

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

Modelo GIS de crecimiento vegetal a lo largo de una línea de transmisión eléctrica

Alexa Carolina Ramírez Rodríguez

**Richard Resl Ph. D.(c)
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Magister en Sistemas de Información Geográfica

Quito, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Modelo GIS de crecimiento vegetal a lo largo de una línea de transmisión eléctrica

Alexa Carolina Ramírez Rodríguez

Firmas

Richard Resl, Ph.D.(c),

Director de Trabajo de Titulación

Karl Atzmanstorfer, Ph.D.(c),

Miembro del comité de Trabajo de Titulación

Richard Resl, Ph.D.(c),

Director del Programa de Maestría en Sistemas de Información Geográfica

Stella de la Torre, Ph.D.,

Decano del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

Hugo Burgos, Ph.D.,

Decano del Colegio de Posgrados

Quito, noviembre de 2015

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombre: Alexa Carolina Ramírez Rodríguez

Código de estudiante: 102496

C. I.: 1.082.852.717

Lugar, Fecha Quito, noviembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a Dios, a mi familia, profesores y amigos que me apoyaron durante la maestría y el desarrollo del presente trabajo de Tesis, en especial a mi hija Antonella, motor de mis sueños.

RESUMEN

Se evaluó el Crecimiento Vegetal para la servidumbre de una línea de transmisión eléctrica de 110kV Cerromatoso – GECELCA 3 de la empresa TRANSELCA S.A. E.S.P., cuya limitación geográfica esta descrita en la licencia ambiental resolución 15789 del 22 de Nov de 2011 y se encuentra en límites de los municipios de Puerto libertador, Montelibano y San José de Uré, Departamento de Córdoba. A fin de establecer un plan de podas y conservar las distancias mínimas de seguridad en las proximidades a las líneas eléctricas, para ello inicialmente se realizó un inventario de las especies en la zona de servidumbre, se determinó la especie más significativa por Índice de valor de Importancia en el ecosistema, y teniendo en cuenta factores como la tasa de crecimiento y altura máxima de la especie, determinando así que la ceiba es la especie critica. Luego de esto se realizaron los mapas de aptitud de los 3 municipios y específicamente de la zona de servidumbre, encontrando que en toda el área de servidumbre la tierra es apta para el crecimiento de la especie, a partir de esta información se estableció un plan de mantenimiento que cubre toda el área de la zona de servidumbre.

Palabras clave: línea, energía, eléctrica, suma ponderada, mantenimiento, poda, sig.

ABSTRACT

Was evaluated the Plant growth for the bonded area of power transmission line 110kV Cerromatoso-GECELCA 3 of the company TRANSELCA S.A. E.S.P., whose geographical limitation is described in the environmental license 15789 resolution of 22 November 2011 and is in limits of Puerto Libertador municipality is, Montelibano and San José de Uré department of Cordoba . This for establish a plan of pruning and keep for the safe minimum clearances in close proximity to power lines, initially was inventory of species the bonded area, the index of value of importance in the ecosystem was determined for species, and taking into account factors such as growth rate and maximum height of each species, was concluded that the species ceiba is critical in the area of servitude. After that, aptitude maps of the 3 municipalities and specifically the bonded area were performed, finding that all the land easement area is apt for the growth of the species, based on this information, was established a plan of maintenance covering the entire area of the easement area.

Key words: line, energy, electricity, weighted sum, maintenance, pruning, sig.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	14
1.1. Objetivo general.....	14
1.2. Objetivos específicos	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. ALCANCE.....	16
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	17
4.1. Antecedentes	17
4.2. Sistema de información geográfica (geographic information system - GIS)	21
4.3. Líneas de transmisión de energía eléctrica	22
4.3.1. Torres.	24
4.3.2. Zona de servidumbre de una línea de transmisión eléctrica.	25
4.4. Poda de arboles.....	27
4.5. Evaluación multicriterio.....	28
4.6. Modelo espacio-temporal.....	28
5. METODOLOGÍA	29
5.1. Selección de especies.....	29
5.1.1. Inventario de las especies.....	30
5.1.2. Selección de especie por medio del Índice de Valor de Importancia (IVI).	33
5.2. Determinación de la aptitud	34
5.2.1. Área de estudio.....	35
5.2.2. Análisis climatológico del área de estudio.....	35
5.2.3. Análisis geológico del área de estudio.	36
5.2.4. Obtención de la aptitud.....	37
5.3. MODELO DE CRECIMIENTO VEGETAL	37
5.4. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO POR PODA	38
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
6.1. SELECCIÓN DE LA ESPECIE	39
6.1.1. Análisis de la estructura horizontal.....	40
6.2. DETERMINACIÓN DE LA APTITUD.....	42

6.2.1. Zonificación climática (ZC)	43
6.2.2. Análisis geológico del área de estudio.	48
6.3. Modelo de crecimiento vegetal.....	66
6.4. Programa De Mantenimiento Por Poda.....	68
7. CONCLUSIONES.....	72
8. RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 4 - 1. Ancho de zona de servidumbre de las líneas de transmisión.	26
Tabla 6 - 1. Índice de Valor de Importancia.	39
Tabla 6 - 2. Categorías de zonificación climática	44
Tabla 6 - 3. Reclasificación zonificación climática	45
Tabla 6 - 4. Conteo zonificación climática.....	47
Tabla 6 - 5. Categorías de la susceptibilidad a la remoción en masa (RM).....	48
Tabla 6 - 6. Reclasificación de susceptibilidad a la remoción en masa.....	49
Tabla 6 - 7. Conteo remoción en masa.	52
Tabla 6 - 8. Categorías de la cobertura de tierra (CT).	53
Tabla 6 - 9. Reclasificación de la cobertura de tierra (CT).	55
Tabla 6 - 10. Conteo cobertura de tierra (CT).	55
Tabla 6 - 11. Conteo aptitud: 40% CT + 30% RM + 30% ZC.....	59
Tabla 6 - 12. Conteo aptitud: 60% CT + 20% RM + 20% ZC.	62
Tabla 6 - 13. Aptitud: 20% CT + 20% RM + 60% ZC	64
Tabla 6 - 14. Crecimiento mensual del árbol de Ceiba.	68
Tabla 6 - 15. Altura de arboles	70
Tabla 6 - 16. Proyección de poda	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 4 - 1. Mapa de datos de un GIS.	21
Figura 4 - 2. Esquema de producción y distribución de energía eléctrica.	24
Figura 4 - 3. Esquemas de torres comunes.	25
Figura 4 - 4. Ancho zona de servidumbre.....	26
Figura 4 - 5. Distancias mínimas de seguridad a líneas energizadas.....	27
Figura 6 - 1. Abundancia relativa de las especies.....	40
Figura 6 - 2. Dominancia relativa de las especies.	41
Figura 6 - 3. Índice de Valor de Importancia.	41
Figura 6 - 4. Mapa de zonificación climática	46
Figura 6 - 5. Zonificación climática.....	48
Figura 6 - 6. Mapa de remoción en masa.....	51
Figura 6 - 7. Susceptibilidad a la remoción en masa (RM)	52
Figura 6 - 8. Mapa de cobertura de tierra.....	57
Figura 6 - 9. Cobertura de tierra (CT).	58
Figura 6 - 10. Mapa de aptitud: 40% CT + 30% RM + 30% ZC	60
Figura 6 - 11. Aptitud: 40% CT + 30% RM + 30% ZC	61
Figura 6 - 12. Mapa de Aptitud: 60% CT + 20% RM + 20% ZC.....	63
Figura 6 - 13. Aptitud: 60% CT + 20% RM + 20% ZC.....	64
Figura 6 - 14. Mapa de Aptitud: 20% CT + 20% RM + 60% ZC Error! Bookmark not defined.	65
Figura 6 - 15. Aptitud: 20% CT + 20% RM + 60% ZC	66
Figura 6 - 16. Distancia mínima para líneas de transmisión.	69

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la sociedad y demanda de los recursos naturales y su transformación a partir de las necesidades de la vida actual del ser humano, ha conllevado al desarrollo de nuevas tecnologías para la generación y transmisión de la energía eléctrica, dentro de una planeación minuciosa que controle las pérdidas y posibles riesgos del sistema.

El sitio de instalación de una línea de transmisión eléctrica es un factor clave al momento de la planeación y diseño de la misma, teniendo en cuenta la servidumbre donde se planea realizar el proyecto, la cual se define según el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE, 2013) como:

Una franja de terreno que se deja sin obstáculos a lo largo de una línea de transporte o distribución de energía eléctrica, como margen de seguridad para la construcción, operación y mantenimiento de la misma, así como para mantener una interrelación segura con el entorno (RETIE, 2013, pág. 32). Para esto dentro de la zona de servidumbre se debe impedir la siembra o crecimiento natural de árboles o arbustos que con el transcurrir del tiempo comprometan la distancia de seguridad y se constituyan en un peligro para las personas o afecten la confiabilidad de la línea.

Es este lugar el de mayor interés por las autoridades ambientales debido a la posible afectación e impacto ambiental que puede generarse durante la construcción y operación de una línea de transmisión eléctrica, por tanto se requiere realizar un inventario forestal para determinar las especies vegetales y número de individuos que se localizan dentro de la zona

seleccionada donde se desarrollará el proyecto, para su posterior compensación en una relación superior al número de árboles aprovechados, como medida de mitigación de impacto ambiental. Una vez ejecutados los trabajos el propietario u operador debe realizar el mantenimiento de poda para conservar las distancias de seguridad.

El área de estudio corresponde a la servidumbre de una línea de transmisión eléctrica de 14 kilómetros de longitud y 15 metros de ancho a partir del eje central de ésta, ubicada entre los Municipios de Puerto Libertador, Montelibano y San José de Uré, Departamento de Córdoba en el noroccidente de Colombia.

De acuerdo a lo anterior en esta investigación se realizó un inventario de las especies vegetales que crecen dentro de la servidumbre de la línea de transmisión eléctrica, seleccionando la especie más representativa por su importancia ecológica dentro del ecosistema; en este caso la abundancia, frecuencia y dominancia, para generar el Índice de Valor de Importancia, obteniendo que las dos especies con mayor índice de importancia fueron la Ceiba (*Ceiba pentandra*) y el Algarrobo (*Ceratonia siliqua*), ahora teniendo en cuenta la tasa de crecimiento promedio y la altura máxima de estas especie se determinó que la especie que presente un riesgo superior en la alteración de las distancias de seguridad a la línea de transmisión eléctrica es la Ceiba . Así la tasa de crecimiento de esta especie y la distribución espacial de las zonas de mayor aptitud de crecimiento en la servidumbre son las entradas para generar la programación de mantenimientos por poda, creando un modelo de crecimiento y evaluación de las áreas aptas para su desarrollo dentro del área de estudio.

De esta manera el plan de podas se realizó considerando solamente la especie *Ceiba pentandra*, ya que al ser la más crítica requiere mayor frecuencia de poda que las demás

especies, entonces al controlar la altura máxima alcanzada por esta en la zona de servidumbre, indirectamente se cubre el crecimiento de las otras especies.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo espacio temporal para determinar el crecimiento de una especie vegetal, a lo largo de la línea de transmisión eléctrica en estudio, basado en un análisis de las condiciones climatológicas del lugar.

1.2. Objetivos específicos

- Identificar la vegetación que presenta un alto riesgo en la interrupción del servicio de la línea de transmisión eléctrica en el área de estudio, debido a su crecimiento vertiginoso.
- Establecer un modelo espacio temporal de crecimiento vegetal, basado en un análisis climatológico del área de estudio.
- Programar los mantenimientos por poda para el control del crecimiento vegetal de la especie seleccionada, dentro de la servidumbre de la línea de transmisión de energía eléctrica.

2. JUSTIFICACIÓN

El acercamiento entre la vegetación y las líneas de transmisión eléctrica dentro de una servidumbre, se constituye como un riesgo permanente que puede ocasionar la salida de la operación de una línea o incidir en accidentes que pueden afectar negativamente el medio ambiente; es por esto que se hace necesario realizar podas programadas en cada sector a una frecuencia de tiempo determinada, de acuerdo al comportamiento de crecimiento de las especies vegetales que se ubican dentro de la servidumbre de la línea de transmisión eléctrica. De allí la importancia del presente trabajo, al estudiar el comportamiento de la especie que por su importancia y crecimiento presenta un mayor riesgo, y programar un plan de poda que garantice control en altura mínima de seguridad en toda la zona de servidumbre.

3. ALCANCE

En esta investigación se seleccionó la especie vegetal *Ceiba pentandra* como la especie crítica que crece dentro de la servidumbre de una línea de transmisión eléctrica a 110kV Cerromatoso – GECELCA 3 de la empresa TRANSELCA S.A. E.P., cuya ubicación geográfica está descrita en la licencia ambiental resolución **15789** del 22 de Nov de 2011, encontrándose entre los límites de los Municipios de Puerto Libertador, Montelíbano y San José de Uré, Departamento de Córdoba, Colombia. En esta investigación se tuvieron en cuenta las especies vegetales inventariadas en dicha licencia ambiental.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1. Antecedentes

Universidad de Newfoundland, Canada

En el departamento de Geografía de la universidad de Newfoundland se presentó una tesis de maestría titulada “Direccionamiento de las dificultades de accesibilidad de SIG basado en análisis de decisión múltiple-criterio para la gestión integral de suelos: caso de estudio en la región de Humber de Newfoundland y Labrador, Canadá” (Greene, 2010).

La gestión de suelos GIS (ILM, por sus siglas en inglés) es sin duda una actividad importante y compleja donde se requieren tomar decisiones considerando simultáneamente diversos factores. Los marcos estratégicos tales como la gestión integral de suelos y la gestión basada en ecosistemas GBE (EBM por sus siglas en inglés) proporcionan principios rectores, a pesar de esto, no existen técnicas específicas para integrar múltiples factores al momento de tomar decisiones en un análisis para gestión de suelos. El análisis Múltiple-criterio para la toma de decisiones (MCDA por sus siglas en inglés) es un conjunto establecido de métodos para el apoyo a las decisiones teniendo en cuenta muchos puntos de vista y ha sido históricamente combinado con sistemas de información geográfica (SIG) por lo que proporciona un escenario apropiado para GIS y GBE. Sin embargo, el uso de MCDA basado en SIG por parte de directivos al momento de tomar decisiones de gestión de suelos es limitado por dificultades de comprensión y uso de métodos y herramientas disponibles. El objetivo de esta investigación fue soportar a los directivos y analistas en la gestión de la tierra, al considerar simultáneamente múltiples factores mediante la mejora de la accesibilidad de los SIG basados

MCDA. En este orden de ideas los resultados de este trabajo fueron la identificación de los desafíos específicos de accesibilidad de directivos para el uso MCDA basado en SIG para apoyar GIS y GBE, el diseño corresponde a un enfoque genérico para MCDA basado en SIG que se ocupa de algunos de los retos de accesibilidad identificados, posteriormente la implementación del enfoque mediante el desarrollo de software de MCDA personalizada basada en SIG, y por último se validó el enfoque a través de un estudio aplicado a un caso particular de GIS. Este trabajo termina identificando que la mayor falencia es la accesibilidad a las herramientas de MCDA basados en SIG en la fase de evaluación. El enfoque y SIG software desarrollado en esta tesis ayuda a abordar esta falencia, proporcionando herramientas de exploración, integrada con herramientas de evaluación.

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas de México

En la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional de México, se realizó la Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000) la cual se presentó como una tesis de maestría en el año 2003 (Guerra, Ochoa, 2003) en dicho trabajo se estudió la Reserva de la Biosfera Pantanos en Centla, Tabasco esto durante 1990 y 2000, identificando la variación espacial de los tipos de vegetación y usos del suelo. A partir de este estudio fueron generadas bases de datos geográficas de los siguientes parámetros: geología, hidrología, edafología, temperaturas mínimas, temperaturas máximas, precipitación, vías de comunicación y localidades los cuales se almacenaron en un sistema de información geográfica (SIG). Posteriormente se clasificaron escenas de dos satélites generando mapas de vegetación y uso

del suelo para 1990 y 2000, los resultados del estudio de dichos mapas fueron las tasas de cambio por pérdida anual de 6.06% en selva de pucté y 34.96% en selva de tinto; y la tasa de incremento anual fue de 1.15% de manglar, 0.72% de comunidades de hidrófilas y 27.82% de pastizal. Dicha información es crucial para determinar y relacionar los factores que afectaron la vegetación y el uso de los suelos del área de estudio entre los años 1990 a 2000.

Universidad nacional Sede Medellín

Estudiantes de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín desarrollaron en el año 2006 la aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) en la silvicultura urbana para el barrio La Magnolia del municipio de Envigado, Antioquia (Ocaya, Sánchez, 2009). Dicho barrio tiene una extensión de 149.514 m² y 26 manzanas, con una vocación del uso del suelo mayormente residencial. Para dicho estudio realizaron un inventario de las especies vegetales presentes en barrio, un diagnóstico a partir de este inventario y una propuesta de manejo del Bosque Urbano. Así, fue diseñada una base de datos en el software Microsoft Access® para el manejo análisis de los registros recolectados en campo. Se ubicaron las especies inventariadas en mapas digitales y se analizaron la condición de las mismas como son: características, tratamientos silviculturales requeridos y conflictos con el entorno, por medio de algunas herramientas y extensiones de la arquitectura tecnológica como ArcGIS 8.3. Encontrando que el bosque urbano está conformado por 48 familias, 113 géneros, 147 especies y 1.163 individuos, Se determinó que el bosque estudiado en su mayoría es un bosque adulto, con copas grandes, especialmente la de los árboles. Se calculó el área de cobertura de las copas, obteniéndose un valor de 22.335 m², lo que

corresponde al 14,94% del área total del barrio, Se determinó que la valoración económica del Bosque Urbano estudiado es de 865'356.567 pesos. La alta densidad de siembra en algunos casos impide el normal desarrollo de los individuos, La necesidad de manejo que predomina en el Bosque Urbano estudiado es la poda de formación, seguida del control de insectos.

Universidad de Córdoba. Montería, Colombia

Un grupo de investigadores de la facultad de ciencias básicas de la Universidad de Córdoba estudiaron la variación espacio-temporal de plantas vasculares acuáticas en el complejo cenagoso del bajo Sinú, Córdoba, Colombia (Pérez, Arias, Quiroz, 2015), para los periodos hidrológicos ocurridos durante el año 2011 donde el área de estudio se dividió en cuatro sectores y mediante el método de intercepción en línea, determinando la abundancia y frecuencia de las hidrófilas. Se registraron 39659 individuos distribuidos en 24 familias, 30 géneros y 35 especies. Encontrando que la mayor abundancia de especies se presentó en el municipio de Momil con 18582 individuos, siendo la familia Lemnaceae la más representativa. El análisis de varianza indicó que no existen diferencias estadísticas significativas en la abundancia de la especies de plantas acuáticas de los meses de muestreo, más sin embargo, se evidenció la incidencia del período hidrológico sobre la dinámica de crecimiento de las plantas, también se evidencio que algunas especies desaparecen en época seca, otras especies sobreviven un periodo corto de tiempo, mientras que otras como Lemna minor L y Salvinia auriculata Aubl aumentan significativamente en época de lluvia.

4.2. Sistema de información geográfica (geographic information system - GIS)

Este es un sistema informático que permite la captura, almacenamiento, control y la visualización de información relacionada con la superficie de la tierra (National Geographic Encyclopedia)

Dado que la superficie terrestre es donde se desarrollan las actividades humanas y en general la de los seres vivos, mediante esta herramienta se pueden obtener un sin número de mapas según las distintas necesidades del ser humano, que permiten tomar decisiones con mayor facilidad sobre acciones que ocurren en cualquier superficie del planeta. En la figura 4-1 se muestra una interpretación de la forma de trabajar de este sistema.

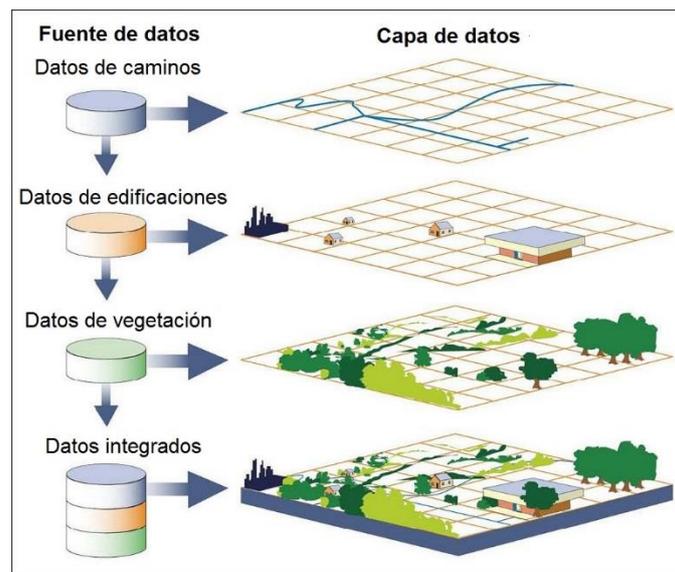


Figura 4 - 1. Mapa de datos de un GIS.

Tomado de <http://education.nationalgeographic.com/encyclopedia/geographic-information-system-gis/>

En esta se observa que el GIS puede presentar diferentes datos en un mapa (lo que llamamos capa de datos), tales como calles o caminos, edificaciones y vegetación, luego de estos podemos analizar cómo se relacionan todas estas variables entre sí al integrarlas en un solo mapa.

La información contenida en el GIS puede incluir datos sobre las personas, tales como la población, la renta, o el nivel de educación. Se puede incluir información acerca de la tierra, tales como diferentes tipos de vegetación, tipos de suelo, ríos, colinas, etc. Puede incluir información sobre los sitios de las fábricas, granjas y escuelas, carreteras y líneas de energía eléctrica.

En Colombia el Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial Nacional (SIG-OT), constituye una organización de entidades, acuerdos y recursos tecnológicos que facilita el acceso y uso de información georreferenciada, cuyo propósito central es contribuir a una eficiente y oportuna toma de decisiones, apoyando a los actores en el sistema de planeación a nivel nacional, regional y local, con información político-administrativa, socio-económica y ambiental georreferenciada, que soporte la gestión del desarrollo.

Los principales objetivos del SIG-OT son:

- Facilitar a Alcaldes, Gobernadores y responsables de la planificación, nacional y sectorial, la elaboración de diagnósticos y el seguimiento, evaluación y control de sus respectivos planes de desarrollo.
- Contribuir en la definición de estrategias para el ordenamiento de sus territorios y a la focalización de metas en los planes de ordenamiento territorial.
- Generar cultura en el uso de la información geográfica como base para la toma de decisiones.

4.3. Líneas de transmisión de energía eléctrica

La energía eléctrica cuando se genera, la cual puede ser en una hidroeléctrica o una termoeléctrica, necesita ser transportada en grandes bloques por medio de las líneas de transmisión, que permite llevar la energía a los consumidores finales (Líneas de transmisión de la energía eléctrica).

La clasificación se determina según la tensión que manejan, por ejemplo por encima de 230KV son de extra alta tensión, voltajes mayores a 110 KV se denominan de transmisión, valores entre 110 KV y 33KV se denominan de subtransmisión, y menor a 33KV de distribución.

Para soportar las líneas se utilizan las torres de soporte, que pueden ser de acero, de madera, hormigón, aluminio o plástico reforzado. En el caso de los conductores estos pueden ser de acero, aluminio o cobre.

En la figura 4-2 se muestra un esquema de los principales componentes de la producción y distribución de la energía eléctrica (Campos electromagnéticos, 2011).

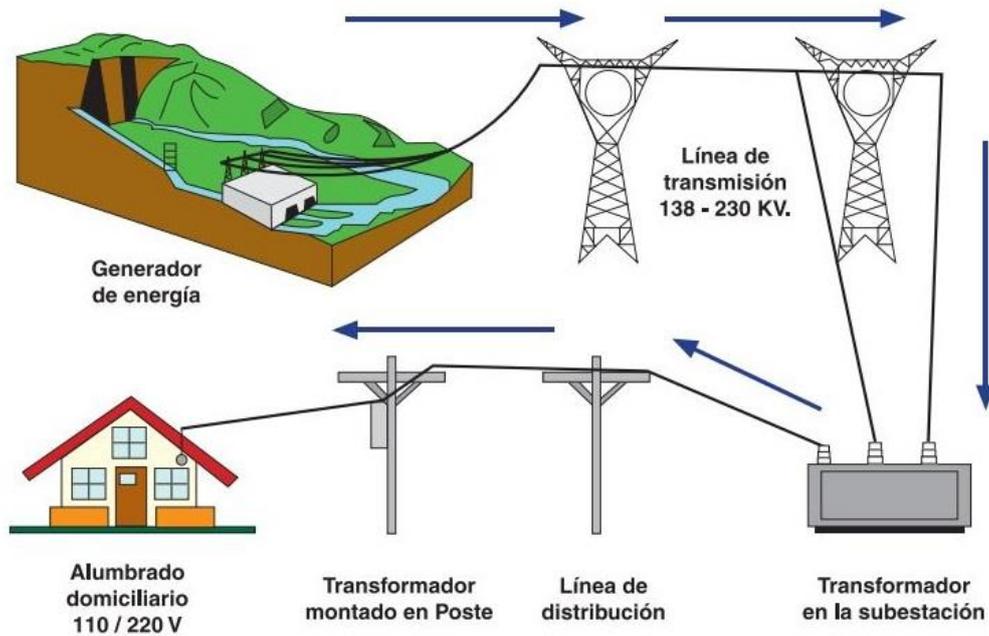


Figura 4 - 2. Esquema de producción y distribución de energía eléctrica.

Tomado de <http://education.nationalgeographic.com/encyclopedia/geographic-information-system-gis>

4.3.1. Torres.

En la red de líneas aéreas de media tensión se emplean torres de hormigón y reticulado de acero. En la figura 4-3 vemos los esquemas más comunes de estas torres. La elección del tipo de torre se hace sobre la base de criterios económicos, propios del terreno y con base a la distancia entre dos torres.

En la etapa de planeación del proyecto se realizan estudios técnico-económicos, que tienen en cuenta los factores técnicos, climáticos y de precios, determinando así lo que se denomina la distancia entre torres que hace mínimo el costo por kilómetro. Las estructuras de soporte, torres o postes, estos pueden ser de suspensión o de retención. Las primeras se instalan en los tramos rectos de las líneas, mientras que las segunda son para los lugares en que, además,

la línea debe soportar esfuerzos laterales, producto del cambio de dirección (Resumen de líneas de transmisión eléctrica, 2010)

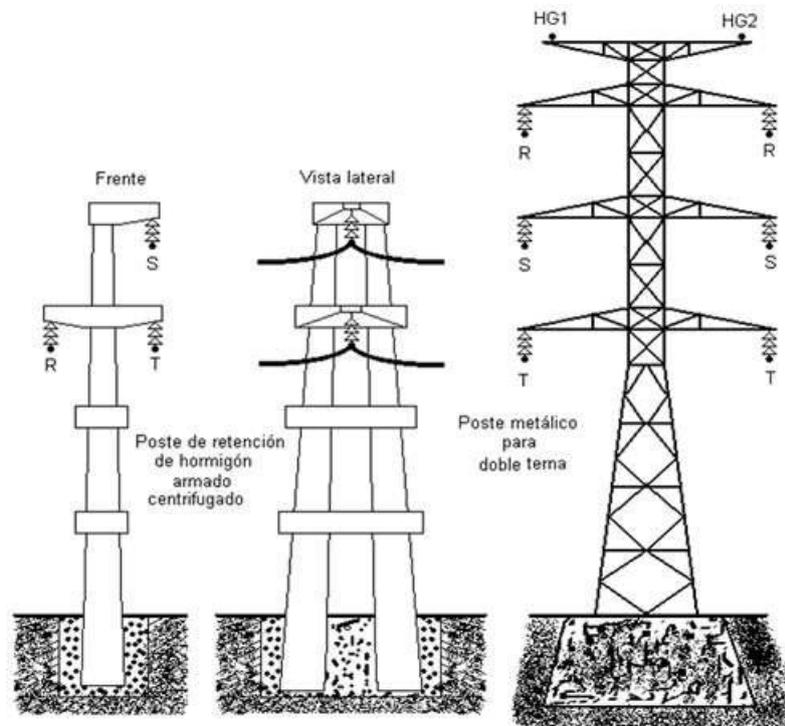


Figura 4 - 3. Esquemas de torres comunes.

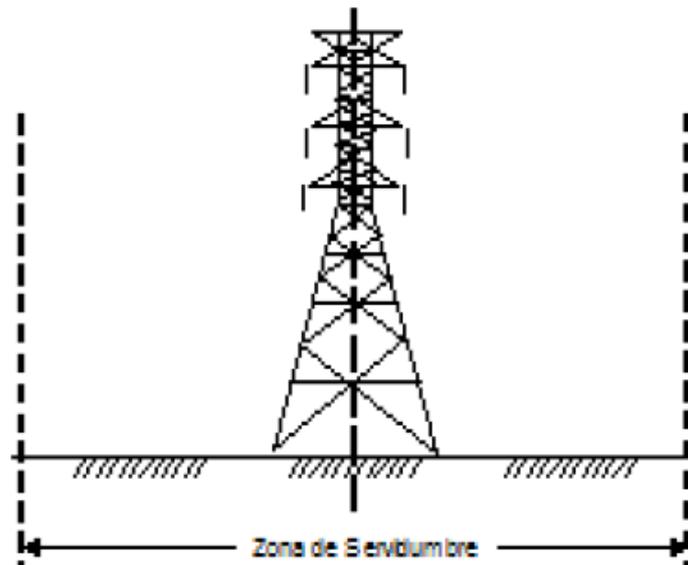
4.3.2. Zona de servidumbre de una línea de transmisión eléctrica.

Toda línea de transmisión aérea con tensión nominal igual o mayor a 57,5 kV, debe tener una zona de seguridad o derecho de vía. Esta zona debe estar definida antes de la construcción de la línea, para lo cual se deben adelantar las gestiones para la constitución de la servidumbre, ya sea por mutuo acuerdo con los propietarios del terreno o por vía judicial. El propietario u operador de la línea debe hacer uso periódico de la servidumbre ya sea con el mantenimiento de la línea o poda de la vegetación y debe dejar evidencia de ello. En los casos que la servidumbre se vea amenazada, en particular con la construcción de edificaciones, debe solicitar el amparo policivo y demás figuras que tratan las leyes (RETIE, 2013).

Tabla 4 - 1. Ancho de zona de servidumbre de las líneas de transmisión.

TIPO DE ESTRUCTURA	TENSIÓN (kV)	ANCHO MÍNIMO (m)
Torres/postes	500 (2 Ctos.)	65
	500 (1 Cto.)	60
Torres/postes	400 (2 Ctos.)	55
	400 (1 Cto.)	50
Torres	220/230 (2 Ctos.)	32
	220/230 (1 Cto.)	30
Postes	220/230 (2 Ctos.)	30
	220/230 (1 Cto.)	28
Torres	110/115 (2 Ctos.)	20
	110/115 (1 Cto.)	20
Postes	110/115 (2 Ctos.)	15
	110/115 (1 Cto.)	15
Torres/postes	57,5/66 (1 o 2 Ctos.)	15

Tomado del Reglamento Técnico para Instalaciones Eléctricas (RETIE, 2013)

**Figura 4 - 4.** Ancho zona de servidumbre

Tomado del Reglamento Técnico para Instalaciones Eléctricas (RETIE, 2013)

4.4. Poda de arboles

La poda se identifica como la supresión de aquellas ramas de los árboles que estorban o puedan perjudicar la continuidad del servicio eléctrico por no respetar las distancias mínimas de seguridad (Corta de arbolado y poda para mantenimiento de servidumbre en líneas aéreas de AT y BT).

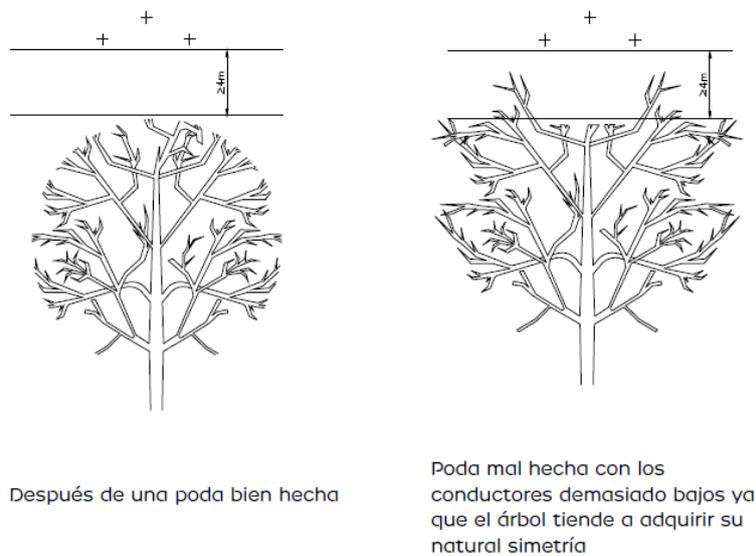


Figura 4 - 5. Distancias mínimas de seguridad a líneas energizadas.

Tomado de <http://www.edpenergia.es/recursosdep/doc/distribucion-luz/20130813/mantenimiento/corta-de-arbolado-poda-y-condiciones-de-servidumbre-en-lineas-aereas-at-y-bt.pdf>

Indudablemente no existe la necesidad de podar los árboles en condiciones normales, pero en zonas específicas como por ejemplo áreas urbanas o en este caso las zonas de servidumbre de las líneas eléctricas, esta labor es más que necesaria. Por esto la poda de formación de árboles jóvenes es una práctica de arboricultura de gran importancia. Ya que la poda de formación nos da más beneficios que cualquier otra práctica cultural ya que influye en la estructura futura, en la apariencia y en los costes de mantenimiento de los árboles ornamentales.

4.5. Evaluación multicriterio

El objetivo general de la evaluación multicriterio es ayudar al decisor a escoger la mejor opción entre un rango de alternativas en un entorno de criterios en competencia y conflicto (Greene, 2010).

Por lo regular esta técnica tiene varias etapas, la primera es del diseño de una matriz con los criterios y las alternativas definidos; la siguiente etapa consiste en la agregación de las distintas puntuaciones de los criterios, con el uso de algún procedimiento de agregación específico, tomando en cuenta la preferencia de los decisores expresada en término de pesos que se asignan a los diferentes criterios; ese procedimiento o técnica permite al decisor comparar entre las diferentes alternativas con base a los pesos asignados (Ramírez, 2007).

4.6. Modelo espacio-temporal

El objeto del diseño de un modelo espacio temporal es planear simultáneamente en tiempo y espacio el comportamiento de cierta actividad o proceso. En esta investigación se desarrolló un modelo espacial que permite programar los mantenimientos para poda vegetal debajo de una línea de transmisión eléctrica, a partir de la aptitud del terreno que determina el crecimiento vegetal de una especie específica. Lo anterior enmarcado en la necesidad de ahorrar en tiempo y costos de mantenimiento, por parte de la empresa transmisora de energía eléctrica, lo cual repercute positivamente en la disminución de talas indiscriminadas.

5. METODOLOGÍA

5.1. Selección de especies

En este apartado se describe todo lo relacionado con la selección de la especie que presenta más alto riesgo en la interrupción del servicio de la línea de transmisión eléctrica en el área de estudio, teniendo en cuenta también su importancia dentro del ecosistema.

5.1.1. Inventario de las especies.

Para el desarrollo del proyecto de instalación de la línea de energía eléctrica a 110kV, a que hace referencia este estudio, se realizó una caracterización ecológica, donde se hizo un inventario forestal con base al decreto 1791 de 1996. Los datos tomados en este fueron: Nombre común de la especie, nombre científico, DAP (diámetro a la altura del pecho), altura total del árbol, área basal, volúmenes (comercial y total)

Las formulas aplicadas para estos casos fueron:

$$AB : 0.079 * (DAP)^2 \qquad \text{Ec. 5-1}$$

$$VOL COM : 0.7854 * AB * HCom * FF \qquad \text{Ec. 5- 2}$$

Donde AB es el área basal; DAP es el diámetro a la altura del pecho (tomado a los 1.30m del suelo); VolCom es el volumen comercial dado en metros cúbicos; HCom es la altura comercial que se toma desde la base hasta la primera ramificación de cada árbol y FF es el factor de forma que corrige la conicidad de los tallos (=0.7).

5.1.2. Determinación de la estructura forestal del área de estudio.

En las ciencias forestales se habla del término estructura, que la definen como la organización en el espacio de los individuos que conforman un rodal, donde los elementos primarios de esta estructura son la forma de crecimiento, la estratificación y la cobertura. La importancia de este concepto radica en que el aprovechamiento racional de un bosque puede realizarse con base al conocimiento de la organización social y geométrica del conjunto de sus poblaciones. Dado que define el grado de uniformidad del bosque y ayuda a establecer la intensidad de los cortes en el futuro (Acosta, Araujo, Iturre, 2006). Dentro de los tipos de estructura más utilizados se encuentra la estructura horizontal, en el cual se cuantifica la participación de cada especie con relación a las demás y muestra cómo se distribuyen espacialmente. Esta estructura puede evaluarse a través de las abundancias, frecuencias y dominancias, cuya suma relativa genera el Índice de Valor de Importancia (IVI).

Abundancia.

Se refiere al número de individuos por hectárea y por especie en relación con el número total de individuos. De este existe la abundancia absoluta (número de individuos por especie) y la abundancia relativa (proporción de los individuos de cada especie en el total de los individuos del ecosistema).

Matemáticamente estas relaciones se puede expresar como:

- Abundancia absoluta = Número de individuos por especie con respecto al número total de individuos encontrados en el área de estudio (n_i).

- Abundancia relativa = $(n_i/N) \times 100$

Ec.5- 3

Donde n_i = es el número de individuos de la i ésima especie y N el número de individuos totales de la muestra.

Frecuencia.

Permite determinar el número de parcelas en que aparece una determinada especie en relación al total de parcelas. De este existe la frecuencia absoluta que se expresa en porcentaje y que el 100% significa la existencia en todas las parcelas; la frecuencia relativa se determina como el porcentaje de una especie en la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies.

- Frecuencia absoluta (FrA) = $(F_i/F_t) \times 100$

Ec. 5-4

- Frecuencia relativa = $(FrA_i / FrA_t) \times 100$

Ec. 5-5

Donde F_i es la frecuencia absoluta de la i ésima especie y F_t ese el total de las frecuencias en el muestreo.

Dominancia.

Esta relaciona con el grado de cobertura de las especies como manifestación del espacio ocupado por ellas y se determina como la suma de las proyecciones horizontales de las copas de los árboles en el suelo. Debido a que las proyecciones de las copas de los árboles resulta difícil de hallar se utiliza las áreas basales, debido a que existe una correlación lineal alta entre el diámetro de la copa y el fuste. la dominancia absoluta es la sumatoria de las áreas basales de los individuos de una especie sobre el área especificada y expresada en metros cuadrados y la dominancia relativa es la relación expresada en porcentaje entre la dominancia absoluta de una especie cualquiera y el total de las dominancias absolutas de las especies consideradas en el área inventariada.

- Dominancia absoluta = G_i/G_t Ec. 5-6

Donde G_i es el área basal en m^2 para la i ésima especie y G_t es el área basal en m^2 de todas las especies.

- Dominancia relativa (D%) = $(D_aS / D_aT) \times 100$ Ec. 5-7

Donde D_aS es la dominancia absoluta de una especie y D_aT es la dominancia absoluta de todas las especies (Alvis, 2009).

5.1.2. Selección de especie por medio del Índice de Valor de Importancia (IVI).

Los índices descritos anteriormente, muestran aspectos individuales más no grupales. Para esto se combinan estos tres índices dando como resultado el Índice de Valor de Importancia que está determinado por la expresión:

- $IVI = \text{Abundancia relativa} + \text{Dominancia relativa} + \text{Frecuencia relativa}$. Ec. 5-8

Con el cálculo del IVI para todas las especies anotadas en el inventario forestal, se escoge la que tenga mayor valor, la cual será la que presenta más alto riesgo según los objetivos del presente trabajo (Acosta, Araujo, Iturre, 2006).

5.2. Determinación de la aptitud

Con el objetivo de establecer cuál es la zona óptima para el crecimiento de la especie seleccionada anteriormente, se hizo un análisis de acuerdo a las variables climáticas y, la geología del lugar, esta última relacionada con la susceptibilidad de remoción de masa (RM) y cobertura de tierra (CT) del área de estudio.

Estas variables fueron trabajadas en ArcMAP con el software especializado ArcGIS 10.2.2. Cada una de ellas fueron descargadas de la página del SIG-OT en un archivo tipo "Shape File" (SHP), de esta manera se obtuvo la información de todas las variables, revisando la información de sus atributos en el SIG, ya que este permite la creación de modelos, y visualización de la información geográficas en formato de puntos, líneas, o polígonos. Estos archivos tipo Shape (*.shp) contienen la información espacial y los datos alfanuméricos

relacionados a ella, permitiendo el manejo de la información a un nivel personalizado con el uso del programa.

5.2.1. Área de estudio.

El territorio de estudio comprende la zona de servidumbre de una línea de transmisión eléctrica, con unas medidas de 13.2 Km de longitud y 15m de ancho. Esta área se encuentra en su mayoría ubicada geográficamente en el Municipio de Montelibano, el cual se encuentra en el extremo sureste del departamento de Córdoba (Colombia) con una latitud Norte de 7° 59' y de longitud Oeste 75° 26'.

La línea de transmisión a 110 kV inicia su recorrido en la Subestación GECELCA 3 de propiedad de GECELCA S.A E.S.P y termina en la subestación Cerromatoso, propiedad de TRANSELCA S,A E,S,P como se describe en la licencia ambiental resolución 15789del 22 de Nov de 2011.

5.2.2. Análisis climatológico del área de estudio.

Zonificación climática (ZC)

Con el objetivo de establecer cuál es la zona óptima para el crecimiento de la especie vegetal seleccionada anteriormente, se hizo un análisis según el clima del área de estudio.

Las variables climáticas fueron trabajadas en el Sistema de Información Geográfica ArcMAP.

Para efectos de zonificación climática se tuvieron en cuenta cinco variables que fueron: Clima, temperatura, precipitación, piso térmico y subclima.

La combinación de estos factores nos da un índice de clima para el desarrollo de la especie seleccionada.

5.2.3. Análisis geológico del área de estudio.

Uno de los principales influyentes en el desarrollo de una especie vegetal es el suelo, y disposición agrícola del mismo, pues es sobre este donde crece y absorbe los nutrientes que necesita. De acuerdo a lo anterior este componente es incluido en el análisis de aptitud para la especie seleccionada. De aquí consideramos dos parámetros que son

- **Susceptibilidad a la remoción en masa (RM)**

La susceptibilidad es la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de sufrir un proceso geológico determinado, en este caso expresa la posibilidad de que un fenómeno de remoción en masa ocurra en un área (Pedraza, Dominique, 2009).

Para esta investigación se identificaron 6 diferentes susceptibilidades con una designación de alta, baja, moderada, muy alta, muy baja o no susceptible.

- **Cobertura de tierra (CT)**

Es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra, no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (IDEAM) Del estudio se obtuvieron 9 usos o coberturas de la tierra.

5.2.4. Obtención de la aptitud.

Con los resultados de los análisis anteriores realizados se procedió a hacer una suma ponderada, dándole diferentes pesos a cada uno de estos tres parámetros para determinar una aptitud, posteriormente se realizó un mapa de la zona de estudio donde la aptitud estaba definida como no apta, moderadamente apta y apta. Cabe señalar que el software calcula cada área según la aptitud mediante pixeles, los cuales dada una escala presentan un área en la realidad, por tanto al conteo del número de pixeles para una categoría, solo bastaría con multiplicarlos por el área real del pixel para obtener el área total para cada nivel de aptitud.

5.3. MODELO DE CRECIMIENTO VEGETAL

Conocidos los valores de aptitud para la zona de estudio, y sabiendo las tasas máximas y mínimas de crecimiento de la especie seleccionada, se pasó a realizar un estimativo de

crecimiento en los meses del año. El factor que determina las mejores tasas de crecimiento y peores son las épocas húmedas y secas respectivamente.

5.4. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO POR PODA

Con los datos de la altura del cableado de la línea de transmisión y la de los árboles, se establece cual es la separación entre ellos. En las normas se exige una distancia mínima para la parte superior del árbol y el cableado. Con el modelo de crecimiento vegetal se calcula cuánto tarda el árbol en llegar a la separación mínima, este mismo tiempo con una tolerancia, corresponde al tiempo al cual se deben realizar las podas.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. SELECCIÓN DE LA ESPECIE

El censo de especies arrojó un total de 271 individuos en estado fustal (diámetro igual o mayor a 10cm a la altura del pecho (DAP)). La tabla 6-1 relaciona las abundancias, frecuencias, dominancias e “IVI” de todas las especies del inventario. Podemos observar que el Área Basal (AB) de la Ceiba fue de 36.24 m² y el volumen comercial de 147.29 m³.

Tabla 6 - 1. Índice de Valor de Importancia.

N	Nombre vulgar	Nombre científico	Familia	AB	Vol	N Arboles	Abundancia		Frecuencia		Dominancia		IVI
							Aa	Ar	Fa	Fr	Da	Dr	
1	Acacia	Robina Pseudacacia	Mimosaceae	0,14	0,74	3	3	1,11	6,78	2,50	0,14	0,39	3,99
2	Aceituno	Vitex cymosa	Verbenaceae	2,84	9,66	12	12	4,43	6,78	2,50	2,84	7,84	14,76
3	Algarrobo	Ceratonia Siliqua L.	Cesalpiniaceae	0,22	1,09	2	2	0,74	6,78	2,50	0,22	0,61	3,85
4	Balso	Ochroma pyramidale	Bombacaceae	0,07	0,31	1	1	0,37	6,78	2,50	0,07	0,19	3,06
5	Barbasco	Jacquinia arborea	Teofrastaceae	0,04	0,16	1	1	0,37	6,78	2,50	0,04	0,11	2,98
6	Caimito	Chrysophyllum caimito	Sapotaceae	0,36	1,25	1	1	0,37	6,78	2,50	0,36	0,99	3,86
7	Campano	Samanea saman	Mimosaceae	2,25	16,79	3	3	1,11	6,78	2,50	2,25	6,21	9,82
8	Canelo	Cinnamomum zeylanicum	Lauraceae	0,14	0,67	1	1	0,37	6,78	2,50	0,14	0,39	3,26
9	Caña fistolo	Cassia fistula	Caesalpiniaceae	4,43	11,84	15	15	5,54	6,78	2,50	4,43	12,22	20,26
10	Caracoli	Anarcadium excelsum	Anarcadiaceae	0,24	1,17	1	1	0,37	6,78	2,50	0,24	0,66	3,53
11	Cedro	Cedrela odorata	Meliaceae	1,73	9,67	22	22	8,12	6,78	2,50	1,73	4,77	15,39
12	Ceiba	Ceiba pentandra	Bombacaceae	8,51	37,17	27	27	9,96	6,78	2,50	8,51	23,48	35,95
13	Cenicero	Samanos saman	Anarcadiaceae	0,33	0,95	5	5	1,85	6,78	2,50	0,33	0,91	5,26
14	Chingale	Jacaranda copala	Bignoniaceae	0,14	0,77	2	2	0,74	6,78	2,50	0,14	0,39	3,62
15	Cope	Clusia major	Clusiaceae	0,05	0,21	1	1	0,37	6,78	2,50	0,05	0,14	3,01
16	Guacimo	Guazuma ulmifolia	Sterculiaceae	1,34	3,15	20	20	7,38	6,78	2,50	1,34	3,70	13,58
17	Gualanday	Jacaranda caucana	Bignoniaceae	0,43	1,69	2	2	0,74	6,78	2,50	0,43	1,19	4,42
18	Guamo	Ceratonia Siliqua	Fabaceae	2,30	6,94	48	48	17,71	6,78	2,50	2,30	6,35	26,56
19	Guayabilo	Terminalia Chiriquensis	Combretaceae	0,12	0,62	2	2	0,74	6,78	2,50	0,12	0,33	3,57
20	Guayaba mana			0,03	0,13	1	1	0,37	6,78	2,50	0,03	0,08	2,95
21	Higo	Ficus carica	Moraceae	0,62	1,13	6	6	2,21	6,78	2,50	0,62	1,71	6,42
22	Higueron	Ficus palmirana	Moraceae	1,38	5,89	5	5	1,85	6,78	2,50	1,38	3,81	8,15
23	Igua	Pithecellobium guachapele	Mimosaceae	0,74	1,42	2	2	0,74	6,78	2,50	0,74	2,04	5,28
24	Jobo	Spondias mombin	Anarcadeaceae	1,91	9,3	11	11	4,06	6,78	2,50	1,91	5,27	11,83
25	Lacre	Viamia guianencia	Hyperocaceae	0,01	0,02	1	1	0,37	6,78	2,50	0,01	0,03	2,90
26	Lomo caiman			1,53	10,01	2	2	0,74	6,78	2,50	1,53	4,22	7,46
27	Majagua	Hibiscus elatus	Malvaceae	0,02	0,08	1	1	0,37	6,78	2,50	0,02	0,06	2,92
28	Mango	Mangifera indica	Anarcadiaceae	0,38	0,85	4	4	1,48	6,78	2,50	0,38	1,05	5,02
29	Matarraton	Glinicida sepium	Fabaceae	0,21	0,42	4	4	1,48	6,78	2,50	0,21	0,58	4,56
30	Molinillo	Taluma hernandez	Magnodiaceae	0,11	0,45	5	5	1,85	6,78	2,50	0,11	0,30	4,65
31	Mora	Rubus sp	Rosaceae	0,45	1,21	9	9	3,32	6,78	2,50	0,45	1,24	7,06
32	Nacadero	Trichanthera gigantes	Acantaceidae	0,20	0,36	4	4	1,48	6,78	2,50	0,20	0,55	4,53
33	Palo blanco	Alchornea triplinervia	Euphorbiaceae	0,02	0,02	1	1	0,37	6,78	2,50	0,02	0,06	2,92
34	Peine de mono	Apeiba espesa	Tiliaceae	0,12	0,19	4	4	1,48	6,78	2,50	0,12	0,33	4,31
35	Polvillo	Tabebuia serratibilia	Bignoniaceae	1,63	5,98	16	16	5,90	6,78	2,50	1,63	4,50	12,90
36	Roble	Tabebuia heteraphylla	Bignoniaceae	0,46	2,15	10	10	3,69	6,78	2,50	0,46	1,27	7,46
37	Sauco	Sambucus nigra	Adoxaceae	0,02	0,07	1	1	0,37	6,78	2,50	0,02	0,06	2,92
38	Tamarindo	Tamarindus indica	Cesalpiniaceae	0,19	0,35	5	5	1,85	6,78	2,50	0,19	0,52	4,87
39	Totumo	Crescentia cujete	Bignoniaceae	0,30	0,98	2	2	0,74	6,78	2,50	0,30	0,83	4,07
40	Yarumo	Cecropia sp	Moraceae	0,23	1,43	8	8	2,95	6,78	2,50	0,23	0,63	6,09
				36,24	147,29	271	271	100	271	100	36,24	100	300,00

6.1.1. Análisis de la estructura horizontal.

De acuerdo con los resultados de la tabla 6-1 se pudo construir un diagrama de barras (véase figura 6-1) donde se muestra que la especie más abundante es el Guamo, seguido de la Ceiba y el cedro.

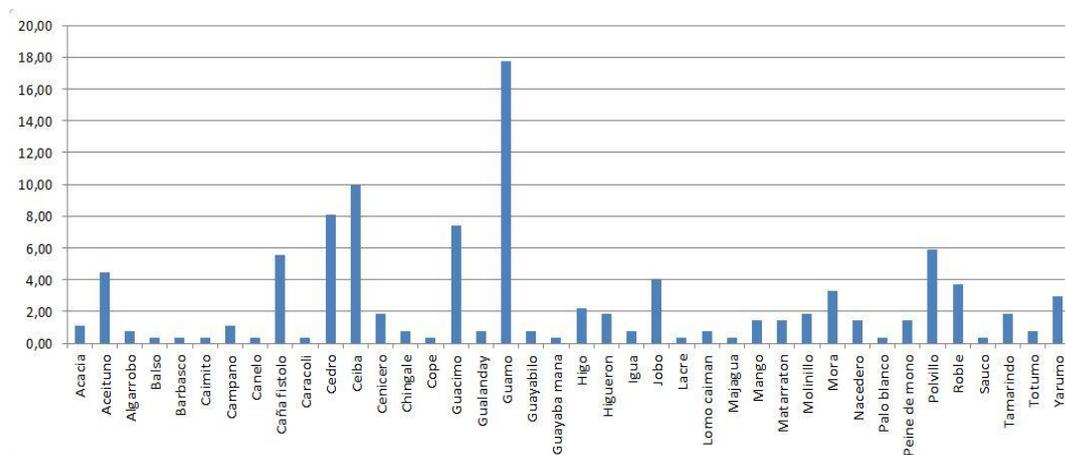


Figura 6 - 1. Abundancia relativa de las especies

En este estudio la especie más dominante fue la ceiba con un 23.48% seguido de la caña fistola con un 12.22% (Figura 6-2).

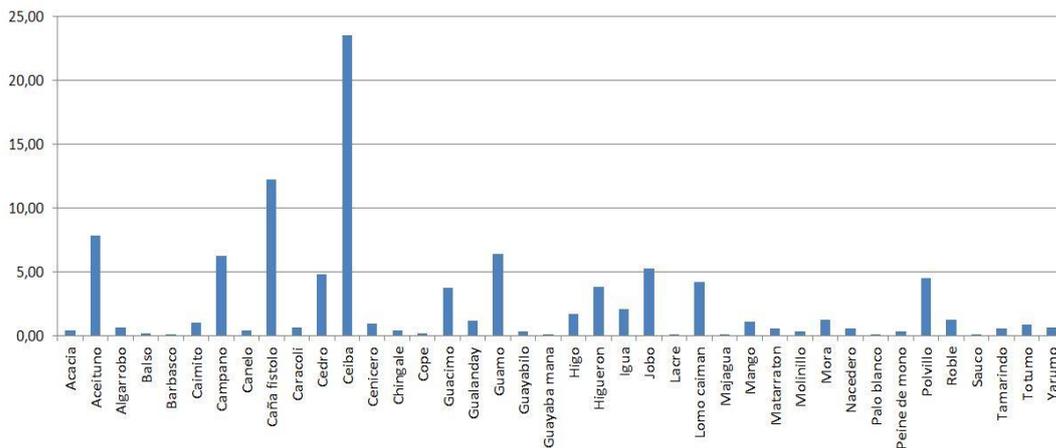


Figura 6 - 2. Dominancia relativa de las especies

De la figura 6-3, donde se muestra el comportamiento frente al IVI, podemos observar que las especies con más importancia dentro de este ecosistema o con mayor peso ecológico son la Ceiba con 35.95 y el Guamo con 26.56.

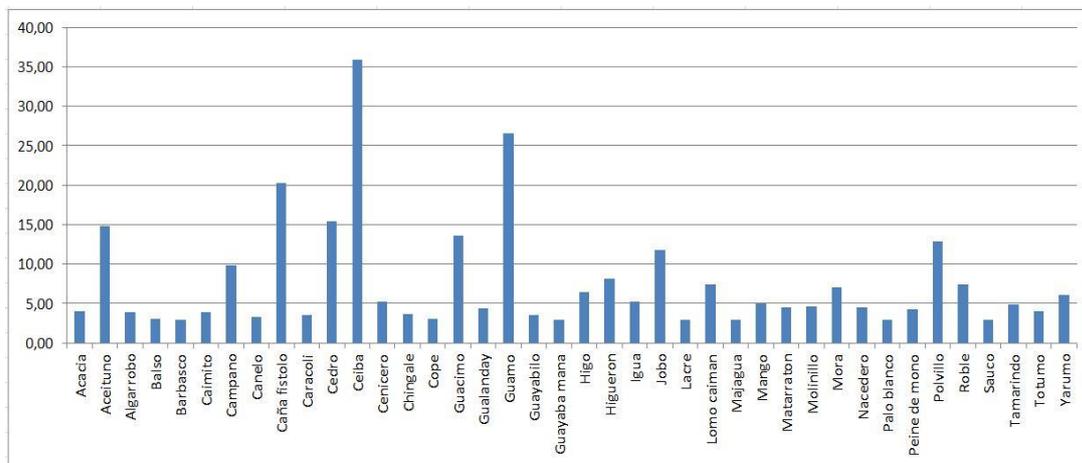


Figura 6 - 3. Índice de Valor de Importancia

En el caso de la Ceiba se conoce que es de crecimiento rápido y puede llegar a tener hasta 40m de altura y 2m de diámetro (Ramírez, Álvarez, 1999) pudiendo alcanzar hasta 5 o 6 metros de altura en los primeros dos años, y de allí en adelante un promedio de 1 metro por año de vida para vivir de 50 a 60 años; presenta además una copa redondeada o plana que puede alcanzar los 40m de diámetro.

Para el guamo, este es un árbol que puede llegar hasta los 10m de altura, de crecimiento lento. Originario de la región mediterránea, su clima es el calor y la sequía; siendo pésimo para los climas fríos (Murcia Natural). También se dice que es bastante tolerante con todo tipo de suelos (Sánchez, 2001).

De las descripciones dadas anteriormente de los dos árboles con mayor IVI, la ceiba tiene una tasa de crecimiento mucho mayor que el guamo siendo este entonces más crítico para el caso de considerar el riesgo por crecimiento vertiginoso; convirtiéndose así la Ceiba nuestro material de estudio para conseguir los objetivos de este proyecto.

6.2. DETERMINACIÓN DE LA APTITUD

Inicialmente se desarrolló el mapa de aptitud del área de estudio, la cual corresponde a la zona de servidumbres trazando la línea que intercomunica las 33 torres y dándole un espacio de 15m de cada lado. Planteando las variables del modelo para determinar la distribución de aptitud propia de la zona, estas variables son:

- Zonificación climática: constituida por precipitación, clima, subclima, temperatura, piso térmico.
- Cobertura de la tierra
- Susceptibilidad por remoción en masa,

Cada una de ellas fueron descargadas de la página web del sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial (SIGOT) en formato tipo “ShapeFile” (SHP), posteriormente se realizó el corte para el área de estudio correspondiente a los municipios de Monterlibano, Puerto Ilbertador y San Jose de Ure del Departamento de Crodoba. Una vez se dispuso de la información focalizada, se convirtieron las variables de estudio en formato Shapefile a Raster, para asignar una reclasificación con los valores de aptitud, y posteriormente realizar la suma ponderada por medio de la herramienta Weighted Overalay. La aptitud para este modelo estuvo enmarcada en los siguientes niveles:

- No apto (1).
- Moderadamente apto (2)
- Apto (3)

6.2.1. Zonificación climática (ZC)

Según los parámetros de zonificación climática se obtuvo la tabla 6-2, que muestra los índices del clima (ID Clima) para las posibles combinaciones en la zona de estudio. Vemos que estaba denominado del 3 hasta el 14, siendo apto y no apto respectivamente.

Tabla 6 - 2. Categorías de zonificación climática

IDCLIMA	Clima	Año	Subclima	Temperatura	Precipitación	Piso térmico	Clima Subc.
3	Cálido	2008	Seco	> 24°C	1.001 - 2.000 mm/año	0 - 800 msnm	Cálido Seco
4	Cálido	2008	Húmedo	> 24°C	2.001 - 3.000 mm/año	0 - 800 msnm	Cálido Húmedo
5	Cálido	2008	Muy Húmedo	> 24°C	3.001 - 7.000 mm/año	0 - 800 msnm	Cálido Muy Húmedo
8	Templado	2008	Seco	Entre 18°C y 24°C	1.001 - 2.000 mm/año	800 - 1.800 msnm	Templado Seco
9	Templado	2008	Húmedo	Entre 18°C y 24°C	2.001 - 3.000 mm/año	800 - 1.800 msnm	Templado Húmedo
10	Templado	2008	Muy Húmedo	Entre 18°C y 24°C	3.001 - 7.000 mm/año	800 - 1.800 msnm	Templado Muy Húmedo
13	Frío	2008	Seco	Entre 12°C y 18°C	1.001 - 2.000 mm/año	1.800 - 2.800 msnm	Frío Seco
14	Frío	2008	Húmedo	Entre 12°C y 18°C	2.001 - 3.000 mm/año	1.800 - 2.800 msnm	Frío Húmedo

Como se había dicho en la metodología estos los llevamos a los tres niveles de aptitud (apto, no apto y medianamente apto). Esto se muestra en la tabla 6-3 donde se muestra la reclasificación de la zonificación climática.

Tabla 6 - 3. Reclasificación zonificación climática

IDClima	Reclasificación	Aptitud
3	3	Apto
4	3	Apto
5	1	No apto
8	2	Moderadamente apto
9	2	Moderadamente apto
10	1	No apto
13	1	No apto
14	1	No apto

Con esta reclasificación se elaboró el mapa de aptitud de la variable zonificación climática (figura 6-4).

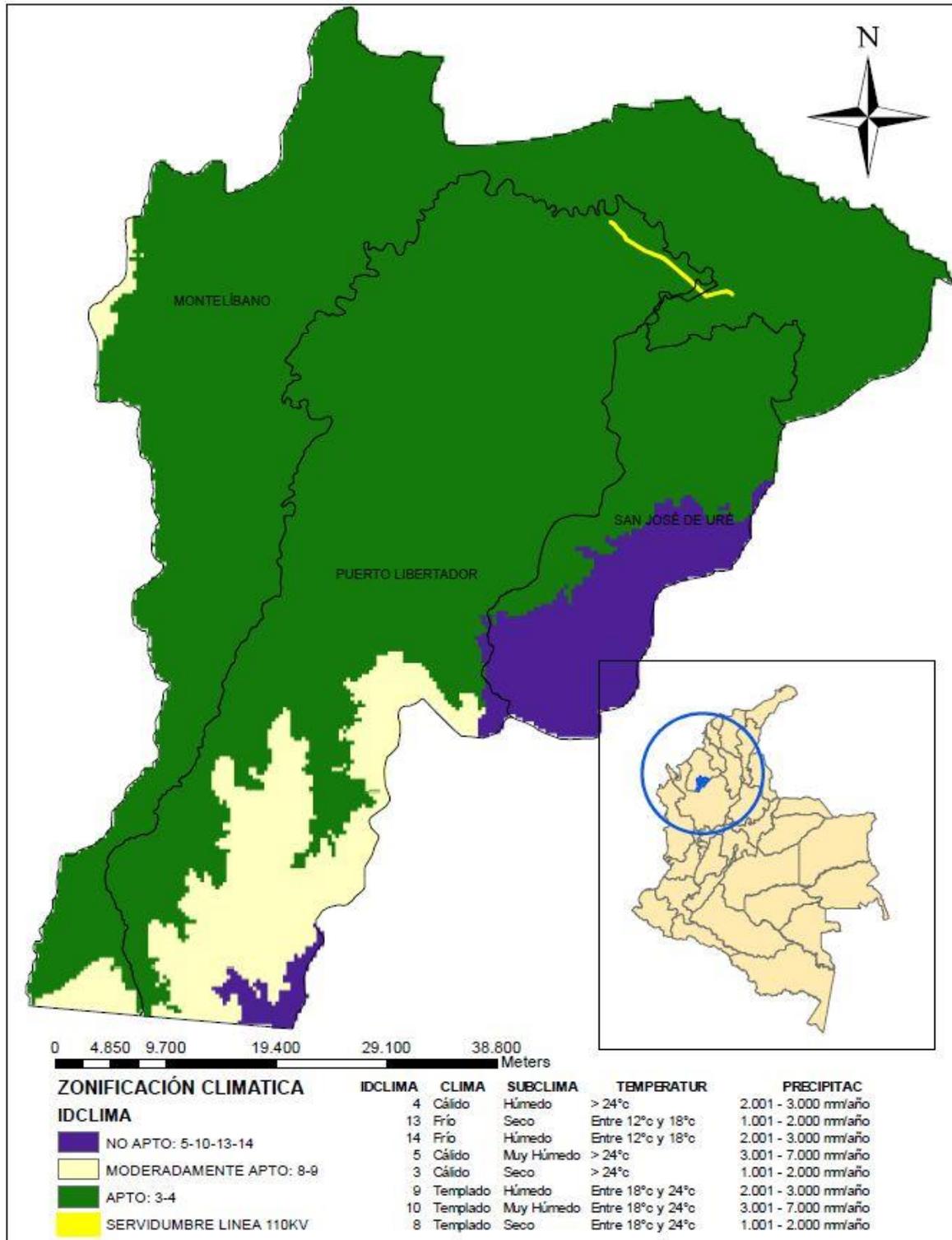


Figura 6 - 4. Mapa de zonificación climática

Del mapa de la figura 6-4 notamos que la zona de servidumbre, que se visualiza como la franja amarilla en la parte superior derecha queda cubierta en su totalidad por una zona apta. Del

mapa completo vemos que la parte superior de los tres municipios es apta, presentando variaciones en la parte inferior con zonas moderadamente aptas y no aptas.

Posteriormente de este mapa se hizo el cálculo del número de pixeles para cada uno de estos niveles, cuyos resultados se muestran en la tabla 6-4. De esta tabla realizamos el diagrama circular que se muestra en la figura 6-5, del cual se puede deducir que la mayor cantidad de área corresponde al nivel de apto con un 83%, seguida con moderadamente apto con un 10% y finalmente no apta con un 7% para esta variable del estudio. Es decir las condiciones para que se dé el desarrollo del árbol es de un 93%, correspondiendo prácticamente a toda la superficie de estudio para esta variable.

Tabla 6 - 4. Conteo zonificación climática

Zonificación climática		
Valor	Nivel	Conteo Pixeles
1	No apto	2452
2	Moderadamente apto	3259
3	Apto	28226

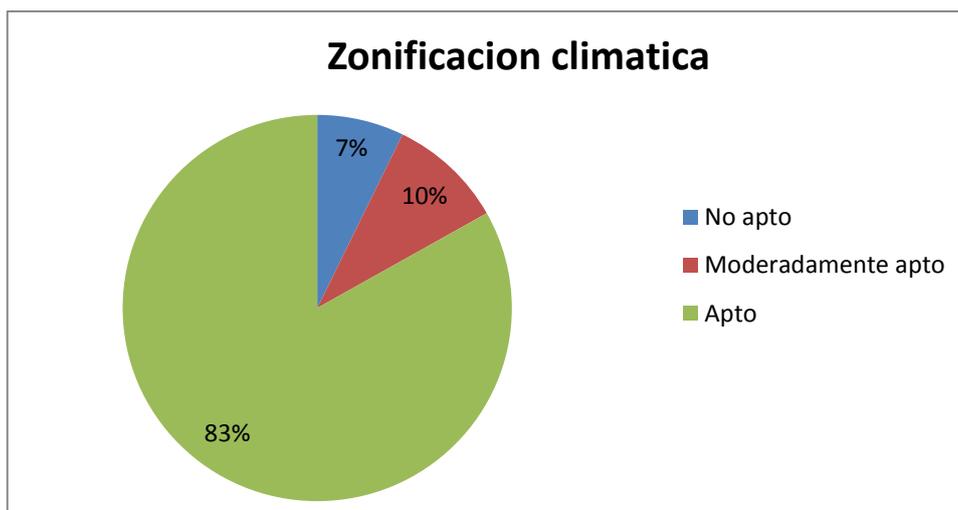


Figura 6 - 5. Zonificación climática

6.2.2. Análisis geológico del área de estudio.

Susceptibilidad a la remoción en masa (RM).

Las categorías tenidas en cuenta para dar los valores de los niveles de aptitud en cuanto a la susceptibilidad a la remoción en masa se presentan en la tabla 6-5.

Tabla 6 - 5. Categorías de la susceptibilidad a la remoción en masa (RM).

Grado	Año	Descripción
Muy Alta	2006	Áreas montañosas de pendiente alta con rocas meteorizadas, alta fragmentación por fallas, alta precipitación y alta ocurrencia de procesos de reptación, deslizamientos y flujos.
Alta	2006	Áreas montañosas de pendiente media con rocas meteorizadas y alta precipitación. Alta susceptibilidad a deslizamientos, flujos y avalanchas.

Moderada	2006	Áreas de baja montaña con pendientes medias, rocas moderadamente meteorizadas y precipitación intermedia. Piedemontes montañosos con procesos de flujos, inestabilidad y deslizamientos.
Baja	2006	Áreas de colinas y piedemontes con pendientes bajas, rocas poco meteorizadas y baja precipitación. Baja susceptibilidad asociada a inestabilidad por actividades antrópicas.
Muy Baja	2006	Áreas de paisajes llanos con baja a nula pendiente con depósitos recientes y precipitación variable. Cubre especialmente amplias zonas de las llanuras del Pacífico y la Costa Caribe.
No Susceptible	2006	Áreas de llanuras extensas distanciadas de piedemontes montañosos con precipitación variable. Vastas zonas del oriente colombiano en la Amazonia y Orinoquia.

Realizando la reclasificación según el grado en la remoción en masa, mostramos la tabla 6-6.

Tabla 6 - 6. Reclasificación de susceptibilidad a la remoción en masa

Grado	Reclasificación	Aptitud
Alta	1	No apto
Baja	3	Apto
Moderada	2	Moderadamente apto
Muy alta	1	No apto
Muy Baja	3	Apto
No susceptible	3	No apto

La figura 6-6 muestra el mapa con los niveles para aptitud según el factor de la remoción en masa. Nuevamente la zona de servidumbre queda dentro de una zona apta. Por otro lado mediante simple inspección podemos ver que la gran mayoría de la zona es apta, solo unas pequeñas partes en la zona norte y en la parte inferior presentan un comportamiento medianamente apto o no apto.

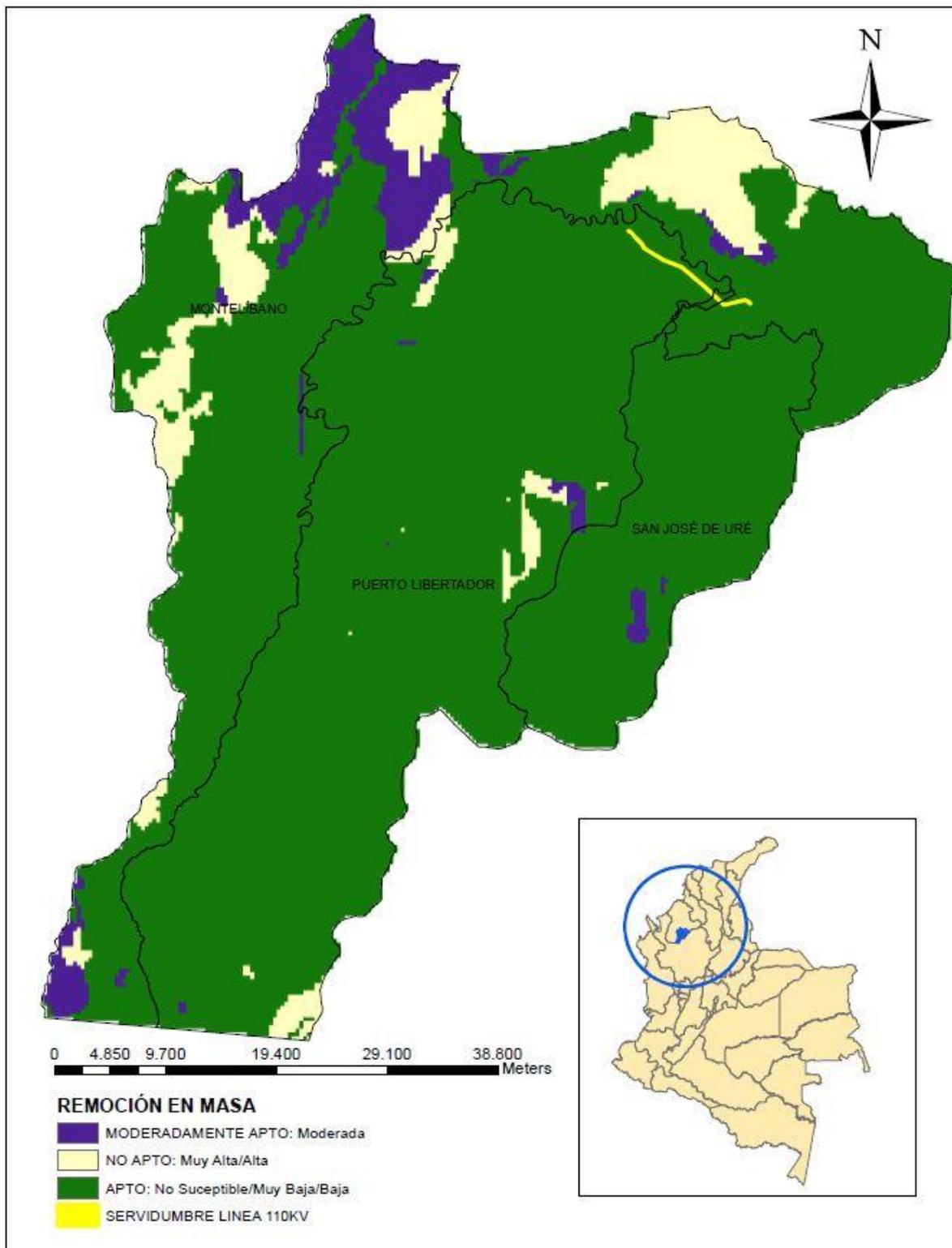


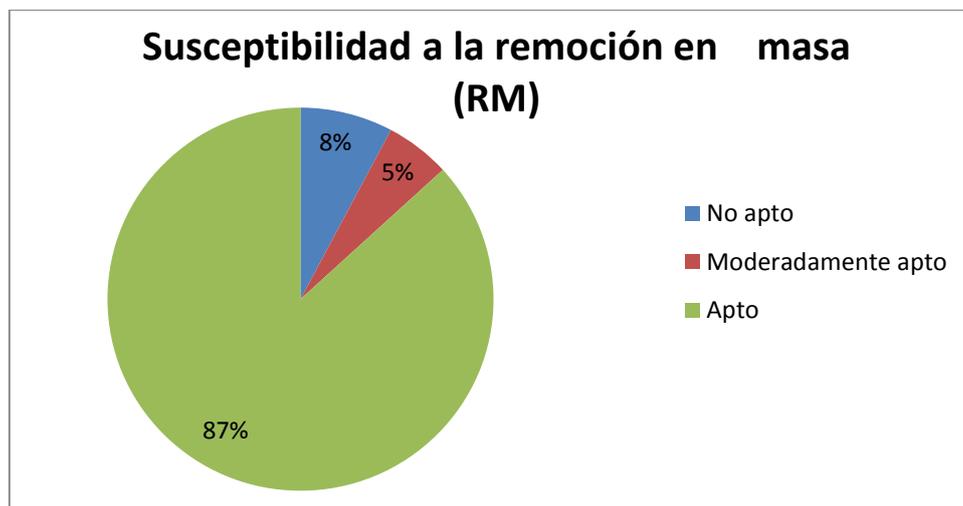
Figura 6 - 6. Mapa de remoción en masa

Para tener una descripción cuantitativa de estas áreas, se presenta el resultado del conteo de los pixeles del mapa para cada nivel dado en la tabla 6-7.

Tabla 6 - 7. Conteo remoción en masa

Susceptibilidad a la remoción en masa (RM)		
Valor	Nivel	Conteo Pixeles
1	No apto	2635
2	Moderadamente apto	1846
3	Apto	29456

La figura 6-7 es la representación de la tabla 6-7. De esta analizamos que para la variable remoción en masa la gran mayoría de territorio es apto en un 87%, no apto un 8% y moderadamente apto un 5%.

**Figura 6 - 7.** Susceptibilidad a la remoción en masa (RM)

Concluyendo las condiciones que permiten el desarrollo de la especie es de un 92%

Cobertura de tierra (CT).

Las categorías tenidas en cuenta para dar los valores de los niveles de aptitud en cuanto a la cobertura de tierra se presentan en la tabla 6-8.

Tabla 6 - 8. Categorías de la cobertura de tierra (CT)

COB	Cobertura	Año	Descripción
11	Áreas urbanas	2008	Tejidos urbano y suburbano, centros poblados, redes de comunicación, zonas industriales o comerciales, redes viales, ferroviarias y terrenos asociados, zonas portuarias, aeropuertos, obras hidráulicas, zonas en construcción, zonas verdes transformadas
21	Cultivos anuales o transitorios	2008	Áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo dura un año más o menos, llegando incluso a ser de unos pocos meses. Se caracterizan fundamentalmente porque, después de la cosecha, es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo.
23	Pastos	2008	Coberturas de especies herbáceas que han sido plantadas, generalmente utilizadas para actividades ganaderas. Pueden ser pastos limpios, arbolados, enmalezados o enrastrojados.

24	Áreas agrícolas heterogéneas	2008	Áreas que presentan mezcla de diferentes tipos de cultivos, a manera de mosaicos de cultivos anuales y permanentes; pastos y cultivos; cultivos, pastos y espacios naturales.
26	Bosques plantados	2008	Bosques plantados de latifoliadas y coníferas.
31	Bosques naturales	2008	Comunidades vegetales dominadas por árboles de altura promedio superior a 5 m y con densidad de copas superior al 70% con una extensión superior a las 50 ha. Incluye bosques densos, fragmentados, de galería o riparios, y manglares.
32	Vegetación secundaria	2008	Vegetación de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas. Se encuentran rastrojos y cobertura vegetal en estado de sucesión temprano.
33	Arbustales	2008	En este tipo de vegetación los elementos leñosos predominantes corresponden a arbustos. Incluye arbustales de páramo, de sabana o xerofíticos.
51	Aguas continentales naturales	2008	Son los ríos, lagunas, lagos o zonas inundadas.

Realizando la reclasificación de la cobertura de tierra, mostramos la tabla 6-9.

Tabla 6 - 9. Reclasificación de la cobertura de tierra (CT)

Cob	Reclasificación	Aptitud
11	1	No apto
21	2	Moderadamente apto
23	2	Moderadamente apto
24	1	No apto
26	3	Apto
31	2	Moderadamente apto
32	2	Moderadamente apto
33	3	Apto
51	3	Apto

La figura 6-8 muestra el mapa de la cobertura de tierras con sus correspondientes niveles de aptitud. En este se aprecia que la zona de servidumbre se encuentra en una parte apta. Los niveles medianamente aptos para esta variable se concentran en la zona centro teniendo un área importante. Las partes no aptas se muestran en mayor parte en la frontera norte del municipio de Montelibano y Puerto Libertador, del resto se puede decir que la mayor parte es apta.

El resultado del software del conteo de los pixeles de este mapa esta dado en la tabla 6-10.

Tabla 6 - 10. Conteo cobertura de tierra (CT)

Cobertura de tierra (CT)		
Valor	Nivel	Conteo Pixeles

1	No apto	177
2	Moderadamente apto	10314
3	Apto	23446

Con los datos de la tabla 6-10, se obtuvo la figura 6-9, la cual nos muestra que el 69% es apto, el 30% moderadamente apto y tan solo el 1% es no apto para esta variable.

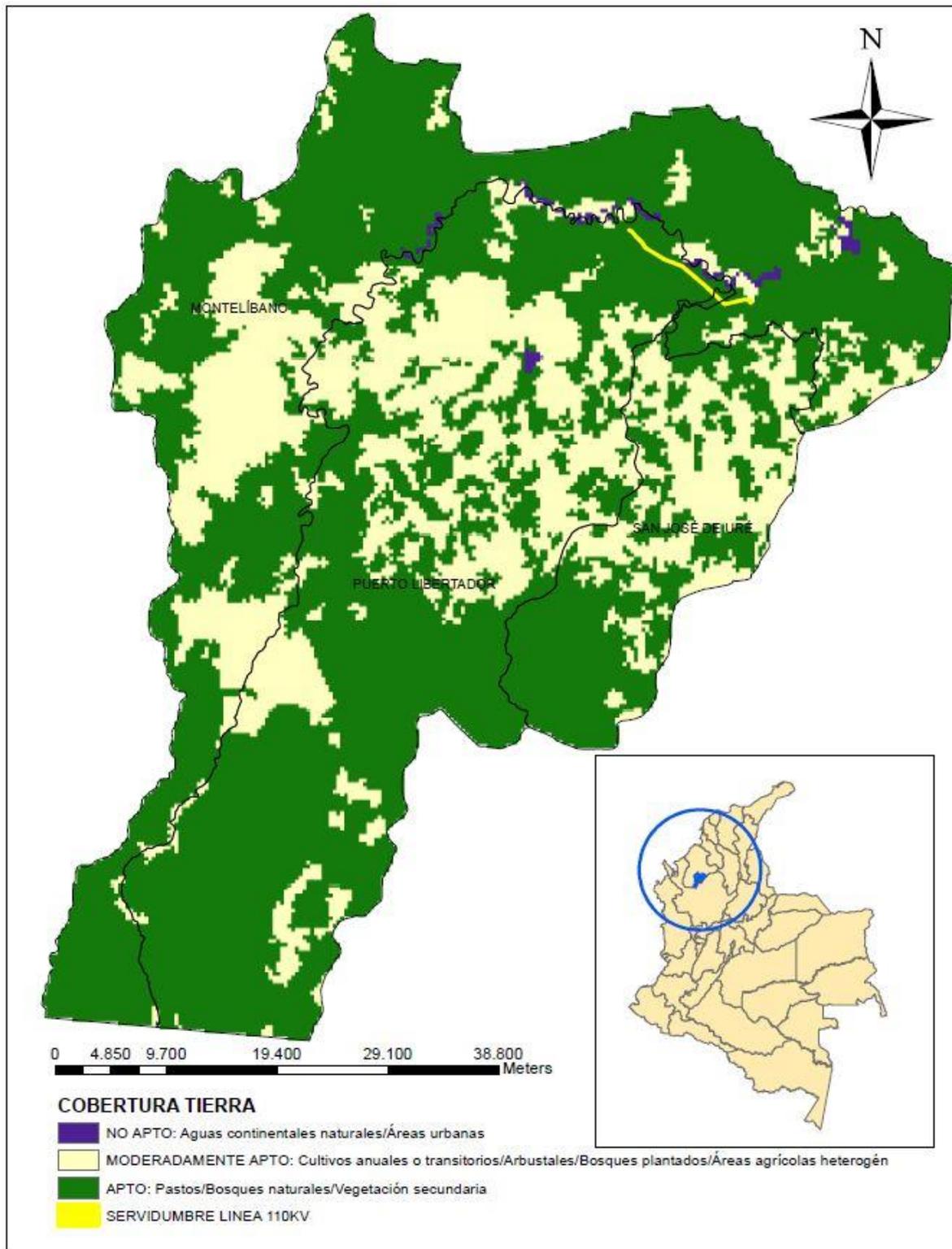


Figura 6 - 8. Mapa de cobertura de tierra

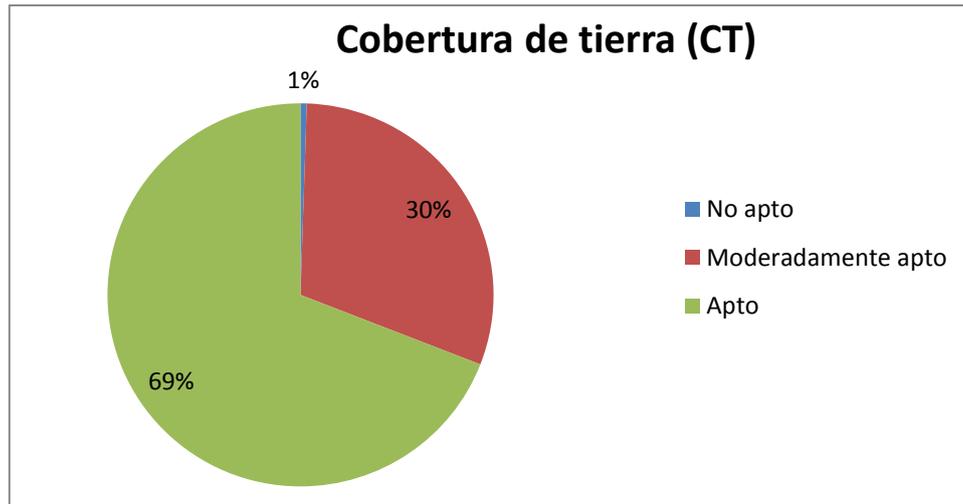


Figura 6 - 9. Cobertura de tierra (CT)

Calculo de la aptitud.

Con los tres factores desarrollados anteriormente (ZC, RM y CT) se hizo una suma ponderada para determinar cuáles son las zonas aptas para el crecimiento y desarrollo de la especie seleccionada..

Dado que no se tiene información de cuál es el peso adecuado para estos factores que determinen la aptitud para la ceiba, se decidió, hacer el cálculo asignando diferentes pesos a cada una de las variables, teniendo en cuenta la importancia y relevancia de la cobertura de tierra y zonificación climática en el desarrollo de una planta. Las ponderaciones utilizadas fueron:

1. 40% CT + 30% RM + 30% ZC
2. 60% CT + 20% RM + 20% ZC
3. 20% CT + 20% RM + 60% ZC

Para el primer caso se obtuvo el mapa mostrado en la figura 6-10. En este caso la zona de servidumbre quedo en zona apta. Solo unas pequeñas partes en el norte y en la parte central se ven como moderadamente apto (color blanco), y solo en la parte sur se alcanza ver una pequeña área que corresponde a la zona no apta.

Para este mapa se hizo el recuento de pixeles y el resultado es el siguiente (tabla 6-11):

Tabla 6 - 11. Conteo aptitud: 40% CT + 30% RM + 30% ZC

Aptitud : 40% CT + 30% RM + 30% ZC		
Valor	Nivel	Conteo Pixeles
1	No apto	17
2	Moderadamente apto	5587
3	Apto	28333

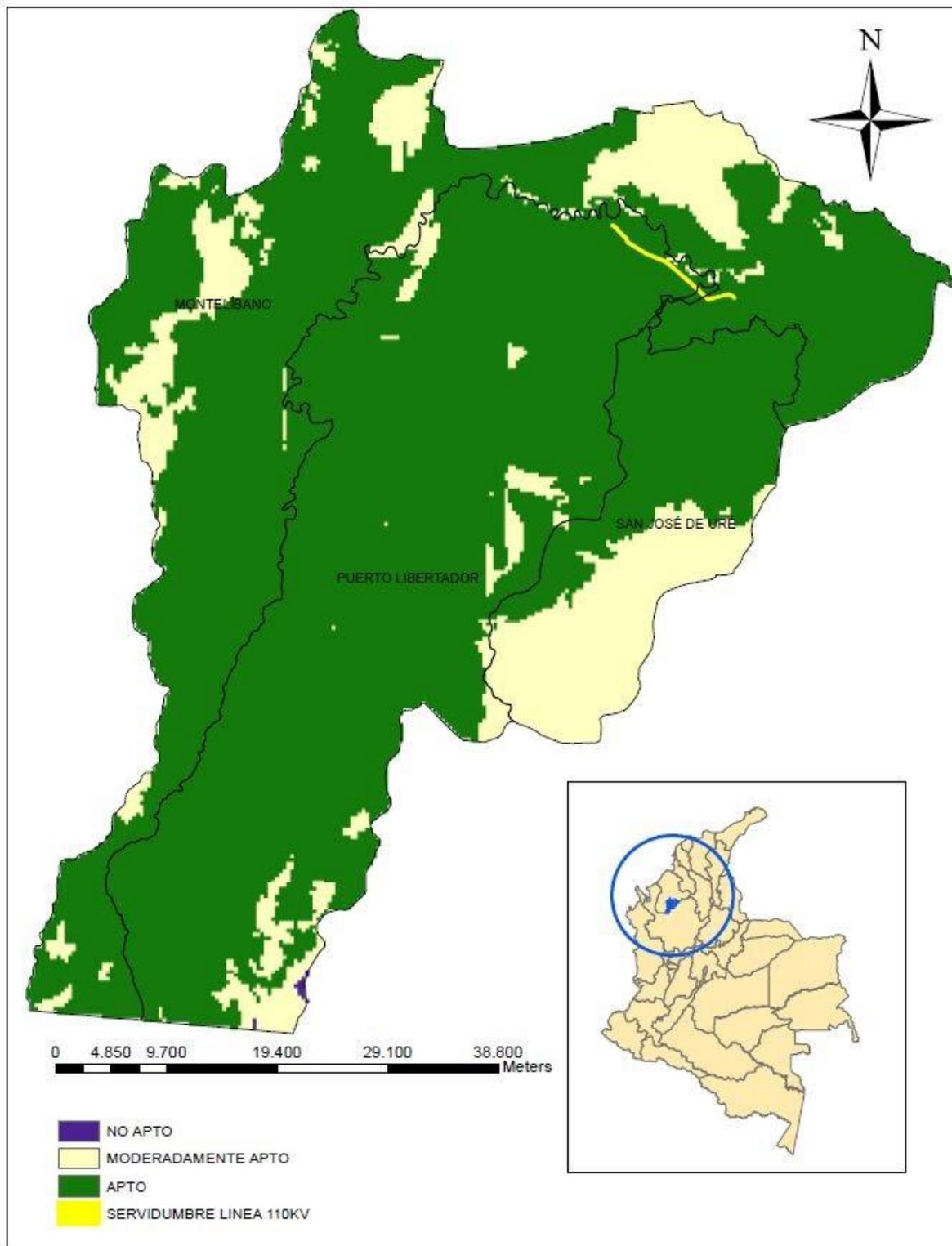


Figura 6 - 10. Mapa de aptitud: 40% CT + 30% RM + 30% ZC

Con los datos de la tabla 6-11 se realizó el gráfico de la figura 6-11. Esta nos dice que el 84% es apto, el 16 % moderadamente y cerca del 0% es no apta. Permitiendo concluir que prácticamente todo el territorio es apto.

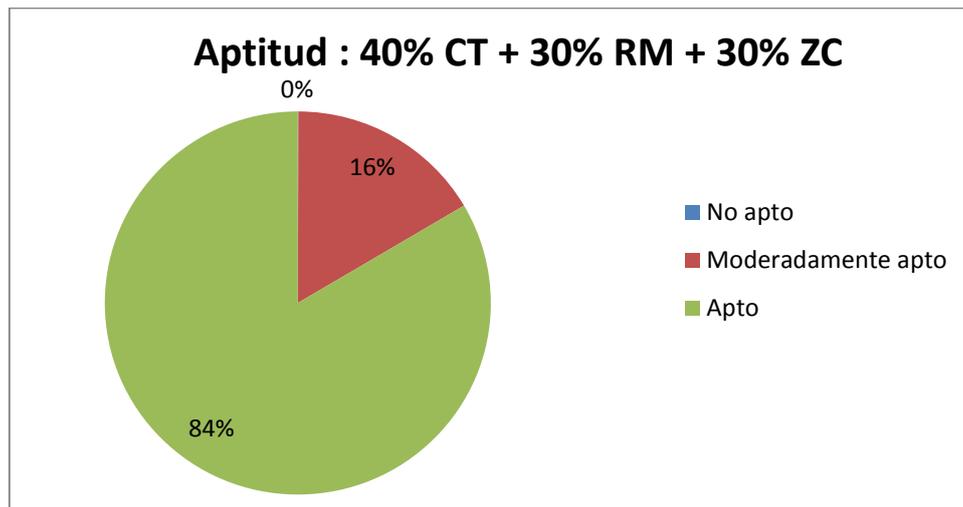


Figura 6 - 11. Aptitud: 40% CT + 30% RM + 30% ZC

Para el segundo caso se obtuvo el mapa mostrado en la figura 6-12. Notamos que la mayoría de la zona de servidumbre queda en zona apta, siendo ya hacia el sur de ésta que se encuentra una zona moderadamente apta. La relación de áreas moderadamente aptas es mayor que en la ponderación anterior, concentrándose estas en la parte media del mapa, mientras que el no apto aparece escasamente y solo es visible en la parte norte de la frontera de Montelibano y Puerto Libertador.

Para este mapa se hizo el recuento de pixeles y el resultado es el siguiente (tabla 6-12):

Tabla 6 - 12. Conteo aptitud: 60% CT + 20% RM + 20% ZC

Aptitud : 60% CT + 40% RM + 40% ZC		
Valor	Nivel	Conteo Pixeles
1	No apto	23
2	Moderadamente apto	10624
3	Apto	23290

Con los datos de la tabla 6-12 obtuvimos el diagrama circular que se presenta en la figura 6-13. De este vemos que la parte apta es del 69% y la moderadamente apta 31%, siendo casi nula las zonas no aptas.

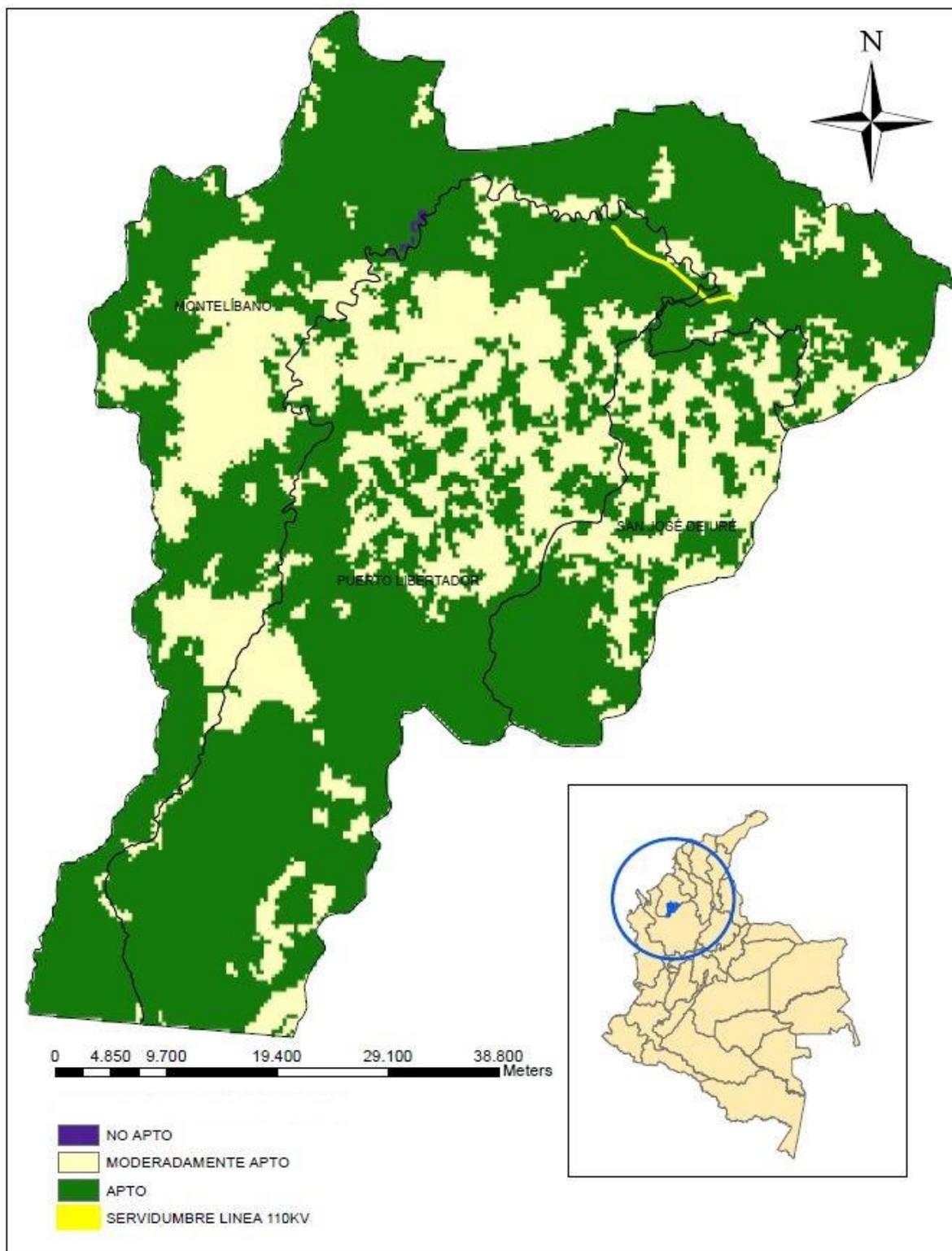


Figura 6 - 12. Mapa de Aptitud: 60% CT + 20% RM + 20% ZC

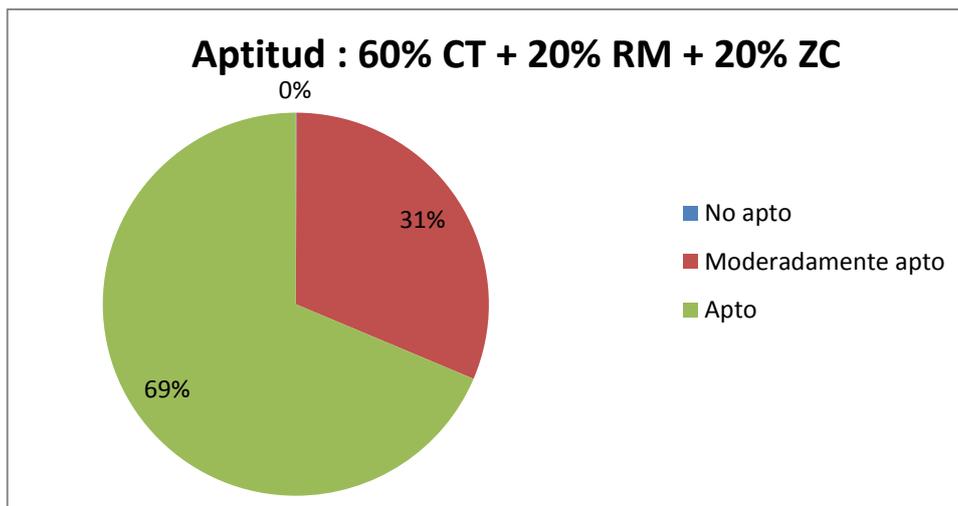


Figura 6 - 13. Aptitud: 60% CT + 20% RM + 20% ZC

Para el tercer caso se obtuvo el mapa mostrado en la figura 6-14. En este caso la zona de servidumbre queda en zona apta. De igual forma casi todo el territorio de estudio quedo en zona apta. Gran parte del sur quedo como moderadamente apto (color blanco), y solo en esa misma parte sur se alcanza ver una pequeña área que corresponde a la zona no apta (color morado).

Para este mapa se hizo el recuento de pixeles y el resultado es el siguiente (tabla 6-13):

Tabla 6 - 13. Aptitud: 20% CT + 20% RM + 60% ZC

Aptitud : 20% CT + 20% RM + 60% ZC		
Valor	Nivel	Conteo Pixeles
1	No apto	136
2	Moderadamente apto	6100
3	Apto	27701

Con los datos de la tabla 6-13 obtuvimos el diagrama circular que se presenta en la figura 6-15. De este vemos que la parte apta es del 82% y la moderadamente apta 18%, siendo casi nula las zonas no aptas.

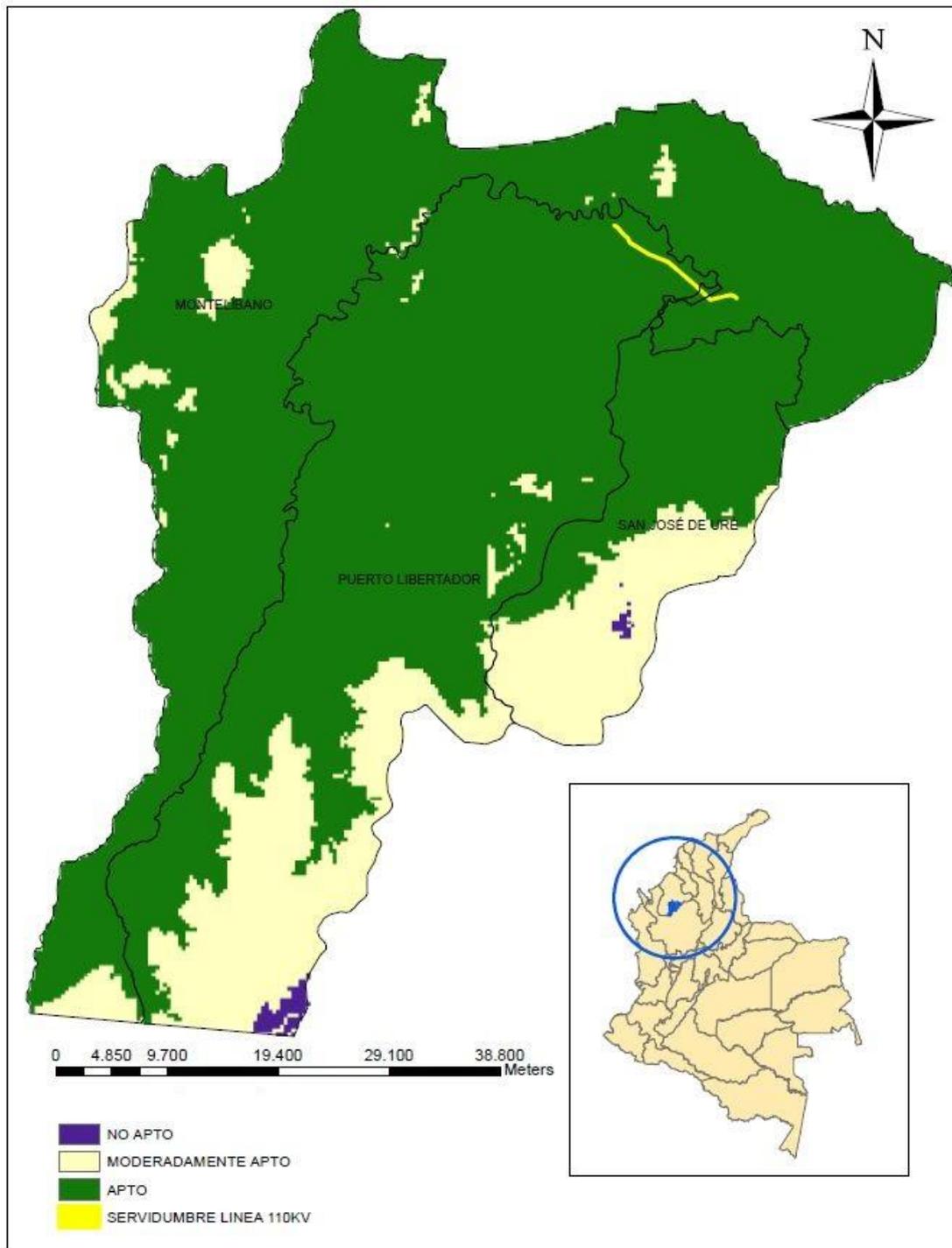


Figura 6 - 14. Mapa de Aptitud: 20% CT + 20% RM + 60% ZC

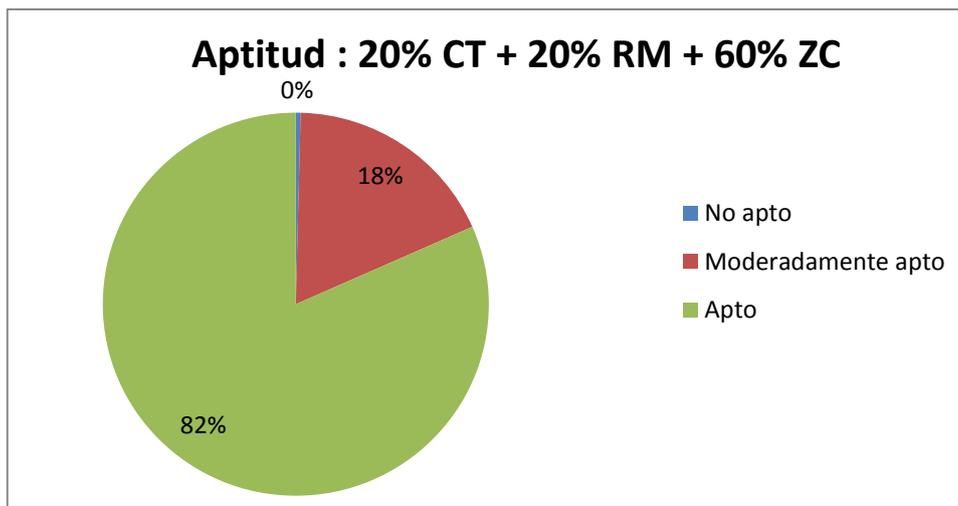


Figura 6 - 15. Aptitud: 20% CT + 20% RM + 60% ZC

De todas las sumas ponderadas se encontro que la zona de servidumbre (línea de color amarillo en los mapas) perteneciente a la línea de transmisión eléctrica de 110 kV, se encontraba apta para todos los casos. Es por eso que en los análisis dados en este apartado sobre aptitud hemos decidido incluir el área total de los tres municipios que atraviesa la línea, como son Montelibano, Puerto Libertador y San José de Uré, con el objeto que este estudio sirva para determinar la instalación de próximas líneas eléctricas en el sector y/o para mantenimiento de otras líneas existentes en el lugar.

6.3. Modelo de crecimiento vegetal

De acuerdo con los análisis realizados sobre aptitud, nos muestra que las condiciones son favorables a lo largo de toda la zona de servidumbre. Por tanto las tasas de crecimiento pueden atribuir a aspectos como las condiciones climática, específicamente la precipitación

lo cual favorece el desarrollo de la planta en el lugar (Villar, Ruiz, Quero, Poorter, Valladares, Marañon, 2004).

En la zona en estudio la precipitación está caracterizada por una época seca (noviembre a abril) y una época húmeda (mayo octubre) esto según la información registrada en el permiso ambiental. Además para la ceiba se encuentran que el crecimiento anual varía de 1m a 1.7m de altura al año. (El semillero).

Ahora si consideramos un año de sequía, donde se dan las peores condiciones, siendo el responsable del crecimiento de 1m al año, un doceavo de este valor sería el crecimiento para un mes de sequía, es decir 0.083m por mes.

Procediendo de manera similar, si consideramos un año de lluvia (donde se dan las mejores condiciones) siendo el responsable del crecimiento de 1.7m al año, un doceavo de este valor sería el crecimiento para un mes de lluvia, es decir 0.142m por mes.

Si tabulamos los meses del año con los respectivos periodos de sequía y época húmeda tendremos la tabla 6-14.

Vemos de esta tabla que el crecimiento anual sería equivalente al promedio de los valores máximos y mínimos anuales, es decir el promedio de 1 y 1.7 que es igual a 1.35m.

Tabla 6 - 14. Crecimiento mensual del árbol de Ceiba.

Meses	Crecimiento (m)	Periodo
Enero	0,083	seca
Febrero	0,083	seca
marzo	0,083	seca
Abril	0,083	seca
Mayo	0,142	húmeda
Junio	0,142	húmeda
Julio	0,142	húmeda
Agosto	0,142	húmeda
Septiembre	0,142	húmeda
Octubre	0,142	húmeda
Noviembre	0,083	seca
Diciembre	0,083	seca
Total m/año	1,35	

6.4. Programa De Mantenimiento Por Poda

Los mantenimientos por poda se hacen para controlar el crecimiento de la especie seleccionada dentro de la servidumbre de la línea de transmisión de energía eléctrica.

El voltaje de la línea de estudio corresponde a 110kV, según la tabla 13.2 del RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) que trata de “distancias mínimas de seguridad para diferentes situaciones”, establece que para esta tensión y en áreas de bosques debe existir una distancia de 6.1 m (figura 6-16).

Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia mínima al suelo “d” en zonas de bosques de arbustos, áreas cultivadas, pastos, huertos, etc. Siempre que se tenga el control de la altura máxima que pueden alcanzar las copas de los arbustos o huertos, localizados en la zonas de servidumbre	500	8,6
	230/220	6,8
	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5,0

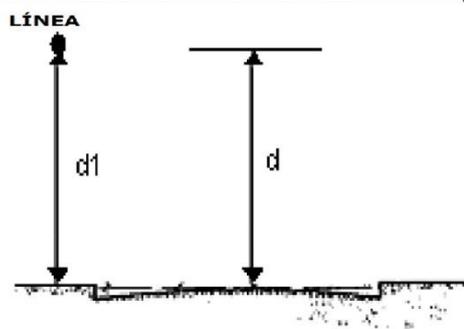


Figura 6 - 16. Distancia mínima para líneas de transmisión.
Tomada de (RETIE 2013)

Es decir que 6.1m esta es la distancia que debemos respetar y por lo tanto debemos asegurarnos que los arboles no llegaran hasta esa altura.

La tabla 6-15 muestra las mayores alturas para los arboles de Ceiba en la zona de servidumbre. De estos el más alto presenta una medida de 14m. La poda natural permitida para esta especie es de 2/3 de la altura (El semillero). Bajo esta premisa el árbol de 14 m al podarlo quedara con una nueva altura equivalente a 1/3 de este, es decir $14/3 \text{ m} = 4.67\text{m}$. A esta altura estaría a 1.43m ($6.1\text{m} - 4.67\text{m}$) de alcanzar la distancia mínima permitida por RETIE.

Si hacemos la primera poda en enero (empezando el mes) tardaría un año y un mes en ganar el árbol los 1.43 m (1.35 de un año + 0.083m de enero, según este modelo). Ahora si tomamos un margen del 10% de error para efectos de poda, el nuevo tiempo a considerar sería el que lleva en alcanzar 1.287m (0.9 x 1.43 ó 90% de 1.43m) que según nuestro modelo de crecimiento se alcanzaría en el lapso de enero a finales de Octubre que equivalen a 10 meses para la segunda poda. De acuerdo a esto quedaría establecido que nuestro plan de mantenimiento estaría limitado por el árbol de 14m haciendo necesaria cada vez que este gane 1.287m. Si hacemos la proyección de las podas teniendo en cuenta todo esto nos arrojará la tabla 14-16 para tres años, siendo las podas los finales del mes indicado a partir de la primera poda.

Tabla 6 - 15. Altura de arboles

Árbol	Altura
Ceiba Pentandra	14,00
Ceiba Pentandra	13,00
Ceiba Pentandra	8,00
Ceiba Pentandra	11,00
Ceiba Pentandra	13,00
Ceiba Pentandra	13,00
Ceiba Pentandra	13,00

Tabla 6 - 16. Proyección de poda

Meses	Crecimiento (m)	Acción
Enero	0,083	Primera poda
Febrero	0,083	
marzo	0,083	
Abril	0,083	
Mayo	0,142	
Junio	0,142	
Julio	0,142	
Agosto	0,142	
Septiembre	0,142	
Octubre	0,142	
Noviembre	0,083	Poda
Diciembre	0,083	
cambio de año		
Enero	0,083	
Febrero	0,083	
marzo	0,083	
Abril	0,083	
Mayo	0,142	
Junio	0,142	
Julio	0,142	

Agosto	0,142	
Septiembre	0,142	
Octubre	0,142	Poda
Noviembre	0,083	
Diciembre	0,083	
cambio de año		
Diciembre	0,083	
Enero	0,083	
Febrero	0,083	
marzo	0,083	
Abril	0,083	
Mayo	0,142	
Junio	0,142	
Julio	0,142	
Agosto	0,142	
Septiembre	0,142	Poda
Octubre	0,142	
Noviembre	0,083	
Diciembre	0,083	

7. CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación presentada, es posible concluir que toda la zona de servidumbre para el recorrido de la línea de transmisión eléctrica de 110kV es apta para el desarrollo de la especie seleccionada, que fue escogida por tener el mayor índice de valor de importancia y crecimiento en el área, en este caso fue la ceiba.

La utilización del SIG, contribuyo a establecer no solo la aptitud de la zona de estudio sino también permitió conocer la aptitud de los tres municipios del departamento de Córdoba, generando un aporte valioso a estudios o trabajos posteriores que se tengan pensado realizar en este territorio.

Además se observó que es posible establecer un plan de mantenimiento por poda utilizando esta herramienta tecnológica, lo que facilita estos tipos de análisis en cuanto a costos y tiempo.

En respuesta al primer objetivo planteado, en este trabajo se logró identificar a la especie que tiene el más alto riesgo en la interrupción del servicio de la línea de transmisión eléctrica. El criterio utilizado para tal selección fue la del índice de valor de importancia, siendo en este caso la del puntaje más alto la ceiba y seguida de esta el guamo quedo en segunda opción.

Mediante la utilización del SIG se pudo establecer un modelo espacio temporal en el que en primera instancia se evaluó la capacidad del terreno de brindar las mejores condiciones para el desarrollo (conocido como aptitud) de la especie seleccionada como critica, utilizando las variables como zonificación climática donde se incluyeron factores tales como el clima,

subclima, temperatura, precipitación y piso térmico; susceptibilidad a la remoción en masa y cobertura de tierras. Dando valor a cada uno de estos parámetros según favorecieran o no la aptitud del terreno o zona de servidumbre.

Dado que la zona de servidumbre tiene una extensión de 13.2 Km y 15m de ancho aprovechamos el gran poder que tienen los SIG, para no solo dedicarnos a ese espacio en específico, si no por el contrario decidimos extendernos a los tres municipios del departamento de Córdoba por los cuales pasa la línea de transmisión eléctrica que son Montelibano, Puerto Libertador y San José De Uré, pensando en el gran potencial que tiene estos territorios para trabajos del tipo energético. De esta forma este trabajo pasa a ser una contribución valiosa a estudios o trabajos posteriores que se tengan pensado realizar en este territorio.

Con los datos de aptitud de la zona y la información existente sobre el crecimiento y desarrollo de la ceiba en cuanto a tamaño y altura y respetando las normas existente sobre la distancia mínima que debe existir entre las ramas de un árbol o cualquier objeto respecto a una línea eléctrica de la capacidad nuestra (110 kV) se pudo establecer un plan de mantenimiento por poda, concluyendo que la utilización de esta herramienta tecnológica para este tipo de análisis si es posible; dejándonos ver que esto tiene un impacto significativo en cuanto a costos y tiempo.

.

.

8. RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones más sobresalientes para el mejoramiento de los resultados de este trabajo están:

Hacer un inventario de los arboles donde además del que ya está hecho se introduzcan datos como la ubicación de cada árbol, asignándoles un código o nomenclatura, esto con el fin de poder mejorar la distribución de corte por área, pensando en el recorrido o desplazamiento más eficiente para tal propósito.

Para las especies de Ceiba existente en la región se debe realizar un estudio sobre cómo afecta la época del año, la humedad, el suelo y demás variables tenidas en cuenta en este estudio el crecimiento del árbol, con el firme propósito de tener un modelo espacio temporal más preciso y que nos arroje datos de crecimiento con la mayor precisión y exactitud posible, sirviendo esto además para la caracterización de la especie en cuestión.

Para el caso de la poda es preciso establecer un manual donde no solo se detalle los espacios en tiempo de los cortes, sino que también incluyan procedimiento de cómo debe ser la tala, con información relevante como el tipo de herramientas a utilizar, así como la disposición final de los residuos generados en esta actividad, para mitigar el efecto ambiental de esta actividad.

REFERENCIAS

- Acosta, V. Araujo, P., y Iturre, M. (2006). Caracteres estructurales de las masas. Argentina: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago de Estero. Argentina. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a13>
- Alvis, J. (2009), Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán, Facultad de Ciencias Agropecuarias Vol 7, No. 1. 8
- Corta de arbolado y poda para mantenimiento de servidumbre en líneas aéreas de AT y BT (2013) 3ª Ed. [folleto] España: EDP España.
- (El semillero) Adaptación, usos, madera, vivero, rendimiento y silvicultura de 95 especies [En línea]. Consultado: [20, noviembre, 2015] Disponible en: http://elsemillero.net/nuevo/semillas/listado_especies.php?id=30
- Guerra, V., y Ochoa, S. (2003), Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000) ISSN 0188, (59), 7-25.
- Gutiérrez, M. TRABAJOS ESTUDIANTILES, CEIBA (*ceiba pentandra*) Escuela de Ingeniería de Antioquia. <http://recursosbiologicos.eia.edu.co/ecologia/estudiantes/ceiba.htm>
- Greene, R., Luther J. E., Devillers R. & Eddy, B. (2010). An approach to GIS-based multiple criteria decision analysis that integrates exploration and evaluation phases: Case study in a forest-dominated landscape. Tesis de Maestría en Forest Ecology and Management. Universidad del Newfoundand. Newfoundand, Canada. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.052>

(IDEAM) Cobertura de la tierra. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>

Líneas de Transmisión y Campos Electromagnéticos. (2011) 3ª Ed. [folleto] Costa Rica: ICE

Martínez, B. (2009) . Susceptibilidad de remoción en masa en la Quebrada de Macul, Región Metropolitana. Tesis de Pregrado. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103490>

(Murcia Natural) ALGARROBO - *Ceratonia siliqua*. [En línea]. Consultado: [20, noviembre, 2015] Disponible en: http://www.murcianatural.carm.es/c/document_library/get_file?uuid=670c5a64-814e-4e2f-88ff-f94a23c25f8e&groupId=14

Nationalgeographic GIS (geographic information system) [En línea]. Consultado: [20, noviembre, 2015] Disponible en: <http://education.nationalgeographic.com/encyclopedia/geographic-information-system-gis/>

Otaya, B., Leodán, A. & Sánchez, R. (2009). Aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) en la silvicultura urbana, caso municipio de Envigado. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Disponible en la base de datos. <http://www.bdigital.unal.edu.co/686/#sthash.WZ1ZqGdS.dpuf>

PEREZ, N., ARIAS, J. y QUIROZ, J. "Variación espacio-temporal de plantas vasculares acuáticas en el complejo cenagoso del Bajo Sinú, Córdoba, Colombia". Acta Biologica Colombiana ISSN: 0120-548X ed: Facultad De Ciencias Universidad Nacional v.20 fasc.3 p.155 – 165

Rama estudiantil del IEEE de la UCSA, 2010, Líneas de transmisión eléctrica.

<https://ramaucsa.files.wordpress.com/2010/12/resumen-lc3adneas-de-transmisi3b3n-elc3a9ctric1.pdf>

Ramírez, A. (2007) El proceso de análisis jerárquico con base en funciones de producción para planear la siembra de maíz de temporal. Tesis Doctoral. Montecillo, Texcoco, edo. De México.

Ramírez, J. y Álvarez, R.(1999) CEIBA, *ceiba pentandra* (L.) Gaerth, Colección maderas tropicales de Honduras, Ficha No. 6. Escuela Nacional de Ciencias forestales Lantcetilla, Honduras [http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD8%2092/pd%208-92-5-6%20rev%202%20\(F\)%20.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD8%2092/pd%208-92-5-6%20rev%202%20(F)%20.pdf)

Resolución no. 9 0708 (2013) Reglamento Técnico para Instalaciones Eléctricas (RETIE) Colombia.

Sánchez, J. (2001). *Ceratonia siliqua*, arboles ornamentales. España. <http://www.arbolesornamentales.es/Ceratonia%20siliqua.pdf>

(SIGOT) Sistema De Información Geográfica Para La Planeación Y El Ordenamiento Territorial [En línea]. Consultado: [20, noviembre, 2015] Disponible en: [<http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/default.aspx>]

Villar, R., Ruiz, J., Quero, J., Poorter, H., Valladares, V. y Marañón, T. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: Aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Páginas 191-227. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. <http://www.ugr.es/~rnm220/ingles/PDF/Cap7BosqMed.pdf>