitaron áreas adecuadas para los cultivos de alternativa amaranto y nopal, utilizando el enfoque de Evaluación Multicriterio-SIG en el distrito de desarrollo rural Toluca estado de México mediante la integración de información biofísica de clima, suelo, relieve y uso/cobertura del suelo. Para la variable clima se escogieron las variables de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y evaporación; para el suelo los factores a estudiar fueron la profundidad y las propiedades fisicoquímicas y por último se estimó la cobertura a través de una imagen satelital Landsat.



Posteriormente procedieron a aplicar la EMC con la escala de preferencia de Saaty, utilizaron el enfoque de función de membresías fuzzy que les permitió realizar la estandarización tanto de los mapas interpolados continuos, como de los categóricos, generando así mapas-criterio que representan más objetivamente las transiciones graduales del espacio.

A nivel nacional (Franco, 2011) desarrolló un modelo basado en análisis espacial multicriterio para la determinación de unidades de ordenación forestal en el departamento del Casanare bajo una visión ambiental, económica y social, que aportó al uso sostenible de los bosques; utilizando variables como: suelos y recursos hídricos, diversidad biológica, aspectos socioeconómicos y culturales, salud y condiciones del ecosistema forestal.

Como resultado se establecieron zonas de ordenación forestal para producción y protección. La selección de estos criterios estuvo determinada por literatura nacional e internacional, y la disponibilidad de información espacial para su mapeo. Además de ello realizando dos consideraciones son muy importantes para el desarrollo de proyectos con análisis espacial multicriterio: El primero, son las capacidades del Sistema de Información Geográfica para la adquisición de datos, almacenamiento, manejo y análisis, y segunda, las capacidades de entrelazar la información geográfica y la visión de los expertos en valores unidimensionales sobre el tema analizado.

Por otro lado (Jaramillo & Lotero, 2013) no utilizan la EMC sino la EAE que se basa también en la toma de decisión pero de forma cualitativa, por ello proponen una metodología para la integración de variables ambientales, de ocupación del territorio y poblacionales, como complemento a la Evaluación Ambiental Estratégica y Sistemas de Información Geográfico propuestos para Colombia en materia de política ambiental con énfasis en salud ambiental, lo cual se aplicó al municipio de Itagüí Antioquía. A partir de la información disponible y desde un enfoque cualitativo

se identificaron conflictos entre las variables de interés para la priorización de zonas de intervención pública mediante proyectos de nivel municipal, los cuales deberían derivarse de las propuestas de la evaluación ambiental estratégica nacional.

Desarrollaron una superposición de los mapas que contienen los criterios básicos de análisis (criterio de contaminación, criterio de morbilidad y criterio de densidad) y llegaron a la construcción del mapa resultante con las zonas para apoyar la formulación de políticas públicas en materia de la protección de la integridad de la población por posibles afectaciones debidas a la calidad del recurso aire.

Así mismo (Molina & Helo, 2017), realizaron una zonificación de la vulnerabilidad a la deforestación del bosque seco tropical mediante análisis multicriterio en los municipios de San Juan Nepomuceno, María La Baja y San Jacinto (Bolívar - Colombia); donde utilizaron la EMC y los SIG. Los criterios los definieron de acuerdo con metodologías planteadas anteriormente sobre deforestación o cambio de uso del suelo por lo cual tuvieron en cuenta: cartografía del bosque seco tropical del área de estudio, pendientes que fueron generadas a partir de un DEM, vías, zonas urbanas, hidrografía y plantaciones de Palma; a estas variables le asignaron un porcentaje o valor de categorización para después proceder a realizar matrices de decisión.

Como resultado obtuvieron que los bosques que se ubican con cercanía a las vías presentan una vulnerabilidad moderada, gran parte de la zona se encuentra en vulnerabilidad baja y esto se debe al difícil acceso al área de estudio o por no entrar en la categoría de cultivos agroindustriales, esta vulnerabilidad baja se encuentra ubicada en zonas montañosas con pendientes moderadas. Las zonas más vulnerables se encuentran cerca a los centros poblados, actividades agroindustriales y cuerpos de agua artificiales.

### 4.3. MARCO LEGAL

- **Ley 1377 de 2010:** Por medio de la cual reglamenta la actividad de reforestación comercial, la cual tiene por objeto definir y reglamentar las plantaciones forestales y sistemas agroforestales con fines comerciales.
- **Proyecto de ley 171 de 2016:** Por el cual se promueve la siembra obligatoria de árboles en todo en territorio nacional como estrategia de conservación y protección de los ecosistemas y de conciencia de valor del árbol como elemento fundamental de sostenibilidad ambiental.
- **Decreto 1257 de 2017:** Por el cual se crea la Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y la Gestión Integral para la Protección de Bosques Naturales y se toman otras determinaciones.

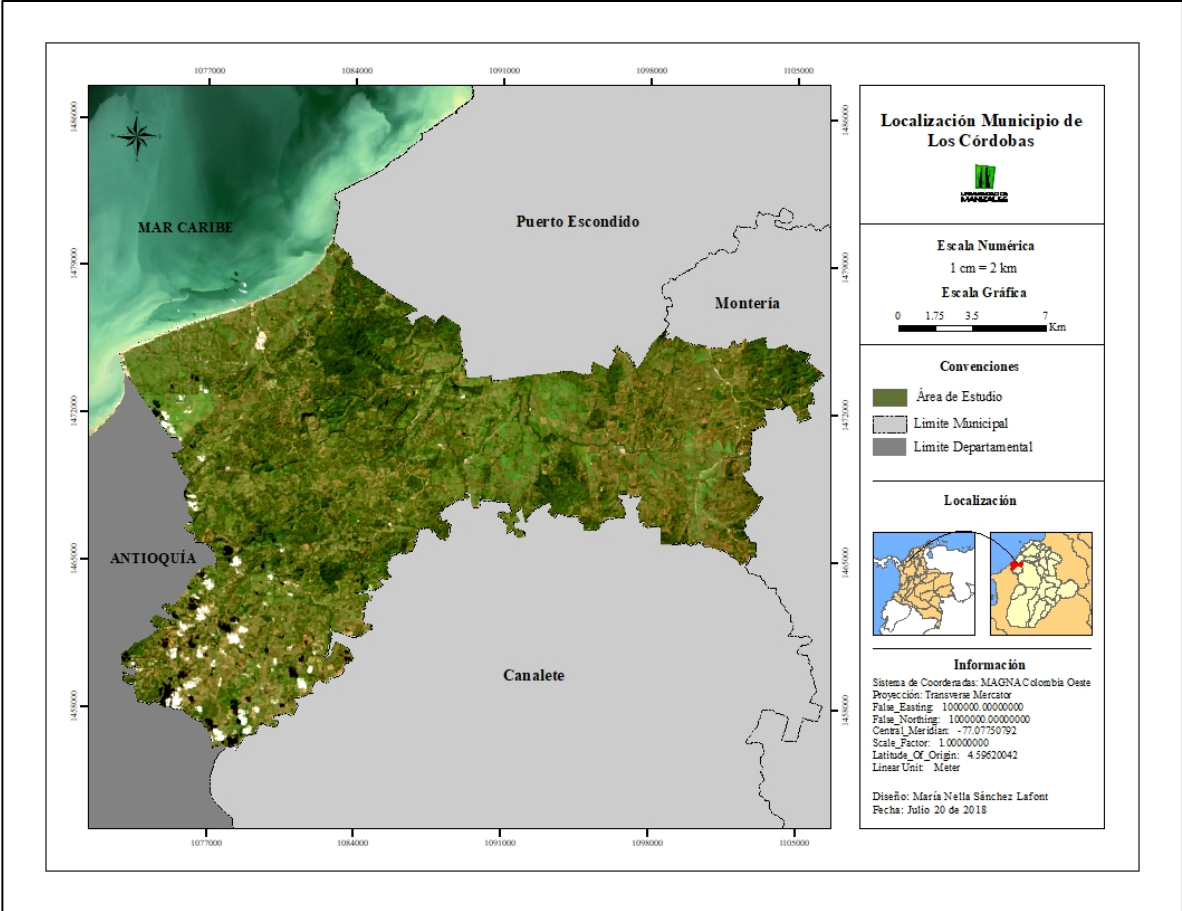
## 5. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Los Córdoba (figura 4) se encuentra localizado en la zona norte del departamento de Córdoba, limita al norte con el municipio de Puerto Escondido al sur con Canalete, al occidente con el mar Caribe y el departamento de Antioquía y al oriente con la capital del departamento Montería. El municipio abarca una extensión superficial de 430 km<sup>2</sup>, posee una población de 18.197 habitantes y altura de 40 msnm (EOT, 2014).

De acuerdo con estudios realizados por la Alcaldía de Los Córdoba en el año 2014 se encuentra que dentro del territorio existen 1.283 Ha entre bosques fragmentados con pastos y cultivos, 399.4 Ha de bosques naturales, 18.003 Ha entre arbustales y matorrales. Cabe resaltar que las principales actividades económicas presentes en el territorio son la agricultura y ganadería extensiva este ha sufrido afectaciones en la cobertura vegetal y alteraciones en la aptitud del suelo.

El (IDEAM, 2011) indica que las actividades agrícolas y ganaderas son las principales causantes de procesos de degradación, erosión y remoción en masa, así como la alteración de los ecosistemas y el ciclo del agua. A causa de que en el territorio existen condiciones de riesgo de erosión y movimientos en masa se hace necesario reforestar las coberturas vegetales que se han removido para actividades económicas y así brindarle una estabilidad al suelo; teniendo en cuenta también que el municipio cuenta con la presencia de las estribaciones de la serranía de Abibe, lo cual necesita una capa protectora para evitar procesos de degradación.

Figura 4. Localización Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. TIPO DE TRABAJO

La presente investigación es de tipo cuantitativa, donde se tuvo en cuenta dos niveles de análisis, como fueron los criterios y las variables; los primeros son extracciones de las segundas que son capas temáticas espacializadas. Para obtener un conocimiento previo sobre cómo es la funcionalidad y viabilidad de la EMC, se realizó una serie de consultas bibliográficas sobre estudios donde el eje principal de su desarrollo era este modelo; las cuales fueron anexadas en el apartado de antecedentes o referencia bibliográficos.

De igual forma, se requirió de los siguientes datos para la determinación de áreas prioritarias para reforestación en el municipio de Los Córdoba: densidad de la cobertura vegetal, grado de las pendientes, aptitud del suelo, erosionabilidad, zonas de reservas, distancia de los recursos de agua y zonas con riesgo de erosión y remoción en masa. Seguidamente, estos datos fueron procesados en el software SIG ArcGis 10.5 para el desarrollo del modelo de Evaluación Multicriterio y superposición de capas para obtener dichas zonas a reforestar. Por último, se analizaron los resultados arrojados por la investigación.

### 6.2. MATERIALES

- **Densidad de la cobertura vegetal:** obtenida de un Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) aplicado a una imagen satelital captada por el satélite Landsat 8, sensor OLI\_TIRS, con fecha del 9 de diciembre del año 2017, Path/Row: 10/54.
- **Grado de las pendientes:** calculado mediante un Modelo de Elevación Digital del Terreno DEM del área de estudio de 12,5 metros de resolución.

- **Aptitud de uso del suelo:** información obtenida del Esquema de Ordenamiento Territorial de Los Córdoba 2014
- **Erosionabilidad del suelo:** estimada mediante la información suministrada en el Esquema de Ordenamiento territorial de Los Córdoba 2014
- **Zonas de reserva para conservación de bosques y fuentes de agua:** establecidas en el EOT del municipio en el año 2014.
- **Distancia a los cursos de agua:** determinada mediante la cartografía de drenajes, obtenida del procesamiento al Modelo Digital de Elevación del Terreno (DEM).
- **Zonas con riesgo de erosión, deslizamientos y movimientos en masa:** identificadas por en el EOT del 2014.

### 6.3. METODOS

La determinación de la densidad de la cobertura vegetal en el municipio, se dio por medio de la aplicación de un Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) a la imagen de satélite obtenida para la zona de estudio. El NDVI consiste en la relación entre las bandas del infrarrojo cercano y banda del rojo, para estimar la densidad de vegetación teniendo en cuenta que la mayor reflectividad de la cobertura vegetal se da en el infrarrojo cercano y la menor en el espectro visible que corresponde al color rojo (Chuvieco, 1995).

El NDVI se calcula de la siguiente manera (Ecuación 1):

$$NDVI = \frac{\text{Banda infrarrojo cercano} - \text{Banda rojo}}{\text{Banda infrarrojo cercano} + \text{Banda rojo}} \quad (1)$$

Según (Higginbottom & Symeonakis, 2014), el NDVI es una herramienta útil para monitorear condiciones de degradación de la cobertura vegetal, lo cual adquiere importancia en el contexto de la presente investigación para identificar zonas que requieran programas de reforestación a inmediato y corto plazo.

El grado de las pendientes se calculó mediante el procesamiento Slope en el software ArcGIS 10.5, que toma en cuenta las diferencias entre los valores de altura sobre el nivel del mar consignados en cada píxel. La clasificación de las pendientes con base a su grado de inclinación se realiza mediante la Tabla 1:

**Tabla 1.** Grado de las pendientes

<b>Grado</b>	<b>Clasificación</b>
0 – 3	Plano o casi plano
3 – 7	Ligeramente inclinado
7 – 12	Moderadamente inclinado
12 – 25	Fuertemente inclinado
25 – 50	Moderadamente escarpado
50 – 65	Escarpado
>65	Muy escarpado

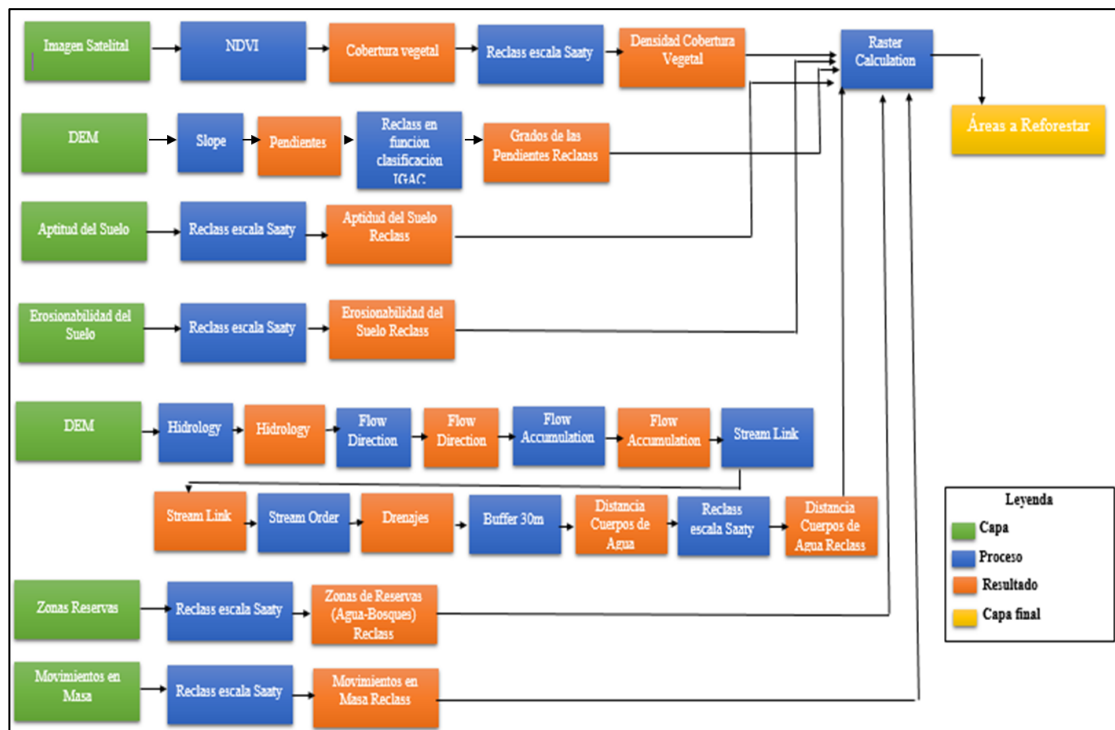
**Fuente:** (IGAC, et al., 2010).

La identificación de los cursos de agua en el municipio se realizó a partir de los procesamientos *Hidrology*, *Flow direction*, *Flow accumulation*, *Stream Link* y *Stream order*, que permiten cartografiar los drenajes del área de estudio; posteriormente, a éstos se les aplicó la herramienta Buffer, para establecer un radio de cercanía o área de influencia a cada uno de los cursos de agua. En este caso el radio que se estableció fue de 30 metros teniendo en cuenta la Resolución N° 3972 de 2009 de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS), en la cual se establece que los cursos de agua deberían tener como mínimo una franja forestal protectora de 30 metros.



La escala de preferencia de cada una de las variables se establece a partir de planteamientos realizados por (IDEAM, 2011), Pozzobon y Gutiérrez (2003); Franco (2011); Chávez et al. (2014) y González (2014), con los cuales se puede estimar en el nivel de incidencia de cada variable o criterio en la determinación de áreas prioritarias para reforestación.

**Figura 5. Modelo Cartográfico**



**Fuente:** Elaboración propia

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) o escala de Saaty, fue desarrollada por Thomas L. Saaty a finales de los 60, la cual está diseñada para resolver problemas complejos de criterios múltiples (Toskano, s.f). Requiriendo de evaluaciones subjetivas respecto a los criterios que se tengan en cuenta y después se especifique su nivel de preferencia.

**Tabla 2.** Escala de preferencia de Saaty

Escala	Definición
1	Bajamente preferida
3	Moderadamente preferida
5	Fuertemente preferida
7	Muy fuertemente preferida
9	Extremadamente preferida

**Fuente:** (Osorio & Ojeda, 2008)

**Nota:** Las escalas 2,4 y 6 se utilizan como valores intermedios entre los anteriormente mencionados.

Posteriormente, se establecieron las escalas de preferencia para cada variable, donde se otorga un valor único que resume los anteriormente determinados según los atributos de estas (tabla 4).

**Tabla 3.** Valores asignados a cada variable según su escala de preferencia

Variable	Atributos	Puntajes
Densidad de la cobertura vegetal	Densidad alta	3
	Densidad moderada	6
	Densidad baja	9
Grado de las pendientes	Plano o casi plano	1
	Ligeramente inclinado	3
	Moderadamente inclinado	4
	Fuertemente inclinado	5
	Moderadamente escarpado	5
	Escarpado	6
	Muy escarpado	6
Aptitud de uso del suelo	Agroforestal	5
	Agroforestal y silvopastoril	4
	Silvicultura	6
	Agrícola	1

Erosionabilidad del suelo	Susceptibilidad a erosión alta	7
	Susceptibilidad a erosión moderada	4
	Susceptibilidad a erosión baja	1
Zonas de reserva	Dentro de zona de reserva	3
	Fuera de zona de reserva	1
Distancia a los cursos de agua	Menor a 30 metros	10
	Mayor a 30 metros	1
Zonas con riesgo de deslizamientos y movimientos en masa	Zonas con riesgo	5
	Zonas sin riesgo	1

**Fuente:** Elaboración propia

A partir de la ponderación de los atributos de las variables, se le dio un peso único a cada una de estas.

**Tabla 4.** Escala de preferencia de las variables

<b>Variable</b>	<b>Escala de preferencia</b>
Densidad de la cobertura vegetal	8
Grado de las pendientes	6
Aptitud de uso del suelo	6
Erosionabilidad del suelo	7
Zonas de reserva	3
Distancia a los cursos de agua	9
Zonas con riesgo de erosión, deslizamientos y movimientos en masa.	5

**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente, se procedió a realizar la superposición de capas mediante la herramienta de álgebra de mapas donde cada variable fue sumada, teniendo en cuenta el rango de mayor ponderación en cada una de estas variables reclasificadas. En la tabla 5 se pueden observar los niveles para la clasificación de prioridad.

**Tabla 6.** Rango de Priorización para Zonas a Reforestar

<b>Rango</b>	<b>Nivel de prioridad</b>
9 – 15	Prioridad baja
15 – 23	Prioridad moderada
24 – 31	Prioridad alta
32 – 46	Prioridad inmediata

**Fuente:** Elaboración propia.

Para la determinación de los rangos anteriores, se tuvo en cuenta principalmente que la suma de los mayores puntajes de cada variable se acercara a 46 para una prioridad alta y que al sumar los menores puntajes el valor fuera 9 para una categoría baja. Sumado a ello se analizó el histograma arrojado por el raster de salida en el cálculo de las capas.

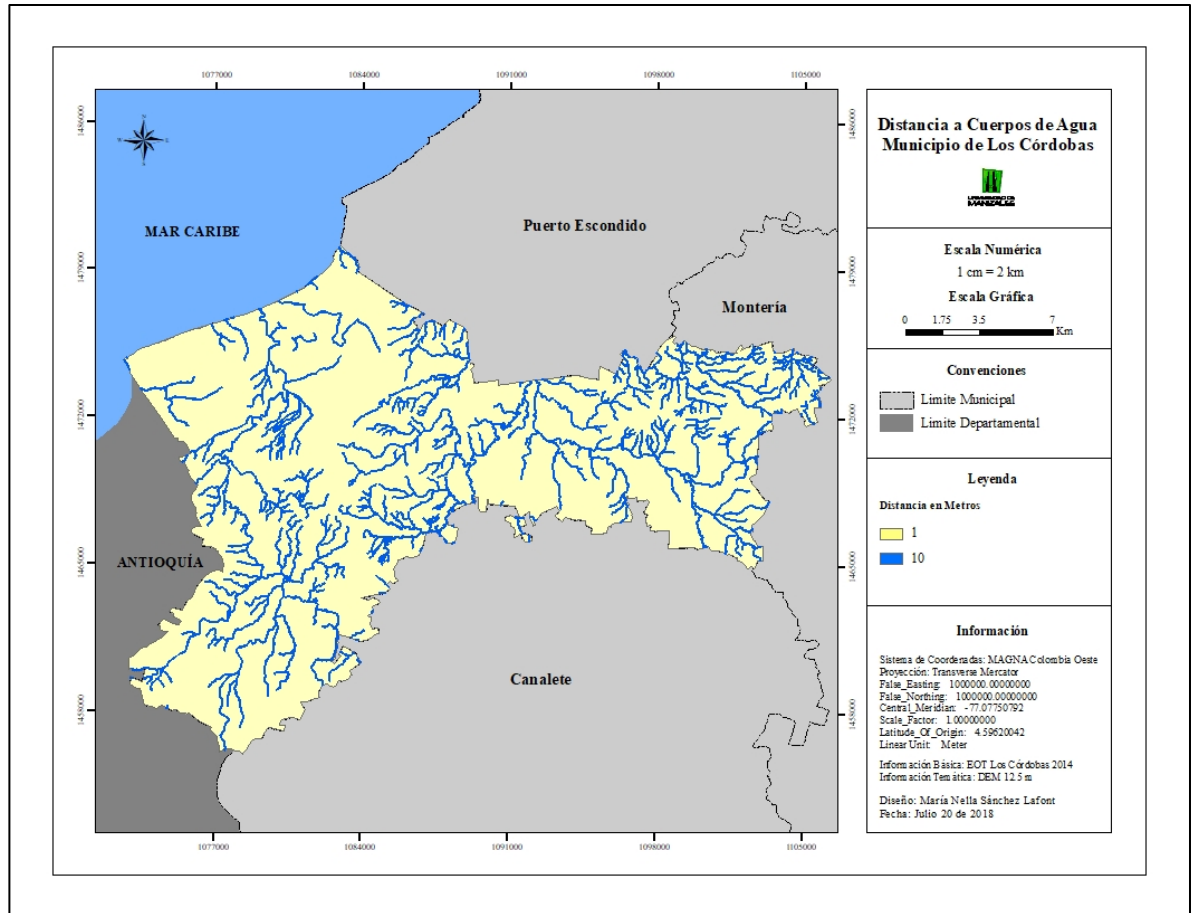
## 7. RESULTADOS

A partir de las diferentes escalas de preferencia establecidas a las variables, se diseñaron diferentes diagnósticos a cada una de ellas, se procedió a reclasificarlas y realizar salidas gráficas de las mismas; cabe resaltar que estas escalas se determinaron de acuerdo con su importancia, por ello las áreas de corto plazo deben tenerse en cuenta en los diferentes planes, programas y proyectos a ejecutar en el municipio de Los Córdoba.

Por tanto, los puntajes más altos se le otorgaron a la distancia de los cuerpos de agua y la densidad de la cobertura vegetal; pues estas dos variables son fundamentales en un territorio debido que son determinantes ambientales que deben ser protegidos y regulados constantemente. En la figura 5, se observa que los cuerpos de agua del municipio de Los Córdoba se encuentran distribuidos en toda el área de estudio. Estas fuentes hídricas están conformadas por los ríos Los Córdoba y Canalete; el primero transita parte del casco urbano del municipio (zona suroccidental) y el río Canalete hace su paso por el centro de este territorio; las fuentes hídricas secundarias y terciarias están conformadas por arroyos y quebradas.

Para estos cuerpos de agua, se le aplicó un buffer de 30 metros como lo regula la Corporación Autónoma Regional de Los Valles del Sinú y San Jorge (CVS) en la Resolución N° 3972 de 2009, la cual establece una franja forestal de 30 metros a los cuerpos de agua; con el propósito de garantizar la protección a las fuentes hídricas, debido que la vegetación es regulador del ciclo del agua. Por tal motivo, las zonas cercanas a los cuerpos de agua, reciben una puntuación alta (1) para la priorización de las áreas a reforestar en cuanto va aumentando la distancia a estas fuentes hídricas, se asignó rango de (10).

**Figura 6. Distancia a los Cuerpos de Agua**

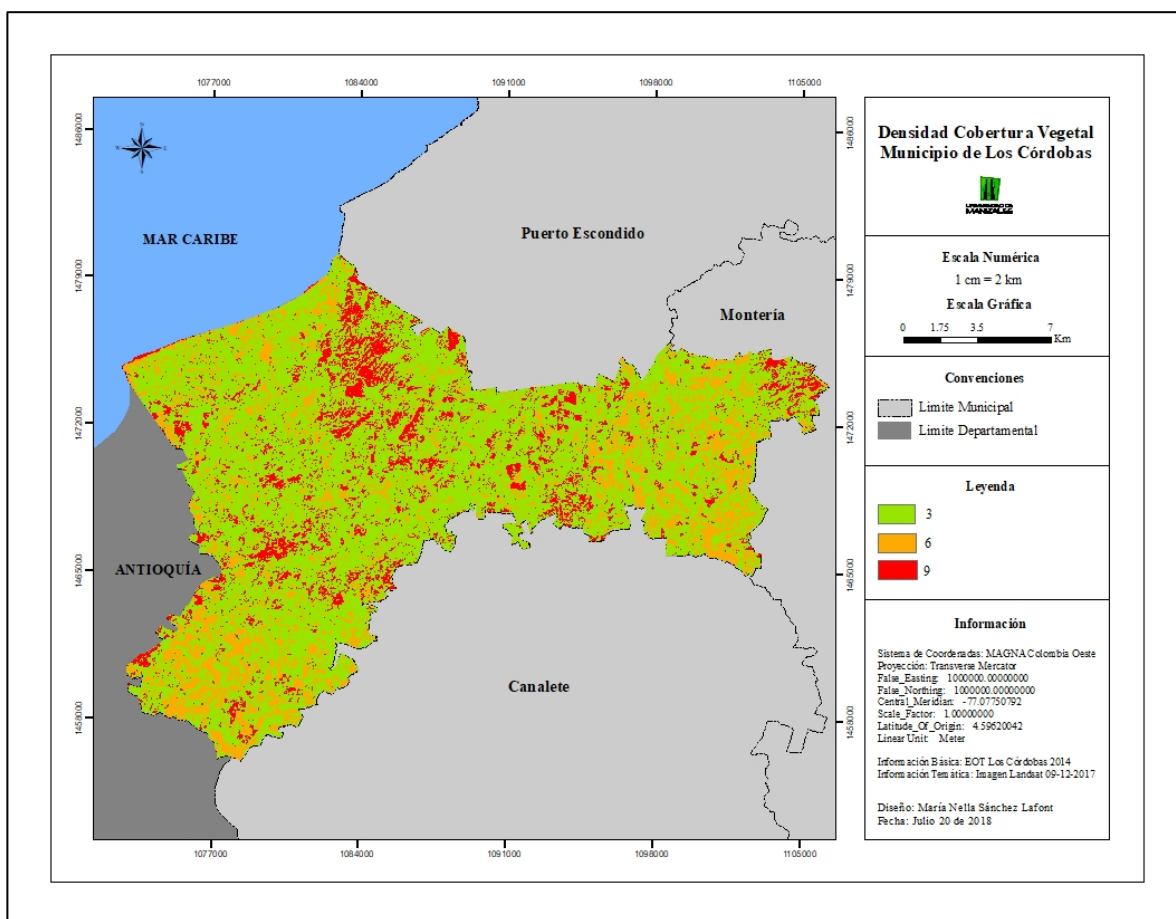


**Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto a la densidad de cobertura vegetal, esta variable fue procesada a partir de la imagen Landsat 8 del 9 de diciembre de 2017, de la cual se calculó el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI). Al visualizar la figura 6, las zonas con mayor cobertura vegetal se encuentran hacia el noroccidente y oriente del municipio donde se encuentran zonas boscosas, usos agrícolas, cubriendo 25.264 Ha.

Una densidad moderada y baja se presenta al norte y centro del territorio donde predominan los pastos por el uso ganadero y producción forestal; abarcando un área de 10.282 Ha del municipio de los Córdoba, por lo cual se les asignó un rango alto para la priorización a reforestar.

**Figura 7. Densidad Cobertura Vegetal**



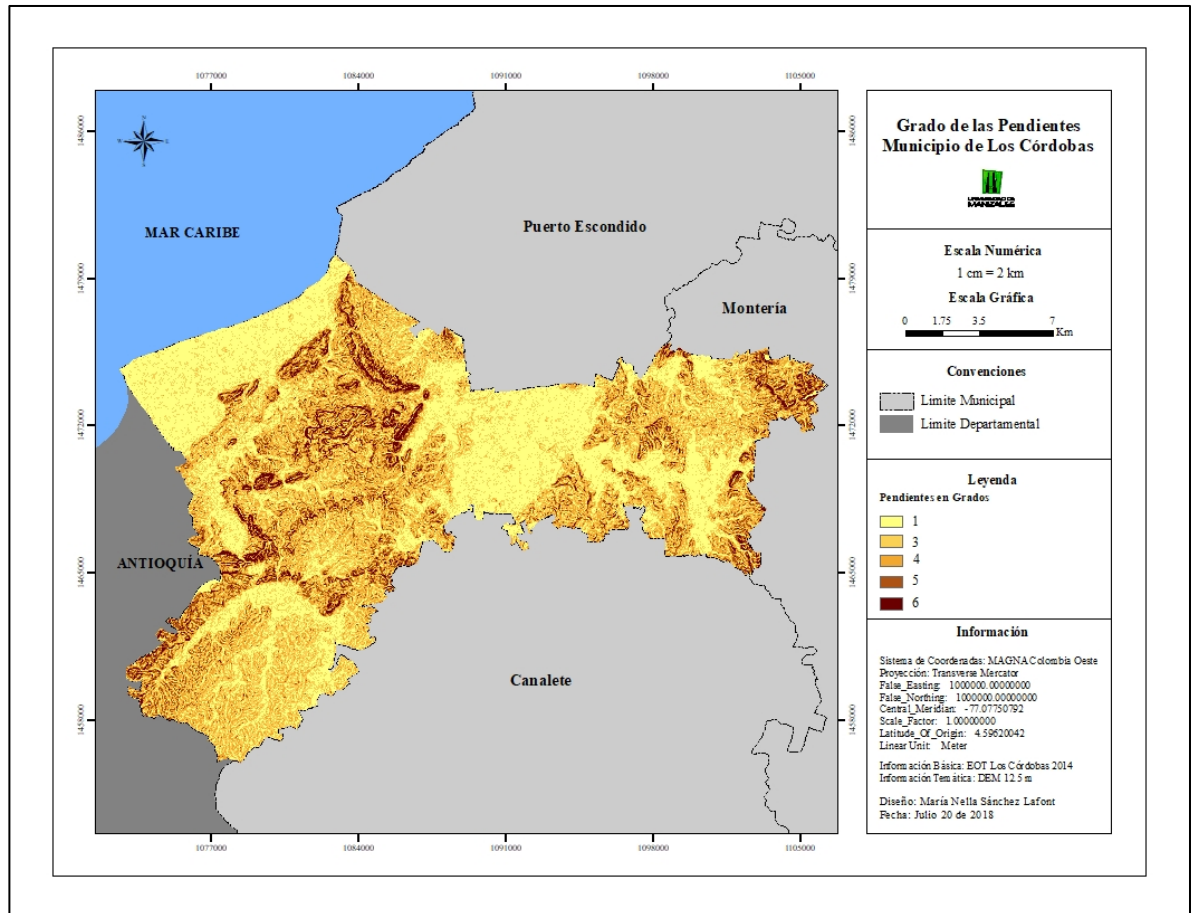
**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al grado de las pendientes del municipio de Los Córdoba (figura 7), están presentando una categoría de plano casi plano a muy escarpado, sobrepasando un ángulo de 50°. La presencia de pendientes fuertemente inclinadas, escarpadas y muy escarpadas en las zonas suroccidente y oriental del municipio coincide con presencia de vegetación alta, lo que indica que las condiciones topográficas del municipio no han permitido alteraciones en su cobertura vegetal.

Pendientes inferiores a los 12° que indican topografía del territorio moderadamente inclinado a plano casi plano, son zonas aluviales, de planicies marinas que se

denotan al noroccidente y centro del municipio. En estas áreas la cobertura vegetal es baja para la zona centro y moderada en la zona noroccidental debido que la estructura del terreno permite la intervención a la cobertura vegetal por actividades antrópicas y fenómenos naturales.

**Figura 8. Grado de las Pendientes**



**Fuente:** Elaboración propia.

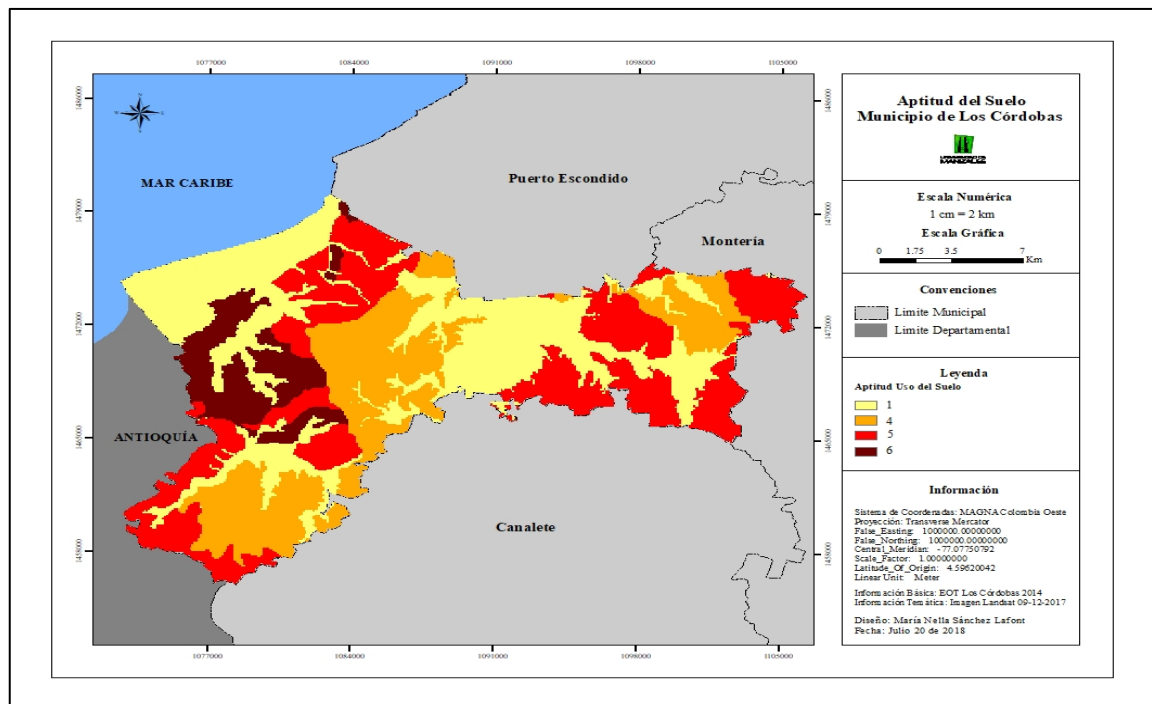
Las anteriores condiciones del territorio, como lo son las pendientes, los cuerpos de agua, la cobertura vegetal dan paso a una clasificación de aptitud del suelo, la cual fue tomada del Esquema de Ordenamiento Territorial realizado en el año 2014; donde este se clasificó en 4 categorías para este estudio; las cuales son: Agrícola con rango de 1, silvopastoril rango de 4, silvícola con un rango de 5 y agroforestal



rango de 6 como se puede apreciar en la figura 8. Los suelos aptos para agricultura, se encuentran ubicados al noroccidente, centro y algunas zonas del suroccidente y oriente del territorio, abarcando un área de 12.410 Ha denotado con un rango de 1; las áreas silvopastoriles se ubican en el centro y sur del municipio con una poca presencia en la zona oriental; acogiendo un área de 8.883 Ha denotadas con un rango de 4; en cuanto a las áreas de silvícolas, se distribuyen en la zona occidental del municipio con un área de 3.390 Ha, siendo estas de especial interés debido que sufren procesos de degradación y por ende deben estar siempre cubiertas de vegetación por lo cual se les asignó el rango más alto.

Por último, las zonas agroforestales se localizan al suroccidente, noroccidente oriente y alguna zonas del centro del territorio; esta cobertura se distribuye en todo el territorio, coincidiendo en gran medida con la presencia de bosques, pendientes escarpadas, y cercanía a los cuerpos de agua; abarcan un área de 10.914 Ha.

**Figura 9. Aptitud del Suelo**



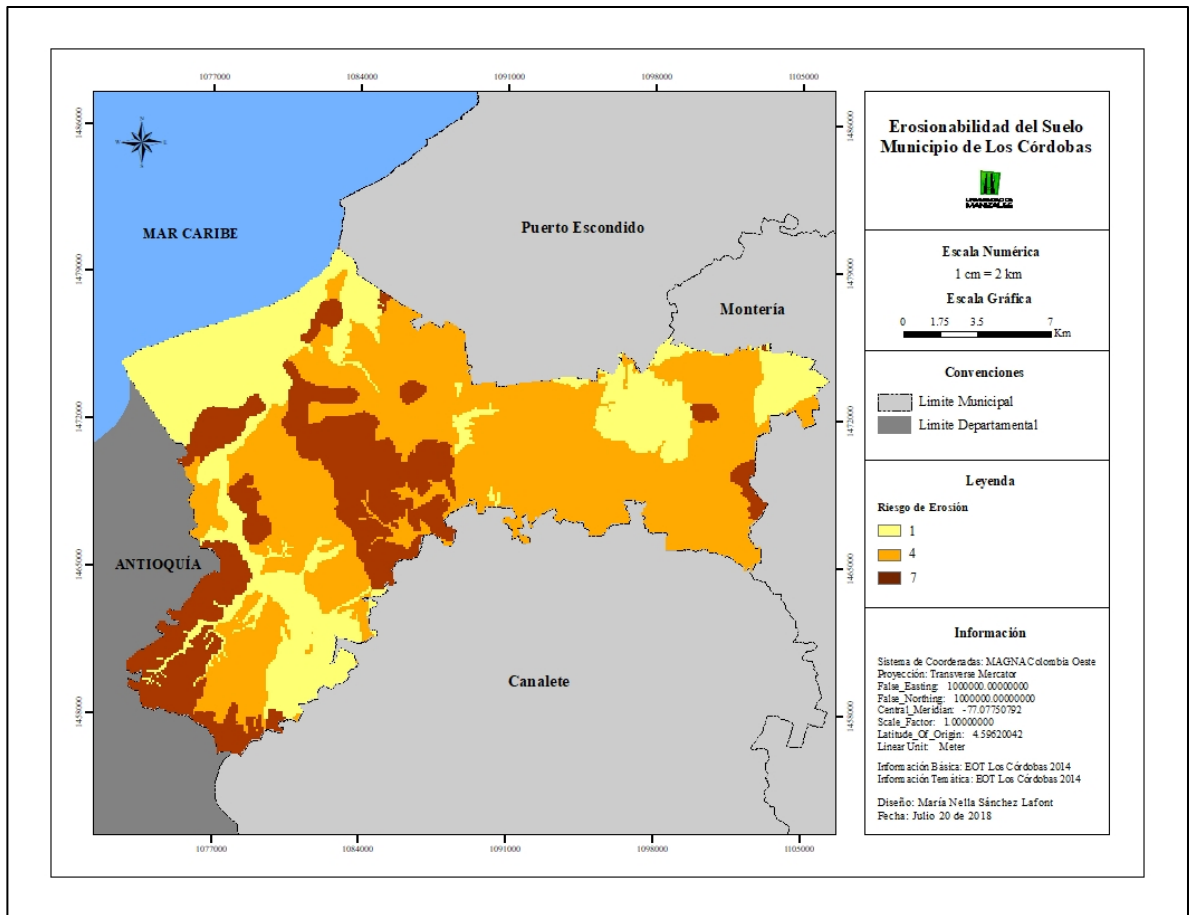
**Fuente:** Elaboración propia

Para la variable erosionabilidad del suelo de Los Córdoba, se tuvo en cuenta el EOT del municipio, debido que esta caracterización, fue acogida de estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional de Los Valles del Sinú y San Jorge (CVS), donde categorizan esta amenaza en 3 clases: Alta, Media, Baja. (Figura 9).

Una alta erosionabilidad se localiza en la zona suroccidental y central del municipio donde se realizan actividades de ganadería extensiva y agricultura comercial no tecnificada; a la cual se le asignó el rango más alto (7) a priorizar debido que actividades antrópicas como la ganadería degradan los suelos, los vuelven susceptibles a ser erosionados, y remueven cobertura vegetal. Así mismo las actividades agrícolas comerciales, al no ser tecnificadas no tienen en cuenta la protección a las coberturas vegetales, realizan talas de árboles de forma desmedida.

Así mismo hay que señalar que las áreas con susceptibilidad erosión moderada y baja se encuentran distribuidas en todo el territorio, donde predominan áreas de protección, las cuales son nacimientos de agua o bosques, los segundos son barrera que impiden los procesos erosivos; adicionalmente en estas áreas las pendientes son planas hasta ligeramente inclinado, lo cual denota suelos profundos con contenido de material orgánico.

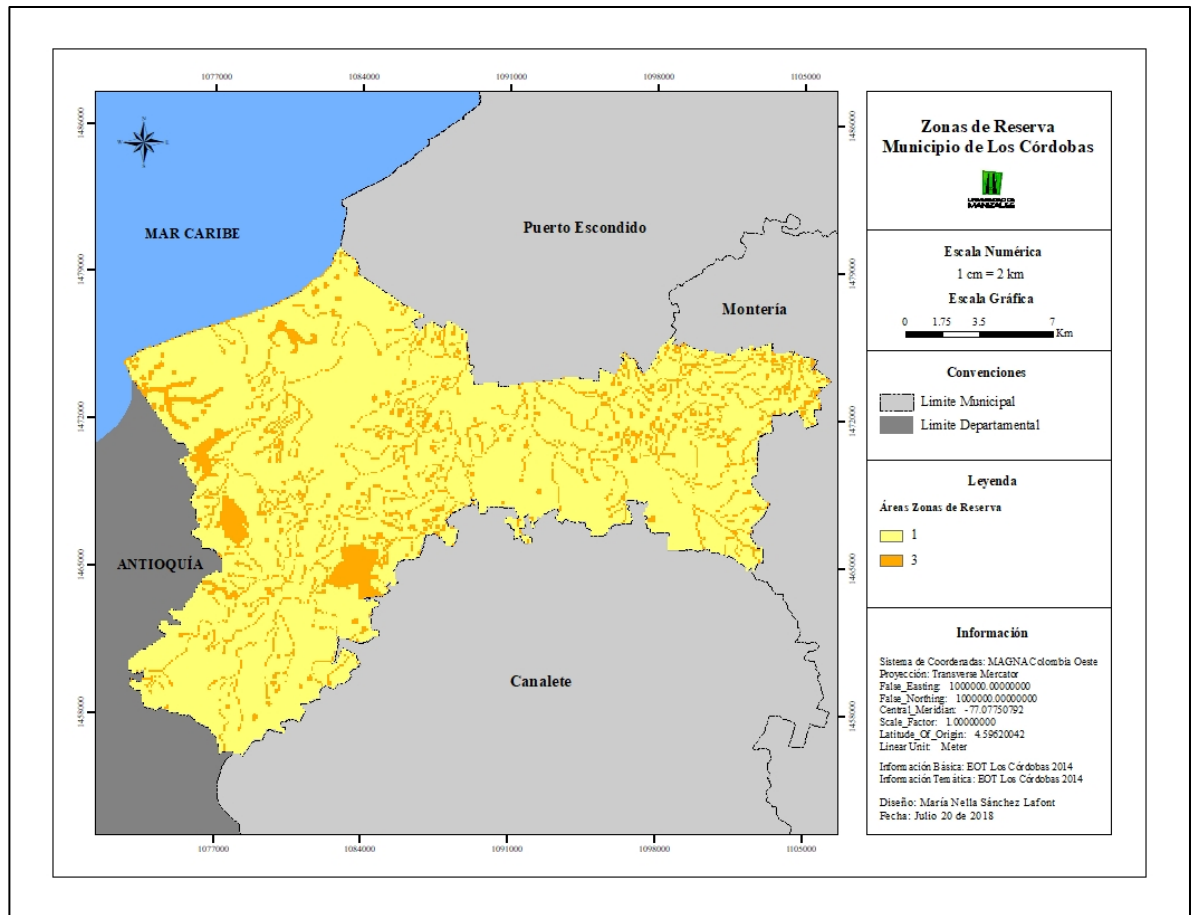
**Figura 10. Erosionabilidad del Suelo**



**Fuente:** Elaboración propia.

Las zonas de conservación fueron establecidas en el EOT del municipio; que abarcan un área de 5.338.4 Ha (figura 10), dentro de las cuales se encuentran nacimientos de agua, recarga de acuíferos y reservas naturales de la sociedad civil. Estas zonas se encuentran localizadas en todo el territorio con un rango de 3. Por tal motivo resultaría indispensable ampliar estas zonas dentro del municipio para la conservación de estos ecosistemas; así mismo hay que señalar que las zonas boscosas corresponden a bosque seco tropical.

**Figura 11. Zonas de Reserva**



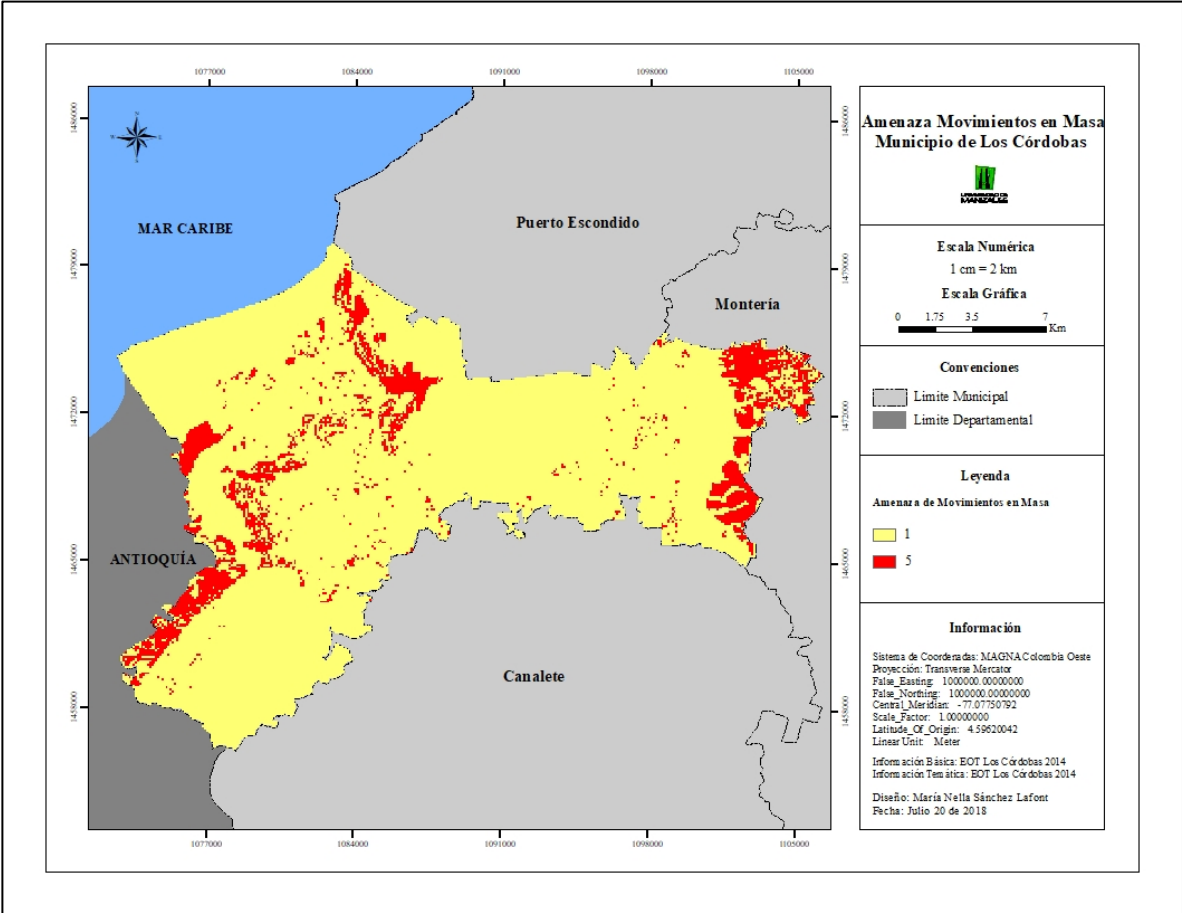
**Fuente:** Elaboración propia.

Por último, se encuentra la variable de movimientos en masa, establecida en el EOT del municipio. Estas se compenetran con las pendientes presentes en el municipio debido que, si superan pendientes mayores a los 12 grados de inclinación, se presenta una remoción en masa alta (rango 5). En la figura 11 se puede observar que estas áreas se localizan al oriente, suroccidente y noroccidente.

Esta variable es influyente a la hora de determinar áreas prioritarias debido que al existir presencia de cobertura vegetal, los procesos de remoción en masa y erosión disminuyen ya que la cobertura vegetal le brinda a los suelos características de

estabilidad y protección de estos fenómenos naturales o en algunos casos por fuerza antrópica.

Figura 12. Movimientos en Masa

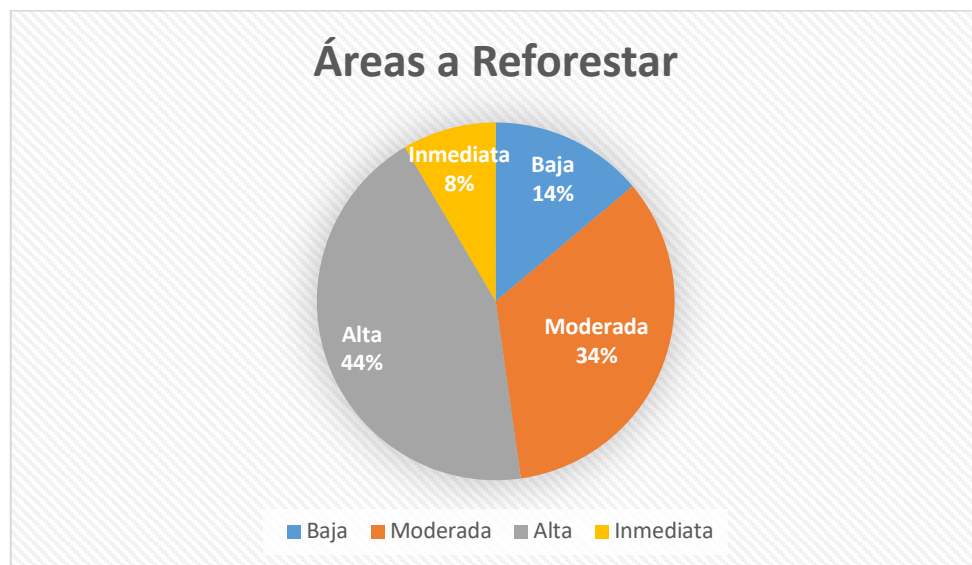


Fuente: Elaboración propia.

A partir de la identificación de las variables se procedió a identificar las áreas prioritarias a reforestar en el municipio de Los Córdoba, teniendo en cuenta los rangos de mayor ponderación de cada una de estas variables estudiadas. Este procedimiento se realizó a través de la suma de cada una de las capas utilizando álgebra de mapas para la puesta en marcha de la Evaluación Multicriterio EMC.

Como se puede apreciar en la figura 12, las áreas a reforestar inmediatamente cubren una extensión de 2966.4 Ha correspondientes al 8% del territorio. Seguidamente en la clasificación moderada, estas cubren una extensión de 11.853 Ha siendo este el 34% del municipio; en una categoría alta se encuentran 15.308 Ha el 44% del área de estudio y por último de forma baja en un 14% se encuentran 4.853 Ha a reforestar.

**Figura 13.** Porcentaje de Áreas Para Reforestar



**Fuente:** Elaboración propia.

Consecutivamente, en la figura 13; se aprecia la localización de cada una de estas áreas a reforestar. Inicialmente en una categoría baja, localizadas al occidente y suroccidente del municipio donde las pendientes no superan los 12 grados de

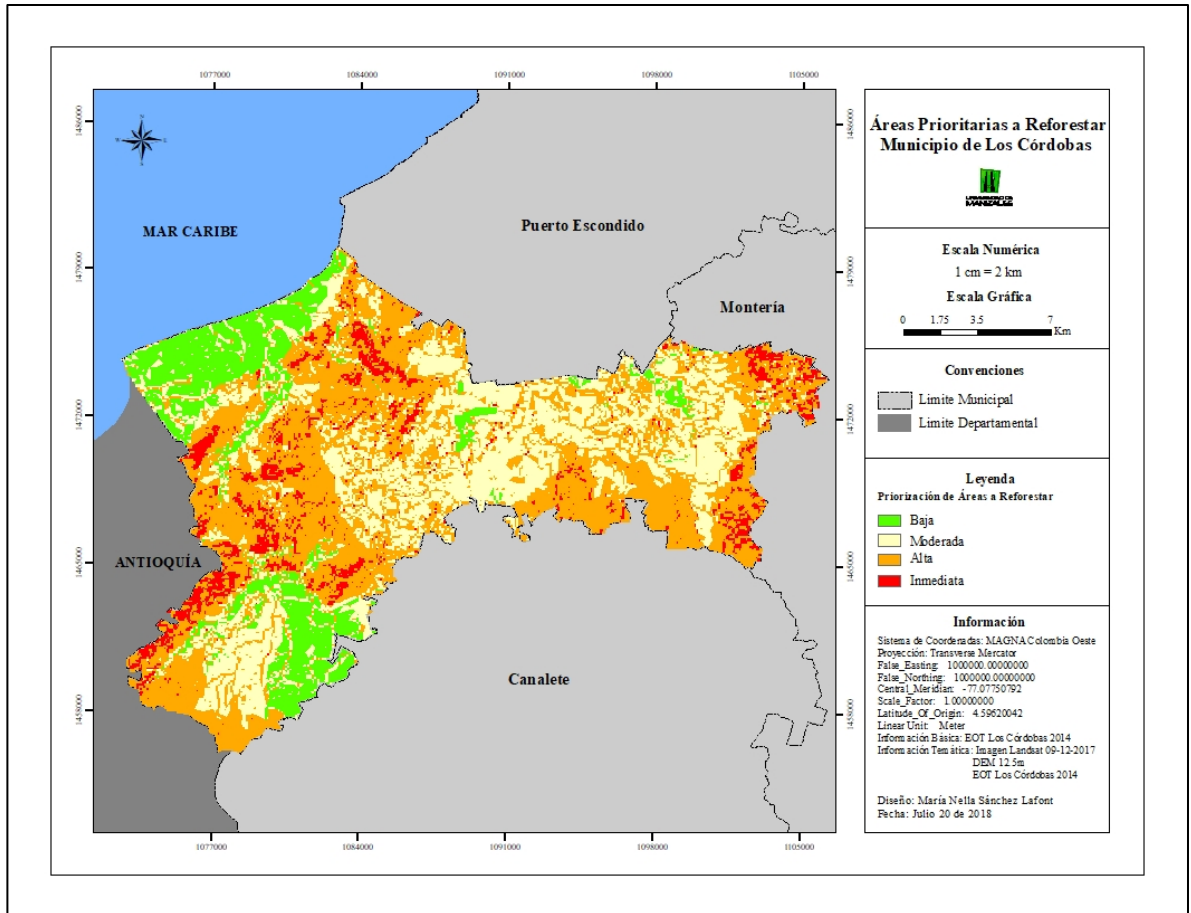
inclinación, la cobertura vegetal es alta, los procesos erosivos y de remoción en masa son bajos, las zonas de conservación son zonas de recarga de acuíferos; estas zonas pueden tener un periodo de reforestación a largo plazo por las condiciones que presenta e integración de las variables estudiadas.

Para la categoría moderada, estas zonas se localizan al norte y centro del territorio, donde las pendientes son planas casi planas, los procesos de remoción en masa en bajo y erosivos moderados, la cobertura vegetal en esta zona en alta y moderada con algunas pequeñas presencias de cobertura baja, son suelos aptos para la agricultura y actividades silvopastoriles.

En cuanto a las áreas a reforestar en categoría alta, estas se presentan al occidente, sur y suroccidente del municipio, estas áreas presentan pendientes fuertemente inclinadas a muy escarpadas, los procesos erosivos y de remoción en masa son altos, existe presencia de zonas de reserva las cuales son áreas boscosas, la cobertura vegetal es moderada. Estas áreas cubren gran parte del territorio, así mismo son zonas aptas para actividades agroforestales por lo cual deben ser reforestadas a corto plazo.

En la última categoría, se encuentran las áreas a reforestar de manera inmediata, ubicadas al oriente, occidente y suroccidente, donde la presencia de la cobertura vegetal es baja y moderada, las pendientes superan los 50 grados de inclinación, actualmente son suelos utilizados para la ganadería extensiva lo que agrava los procesos erosivos y de remoción en masa que son de categoría alta en estas áreas. Así mismo existe presencia de zonas de reserva las cuales deben ser fundamentales a priorizar para extender estas zonas para la conservación ambiental; igualmente los cuerpos de agua deben también conservar la franja de 30m de protección.

**Figura 1a. Áreas Prioritarias a Reforestar**



**Fuente:** Elaboración propia.



## 8. DISCUSIONES

De acuerdo con la metodología que se planteó anteriormente, las áreas prioritarias a reforestar dependieron en gran medida de las condiciones de riesgo de erosión, movimientos en masa, cercanía a las fuentes hídricas y baja cobertura vegetal, esto por las condiciones del territorio como lo son las zonas de lomerío, aptitud agroforestal, actividades económicas como la ganadería extensiva que influye en gran medida a la degradación del suelo.

(Ospino & Ramos, 2017), realizaron una investigación sobre identificación de áreas aptas para la reforestación del bosque seco tropical en el departamento de Córdoba utilizando un Sistema de Información Geográfica; la metodología que plantearon fue adyacente a la que se utilizó en la anterior investigación debido que su base fue el análisis de imágenes satelitales extrayendo de estas la delimitación de cobertura y uso de la tierra de acuerdo a la leyenda Corine Land Cover para determinar la presencia de BST en el departamento, teniendo en cuenta (condiciones climáticas, precipitaciones y altitud). A partir de lo cual identificaron los siguientes criterios para delimitar sus áreas:

-Las áreas a reforestar debían ubicarse en zonas donde ha sido deteriorado el ecosistema y/o la existencia de un área de influencia no mayor a 500 metros donde se halla emplazado el bosque seco tropical.

-Las áreas se debían encontrar a menos de 500 metros algún tipo de recurso hídrico (drenajes, ciénagas y lagunas).

-Las áreas no podían estar a menos de 100 metros de la red vial y a menos de 500 metros de un centro poblado.

-Se debían priorizar las zonas donde los índices de fragmentación del bosque fueran mayores con respecto al año 2016.

Es así como se puede observar la diferencia entre las dos metodologías plantadas en las investigaciones, pero se resalta que, en los resultados obtenidos el municipio de Los Córdoba presenta prioridad a ser reforestado, debido a las condiciones que lo caracterizan y la importancia de poseer bosques con una cobertura vegetal protectora.

Para finalizar, se tiene que los SIG son útiles para la determinación de la fragilidad del suelo a la erosión, teniendo como referente la poca vegetación como lo realizó (Laval, 2009). De igual forma, el territorio puede explorar los sistemas agrosilvopastoriles en zonas de aptitud agroforestal forma sostenible con el medio.

## 7. CONCLUSIONES

Como conclusión principal de la anterior investigación se resalta la importancia de los Sistemas de Información Geográficos como herramienta a la hora de realizar estudios donde intervienen diversos factores o variables para la toma de decisiones, en este caso los SIG jugaron el papel fundamental para realizar ponderaciones y superposición de información y delimitar las áreas prioritarias.

Seguidamente, se tiene que el 8% del territorio (2.966 Ha) deben ser reforestado de forma inmediata, esto para evitar procesos de degradación y erosión en el municipio de Los Córdoba; ya que sus condiciones de paisaje, pendientes inclinadas la cercanía a las fuentes hídricas, cambio en la aptitud del suelo y demás características la insertan en esta categoría.

A un corto plazo deben ser reforestadas las áreas que presentan el 44 % del municipio, es decir, 15.308 Ha; debido que las aptitudes del suelo así lo requieren (la mayoría de las tierras del municipio son de vocación agroforestal y silvícola). Continuamente, de forma modera a mediano plazo deben ser reforestadas 11.853 Ha y finalmente a largo plazo el 14% del territorio lo que corresponde a zonas planas y con alta cobertura vegetal.

Finalmente se puede decir que la conservación de los bosques es fundamental en la estructura del territorio, debido que estos cumplen diversas funciones como la estabilidad de los suelos, conservación de fauna y flora, regulan los ecosistemas y el ciclo del agua, previenen riesgos ambientales, entre otras funciones.

## 8. RECOMENDACIONES

Dentro del desarrollo del Sistema de Información Geográfico y puesta en marcha de la Evaluación Multicriterio, se recomienda lo siguiente:

- Como recomendación principal se tiene que no todos los territorios presentan las mismas características e información, por lo cual es necesario realizar revisión de las fuentes de información.
- Esta metodología puede trabajarse en software libre, no está limitada a procesos realizados en ArcGIS, pero hay que resaltar los beneficios que brinda en cuanto al procedimiento de álgebra de mapas.
- Los Sistemas de Información Geográficos son una herramienta en la toma de decisiones en cualquier ámbito de estudio, por lo cual se recomienda su uso en procesos como el anteriormente planteado.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Los Córdoba. Esquema de Ordenamiento Territorial. 2014.
- Barredo, J., & Bosque, J. (1999). Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment. *Geographical Systems* 5, 313-327.
- Bosque, J., & García, R. (2004). Asignación óptima de usos del suelo mediante de generación de parcelas por medio de SIG y Evaluación Multicriterio. *VII Conferencia Iberoamericana sobre SIG*.
- Casquete, D. (2018). *Delimitación de áreas con fines de conservación al suroeste de La Parroquia urbana de Guayaquil*. Guayaquil: Tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Naturales.
- Ceballos, A., & López, J. (2010). Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una evaluación multicriterio-SIG. *Terra Latinoam. Vol 28. N°2*.
- Chávez, H., González, M., & Rosa, P. D. (2014). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 6 N° 27, 8-23*.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Ediciones Rialp S.A.
- Comisión Nacional Forestal. (2010). *Práctica de reforestación: Manual básico*. Jalisco, Mexico.
- Congreso de la República de Colombia. (2016). *Proyecto de ley 171 de 2016*. Obtenido de [http://www.imprenta.gov.co/gacetap/gaceta.mostrar\\_documento?p\\_tipo=05&p\\_numero=171&p\\_consec=44381](http://www.imprenta.gov.co/gacetap/gaceta.mostrar_documento?p_tipo=05&p_numero=171&p_consec=44381)
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *DECRETO 163-93*. Obtenido de Ley de incentivos a la forestación, reforestación y a la protección del bosque: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/hon42042.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge. (2009). *Resolución N° 3972 del 30 de diciembre de 2009, por la cual se establecen las determinantes ambientales densidades máximas permitidas en suelo rural, en la*

*jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (C.V.S). Montería.*

- Cos, O. d., & Martín, E. (2007). Evaluación Multicriterio y delimitación de espacios funcionales: aplicación SIG para la deficiencia de mapas comarcales. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. N° 7*, 256-280.
- Da Silva, C., & Cardozo, O. (2015). Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina). *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica N° 16*, 23-40.
- Franco, C. (2011). *Desarrollo de un modelo basado en análisis espacial multicriterio para la determinación de unidades de ordenación forestal. Caso departamento del Casanare*. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Geomática. Universidad Nacional de Colombia .
- Gomez - Pompa, A., Whitmore, T., & Hadley, M. (1991). Rain Forest Regeneration and Management. *UNESCO and The Partenon Publishing Group. Man and the Biosphere Series*, 457.
- Gómez, M., & Barredo, J. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio 2da edición* . México D.F: ALFAOMEGA Grupo Editor S.A.
- González, M. (2014). *Identificación de áreas prioritarias para restauración ecológica en la región Chignahuapa-Zacatlán, Puebla*. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de Magister en Ciencias. Colegio de Postgrados.
- Higginbottom, T., & Symeonakis, E. (2014). Assessing land degradation and desertification using vegetation index data: current frameworks and future directions. *Remote sensing N° 6*, 9552-9575.
- IDEAM. (2011). *Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia*. Bogotá.
- IGAC. (2009). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: Departamento de Córdoba*. Bogota D.C.
- IGAC, IDEAM, & MAVDT. (2010). *Protocolo para la identificación y evaluación de los procesos de degradación de suelos y tierras por desertificación*. Bogotá D.C.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Jaramillo, L., & Lotero, L. (2013). *Priorización de zonas geográficas mediante el uso de sistemas de información geográfica: Aplicación a un municipio Colombiano*. Grupo de investigación Ambiente Hábitat y Sostenibilidad, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín y Programa de Doctorado en Ingeniería – Sistemas e Informática, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Laval, E. (2009). *Determinación de erosión actual y fragilidad de suelos en la V región utilizando datos satelitales y SIG*. Ministerio de Agricultura, Santiago de Chile.
- Molina, M., & Helo, E. (2017). *Zonificación de la vulnerabilidad a la deforestación del bosque seco mediante análisis multicriterio en los municipios de San Juan Nepomuceno, María La Baja y San Jacinto (Bolívar - Colombia)*. Bogota D.C: Proyecto de gradopara obtener el título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Instituto Geográfico Agustín Codazzi .
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, España.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Osorio, J. C., & Ojeda, J. P. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio: ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica* N° 39, 247-252.
- Ospino, J., & Ramos, Á. (2017). *Identificación de áreas aptas para la reforestación del bosque seco tropical en Córdoba - Colombia por medio de un Sistema de Información Geográfico*. Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Manizales.
- Palma, J. (2015). Sistemas d einformación Geográfica (SIG) y Metodologías de Evaluación Multicriterio (EMC) en la búsqueda de escenarios alternativos para el mejoramientosocio-espacial de las áreas urbanas populares de la ciudad de Comayagua. *Revista Ciencias Espaciales*. Vol 8. N° 2, 252-269.
- Pizano, C., Cabrera, M., & García, H. (2014). *Bosque seco tropical en Colombia: generalidades y contexto*.

- Pizano, C., González, R., García, H., Isaacs, P., González, M., Piñeros, P., & Ramírez, W. (2014). *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt*. Obtenido de Bosque seco tropical en Colombia: <http://www.humboldt.org.co/es/investigacion/proyectos/en-desarrollo/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia>
- Pozzobon, E., & Gutiérrez, J. (2003). Utilización de un sistemas de Información Geográfica para la selección y priorización de áreas a reforestar en los alrededores de la ciudad de Mérida, Venezuela. *Revista Forestal n°47 Vol. 2*, 61-77.
- Sánchez, K., Jiménez, F., Velásquez, S., Piedra, M., & Romero, E. (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias del manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 88-95.
- Toskano, G. (s.f). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*. Tesis Digitales UNMSM.
- Valpreda, E. (2007). *Sistema de Información Geográfica (SIG) Teledetección y Evaluación Multicriterio (EMC) en un Estudio de Impacto Ambiental (EIA)*.
- Vilorio, J. (19 de 05 de 2017). *Hablemos de SIG*. Obtenido de <https://hablemosdesig.blogspot.com/2017/05/los-sig-y-su-futuro-en-la-web.html>