

**DISEÑO DEL MANTENIMIENTO FORESTAL EN LA FRANJA DE REDES
DE MEDIA TENSIÓN EMPLEANDO ANÁLISIS SIG**

DIEGO MARCELO HINCAPIÉ GONZÁLEZ



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

AGRADECIMIENTOS

A La Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC S.A E.S.P. - Área de Mantenimiento de Redes - ADE por su colaboración y apoyo en el desarrollo del estudio propuesto.

TABLA DE CONTENIDO

1. ÁREA PROBLEMÁTICA	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1 CHEC S.A E.S.P. (Central Hidroeléctrica de Caldas)	16
4.2 MANTENIMIENTO FORESTAL	17
4.3 CIRCUITO ELÉCTRICO	20
4.4 IMPLEMENTACIÓN SIG	20
4.5 VISIÓN GLOBAL DEL SISTEMA	21
4.7 MANTENIMIENTO FORESTAL EN CORREDORES DE LÍNEAS ELÉCTRICAS	27
4.8 ANTECEDENTES	31
5. METODOLOGÍA	35
5.1 TIPO DE TRABAJO	35
5.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	36
5.3 PROCEDIMIENTO	38
5.3.1 Fase 1. Recolección de la información.	38
5.3.2 Fase 2. Análisis y procesamiento de datos.	41
5.3.4 Fase 4. Diseño de herramientas para el mantenimiento.	42
6. RESULTADOS	44
6.1.1 Situación actual del mantenimiento forestal.	44
6.2.2 Variables para la creación de la base de datos.	45
6.2.3 Implementación de la herramienta SIG – Sistema de Información Geográfica como modelo de mantenimiento forestal.	48
6.2.3.1 Análisis zonas de vida.	49
6.2.3.2 Uso actual del suelo.	50
6.2.3.3 Infraestructura vial y accesibilidad.	52
6.2.3.4 Distribución de la vegetación.	53

6.2.3.5 Zonificación de los circuitos	54
6.2.3.6 Densidad de vegetación	57
6.2.3.7 Desarrollo del modelo de mantenimiento	59
7. CONCLUSIONES	65
8. RECOMENDACIONES	67
9. BIBLIOGRAFÍA	69

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Distancias de seguridad	19
<i>Figura 2:</i> Mantenimiento mecánico y manual de líneas de distribución	19
<i>Figura 3:</i> Mapa temático Ubicación Geográfica Circuitos Altamar	37
<i>Figura 4:</i> Vegetación sobre el corredor del circuito.....	40
<i>Figura 5:</i> Visor de circuitos - estructura eléctrica	41
<i>Figura 6:</i> Zonas de Vida Circuitos Altamar	50
<i>Figura 7:</i> Cobertura Vegetal Circuitos Altamar	51
<i>Figura 8:</i> Infraestructura vial circuitos Altamar.....	52
<i>Figura 9:</i> Mapa temático vegetación circuitos Altamar.....	53
<i>Figura 10:</i> Tipos de cobertura vegetal	54
<i>Figura 11:</i> Mapa temático zonificación circuitos Altamar	55
<i>Figura 12:</i> Esquema zonificación y distribución de la vegetación	57
<i>Figura 22:</i> Densidad de vegetación – puntos calientes.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Datos generales de los circuitos Altamar</i>	36
Tabla 2 <i>Cronograma anual de mantenimiento forestal</i>	44
Tabla 3 <i>Plan anual de mantenimiento forestal / mensual - circuitos Altamar</i>	45
Tabla 4 <i>Listado de tramos con vegetación por circuito</i>	46
Tabla 5 <i>Listado de familias vegetales en circuitos Altamar</i>	46
Tabla 6 <i>Listado especies vegetales en circuitos Altamar</i>	47
Tabla 7 <i>Listado de tramos con vegetación por zona Circuito AMR23L 12</i>	56
Tabla 8 <i>Listado de tramos con vegetación por zona Circuito AMR23L 13</i>	56
Tabla 9 <i>Listado de tramos con vegetación por zona Circuito AMR23L 14</i>	56
Tabla 10 <i>Tipo de actividad y el tiempo dedicado a su intervención en horas día</i>	59
Tabla 12 <i>Descripción del tipo de vegetación circuito AMR23L 13</i>	60
Tabla 13 <i>Descripción del tipo de vegetación circuito AMR23L 14</i>	60
Tabla 14 <i>Propuesta de mantenimiento por zonas AMR23L 12</i>	61
Tabla 15 <i>Propuesta de mantenimiento por zonas AMR23L 13</i>	61
Tabla 16 <i>Propuesta de mantenimiento por zonas AMR23L 14</i>	62
Tabla 17 <i>Mantenimiento de puntos calientes AMR23L 12</i>	63
Tabla 18 <i>Mantenimiento de puntos calientes AMR23L 13</i>	63
Tabla 19 <i>Mantenimiento de puntos calientes AMR23L 14</i>	63

GLOSARIO¹

Amenaza: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, inclusive inducido por la acción humana de manera accidental se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

Circuito eléctrico: Lazo cerrado formado por un conjunto de elementos, dispositivos y equipos eléctricos alimentados por la misma fuente de energía y con las mismas protecciones contra sobretensiones y sobre-corrientes. Los cableados internos de equipos no se consideran circuitos. Pueden ser de tipo diferencial (por conductores activos) o comunes (por conductores activos y de tierra).

Línea viva: Término aplicado a una línea con tensión o línea energizada.

Nodo: Componente de un circuito en el cual dos o más elementos tienen una conexión común.

Norma técnica: Documento aprobado por un organismo reconocido que establece especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico, que hay que cumplir en determinados productos, procesos o servicios.

Prevención: Evaluación predictiva de los riesgos y sus consecuencias. Conocimiento *a priori* para controlar los riesgos por medio de acciones que buscan eliminar la probabilidad de accidentes.

Transmisión: Proceso mediante el cual se hace transferencia de grandes bloques de energía eléctrica, desde las centrales de generación hasta las áreas de consumo.

Usuario: Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde este se presta o como receptor directo del servicio. A este último usuario se denomina también consumidor que se caracteriza como toda persona natural o jurídica que, como destinatario final, adquiera, disfrute o utilice un determinado producto, cualquiera que sea su naturaleza para la satisfacción de una necesidad propia, privada, familiar o doméstica y empresarial.

¹ Este glosario fue tomado del documento Ministerio de Minas y Energía (2013)

Zona de servidumbre: Franja de terreno que se deja sin obstáculos a lo largo de una línea de transporte o distribución de energía eléctrica, tiene la función de ser un margen de seguridad para la construcción, operación y mantenimiento de dicha línea, así como la oportunidad de tener una interrelación segura con el entorno.

RESUMEN

Este documento presenta un análisis del mantenimiento forestal enfocado al control de la vegetación situada en los corredores biológicos de las líneas de 13,2 voltios en tres circuitos eléctricos de la subestación ALTAMAR de CHEC S.A E.S.P. – Central Hidroeléctrica de Caldas – ubicados en los municipio de Manizales, Palestina, Neira y Anserma. La propuesta surge de la necesidad de planificar y sistematizar las intervenciones de manera oportuna y acertada, pues las actuales condiciones representan situaciones de desgaste para el equipo de mantenimiento y de peligro para la comunidad circundante como consecuencia de las descargas eléctricas. Por otra parte, este estudio contempla otros factores como el costo que el mantenimiento forestal conlleva y que se refleja en las pérdidas anuales ocasionadas por los daños en la infraestructura de las redes de transmisión de energía eléctrica. Mediante la implementación de un prototipo de un SIG se efectuó la recolección, el ordenamiento y análisis de la información para la elaboración del cronograma de mantenimiento forestal basado en la ubicación y características de las especies vegetales georeferenciadas. La futura ejecución de este sistema busca proponer una estrategia que permita hacer una mejor gestión de los recursos forestales asociados a las zonas de servidumbre que circundan los circuitos eléctricos. Finalmente se analizan los resultados generales para la implementación del prototipo contemplado por este estudio.

Palabras claves:

- CHEC S.A E.S.P. - Central Hidroeléctrica de Caldas
- Mantenimiento forestal
- Sistema de Información Geográfica - SIG

ABSTRACT

This document offers an alternative to forestry maintenance focused on the grow vegetation control, located in biological corridors of 13.2 volt electric transmission lines on three circuits belonging to Altamar electric substation, property of the CHEC S.A E.S.P. – Central Hidroeléctrica de Caldas – located in the municipalities of Manizales, Palestina, Neira and Anserma. The proposal arises from the need to plan and systematize interventions timely and successful as the current conditions that represent complex situations for the maintenance equipment and danger to the surrounding community as a result of electric shock. Moreover, this study includes other factors such as forest maintenance cost involved and reflected in annual losses caused by damage to infrastructure networks of power transmission. By implementing a GIS and through the data organization and information analysis, it aims to draw up a timetable for forest maintenance, based on the location and georeferenced trees characteristics. The future implementation of this system seeks to propose a strategy to make better management of forest resources associated with the easement areas surrounding electrical circuits. Finally the overall results are analyzed for the prototype implementation proposed by this study.

Key words:

- CHEC S.A E.S.P. - Central Hidroeléctrica de Caldas
- Forest Maintenance
- Geological Information System - SIG

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Actualmente la Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC S.A. E.S.P. cuenta con 208 líneas con una longitud de 8.698 kilómetros de red de distribución de energía de media tensión o MT. De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía y su informe RETIE (2008), la MT es la tensión nominal superior a 1000 V (Vatios) e inferior a 57,5 kV (Kilovoltios). La cobertura de la CHEC S.A E.S.P. contempla los departamentos de Caldas y Risaralda.

El avance del mantenimiento forestal está ligado a factores que no necesariamente están enfocados a las condiciones de la vegetación, sino al mantenimiento general establecido para la infraestructura eléctrica y las posibles contingencias que surgen en los procesos. De acuerdo con la perspectiva de este trabajo de investigación, los niveles de intervención no son efectivos, pues no existe priorización en función de las características de la vegetación.

Las actividades inherentes al mantenimiento de coberturas vegetales en redes eléctricas de media y alta tensión son relativamente recientes dentro de la estructura empresarial y requieren de un proceso considerablemente complejo en cuanto a su planificación y ejecución, debido a los requerimientos involucrados, tanto técnicos como legales. Por otra parte, es igualmente importante la incorporación de los estándares establecidos en la ley que buscan la conservación de los recursos naturales y la prestación del servicio con calidad y eficiencia, sin dejar de lado la reducción de los riesgos asociados a dicha actividad.

El reto inmediato en el contexto donde este estudio fue aplicado es la caracterización de los circuitos que componen la red de media tensión para determinar aquellas zonas donde la vegetación está en ciertos rangos de distancia inferiores a los permitidos respecto a los conductores de energía. Para este fin fue vital analizar y ordenar la información dentro de cada una de los circuitos de acuerdo a las condiciones anteriormente mencionadas y, de esta forma, direccionar mejor los recursos. Ahora bien, para la realización de tal análisis se hace necesario el uso de tecnologías digitales que permitan sistematizar y georeferenciar los principales sectores que deben ser intervenidos por el equipo de mantenimiento,

Al realizar el análisis y planificación de actividades de mantenimiento forestal, es posible atender de manera oportuna los puntos de mayor prioridad y/o complejidad, evitando así cortes de energía y tornando más económico el mantenimiento para la empresa. Igualmente, el diseño estratégico de esta labor permitirá establecer rutinas de mantenimiento que posibiliten la atención de

manera objetiva y oportuna, así como la adopción de estrategias para la compensación forestal.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar un modelo de mantenimiento desarrollado a través de un SIG para el inventario, análisis y planificación de las actividades forestales en tres circuitos de media tensión de la Central Hidroeléctrica de Caldas – CHEC S.A E.S.P.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los procesos actuales de mantenimiento forestal en la Central Hidroeléctrica de Caldas – CHEC S.A E.S.P.
- Determinar variables para la construcción de bases de datos que faciliten y sistematicen las intervenciones forestales.
- Desarrollar un modelo de mantenimiento forestal en los circuitos pertenecientes a la subestación Altamar.

3. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas aéreos de distribución de energía eléctrica se encuentran expuestos a diferentes tipos de eventos tales como descargas atmosféricas, sobrecargas, cortocircuitos, daños por vegetación o clima entre otras situaciones que alteran el suministro de energía de forma momentánea o permanente. Subsiguientemente, es necesario buscar alternativas para mitigar el impacto de dichos sucesos y restablecer adecuadamente el servicio en corto tiempo, de manera eficiente y efectiva.

Para dar respuesta a las necesidades mencionadas, el personal de mantenimiento eléctrico de la CHEC S.A E.S.P. dedica parte de su tiempo a la atención preventiva y en muchos casos correctiva de los incidentes relacionados con la vegetación. Recientemente se han implementado estrategias más efectivas que han ayudado a mitigar el impacto de la cobertura vegetal sobre la prestación del servicio mediante la conformación de grupos dedicados exclusivamente a la atención de las labores de poda y tala sobre los corredores de los circuitos.

Ahora bien, es evidente la necesidad de realizar un control más efectivo de la vegetación, desde un punto de vista económico y ecológicamente viable, lo cual requiere la implementación de estrategias como la caracterización o inventario forestal adyacente al sistema de redes eléctricas. En esta perspectiva se plantea la posibilidad de proyectar la atención de las coberturas vegetales de forma tecnificada, no solo en la labor diaria respecto a la metodología de atención y ejecución, sino también como una estrategia que permita la planificación de la actividad en los meses y años venideros.

Dadas las condiciones que anteceden, resulta oportuno la implementación de herramientas digitales de la información, las cuales facilitan la toma de decisiones, la formulación de estrategias y el seguimiento de la vegetación (Arancibia, 2008) (Chávez Chávez, 2011). Estas pueden contribuir en la visualización de mayor cantidad de información precisa, así como mediciones más exactas, reduciendo de ese modo los costos al simplificar procesos de recolección y análisis de información. En otras palabras, las tecnologías digitales en estos procesos proporcionan datos más completos permitiendo análisis más profundos y confiables.

Ante la situación planteada, mediante la digitalización de la información, el seguimiento puede ser útil también para supervisar el trabajo de campo, con el fin de comprobar si los equipos de trabajo sobre el terreno desarrollan las actividades en los tiempos y recorridos previstos. En este mismo sentido, la precisión en la ubicación y distribución de las coberturas vegetales es indispensable para las estimaciones volumétricas de aprovechamiento forestal y

los planes de manejo necesarios, al igual que la planificación y la atención de contingencias.

Por tanto, se propone, mediante esta investigación de especialización, implementar una herramienta digital que permita el análisis de la información, ayudando a mitigar o corregir las afectaciones causadas por la vegetación y enfocada, principalmente, hacia el mantenimiento preventivo. Además, se busca que el prototipo desarrollado sirva como base para la desarrollo de un sistema de mantenimiento forestal para toda la infraestructura de redes de la Central Hidroeléctrica de Caldas. En síntesis, este estudio se constituye en el punto de partida para futuras investigaciones, enfocadas al mejoramiento del control forestal en el mantenimiento de redes de distribución eléctrica.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 CHEC S.A E.S.P. (Central Hidroeléctrica de Caldas)

En 1905 la ciudad de Manizales contaba con el suministro eléctrico de pequeñas plantas generadoras de energía administradas por particulares, precisamente en este año fue instituido el Departamento de Caldas. Posteriormente, en 1907 se firmaron acuerdos en la ciudad para la instalación del alumbrado público con el Banco de Crédito Antioqueño, sin embargo para esta época el servicio era demasiado costoso y los únicos beneficiarios eran personas con alto poder adquisitivo.

Debido a la necesidad de hacer más asequible la electricidad y al crecimiento de la caficultura, en 1916 se creó la empresa eléctrica municipal como iniciativa para instalar el servicio a precio de costo; sin embargo, solo en 1943 se expidió la ordenanza por parte de la Asamblea Departamental. Después de emitida la ordenanza se dio inicio a la construcción de una central hidroeléctrica que permitiera el suministro del servicio y alcanzara la cobertura necesaria de acuerdo al nivel de demanda de la época.

En 1944 se constituyó la Sociedad Limitada denominada Central Hidroeléctrica de Caldas. Para ese año los municipios contaban con pequeñas plantas hidráulicas para el abastecimiento, en el caso de Manizales existían las plantas Municipal, Guacaica, Sancancio, Intermedia y Pinzón Hoyos las cuales aprovechaban aguas provenientes del Río Chinchiná y las quebradas Olivares y Guacaica (CHEC, 2010).

Posteriormente, en 1950 la central ya creada cambio su razón social por Compañía Central Hidroeléctrica de Caldas Limitada, conformándose así como empresa de servicios públicos. Para el año 1993 el grupo EPM compró la mayoría de sus acciones entrando a formar parte de este CHEC S.A E.S.P. grupo EPM. Ya para el año 1996 se constituyó bajo reforma de sus estatutos como Sociedad Anónima E.S.P. la cual conocemos actualmente.

A partir de esta fecha, dentro de la estrategia de negocios planteados por la organización, los esfuerzos están dirigidos a la actualización de la infraestructura existente y a la construcción de redes de distribución y transmisión de energía. También concentra sus esfuerzos en la operación y el mantenimiento debido a la creciente demanda y a los nuevos esquemas de prestación del servicio originados por crecimiento económico de la región, logrando alcanzar una cobertura superior al 90% del área de los departamentos

de Caldas y Risaralda. Las metas propuestas y la gestión del recurso han logrado posicionar a la CHEC S.A E.S.P. dentro de la línea de negocio a nivel nacional en generación, distribución y comercialización.

Actualmente, la CHEC S.A E.S.P. se define como

Una empresa de servicios públicos mixta, bajo el régimen general aplicable a las empresas de servicios públicos y a las normas especiales del sector eléctrico. Está conformada de acuerdo a sus accionistas en los siguientes porcentajes: EPM Inversiones S.A con el 55,65%, EPM E.S.P con el 24,44%, InfiCaldas con el 12,95% y el 6,96% restante lo componen municipios de los departamentos de Caldas y Risaralda (CHEC, 2010).

CHEC S.A E.S.P. opera como filial de la

Multiservicios Colombiana EPM cuya sede principal está ubicada en Medellín. Cuenta con una capacidad de 190MW² hidroeléctricos y 50MW termoeléctricos, distribuye electricidad a cerca de 376.000 clientes distribuidos en más de 40 Municipios de los departamentos de Caldas y Risaralda³.

4.2 MANTENIMIENTO FORESTAL

La silvicultura es una ciencia que se dedica al estudio de los métodos naturales y artificiales de regeneración y mejoramiento de los poblamientos forestales para satisfacer las necesidades del mercado y aplicar dicho estudio al mantenimiento y uso racional de los bosques o ecosistemas forestales (Alcaldía La Dorada, 2014) (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). De acuerdo con CORPOURABÁ (2005, p. 21)

El manejo sostenible implica ajustar actividades en el bosque que favorezcan el aspecto económico y la misma oferta. Se debe tener en cuenta los resultados del inventario estadístico y lo observado en el terreno después del aprovechamiento y lo estipulado en el Plan de Ordenación Forestal, para

² MW: megavatios. El **megavatio** es una unidad de potencia en el Sistema Internacional equivalente a un millón de vatios.

³ Municipios Caldas: Aguadas, Anserma, Aranzazu, Belalcázar, Chinchiná, Filadelfia, La Dorada, La Merced, Manizales, Manzanares, Marmato, Marquetalia, Marulanda, Neira, Norcasia, Pácora, Palestina, Pensilvania, Riosucio, Risaralda, Salamina, Samaná, San José, Supía, Victoria, Villamaría y Viterbo.

Municipios Risaralda: Apía, Balboa, Belén de Umbría, Dos Quebradas, Guática, La Celia, La Virginia, Marsella, Mistrató, Pueblo Rico, Quinchía, Santa Rosa de Cabal y Santuario – no tiene cobertura en la ciudad de Pereira.

establecer los tratamientos silviculturales que apunten al modelo que se desea establecer.

Dentro de la silvicultura, el mantenimiento forestal se enmarca como el conjunto de métodos o estrategias implementadas para atender las necesidades de las especies vegetales según sea su propósito o fin productivo (CORPOURABÁ, 2005). En el contexto local y en el caso particular de este estudio, dicho campo de acción incluye todas las metodologías para el control del crecimiento y desarrollo de los árboles que circundan la red eléctrica de transmisión y distribución de la CHEC S.A E.S.P.

En el caso estudiado en esta investigación el mantenimiento forestal es de tipo correctivo, ya que se asume la presencia no controlada de la vegetación que en gran medida no ha tenido un adecuado manejo silvicultural, pues la vegetación intervenida estaba presente antes del montaje y/o construcción de las líneas eléctricas. Las actividades forestales se realizan principalmente en guaduales, franjas boscosas protectoras o zonas de conservación, al igual que árboles plantados por los vecinos de los corredores eléctricos.

Actualmente el control de la vegetación está enfocado en dos actividades principalmente: tala y poda. La tala (talaraza o proceso de corte) se realiza en casos específicos en los cuales, técnicamente, existe un alto riesgo por descargas eléctricas y no hay alternativas de mantenimiento periódico, debido al peligro existente para la comunidad o para el personal encargado. Un ejemplo claro es la presencia de guaduales o especies de rápido crecimiento, al igual que individuos arbóreos con problemas fitosanitarios que conllevan daños estructurales causados por pudrición. Otro problema recurrente es el mal desarrollo de las plantas que conlleva a cargas excesivas sobre uno de los laterales del individuo arbóreo, convirtiéndose de ese modo en una afectación potencial para la red.

En cuanto a la poda, esta se efectúa de manera técnica y periódica, con ella se busca controlar el crecimiento de los árboles y mantener las distancias mínimas de seguridad, como se muestra en la *Figura 1*, establecidas para este tipo de infraestructuras (Entre 3 y 5 metros según corresponda).

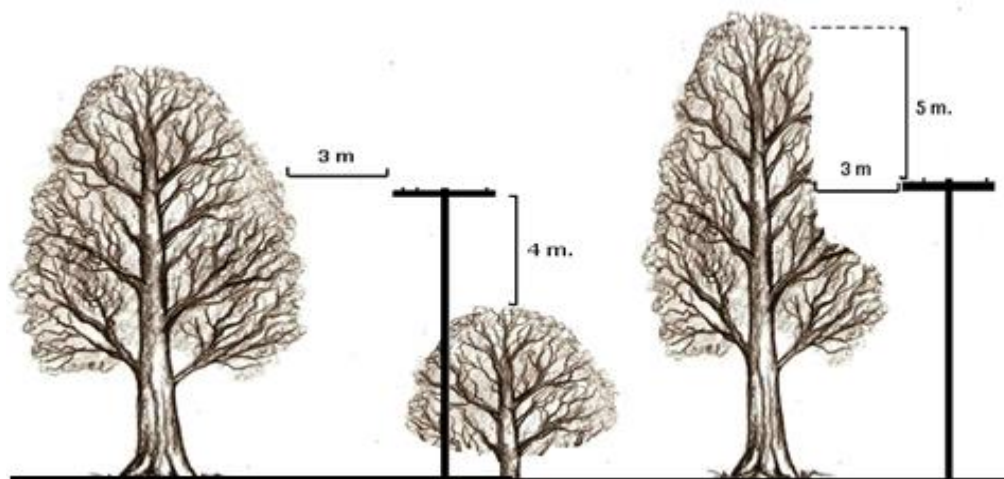


Figura 1: Distancias de seguridad

Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A. E.S.P.

Por consiguiente, el mantenimiento implementado en CHEC S.A. E.S.P. es de dos tipos, mecánico y manual. El primero se utiliza en aquellos sitios donde existe la posibilidad de ingresar con ayuda de vehículos como *carro canasta* con sierras mecánicas adaptables, siendo este el más práctico, seguro y eficiente. Por otra parte, el mantenimiento manual es más generalizado, siendo mucho más complejo, pues requiere un nivel técnico avanzado *Figura 2*. Este último es el más usado debido a la distribución de los conductores de energía, los cuales están ubicados en sitios remotos o lejos de las vías en un gran porcentaje.



Figura 2: Mantenimiento mecánico y manual de líneas de distribución

Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A. E.S.P.

4.3 CIRCUITO ELÉCTRICO

Es necesario aclarar que la red de transporte de energía eléctrica está constituida por la infraestructura necesaria para llevar el servicio hasta los puntos de consumo desde el sitio de generación (conductores). En otras palabras, una línea de transporte de energía eléctrica o línea de alta tensión se constituye como el medio físico o circuito mediante el cual se realiza la transmisión de la energía desde el sitio de generación hasta su destino final o hasta el cliente.

Este sistema consta de una infraestructura que tiene como fin ofrecer una utilidad real como servicio, ya sea para uso residencial, industrial, comercial, etc. Después del proceso de generación, el sistema se acondiciona de tal forma que en su transporte y distribución a los centros de consumo tenga el mínimo de pérdidas. La electricidad llega a los centros de distribución (subestaciones) desde los cuales es enviada a los centros de consumo, donde estos la reciben de acuerdo a sus instalaciones, ya sean 110, 127, 220 V, etc.

Se consideran como instalaciones eléctricas: “los circuitos eléctricos con sus componentes, tales como, sistemas conductores, equipos, máquinas y aparatos que conforman un sistema eléctrico y que se utiliza para la generación, transmisión, transformación, distribución o uso final de la energía eléctrica” (Ministerio de Minas y Energía, 2013, p. 9). Los circuitos de distribución que son objeto de análisis en este estudio están ubicados al final de la cadena de transporte de energía, estos llevan el servicio desde la subestación hasta el consumidor final.

4.4 IMPLEMENTACIÓN DEL SIG

Por medio del uso del software de análisis geoespacial se planificó el espacio geográfico ubicado en las franjas de las redes de media tensión, con el fin de hacer el análisis de las variables relacionadas con la interacción de la vegetación con el sistema de redes enfocado en su nivel de afectación y tomando como base las variables de localización, densidad, distribución y características generales de las especies forestales analizadas.

Para este fin, la inspección se ha constituido como la herramienta fundamental para diagnosticar el estado de los circuitos y la obtención de información para la alimentación de las bases de datos, es por ello que desde años atrás se ha venido mejorando el detalle de las mismas y aunque la cantidad de información y seguimiento ha variado de un periodo a otro, es

evidente que la metodología para la toma y análisis de la información ha mejorado.

Desde el año 2010 en el cual se iniciaron los primeros acercamientos para la realización de las inspecciones de una manera más especializada, se hizo más clara la necesidad de realizar una gestión adecuada de la información que era recolectada. Para tal efecto, el trabajo de los grupos de recorrido se orientó a la recolección de datos tendientes a desarrollar una estrategia tecnológica que permitiera predicciones de los niveles de intervención forestal requeridos. El ejercicio propuesto tomó como base de análisis la información que es recolectada en campo mediante la georreferenciación e inventario forestal que se lleva a cabo sobre los circuitos de media tensión (13,2 v) en la subestación Altamar.

La importancia del análisis de los datos por medio de un SIG radica en el seguimiento y control que se debe hacer debido al crecimiento de la vegetación, así mismo el cumplimiento de la normatividad ambiental. Este alcance permite tener claridad respecto a las condiciones de desarrollo, cobertura, crecimiento, ubicación geoespacial, nivel de atención y distribución por especies en tiempo real. La estimación de dichas características conlleva al análisis y la proyección de estrategias, las cuales permiten hacer una mejor gestión del mantenimiento preventivo y mitigación el impacto ambiental en toda la zona de cobertura de las redes de distribución.

Si bien actualmente la información es recolectada mediante el aplicativo corporativo de visualización y consulta de información geográfica MapGuide como referente de ubicación, es necesario que el procesamiento de la misma se realice a través del software ArcGis, el cual permite una gestión, actualización y administración de la misma dentro del proceso de mantenimiento.

Para el diseño planteado se generaron los mapas temáticos correspondientes a zonificación de circuitos, análisis de coberturas de suelos, puntos de vegetación, polígonos de áreas de vegetación y densidad espacial o mapa de calor. Estos insumos permitieron la generación de la estrategia de mantenimiento (cronograma de actividades) y sirvieron como herramienta fundamental en la ingeniería de mantenimiento de los circuitos estudiados.

4.5 VISIÓN GLOBAL DEL SISTEMA

El consumo de energía eléctrica en los últimos años ha crecido considerablemente debido a que dicho recurso es fundamental para el

desarrollo económico y social de una región o un país. Dentro de dicho desarrollo económico se ha hecho claro que la calidad del servicio es un tema de amplia investigación debido al interés que poseen los operadores de red en esta temática, pues esta representa el principal reto.

Con los actuales requerimientos del mercado, es necesaria la prestación del servicio bajo criterios estrictos de calidad de la energía, seguridad y continuidad en el servicio. Bajo estos parámetros se mide la eficiencia y a partir de estos se diseñan estrategias que permitan la prestación del servicio en condiciones cada vez mejores, que satisfagan las necesidades crecientes de los clientes.

La visión del futuro del sector eléctrico depende del potencial de la continua innovación tecnológica en todos los niveles. En la administración de activos, por ejemplo, el uso analítico puede ayudar a mejorar la eficiencia a través de estrategias de mantenimiento predictivo, incluyendo modelos de predicciones de fallas que involucren la administración en tiempo real de la gran cantidad de información que se genera desde los diferentes frentes de trabajo y los requerimientos del cliente directamente ligados a la calidad del servicio.

Debido al importante impacto económico y social del sector, las compañías están bajo una fuerte presión por la necesidad de mejorar su eficiencia y lograr no solo una mayor competencia en costos, sino también un nivel destacado de desempeño en relación con el medio ambiente. Por otra parte, existe presión de demostrar prácticas responsables, innovadoras y sustentables.

Desde el punto de vista social, es necesario tener en cuenta los factores determinantes para el negocio eléctrico. Dentro de las principales características técnicas y económicas de la sociedad, es claro que esta industria se reviste de un carácter esencial para el desarrollo y el funcionamiento de la vida. Razón por la cual es fundamental garantizar estándares de calidad en la cobertura del servicio acordes con las necesidades del cliente: eficiencia, calidad del servicio, administración adecuada del recurso y demás factores señalados por la superintendencia de servicios.

De otra parte, es importante recordar que la energía es un recurso limitado. De esta, durante el proceso de generación y transporte, se pierde aproximadamente un 65% en calor residual, igualmente por descargas en los circuitos o interrupciones del servicio causadas por múltiples factores, entre ellos los biológicos en su gran mayoría por la presencia de vegetación en contacto con la red.

Dentro del sistema, existen pérdidas de tipo comercial, las cuales se visualizan desde el estado financiero de la compañía. Estas corresponden a la diferencia entre la energía que es comprada y la energía que es vendida por el comercializador, en este CHEC-EPM. Por otra parte están las pérdidas de red.

El índice de pérdidas de red mide y analiza el índice de pérdidas dentro del sistema de distribución del operador teniendo en cuenta la energía de entrada y las salidas del sistema, desde las entradas físicas hasta los medidores de los usuarios. Es así como el comercializador atiende el 50% del mercado y por tanto asume el 90% de las pérdidas.

El carácter económico ha estado inmerso a lo largo del tiempo en el negocio eléctrico, convirtiéndose así en una prioridad dominante sobre los recursos naturales; debido a la estrecha relación con el desarrollo y crecimiento económico que la electricidad ha tenido sobre el entorno. Solo hasta hace pocos años en la historia colombiana se dio inicio a la regulación y control del impacto ambiental relacionado con dicho negocio. Con la constitución de 1991 y posteriormente la ley 99 de 1993, en la cual se regula el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, toma sentido y mayor fuerza la conservación del medio ambiente.

Mediante la articulación de las directrices internacionales, constitucionales y de política ambiental nacional, Colombia ha avanzado en la formulación de normas que regulan los aspectos referentes al uso y disposición de los recursos ambientales desde el ámbito eléctrico. El Decreto Ley 2811 de 1974 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011) señala las categorías de las áreas protegidas, indica que se deben analizar en cada caso los proyectos eléctricos que se desarrollen en el país para considerar las limitaciones que hay en el uso del territorio para el desarrollo del proyecto, igualmente en el artículo 62 se hace referencia a servidumbres en líneas de transmisión.

Así, el sector de la electricidad, hoy día, requiere comprometerse mucho más con el desarrollo sustentable que en el pasado, teniendo en consideración los cambios económicos, políticos, tecnológicos y sobre todo ambientales. La flexibilidad ante el cambio es la clave para mantenerse en sintonía con los parámetros exigidos por el desarrollo.

4.6 MARCO LEGAL

Desde el punto de vista legal, el Ministerio de Minas y Energía mediante el RETIE (2013) establece los parámetros para la instalación y mantenimiento de infraestructuras eléctricas. Dentro de sus normas, define la instalación eléctrica como el “conjunto de aparatos eléctricos, conductores y circuitos asociados, previstos para un fin particular: Generación, transmisión, transformación, conversión, distribución o uso final de la energía eléctrica. La cual para los efectos del presente reglamento, debe considerarse como un producto

terminado” (p. 24). Igualmente establece el factor de riesgo como la “condición ambiental o humana cuya presencia o modificación puede producir un accidente o una enfermedad ocupacional” (p. 23).

El sector eléctrico se encuentra normalizado mediante la Ley 142 de 1994. Conforme la regulación el sector eléctrico colombiano se encuentra dividido en cuatro subsectores: generación, transmisión, distribución y comercialización.

En la actualidad la CREG (*Comisión de Regulación de Energía y Gas*) es se encarga de regular los servicios nacionales de electricidad y gas tal como determinan las leyes 142 y 143 de 1994. Esta tiene como fin sistematizar las actividades de los servicios públicos.

De acuerdo con el Artículo No. 1 del RETIE

El objeto fundamental de dicho reglamento es establecer las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de las vidas tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico (Ministerio de Minas y Energía, 2013, p. 8)

Para este fin dicho reglamento establece las distancias mínimas de seguridad que se deben mantener respecto de cualquier estructura física, para el caso en mención con respecto a los circuitos de 13,2 V debe ser 5,2 metros.

De igual modo, existen otras normas y regulaciones que rigen los sistemas de distribución tal como la resolución 97 de 2008 (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2008) en la cual se definen los principios generales y los procedimientos para la imputación de cargos por uso indebido de los sistemas, tanto de transmisión regional como de distribución local. De acuerdo a la Ley 143 de 1994, citada anteriormente, específicamente en su artículo 6o, contempla que “las actividades relacionadas con el servicio de electricidad se regirán principios de eficiencia, calidad, continuidad, adaptabilidad, neutralidad, solidaridad y equidad” (Congreso de Colombia, 1994, p. 2).

Tal vez una de las leyes más importantes para el sector forestal corresponde a la ley 99 de 1993. Mediante esta ley fue creado el ministerio del medio ambiente y se organiza el sistema nacional ambiental – SINA. A partir de la consumación de esta ley surgen las Corporaciones Autónomas Regionales – CAR - y las cuales ejercen la autoridad ambiental en las diferentes localidades y tienen entre sus múltiples funciones otorgar los permisos ambientales.

Después de ello, el Ministerio del Medio Ambiente (1996, pp. 19-20) construyó el decreto 1791 de 1996, mediante el cual estableció el régimen para el aprovechamiento forestal, en este se contemplan algunos artículos relevantes que son presentados a continuación:

ARTICULO 56. Si se tratase de árboles ubicados en predios de propiedad privada, la solicitud deberá ser presentada por el propietario, quien debe probar su calidad de tal, o por tenedor con autorización del propietario. Si la solicitud es allegada por persona distinta al propietario alegando daño o peligro causado por árboles ubicados en predios vecinos, sólo se procederá a otorgar autorización para talarlos, previa decisión de autoridad competente para conocer esta clase de litigios.

ARTICULO 57. Cuando se requiera talar o podar árboles aislados localizados en centros urbanos que por razones de su ubicación, estado sanitario o daños mecánicos estén causando perjuicio a la estabilidad de los suelos, a canales de aguas, andenes, calles, obras de infraestructura o edificaciones, se solicitará por escrito autorización ante la autoridad competente, la cual tramitará la solicitud de inmediato, previa visita realizada por un funcionario competente que compruebe técnicamente la necesidad de talar los árboles.

ARTICULO 58. Cuando se requiera talar, trasplantar o reubicar árboles aislados localizados en centros urbanos, para la realización, remodelación o ampliación de obras públicas o privadas de infraestructura, construcciones, instalaciones y similares, se solicitará autorización ante la Corporación respectiva, ante las autoridades ambientales de los grandes centros urbanos o ante las autoridades municipales, según el caso, las cuales tramitarán la solicitud, previa visita realizada por un funcionario competente, quien verificará la necesidad de tala o reubicación aducida por el interesado, para lo cual emitirá concepto técnico.

La autoridad competente podrá autorizar dichas actividades, consagrando la obligación de reponer las especies que se autoriza talar. Igualmente, señalará las condiciones de la reubicación o trasplante cuando sea factible.

Parágrafo. Para expedir o negar la autorización de que trata el presente artículo, la autoridad ambiental deberá valorar entre otros aspectos, las razones de orden histórico, cultural o paisajístico, relacionadas con las especies objeto de solicitud.

ARTICULO 59. Los productos que se obtengan de la tala o poda de árboles aislados, en las circunstancias descritas en el presente capítulo, podrán comercializarse, a criterio de la autoridad ambiental competente.

ARTICULO 60. Cuando para la ejecución de proyectos, obras o actividades sometidas a régimen de licencia ambiental o plan de manejo ambiental, se requiera de la remoción de árboles aislados en un volumen igual o menor a veinte metros cúbicos (20M³), no se requerirá de ningún permiso, concesión o autorización, bastarán las obligaciones y medidas de prevención, corrección, compensación y mitigación, impuestas en la licencia ambiental, o contempladas en el plan de manejo ambiental. Sin perjuicio, en este último caso, de las

obligaciones adicionales que pueda imponer la autoridad ambiental competente.

Por medio de las normativas presentadas se establecen las bases para la intervención forestal y se diseñan así las estrategias para el mantenimiento de redes de media tensión.

En el ámbito forestal existe la ley 1021 de 2006 (Congreso de Colombia, 2006) la cual objetiva instaurar el Régimen Forestal Nacional y que está conformado por un conjunto de normas legales y coordinaciones institucionales que tienen como meta promover el desarrollo sostenible del sector forestal colombiano en el marco del Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Considerada como de “prioridad nacional e importancia estratégica” para el desarrollo y promoción de las actividades forestales, esta ley se ha convertido en el marco jurídico e institucional para el cuidado del bosque natural y la promoción de la reforestación comercial en el país.

Adicionalmente, desde el marco normativo ambiental, la Carta Constitucional reconoce la protección del medio ambiente como principio fundamental y derecho colectivo, en ella se consignan los elementos claves que actualmente orientan el manejo ambiental desde todo punto de vista: sostenibilidad, eficiencia económica, control fiscal, participación ciudadana, etc.

En 2010 se expidió el Decreto 2372 el cual reglamenta el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y las categorías de manejo que lo conforman y los procedimientos generales relacionados con éste. Tal decreto ha cobrado gran importancia para el trazado de obras y el mantenimiento de las ya existentes, pues los requerimientos para zonas de especial interés se enfocan hacia la conservación, haciendo necesario el desarrollo y aplicación de planes de mitigación del impacto ambiental y acuerdos con las normas nacionales e internacionales (Presidencia de la República Colombia, 2010).

De otro lado, mediante la resolución 1526 de 2011 fueron establecidos los parámetros y procedimientos para la sustracción en reservas forestales tanto nacionales como regionales, además de la realización de acciones definidas de interés social o utilidad pública (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012). Así, dicha resolución reglamenta cualquier intervención que se desarrolle, sobre todo en aquellas zonas que por su significación ecológica se han convertido en parques naturales o áreas protectoras productoras.

Por otra parte, la ley 1450 de 2011 del Plan Nacional de desarrollo 2010 – 2014 se enfoca en la sostenibilidad y equidad en el uso de los recursos naturales. En esta última ley se establecen los criterios para la delimitación de los ecosistemas, definiendo que son las autoridades ambientales regionales las que deben realizar los estudios para definir los usos de estos ecosistemas.

Igualmente define las condiciones para construcción de proyectos en dichos contextos ambientales (Departamento Nacional de Planeación, 2011).

El Sector Eléctrico Colombiano – SEC –, ha sido un importante actor en el proceso de construcción de la visión ambiental del país, este evalúa constantemente el impacto de sus actividades en todas las esferas del desarrollo de la nación y su proyección de crecimiento establecida para la próxima década. El compromiso ambiental como elemento estratégico de la eficiencia y sostenibilidad empresarial es un elemento clave para la prestación del servicio relacionado con el uso de los recursos naturales renovables y no renovables. Dentro de ese grupo de agentes se encuentra la CHEC S.A. E.S.P.

De ese modo, la reglamentación específica del área forestal es clara respecto al uso del paisaje, intervención, ruido, disposición de sustancias químicas, impactos biofísicos, sociales, ambientales y uso de energías alternativas para el sector eléctrico. Para el caso que atañe a este estudio, el uso del recurso forestal está regulado desde las corporaciones y es menester la evaluación y control del mismo por parte de dichos entes gubernamentales. Para retomar, el impacto del mantenimiento ambiental debe estar sustentado en el uso racional del recurso y las actividades de mitigación establecidas en los planes de manejo generados por parte de la industria eléctrica en cualquier área de negocios que se desarrolle.

Para lograr el cumplimiento de la normatividad ambiental se hace necesario desarrollar actividades de ordenamiento en los procesos de mantenimiento y seguimiento de la masa boscosa asociada a las intervenciones eléctricas. En ese sentido, es indispensable la generación de alternativas técnicamente sostenibles y ecológicamente viables que permitan mayor desarrollo del sector y no atenten contra el patrimonio ecológico de la nación conforme las leyes y decretos expuestos anteriormente.

4.7 MANTENIMIENTO FORESTAL EN CORREDORES DE LÍNEAS ELÉCTRICAS

Con la generalización del servicio y una mayor cobertura eléctrica en las sociedades contemporáneas han surgido nuevas variables en el mantenimiento y eficiencia. Es así como la intervención forestal en los corredores de los circuitos eléctricos se ha tornado poco a poco una acción común, pues requiere un control periódico y preventivo, de tal forma que se mantenga la prestación del servicio con calidad y seguridad, ya que gran parte de las interferencias en el suministro de energía eléctrica ocurren por el contacto directo o intermitente de los árboles con la red de distribución. Esta situación provoca, entre otras,

que los elementos que conforman dicha red fallen o en su defecto disminuyan su vida útil. Ahora bien, la principal y más importante razón es la seguridad pública, el contacto directo de la vegetación con las líneas eléctricas puede ocasionar que esta quede energizada, pudiendo causar descargas o electrocuciones al entrar en contacto con los árboles.

El concepto de *arborización* se ha desarrollado de manera independiente al de la energía eléctrica, sin embargo, a lo largo del tiempo ha quedado demostrado que existe una relación muy cercana ligada al mantenimiento y calidad del servicio. Con el aumento de la cobertura de las redes eléctricas y el creciente interés en la preservación del medio ambiente, se ha hecho frente al reto de prestar un servicio confiable y realizar un mantenimiento de la vegetación, minimizando así el impacto en el entorno.

Una de las actividades de mayor importancia en el mantenimiento de las líneas de transmisión eléctrica es el control de la vegetación ubicada en la zona de servidumbre. Esta franja que rodea el sistema de redes está influenciada por múltiples factores relacionados con las condiciones biofísicas del sitio; dichas características deben ser analizadas de manera detallada para desarrollar estrategias de mantenimiento y control de la vegetación.

Por su parte, los efectos de la vegetación sobre la red se traducen principalmente en interrupciones del flujo de energía, las cuales pueden ser momentáneas o permanentes y conllevar a pérdidas o multas considerables para la industria prestadora del servicio eléctrico.

Dentro del mantenimiento forestal en el área de la energía eléctrica se encuentra la poda o remoción de especies arbóreas que crecen cerca de las líneas aéreas de distribución eléctrica, esta actividad se realiza con el objetivo de reducir la interferencia o las fallas en el suministro de energía y mantener un nivel de confiabilidad en la prestación del servicio. Las interrupciones del flujo de energía, por la presencia de vegetación pueden ser momentáneas o permanentes y conllevar a pérdidas o multas considerables para la industria prestadora del servicio eléctrico.

4.7.1 Causas de falla por contacto de la vegetación con las líneas de transmisión

Los árboles en contacto directo con los conductores aéreos energizados pueden causar interrupciones, proporcionando una vía de flujo de corriente por defecto, generando de este modo fallas en el sistema y por consiguiente cortes de energía. Este modo de fallo eléctrico generado por la vegetación es el objeto del análisis en esta investigación. El potencial de falla causado por el dosel en

contacto con un conductor energizado está influenciado por tres características claves involucradas presentadas a continuación (Ajayi, Osayi, Jerome, & Omoregie, 2016).

El gradiente de tensión: Es una función de la diferencia de voltaje entre dos puntos y la distancia entre ellos. El contacto de los árboles implica altos gradientes de tensión generando probables interrupciones. La operación de altos voltajes y la baja separación de estos generan gradientes más altos.

Diámetro: El diámetro del árbol es una consideración importante. Un diámetro mayor implica un conductor mayor y por lo tanto es más probable que cause un fallo en comparación con algún tipo de contacto con un diámetro menor.

Especies: Existen diferencias relacionadas con la conductividad de las especies, fácilmente observables de acuerdo a las características físicas de cada individuo. Ahora bien, dichas propiedades pueden variar de acuerdo a cada estación del año.

En la actualidad se ha empezado a hablar en términos de programas de mantenimiento preventivo, así como de diseño y manejo de la vegetación, enfocándose en la comprensión de los requisitos del sistema y las prácticas de arboricultura acordes con los montajes eléctricos. Así mismo, existen factores primordiales al momento de hacer el análisis correspondiente de la cobertura vegetal, tales como:

- El efecto de la vegetación al crecer y entrar en contacto con los conductores o líneas de energía genera calentamiento por resistencia, marchitamiento y muerte progresiva de los tejidos vegetales. Este tipo de vías de falla son menos conductivas que la producida en el contacto inicial, por tanto se considera que no son una amenaza grave para la fiabilidad del sistema debido a la disminución de la conductividad.
- La amenaza por la presencia de árboles para la fiabilidad es la misma en toda la longitud del circuito, aunque esto solo compromete la prestación del servicio del segmento posterior al sitio de interrupción. Este riesgo es mayor en las líneas de múltiples fases.
- Por otra parte, La fiabilidad del sistema no se logra solo manteniendo una distancia determinada entre la vegetación y los conductores (franjas despejadas o zonas de servidumbre). La presencia de individuos arbóreos con diámetros considerables representa un alto riesgo si entra en contacto con una línea de alta tensión ya sea porque éste supera las distancias de seguridad o los conductores pivotean por fuera de la alineación del circuito.

- En consecuencia, si no se puede encontrar la causa de la interrupción, es probable que sea debido a la vegetación. Aunque es importante aclarar que la cobertura boscosa no es la única causante de fallas momentáneas.

Según John Goodfellow (2006), investigador en manejo de vegetación con más de 25 años de experiencia en la industria eléctrica norteamericana, y Sebastián Balmaceda Meza (2010, p. 27), las principales acciones a tener en el control de la vegetación para evitar los casos anteriormente citados son:

- Poda apropiada e integral en toda la línea, contrarrestando el rápido crecimiento de ciertas especies de plantas (*Guadua angustifolia*, *Gliricidia sepium*, *Gynerium sagittatum*, etc)
- Identificar las ramas de alto riesgo mediante el reconocimiento y análisis de los criterios de cada especie (forma, tamaño, diámetro, etc.)
- Inspecciones provisionales y de mantenimiento en sitios de alto riesgo, seguimiento a especies y elementos críticos de la infraestructura de la línea.
- No solo tratar de aumentar las distancias mínimas de la línea (ampliar franjas de seguridad).
- Enfocarse en los sitios de alto riesgo no mejora necesariamente la confiabilidad de la línea. El plan de mantenimiento de la vegetación debe aplicarse de manera integrada.

Un plan de mantenimiento de la vegetación involucrada con las líneas de transmisión debe tomar en cuenta varios factores que permitan dicha gestión de manera integral. El conocimiento adecuado de todo el sistema y la caracterización del mismo permiten una visión integral de los circuitos, por tanto, los factores estructurales y de diseño cumplen un papel fundamental:

- Se deben tener distancias mínimas de acuerdo a los niveles de tensión, la ubicación de las líneas y la normatividad establecida.
- Considerar el comportamiento del conductor o líneas de tensión, movimiento del conductor de acuerdo a la carga térmica y mecánica (Vanos), el movimiento vertical de este por causa del viento y la distancia mínima de aislamiento.
- Notificar oportunamente cualquier tipo de amenazas al centro de control.

- Tomar las acciones correctivas inmediatas tales como identificar la ubicación donde existen dificultades para el mantenimiento, así mismo la documentación y seguimiento de las acciones específicas tomadas para la localización y caracterización del riesgo.
- Desarrollar inspecciones periódicas con fines preventivos.
- Realizar y ejecutar un plan de manejo de la vegetación flexible, tomando en cuenta las condiciones ambientales por temporadas invernales, prestación de asistencia a eventos no programados como emergencias en el sistema y el trámite de permisos por servidumbre para la ejecución de las actividades con la debida anticipación.

El ANSI (American National Estandar) establece los criterios para el mantenimiento de forestal en Estados Unidos, tópicos que se toman como referencia técnica y científica en el área forestal. El ANSI (2006, pp. 39-41): *Manejo Integrado de Vegetación para Servidumbres de Servicios Eléctricos*, establece seis pasos para un programa de manejo integrado de la vegetación:

- *Determinación del objetivo.* Impacto ambiental, control efectivo e impacto económico. Basados en factores de sitio como tipo de vegetación, equipos, recurso financiero y humano.
- *Evaluación del sitio.* Inventario de la vegetación de acuerdo a los requerimientos técnicos.
- *Definición del umbral de acción.* Definido por el ancho de la servidumbre y largo de la línea.
- *Evaluación y selección de los métodos de control.* Manuales o mecánicos.
- *Implementación del programa de manejo integral de la vegetación.* Se toma en cuenta la importancia de la línea o circuito, distancias mínimas de seguridad, geografía y accesibilidad.
- *Monitoreo y control de la calidad.* Documentar los procesos desarrollados con el fin de evaluar los resultados y la eficiencia del plan.

4.8 ANTECEDENTES

Desde su conformación como empresa de energía a nivel regional, para CHEC S.A. E.S.P. el mantenimiento de las redes eléctricas ha sido el pilar

fundamental a mejorar para la prestación de un buen servicio. Para obtener resultados óptimos en este aspecto, dicho mantenimiento se clasifica en tres categorías: mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

La aplicación del mantenimiento predictivo, tal como ya fue comentado anteriormente, se ha basado en el análisis de parámetros de funcionamiento cuya evolución permite detectar un fallo antes de que éste tenga consecuencias graves para el sistema. Tal es el caso de la vida útil de la infraestructura o el comportamiento del servicio con base en los datos históricos arrojados por los sistemas de seguimiento y control en tiempo real. El estudio minucioso de todas las variables de falla permite establecer los puntos críticos en el sistema y su corrección temprana, sin afectar la prestación del servicio eléctrico. Mediante este sistema de observación y vigilancia, el reporte inicial acerca de la salida de los circuitos y su posible causa, es emitido por el centro de control; sin embargo, la falta de datos relacionados con la ubicación de los daños impedía determinar las condiciones exactas y el tipo de vegetación a intervenir, pues en la mayoría de los casos dichos reportes no contenían información completa y los daños reportados sin aparente causa eran relacionados con vegetación.

Por su parte, el mantenimiento preventivo, dentro del cual están enmarcadas las actividades forestales, no se llevaba a cabo mediante la programación de inspecciones de verificación de la infraestructura, ya que estas solo se abordaban desde su funcionamiento o estado mecánico, y a pesar de que se realizan periódicamente, no existía un plan establecido para el control de la vegetación.

Debido a la situación anterior, no se podía hacer un control temprano y una mejor planificación de las labores, reduciendo daños y manteniendo un estándar más alto de seguridad para el personal que desarrollaba la labor. El mantenimiento correctivo era común, este se llevaba a cabo una vez reportados los incidentes al interior del sistema o la salida de los circuitos. Este tipo de labor implica la corrección de los fallos técnicos y va precedido de pérdidas económicas y en algunos casos sanciones por incumplimiento de las normas de calidad.

Actualmente los tres tipos de mantenimiento son aplicados incluyendo el correctivo, debido a las eventualidades en la infraestructura causadas por condiciones climáticas, geológicas, ambientales o sociales. La diferencia entre los tres radica en el porcentaje de incidencia de cada uno de ellos dentro de la planificación y la disminución de fallas o salidas de los circuitos.

Dentro del esquema forestal, el mantenimiento de la vegetación arbustiva y arbórea, era desarrollado de manera correctiva en gran medida, pero su mantenimiento preventivo era casi nulo y el mantenimiento predictivo imposible

de realizar sin la información necesaria para llevarlo a cabo. No existían metodologías técnicas que permitieran el proceso de una planificación adecuada. Solo fue hasta el año 2010 que se inició la implementación de nuevas estrategias para el control de los fallos en las redes por causa de factores bióticos

Los sistemas de recorridos y ubicación de vegetación no eran claros al igual que la metodología de registro, estos no permitían efectuar análisis acerca del tipo de vegetación presente y su posible manejo. En respuesta a ello y debido al alto número de fallas anuales por presencia de vegetación, en casi todos los circuitos adscritos al sistema, se inició al proceso de caracterización de vegetación.

En la fase inicial se efectuaron recorridos parciales sobre los ejes de los circuitos con el fin de establecer los puntos neurálgicos con sus principales características. Se atendieron los circuitos de mayor importancia, identificando el porte, la especie y su ubicación respecto a la red, datos basados en la georeferenciación y que tuvieron como finalidad ubicar geoespacialmente cada uno de los individuos arbóreos adyacentes a la red eléctrica. Este primer paso permitió separar los recorridos normales que se desarrollaban y los cuales estaban enfocados hacia el estado de las redes o infraestructura física.

Otro elemento identificado, consistía en las malas prácticas forestales a lo largo de los corredores eléctricos. Se realizaban malos cortes, no había planificación o procedimientos adecuados para la intervención del árbol, así como tampoco existían trámites de permisos con particulares. Las malas intervenciones devinieron en problemas con el cliente, daños en la infraestructura y falta de claridad en la atención de las políticas ambientales de la empresa por desconocimiento de los requerimientos técnicos legales en el ámbito forestal.

La falta de cohesión con las entidades ambientales suscritas a la región hizo necesaria la implementación de estrategias para adoptar técnicas nuevas vinculadas al manejo de la vegetación y la gestión adecuada de los recursos forestales. Igualmente, dicha falta de claridad no permitía implementar medidas frente a la seguridad del personal para la atención de este tipo de actividades.

La reestructuración iniciada en el año 2010 consistió, en primera medida, en la capacitación del personal encargado del mantenimiento eléctrico general. El establecimiento de bases metodológicas requirió un profundo acercamiento a las normas de seguridad desde el punto de vista técnico en las labores de mantenimiento forestal - eléctrico, pues se encontró que para la fecha existían serios vacíos en la normatividad.

Fue así como dentro de este ordenamiento se definieron parámetros y metodologías para mejorar y hacer más seguro el mantenimiento forestal tomando como referencia la caracterización de la vegetación y la especialización del personal en dicha área de trabajo. Se conformaron cuatro grupos de trabajo orientados exclusivamente al control de la vegetación ubicada sobre los corredores biológicos de las líneas, tanto de media como de alta tensión.

A nivel organización, durante los años 2010 - 2011, se materializó un gran avance frente al ordenamiento forestal dentro de CHEC S.A. E.S.P. (Grupo Empresarial EPM, 2011, p. 1), fortaleciéndose la política ambiental de la empresa que ya había sido planteada desde el año 2008 y la cual contempla los siguientes puntos:

- Velar por el cumplimiento de la legislación ambiental y los compromisos voluntarios suscritos en el ámbito de su actuación.
- Realizar la gestión ambiental con enfoque preventivo y hacer uso racional de los recursos que emplea.
- Mejorar continuamente el desempeño ambiental, en el marco de las posibilidades tecnológicas y económicas.
- Promover y fortalecer la cultura ambiental de los grupos de interés pertinentes.
- Afianzar la comunicación transparente de la gestión ambiental con los grupos de interés y propiciar su participación basados en relaciones de respeto y confianza mutua.

En la actualidad se continúa con el proceso de ajuste y mejora de acuerdo a los nuevos retos para garantizar la atención del sistema de redes de media tensión. El cumplimiento de la normatividad y el mejoramiento del servicio de atención al cliente son una constante. Todavía se aplican las medidas correctivas necesarias y se siguen los procesos de planificación y ejecución, pues aún es necesario fortalecer e implementar el control mediante el seguimiento y la estructuración de la base de datos para hacer una mejor gestión del recurso forestal.

5. METODOLOGÍA

El presente estudio se enmarca en la implementación de herramientas de posicionamiento y análisis geográfico en el sector eléctrico con el fin de involucrar el área forestal y ambiental, con la comercialización limpia de energía y al diseño de alternativas sostenibles en el sector. Para el desarrollo de esta acción se usaron datos biofísicos de cada uno de los individuos arbóreos ubicados espacialmente en la zona de interés y se desarrollaron estrategias de mantenimiento forestal a mediano y largo plazo.

Como referente metodológico se tomó el estudio de caso por permitir una evaluación detallada de los antecedentes, situaciones actuales y posibles acciones a ser desarrolladas. La validación de este tipo de metodología radica en su capacidad de adaptabilidad en otras situaciones problemáticas o elegidas como caso de estudio (Martínez Carazo, 2006).

Por su parte, la estrategia aplicada fue concebida en tres momentos principales: observación, análisis y desarrollo. En otras palabras, estudio de la necesidad de este tipo de producto en la empresa, estudio de las variables necesarias que optimizarán el ejercicio y finalmente el uso de ArcGis como herramienta para el prototipado de la propuesta.

El soporte técnico para el proyecto tiene como base fundamental el uso de herramientas SIG, trabaja con el software licenciado ArcGis, el cual tiene una anuencia empresarial de uso privado perteneciente a la empresa CHEC S.A. E.S.P. y que actualmente está implementando la sistematización de las actividades forestales.

Gracias al apoyo de un grupo multidisciplinario encargado de la planificación y el mantenimiento de redes, se trabajó en el uso de estos insumos para dar solución a las necesidades y proponer una estrategia efectiva para la atención del recurso forestal.

5.1 TIPO DE TRABAJO

La metodología usada para el análisis de la situación tomada como problema de investigación consistió en un estudio de caso, para detallar las características de la actividad forestal en CHEC S.A. E.S.P. y las tecnologías aplicadas para la planificación y ejecución de las labores relacionadas al mantenimiento vegetal que rodea las líneas de energía de media tensión.

Tal como argumenta Piedad Cristina Martínez (2006) “el método de estudio de caso es una estrategia metodológica de investigación científica, útil en la generación de resultados que posibilitan el fortalecimiento, crecimiento y desarrollo de las teorías existentes o el surgimiento de nuevos paradigmas científicos” (p. 189). Además, continúa la autora, este tipo de trabajos de investigación siguen las siguientes fases (p. 191):

- Recolección de la información (trabajo de campo)
- Estructuración y organización de los datos
- Codificación de los datos (comparación de los datos con la literatura)
- Conceptualización y explicación del problema
- Socialización y ajuste de los resultados (*feedback*), y
- Elaboración de la tesis

5.2 UBICACIÓN GEOGRAFICA

Debido a la naturaleza del ejercicio planteado (recolección de datos, análisis, procesamiento y diseño de metodologías de mantenimiento), se determinaron los circuitos de la subestación ALTAMAR sobre los cuales se realizaron los análisis correspondientes, fueron tomados criterios de priorización de servicio y atención del cliente. En la Tabla 1 se muestran las principales características de cada uno de los circuitos intervenidos.

Tabla 1
Datos generales de los circuitos Altamar

Cod. Circuito	KV Nom.	Longitud (KM)	Apoyos	Transformadores	Clientes
AMR23L 12	13.2	69.8	372	113	788
AMR23L 13	13.2	82.1	513	179	956
AMR23L 14	13.2	65.5	635	214	1065

Bajo las anteriores consideraciones, se tomaron en cuenta criterios relevantes, como una mayor ingeniería en su atención e igualmente el hecho de ser considerados una muestra representativa de las condiciones existentes además de su ubicación estratégica para un análisis más controlado *Figura 3*. Esta selección fue realizada a partir del análisis de historiales de fallas e intervenciones existentes, motivo por el cual es posible establecer el porcentaje de afectación y el nivel de atención que requiere cada uno de los circuitos involucrados en el estudio.

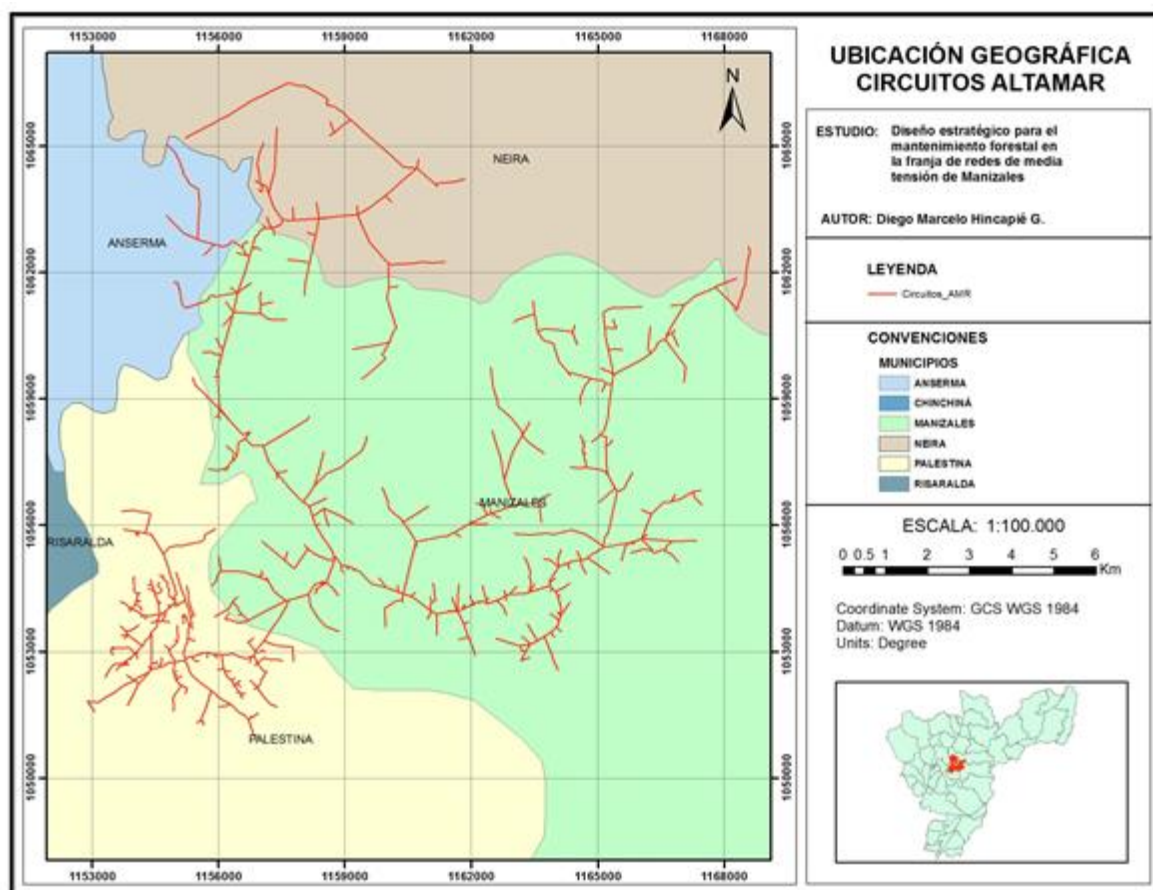


Figura 3: Mapa temático Ubicación Geográfica Circuitos Altamar
Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A. E.S.P.

5.3 PROCEDIMIENTO

De acuerdo con los parámetros expuestos, se tomaron en cuenta las siguientes fases en el proceso de recolección, análisis y evaluación de la información:

5.3.1 Fase 1. Recolección de la información. El análisis de históricos: Consistió en la revisión la base de datos que arroja información sobre el área en estudio. Contiene los registros históricos de toda la zona CHEC S.A. E.S.P.; si bien la información no es completa debido a los diferentes periodos en los cuales fue tomada y a la falta de control de los datos, esta permitió conocer los indicadores de atención y mantenimiento requeridos por la red de circuitos que corresponden a la subestación ALTAMAR.

Con base en los históricos se pueden identificar los puntos calientes a lo largo de las líneas, igualmente aquellos que han requerido mayor atención e inversión de recursos por causa de la vegetación (Anexo No. 1)

- Fallas en el sistema: tipos de fallas, causas, atención y tiempo de atención.
- Salidas programadas: apagones programados para mantenimiento. Se analizan tipos de mantenimiento, actividades realizadas y duración de los mismos.
- Remodelaciones: actividades de mantenimiento realizadas con el fin de mejorar cobertura e impacto. (Construcción de nuevas líneas, levantamiento de red, montaje de cable ecológico, seccionadores, etc.).
- Recorridos: número de recorridos sobre el circuito y periodicidad de los mismos.
- Características generales: longitud, número de usuarios, tramos, sistema de reconectores, subestación, cobertura, etc.

Plan anual de poda: Este documento contiene la proyección para los recorridos de mantenimiento anual establecidos por el sistema de gestión ADE (Área de Mantenimiento de Redes). El cronograma se determina con base en el estudio de históricos y las necesidades por circuito, el nivel de importancia establecido y la disponibilidad del recurso humano para toda la subregión Centro.

Equipo humano: Los datos son recolectados por un grupo de trabajo conformado por un tecnólogo forestal y un técnico electricista. Esto permite que la inspección de la red eléctrica se realice a nivel estructural y vegetal.

Igualmente, la descarga y sistematización de los datos recolectados está a cargo de un profesional que verifica los recorridos, hace seguimiento cronogramas, verifica la información tomada en campo y edita de acuerdo a las novedades que surjan.

Para la recolección de información espacial de campo se usó un equipo GPS, el cual cuenta con las siguientes características:

Version windows Mobile R
Aplicativo GvSIG Mobile
SO CE 5.2.20269 (Cimpilacion 20269.1.3.0)
Procesador: Samsung S3C2443
Memoria 113.57 MB
Id. del dispositivo: Trimble55

La recolección de datos se realizó sobre el eje central y posteriormente sobre cada uno de los ramales. Esta información solamente se colectó sobre la red primaria, no se tuvo en cuenta la red secundaria compuesta por las líneas o acometidas que llevan el servicio directamente a las viviendas.

La información espacial recolectada en campo tiene dos formatos, el primero es el formato shapefile el cual es generado por el GPS, por otra parte, existe un aplicativo diseñado por el área de sistemas (TI) llamado "INVENTARIO" y que fue desarrollado en Visual Basic (VB), con el fin de generar tablas descriptivas de las especies encontradas en cada punto georeferenciado y demás información necesaria para el estudio.

El sistema de coordenadas de captura de los equipos GPS es WGS1984 y posee las siguientes características:

WKID: 4326 Authority: EPSG
Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian: Greenwich (0.0)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.0
Semiminor Axis: 6356752.314245179
Inverse Flattening: 298.257223563

Datos recolectados en campo - Tipo de vegetación: gradual, bosque natural, bosque secundario, bosque plantado, árbol aislado, plantación, frutales, cerca viva, café sombrío, otros.

- Nombre común:
- Nombre científico:

- Familia:
- Cantidad:
- Atura

Porte alto: superior a 15 m

Porte medio: entre 7 y 15 m

Porte bajo: menor a 7 metros

Diámetro:

- Alto: superior a 50 cm
- Medio: entre 10 y 50 cm
- Bajo: inferior a 10 cm

Distancia horizontal: con respecto a la red

Distancia vertical: con respecto a la red

Ubicación: izquierda, derecha o debajo.

Tipo de actividad: poda o tala

Observaciones: datos generales que se deben tomar en cuenta como permisos, condiciones del predio, factores que afectan la línea, recomendaciones de variación de tramos de red, etc.

La anterior información es registrada en el sistema y apoyada con imágenes fotográficas de cada punto, ello con el fin soportar los datos tomados y efectuar un reconocimiento de las condiciones de sitio y el tipo de trabajo a realizar.



Figura 4: Vegetación sobre el corredor del circuito.

Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A. E.S.P.

5.3.2 Fase 2. Análisis y procesamiento de datos. En esta fase se efectuó un análisis detallado de cada uno de los circuitos que conforman el sistema seleccionado (subestación Altamar). Esta acción permitió establecer las prioridades de mantenimiento, las metodologías recomendadas y las estrategias que la empresa ha determinado para su atención durante los últimos años, al igual que los resultados obtenidos con éstas.

Una vez conseguida la información, se efectuó la clasificación y estudio de los datos recolectados. Esta se realizó de manera sectorizada, hecho que permitió definir el nivel de afectación causado en cada área del circuito por la vegetación y otros factores externos relacionados.

Desarrollar el esquema de sectorización requirió tomar en cuenta todos los factores relacionados con la infraestructura de los circuitos tales como: ubicación de reconectadores (puntos de conexión que permiten interconectar los circuitos en caso de emergencias o en apagones programados), seccionadores (sistema que permite aislar ciertas áreas de los circuitos o desenergizarlas para intervenirlas de manera segura), transformadores (ligados al número y tipo de usuarios interconectados) e infraestructura de modo general Figura 5.

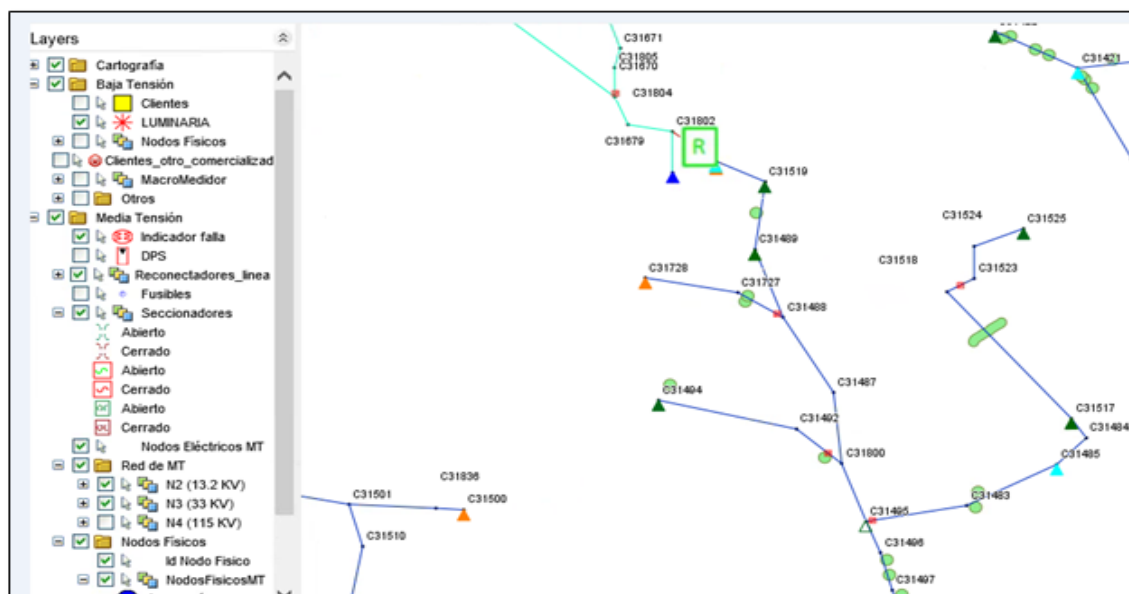


Figura 5: Visor de circuitos - estructura eléctrica

Fuente: Visor de circuitos MapGuide CHEC S.A. E.S.P

Una vez que se tuvo la visión general del área de interés, se procedió a realizar el análisis de la información correspondiente. Esta consistió en un seguimiento más detallado de las especies que se deben intervenir, sus condiciones de desarrollo y el nivel de ocurrencia dentro de los circuitos.

Por otra parte este análisis se realizó con base en las especies forestales de mayor interés para su atención y a su correspondiente clasificación por usos, ya que debido a la gran cantidad encontradas, no todas revisten de importancia para los objetivos del estudio realizado.

5.3.3 Fase 3. Sistematización y procesamiento digital de la información.

Para la generación de los insumos necesarios tendientes al análisis de la información recolectada en campo fue necesaria la utilización del software de Sistema de Información Geográfica ArcMap. Se utilizaron herramientas de análisis espacial, análisis de superficie, reproyección de coordenadas, etc., las cuales son necesarias para la interpretación de la información y la generación de mapas temáticos necesarios para la planeación del mantenimiento forestal.

Este ejercicio permitió obtener como resultado la generación de mapas temáticos de zonas de vida, cobertura vegetal, usos del suelo, vías, densidad, etc. Dichas informaciones posibilitaron un acercamiento y visión general del sitio de estudio para el análisis y la interpretación de los datos recolectados.

5.3.4 Fase 4. Diseño de herramientas para el mantenimiento. Como resultado de las fases anteriores, se procedió a diseñar una propuesta de mantenimiento forestal establecida en un cronograma de actividades. Para hacer un acercamiento adecuado a los objetivos planteados con la propuesta, se establecieron tiempos de mantenimiento por actividad y se zonificaron los circuitos, de tal forma que las intervenciones forestales tengan un control y seguimiento más específico. Para tal fin se tuvo en cuenta la densidad de la vegetación y su porte o altura con respecto a las distancias de seguridad.

Igualmente, la propuesta se direccionó hacia la atención de aquellos puntos con mayores requerimientos técnicos por medio de la depuración de la información y el filtro de las actividades. Si bien el prototipo o piloto de la propuesta tuvo como base análisis estadísticos establecidos por la experiencia adquirida en el mantenimiento específico de redes, consistió en una propuesta que aún debe ser evaluada para medir su nivel de efectividad y eficacia.

Por otra parte el alcance del cronograma fue hasta la primera intervención forestal, ya que con base en esta se deben proyectar las demás intervenciones sobre los puntos en los cuales la vegetación presenta características de rápido

crecimiento y son de un porte que puede resultar una amenaza para la prestación del servicio.

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCION DE RESULTADOS

6.1.1 Situación actual del mantenimiento forestal. De acuerdo al estudio, desde las fases de análisis hasta la obtención de resultados, se encontró que la percepción del mantenimiento se fundamenta actualmente en las emergencias presentadas en los circuitos. Si bien la mayor cantidad de fallas por vegetación están ligadas en un 40% a presencia de guaduales, hasta el momento no se tiene claridad de las coberturas reales de estos y la implicación del mantenimiento desde el punto de vista económico y ambiental (anexo B).

Por otra parte, dentro del esquema del mantenimiento, la vegetación es georeferenciada y caracterizada de acuerdo a su porte, especie y distancia respecto a la red. Dicha información debe permitir definir el tiempo de ejecución, tipo de atención y logística necesaria para su control y/o priorización, datos que no se analizan bajo dicha perspectiva. Así mismo, el mantenimiento de la red se efectúa en recorridos parciales o totales de los circuitos, de acuerdo a las necesidades más apremiantes o emergencias; sin embargo, la priorización de las actividades no toma en cuenta los datos históricos recolectados y no se planifica a mediano o largo plazo con base en la información recogida.

La cobertura del ejercicio planteado se enfocó en tres circuitos que contemplan el componente rural principalmente, lo cual lleva a dimensionar el nivel de impacto de las actividades forestales. Se analizó el plan anual de poda vigente para el año 2016 en la región Centro (Manizales, Chinchiná, Palestina y Neira), en este se encuentra el listado de circuitos y el número de días por mes para ser intervenidos según los reportes de incidencias sucedidas en el periodo anterior (año 2015), como se relaciona en la **Tabla 2** donde se registra el número de días y el nivel de avance.

Tabla 2
Cronograma anual de mantenimiento forestal.

Código	Nombre	Días progra m.	Días ejecut.	Región	Sub-region
2	AMR23L1 41 ALTAMAR_KILOMETRO	5	1 3	Redes	Centro 3
3	AMR23L1 ALTAMAR_LA CABAÑA	11	0 3	Redes	Centro 3
4	AMR23L1 RES	13	1 3	Redes	Centro 3

Durante el año se debe dar atención directa a todos los circuitos, es decir, todo el personal destinado al mantenimiento forestal es direccionado mensualmente por un número de días específico según requerimientos técnicos. Para el caso analizado, las actividades se deberían desarrollar durante los meses de octubre y noviembre, según se relaciona en la **Tabla 3** de acuerdo al número de días establecidos por circuito.

Tabla 3

Plan anual de mantenimiento forestal / mensual - circuitos Altamar

Código	Nombre	Octubre	Noviembre
AMR23L12	ALTAMAR_KILOMETRO 41	1 1 1 1 1	
AMR23L13	ALTAMAR_LA CABAÑA	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	
AMR23L14	ALTAMAR_COMFAMILIARES		1 1 1 1 1 1

Si bien existe una programación pre-establecida, durante el año pueden ocurrir eventualidades que obligan a la atención inmediata de los circuitos, por tanto, para la fecha del análisis los resultados arrojados por la base de datos de mantenimiento indican el nivel de avance en atención, relacionando número de días y porcentaje de ejecución del plan anual y del cual surge un avance total del 28% según la proyección para el año 2016.

Con base en lo anterior, se encontró que el plan anual de mantenimiento forestal no es suficiente para cumplir con la totalidad de los requerimientos de los circuitos. De acuerdo a la proyección, según el número de actividades a ejecutar en relación con el resto de circuitos que cubren la Subregión Centro, el nivel de cobertura es considerablemente bajo de acuerdo al tiempo demandado (un 50% aproximadamente). Por tanto se deben diseñar estrategias que permitan emprender un plan de mantenimiento anual más realista y conforme a los hallazgos, asunto que con una base de datos actualizada y contextualizada sería resuelto de mejor manera.

6.2.2 Variables para la creación de la base de datos. Con base en los resultados de la primera etapa, se determinó que el modelo de variables a tener en cuenta para el análisis de la información recolectada debía estar enfocada hacia la ubicación geoespacial de los individuos arbóreos con respecto a la red (densidad), su porte o altura con relación a las distancias de seguridad establecidas por el sistema y la clasificación taxonómica para identificar el comportamiento de las especies vegetales o crecimiento.

Para este fin, se analizaron los recorridos para la toma de datos mediante la caracterización de la vegetación ubicada sobre los corredores de los circuitos

en estudio, actividad que arrojó información preliminar que representó la base del análisis y determinó el nivel de intervención sobre el sistema. Como se relaciona en la **Tabla 4**, con esa información se buscó abordar el inventario forestal con el fin de establecer el número de tramos con vegetación.

Tabla 4
Listado de tramos con vegetación por circuito

Circuito	Tramos por circuito	Tramos con vegetación (interconexiones)	Número de puntos georeferenciados
AMR23L12	374	384	526
AMR23L13	516	269	274
AMR23L14	643	367	370
TOTAL	1.533	1.020	1.170

Es importante resaltar que en un tramo de red se pueden identificar cualquier cantidad de individuos arbóreos con incidencia directa. La relación que señalan las tablas indica la cantidad de trabajo que puede requerir un circuito con relación a otro, igualmente marca la incidencia que puede tener la vegetación en la prestación del servicio. El inventario permite no solo identificar el tipo de vegetación, también las especies, el porcentaje de incidencia y el nivel de afectación que estas pueden causar a corto, mediano y largo plazo. De acuerdo a la Tabla 5 y **Tabla 6** respectivamente, se encontraron 88 familias, de las cuales se hace énfasis en las más comunes de acuerdo al número de especies por cada una de ellas.

Tabla 5
Listado de familias vegetales en circuitos Altamar

FAMILIA	CANTIDAD ESP
Fabaceae	443
Poaceae	112
Lauraceae	86
Boraginaceae	76
Mimosaceae	72
Meliaceae	58
Myrtaceae	50

Arecaceae	44
Anacardiaceae	41

Tabla 6
Listado especies vegetales en circuitos Altamar

Nombre científico	Nombre común	Cantidad de individuos
Guadua angustifolia	Guadua	3267
Gliricidia sepium	Matarratón	1628
Phyllostachys aurea	Guaduilla	815
Gynerium sagittatum	Cañabrava	320
Swinglea glutinosa	Swinglea	213
NN001	Nn	156
Cordia alliodora	Nogal cafetero	121
NN002	Nn	118
Phoenix canariensis	Palma maquenque	104
Tectona grandis	Teca	98
Veitchia merrillii	Palma manila	95
Ocotea calophylla	Laurel	81
Cedrela Odorata	Cedro rosado	68
Ficus benjamina	Ficus	68
Psidium guajava	Guayaba	68
Mangifera indica	Mango	45

Según los datos arrojados por la caracterización forestal, la especie con mayor incidencia sobre la red es la *Guadua angustifolia*, seguida respectivamente por *Gliricidia sepium*, *Phyllostachys aurea* y *Gynerium sagittatum*. Estos datos son de gran importancia al momento de cruzar con los historiales de mantenimiento ya que la *guadua* es la especie con mayores requerimientos para su atención. Basados en la cantidad de puntos e individuos hallados en los circuitos, es necesario establecer un mantenimiento

direccionado a las primeras especies que aparecen en el listado. Estas son de rápido crecimiento y eventualmente cada cuatro meses se deben atender por su capacidad de reproducción y crecimiento. Por otra parte, es necesario atender todas las especies de palmas encontradas debido su característica morfológica, pues son individuos arbóreos que por sus su porte y altura lo más recomendable es efectuar una tala controlada.

Otro elemento importante para resaltar es que un gran porcentaje de cercas vivas están conformadas por Swinglea (*Swinglea glutinosa*) y Mataratón (*Gliresia sepium*), especies comúnmente usadas para alindar o marcar cercas. Sirven de forraje para el ganado y eventualmente se debe pensar en su erradicación o reubicación conjunta con los vecinos de la franja de seguridad.

El creciente auge de las sistemas silvopastoriles en la región, ha traído como resultado el establecimiento de plantaciones de Teca (*Tectona grandis*) y Nogal cafetero (*Cordia Alliodora*), lo cual indica la necesidad de mejorar la comunicación con los entes encargados de vigilar y asesorar este tipo de siembras. La intervención de estas especies es una actividad onerosa para la empresa, ya que debe asumir los costos de los individuos intervenidos debido a su valor comercial.

Dentro de los frutales, sobresalen el Mango (*Mangifera indica*) y la guayaba (*Psidium guajava*), especies muy comunes en la región, las cuales no se encuentran en plantación, sin embargo están distribuidas aleatoriamente en casi todos los predios. El mango es una especie de porte alto, ya que son individuos arbóreos sin ningún manejo que han crecido sin control hasta alcanzar tamaños considerables. Por otra parte este tipo de especies son de crecimiento medio o lento, requieren un mantenimiento normal y pueden ser controlables dentro de las proyecciones anuales.

6.2.3 Implementación de la herramienta SIG – Sistema de Información Geográfica como modelo de mantenimiento forestal. Teniendo en cuenta las variables necesarias para el desarrollo de la propuesta para la compilación y análisis de la información, se creó una geodatabase la cual se llamó CARACTERIZACIÓN_FORESTAL, la cual contiene la información de los tres circuitos inventariados de la subestación ALTAMAR:

ZONA_12: circuito AMR23L12

ZONA_13: circuito AMR23L13

ZONA_14: circuito AMR23L14

Igualmente se crearon cuatro FEATURE_DATASET, los cuales agrupan por temas la información requerida para la estructuración correspondiente:

- SISTEMA_ELÉC
- INVENTARIO_FORESTAL
- INFRAESTRUCTURA
- BIOFISICO

Se procedió a generar el primer mapa temático con el fin de hacer un análisis previo de las condiciones biofísicas de la zona. El conocimiento de las zonas de vida y las coberturas vegetales del entorno ayudan a entender la naturaleza del comportamiento de la vegetación. Aunque son parámetros que se toman desde un carácter ambiental, desde el punto de vista del mantenimiento son esenciales si se quiere profundizar en el inventario de especies y su distribución en la zona.

Para el ejercicio propuesto, se realizó un análisis a lo largo de los circuitos, dando como resultado el mapa temático de zonas de vida, el cual sirvió como elemento de análisis de la vegetación presente. Por otra parte este estudio debe servir de insumo para el plan de manejo ambiental y estos elementos son esenciales para el análisis de impacto y compensación de las intervenciones forestales.

6.2.3.1 Análisis zonas de vida. Si bien las condiciones ambientales son muy similares por la cercanía entre cada una de las infraestructuras de redes, el análisis encontró que en general cada circuito está ubicado sobre una zona de vida diferente Figura 6.

- AMR23L12 está localizado en el bosque húmedo tropical
- AMR23L13 se ubica sobre el bosque húmedo premontano
- AMR23L14 se encuentra en el bosque muy húmedo premontano.

Cada una de estas zonas de vida posee condiciones naturales específicas que determinan el tipo de vegetación y el comportamiento de esta (Programa de Administración del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, 2011).

bh-T: Bosque húmedo tropical: Presenta una vegetación muy desarrollada, distribuida en diferentes estratos o pisos, está conformado por arboles de alto porte (25-30 m de altura) y en algunos casos alcanzan hasta 50 metros de altura como ceibas entre otros.

bh-PM: Bosque húmedo premontano: en esta zona de vida los bosques han sido altamente intervenidos y talados, para dar lugar a una agricultura intensa, con presencia de guaduales como vestigio de la cobertura vegetal existente en el pasado.

bmh-PM: Bosque muy húmedo premontano. Hacen presencia cultivos agrícolas, frutales y gramas o pastos en gran medida. Es necesario conservar los bosques existentes los cuales están aislados.

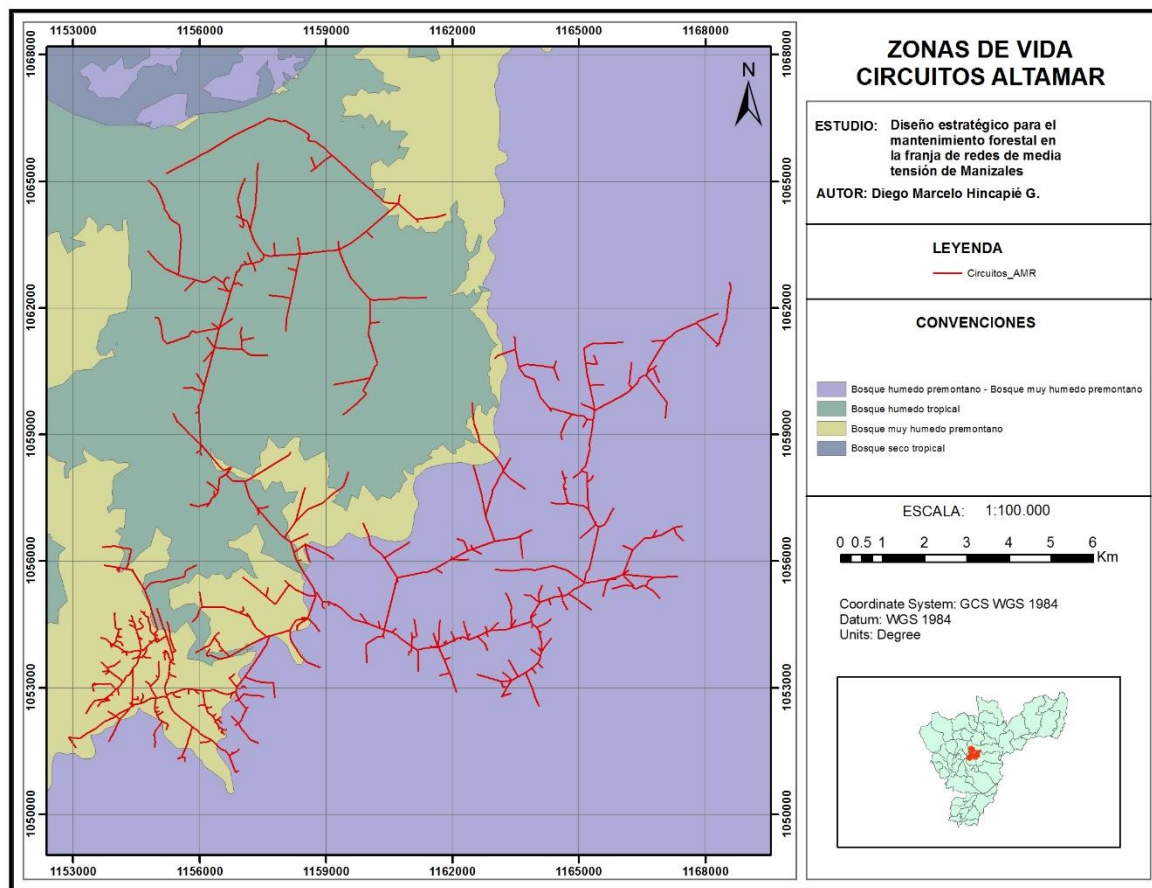


Figura 6: Zonas de Vida Circuitos Altamar

Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A E.S.P.

6.2.3.2 Uso actual del suelo. Se estableció el buffer de los circuitos con un radio de 150 m con respecto al eje de la línea Figura 7, tomando como base el área de impacto por la concentración de las acometidas (líneas eléctricas de baja tensión que llegan a las construcciones o viviendas). Ello facilitó el análisis relacionado al entorno y las coberturas vegetales existentes. Mediante la interpolación del mapa de uso actual del suelo y el buffer como delimitación inicial del área, se hizo un análisis del entorno. Si bien la zona tiene por excelencia vocación agrícola, un amplio sector está dedicado al uso comercial o recreativo.

Para el circuito AMR23L12 predominan las zonas urbanizadas, por tanto en dicho sector el mantenimiento debe ser prioritario por el alto índice de transeúntes y la concentración de población.

En el caso del circuito AMR23L13, si bien existe infraestructura, la concentración de población es menor y el uso del suelo está destinado en primer lugar a pastos, la extracción de minerales en segundo lugar con gran porcentaje y en tercer lugar centros poblados. Es necesario analizar la distribución de la vegetación sobre estos últimos y atender de manera oportuna los requerimientos en este sentido.

Finalmente el circuito AMR23L14 presenta un uso actual a lo largo de su cobertura destinada a pasturas, cultivos agrícolas permanentes y zonas urbanas en un pequeño porcentaje. Este circuito es el más corto en relación a los anteriores e independientemente de la concentración de la vegetación, deberá ser intervenido una vez se atiendan los sectores poblados ya relacionados.

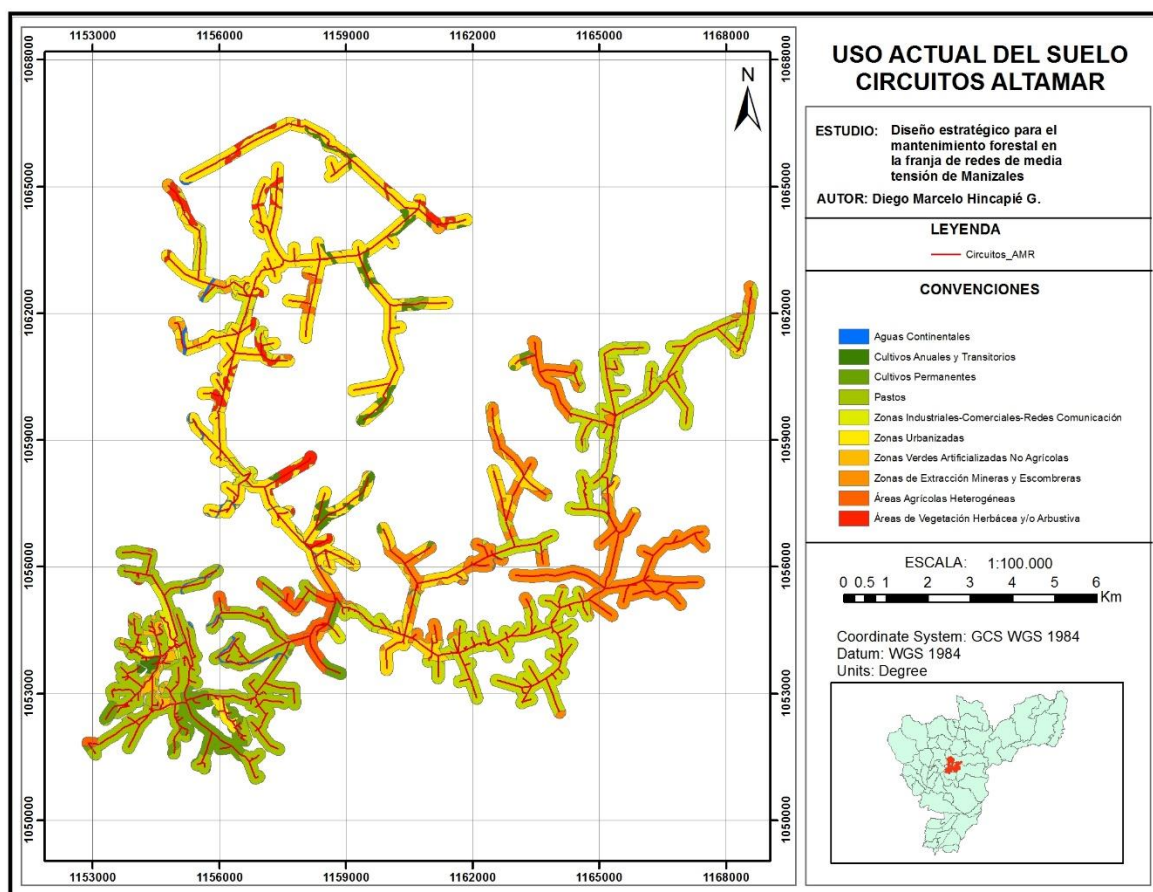


Figura 7: Cobertura Vegetal Circuitos Altamar

Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A E.S.P.

6.2.3.3 Infraestructura vial y accesibilidad. Otro factor importante dentro de la programación de actividades forestales se relaciona con la distribución de los trabajos respecto a las vías de acceso Figura 8. De acuerdo a lo anterior, el área que cubre la subestación Altamar cuenta con un equipamiento vial excelente por estar muy cerca a centros urbanos, igualmente la red de carreteras cubre más del 90% de los tres circuitos, por tanto el control de los desplazamientos y la disminución de los tiempos muertos (periodos de tiempo entre cada intervención forestal) es más precisa. El control del tiempo de atención y la distribución de las actividades es homogénea, por tanto el proceso de apoyo de personal, implementación de equipamiento como carro canasta, disposición de escombros y demás labores estratégicas se realizan con un buen nivel de efectividad.

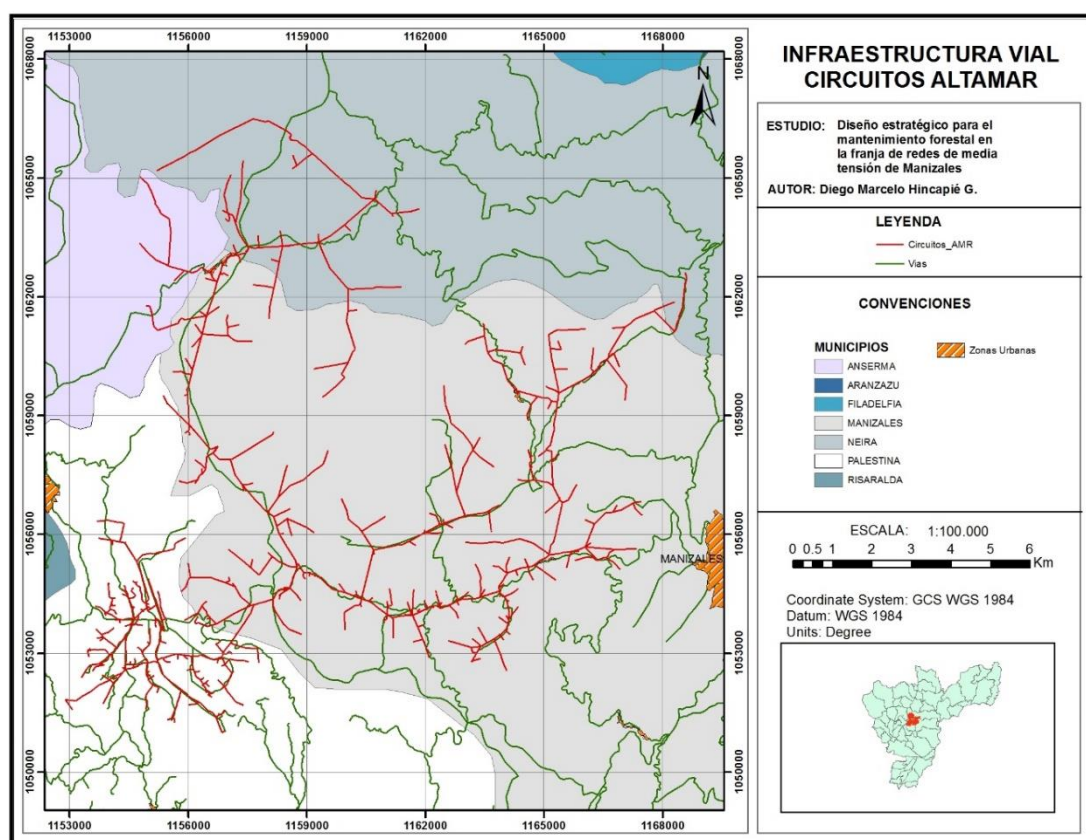


Figura 8: Infraestructura vial circuitos Altamar
Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A E.S.P.

6.2.3.4 Distribución de la vegetación. Una vez claras las condiciones ambientales y de infraestructura, se procedió a analizar la distribución de la vegetación, lo cual permitió visualizar la concentración de puntos y la distribución de esta en cada uno de los tres circuitos Figura 9.

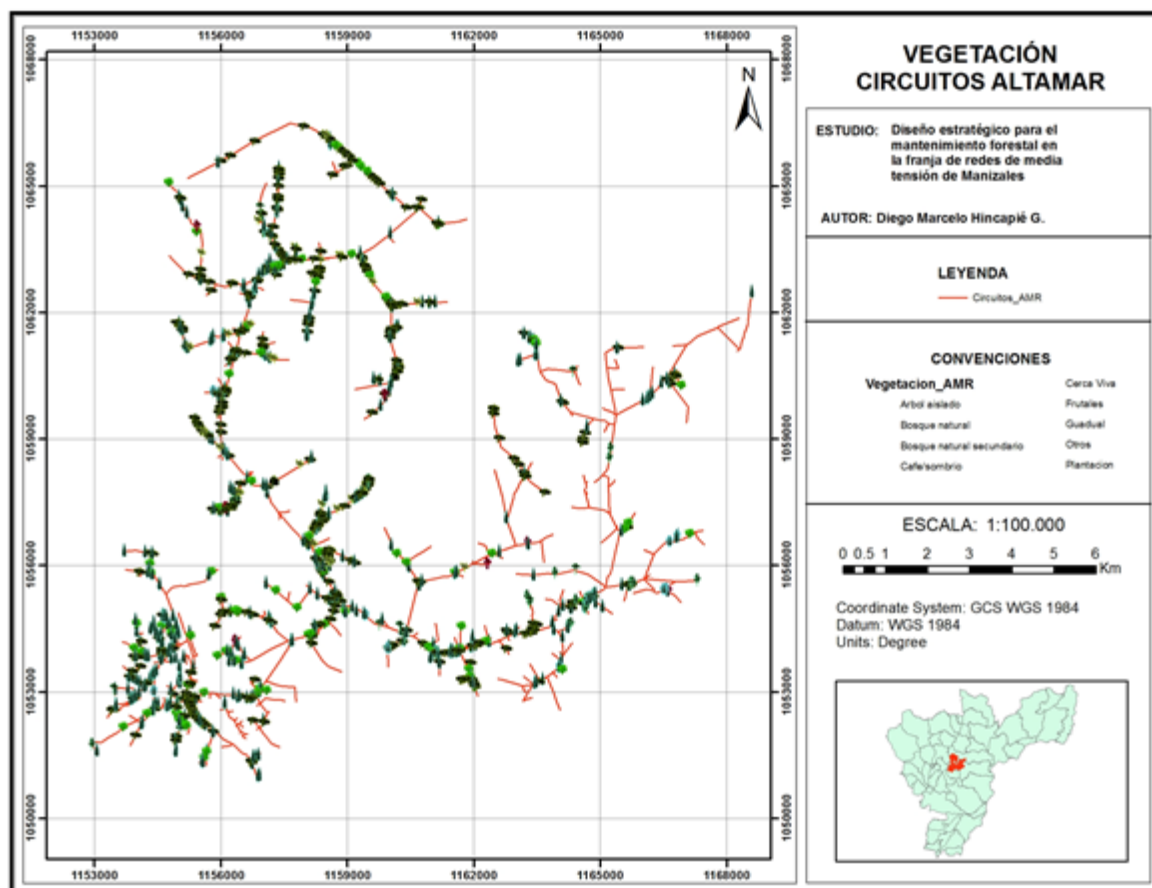


Figura 9: Mapa temático vegetación circuitos Altamar
Fuente: base de datos CHEC S.A E.S.P.

La vista muestra la ubicación de cada tipo de cobertura respecto a la red al igual que su extensión, cada uno de los polígonos contiene uno o más individuos según el tipo de vegetación.

La implementación de íconos se estandarizó según la agrupación de clases de vegetación para establecer así el nivel de importancia y prioridad, es decir, aquellas características que indican un mayor porcentaje de crecimiento, las cuales son las más urgentes de controlar como la *Guadua angustifolia* o *Glicicidia sepium*, al igual que otras especies con mayor presencia. Estas condiciones indican la metodología a seguir para un plan de mantenimiento efectivo. Por otra parte, esta información debe ser leída por el personal

operativo, quienes deben identificar las convenciones y su ubicación respecto a las líneas eléctricas en campo al momento de interpretar los planos.

En Figura 10 se aprecia la variabilidad y la concentración de la vegetación en algunos tramos de red. Se puede inferir directamente en el tipo de mantenimiento a realizar en un sector específico del sistema, es así como, en algunos casos debido a la alta densidad, es recomendable el montaje de cable ecológico (cable cubierto de seguridad).

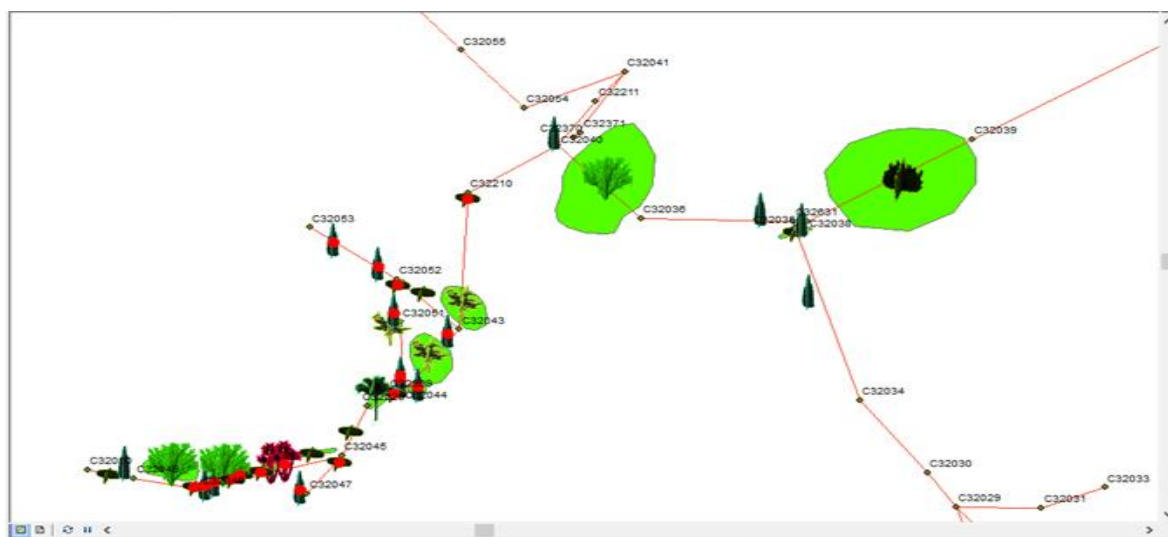


Figura 10: Tipos de cobertura vegetal
Fuente: base de datos CHEC S.A E.S.P.

6.2.3.5 Zonificación de los circuitos. Con el fin de efectuar la zonificación del área en estudio, se generó el mapa temático en el cual se establece la distribución espacial de cada uno de los sectores de los circuitos, ello con el fin de hacer un acercamiento detallado y abordar el mantenimiento de manera ordenada.

En el mapa temático de zonas se pueden apreciar de acuerdo a la numeración y distribución, de esta forma la atención es específica dentro de cada circuito, la medición en tiempo y efectividad del mantenimiento es mejor al igual que el seguimiento de las intervenciones realizadas por parte de los grupos de trabajo o cuadrillas.

Este modelo de separación de áreas por sectores de mantenimiento Figura 11, se implementó exclusivamente tomando como base el diseño estructural del circuito de acuerdo a los lineamientos establecidos por el área de

mantenimiento de redes – ADE – según la ubicación de los componentes del sistema de la red eléctrica (aisladores, conectores, transformadores, etc.).

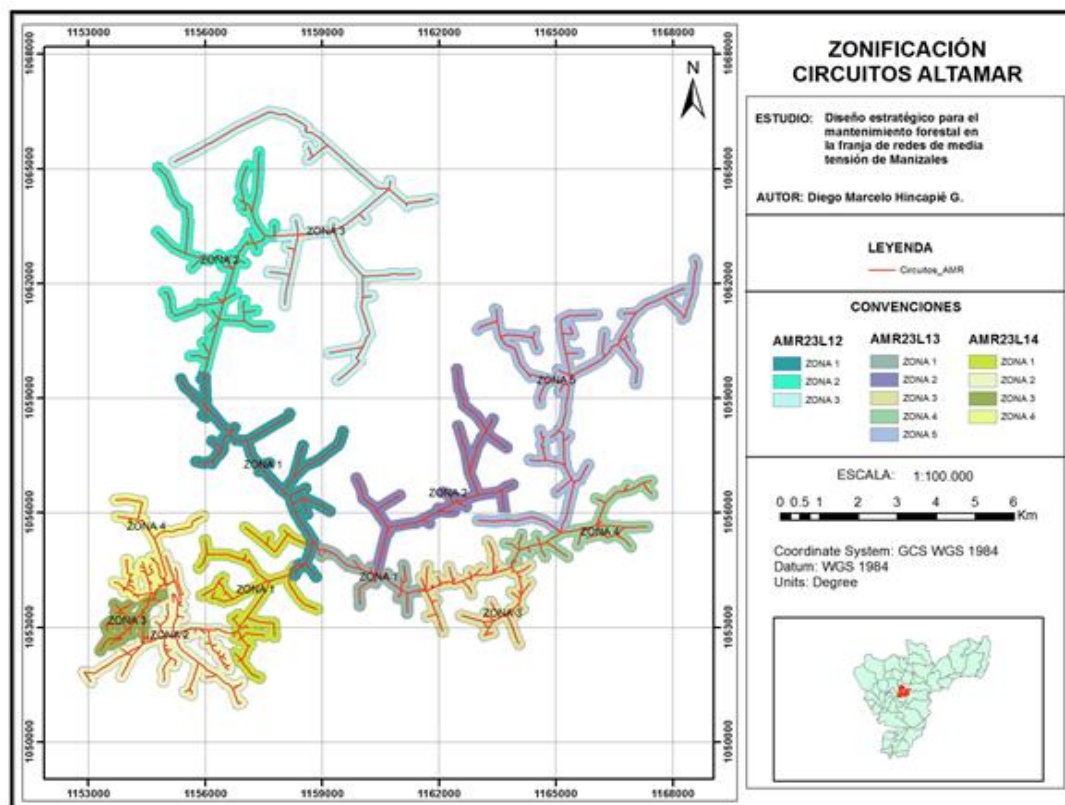


Figura 11: Mapa temático zonificación circuitos Altamar

Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A E.S.P.

Respecto a la distribución espacial establecida, es posible proyectar qué zonas son las más importantes de intervenir a corto plazo según la densidad de la vegetación. Para el caso del ejercicio planteado, como se relaciona en la Tabla 7, en el circuito AMR23L12, primero debe atenderse la ZONA 2, seguida por la ZONA 1 y la ZONA 3 respectivamente. Esta metodología se aplica igualmente para los demás circuitos de acuerdo a la Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 7 Listado de tramos con vegetación por zona Circuito AMR23L12
 Listado de tramos con vegetación por zona Circuito AMR23L12

Zona	Total Vegetación
Z - 1	100
Z - 2	103
Z - 3	97
Total	300

Tabla 8
 Listado de tramos con vegetación por zona Circuito AMR23L13

Zona	Total Vegetación
Z - 1	26
Z - 2	19
Z - 3	41
Z - 4	11
Z - 5	23
Total	120

Tabla 9
 Listado de tramos con vegetación por zona Circuito AMR23L14

Zona	Total Vegetación
Z - 1	52
Z - 2	63
Z - 3	8
Z - 4	30
Total	153

Una vez establecidos los porcentajes de vegetación presentes en el sistema por zonas, se procedió a realizar un análisis más detallado de la cobertura vegetal encontrada tomando en cuenta el número de individuos vegetales por punto y los polígonos levantados sobre el sistema de redes.

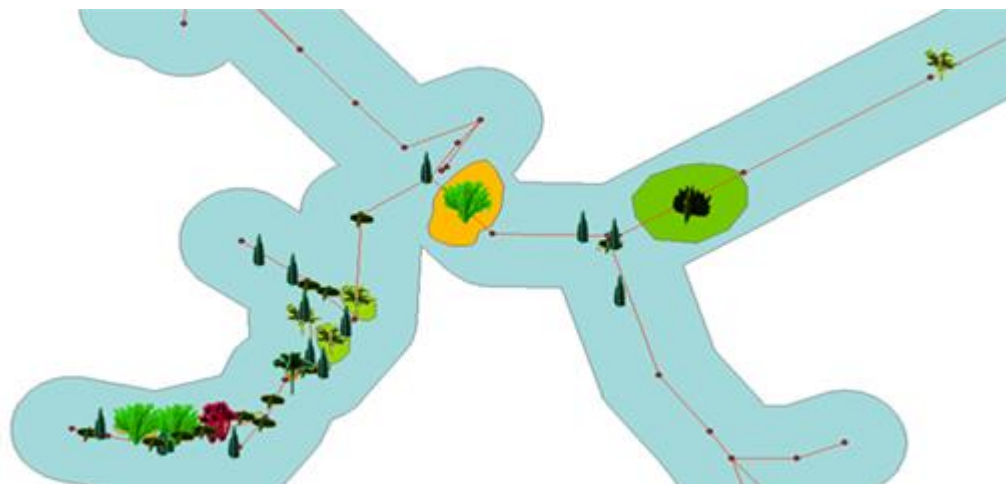


Figura 12: Esquema zonificación y distribución de la vegetación
Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A E.S.P.

Es importante anotar, que la sectorización permite estructurar el mantenimiento como se muestra en la Figura 12, ya que se pueden establecer todas las características de la vegetación para cada ramal o sectores que lo conforman y diseñar planes de manejo específico. Es así como algunas zonas requieren hasta tres visitas al año y en otros casos solamente una, dependiendo del tipo de vegetación allí presente.

6.2.3.6 Densidad de vegetación. Otro factor interesante que arroja el análisis de la información, es la distribución de puntos calientes (sectores con alta incidencia de la vegetación), para los cuales la atención debe ser prioritaria ya que las distancias de seguridad son mínimas o cercanas a cero. Una vez se cruzan las áreas con mayor densidad de vegetación con los tramos de red, se pueden delimitar las áreas problemáticas del sistema.

Dentro del mantenimiento este indicador brinda información valiosa al momento de tomar decisiones de contingencia debido a periodos de alta pluviosidad. Los puntos calientes son causa de falla y permiten atender de manera oportuna cualquier emergencia que se presente, al igual que tener mayor claridad sobre la ejecución del mantenimiento preventivo.

Con la información recolectada se pueden proyectar los sitios de mayor impacto por vegetación en periodos de tiempo relativamente cortos, lo cual amplía el margen de atención. Por otro lado, la planificación y direccionamiento del recurso humano se hacen más eficientes reduciendo los tiempos de recorrido. Del mismo modo, durante las jornadas diarias existen tiempos

muerdos, espacios que se tardan los grupos de trabajo para desplazarse de un tramo de red a otro. Con esta estrategia de trabajo se pueden planificar mejor los recorridos y disminuir el tiempo de desplazamientos, obteniéndose mejores resultados en la planificación.

De acuerdo al análisis espacial de puntos, el mapa temático de densidad muestra los sectores que presentan una mayor concentración de vegetación como se observa en la Figura 22. En estos, por sus características, las distancias de seguridad exceden los límites, convirtiéndose en puntos calientes para el mantenimiento.

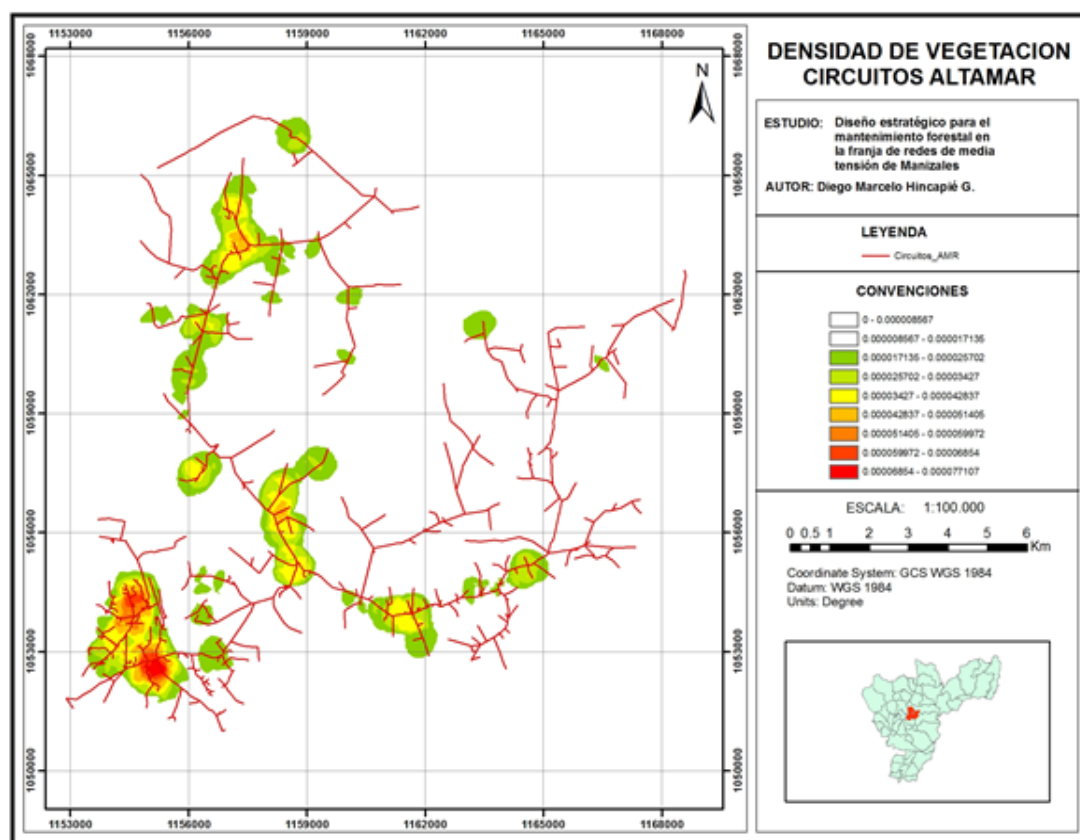


Figura 13: Densidad de vegetación – puntos calientes
Fuente: Proyecto de Mantenimiento forestal CHEC S.A E.S.P.

6.2.3.7 Desarrollo del modelo de mantenimiento. Con base en historial de intervención y la duración de cada actividad registrada en las bases de datos de tiempo y recorrido, se proyectaron tiempos de mantenimiento estimados por punto de trabajo. De acuerdo al rendimiento presentado por el personal bajo las actuales condiciones, se estableció un promedio de cinco tramos de red atendidos por jornada de trabajo de ocho horas. En este sentido, se analizaron el número de puntos intervenidos por tramo de acuerdo a sus características y se promediaron tiempos de cuatro grupos de trabajo dando como resultado la Tabla 10. De igual modo es importante aclarar que la estimación por duración de actividad se proyecta gracias a estadísticas de mantenimiento obtenidas desde enero de 2016.

Tabla 10

Tipo de actividad y el tiempo dedicado a su intervención en horas día

Descripción	Horas / Actividad
Árbol Aislado	0.5
Bosque N.	1
Bosque S.	2
Cerca Viva	1
Frutales	1
Guadua	2
Plantación	2
Café Sombrío	0.5
Otros	0.2

Tomando como base los tiempos relacionados, se proyectó un cronograma de actividades inicialmente establecido para el periodo de un año. Este permite detallar la distribución por clases de intervención, la cantidad de puntos en cada una ellas y el número de días que se debe destinar por zona y por circuito al año, para lo cual se relaciona la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13 las características de cada de las coberturas seleccionadas para el análisis.

Tabla 11
Descripción del tipo de vegetación circuito AMR23L12

<i>Zona</i>	<i>Arb. Aisl.</i>	<i>Bosq. nat.</i>	<i>Bosq. sec.</i>	<i>Cerc viva</i>	<i>Frutal</i>	<i>Guadua</i>	<i>Plant.</i>	<i>Café Som b.</i>	<i>Otro</i>	<i>Total puntos veg.</i>	<i>Total días / año</i>
Z - 1	69	1	18	73	2	8	0	0	2	173	20
Z - 2	96	0	11	85	1	7	2	0	4	206	22
Z - 3	49	1	10	75	1	11	0	0	0	147	18
Total	214	2	39	233	4	26	2	0	6	526	61

Tabla 11
Descripción del tipo de vegetación circuito AMR23L13

<i>Zona</i>	<i>Arb. Aisl.</i>	<i>Bosq. nat.</i>	<i>Bosq. sec.</i>	<i>Cerc viva</i>	<i>Frutal</i>	<i>Guadua</i>	<i>Plant.</i>	<i>Café Som b.</i>	<i>Otro</i>	<i>Total puntos veg.</i>	<i>Total días / año</i>
Z - 1	35	0	0	22	0	4	2	0	3	73	7
Z - 2	11	1	0	14	2	4	0	0	0	36	4
Z - 3	24	0	0	33	0	8	1	5	1	80	8
Z - 4	23	0	0	9	1	2	5	6	0	52	6
Z - 5	29	0	0	17	0	6	0	3	3	64	6
Total	122	1	0	95	3	24	8	14	7	305	31

Tabla 12
Descripción del tipo de vegetación circuito AMR23L14

<i>Zona</i>	<i>Arb. Aisl.</i>	<i>Bosq. nat.</i>	<i>Bosq. sec.</i>	<i>Cerc viva</i>	<i>Frutal</i>	<i>Guadua</i>	<i>Plant.</i>	<i>Café Som b.</i>	<i>Otro</i>	<i>Total puntos veg.</i>	<i>Total días / año</i>
Z - 1	43	38	0	0	2	14	0	0	0	108	11
Z - 2	69	0	0	47	0	16	0	1	3	150	14
Z - 3	39	0	0	8	1	0	1	0	1	54	4
Z - 4	57	0	0	21	0	9	0	0	0	95	8
Total	208	38	0	76	3	39	1	1	4	408	38

Según las estimaciones encontradas, la demanda de tiempo y atención aumenta considerablemente por circuito de acuerdo a los historiales de mantenimiento que han sido trabajados en los planes anuales (Tiempo estimado actual 29 días). Por otra parte, es necesario hacer el análisis por zonas como se tiene previsto, con el fin de determinar grado de atención requerido.

En la Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 se relaciona el resultado del procesamiento de dicha información y se plantea un cronograma inicial de mantenimiento para los circuitos seleccionados.

Tabla 13

Propuesta de mantenimiento por zonas AMR23L12

Zona	Total Vegetación	Total Días
Z - 1	173	20
Z - 2	206	22
Z - 3	147	18
Total	526	61

Tabla 14

Propuesta de mantenimiento por zonas AMR23L13

Zona	Total Vegetación	Total Días
Z - 1	66	7
Z - 2	32	4
Z - 3	72	8
Z - 4	46	6
Z - 5	58	6
Total	274	31

Tabla 15*Propuesta de mantenimiento por zonas AMR23L14*

Zona	Total Vegetación	Total Días
Z - 1	97	11
Z - 2	136	14
Z - 3	50	4
Z - 4	87	8
Total	370	38

La información anteriormente relacionada indica que para la atención del 100% de la vegetación ubicada sobre los corredores de los circuitos se requiere un periodo de 130 días al año, dando igual prioridad a todos los recorridos según las actividades pendientes por ejecutar.

Por otra parte, según la sectorización y la ubicación de puntos calientes, el número de días/año cambia considerablemente, ya que se da prioridad a aquella vegetación que está en conflicto directo con la línea eléctrica, o sea los sectores con mayor concentración y que se caracterizan por ser bosques primarios o secundarios, guaduales y cercas vivas. Por su parte los árboles aislados, los cuales se presentan con mayor regularidad, debido a su comportamiento no requieren atención anual, como el resto de especies de rápido crecimiento como las ya mencionadas.

Atendiendo estas consideraciones, la prioridad en atención se presenta en 573 puntos con una duración de 88 días al año. La intensidad de la intervención inicial se determinará según el nivel de requerimientos. Es posible que incluso este periodo de tiempo sea más corto, debido a que se estandarizó sobre el tiempo máximo de duración con la idea de tener un margen de efectividad y ajustar el cronograma según las eventualidades que se presenten. Así mismo, es importante resaltar que la atención de la vegetación en el trópico es una actividad que varía de un punto a otro debido a las condiciones de la vegetación y de sitio, razón por la cual es imposible establecer periodos exactos de cobertura.

De acuerdo a las consideraciones citadas anteriormente, el cronograma se debe ajustar con el fin de priorizar y tomar en cuenta las demás observaciones técnicas referentes a la distribución espacial y a la infraestructura que rodea el sistema de circuitos Altamar. En la Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19 se redistribuyen los tiempos de atención por cada uno de los circuitos.

Tabla 16*Mantenimiento de puntos calientes AMR23L12*

Zona	Total Vegetación	Total Días
Z - 1	100	16
Z - 2	103	15
Z - 3	97	15
Total	300	46

Tabla 17*Mantenimiento de puntos calientes AMR23L13*

Zona	Total Vegetación	Total Días
Z - 1	26	4
Z - 2	19	3
Z - 3	41	6
Z - 4	11	2
Z - 5	23	4
Total	120	18

Tabla 18*Mantenimiento de puntos calientes AMR23L14*

Zona	Total Vegetación	Total Días
Z - 1	52	8
Z - 2	63	10
Z - 3	8	1
Z - 4	30	5
Total	153	24

Finalmente, una vez tenidos los puntos clave de atención, es necesario tomar en cuenta la priorización establecida de acuerdo al mapa de uso actual de suelos con respecto a la densidad de vegetación. Se dará prioridad a las zonas en las cuales haya mayor concentración de infraestructura como centros poblados.

Para el ejercicio se llevó a cabo el mantenimiento prioritario del circuito AMR23L12, más específicamente las ZONAS 1 y 2, seguidas por el circuito AMR23L14 con las ZONAS 2 y 3. Una vez mitigado el nivel de riesgo en dichos puntos se procedió a hacer la cobertura completa de ambos circuitos y finalmente llegar a AMR23L13.

Es claro que los elementos de análisis permiten priorizar y establecer una ruta más clara de recorridos y análisis de seguimiento futuros. Esta propuesta solo abarca la primera fase del mantenimiento, esta deberá ser modificada para la segunda fase, pues para esta se deberá priorizar las especies de rápido crecimiento y porte alto, dicha visita se deberá efectuar entre cuatro y cinco meses a partir de la primera fecha de intervención contemplada en el cronograma.

Se espera que los resultados del análisis permitan hacer ajustes en el diseño e implementación del mantenimiento de los circuitos de interés, siendo este el primer paso para la estructuración forestal y ambiental dentro del mantenimiento. Como están planteadas las actividades dentro del plan anual y bajo los estándares preestablecidos, el cumplimiento de los trabajos de mantenimiento forestal anual es superior al 95%, esto con respecto al cumplimiento de órdenes de trabajo diarias. Se espera que mediante la propuesta, se mantenga este nivel de cumplimiento sobre las nuevas metas de intervención por grupo de trabajo.

7. CONCLUSIONES

Resulta interesante la implementación de un sistema de información geográfica para el seguimiento y mantenimiento forestal relacionado con líneas eléctricas, las ventajas son inmensas, traducidas principalmente en la eficiencia y la prestación del servicio con calidad, así como también más efectiva la mitigación del impacto ambiental sobre los recursos naturales. Por otra parte, aporta un alto grado de confiabilidad en la toma de decisiones respecto a la programación efectiva como atención de emergencias o eventualidades.

Con el estudio aquí presentado, se confirmó que el crecimiento de especies vegetales situadas en los corredores biológicos de los circuitos afecta considerablemente la prestación del servicio eléctrico. Los principales inconvenientes se presentan cuando existe contacto de la vegetación con las redes de energía o cuando esta alcanza la altura o las distancias de conflicto (distancia horizontal inferior a 3 metros y vertical a 4 metros respectivamente). Por otra parte, existen muchas variables ambientales relacionadas con la cobertura vegetal que juegan un papel preponderante en el comportamiento de la masa boscosa tales como: tasas de crecimiento, zonas de vida, características intrínsecas del individuo vegetal y distribución de acuerdo al uso actual del suelo, entre otras. Dichas condiciones biológicas son propias de cada especie y determinan su crecimiento y desarrollo.

Es necesaria la estructuración de un sistema de mantenimiento forestal adecuado, al igual que el registro y seguimiento oportuno de las actividades. Si bien la propuesta se enmarca en el análisis de la información y el diseño de un cronograma, se deberá efectuar un seguimiento mínimo de un año a partir de fecha de su implementación, esto permitirá inferir en los ajustes realizados y establecer pautas de medición acordes con las proyecciones establecidas.

Con referencia a los tiempos propuestos en el cronograma versus la atención actual, se evidencia la necesidad de hacer una mejora en la atención y cobertura del mantenimiento. Para este año se tiene previsto un mes y medio de trabajos para la subestación Altamar. De acuerdo al análisis de los resultados se requiere, en el mejor, de los casos casi tres meses en el mantenimiento preventivo, sobre todo en guaduales, esto con el fin de reducir la incidencia de apagones y hacer un manejo controlado, por tanto el nivel de atención está aproximadamente en el 50% con respecto a los requerimientos generales del sistema. Esta situación se hace extensiva al total del área de cobertura de la empresa.

Dentro de este marco, existen limitaciones de personal al igual que recursos para la atención oportuna en poda y tala de vegetación. Haciendo referencia a lo mencionado, el personal que atiende dichos requerimientos no

necesariamente es forestal, algunos grupos de trabajo se dedican casi exclusivamente al mantenimiento eléctrico y las intervenciones que realizan muchas veces no son técnicas, por tanto, dichos reportes no son registrados adecuadamente, lo cual dificulta el seguimiento en el sistema de información implementado por la empresa.

Es necesario que la estrategia de mantenimiento recomendada en los circuitos de la subestación Altamar se haga extensiva a otras regiones CHEC S.A E.S.P. a parte de la Central en donde se realizó el estudio (Regiones: Norte- Noroccidente, Sur-Suroccidente y Oriente), con el fin de establecer comparativos debido a las múltiples variables por condiciones biofísicas de cada región en la cual se presta el servicio.

Según los datos arrojados, el mayor reto es la atención oportuna de especies como la *Guadua angustifolia* y *Gliricidia sepium*. Es necesario establecer medidas preventivas como reubicación de líneas o eliminación de cercas vivas, ya que el mantenimiento constante de dichos puntos requiere una inversión económica considerablemente alta, por tanto, sería recomendable a largo plazo la variación de líneas evadiendo puntos calientes y/o con alta incidencia de especies de rápido crecimiento.

8. RECOMENDACIONES

Es necesaria la implementación de una base de datos que permita la actualización constante de la información. En la actualidad se cuenta con el GIIP, por medio del cual se procesan los ordenes de trabajo y se direccionan las actividades para el mantenimiento eléctrico, sin embargo esta base de datos no está diseñada para seguimiento y retroalimentación del mantenimiento forestal.

El proceso de toma y análisis de la información de campo debe ser una prioridad para las empresas dedicadas al servicio eléctrico. Si bien la caracterización forestal espera dar cobertura al 100% de la red eléctrica, CHEC S.A E.S.P. aún no cuenta con los recursos humanos suficientes respecto al área de influencia, lo cual retrasa la toma de datos y hace más lenta la implementación de un sistema realmente efectivo, por tanto es recomendable que se aumente el número de personas dedicadas a la caracterización y recolección de información en campo.

La clave para el mantenimiento forestal está en la atención oportuna y tecnicada, al igual que un registro adecuado de la información. Es necesario capacitar a todo el personal de mantenimiento en el reporte oportuno de todas las actividades, de esto depende el éxito de la labor planteada. En este orden de ideas, no serían necesarios otros recorridos de verificación y seguimiento, por el contrario, la información existente se podría retroalimentar y mantener actualizada con los datos necesarios para controlar el crecimiento de la vegetación.

Es necesario el levantamiento de predios en todo el sector que conforma la infraestructura CHEC S.A E.S.P., esto permitiría implementar con mayor eficiencia un sistema de permisos para la intervención de las servidumbres mejorando sustancialmente la efectividad y eficiencia de las intervenciones forestales. Por otra parte, este sería el siguiente paso para el ordenamiento forestal y el cumplimiento con los requerimientos ambientales establecidos por ley.

Se hace primordial la implementación de un sistema digital para la gestión de la información del personal que realiza las labores en campo. Actualmente se trabaja con cartografía impresa y el proceso de actualización de información no se hace directamente sobre los datos tomados por la caracterización forestal, sino sobre una base de datos paralela (GIIP), lo cual requiere homologación de información e impide que los datos muchas veces sean actualizados oportuna y correctamente.

A partir del prototipado de la base de datos para la planificación del mantenimiento forestal haciendo uso de la herramientas ArcGis, se hizo visible la importancia de la inclusión de otros elementos diferentes a los circuitos eléctricos, en este caso individuos arbóreos. La visualización gráfica y el procesamiento de la información que posibilita este software, facilitan sin duda alguna, la identificación por parte del equipo de mantenimiento forestal de los requerimientos de intervención y el seguimiento a los puntos que ya han recibido algún tipo de control en el pasado.

Se propone el desarrollo de una segunda fase de este proyecto, donde se avance del prototipado y experiencias específicas al diseño general de una base de datos que responda a las necesidades actuales del mantenimiento forestal en CHEC S.A E.S.P., donde el trabajo humano, la tecnología y las bases de datos generen un ambiente de intervención acorde con los principios de la empresa, los lineamientos de las actividades forestales y la inminente inserción de las tecnologías digitales en la prestación de servicios.

9. BIBLIOGRAFÍA

Ajayi, A., Osayi, F., Jerome, D., & Omoregie, A. (2016). Investigating vegetation induced faults on power transmission line; a case study of the irrua-auchi-agenebode 33kv transmission line edo state Nigeria. *Global Journal of Advanced Research* , 3, 177-183.

Alcaldía La Dorada. (2014). *Manual de Silvicultura Urbana*. La Dorada: Secretaría de Planeación - División de Proyectos.

ANSI - American National Standards Institute -. (2006). *A300 (Part 7)-2006: Tree, Shrub, and Other Woody Plant Management- Standard Practices (Integrated Vegetation Management a. Electric Utility Rights-of-way)*. Estados Unidos: ANSI.

Arancibia, M. E. (2008). El uso de los sistemas de información geográfica –SIG- en la planificación estratégica de los recursos energéticos. *Polis. Revista Latinoamericana* , 20, 1-11.

Balmaceda Meza, S. (2010). *Afectación de la Vegetación en las Líneas de Transmisión y Distribución*. Costa Rica: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Chávez Chávez, R. C. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo GPS de bajo costo para el levantamiento de información en campo relacionada con el proceso de georeferenciación para redes del sistema de distribución eléctrica*. Escuela Politécnica Nacional. Quito: Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

CHEC S.A E.S.P. (2010). *Reseña Histórica*. Recuperado el 1 de mayo de 2016, de Chec.com.co: <http://aplicaciones.chec.com.co/node/17>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2008). *Resolución 97 de 2008*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.

Congreso de Colombia. (2006). *Ley 1021 de 2006 - Ley General Forestal*. Bogotá: Congreso de Colombia.

Congreso de Colombia. (1994). *Ley 143 de 1994*. Bogotá: Congreso de Colombia.

CORPOURABÁ. (2005). *Guía Técnica para elaboración de Planes de Manejo Forestal en áreas dentro de Unidad de Ordenación*. Urabá: CORPOURABÁ-USAID.

Departamento Nacional de Planeación. (2011). *Plan Nacional de Desarrollo 2010 -2014 TOMO I*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

Goodfellow, J. (2006). *Understanding How Trees Cause Power Interruptions (presented at 82nd Conference of International Society of Arboriculture)*. Minneapolis.

Grupo Empresarial EPM. (2011). *Política Ambiental EPM*. Medellín: Grupo Empresarial EPM.

Martínez Carazo, P. C. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & Gestión* (20), 165-193.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). *Decreto Ley 2811 de 1974*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Resolución 1526 de 2012*. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Anexo General del RETIE. Resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.

Ministerio de Minas y Energía. (2008). *Resolución 18 1294 de 2008. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.

Ministerio del Medio Ambiente. (1996). *Decreto 1791 de 1996*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente Colombia.

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Guías técnicas para la observación y el manejo sostenible de los bosques naturales*. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente.

Presidencia de la República Colombia. (2010). *Decreto 2372 de 2010*. Bogotá: Presidencia de la República Colombia.

Programa de Administración del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales.
(2011). *H2O. Habemus 2 Oikos*. Ibagué: Universidad de Ibagué - Universidad
Autónoma de Occidente