

**MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO  
SOSTENIBLE**



**UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES**

**IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS GENERADOS EN LA FLORA TERRESTRE  
POR LA IMPLEMENTACIÓN DE PEQUEÑAS CENTRALES  
HIDROELÉCTRICAS, EN LOS MUNICIPIOS DE ALEJANDRÍA Y SONSÓN,  
REGIÓN ORIENTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA**

**LUZ BIBIANA MOSCOSO MARÍN**

**JORGE LUIS MONTEALEGRE TORRES**

Tesis Presentada Como Requisito Para Optar al Título de Magíster en  
Desarrollo Sostenible Y Medio Ambiente

Asesor

Carlos Federico Álvarez Hincapié

Ingeniero Agrónomo, Especialista en Gestión Ambiental, M.Sc. Medio Ambiente  
y Desarrollo

Manizales, 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNIVERSIDAD DE MANIZALES por su constante y valioso aporte en el proceso de formación en la Maestría y a la contribución de todos y cada uno de los docentes. De igual manera al CENTRO DE EDUCACIÓN A DISTANCIA DE LA UNIVERSIDAD DE MANIZALES – CEDUM.

A CARLOS FEDERICO ÁLVAREZ HINCAPIÉ, por asesorar esta investigación, por su apoyo y orientación.

A los doctores RICARDO ÁLVAREZ LEÓN y JHON FREDY BETANCUR PÉREZ, directores de la Línea de Investigación en Biosistemas Integrados del CIMAD.

A CLAUDIA ALEXANDRA MUNÉVAR QUINTERO, tutora de la Maestría, cuyo trabajo hizo posible el vínculo permanente con la Universidad.

A los Tecnólogos Agroambientales EDWIN ARBEY CASTAÑEDA RINCÓN y LUIS FERNANDO SERNA AGUDELO, por su valiosa colaboración en el campo y por su constante trato amigable.

A los Ingenieros Forestales ESTEBAN GAVIRIA GALLEGO y LUISA YEPES PÉREZ, por su colaboración en la elaboración de la cartografía.

A todas aquellas personas, familiares, amigos, colegas y compañeros que estuvieron siempre presentes durante la realización de este trabajo. Todos ellos nos brindaron la oportunidad de realizar esta investigación, a través de la cooperación económica, la compañía y el apoyo logístico durante todo el tiempo de duración del proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS .....	16
3. JUSTIFICACIÓN .....	18
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	22
5. MARCO TEÓRICO .....	25
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
6.1 Área de estudio.....	42
6.2 Métodos .....	47
6.2.1 Muestreo de la vegetación.....	47
6.2.2 Proceso de herborización .....	49
6.2.3 Análisis de diversidad .....	51
6.2.4 Calificación y valoración ambiental usado tradicionalmente.....	53
6.2.5 Modelo Propuesto por los autores .....	57
6.3 Materiales y equipos .....	66
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	68
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	124
9. BIBLIOGRAFÍA.....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las PCH según la potencia instalada. Tomada de Mora y Hurtado (2004). .....	27
Tabla 2. Clasificación de las PCH según la potencia instalada. Tomada de Mora y Hurtado (2004). .....	28
Tabla 3. Identificación de impactos generados por las PCH vs. Centrales hidroeléctricas con presa. Adaptado de <i>International Energy Agency</i> (2000).....	29
Tabla 4. Datos de ubicación local de cada uno de los proyectos. Tomados por los autores. ....	46
Tabla 5. Unidades, ponderación, rangos de referencia, calificación y cualificación de las variables, propuesto por los autores. ....	64
Tabla 6. Método de evaluación de impactos propuesto por los autores. ....	65
Tabla 7. Equivalencia cualitativa de la sumatoria general de impactos de la PCH. ....	66
Tabla 8. Listado de especies vegetales del Proyecto 1 Sonsón.....	71
Tabla 9. Familias más comunes según el número de individuos del Proyecto 1 Sonsón. ....	73
Tabla 10. Familias más comunes según el número de especies del Proyecto 1 Sonsón. ....	75
Tabla 11. Índices de diversidad para cada cobertura y total del Proyecto 1 Sonsón. ...	79
Tabla 12. Índice de valor de importancia para todas las especies del Proyecto 1 Sonsón. ....	81
Tabla 13. Listado de especies vegetales encontradas en el Proyecto 2 Sonsón.....	87
Tabla 14. Porcentaje de representación por familias según el número de individuos y el número de especies del Proyecto 2 Sonsón. ....	89
Tabla 15. Índices de diversidad y dominancia para cada cobertura en el Proyecto 2 Sonsón. ....	91

Tabla 16. Listado de especies vegetales en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría. ....	96
Tabla 17. Porcentaje de las familias más comunes según el número de individuos dentro del muestreo y el número de especies representativas en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría. ....	100
Tabla 18. Índices de diversidad y dominancia para cada parcela y para el total de especies muestreadas en el Proyecto 3 Alejandría.....	103
Tabla 19. Índice de valor de importancia para todas las especies en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría. ....	105
Tabla 20. Relaciones entre los tres proyectos PCH. ....	108
Tabla 21. Cálculo del índice de <i>Jaccard</i> y <i>Sorensen</i> para los tres proyectos PCH.....	110
Tabla 22. Valoración de impactos ambientales usando el Método de Conesa.....	116
Tabla 23. Valoración de impactos sobre coberturas vegetales con el método propuesto por los autores. ....	118
Tabla 24. Resultados generales obtenidos con el modelo de Conesa y otro generado por los autores – Moscoso y Montealegre.....	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de las subregiones del oriente antioqueño.....	43
Figura 2. Familias con mayor número de individuos del Proyecto 1 Sonsón.....	75
Figura 3. Representación gráfica de las familias con mayor número de especies del Proyecto 1 Sonsón. ....	78
Figura 4. Representación gráfica de las 10 especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) del Proyecto 1 Sonsón.....	83
Figura 5. Representación gráfica de las familias según el número de individuos y de especies dentro del muestreo del Proyecto 2 Sonsón. ....	90
Figura 6. Representación gráfica de las 10 familias con mayor número de individuos en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.....	101
Figura 7. Representación gráfica de las 10 familias con mayor número de especies en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.....	102
Figura 8. Representación gráfica de las 10 especies con mayor Índice de valor de importancia para todas las especies en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría. ....	107

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Panorámica del cañón del río Arma Proyecto 1 Sonsón. ....	69
Foto 2. <i>Oreopanax capitatus</i> , especie encontrada en el inventario del Proyecto 1 Sonsón. ....	70
Foto 3. Arbustal denso en la zona de captación del Proyecto 2 Sonsón. ....	85
Foto 4. Cobertura Pastos arbolados en la zona de casa de máquinas del Proyecto 2 Sonsón. ....	86
Foto 5. Panorámica de la cobertura vegetación secundaria o en transición observada en la parte alta de la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría. ....	93
Foto 6. Panorámica de la cobertura pastos arbolados observada en la parte media y baja de la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría. ....	94
Foto 7. Panorámica de la coberturas de cultivos de café observadas en la parte media de la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría. ....	95
Foto 8. Panorámica del cañón del río Arma en el Proyecto 1 Sonsón. ....	134
Foto 9. Coberturas vegetales observadas en el Proyecto 1 Sonsón. ....	134
Foto 10. Cobertura vegetación secundaria o en transición en el Proyecto 1 Sonsón. ....	135
Foto 11. Cobertura arbustal denso en la zona de captación del Proyecto 2 Sonsón. ....	135
Foto 12. Cobertura pastos arbolados en la zona casa de máquinas del Proyecto 2 Sonsón. ....	136
Foto 13. Panorámica del río Sirgua y coberturas circundantes en el Proyecto 2 Sonsón. ....	136
Foto 14. Cobertura de vegetación secundaria o en transición en el Proyecto 3 Alejandría. ....	137
Foto 15. Interior de la cobertura vegetación secundaria o en transición del Proyecto 3 Alejandría. ....	137
Foto 16. Estado de conservación de la zona captación en el Proyecto 3 Alejandría. ....	138

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1</b> REGISTRO FOTOGRÁFICO DE CAMPO.....	134
<b>ANEXO 2</b> FORMATO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO.....	134
<b>ANEXO 3</b> OTROS MODELOS USADOS PARA MEDIR IMPACTOS AMBIENTALES EN PROYECTOS DE DESARROLLO .....	140
<b>ANEXO 4</b> IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS EN PROYECTOS PCH ASOCIADOS AL COMPONENTE FLORA .....	141
<b>ANEXO 5</b> MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA LA DIMENSIÓN BIÓTICA DE TRES PROYECTOS PCH .....	145
<b>ANEXO 6</b> DATOS USADOS PARA EL DESARROLLO DEL MODELO DE VALORACIÓN DE IMPACTOS SOBRE EL COMPONENTE FLORA .....	149
<b>ANEXO 7</b> ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL MODELO DE VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE EL COMPONENTE FLORA.....	149
<b>ANEXO 8</b> PLANOS .....	150

## RESUMEN

La creciente demanda por fuentes de energía, ha generado un interés local y global por la búsqueda de fuentes alternativas de recursos energéticos, concibiendo a las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas como una estrategia más “amigable” con el ambiente. El objetivo de la presente investigación es identificar y evaluar los impactos positivos y negativos generados por la implementación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas sobre la flora terrestre, en los municipios de Alejandría y Sonsón, durante las fases previas, de construcción y operación de los proyectos. La valoración de impactos, se realizó por medio del modelo de Conesa (2009) junto con un modelo propuesto por los autores. Se encontró que las actividades del proyecto que generan impacto sobre las coberturas vegetales hacen referencia a: visitas de reconocimiento; apertura de senderos y trochas; compra de predios y mejoras; remoción de vegetación y descapote; disposición de sobrantes de excavación; limpieza de la servidumbre para la línea de conexión y áreas operativas; presencia del proyecto; y mantenimiento de servidumbres y vías. Y de ellas para los tres proyectos, fueron remoción de la capa superficial del suelo para adecuación de obras y corte de la vegetación arbórea y arbustiva para el corredor de la servidumbre. El modelo propuesto por los autores mostró que el impacto de los diferentes proyectos sobre la vegetación de Sonsón 1 y

Aleandría está calificado como Alto, mientras que para Sonsón 2 es Medio, lo cual indica similitud en la tendencia de dichos impactos por proyecto.

**Palabras Clave:** Impacto Ambiental, Energía Limpia, Pequeña Central Hidroeléctrica, Coberturas Vegetales, Gestión ambiental, Sonsón, Aleandría.

#### **ABSTRACT**

*The growing demand for energy sources, it has generated a local and global interest for the search of alternative sources of energy resources, conceiving to the Small Central Hydroelectric as a "friendlier" strategy with the environment. The objective of the present investigation is to identify and to evaluate the impacts generated by the Small Central Hydroelectric implementation on the terrestrial flora, in the municipalities of Alejandria and Sonsón, during the previous phases, of construction and operation of the projects. The valuation of impacts, was carried out by means of the pattern of Conesa (2009) together with a model proposed by the authors. It was found that the activities of the project that generate impact on the vegetable coverings make reference to: recognition visits; opening of paths and trails; purchase of properties and improvements; removal of vegetation; disposition of excavation surpluses; cleaning of the servitude for the connection line and operative areas; witnesses of the project;*

*and maintenance of servitudes and roads. And of them for the three projects, they were removal of the superficial layer of the floor for adaptation of works and cut of the arboreal vegetation and shrubby for the corridor of the servitude. The pattern proposed by the authors showed that the impact of the different projects on the vegetation of Sonsón 1 and Alejandria is qualified as High, while Sonsón 2 is Meddle, that which indicates similarity in the tendency of this impacts for the project.*

**Key Words:** *Environmental impact, Clean Energy, Small Hydroelectric Centrals, Vegetal layers, Environmental management, Sonsón, Alejandría.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de generación de energía pueden tener impactos negativos sobre el medio ambiente, impactos relacionados generalmente con la ocupación del terreno, la transformación del territorio, la derivación y captación de recursos hídricos superficiales y posibles alteraciones sobre la fauna y la flora, aunque en menor cantidad en comparación con los sistemas de mayor tamaño. También para las pequeñas centrales (micro-aplicaciones) es importante mantener un reflujo adecuado, es decir, el caudal ecológico, para la conservación del ecosistema fluvial en el que se encuentra la instalación (Huacuz, 1999). Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) se definen, como centrales de generación de energía, con una potencia de generación baja. Esta energía es conducida por diferentes líneas de transmisión a los centros de consumo, en donde se utiliza en alumbrado público y residencial, operación de aparatos electrodomésticos y demás necesidades eléctricas de la zona en donde se llevará a cabo el proyecto. Estas centrales tienen la desventaja de proporcionar una corriente eléctrica variable, puesto que los cambios climáticos y meteorológicos pueden hacer variar el flujo de agua y por tanto la cantidad de agua disponible (Mora y Hurtado, 2004).

Dada la creciente demanda por fuentes de energía, se ha generado un interés de nacionales y extranjeros por la búsqueda de fuentes alternativas de recursos

energéticos, concibiendo las PCH como la estrategia más “amigable”, en la actualidad, con el ambiente. Debido al hecho que las PCH están incluidas entre las fuentes limpias de energía, éstas pasaron a constituir un negocio atractivo, además que la legislación vigente que otorga las licencias ambientales y establece un control blando e incentivos fiscales y financieros es bastante flexible, lo que finalmente altera las dinámicas biológicas de forma grave si se acumulan en una cuenca, o se establecen sin mayores precauciones (Osaba, 2010). Por su presunto bajo impacto ambiental, las licencias ambientales para PCH son concedidas por órganos estatales, que son vulnerables a las presiones económicas locales y que realizan un pobre control de los mismos (Osaba, 2010).

Por las razones planteadas anteriormente, sumado al sesgo y presiones corporativas que algunas veces sufren los encargados de hacer los estudios de impacto ambiental (EIA), la presente investigación, trata de Identificar y evaluar los impactos generados por la implementación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) sobre la flora terrestre, en los municipios de Alejandría y Sonsón, región Oriente del Departamento de Antioquia, durante las fases previas, de construcción y operación de los proyectos.

Una vez definidas las áreas geográficas en los municipios objeto de estudio, se identificaron las áreas en las cuales los proyectos tendrían influencia directa.

Estas se describieron y delimitaron de acuerdo a las directrices que dicta la Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare –CORNARE-para tal fin, es decir, donde las obras de infraestructura impactarán específicamente. En cada una de las áreas definidas como de intervención directa, es decir, donde se proyectó la construcción de obras de infraestructura que impactarían superficialmente el terreno (captación, ventanas de túneles, casa de máquinas) se realizó la identificación *in situ* de los individuos con un DAP  $\geq 10\text{cm}$  a partir de dos tipos de muestreo: Muestreos tipo RAP, Identificación *in situ* de los individuos al 100%; donde se determinó, entre otras, variables como coberturas vegetales presentes, IVI, diversidad Alfa, diversidad Beta, y la calificación y valoración ambiental de impactos usada tradicionalmente. Esta se realizó por medio del modelo de Conesa (2009) junto con un modelo propuesto por los autores, basado en las variables: porcentaje de área de cobertura vegetal a perderse, porcentaje de especies removidas, porcentaje de individuos removidos, presencia de especies en listados rojos, porcentaje de pérdida de diversidad, porcentaje de biomasa removida, tipo de cobertura vegetal dominante, distancia al fragmento más cercano y áreas protegidas presentes sobre el área a remover.

Entre otros, los impactos que afectan la flora del área de estudio son: visitas de reconocimiento, apertura de senderos y trochas, compra de predios y mejoras remoción de vegetación y descapote, disposición de sobrantes de excavación,

limpieza de la servidumbre para la línea de conexión y áreas operativas,  
mantenimiento de servidumbres y vías.

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1 Objetivo general***

Identificar y evaluar los impactos generados por la implementación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) sobre la flora terrestre, en los municipios de Alejandría y Sonsón, durante las fases previas, de construcción y operación de los proyectos.

### ***2.2 Objetivos específicos***

Determinar la estructura de las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm, en inmediaciones de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), en los municipios de Alejandría y Sonsón antes de las intervenciones por establecimiento de infraestructuras.

Determinar la composición de las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm, en inmediaciones de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), en los municipios de Alejandría y Sonsón antes de las intervenciones por establecimiento de infraestructuras.

Determinar la diversidad alfa y beta de las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm, en inmediaciones de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), en los municipios de Alejandría y Sonsón antes de las intervenciones por establecimiento de infraestructuras.

Identificar las actividades que impactan directamente las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm, durante las etapas preliminares, de construcción y de operación de las PCH en los municipios de Alejandría y Sonsón región Oriente del Departamento de Antioquia.

Evaluar el efecto y estimar las transformaciones que sufren las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm, con la instalación de las PCH en los municipios de Alejandría y Sonsón a través del modelo de Conesa (2009) y otro propuesto por los autores.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Los proyectos de represas de gran alcance pueden causar cambios ambientales irreversibles, en un área geográfica muy extensa (IPSE, 2010). Hay impactos ambientales directos asociados con la construcción de la represa, pero los impactos más importantes son el resultado del embalse del agua, la inundación de la tierra para formar el embalse y la alteración del caudal de agua, aguas abajo. Estos efectos ejercen impactos directos en los suelos, la vegetación, la fauna, las tierras silvestres, la pesca, el clima y la población humana del área. Sin embargo, las PCH, obedecen según su concepción arquitectónica a construcciones a filo de agua servida, también denominadas, centrales de agua fluyente o de pasada, lo que quiere decir, que utilizan parte del flujo del río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua, porque no tienen capacidad para almacenar agua, ya que no disponen de embalse. Turbinan el agua en el momento, limitadamente a la capacidad instalada, por esta razón los impactos aguas arriba y aguas abajo de las construcciones que hacen parte de la PCH son muy bajos, y estas zonas no se ven afectadas por grandes impactos ambientales, pero sí aquellas en las cuales se implantan las estructuras para el funcionamiento de las mismas, es decir, aquellas áreas destinadas a captación, casa de máquinas, túneles, ventanas de construcción, líneas de transmisión y otras obras complementarias (IPSE, 2010).

Debido a que dichas obras de infraestructura requieren sin excepción que toda la capa vegetal existente sea removida para dar paso a su construcción, se prevé que las consecuencias directas que tendrán estas acciones estén relacionadas, con los siguientes elementos:

- Afectación de las diferentes coberturas vegetales y con ello, pérdida de especies de flora.
- Sustracción de áreas pertenecientes a reservas forestales, formación de parches de vegetación no interconectados entre sí, evitando la dispersión de semillas, y polen, con los consecuentes problemas de endogamia.
- Efectos secundarios negativos sobre otros elementos del ecosistema: fauna, suelos, agua, geoformas, entre otros.
- Alteración de coberturas vegetales adyacentes a las del proyecto, producto de la presencia de otras formas de tenencia de la tierra y entes culturales ajenos a los tradicionales que lleguen a las zonas con nuevos proyectos de ocupación de los espacios.
- Alteración y/o interrupción de las interrelaciones ecológicas y los efectos adversos y desconocidos sobre biodiversidad y los bienes y servicios ambientales.

La presente investigación se enfocó a estudiar las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq 10\text{cm}$ , donde se encontraron coberturas como bosque fragmentado, bosque de galería y ripario, vegetación secundaria o en transición, arbustal denso y pastos arbolados, que eventualmente se ven afectados por procesos de remoción y construcción de las diferentes infraestructuras.

Dicha remoción acarrea la pérdida de individuos con características eventualmente importantes, como ejemplares productores de semillas de alta calidad genética, especies endémicas, en procesos de extinción, en peligro o vulnerables, hábitat de otras especies vegetales y animales, productores de alimento para las poblaciones humanas o animales, con potencial medicinal, industrial o artesanal.

Estas comunidades vegetales, además, participan en la regulación del ciclo hidrológico, tienen características paisajísticas y conforman corredores biológicos que permiten la dispersión de semillas, polen, alimento y refugio para la biota.

La población humana ubicada en los alrededores de las cuencas impactadas con la remoción de las coberturas vegetales, podrían ver que el recurso hídrico, (indispensable para su supervivencia), se reduce. Además, las coberturas vegetales en estados sucesionales medios a avanzados son fuente de alimento,

madera, leña, resinas, látex, semillas, flores, frutos, entre otros, comercializados frecuentemente aportando a su subsistencia.

Es importante recalcar que el objeto básico de esta investigación es la identificación y evaluación de impactos positivos y negativos sobre un componente de la biota terrestre: la flora, y con ella no se pretende evaluar al sistema como tal, ni sus procesos, ni los eventuales materiales que se consigan con la implementación de un proyecto PCH.

La ubicación espacial de la investigación, es la región Oriente del Departamento de Antioquia, específicamente en los municipios de Alejandría y Sonsón en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare – CORNARE- que será descrita con mayor precisión más adelante. Fue elegida dado que la conservación y protección de este ecosistema es fundamental debido a la abundancia de su oferta hídrica, de la cual depende, de un lado, la generación hidroeléctrica que abastece una parte importante de la demanda regional y nacional; y de otra parte, el abastecimiento de los sistemas de acueductos que satisfacen la demanda de este líquido vital en las comunidades de la zona y en gran parte del Área Metropolitana del Valle de Aburra, (Gobernación de Antioquia, 2011c).

#### **4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Dada la creciente demanda por fuentes de energía, se ha generado un interés por la búsqueda de fuentes alternativas de recursos energéticos, concibiendo las PCH como la estrategia más “amigable”, en la actualidad, con el ambiente.

El lugar ocupado por Colombia en recursos hidrológicos y sus características topográficas, facilitan la creación de PCH bien sea para interconexión al sistema o para el suministro de energía en comunidades apartadas (Ortiz, 2010).

Debido al hecho que las PCH están incluidas entre las fuentes limpias de energía, éstas pasaron a constituir un negocio atractivo, además de que la legislación vigente que otorga las licencias ambientales y establece un control blando e incentivos fiscales y financieros es bastante flexible, lo que finalmente altera las dinámicas biológicas de forma grave si se acumulan en una cuenca, o se establecen sin mayores precauciones (Osaba, 2010).

Por su presunto bajo impacto ambiental, las licencias ambientales para PCH son concedidas por órganos estatales, que son vulnerables a las presiones económicas locales y que realizan un pobre control de los mismos (Osaba, 2010). Adicionalmente, los consultores, ya sean personas naturales o jurídicas,

encargadas de evaluar los posibles efectos de la construcción y operación de las PCH, pueden ver sesgada su evaluación hacia favorecer la construcción de la PCH, por las presiones de sus empleadores. La presente investigación pretendió realizar una evaluación independiente de la implantación de las PCH, buscando una opinión imparcial y libre de las presiones de las empresas hidroeléctricas o de cualquier otra índole.

Sumado a lo anterior, cada día se radican en las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), estudios de impacto ambiental, asociados a proyectos de implementación de PCH, y dado que estas en su mayoría tienen bajos presupuestos y presentan dificultades logísticas y de personal para su estimación, muchos ítems no son evaluados correctamente, pasando por alto elementos de caracterización y manejo que podrían evitar y/o mitigar los posibles impactos que se ocasionarían sobre las comunidades vegetales.

La poca importancia que se da al componente biótico sobre los demás, es decir, el físico y el social, ha provocado que los impactos generados sobre este, revistan menor importancia y por tanto son tenidos en cuenta como secundarios a la hora de establecer los planes de manejo ambiental. Sin embargo, dichos impactos podrían mitigarse con estudios previos y una planificación adecuada (Osaba, 2010).

Para dimensionar el efecto de las obras de infraestructura, se necesita evaluar y luego evitar y/o mitigar el impacto que se causará en el área del proyecto a la biota. Por ello se realiza el estudio de impacto ambiental. Sin embargo, los impactos no siempre son correctamente identificados y por consiguiente los planes de manejo ambiental asociados a la protección de estos recursos, específicamente, los referentes a los elementos de flora y de coberturas vegetales, poco corrigen, mitigan o compensan los efectos de la implementación de las PCH en sitios específicos.

Por lo planteado en los párrafos precedentes, el problema que se trazó con la presente investigación, se propuso dar solución a los siguientes planteamientos:

¿Cuáles son los impactos generados por la implementación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) sobre la flora terrestre, en los municipios de Alejandría y Sonsón región Oriente del Departamento de Antioquia?

¿Cómo son los impactos generados por la implementación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) sobre la flora terrestre, en los municipios de Alejandría y Sonsón región Oriente del Departamento de Antioquia?

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1 Centrales Hidroeléctricas**

Las primeras empresas eléctricas se establecieron en 1881 con el fin de comercializar los servicios de iluminación. Típicamente el generador eléctrico era movido aprovechando pequeñas caídas y corrientes de agua en esquemas que hoy denominamos Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Sin embargo, la tercera parte de la población mundial aún no cuenta con acceso al servicio eléctrico, cerca de dos mil millones de personas distribuidos principalmente en las áreas rurales de los países en desarrollo, ansían cambiar sus condiciones de vida, procurándose acceso a la electricidad y todo lo que con ella viene (Huacuz, 1999).

Huacuz (1999) también menciona que en la actualidad las tecnologías de generación masiva de electricidad son una de las principales fuentes de emisión de gases con efecto invernadero, producción de lluvia ácida y otros contaminantes, y aún cuando se han venido desarrollando tecnologías para contrarrestar tales efectos, se comienza a mostrar preferencias por opciones más benignas con el medio ambiente. Cada vez más naciones están optando por no recurrir a tecnologías de generación que ofrecen suministros cuantiosos de electricidad y que también conllevan riesgos que la sociedad está prefiriendo

no tomar. Todo parece indicar que las grandes centrales de generación seguirán siendo en el futuro inmediato los principales centros de suministro para las zonas urbanas más pobladas y los centros industriales. Sin embargo, esta forma de generación tal vez no pueda seguir marcando la pauta en el proceso de electrificación de la tercera parte de la población mundial que aún carece del servicio. Frente a esta situación se plantean dos caminos complementarios: el primero, relativo al ahorro y uso eficiente de la electricidad; el segundo, relacionado con la pequeña generación eléctrica con fuentes locales de energía.

Los sistemas de generación de energía pueden tener impactos negativos sobre el medio ambiente, relacionados sobre todo con la ocupación del terreno, la transformación del territorio, la derivación y captación de recursos hídricos superficiales y posibles alteraciones sobre la fauna y la flora, aunque son de mucha menor entidad que los sistemas de mayor tamaño. También para las pequeñas centrales (micro-aplicaciones) es importante mantener un reflujó adecuado, es decir, el caudal ecológico, para la conservación del ecosistema fluvial en el que se encuentra la instalación (Huacuz, 1999).

Las PCH se definen entonces, como centrales de generación de energía, con una potencia de generación baja. En su mayoría se construyen en zonas aisladas y no representan gran importancia para el sistema de interconexión

nacional ya que su área de influencia es muy reducida. Se pueden definir como el conjunto de obras civiles y estructuras hidráulicas generales y específicas que complementadas con su correspondiente equipo electromecánico, aprovechan las energías potencial y cinética del agua para producir energía eléctrica. Esta energía es conducida por diferentes líneas de transmisión a los centros de consumo, en donde se utiliza en alumbrado público y residencial, operación de aparatos electrodomésticos y demás necesidades eléctricas de la zona en donde se llevará a cabo el proyecto. Estas centrales tienen la desventaja de proporcionar una corriente eléctrica variable, puesto que los cambios climáticos y meteorológicos pueden hacer variar el flujo de agua y por tanto la cantidad de agua disponible (Mora y Hurtado, 2004).

La Organización Latinoamericana de Energía OLADE clasifica las PCH de acuerdo a la potencia instalada como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las PCH según la potencia instalada. Tomada de Mora y Hurtado (2004).

Potencia (kW)	Tipo
0 – 50	Microcentral
50 – 500	Minicentral
500 – 5000	Pequeña central

Interconexión Eléctrica S.A (ISA) clasifica las centrales hidroeléctricas de acuerdo a su potencia instalada de la siguiente forma:

Tabla 2. Clasificación de las PCH según la potencia instalada. Tomada de Mora y Hurtado (2004).

Potencia (MW)	Tipo
Menores a 0,1	Microcentral
De 0,1 a 1	Minicentral
De 1 a 10	Pequeña central

Las PCH con derivación son un tipo de planta a filo de agua, en la que no se usa un embalse para almacenar agua, sino que el caudal se toma del recurso hídrico directamente por una bocatoma que dirige el caudal a un canal en el que se alcanza la caída necesaria para obtener la potencia requerida; después se encuentra un tanque de presión y un desarenador que conducen el caudal a una tubería a presión por la cual se lleva a la turbina de generación. Su impacto ambiental es mínimo comparado con el causado con un proyecto de autorregulación o que usa una presa.

## 5.2 Identificación de Impactos de las pequeñas centrales hidroeléctricas

La identificación de Impactos puede de las PCH se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Identificación de impactos generados por las PCH vs. Centrales hidroeléctricas con presa. Adaptado de *International Energy Agency* (2000).

<b>Centrales hidroeléctricas con presa</b>	<b>Pequeñas centrales hidroeléctricas</b>
Cantidad de biomasa por hectárea inundada, puede variar de 500t/ha para bosques tropicales frente a 100t/ha para bosques de clima boreal.	No hay inundación.
Utilización de grandes áreas de tierra, lo que causa la transformación de los bosques y ecosistemas acuáticos. Requerimientos de tierra: 2 - 152 km <sup>2</sup> / TWh / año.	Requerimientos de tierra: 0,1 km <sup>2</sup> / TWh / año.
Emisiones de gases efecto invernadero: 2 – 48 kt, CO <sub>2</sub> eq/ TWh.	Emisiones de gases efecto invernadero: 1 – 18 kt, CO <sub>2</sub> eq/ TWh.
Emisiones de SO <sub>2</sub> : 5 – 60 t SO <sub>2</sub> / TWh.	Emisiones de SO <sub>2</sub> : 1 – 25 t SO <sub>2</sub> / TWh.
Emisiones de NO <sub>x</sub> : 3 – 42 t NO <sub>x</sub> / TWh. Impactos en la salud respiratoria, que son absorbidos por los seres humanos a través de la cadena alimentaria.	Emisiones de NO <sub>x</sub> : 1 – 68 t NO <sub>x</sub> / TWh.
Emisiones de partículas: 5 t / TWh.	Emisiones de partículas: 1 - 5 t / TWh.

<b>Centrales hidroeléctricas con presa</b>	<b>Pequeñas centrales hidroeléctricas</b>
Emisiones de mercurio en la planta: 0,07 kg Hg / TWh. Equivalentes a la acumulación neta total de mercurio en la biota durante un periodo de seis años después de la inundación. Contaminación de suelos, ríos y lagos. Absorción de mercurio por los seres humanos y otros animales a través de la cadena alimentaria.	No hay.
Riesgos de enfermedades transmitidas por el agua.	No conocidas.
Barreras para peces migratorios.	No hay.
Pérdida de hábitats terrestres: transformación de humedales terrestres y ambientes acuáticos, así como modificaciones de los hábitats ribereños y acuáticos.	No hay.
Cambios en la calidad del agua, sedimentación en el embalse.	No ocurre.
Modificaciones en el flujo de agua: fluctuaciones de los niveles de agua diferentes a los observados en lagos naturales que conduce a la desestabilización de la zona de retiro.	No ocurre.
Erosión como resultado de la recolección de grandes cuerpos de	No ocurre.

Centrales hidroeléctricas con presa	Pequeñas centrales hidroeléctricas
agua.	
Repercusiones sobre la diversidad biológica, cambios en las comunidades de peces, aumento de la biomasa de peces como consecuencia del boom biológico, en otros casos disminución como consecuencia de la eutrofización y el agotamiento del oxígeno, pérdidas de hábitats de desove.	No ocurre.

TWh ( $10^{12}$ : terawatt hora); kt, CO<sub>2</sub> eq (kilotones equivalentes de dióxido de carbono)

### 5.3 Ventajas de las pequeñas centrales hidroeléctricas

De acuerdo con Smith *et al.* (2003), es evidente el enorme potencial energético del país, que ofrece alternativas de generación de energía sostenible y económicamente atractiva en prácticamente todo el territorio, especialmente en la región andina. Dentro de las innumerables ventajas que ofrecen las PCH, se pueden resaltar dos, en primer lugar que un alto porcentaje del país posee un potencial hidroeléctrico económicamente aprovechable, lo cual representa una importante solución energética para gran parte de las zonas no interconectadas del país. Y en segundo lugar, las PCH representan una fuente de energía renovable, limpia y sostenible, que puede significar ingresos adicionales para el proyecto a través de la negociación de Certificados de Reducción de Emisiones

de CO<sub>2</sub> contemplados en el Protocolo de Kyoto al acceder a fondos de financiación a través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio.

Por su parte Mora y Hurtado (2004) señalan que en Colombia se tienen grandes posibilidades para una amplia difusión de pequeñas centrales, además las empresas eléctricas e instituciones financieras muestran gran interés en un programa nacional para la rehabilitación de PCH ya que es una alternativa económica para el abastecimiento de energía. En las zonas rurales, fuera del consumo doméstico y social, se puede utilizar la energía con otros fines como secar el café u otros granos, despulpar el café, trapiches, pica pastos, panaderías, carpinterías, talleres metalmecánicos y automotrices, conservación de productos agrícolas, desgranar o trillar maíz, soja, sorgo, etc.

#### **5.4 Las evaluaciones de impacto ambiental en las pequeñas centrales hidroeléctricas**

La realización de un proyecto de PCH genera un impacto sobre el medio ambiente aledaño. El estudio de impacto generado es un factor muy importante para determinar la viabilidad del proyecto. El eje principal de este estudio es la sociedad y el individuo frente a este proyecto, pero es indispensable evaluar también desde este punto de vista el proyecto en general. Para los estudios ambientales se deben tener en cuenta las condiciones topográficas,

hidrológicas, geológicas y ambientales de la cuenca; las obras civiles y sus sistemas constructivos y técnicos; así como los factores culturales y socioeconómicos que este proyecto afectará.

De acuerdo con MAVDT (2010a) y MAVDT (2006), cuando una persona natural, jurídica o mixta está interesada en desarrollar un proyecto hidroeléctrico para generación, debe acogerse a los términos de referencia establecidos por el MAVDT de Colombia para la elaboración de los estudios de impacto ambiental, que en última instancia será uno de los insumos para solicitar la licencia ambiental, de acuerdo con las condiciones específicas del proyecto.

De la misma manera, el interesado en obtener la licencia ambiental, deberá verificar que no queden excluidos en la evaluación aspectos que puedan afectar negativamente el uso óptimo y racional de los recursos naturales renovables o el medio ambiente, o alguna de las medidas de prevención, corrección, compensación, y mitigación de impactos y efectos negativos que pueda ocasionar el proyecto, obra o actividad.

Adicionalmente, el reconocimiento de que los bosques son ecosistemas complejos cuyo manejo requiere tener en cuenta no solo los bienes que producen, sino los servicios ambientales que generan y una serie de servicios

económicos y culturales para las poblaciones que los habitan ha venido creciendo (Escobar, 2001).

Para la caracterización de la flora en dichos estudios, se debe considerar entonces el levantamiento de información secundaria o primaria de manera que:

- Se identifiquen, sectoricen y describan las zonas de vida o formaciones vegetales.
- Se identifiquen, sectoricen y describan los diferentes tipos de cobertura vegetal existente.
- Se determinen las características de composición y estructura de los diferentes tipos de cobertura vegetal delimitadas.
- Se identifiquen, delimiten y describan ecosistemas sensibles y áreas naturales protegidas.

Adicionalmente, con base en el levantamiento de información primaria:

- Se localicen las diferentes unidades de cobertura vegetal y uso actual del suelo.

- Se caractericen y cuantifiquen las diferentes unidades florísticas; realizando un análisis estructural desde los puntos de vista horizontal y vertical.
- Se identifiquen las especies endémicas, amenazadas o en peligro crítico, o de importancia ecológica, económica y cultural, entre otros.

Además, acuerdo con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010a), el Plan de Manejo Ambiental es el documento que, de manera detallada, establece las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, compensar, controlar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados en el desarrollo de un proyecto, obra o actividad

Las referencias acerca de la legislación ambiental vigente, que rige sobre el componente biótico y específicamente la flora, ofrecen las directrices que cualquier intento de intervención sobre ecosistemas, ya sean imperturbados o intervenidos, deben seguir en aras a conservar los recursos naturales que estas zonas poseen y en caso tal de que la intervención sea justificada en términos económicos, ambientales y sociales, que los recursos de flora, no se pierdan por desconocimiento, sino que sean correctamente caracterizados, evaluados y analizados, definiendo correctamente los impactos que sobre ellos se ciernen y

por consiguiente que se puedan implementar las medidas que garanticen su supervivencia y calidad, en términos de restauración, protección, compensación y mitigación.

MAVDT (2010b) establece en la metodología para la presentación de estudios de impacto ambiental que se deben identificar, describir y evaluar los posibles impactos sobre los medios abiótico, biótico y socioeconómico, que puedan originar las actividades relacionadas con el proyecto en estudio.

La evaluación de impactos se debe realizar incluyendo la identificación e interpretación de las interacciones de las actividades de la región con el medio ambiente existente y de las interacciones de las actividades del proyecto con el mismo. En el estudio se deben detallar las metodologías empleadas, los criterios de valoración y la escala espacial y temporal de la valoración.

La evaluación debe considerar especialmente los impactos residuales, acumulativos y sinérgicos de carácter positivo o negativo producto del desarrollo de otros proyectos en el área de influencia. Para desarrollar la evaluación ambiental con y sin proyecto se debe tener en cuenta:

- Análisis de los impactos previos al proyecto, identificando las actividades que más han ocasionado cambios en el entorno ambiental y

socioeconómico de la zona de estudio y realizar el análisis de tendencias.

- Análisis del proyecto en sus aspectos técnicos identificando las actividades impactantes en las diferentes etapas del mismo.
- Identificación y calificación de impactos esperados por la realización de las diferentes actividades del proyecto.

La metodología utilizada debe facilitar un análisis integrado, global, sistemático y multidisciplinario, y la evaluación de impactos debe incluir una discusión sobre las relaciones causales. Los criterios a considerar para la evaluación cuantitativa y cualitativa pueden ser entre otros, carácter, cobertura, magnitud, duración, resiliencia, reversibilidad, recuperabilidad, periodicidad, tendencia, tipo y posibilidad de ocurrencia.

Para valorar y jerarquizar los impactos, se debe tomar como referencia los límites permisibles de los contaminantes definidos en la legislación ambiental y el riesgo de la construcción y operación el proyecto sobre los diferentes medios.

Para ello se ha utilizado tradicionalmente la metodología propuesta por Conesa (2009), cuyo objetivo principal es la evaluación de impacto ambiental que sobre el medio ambiente, ocasionaría la puesta en marcha de un proyecto, obra o

actividad. Intentando predecir y evaluar las consecuencias que la ejecución de dichas actividades pueda ocasionar sobre el contexto (entorno) en el que se localiza.

También pretende que la identificación y evaluación de impactos sirva para indicar las posibles medidas correctoras o minimizadoras de sus efectos (ya que resulta prácticamente imposible erradicar por completo un impacto negativo). Una vez observado el sistema natural en el que se situará el proyecto, obra o actividad, se señalan las alteraciones esperadas según las características del mismo, promoviéndose determinadas acciones que lleven a un nivel admisible para la estabilidad del sistema natural, observando aquellos elementos que lo alterarían en una medida suficiente como para introducir transformaciones perjudiciales para el interés ecológico, en el que se tiene en cuenta al ser humano.

En definitiva este modelo realiza el estudio de las posibles alteraciones ambientales ocasionadas por el proyecto, así como la valoración de las mismas, determinándose los límites de los valores de las variables que entran en juego, bien de forma cualitativa o bien de forma cuantitativa. A partir de la identificación de los impactos es posible observar la descripción del efecto que genera una determinada actividad del proyecto sobre el elemento ambiental considerado, la localización del efecto (regional, puntual o local). También se

muestran los valores de los atributos que permitieron calificar los impactos: éstos son, velocidad, duración y probabilidad, así como el parámetro de inferencia utilizado para determinar la magnitud.

No obstante ha habido otros autores que han venido trabajando en indicadores cuantitativos de impactos generados en diferentes proyectos de desarrollo logrando proponer modelos ya sean integrales al proyecto como el de Conesa (2009), o bien categorizando dimensiones específicas. Ospina y Lema (2004) por ejemplo, propusieron una serie de modelos que a través del análisis integral e interdisciplinario, logran determinar el grado de afectación que un proyecto genera sobre una dimensión y sus relaciones con las demás.

Mientras que Plazas *et al.* (2009), propone valorar los impactos ambientales a través del uso de diferentes atributos de impacto y elementos ambientales, sintetizados en un índice denominado “Índice de calidad ambiental ICA” a nivel de proyecto, así como evaluaciones ambientales parciales a nivel de componente ambiental. El método de la matriz de Leopold, también usado para determinar la magnitud de los impactos ambientales a través del cruce de información entre las actividades propuestas y los elementos y características ambientales, si bien son útiles y claros a la hora de contemplar el impacto, no dan una evaluación final de él (De La Maza, 2007) (Anexo 9 – Otros modelos para medir impactos ambientales en proyectos de desarrollo).

Los modelos matemáticos son la única herramienta disponible para el estudio del comportamiento de los sistemas naturales que no pueden ser reproducidos en el laboratorio. Éstos, de hecho, permiten a través de algoritmos descomponer todo el proceso en mecanismos elementales, produciendo así esquemas conceptuales de sistemas complejos a través del ensamblaje progresivo de procesos más sencillos. Esta cadena conceptual simplifica y racionaliza cualquier proceso de simulación o protocolos de recolección de datos. Los modelos matemáticos pueden describir condiciones no observables en la naturaleza, también pueden acelerar procesos y analizar experimentos tradicionales realizados por fuera del laboratorio o el campo.

La evolución de programas de computación han sido fundamentales en el desarrollo de modelos ecológicos ya que ellos tienen una gran capacidad de procesamiento de datos y pueden ofrecer herramientas que ayuden en la toma de decisiones complejas, a la utilización de bases de datos de gran tamaño y a la simulación de escenarios reales (Marani, 1988).

Sin embargo, los modelos matemáticos no son los únicos métodos utilizados para predecir y valorar los impactos ambientales por la construcción de un proyecto de infraestructura, otras metodologías propuestas y reconocidas pueden ser evaluadas ya sea en términos de su enfoque de las relaciones Causa-efecto o desde el punto de vista de su contribución a los procesos de

planificación y toma de decisiones, entre ellos se pueden considerar otros métodos tales como: el Método *Dephi*, el Método *Batelle-Columbus*, los Diagramas de Redes, el Método de superposiciones de *Mc Harg* y los SIG, la Matriz de Metas-Logros, el Análisis de Decisiones, Listas de comprobación o “*check list*”, Reacciones en cadena, Sistemas de diagramas (Oyarzún, 2008 y De La Maza, 2007).

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1 Área de estudio**

Este estudio se efectuó en la región Oriente del Departamento de Antioquia, en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare (CORNARE) específicamente en los Municipios de Sonsón y Alejandría.

Según CORNARE (2009), la región del oriente antioqueño, se distribuye en cinco jurisdicciones cada una con una potencialidad identificada y orientada al desarrollo específico de sus características, así: (1) la jurisdicción Bosques con 140.000 ha, y con potencialidades para la protección de la biodiversidad y el aprovechamiento sostenible de los recursos promisorios, (2) la jurisdicción Valle de San Nicolás con 183.000 ha y cuyo énfasis de intervención es el ordenamiento territorial para los procesos de urbanización, (3) la jurisdicción Páramo con 238.100 ha, y con prioridades de restauración y recuperación del bosque y de los suelos, (4) la jurisdicción Aguas con cerca de 146.000 ha, con riqueza de embalses productores de energía y finalmente la (5) jurisdicción Porce-Nus con 103.000 ha dedicadas a la recuperación del suelo y el bosque.



Figura 1. Mapa de localización de las subregiones del oriente antioqueño.

Tomado de: Prodepaz y sus Prácticas Comunicativas Bajo la Luz del Derecho a la Información (2011).

El Municipio de Alejandría, presenta la siguiente información general, según la Gobernación de Antioquia (2011a):

Limita por el norte con Santo Domingo, por el occidente con Concepción, por el sur con Guatapé y por el oriente con San Rafael y San Roque.

La extensión total es de 125,7 km<sup>2</sup>; la altitud de la cabecera municipal es 1.650 msnm, con una temperatura media 20 °C y un clima templado.

El municipio está situado, en la Zona Embalses, pero recibe una gran influencia de la región del Nordeste con la que limita geográficamente.

Se encuentra en la zona de confluencia intertropical, lo cual es un factor determinante de las variaciones climáticas, especialmente en lo relacionado con el régimen de las precipitaciones. Por esta razón se presentan dos épocas húmedas durante el año (abril-mayo y octubre-noviembre). Igualmente influye en el clima, la localización de la cuenca en la vertiente oriental de la cordillera central y su relieve.

El clima se caracteriza por ser húmedo, lo que favorece la producción de agua y por ende la producción de energía; sin embargo, el exceso de agua y la pobreza de los suelos han restringido las posibilidades de desarrollo agrícola.

El Municipio de Sonsón, presenta la siguiente información general, según la Gobernación de Antioquia (2011b):

Limita al norte con los municipios de El Carmen de Viboral, Cocorná, Puerto Triunfo y San Francisco; al occidente con el municipio de Abejorral y el departamento de Caldas; al oriente con el departamento de Boyacá y al sur con los municipios de Argelia y Nariño y con el departamento de Caldas.

La extensión total del territorio es de 1.323 km<sup>2</sup>, la altitud de la cabecera municipal es 2.475 msnm, con una temperatura media 14,4 °C posee todos los pisos térmicos.

Sonsón es fuente productora de agua dulce y es así como posee cuencas de nacimientos de fuentes de aguas integradas a sistemas que en la actualidad son punto de mira de instituciones como CORNARE, EADE, MUSA, la Secretaría de Asistencia Rural y Medio Ambiente (SARYMA); además diferentes asociaciones conformadas para presentar proyectos tendientes a la conversión y aprovechamiento de los recursos hídricos en sus distintas etapas, teniendo como lema "El agua no se crea, el agua no se destruye, el agua no se transforma, el agua se retiene en el estado en que la necesitamos".

Los microsistemas del Páramo y Alto de Sabanas poseen los principales recursos hídricos propios. Además de las numerosas quebradas que bañan el territorio, a Sonsón lo cruzan, o lo tocan tangencialmente, varios ríos importantes en el ámbito nacional, entre ellos el Magdalena, San Lorenzo,

Samaná Sur, Claro, Verdes de los Henaos y de Los Montes, Aures, Sonsón, Murringo, Arma, Sirgua, Perrillo y Tasajo.

Las áreas de estudio pertenecen al Orobioma subandino de la cordillera Central, y al Orobioma andino y altoandino de la cordillera Central, cuya biodiversidad asociada a los remanentes de ecosistemas naturales del mismo se ha visto diezmada debido a una constante transformación y pérdida asociados a la acción antrópica (Rodríguez *et al.*, 2006).

Una vez definidas las áreas geográficas a escala municipal objeto de estudio, se partió de identificar las áreas en las cuales los proyectos tendrán influencia directa; éstas se describieron y delimitaron de acuerdo a las directrices que dicta la Corporación Autónoma Regional para tal fin, es decir, donde las obras de infraestructura impactarán específicamente.

Tabla 4. Datos de ubicación local de cada uno de los proyectos. Tomados por los autores.

<b>Proyecto PCH</b>	<b>Coordenadas de captación</b>	<b>Coordenadas de descarga</b>	<b>Río aprovechable</b>	<b>Veredas del área de influencia directa</b>
Sonsón 1	858.120 E 1'111.470 N	856.980 E 1'115.480 N	Arma	Arenillal, Caunsal Los Medios, Las Brisas, Caunsal Abajo, El Llano-

Proyecto PCH	Coordenadas de captación	Coordenadas de descarga	Río aprovechable	Veredas del área de influencia directa
				Cañaveral
Sonsón 2	864.173 E 1'115.857 N	858.900 E 1'116.045 N	Sirgua	Sirgua Abajo, Media Cuesta, Los Planes
Alejandría	882.324 E 1'198.837 N	882.954 E 1'200.677 N	Nare	Remolino, Fátima, Los Naranjos

Tanto en Alejandría como en Sonsón, se trabajó con información primaria, colectada sobre el área de influencia directa de 3 proyectos PCH.

## 6.2 Métodos

### 6.2.1 Muestreo de la vegetación

En cada una de las áreas definidas como de intervención directa, es decir, donde se proyectó la construcción de obras de infraestructura que impactarían superficialmente el terreno (captación, ventanas de túneles, casa de máquinas) se realizó un registro fotográfico (Anexo 1 - Registro fotográfico de campo) y la identificación *in situ* de los individuos con un DAP  $\geq$  10cm a partir de dos tipos de muestreo:

**Muestreos tipo RAP (Proceso de Evaluación Rápida):** realizados en aquellas zonas donde se encontraron parches de vegetación menos intervenida y donde las áreas lo permitieron. Estos consisten en el montaje de transectos semipermanentes, cada uno compuesto de 5 parcelas de 10 x 20 metros. En compañía de guías de campo de la región se registraron en los formularios diseñados (Anexo 2 - Formato de recolección de información en campo) los nombres locales y los usos dados a las especies vegetales encontradas, para aquellos individuos que no fueron identificados en campo, se realizó la colección de muestras botánicas, asignándoles un número consecutivo, diámetro normal (a una altura estandarizada de 1,3m desde el suelo), altura comercial, altura total, estado fenológico y presencia de otras características particulares que facilitó su determinación en herbario, tales como presencia de látex, exudados, olores, estípulas, entre otros. Este tipo de muestreo fue utilizado en el Proyecto 1 Sonsón y Proyecto 3 Alejandría.

**Identificación *in situ* de los individuos al 100%:** realizado en aquellos sitios donde la vegetación presentó características importantes de intervención, es decir, en las coberturas de pastos con árboles aislados o donde el área fue inferior a 1.000 m<sup>2</sup>. Este tipo de muestreo fue utilizado en el Proyecto 2 Sonsón.

Para cada subárea de estudio en las que se establecieron parcelas tipo RAP, se midió el índice de Valor de Importancia (IVI), el cual compara especies

arbóreas provenientes de localidades separadas, y compara submuestras de una misma unidad paisajística. Para estimarlo se utilizó la fórmula propuesta por Rangel *et al.* (1997):

$$IVI = \text{Densidad Relativa (\%)} + \text{Dominancia Relativa (\%)} + \text{Frecuencia Relativa (\%)}$$

Donde:

Densidad Relativa = (Número de individuos de la  $sp_i$  / Número total de individuos)\*100

Dominancia Relativa = Área Basal Relativa (%) = (área basal de la  $sp_i$  / área basal total)\*100

Frecuencia Relativa = (Número de spp o submuestras en que se repite una  $sp_i$  / Número total de submuestras)\*100

### **6.2.2 Proceso de herborización**

El material colectado se empacó en bolsas plásticas marcadas con el respectivo número del individuo colectado, éstas una vez fueron prensadas en papel periódico y rotuladas, se empacaron en bolsas plásticas y se remojaron con alcohol industrial al 70%, con la finalidad de conservar sus características

particulares y fijar sus estructuras (botones florales, flores, frutos y hojas), hasta llegar al herbario.

Una vez realizado el trabajo de campo, el material colectado fue llevado al herbario de la Universidad de Antioquia (HUA), donde fue procesado según las técnicas de herborización: se mantuvo en el horno a 70°C durante 3 días y fue identificado por medio de la consulta de las colecciones de referencia, revisión de literatura especializada sobre taxonomía botánica del trópico, claves botánicas desarrolladas para vegetación de la zona, y consulta con especialistas de algunos grupos taxonómicos que trabajan en los diferentes herbarios de la ciudad de Medellín. Todos los nombres científicos, fueron además consultados en la base de datos especializada Tropicos.org. del *Missouri Botanical Garden*, para corroborar su correcta escritura.

El material determinado fue sometido a ubicación en los siguientes listados de especies de plantas amenazadas:

UICN *Red List*, Resoluciones: 0316 de 1974 del INDERENA, 10194 del 10 de Abril de 2008 de CORANTIOQUIA, Libros rojos para Colombia del IAvH, UNEP WCMC (2003), IUCN (2001).

A partir de estos listados se determinó si alguna de las especies registradas se encuentra en categoría de peligro, vulnerabilidad o similar. Sumado a esta

revisión, las especies identificadas en el área de estudio se confrontaron con los listados de especies vedadas, también disponibles en los listados rojos anteriormente mencionados, y por el MAVDT.

### **6.2.3 Análisis de diversidad**

Teniendo como punto de partida, la información de la caracterización de las comunidades vegetales, tomada antes de dar inicio a los proyectos en los lugares antes descritos, se analizaron los resultados por medio de índices de biodiversidad, donde se involucraron las siguientes variables de diversidad:

La diversidad Alfa que hace referencia al número de especies por unidad de área, en el caso particular de este estudio, se refiere a la cantidad de especies vegetales de porte arbóreo y arbustivo por m<sup>2</sup>, con un DAP ≥ 10cm. Los índices de diversidad y dominancia calculados para caracterizar las coberturas fueron *Shannon-Wiener* (H') y *Simpson* (D y 1/D), según la formulación consignada en IAvH (2006)

El índice de *Shannon-Wiener* se calculó a partir de la aplicación de la siguiente fórmula:  $H' = - \sum p_i \ln p_i$ , (donde ln= logaritmo natural y p<sub>i</sub>= proporción de individuos de la especie i, respecto al total de individuos) que expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre de predecir a qué especie

pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra (Magurran, 1988; Moreno, 2001).

El resultado obtenido con la aplicación de este índice es un número entre 0 y 5 el cual señala lo siguiente: de 0 a 1,5 indica baja diversidad, de 1,5 a 3 indica mediana diversidad y de 3 a 5 indica alta diversidad.

Por su parte, el índice de *Simpson* fue calculado usando la fórmula:  $D = \sum p_i^2$ , donde  $p_i$  es la abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra. Éste manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Esta fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes. Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como  $1/D$  (Magurran, 1988; Moreno, 2001).

Adicionalmente se evaluaron las semejanzas entre comunidades, de acuerdo al número de especies y de individuos a través de la medición de la diversidad Beta, haciendo uso del coeficiente de similitud de *Jaccard* para morfoespecies (especies morfológicas) y el coeficiente de similitud de *Sorensen* para para individuos, según la formulación consignada en IAvH (2006).

El coeficiente de similitud de *Jaccard*, se calculó con la siguiente fórmula:  $I_J = (C / A + B - C) * 100$ , donde A: número de especies encontradas en la comunidad A, B: número de especies encontradas en la comunidad B y C: número de especies encontradas en ambas comunidades A y B (Moreno, 2001).

Por su parte el coeficiente de similitud de *Sorensen* para datos cuantitativos se obtuvo a través de la siguiente expresión:  $I_S = (2pN / aN + bN) * 100$ , donde aN: número total de individuos en el sitio A, bN: número total de individuos en el sitio B y pN: sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas entre ambos sitios (Moreno, 2001).

#### **6.2.4 Calificación y valoración ambiental usado tradicionalmente**

A partir de la identificación de los impactos de cada proyecto en la Matriz de Identificación de Impactos se asignaron valores a cada uno de los atributos que permitieron calificar los impactos, estos son: velocidad, duración y probabilidad, así como el parámetro de inferencia utilizado para determinar la magnitud.

Como en el Estudio de Impacto Ambiental interesa no sólo identificar los impactos positivos y negativos producidos por el proyecto, sino también definir su calificación, jerarquización y plantear las medidas necesarias para su atención; entonces se utilizó una función que permite conjugar los criterios de evaluación en una calificación única para el impacto ambiental considerado.

- Jerarquización de los impactos ambientales: en el análisis cualitativo, la función de importancia del impacto puede expresarse a partir de los parámetros de caracterización, con la siguiente ecuación lineal (Conesa, 2009):

$$I = (3I + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Mci + Si + Ac + Ef + Pr)$$

Según esta escala, se ha establecido que los impactos con valores de importancia menores de 25 son compatibles, y moderados si la importancia está entre 25 y 50. El impacto será severo si la importancia se encuentra entre 50 y 75, y crítico para valores superiores a 75. Los valores que se indican en la matriz se obtienen de los siguientes parámetros:

- Parámetros de caracterización. Escala y Calificación
  - Signo: se refiere al beneficio (+), perjuicio (-) o indiferencia (x) que las actividades causan sobre los elementos ambientales.
  - Intensidad (I) o probabilidad de ocurrencia: es el grado de incidencia de la actividad sobre un elemento. Escala de valoración: Baja (1), Media (2), Alta (4) y Muy alta (8).

- Extensión (Ex): mide el área de influencia del impacto de acuerdo con el entorno de la actividad. Escala de valoración: Puntual (1), Parcial (2) y Extensa (4).
- Momento (Mo): es el tiempo transcurrido entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el elemento considerado. Escala de valoración: Largo plazo (1 si  $t > 5$  años), Mediano plazo (2 si  $1 < t < 5$  años) e Inmediato (4 si  $0 < t < 1$  año).
- Persistencia (Pe) o duración: es el tiempo de permanencia del efecto desde su aparición hasta que el elemento vuelva a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o a través de medidas correctoras. Escala de valoración: Fugaz (1), Temporal (2) y Permanente (4).
- Reversibilidad (Rv): es la posibilidad de reconstrucción del elemento que ha sido afectado por una actividad determinada, recuperando sus condiciones iniciales por medios naturales. Escala de valoración: Corto plazo (1), Mediano plazo (2) e Irreversible (4).
- Recuperabilidad (Mc): es la posibilidad de un elemento para recuperar sus condiciones iniciales por medio de la intervención humana. Escala de valoración: Recuperación inmediata (1),

Recuperación a mediano plazo (2), Mitigable o compensable (4) e Irrecuperable (8).

- Sinergia (Si): se presenta cuando el impacto de dos acciones que actúan simultáneamente es mayor que el provocado por las acciones que actúan de modo independiente. Escala de valoración: Sin sinergismo (1), Sinérgico: (2) y Muy sinérgico (4).
- Acumulación (Ac): se refiere al incremento progresivo de la manifestación del impacto, cuando se repite en forma continua la acción que lo genera. Escala de valoración: Simple (1) y Acumulativo (4).
- Efecto (Ef): representa la manifestación del efecto sobre un elemento, como consecuencia de una actividad. Escala de valoración: Indirecto o secundario (1) y Directo o primario (4).
- Periodicidad (Pr): indica la manifestación del efecto en el tiempo si es cíclica (efecto periódico), impredecible (efecto irregular) o constante (efecto continuo). Escala de valoración: Efecto irregular, discontinuo (1), Efectos periódicos (2) y Efectos continuos (4).

### 6.2.5 Modelo Propuesto por los autores

Está compuesto por las siguientes variables, entendiendo el término “variable” como aquel factor o condición susceptible de medición cuantitativa o cualitativa, que brinde información necesaria para evaluar el efecto que las fases previas, construcción y operación de los proyectos de PCH del presente estudio, ejercen sobre las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm:

- Porcentaje de área de cobertura vegetal a perderse (CVP): entendida como la expresión porcentual del área vegetal a removerse en relación al tamaño total del área usada para la instalación y operación de la PCH. Se utilizó cartografía base del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) del área de estudio en escala 1:100.000 y 1:25.000 de la cual se generaron los planos a través del *software ARC GIS 10®*. Se calculó al comparar el área total inicial de los parches de vegetación existente en las áreas donde se construirían las PCH vs. el área de cobertura vegetal a remover por la implementación de éstas. Unidad de medida: %
- Porcentaje de especies removidas (ER): cantidad de especies biológicas de las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm sustraídas del área de influencia del proyecto. Una vez

conocida la cantidad y densidad de especies, resultado de la caracterización de la comunidad vegetal, se hizo una relación de la cantidad de especies encontradas por unidad de área frente al porcentaje de área de cobertura vegetal a perderse. Unidad de medida: %.

- Porcentaje de individuos removidos (IR): cantidad de individuos (sin distinción de especie) de las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm sustraídas del área de influencia del proyecto. Una vez conocida la cantidad y densidad de individuos, resultado de la caracterización de la comunidad vegetal, se hizo una relación de la cantidad de individuos encontrados por unidad de área frente al porcentaje de área de cobertura vegetal a perderse. Unidad de medida: %.
- Presencia de especies en listados rojos (PLR): entendida esta variable como la presencia en las listas de especies de plantas en alguna categoría de amenaza, de aquellas especies encontradas dentro de los inventarios realizados de las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm en el área de influencia del proyecto. Se contrastó el inventario de especies de los distintos proyectos PCH, con los listados de “Especies de Plantas Amenazadas” tales como,

UICN (2001); Resoluciones 0316 de 1974 del INDERENA, 10194 del 10 de Abril de 2008 de CORANTIOQUIA; Libros rojos para Colombia del IAvH, UNEPWCMC (2003). Unidad de medida: presencia (P) o ausencia (A).

- Porcentaje de pérdida de diversidad (PD): variedad de formas de vida, de las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm perdidas. Valor estimado de la disminución porcentual en la biodiversidad, obtenido al asumir que el porcentaje de pérdida de biodiversidad es similar al porcentaje de área de cobertura vegetal a perderse. Unidad de medida: %.
- Porcentaje de biomasa removida (BR): expresión porcentual de la biomasa de las comunidades vegetales terrestres a removerse, en relación la biomasa total de las comunidades vegetales terrestres del área usada por la instalación y operación de la PCH. Cabe resaltar que la biomasa mencionada solo tiene en cuenta comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm. Para calcular la biomasa de la vegetación muestreada, se utilizó la siguiente ecuación generada para ecosistemas tropicales, para cualquier tipo de especie que no sobrepase los 148 centímetros de DAP, y en áreas con precipitaciones comprendidas entre 1.500 y 4.000mm/año, propuesta

por Brown, 1997 (Pearson, *et al.* 2005):  $Biomass = \exp(-2.289 + 2.649 \cdot \ln(DAP) - 0,021 \cdot \ln(DAP^2))$ . Unidad de medida: %.

- Tipo de cobertura vegetal dominante (CVD): es la vegetación predominante de un ecosistema y que le da el nombre a la formación vegetal, así: cultivos permanentes arbustivos, pastos arbolados, bosque fragmentado, bosque de galería y ripario, arbustal denso y vegetación secundaria o en transición. Para esto fue usada la clasificación propuesta por IDEAM (2010) y que se describe a continuación:
  - Cultivos permanentes arbustivos: coberturas permanentes ocupadas principalmente por cultivos de hábito arbustivo como café, cacao, coca y viñedos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida.
  - Pastos arbolados: cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de arboles de altura superior a 5m, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de arboles debe ser mayor al 30% y menor al 50% del área total de la unidad de pastos.

- Bosque fragmentado: comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre el 5% y el 30% del área total de la unidad de bosque natural. La distancia entre fragmentos de intervención no debe ser mayor a 250m.
- Bosque de galería y ripario: se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario.
- Arbustal denso: cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbustivos, los cuales forman un dosel irregular, el cual representa más del 70% del área total de la unidad. La unidad puede contener elementos arbóreos dispersos. Esta formación vegetal no ha sido intervenida o su

intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y sus características funcionales.

- Vegetación secundaria o en transición: comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención, o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre.
  
- Distancia al fragmento más cercano (DFC): se refiere al trayecto que debe recorrer una especie para hallar otro fragmento que le ofrezca la posibilidad de encontrar condiciones similares de recursos para sobrevivir (Santos & Tellería, 2006). Se utilizó cartografía base del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) del área de estudio en escala 1:100.000 y 1:25.000 de la cual se generaron los planos a través del *software* ARC GIS 10®. Unidad de medida: m.

- Áreas protegidas presentes sobre el área a remover (AP): declaratoria de alguna categoría de área protegida o suelo de protección dentro del área de influencia de la PCH. Se realizó a través de la revisión bibliográfica del Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Sonsón y del Esquema de Ordenamiento Territorial de Alejandría. Unidad de medida: presencia (P) o ausencia (A).

Las unidades, ponderación, rangos de referencia, calificación y cualificación de las variables pueden ser observadas en las Tablas 5 y 6. El mecanismo de evaluación de impactos a través de las variables, consistió en la estimación de la magnitud de estas, para luego asignarles una calificación cuantitativa y cualitativa, usando como referente las tablas antes mencionadas; luego se realizó la sumatoria general de las calificaciones cuantitativas para estimar el impacto de la PCH sobre las comunidades vegetales terrestres con un DAP  $\geq$  10cm. De igual manera que para cada una de las variables, la sumatoria general también tiene una equivalencia cualitativa (Tabla 7). Cabe aclarar que el modelo propuesto representa una evaluación general de impactos, en el cual no se especifica la fase (previa, construcción y operación) en la que dicho impacto se presenta.

Tabla 5. Unidades, ponderación, rangos de referencia, calificación y cualificación de las variables, propuesto por los autores.

Variable	Unidad de Medida	Valor Relativo de la Variable	Rangos	Calificación	
				Cuantitativa	Cualitativa
Porcentaje de área de cobertura vegetal a perderse	%	11	0- ≤10	1	Tolerable
			>10-20	5	Medio
			>20-40	7	Alto
			>40-60	9	Severo
			>60-100	11	No Tolerable
Porcentaje de especies removidas	%	12	0- ≤10	1	Tolerable
			>10-20	5	Medio
			>20-40	7	Alto
			>40-60	9	Severo
			>60-100	12	No Tolerable
Porcentaje de individuos removidos	%	11	0- ≤10	1	Tolerable
			>10-20	5	Medio
			>20-40	7	Alto
			>40-60	9	Severo
			>60-100	11	No Tolerable
Presencia de especies en listados rojos	Presencia/ Ausencia	12	Presencia	12	Presencia
			Ausencia	0	Ausencia
Porcentaje de Pérdida de Biodiversidad	%	12	0- ≤10	1	Tolerable
			>10-20	5	Medio
			>20-40	7	Alto
			>40-60	9	Severo
			>60-100	12	No Tolerable
Porcentaje de biomasa removida	%	9	0 ≤15	3	Tolerable
			>15-25	5	Medio
			>25-40	7	Alto
			>40-70	9	Severo
			>70-100	11	No Tolerable
Tipo de cobertura vegetal dominante	Tipo	11	Cultivos permanentes arbustivos	1	No aplica
			Pastos arbolados	3	
			Arbustal denso	5	

Variable	Unidad de Medida	Valor Relativo de la Variable	Rangos	Calificación	
				Cuantitativa	Cualitativa
			Vegetación secundaria o en transición	7	
			Bosque de galería y ripario	9	
			Bosque fragmentado	11	
Distancia al fragmento más cercano	m	11	100	1	Tolerable
			400	5	Medio
			800	7	Alto
			1000	9	Severo
			>1000	11	No Tolerable
Áreas protegidas presentes sobre el área a remover	Presencia/Ausencia	11	Presencia	11	Presencia
			Ausencia	0	Ausencia

Tabla 6. Método de evaluación de impactos propuesto por los autores.

Variable	Unidad de Medida	Valor de la Variable
Porcentaje de área de cobertura vegetal a perderse	%	
Porcentaje de especies removidas	%	
Porcentaje de individuos removidos	%	
Presencia de especies en listados rojos	Presencia/Ausencia	
Porcentaje de pérdida de Biodiversidad	%	
Porcentaje de biomasa removida	%	
Tipo de cobertura vegetal dominante	Tipo	
Distancia al fragmento más cercano	m	

Variable	Unidad de Medida	Valor de la Variable
Áreas protegidas presentes sobre el área a remover	Presencia/ Ausencia	
<b>Aplicación del modelo de Impactos</b>		
<b>Tipo de Impacto</b>		

Tabla 7. Equivalencia cualitativa de la sumatoria general de impactos de la PCH.

Rango	Tipo de impacto
0 ≤10	Tolerable
>11-32	Bajo
>33-54	Medio
>55-76	Alto
>77-100	Severo

### 6.3 Materiales y equipos

Para la realización de los muestreos de campo se requirió del alquiler y/o compra de los siguientes insumos de trabajo:

Cámara digital, *Treemer* o corta ramas, GPS (*GARMIN*, *GPSmap 60CSx*), cinta métrica, lienza, tijera podadora, formularios de campo (Anexo 2 – Formato de recolección de información en campo), papelería (lápices, borradores, tabla de apoyo, marcadores indelebles, etc.), pintura asfáltica amarilla, pinceles,

disolvente, bolsas plásticas transparentes para coleccionar material vegetal de 16x12" cal 4, bolsas plásticas transparentes para alcoholizar material vegetal de 20x30" cal 4, hilo de polipropileno, cinta de enmascarar, alcohol industrial al 70%, papel periódico.

Adicionalmente, para el análisis de la información se requirió de un computador con impresora, internet, y del uso de los siguientes *software*: *Microsoft Office Word*®, *Microsoft Office Excel*®, *Statgraphics*® *Centurion XV*, *AutoCAD*® y *ARC GIS 10*®.

## **7. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **7.1 Caracterización de las zonas de influencia directa**

#### **7.1.1 Proyecto 1 Sonsón**

##### **Zonas de vida**

Según la clasificación de las formaciones vegetales de Holdridge (1967), el área de estudio presenta la zona de vida bosque seco tropical (bs-T), bosque húmedo premontano (bh-PM) y bosque muy húmedo premontano (bmh-PM).

##### **Coberturas vegetales**

La cobertura vegetal identificada en el área de influencia directa corresponde a la vegetación secundaria o en transición, esta cobertura se presenta en las zonas de captación, descarga y vías proyectadas, caracterizándose por presentar altos niveles de intervención, altos grados de potrerización y cultivos cercanos a las viviendas. Sobre pendientes abruptas y cañones escarpados es posible encontrar pequeños relictos de vegetación de porte arbóreo y arbustivo donde se hace evidente el aprovechamiento selectivo de especies que representan algún valor para los moradores del lugar. Con respecto a la

vegetación, la cobertura se caracteriza por presentar una comunidad vegetal correspondiente a un estado sucesional intermedio, con un grado de intervención alto donde se observa un estrato superior poco denso y discontinuo (Foto 1).

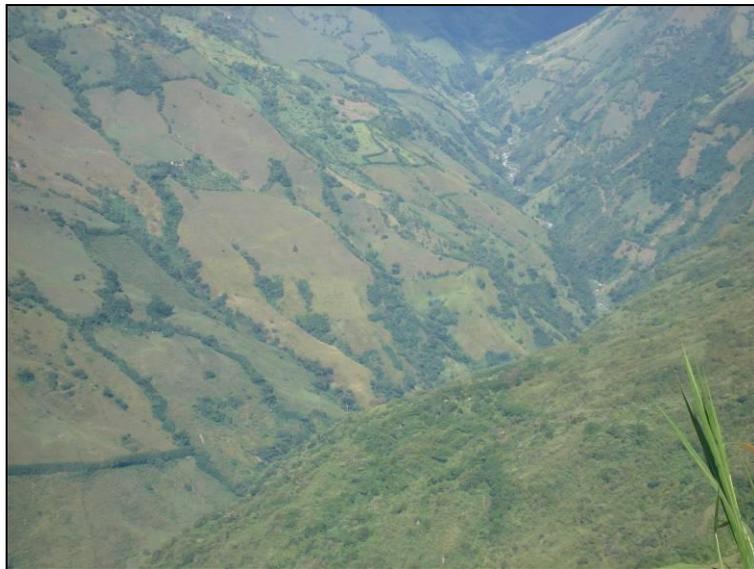


Foto 1. Panorámica del cañón del río Arma Proyecto 1 Sonsón.

### **Identificación botánica**

Se determinaron 31 morfoespecies (especies morfológicas) distribuidas en 24 familias taxonómicas, un individuo sin determinación y se censaron 68 individuos de porte arbóreo y arbustivo (Tabla 5).



Foto 2. *Oreopanax capitatus*, especie encontrada en el inventario del Proyecto 1  
Sonsón.

### **Composición florística**

La cobertura vegetal dominante, corresponde a vegetación secundaria o en transición. En la Tabla 8 se presenta el listado de especies, se incluyen datos de nombres científicos, comunes y hábitos de crecimiento, revisados en Tropicos.com (2012).

Tabla 8. Listado de especies vegetales del Proyecto 1 Sonsón.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito
ACTINIDIACEAE	<i>Saurauia brachybotrys</i> Turcz.	Dulumoco	A
ACTINIDIACEAE	<i>Saurauia chiliantha</i> R.E. Schult.	N. C.	T
ANACARDIACEAE	<i>Toxicodendron striatum</i> (Ruiz & Pav.) Kuntze	Manzanillo	A
ARALIACEAE	<i>Oreopanax capitatus</i> (Jacq.) Decne. & Planch.	N. C.	A
ASTERACEAE	<i>Montanoa quadrangularis</i> Sch. Bip.	Árboloco	A
BOMBACACEAE	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	Balso	A
BURSERACEAE	<i>Protium sagotianum</i> Marchand	N. C.	A
CAESALPINIACEAE	<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby	N. C.	A
CAESALPINIACEAE	<i>Senna pistaciifolia</i> (Kunth) H.S. Irwin & Barneby	N. C.	A
CECROPIACEAE	<i>Cecropia</i> sp.	Yarumo	A
CECROPIACEAE	<i>Cecropia peltata</i> L.	N. C.	A
CLUSIACEAE	<i>Clusia eugenioides</i> Planch. & Linden ex Planch. & Triana	Chagualo	A
ERICACEAE	<i>Cavendishia pubescens</i> (Kunth) Hemsl.	Uvito de monte	TS
EUPHORBIACEAE	<i>Croton magdalenensis</i> Müll. Arg.	Drago	A
FLACOURTIACEAE	<i>Abatia parviflora</i> Ruiz & Pav.	Gavilán blanco	A
INDETERMINADA	INDETERMINADA	N. C.	A
LAURACEAE	<i>Aiouea</i> sp.	Laurel rojo	A

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia tonduzii</i> Cogn.	Nigüito	T
MIMOSACEAE	<i>Inga edulis</i> Mart.	Guamo santafereño	A
MIMOSACEAE	<i>Albizia carbonaria</i> Britton	Valleto	A
MORACEAE	<i>Ficus obtusifolia</i> Kunth	Caucho	A
MYRSINACEAE	<i>Myrsine</i> sp.	N. C.	A
MYRSINACEAE	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	Espadero	A
MYRTACEAE	<i>Psidium guajava</i> L.	Guayabo	T
PIPERACEAE	<i>Piper crassinervium</i> Kunth	Cordoncillo	T
RUBIACEAE	<i>Hamelia patens</i> Jacq.	N. C.	T
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	N. C.	A
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum martinicense</i> (Lam.) DC.	N. C.	A
RUTACEAE	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	N. C.	T
SAPINDACEAE	<i>Allophylus</i> sp.	N. C.	T
URTICACEAE	<i>Boehmeria caudata</i> Sw.	N. C.	A

N. C.: No conocido; Hábito: A: Árbol, T: Arbusto, TS: Arbusto bejucoso

### **Especies amenazadas, vedadas y endémicas**

De acuerdo con la revisión de los listados de especies de plantas amenazadas, se determinó que no se presentan especies amenazas, vedadas y con distribución endémica en la zona de intervención.

### **Diversidad, abundancia y dominancia**

Las familias más comunes fueron Cecropiaceae con 11 individuos muestreados, de los cuales se encontraron 10 en el vegetación secundaria o en transición de la zona de captación y 1 en la zona de descarga; Mimosaceae, Myrsinaceae y Sapindaceae con 6 individuos cada una. Y una familia indeterminada con 7 individuos. Los datos de las familias más comunes según el número de individuos del proyecto, se pueden observar en la Tabla 9 y Figura 2.

Tabla 9. Familias más comunes según el número de individuos del Proyecto 1 Sonsón.

<b>Familia</b>	<b>Vegetación secundaria o en transición zona de captación</b>	<b>Vegetación secundaria o en transición zona de descarga</b>	<b>Número total de individuos</b>
ACTINIDIACEAE	1	2	3
ANACARDIACEAE	1		1
ARALIACEAE	1		1
ASTERACEAE	3		3
BOMBACACEAE	1		1
BURSERACEAE		1	1
CAESALPINIACEAE	2	1	3
CECROPIACEAE	10	1	11

<b>Familia</b>	<b>Vegetación secundaria o en transición zona de captación</b>	<b>Vegetación secundaria o en transición zona de descarga</b>	<b>Número total de individuos</b>
CLUSIACEAE		1	1
ERICACEAE	1		1
EUPHORBIACEAE		3	3
FLACOURTIACEAE	1		1
INDETERMINADA		7	7
LAURACEAE	1		1
MELASTOMATACEAE		3	3
MIMOSACEAE	6		6
MORACEAE	1		1
MYRSINACEAE	1	5	6
MYRTACEAE		2	2
PIPERACEAE	1		1
RUBIACEAE	1		1
RUTACEAE	1	2	3
SAPINDACEAE	6		6
URTICACEAE	1		1
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>28</b>	<b>68</b>

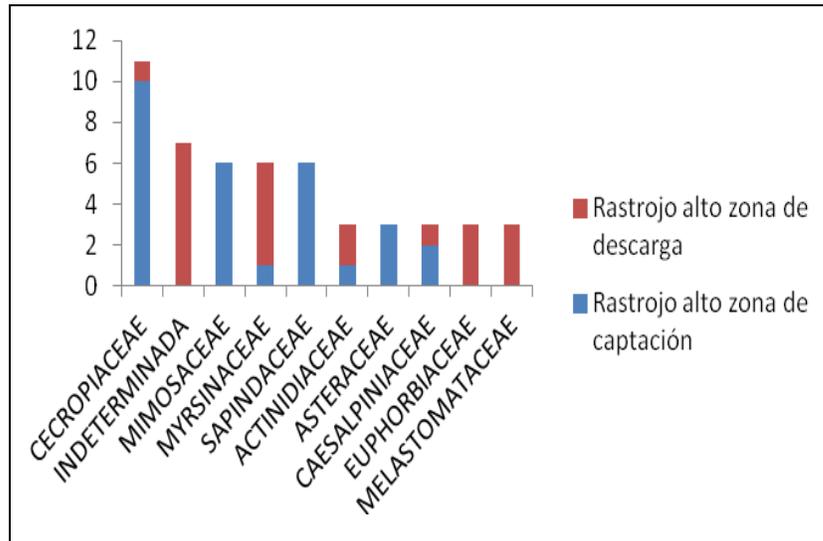


Figura 2. Familias con mayor número de individuos del Proyecto 1 Sonsón.

Tabla 10. Familias más comunes según el número de especies del Proyecto 1 Sonsón.

Familia	Bosque de galería y ripario captación	Bosque de galería y ripario	Vegetación secundaria o en transición descarga	Número total de especies
ACTINIDIACEAE			1	1
ANACARDIACEAE			1	1
ARALIACEAE			1	1
ASTERACEAE			1	1
BOMBACACEAE			1	1
CAESALPINIACEAE			1	1
CAPRIFOLIACEAE	1	1		2

<b>Familia</b>	<b>Bosque de galería y ripario captación</b>	<b>Bosque de galería y ripario</b>	<b>Vegetación secundaria o en transición descarga</b>	<b>Número total de especies</b>
CECROPIACEAE			1	1
CELASTRACEAE	1			1
CHLORANTHACEAE	1			1
CLETHRACEAE	1	1		2
CLUSIACEAE		1		1
CUNONIACEAE	1	1		2
CYATHEACEAE	1	1		2
ERICACEAE			1	1
EUPHORBIACEAE	1	1		2
FAGACEAE	1	1		2
FLACOURTIACEAE			1	1
HYPERICACEAE	1	1		2
INDETERMINADA	1			1
INDETERMINADA 2		1		1
LAURACEAE	1	1	1	3
LORANTHACEAE	1			1
MELASTOMATACEAE		3		3
MIMOSACEAE			2	2
MONIMIACEAE	1			1
MORACEAE			1	1

Familia	Bosque de galería y ripario captación	Bosque de galería y ripario	Vegetación secundaria o en transición descarga	Número total de especies
MYRSINACEAE		1	1	2
PIPERACEAE			1	1
PROTEACEAE	1	1		2
RUBIACEAE			1	1
RUTACEAE			1	1
SAPINDACEAE	1		1	2
SAXIFRAGACEAE		1		1
URTICACEAE			1	1
TOTAL	15	16	19	50

Con relación al número de especies, se tiene que, la familia Rutaceae es la que tiene mayor representación con 3 especies dentro del muestreo. Mientras que Actinidiaceae, Caesalpiniaceae, Cecropiaceae, Mimosaceae y Myrsinaceae, tienen cada una 2 especies (Figura 3).

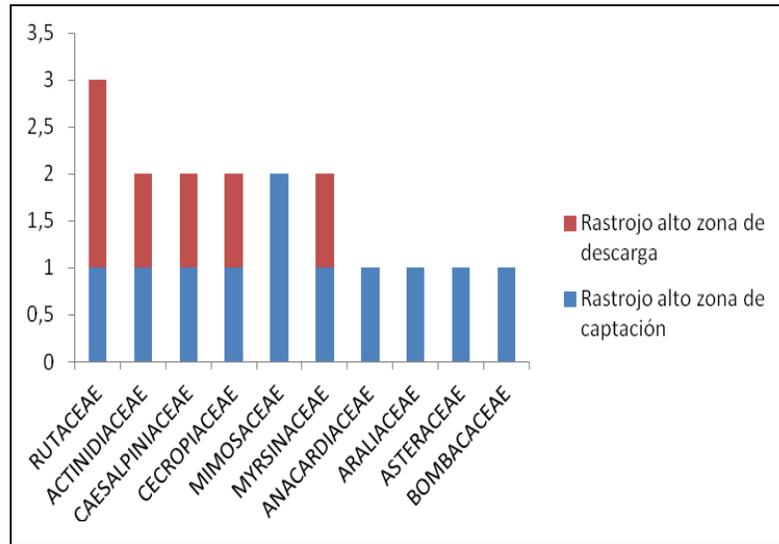


Figura 3. Representación gráfica de las familias con mayor número de especies del Proyecto 1 Sonsón.

Los índices de diversidad y dominancia calculados para caracterizar las coberturas fueron *Simpson* ( $D$  y  $1/D$ ) y *Shannon-Wiener* ( $H'$ ), los cuales contribuyen a la medición de la biodiversidad de las poblaciones, en este caso se calcularon para la cobertura vegetación secundaria o en transición en ambos sitios, es decir, captación y descarga; además del general para la totalidad de las especies del muestreo, es decir, la suma de todas las parcelas (Tabla 11).

Tabla 11. Índices de diversidad para cada cobertura y total del Proyecto 1 Sonsón.

Índice	Vegetación secundaria o en transición captación	Vegetación secundaria o en transición descarga	TOTAL
<i>Simpson (D)</i>	0,09	0,11	0,05
<i>Simpson (1/D)</i>	10,91	9,45	20,71
<i>Shannon-Wiener</i>	2,55	2,22	3,10

El índice de *Simpson*, basado en la dominancia, tiene en cuenta las especies que están mejor representadas (dominan) sin tener en cuenta las demás. También muestra la probabilidad de que dos individuos sacados al azar de una muestra correspondan a la misma especie. En el muestreo se obtuvo un valor de 10,91 para la cobertura vegetación secundaria o en transición en la zona de captación, con respecto a 9,45 en el vegetación secundaria o en transición en la zona de descarga, lo que indica que ambos sitios ofrecen casi la misma probabilidad de que dos individuos sacados al azar de una muestra correspondan a la misma especie; haciéndolos muy similares en cuanto a esta forma de medir la diversidad se refiere. De la misma manera para el estudio total, se encontró un índice de 20,71; revelando que a medida que se incrementa el área de muestreo, la posibilidad de encontrar individuos de la misma especie, también aumenta.

Para el índice de *Shannon-Wiener* (índice que tiene en cuenta la abundancia de cada especie y qué tan uniformemente se encuentran distribuidas; mientras mayor sea su valor, más heterogénea es la comunidad) la cobertura vegetación secundaria o en transición en ambos sitios mostró valores promedio (2,55 para captación y 2,22 para descarga) sugiriendo que todos los sitios tienen una diversidad intermedia; indicando además, que la comunidad vegetal en esta zona posee una abundancia y heterogeneidad cercana a valores medios.

### **Índice de valor de importancia (IVI)**

Los resultados del índice de valor de importancia (IVI), para las especies vegetales presentes en la zona de estudio (Tabla 12), muestran que la especie más abundante, con mayor presencia en todos los transectos y que presenta mayores tamaños es *Cecropia* sp., con un valor de importancia de 27,66%, seguida por una especie Indeterminada y por *Croton magdalenensis* con valores de importancia de 22,35% y 18,21% respectivamente.

Tabla 12. Índice de valor de importancia para todas las especies del Proyecto 1 Sonsón.

Especie	Abun. absoluta	Abun. relativa	Frec. absoluta	Frec. relativa	Dom. absoluta	Dom. relativa	IVI
<i>Cecropia</i> sp.	10	14,7	1	3,2	0,1227	9,7283	27,660
INDETERMINADA	7	10,3	1	3,2	0,1114	8,8277	22,347
<i>Croton magdalenensis</i>	3	4,4	1	3,2	0,1334	10,5708	18,208
<i>Allophylus</i> sp.	6	8,8	1	3,2	0,0566	4,4847	16,534
<i>Myrsine coriacea</i>	5	7,4	1	3,2	0,0452	3,5796	14,158
<i>Inga edulis</i>	4	5,9	1	3,2	0,0624	4,9427	14,050
<i>Albizia carbonaria</i>	2	2,9	1	3,2	0,0965	7,6480	13,815
<i>Miconia tonduzii</i>	3	4,4	1	3,2	0,0679	5,3788	13,016
<i>Montanoa quadrangularis</i>	3	4,4	1	3,2	0,0500	3,9599	11,597
<i>Clusia eugenioides</i>	1	1,5	1	3,2	0,0707	5,6029	10,299
<i>Ochroma pyramidale</i>	1	1,5	1	3,2	0,0688	5,4555	10,151
<i>Cecropia peltata</i>	1	1,5	1	3,2	0,0573	4,5383	9,2347
<i>Saurauia chiliantha</i>	2	2,9	1	3,2	0,0350	2,7703	8,9373
<i>Senna spectabilis</i>	2	2,9	1	3,2	0,0302	2,3900	8,5570
<i>Senna pistaciifolia</i>	1	1,5	1	3,2	0,0452	3,5858	8,2822
<i>Protium sagotianum</i>	1	1,5	1	3,2	0,0380	3,0131	7,7095
<i>Psidium guajava</i>	2	2,9	1	3,2	0,0129	1,0210	7,1880
<i>Oreopanax capitatus</i>	1	1,5	1	3,2	0,0250	1,9781	6,6745
<i>Zanthoxylum fagara</i>	1	1,5	1	3,2	0,0201	1,5937	6,2901
<i>Aiouea</i> sp.	1	1,5	1	3,2	0,0191	1,5145	6,2109
<i>Cavendishia pubescens</i>	1	1,5	1	3,2	0,0147	1,1663	5,8627

Especie	Abun. absoluta	Abun. relativa	Frec. absoluta	Frec. relativa	Dom. absoluta	Dom. relativa	IVI
<i>Abatia parviflora</i>	1	1,5	1	3,2	0,0103	0,8175	5,5139
<i>Saurauia brachybotrys</i>	1	1,5	1	3,2	0,0097	0,7727	5,4691
<i>Toxicodendron striatum</i>	1	1,5	1	3,2	0,0097	0,7727	5,4691
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	1	1,5	1	3,2	0,0087	0,6869	5,3833
<i>Boehmeria caudata</i>	1	1,5	1	3,2	0,0081	0,6459	5,3423
<i>Zanthoxylum martinicense</i>	1	1,5	1	3,2	0,0079	0,6225	5,3189
<i>Piper crassinervium</i>	1	1,5	1	3,2	0,0076	0,6062	5,3026
<i>Myrsine</i> sp.	1	1,5	1	3,2	0,0072	0,5677	5,2641
<i>Hamelia patens</i>	1	1,5	1	3,2	0,0050	0,3942	5,0906
<i>Ficus obtusifolia</i>	1	1,5	1	3,2	0,0046	0,3633	5,0597
TOTAL	68	100	31	0	1,2616	100	300

La representación gráfica de los resultados de las 10 especies más importantes, ecológicamente hablando, puede observarse en la Figura 4. En este grupo es posible observar la presencia de especies con un valor relativamente alto (27,66), tales como *Cecropia* sp. de la familia Cecropiaceae y una especie no identificada que amerita una investigación futura más exhaustiva en campo, pues sus valores representan importancia dentro del muestreo y su condición de indeterminada genera dudas y expectativas relacionadas con una posible afectación a sus comunidades. También es importante resaltar que entre éstas 10 especies suman 54% del valor total del índice, lo cual indica un porcentaje medio, desprendiéndose que la comunidad está representada por una cantidad

media de especies con uno o dos individuos, es decir, que la mayoría de las especies concentran cantidades relativamente altas de individuos, sin embargo, éstos son de tamaños pequeños y concentrados en una sola parcela.

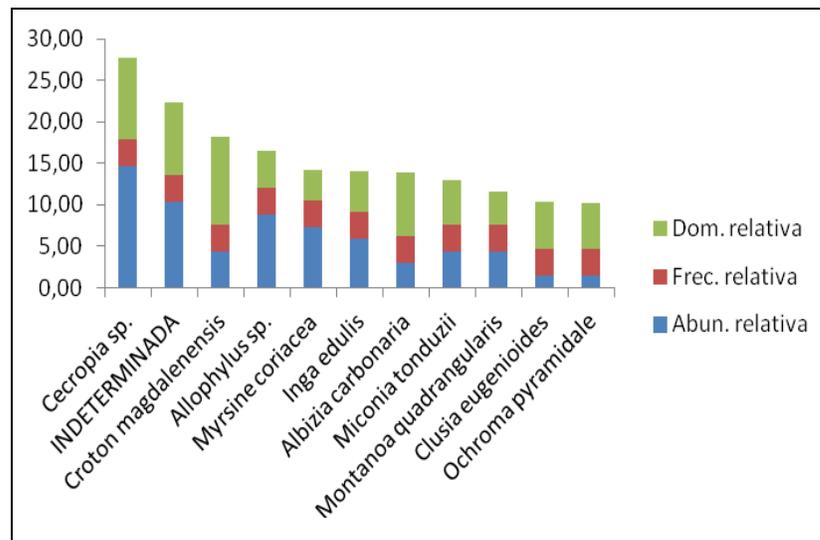


Figura 4. Representación gráfica de las 10 especies con mayor índice de valor de importancia (IVI) del Proyecto 1 Sonsón.

## **7.1.2 Proyecto 2 Sonsón**

### **Zonas de vida**

Según la clasificación de las formaciones vegetales de Holdridge (1967), la cuenca presenta gran variedad de zonas de vida, pasando por Bosque muy húmedo Premontano (bmh-PM), Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB) y Bosque Pluvial Montano (bp-M).

### **Coberturas vegetales**

En el área de influencia directa, se encontraron dos tipos de coberturas, las cuales se describen a continuación:

#### ***Arbustal denso***

Esta cobertura se limita a un pequeño fragmento de unos 200 metros cuadrados localizada en la zona donde se proyecta la captación del proyecto. Con respecto a esta vegetación, la cobertura se caracteriza por presentar una comunidad vegetal correspondiente a un estado sucesional temprano, con un grado de intervención alto donde se observa un estrato superior poco denso y discontinuo (Foto 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Foto 3. Arbustal denso en la zona de captación del Proyecto 2 Sonsón.

### ***Pastos arbolados***

En la zona de casa de máquinas se observa un área cubierta por pastos con algunos árboles con distribución muy aislada, no se presentan especies dominantes y los pocos individuos presentes tienen uso como sombrío en zona de pastoreo y como cercas vivas separando lotes (Foto 4).



Foto 4. Cobertura Pastos arbolados en la zona de casa de máquinas del Proyecto 2 Sonsón.

### **Composición florística**

Como resultados de la observación de los sitios específicos de intervención el inventario de vegetación, se encontró que la cobertura vegetal corresponde a un potrero con pocos individuos aislados de porte arbóreo o arbustivo, además de un pequeño relicto de arbustal denso. En la Tabla 13; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el listado de especies, allí se incluyen datos de nombres científicos, comunes y de hábitos de crecimiento.

En total se colectaron 14 morfoespecies (especies morfológicas), distribuidas en 11 familias y se censaron 28 individuos distribuidos en las áreas de construcción de infraestructura física, es decir, captación y casa de máquinas.

Tabla 13. Listado de especies vegetales encontradas en el Proyecto 2 Sonsón.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito
CAPRIFOLIACEAE	<i>Viburnum undulatum</i> (Oerst.) Killip & A.C. Sm.	Pitá	T
CECROPIACEAE	<i>Cecropia</i> sp.	Yarumo	A
CLUSIACEAE	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	Carate	A
CLUSIACEAE	<i>Clusia</i> sp.	Chagualo	A
ERICACEAE	<i>Cavendishia pubescens</i> (Kunth) Hemsl.	Uvito de monte	TS
ERICACEAE	<i>Cavendishia macrocephala</i> A.C. Sm.	Uvito de monte	TS
EUPHORBIACEAE	<i>Alchornea bogotensis</i> Pax & K. Hoffm.	Monte frío	A
EUPHORBIACEAE	<i>Croton magdalenensis</i> Müll. Arg.	Guacamayo	A
FAGACEAE	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	Roble	A
LAURACEAE	<i>Persea caerulea</i> (Ruiz & Pav.) Mez	Aguacatillo	A
MELASTOMATACEAE	<i>Miconia caudata</i> (Bonpl.) DC.	Nigüito	A
MIMOSACEAE	<i>Inga</i> sp.	Guamo	A

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito
		churimo	
MYRSINACEAE	<i>Rapanea guianensis</i> Aubl.	Espadero	T
MYRTACEAE	<i>Myrcia popayanensis</i> Hieron.	Arrayán	A

Hábito: A: Árbol, T: Arbusto, TS: Arbusto escandente

### **Especies amenazadas, vedadas y endémicas**

De acuerdo con la revisión de los libros rojos para Colombia, la UNEP WCMC (2003), y la IUCN (2001), se encontró que el roble de tierra fría (*Quercus humboldtii*), está en la categoría de riesgo VU A2cd, como especie maderable amenazada a nivel nacional. La mayoría de las corporaciones autónomas regionales del país la reportan como una especie con un grado avanzado de amenaza debido a la extracción maderera (Cárdenas y Salinas, 2007).

### **Diversidad y abundancia**

La diversidad, incluye la riqueza y la abundancia relativa de especies. Las especies en general se distribuyen según jerarquías de abundancia, desde muy abundantes hasta raras. Este concepto también depende del grado de relaciones que se establecen entre todas las especies y de éstas con el biotopo (entendido este como diversidad de hábitat). Para el área muestreada no es posible realizar un análisis estructural de comunidad por la condición de coberturas que posee (arbustal denso y pastos arbolados). Por lo tanto, la

información se presentará de manera general, sin posibilidad de hacer un análisis que dé razón acerca de la dominancia.

En las coberturas censadas, las familias encontradas más representativas fueron Euphorbiaceae, Clusiaceae y Mimosaceae, según el número de individuos; y Clusiaceae, Ericaceae y Euphorbiaceae de acuerdo con el número de especies. Las demás familias estuvieron representadas por una sola especie y pocos individuos, la información completa se encuentra en la Tabla 14; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la Figura 5.

Tabla 14. Porcentaje de representación por familias según el número de individuos y el número de especies del Proyecto 2 Sonsón.

Familia	Número de individuos	%	Número de especies	%
CAPRIFOLIACEAE	1	3,57	1	7,14
CECROPIACEAE	3	10,71	1	7,14
CLUSIACEAE	4	14,29	2	14,29
ERICACEAE	3	10,71	2	14,29
EUPHORBIACEAE	7	25,00	2	14,29
FAGACEAE	2	7,14	1	7,14
LAURACEAE	1	3,57	1	7,14
MELASTOMATACEAE	1	3,57	1	7,14
MIMOSACEAE	4	14,29	1	7,14

Familia	Número de individuos	%	Número de especies	%
MYRSINACEAE	1	3,57	1	7,14
MYRTACEAE	1	3,57	1	7,14
TOTAL	28	100	14	100

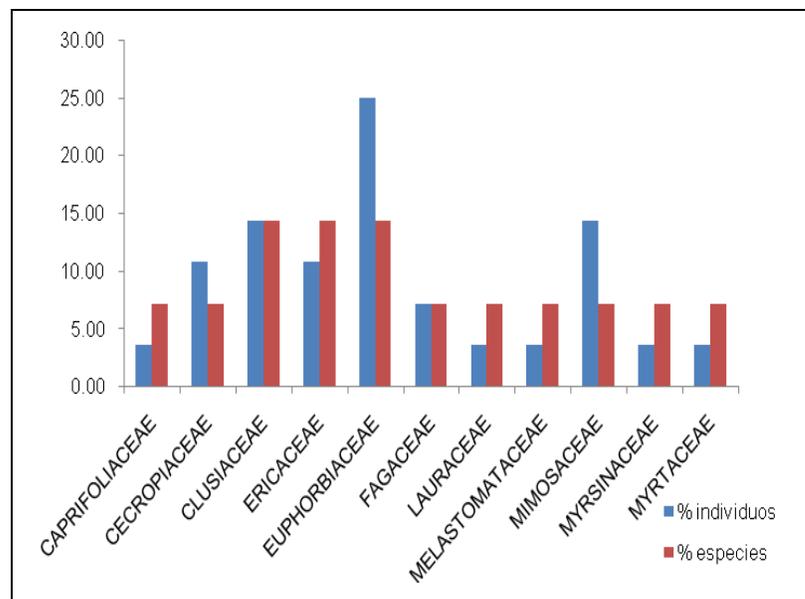


Figura 5. Representación gráfica de las familias según el número de individuos y de especies dentro del muestreo del Proyecto 2 Sonsón.

### Índices de diversidad

Para el Proyecto 2 Sonsón se calcularon los índices de *Simpson* y *Shannon-Wiener* para cada cobertura, es decir, arbustal denso y pastos arbolados (Tabla 15).

Tabla 15. Índices de diversidad y dominancia para cada cobertura en el Proyecto 2 Sonsón.

Índice	Valor obtenido para el muestreo
<i>Simpson (D)</i>	0,06
<i>Simpson (1/D)</i>	16,66
<i>Shannon-Wiener</i>	2,48

Para el índice de *Simpson*, se obtuvo un valor de 16,66, lo que indica la posibilidad de 1 a 16,66 de que dos individuos sacados al azar de una muestra correspondan a la misma especie, resultado que se esperaría de etapas tempranas de una sucesión vegetal, donde a pesar de tratarse de coberturas con un estado sucesional inicial y con alto grado de intervención (arbustal denso y pastos arbolados), el pequeño relicto de árboles, está compuesto por especies distribuidas uniformemente en las familias, es decir, entre 1 y 2 especies por familia y pocas de ellas con mayor representación de especies, sugiriendo poca diversidad.

El valor obtenido para el índice de *Shannon-Wiener* para la cobertura arbustal denso fue de 2,48 sugiriendo que el sitio muestreado tiene una diversidad media, valor de esperarse dado el grado de intervención lo cual impacta directamente a las especies allí presentes, al igual que la dinámica sucesional

y ecosistémica. El valor del índice para esta área, es coherente con los datos de composición de la comunidad vegetal, ya que en todo el muestreo se colectaron 14 especies distribuidas en 11 familias.

### **7.1.3 Proyecto 3 Alejandría**

#### **Zonas de vida**

En el gradiente altitudinal del Río Nare definido anteriormente se identifica según Holdridge (1967), una zona de vida: el bosque húmedo premontano (bh-PM).

#### **Coberturas vegetales**

Las coberturas vegetales encontradas incluyen vegetación secundaria, pastos arbolados y cultivos, descritos a continuación.

#### ***Vegetación secundaria o en transición***

Esta cobertura se localiza en la parte más alta del muestreo, en el sitio llamado Salto de La Sabina, donde se encuentran las construcciones antiguas de la captación del acueducto del municipio de Alejandría, sobre pendientes suaves que bordean el río Nare. Esta zona tiene altas intervenciones y estados sucesionales tempranos. Con respecto al componente arbóreo, la cobertura se caracteriza por ser vegetación de galería con comunidades vegetales jóvenes

que han ido colonizando las antiguas construcciones, no se diferencian estratos superiores más densos en la zona de influencia del proyecto. En el sotobosque la densidad es baja, dominado por arbustos de la familia Ericaceae, allí también se identifica una población abundante de helechos herbáceos o de porte bajo. Otra característica de esta cobertura, es la escasa presencia de epifitas vasculares, un componente muy particular de este tipo de hábitats, que definen un grado de sucesión temprano.



Foto 5. Panorámica de la cobertura vegetación secundaria o en transición observada en la parte alta de la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.

### ***Pastos arbolados***

Esta cobertura se localiza en la cuenca media y baja del Río Nare, la componen pastos utilizados para ganadería extensiva. El pastoreo es excesivo

causando la degradación progresiva de los potreros que se manifiesta en la formación de terracillas bajo el continuo pisoteo del ganado. Además son frecuentes las quemas de extensas áreas, donde la vegetación ha sido previamente talada. Se encuentran escasos árboles aislados, algunos de ellos localizados sobre los drenajes, siendo comunes especies como el guacamayo (*Croton killipianus*), los nigüitos (*Miconia* sp.), el yarumo (*Cecropia multisecta*) y el guayabo (*Psidium guajava*).



Foto 6. Panorámica de la cobertura pastos arbolados observada en la parte media y baja de la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.

### **Cultivos**

Esta cobertura se localiza sobre la cuenca media y baja del Río Nare mezclada con los pastos arbolados. Los cultivos junto con la ganadería modifican

intensamente las coberturas naturales de rastrojos, son frecuentes los cultivos de café y en menor proporción los cultivos de pancoger cercanos a las viviendas.



Foto 7. Panorámica de la coberturas de cultivos de café observadas en la parte media de la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.

### **Composición florística**

Como resultados de los muestreos realizados en las 5 parcelas y sumando las 21 colecciones generales la composición florística para el área de influencia del proyecto, se encontraron 44 morfoespecies (especies morfológicas), agrupadas en 22 familias botánicas y un individuo indeterminado, que en el momento del muestreo se encontraba vivo pero sin hojas. La familia más abundante fue

Melastomataceae con 7 especies, seguida de Rubiaceae con 5 y Asteráceas con cuatro 4. En la Tabla 16 se presenta el listado de especies, incluyendo nombres científicos, comunes y de hábitos de crecimiento.

Tabla 16. Listado de especies vegetales en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito
ACTINIDIACEAE	<i>Saurauia brachybotrys</i> Turcz.	N. C.	T
ARALIACEAE	<i>Schefflera digyna</i> Cuatrec.	Cheflera	A
ARALIACEAE	<i>Schefflera trianae</i> (Planch. & Linden ex Marchal) Harms	Cheflera	A
ASTERACEAE	<i>Mikania aschersonii</i> Hieron.	N. C.	SL
ASTERACEAE	<i>Paragynoxys corei</i> (Cuatrec.) Cuatrec.	N. C.	T
ASTERACEAE	<i>Verbesina</i> sp.	N. C.	T
ASTERACEAE	<i>Vernonanthura patens</i> (Kunth) H. Rob.	N. C.	T
CECROPIACEAE	<i>Cecropia multisecta</i> P. Franco & C.C. Berg	Yarumo	A
CECROPIACEAE	<i>Cecropia</i> sp.	Yarumo	A
CECROPIACEAE	<i>Pourouma bicolor</i> Mart.	N. C.	A
CHLORANTHACEAE	<i>Hedyosmum scaberrimum</i> Standl.	N. C.	A
CLUSIACEAE	<i>Clusia alata</i> Planch. &	N. C.	A

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito
	Triana		
CLUSIACEAE	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	N. C.	A
CLUSIACEAE	<i>Vismia macrophylla</i> Kunth	N. C.	A
CYATHEACEAE	<i>Cyathea</i> sp.	Sarro	FA
ERICACEAE	<i>Cavendishia macrocephala</i> A.C. Sm.	Uvito de monte	TS
EUPHORBIACEAE	<i>Croton killipianus</i> Croizat	N. C.	T
FLACOURTIACEAE	<i>Banara guianensis</i> Aubl.	N. C.	A
INDETERMINADA	INDETERMINADA	N. C.	A
LAMIACEAE	<i>Hyptidendron arboreum</i> (Benth.) Harley	N. C.	A
LORANTHACEAE	<i>Gaiadendron punctatum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	N. C.	T
MALVACEAE	<i>Hampea punctulata</i> Cuatrec.	N. C.	T
MELASTOMATAACEAE	MELASTOMATAACEAE	N. C.	T
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia lehmannii</i> Cogn.	Nigüito	A
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia</i> sp. 1	Nigüito	T
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia</i> sp. 2	Nigüito	T
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia</i> sp. RA	Nigüito	T
MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia theizans</i> (Bonpl.) Cogn.	Nigüito	T
MELASTOMATAACEAE	<i>Tibouchina lepidota</i> (Bonpl.) Baill.	Siete cueros	T

Familia	Nombre científico	Nombre común	Hábito
MIMOSACEAE	<i>Inga edulis</i> Mart.	Guamo	A
MIMOSACEAE	<i>Inga thibaudiana</i> DC.	Guamo	A
MORACEAE	<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	N. C.	A
MORACEAE	<i>Ficus cuatrecasana</i> Dugand	N. C.	A
MORACEAE	<i>Ficus velutina</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	N. C.	A
MYRTACEAE	<i>Eugenia biflora</i> (L.) DC.	N. C.	A
PIPERACEAE	<i>Piper</i> sp.	Cordoncillo	T
RUBIACEAE	<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	N. C.	T
RUBIACEAE	<i>Isertia laevis</i> (Triana) B.M. Boom	N. C.	A
RUBIACEAE	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	N. C.	T
RUBIACEAE	<i>Palicourea</i> <i>perquadrangularis</i> Wernham	N. C.	T
RUBIACEAE	<i>Psychotria</i> sp.	N. C.	T
SOLANACEAE	<i>Solanum aturense</i> Dunal	N. C.	SL
URTICACEAE	<i>Boehmeria caudata</i> Sw.	N. C.	A
VISCACEAE	<i>Phoradendron</i> <i>chrysocladon</i> A. Gray	N. C.	T

N. C.: No conocido; Hábito: A: Árbol, T: Arbusto, FA: Helecho Arbóreo, H: Hierba, SL: Escandente leñoso, TS: Arbusto bejucoso

### **Especies amenazadas, vedadas y endémicas**

De acuerdo con la revisión de los listados de especies de plantas amenazadas, en particular de los libros rojos para Colombia, en Cárdenas y Salinas (2007), se encontró que el gallinazo (*Hyptidendron arboreum*) se encuentra como una especie amenazada en la categoría de Vulnerable (VU). Dada esta situación es probable que en la actualidad el número de poblaciones sea relativamente escaso, por lo cual se considera vulnerable según el criterio de área pequeña y en disminución. Es posible además que sea usada localmente como maderable. De la misma manera, según UNEP WCMC (2003), el género *Cyathea* se encuentra en *Appendix II - Trade controlled to avoid use incompatible with species survival – Global*. Lo que significa que las especies de este género se encuentran comercialmente controladas para evitar usos incompatibles con la supervivencia de la especie.

### **Diversidad, Abundancia y Dominancia**

Las familias más comunes fueron Euphorbiaceae con 19,75% del total de individuos muestreados, Cyatheaceae con 17,90%, Clethraceae con 8,64%, Myrtaceae con 8,64%, Lauraceae con 8,02% y Moraceae con 8,02%. Los datos de porcentaje de las familias más comunes según el número de individuos dentro del muestreo y el número de especies representativas en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría, se pueden observar en la Tabla 17 y Figura 6.

Tabla 17. Porcentaje de las familias más comunes según el número de individuos dentro del muestreo y el número de especies representativas en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.

<b>Familia</b>	<b>Número de individuos</b>	<b>%</b>	<b>Número de especies</b>	<b>%</b>
ACTINIDIACEAE	1	1,12	1	2,27
ARALIACEAE	2	2,25	2	4,55
ASTERACEAE	4	4,49	4	9,09
CECROPIACEAE	9	10,11	3	6,82
CHLORANTHACEAE	6	6,74	1	2,27
CLUSIACEAE	5	5,62	3	6,82
CYATHEACEAE	2	2,25	1	2,27
ERICACEAE	1	1,12	1	2,27
EUPHORBIACEAE	1	1,12	1	2,27
FLACOURTIACEAE	2	2,25	1	2,27
INDETERMINADA	1	1,12	1	2,27
LAMIACEAE	5	5,62	1	2,27
LORANTHACEAE	1	1,12	1	2,27
MALVACEAE	9	10,11	1	2,27
MELASTOMATACEAE	20	22,47	7	15,91
MIMOSACEAE	3	3,37	2	4,55
MORACEAE	5	5,62	3	6,82
MYRTACEAE	1	1,12	1	2,27

Familia	Número de individuos	%	Número de especies	%
PIPERACEAE	1	1,12	1	2,27
RUBIACEAE	7	7,87	5	11,36
SOLANACEAE	1	1,12	1	2,27
URTICACEAE	1	1,12	1	2,27
VISCACEAE	1	1,12	1	2,27
TOTAL	89	100	44	100

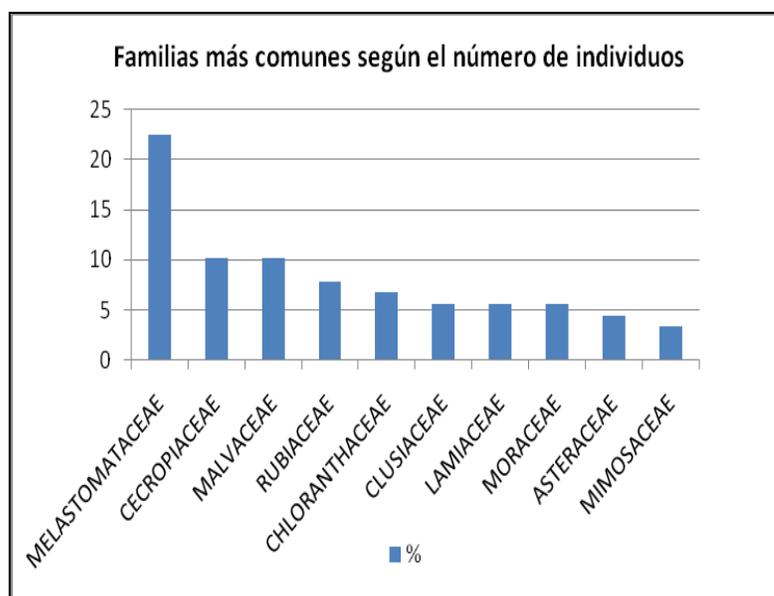


Figura 6. Representación gráfica de las 10 familias con mayor número de individuos en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.

Con relación al número de especies, se tiene que, la familia Melastomataceae está representada por 15,91% del total de las especies muestreadas,

Rubiaceae tiene 11,36%, Asteraceae tiene 9,09%, Cecropiaceae tiene 6,82% y Clusiaceae 6,82%. Todas estas familias tienen especies representativas de ecosistemas altamente intervenidos antrópicamente, en estadios sucesionales tempranos y en general con poca diversidad (Figura 7).

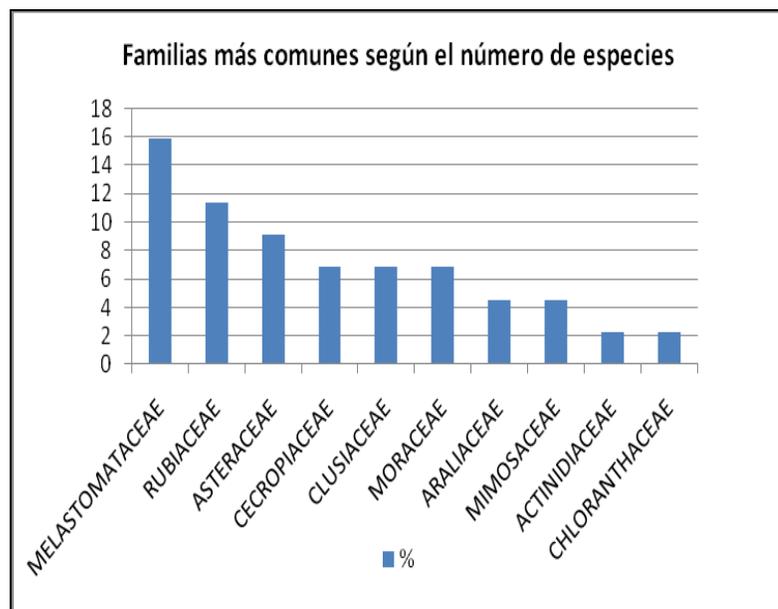


Figura 7. Representación gráfica de las 10 familias con mayor número de especies en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.

## Índices de diversidad

Los índices de diversidad y dominancia calculados para caracterizar las coberturas fueron *Simpson* (D y 1/D) y *Shannon-Wiener* (H'), los cuales miden la biodiversidad de las poblaciones, en este caso se calcularon para cada parcela y en general para el ecosistema identificado como vegetación secundaria o en transición, es decir, la suma de todas las parcelas (Tabla 18).

Tabla 18. Índices de diversidad y dominancia para cada parcela y para el total de especies muestreadas en el Proyecto 3 Alejandría.

Índice	1	2	3	4	5	TOTAL
<i>Simpson</i> (D)	0,05	0,07	0,19	0,14	0,23	0,08
<i>Simpson</i> (1/D)	18,67	15,00	5,33	7,06	4,40	12,94
<i>Shannon-Wiener</i>	1,91	2,27	1,63	1,82	1,67	2,78

El índice de *Simpson*, muestra la probabilidad de que dos individuos sacados al azar de una muestra correspondan a la misma especie. En el muestreo se obtuvo el valor mínimo de 4,40 para la parcela 5 y máximo de 18,67 en la parcela 1, indicando valores de diversidad máximos y mínimos en las parcelas 5 y 1 respectivamente. El valor de diversidad de *Simpson* (1/D) para el total del Proyecto 3 Alejandría (cobertura vegetación secundaria o en transición), es de

12,94 lo cual indica que la posibilidad de de que dos individuos sacados al azar de una muestra en este sitio correspondan a la misma especie es de 1 a 12,94.

El valor obtenido para el índice de *Shannon-Wiener* mide la heterogeneidad de las diferentes comunidades. Para el área de muestreo se obtuvo que la parcela 2 logró un valor de 2,27 ligeramente superior al valor obtenido en el resto de las parcelas sugiriendo que ésta tiene una mayor diversidad con respecto al resto del muestreo, mientras que los valores conseguidos para las parcelas 1, 3, 4 y 5 fueron un poco más bajos indicando que estos lugares tienen una menor diversidad; cabe mencionar que los valores del índice para cada una de las parcelas es considerado como mediana diversidad por el índice, lo cual es coherente con los datos de campo y el contraste con el índice de *Simpson* (1/D). Mientras que para la cobertura vegetación secundaria o en transición el valor alcanzado fue de 2,75, lo cual indica la presencia de comunidades con una diversidad media, en cuanto a abundancia de cada especie y a qué tan uniformemente se encuentran distribuidas.

### **Índice de valor de importancia (IVI)**

Los resultados del índice de valor de importancia (IVI), para las especies vegetales presentes en la zona de estudio (Tabla 19), muestran que la especie más abundante y con presencia en los cinco transectos, y que presenta mayores tamaños es *Miconia theizans*, con un IVI del 45,93%, seguida por

*Hampea punctulata* y *Cecropia* sp., con valores de 33,98% y 31,60% respectivamente; lo cual muestra que a la luz de lo expresado por el índice, las especies más importantes de la comunidad son las anteriormente mencionadas

Tabla 19. Índice de valor de importancia para todas las especies en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.

Espece	Ab. Absoluta	Ab. Relativa	Fr. Absoluta	Fr. Relativa	Dom. Absoluta	Dom. Relativa	IVI
<i>Miconia theizans</i>	14	20,59	4	10,53	0,16	14,82	45,93
<i>Hampea punctulata</i>	9	13,24	2	5,26	0,17	15,48	33,98
<i>Cecropia</i> sp.	7	10,29	4	10,53	0,12	10,78	31,60
<i>Hedyosmum scaberrimum</i>	5	7,35	3	7,89	0,06	5,16	20,41
<i>Hyptidendron arboreum</i>	4	5,88	1	2,63	0,07	6,57	15,08
<i>Ficus citrifolia</i>	3	4,41	2	5,26	0,06	5,20	14,87
<i>Vismia baccifera</i>	3	4,41	2	5,26	0,04	4,07	13,75
<i>Ficus cuatrecasiana</i>	1	1,47	1	2,63	0,07	6,54	10,64
<i>Iseria laevis</i>	3	4,41	1	2,63	0,04	3,45	10,49
<i>Banara guianensis</i>	2	2,94	2	5,26	0,02	1,64	9,84
<i>Inga edulis</i>	2	2,94	2	5,26	0,02	1,53	9,74
<i>Cyathea</i> sp.	2	2,94	1	2,63	0,04	3,22	8,79
<i>Saurauia brachybotrys</i>	1	1,47	1	2,63	0,04	3,25	7,36

Especie	Ab. Absoluta	Ab. Relativa	Fr. Absoluta	Fr. Relativa	Dom. Absoluta	Dom. Relativa	IVI
<i>Schefflera trianae</i>	1	1,47	1	2,63	0,04	3,25	7,36
<i>Ficus velutina</i>	1	1,47	1	2,63	0,03	2,92	7,02
<i>Psychotria</i> sp.	1	1,47	1	2,63	0,03	2,52	6,63
<i>Verbesina</i> sp.	1	1,47	1	2,63	0,02	1,89	5,99
<i>Miconia lehmannii</i>	1	1,47	1	2,63	0,02	1,47	5,57
<i>Inga thibaudiana</i>	1	1,47	1	2,63	0,01	1,28	5,38
<i>Boehmeria caudata</i>	1	1,47	1	2,63	0,01	1,16	5,26
MELASTOMATACEAE	1	1,47	1	2,63	0,01	0,84	4,94
<i>Eugenia biflora</i>	1	1,47	1	2,63	0,01	0,79	4,89
INDETERMINADA	1	1,47	1	2,63	0,01	0,79	4,89
<i>Phoradendron chrysocladon</i>	1	1,47	1	2,63	0,01	0,70	4,80
<i>Piper</i> sp.	1	1,47	1	2,63	0,01	0,70	4,80
TOTAL	68	100	38	100	1,10	100	300

La representación gráfica de los resultados de las 10 especies más importantes, ecológicamente hablando, puede observarse en la Figura 8. Se evidencia la presencia de una especie en estado de amenaza (*Hyptidendron arboreum*), con una comunidad representada por 4 individuos. También es importante resaltar, que entre estas 10 especies suman 68,86% del valor total del índice, lo cual indica que la comunidad está representada por una cantidad considerable de

especies con uno o dos individuos, con tamaños pequeños y concentrados en una sola parcela.

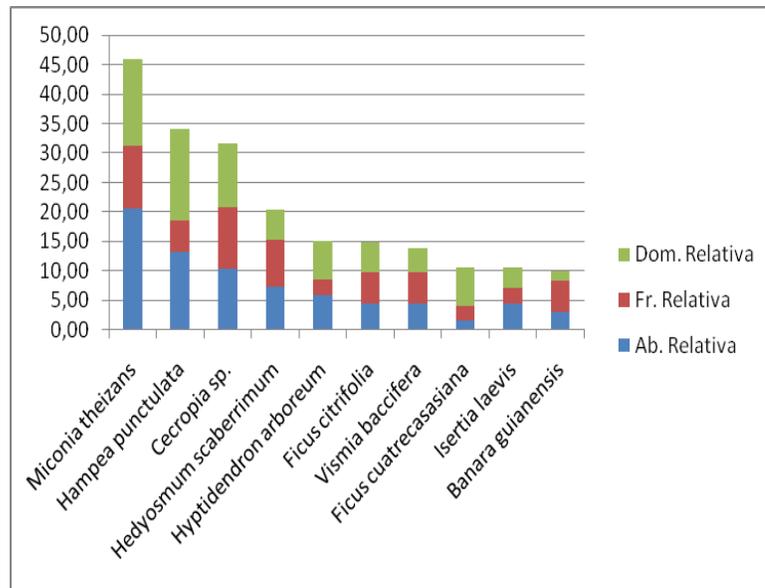


Figura 8. Representación gráfica de las 10 especies con mayor Índice de valor de importancia para todas las especies en la zona de muestreo en el Proyecto 3 Alejandría.

## 7.2 Relaciones entre los tres proyectos PCH

Es importante analizar los tres sitios de muestreo con el fin de determinar hasta qué punto se pueden establecer relaciones de similitud entre ellos y por tanto proceder a hacer la identificación de los impactos generados por las obras de infraestructura que se proyectan con las PCH desde su planeación hasta la

etapa de operación en el tiempo. Se muestran en la Tabla 20, los principales elementos que componen cada sitio.

Tabla 20. Relaciones entre los tres proyectos PCH.

Elemento de comparación	Proyecto 1 Sonsón	Proyecto 2 Sonsón	Proyecto 3 Alejandría
<b>Zonas de vida</b>	bs-T bh-PM bmh-PM	bmh-PM bmh-MB bp-M	bh-PM
<b>Coberturas vegetales</b>	Vegetación secundaria o en transición	Arbustal denso Pastos arbolados	Vegetación secundaria o en transición Pastos arbolados Cultivos permanentes arbustivos
<b>Tipo de muestreo</b>	RAP	Censo al 100%	RAP
<b>Número de morfoespecies (especies morfológicas)</b>	31	14	44
<b>Número de familias</b>	24	11	22
<b>Número de individuos</b>	68	28	89
<b>Índice de Simpson (D)</b>	0,05	0,06	0,08
<b>Índice de Simpson (1/D)</b>	20,71	16,66	12,94
<b>Índice de Shannon-Wiener</b>	3,10	2,48	2,78
<b>Especie más representativa</b>	<i>Cecropia</i> sp. (IVI = 27,66)	<i>Alchornea bogotensis</i>  <i>Inga</i> sp. (abundancia = 4 individuos c/u)	<i>Miconia theizans</i> (IVI = 45,93)

De los tres proyectos es posible analizar los siguientes elementos:

- Las áreas de los tres proyectos tienen rasgos similares en cuanto a zonas de vida, el Proyecto 1 Sonsón y el Proyecto 3 Alejandría tienen áreas de influencia ubicadas en el bh-PM, que según Holdridge (1967) su temperatura está entre 18 a 24°C, con precipitaciones entre 1000 y 2000mm/año. Del mismo modo entre el Proyecto 1 Sonsón y el Proyecto 2 Sonsón se presenta una zona de vida coincidente que corresponde a bmh-PM con temperaturas entre 18 y 24°C y precipitaciones de 2000 a 4000mm/año.
- Con relación a coberturas vegetales se observa que los tres proyectos se encuentran ubicados en sitios altamente intervenidos, donde los bosques primarios y secundarios han desaparecido casi por completo, dando paso a coberturas que denotan intervención antrópica, ellas corresponden a vegetación secundaria o en transición y arbustales densos, pastos arbolados y cultivos permanentes arbustivos.
- Como se explicó en la metodología, el tipo de muestreo se eligió en un proceso previo de consulta de mapas y observación de tipos de coberturas directamente en la zona de estudio, identificando de acuerdo al parche de vegetación el tipo de muestreo a realizar. De acuerdo con esto, se montaron 5 parcelas de 200m<sup>2</sup>, para un total de área

muestreada de 1000m<sup>2</sup>, en el Proyecto 1 Sonsón y el Proyecto 3 Alejandría. Mientras que en el Proyecto 2 Sonsón por el tamaño del fragmento, de aproximadamente 200m<sup>2</sup>, se procedió a realizar un censo del 100% de los individuos. Este detalle de muestreo impidió que se pudieran realizar cálculos de frecuencia y comparaciones entre diferentes zonas de muestreo.

- De acuerdo con las áreas muestreadas, se calculó el índice de *Jaccard*, obteniendo como resultados la información contenida en la Tabla 21.

Tabla 21. Cálculo del índice de *Jaccard* y *Sorensen* para los tres proyectos PCH.

Área de Estudio	Proyecto 1 Sonsón		Proyecto 2 Sonsón		Proyecto 3 Alejandría	
	Índice de <i>Jaccard</i>	Índice de <i>Sorensen</i>	Índice de <i>Jaccard</i>	Índice de <i>Sorensen</i>	Índice de <i>Jaccard</i>	Índice de <i>Sorensen</i>
Proyecto 1 Sonsón			7,14	14,58	5,63	14,01
Proyecto 2 Sonsón					3,57	8,55

De la información de la Tabla 21, se infiere que las comunidades presentan muy poca similitud entre ellas. El valor más bajo, de los índices de *Jaccard* y *Sorensen*, se presenta entre las comunidades vegetales de Proyecto 2 Sonsón vs. Proyecto 3 Alejandría con 3,57 y

8,55 respectivamente. El valor más alto, de los índices de *Jaccard* y *Sorensen*, se presenta entre las comunidades vegetales de Proyecto 1 Sonsón vs. Proyecto 2 Sonsón, con valores de 7,14 y 14,58 respectivamente. A pesar de las diferencias entre los valores máximos y mínimos resultantes de las mediciones de la diversidad Beta; los resultados indican la poca similitud en cuanto a composición que presentan las comunidades vegetales de las diferentes zonas de estudio.

- El índice de *Simpson* (D) revela que en las tres comunidades existe una probabilidad relativamente baja de que dos individuos tomados de una muestra sean de la misma especie, dichos valores son 20,71; 16,66 y 12,94 para el Proyecto 1 Sonsón, el Proyecto 2 Sonsón y el Proyecto 3 Alejandría respectivamente, lo cual implica que existen pocas especies que tengan una dominancia marcada y que la composición de estas comunidades es relativamente distinta; inferencia que se refuerza con los resultados (Tabla 21) y análisis de la diversidad Beta. Sin embargo, es importante resaltar que cada comunidad tiene algunos individuos que son más representativos que otros de acuerdo con el IVI para el caso del Proyecto 1 Sonsón y el Proyecto 3 Alejandría, ellas son: *Cecropia* sp. (27,66) y *Miconia theizans* (45,93) respectivamente. Mientras que para el caso del Proyecto 2 Sonsón, las especies más representativas resultaron por la abundancia de las mismas dentro del censo, ellas fueron

*Alchornea bogotensis* e *Inga* sp., representadas por 4 individuos cada una (Tabla 20).

### **7.3 Identificación de impactos generados sobre la flora en proyectos PCH**

De acuerdo con Conesa (2009) la matriz de impactos generada, surgió de la identificación de efectos sobre unos elementos medioambientales susceptibles de recibir impactos. Para ello se hizo necesario identificar de una manera amplia y precisa las acciones que puedan causar impactos sobre los factores del medio para así obtener una valoración de los mismos.

En el Anexo 4 – Identificación de impactos en proyectos PCH asociados al componente flora se presentan los impactos asociados a las diferentes etapas de un proyecto PCH sobre los diferentes sistemas que conforman el medio y que están directa e indirectamente relacionados con el componente flora. Adicionalmente, algunas labores específicas desarrolladas en las etapas previas, de construcción y operación del proyecto, que pueden ocasionar efectos directos sobre las coberturas vegetales, entre ellas es importante mencionar las siguientes: remoción de vegetación y descapote, disposición de sobrantes de excavación y limpieza de la servidumbre para la línea de conexión y áreas operativas.

## **7.4 Valoración de impactos ambientales**

### **7.4.1 Valoración de impactos ambientales usando el Método de Conesa**

Con base en la identificación de impactos y las actividades del proyecto que generan alteraciones sobre la dimensión biótica, específicamente, sobre las coberturas vegetales, se procedió a realizar la valoración tradicional que requieren las autoridades ambientales, sea Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o Corporaciones Autónomas Regionales, para el otorgamiento de Licencias ambientales. Para ello se utilizó la matriz de identificación de impactos propuesta por Conesa (2009), pero se modificó haciendo la valoración particularmente para aquellas actividades que implican alguna alteración de la dimensión biótica y específicamente de los componentes biota terrestre (coberturas vegetales). En el Anexo 5 – Matriz de impactos ambientales para la dimensión biótica, se presenta el análisis realizado para cada uno de los tres proyectos PCH trabajados.

Basados en la metodología propuesta por Conesa (2009) se desarrolló en este anexo una tabla que contiene la calificación de los impactos generados por las diferentes actividades en las etapas preliminares, de construcción y de operación y mantenimiento sobre la dimensión biótica, específicamente sobre las coberturas vegetales, en cada uno de los proyectos PCH trabajados.

Allí se otorgaron valoraciones a los diferentes parámetros de caracterización, que dan a cada actividad un valor de impacto procedente de la aplicación de la ecuación de jerarquización de impactos ambientales (expuesta en el numeral 6.2.4) y se puede observar cuáles de ellos tiene mayor incidencia sobre los elementos analizados.

A partir de los valores dados a los diferentes parámetros utilizados para la calificación de los impactos identificados, se obtuvo las calificaciones ambientales, las cuales expresan la modificación de la condición actual de cada elemento, componente y sistema ambiental, sintetizando las modificaciones individuales de los elementos ambientales, atribuibles a las diferentes actividades del proyecto, y el grado de severidad para cada uno de ellas.

Aplicando dicho criterio se encontró que para el Proyecto 1 Sonsón, de los 10 impactos identificados, 7 impactos son negativos, 1 es positivo y 2 son indiferentes. De ellos una actividad es compatible entre el proyecto y la vegetación (Alindramiento de terrenos adquiridos); 7 actividades representan impactos moderados, mientras que 2 actividades son severas (remoción de la capa superficial del suelo y corte de la vegetación arbórea y arbustiva).

Para el Proyecto 2 Sonsón, se obtuvo que de 10 impactos 4 son indiferentes, 5 son negativos y 1 es positivo, correspondiente al alindramiento de terrenos. Se

resalta que no existen actividades del proyecto que impacten de forma severa o crítica a la vegetación del lugar, mientras que el 40% de dichas actividades son compatibles con la vegetación, como lo son la presencia y operación del proyecto y la apertura de senderos y trochas, pues éstas no se desarrollarán por encontrarse a orillas de carretera. Finalmente, el 60% de las actividades representan un impacto moderado, tales como, remoción de la capa superficial del suelo y corte de la vegetación arbórea y arbustiva.

En cuanto al Proyecto 3 Alejandría se tiene que de los 10 impactos identificados, 7 impactos son negativos, 1 es positivo y 2 son indiferentes. De ellos una actividad es compatible entre el proyecto y la vegetación; 7 actividades representan impactos moderados, mientras que 2 actividades son severas (Tala de vegetación en servidumbres, alrededores de instalaciones permanentes, taludes, vías de acceso, etc.).

Una síntesis comparativa de los impactos encontrados en los tres proyectos PCH para las coberturas vegetales se puede observar en la Tabla 22.

Tabla 22. Valoración de impactos ambientales usando el Método de Conesa.

COMPONENTES	DIMENSIÓN BIÓTICA		
	Biota Terrestre		
Elementos	Cobertura Vegetal		
Actividades	Proyecto 1 Sonsón	Proyecto 2 Sonsón	Proyecto 3 Alejandría
<b>Etapas preliminar</b>			
Apertura de senderos y trochas	30 (-)	3 (x)	30 (-)
Constitución de servidumbres	27 (-)	27 (x)	27 (-)
Alindramiento de terrenos adquiridos	22 (+)	24 (+)	22 (+)
<b>Etapas de construcción</b>			
Corte y disposición de vegetación arbórea y arbustiva en zona de obras superficiales	44 (-)	28 (-)	44 (-)
Remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios de: talleres, portales del túnel, accesos temporales, casa de máquinas	57 (-)	35 (-)	57 (-)
Adecuación y operación de sitios para almacenar de forma temporal o permanente, los residuos de las excavaciones	46 (-)	18 (-)	46 (-)
Corte de la vegetación arbórea y arbustiva existente dentro del corredor de la servidumbre y que por su altura o por oscilación causada por el viento, pueda aproximarse a los conductores a distancias menores que las recomendadas para una tensión dada; generando peligro de daños a la línea o que dificulte el levantamiento del pescante para el tendido y templado de los cables	56 (-)	36 (-)	56 (-)
<b>Etapas de operación y mantenimiento</b>			
Presencia del proyecto	29 (x)	25 (x)	29 (x)
Tala de vegetación en servidumbres, alrededores de instalaciones permanentes, taludes, vías de acceso, etc.	50 (-)	28 (x)	50 (-)
Operación del proyecto	30 (x)	21 (x)	30 (x)

Donde: (-) Impacto negativo, (+) Impacto positivo, (x) Impacto indiferente

#### **7.4.2 Propuesta de modelo de valoración de impactos ambientales sobre el componente flora**

En el Anexo 6 – Datos usados para el desarrollo del modelo de valoración de impactos sobre el componente flora, se realizó la ponderación de las variables elegidas para el desarrollo del modelo. Allí se recopilaron datos tanto para los proyectos objeto de estudio de la presente investigación, así como de otros proyectos realizados en el departamento de Antioquia, actualmente en ejecución o en etapas previas.

Los valores referidos en dicho anexo, sometidos al análisis en *Statgraphics® Centurion XV*, se obtuvo el siguiente modelo de regresión lineal múltiple:

$$\text{ICF} = 1,49 \cdot 10^{-13} + \text{CV} + \text{ER} + \text{IR} + \text{PLR} + \text{PD} + \text{BR} + \text{CVD} + \text{DFC} - 1,51 \cdot 10^{-14} \text{AP}$$

En el Anexo 7 - Análisis estadístico del modelo de valoración de impactos ambientales sobre el componente flora, se observa este modelo y sus estadísticos de soporte. El análisis de la varianza para el modelo de regresión lineal múltiple, muestra una relación estadísticamente significativa a un nivel de confiabilidad de 95% entre el índice de impactos sobre el componente flora y las variables del mismo.

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo explica 88% de la variabilidad en el impacto sobre el componente flora. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 150,41.

Con este nuevo modelo se obtuvo la calificación de impactos sobre coberturas vegetales que se observa en la Tabla 23.

Tabla 23. Valoración de impactos sobre coberturas vegetales con el método propuesto por los autores.

Variable	Unidad de Medida	Valor de la Variable		
		Proyecto 1 Sonsón	Proyecto 2 Sonsón	Proyecto 3 Alejandría
Porcentaje de área de cobertura vegetal a perderse	%	1	1	1
Porcentaje de especies removidas	%	12	7	9
Porcentaje de individuos removidos	%	11	7	9
Presencia de especies en listados rojos	Presencia/Ausencia	0	12	12
Porcentaje de pérdida de Biodiversidad	%	12	7	9
Porcentaje de biomasa removida	%	11	7	9
Tipo de cobertura vegetal dominante	Tipo	7	5	7
Distancia al fragmento más cercano	m	5	7	1
Áreas protegidas presentes sobre el área a remover	Presencia/Ausencia	0	0	0
<b>Aplicación del modelo de Impactos diseñado por los autores:</b> <b>ICF = <math>1,49 \cdot 10^{-13} + CV + ER + IR + PLR + PD + BR + CVD + DFC - 1,51 \cdot 10^{-14} AP</math></b>		59,006	53,006	57,006
<b>Tipo de Impacto</b>		Alto	Medio	Alto

Con los resultados obtenidos es posible inferir que en cada uno de los proyectos existe una valoración de impactos alta, que está debida principalmente a los siguientes elementos por proyecto:

Para el Proyecto 1 Sonsón los valores más altos obtenidos fueron el porcentaje de especies y de individuos removidos que a su vez jalonan la pérdida de diversidad y la biomasa removida, todos ellos por unidad de área; si bien no se encontró en el muestreo alguna especie en listados rojos ni tampoco áreas protegidas, los impactos individuales tienden a ser no tolerables o en algunos casos severos, precisamente porque el área de influencia del proyecto es bastante sensible por pertenecer a un tipo de vegetación secundaria o en transición.

Lo anterior indica que la sucesión natural de la vegetación que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original se verá seriamente afectada allí y en los fragmentos cercanos que son los que proporcionan las condiciones óptimas de hábitat para estas especies.

Por su parte, para el Proyecto 2 Sonsón se encontró que la variable más sensible al impacto fue la presencia de especies en listados rojos, aunque presentes en un área de muestreo muy pequeño, esta representa el hábitat de especies de especial interés de conservación.

Por su parte, las especies e individuos removidos, así como la pérdida de diversidad y la biomasa removida se encuentran con valores de calificación en el rango alto, lo que indica que las obras de infraestructura proyectadas llegarán a afectar drásticamente a la pequeña comunidad vegetal llevándola hasta estados de gran sensibilidad ecológica.

Finalmente, para el Proyecto 3 Alejandría, se tiene que la variable que más impulsa el modelo es la presencia de especies en listados rojos; sin embargo, otras variables como especies e individuos removidos y sus variables asociadas, pérdida de diversidad y biomasa removida se encontraron en el rango severo de impacto, aunado esto con el tipo de cobertura vegetal dominante que corresponde con un estado sucesional en desarrollo, indica que las obras de infraestructura proyectadas en la zona tienen la capacidad de impactar a la comunidad vegetal presente en la zona.

#### **7.4.3 Comparación de los resultados obtenidos con ambos métodos**

Adicionalmente a los análisis anteriores, es posible realizar una exploración de impactos sobre diferentes elementos y componentes, tal como se indica en el Anexo 3 – Otros modelos para medir impactos ambientales en proyectos de desarrollo.

No obstante, una comparación entre ellos no es posible puesto que las variables que utiliza cada modelo son diferentes y pretenden analizar componentes distintos dentro del mismo sistema, ya que mientras el modelo de Conesa analiza actividades en las diferentes fases del proyecto, el modelo desarrollado por los autores en este estudio trata de indagar sobre el efecto general del proyecto sobre elementos ecológicos de las coberturas vegetales.

Una comparación de los resultados obtenidos se presenta en la Tabla 24.

Tabla 24. Resultados generales obtenidos con el modelo de Conesa y otro generado por los autores – Moscoso y Montealegre.

Proyecto	Modelo de Conesa		Modelo de Moscoso y Montealegre	
	Calificación del impacto	Tipo de impacto	Calificación del impacto	Tipo de impacto
Proyecto 1 Sonsón	70%	Severo	59	Alto
Proyecto 2 Sonsón	50%	Moderado	53	Medio
Proyecto 3 Alejandría	70%	Severo	57	Alto

De los resultados de la tabla anterior, puede decirse que:

Para el Proyecto 1 Sonsón hubo 7 impactos negativos situación calificada por Conesa como “Severa” y por el método propuesto por los autores una valoración de 59 que representan un tipo de impacto “Alto”.

Para el Proyecto 2 Sonsón se registraron 5 impactos negativos calificados por Conesa como “Moderada” y por el método propuesto por los autores una valoración de 53 que representan un tipo de impacto “Medio”.

Y para el Proyecto 3 Alejandría hubo 7 impactos negativos situación calificada por Conesa como “Severa” y por el método propuesto por los autores una valoración de 57 que representan un tipo de impacto “Alto”.

Lo anterior sugiere que a pesar de observarse cierta similitud en las tendencias en los resultados obtenidos de la aplicación de ambos métodos, se obtiene un beneficio adicional con el método propuesto por los autores pues este permite determinar la verdadera dimensión de las consecuencias o efectos que se tienen sobre las coberturas vegetales terrestres que no puede obtenerse a partir de la aplicación directa del método de Conesa.

Y tal como describen Espinoza (2002) y Henríquez y Azócar (2007) para contrarrestar el efecto puramente descriptivo, poco predictivo y escasamente

preventivo implícito en los estudios de impacto ambiental en los cuales se aplica tradicionalmente el método de Conesa, se hace necesario promover la incorporación de tecnologías de estimación de impactos, dentro de lo cual se puede mencionar la utilidad del uso de modelos predictivos, entre los que se encuentra el propuesto en el presente estudio.

Sin embargo, también es importante aclarar que si bien evaluar el impacto ambiental de un proyecto significa analizarlos desde una perspectiva global, cabe señalar que cada situación es un hecho singular, para lo cual no existe una receta que tenga aplicación universal. Por otro lado, predecir los impactos ambientales representa un desafío para quienes toman decisiones, principalmente porque los ecosistemas y sus interrelaciones son complejos, la dificultad de conjugar conocimientos de diferentes disciplinas y la dificultad para incorporar todos los conocimientos ecológicos en un mismo análisis (De La Maza, 2007).

## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Actualmente ante la creciente demanda de generación de energía ha surgido un auge enorme para la instalación de proyectos que ayuden a suplir esta necesidad; sin embargo, cada obra tiene asociado una serie de impactos sin importar si la magnitud de las mismas es grande como sucede con proyectos que tienen asociado embalse para la acumulación de agua mediante inundación de extensas áreas de terreno o si su diseño es a filo de agua, es decir, utilizando el agua de pasada y liberándola de nuevo en el cauce aguas abajo. Todos ellos requieren de la realización de estudios de impacto ambiental que cuantifiquen y cualifiquen los elementos ambientales presentes en la zona del proyecto antes, durante y después de su construcción, que finalmente ayudarán a diseñar las diferentes estrategias para compensar, corregir, mitigar o prevenir los impactos físicos, ambientales y socioeconómicos ocasionados por la presencia del proyecto.

La Pequeñas Centrales Hidroeléctricas surgen como una solución ambientalmente limpia de generación local de energía en zonas aisladas y que no representan un gran aporte al sistema nacional de interconexión eléctrica. Sin embargo, en comparación con los proyectos de autorregulación o que usan una presa, su impacto ambiental es mínimo si se considera la biomasa por hectárea inundada, la utilización de grandes áreas de tierra para construcción

de infraestructura, las emisiones de gases con efecto invernadero, las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, las emisiones de partículas y de mercurio en la planta, la transmisión de enfermedades a través del agua, el establecimiento de barreras para peces, la pérdida de hábitats terrestres, los cambios en la calidad del agua, las modificaciones en el flujo de agua, la erosión y las repercusiones sobre la diversidad biológica.

La legislación colombiana ofrece todas las herramientas válidas y vigentes para evaluar los potenciales impactos que un proyecto de infraestructura representa para los componentes físicos, ambientales y socioeconómicos, de tal manera que ellos sean correctamente evaluados y se puedan implementar medidas que garanticen su supervivencia y calidad, en términos de restauración, protección, compensación y mitigación.

Una de estas herramientas son los modelos matemáticos que permiten descomponer un proceso natural y complejo en elementos más simples a través de la simulación normalmente en programas de cómputo, y que finalmente pueden ayudar a tomar decisiones certeras con base en información real, tomada en campo.

Con relación a los tres proyectos objeto de análisis del presente estudio se puede decir en términos generales que ellos tienen rasgos similares en cuanto

a zonas de vida y coberturas vegetales, presentando características que denotan altas intervenciones antrópicas correspondientes a vegetación secundaria o en transición, arbustales densos, pastos arbolados y cultivos permanentes arbustivos, donde las especies tienen una composición diferente.

Por su parte, en la valoración de impactos a través del método de Conesa, específicamente para el componente “coberturas vegetales” se obtuvo una serie de calificaciones ambientales, dadas de acuerdo a los parámetros establecidos por el modelo, las cuales expresan la modificación de la condición actual de cada elemento, componente y sistema ambiental, y donde estas modificaciones son atribuibles a las diferentes actividades del proyecto, y al grado de severidad de cada una de ellas.

Se obtuvo entonces, a partir de este método que en total para el Proyecto 1 Sonsón había 7 actividades que representaban impacto negativo, 5 para el Proyecto 2 Sonsón y 7 para el Proyecto 3 Alejandría, siendo la actividad más impactante la remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios para talleres, portales del túneles, accesos temporales, casa de máquinas y demás obras constructivas, pues estos terrenos quedan irrecuperables y sus efectos son irreversibles, acumulativos y persistentes en el tiempo.

Con el modelo generado por los autores de este trabajo, desarrollado a partir de la revisión y recopilación de información tomada de otros proyectos PCH bajo condiciones similares, tanto ambientales como de magnitud en su proceso constructivo, se logró estimar también una valoración de impactos generados por ellos pero que es específico para el componente flora, obteniendo un beneficio adicional si se requiere determinar la verdadera dimensión de las consecuencias o efectos que se tienen sobre las coberturas vegetales terrestres que no puede obtenerse a partir de la aplicación del método de Conesa.

Por tanto, toda esta información, sirve de sustento y valida su aplicación en cualquier proyecto PCH. Específicamente para el presente estudio se encontró que el impacto de los diferentes proyectos sobre la vegetación de Sonsón 1 y Alejandría está calificado como Alto generado principalmente por la remoción de especies vegetales, la presencia en listados rojos y la pérdida de diversidad, mientras que para Sonsón 2 es Medio, impulsado por la presencia de especies en listados rojos.

Lo anterior sugiere que si bien se está haciendo uso de dos métodos diferentes para analizar los impactos, sí existe algún grado de similitud en la tendencia de dichas valoraciones, tanto con el método de Conesa como con el modelo propuesto; sin embargo, con este último se puede observar con más detalle cuáles factores ecológicos asociados directamente con la vegetación son los

que mayor efecto tienen sobre las afectaciones que ésta pueda sufrir con las labores de implementación de proyectos PCH.

Se recomienda a partir de estos resultados, hacer siempre, además de la valoración de impactos por componentes, tal como lo sugiere el método de Conesa, adicionalmente hacer una valoración específica para el componente flora con el método propuesto en este estudio, lo cual ayudará a elevar el nivel de sensibilidad de los elementos ecológicos asociados a él, obteniendo de esta manera un sistema de información bastante depurado que ayudará para que la formulación de un Plan de manejo ambiental sea cada vez más completo y resuelva de manera efectiva los impactos sobre el medio ambiente y sus consecuentes efectos.

Finalmente, la toma de información en campo directamente desde los sitios de proyección de infraestructura, tales como carreteras, túneles, ventanas de túneles, captación, casa de máquinas, entre otros, es fundamental no solo para realizar la caracterización preliminar del área de influencia directa del proyecto, sino también para poder calificar las diferentes variables con base en información primaria, veraz y eficiente en la identificación de impactos y en la formulación de medidas correctivas de las actividades propias del mismo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Cárdenas, D. & N. Salinas (eds). (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia*, Volumen 4: Especies maderables amenazadas, primera parte. La serie Libro Rojos de Especies amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia, Ministerio Ambiente Vivienda y desarrollo Territorial. 232p.

CORNARE. Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare. (2009). *Jurisdicción – Regionales*. Corporación Autónoma Regional de los ríos Negro - Nare [Consultado el 28 de febrero, 2011] Disponible en Internet: [http://www.cornare.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=102&Itemid=126&lang=es](http://www.cornare.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=126&lang=es)

Conesa, V. (2009). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. 4ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 867p. [Consultado el 28 de mayo, 2012] Disponible en Internet: [http://books.google.com.co/books?id=GW8lu9Lqa0QC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.co/books?id=GW8lu9Lqa0QC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

De La Maza, C. (2007). *Evaluación de impactos ambientales*. En: Manejo y conservación de recursos forestales. Editorial Universitaria, pp 579-609. [Consultado el 4 de diciembre, 2012] Disponible en Internet: [http://www.captura.uchile.cl/jspui/bitstream/2250/10644/1/Evaluacion\\_de\\_Impactos\\_Ambientales.pdf](http://www.captura.uchile.cl/jspui/bitstream/2250/10644/1/Evaluacion_de_Impactos_Ambientales.pdf)

Escobar, L. A. (2001). *Plan estratégico de Antioquia*. Diagnóstico ambiental, primera parte. Región Central de Antioquia. 66p.

Espinoza, G. (2002). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago, BID - CED.

Gobernación de Antioquia. (2011a). *Alejandro*. [Consultado el 21 de marzo, 2011] Disponible en Internet: <http://alejandria-antioquia.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=mlxx-1-&m=f>

Gobernación de Antioquia. (2011b). *Sonsón*. [Consultado el 21 de marzo, 2011] Disponible en Internet: <http://www.sonson-antioquia.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=mlxx-1-&m=f>

Gobernación de Antioquia. (2011c). *Parque central de Antioquia*. [Consultado el 30 de septiembre, 2011] Disponible en internet: <http://www.antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/medioambiente/parquecentraldeantioquia.html>

Henríquez, C. y Azócar, G. (2007). *Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y en la evaluación de impacto ambiental*. En IX Coloquio Internacional de Geocrítica. Los problemas del mundo actual soluciones y alternativas desde la geografía y las ciencias sociales. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [Consultado el 4 de diciembre, 2012] Disponible en Internet: <http://www.ub.edu/geocrit/9porto/cristian.htm>

Holdridge, L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. Tropical Science Center. San José, Costa Rica.

Huacuz, J. (1999). *Generación eléctrica distribuida con energías renovables*. Boletín iie. Septiembre/octubre 1999. 216-222. [Consultado el 22 de septiembre, 2010] Disponible en Internet: <http://www.iie.org.mx/reno99/tenden.pdf>

IAvH. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2006). Manual de Métodos para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad. Recuperado el 15 de marzo de 2012 de [http://www.humboldt.org.co/publicaciones/uploads/067\\_Metodos\\_Inventarios\\_2004.pdf](http://www.humboldt.org.co/publicaciones/uploads/067_Metodos_Inventarios_2004.pdf)

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra*. Metodología *Corine Land Cover* adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 58 p.

International Energy Agency. (2000). *Implementing agreement for hydropower technologies and programmes*. Annex III. Hydropower and the environment: present context and guidelines for future action. Subtask 5: Report. Volume II:

main report. [Consultado el 28 de junio, 2012] Disponible en Internet: <http://www.ieahydro.org/reports/HyA3S5V2.pdf>

IPSE. Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. (2010). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Ministerio de Minas y Energía. Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las zonas no Interconectadas. [Consultado el 22 de septiembre, 2010] Disponible en Internet: [http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=148%3Apequeñas-centrales-hidroelectricas&catid=132%3Aproyectos-de-energia-convenciona-pch&Itemid=505&lang=es](http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=148%3Apequeñas-centrales-hidroelectricas&catid=132%3Aproyectos-de-energia-convenciona-pch&Itemid=505&lang=es)

IUCN. (2001). *IUCN Red List Categ. Crit. v. 3.1 ii*, 30p.

Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey. 179p.

Marani, A. (1988). *Advances in environmental modelling*. Elsevier, Amsterdam. Pages 5-26.

MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). *Resolución 1280 del 30 de junio de 2006. Por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción y operación de centrales hidroeléctricas generadoras y se adoptan otras determinaciones*. Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. [Consultado el 23 de marzo, 2011] Disponible en Internet: <http://www.minambiente.gov.co/documentos/Res1280-30-06-06.pdf>

MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010a). *Decreto 2820 de 2010. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias ambientales*. Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. [Consultado el 21 de junio, 2012] Disponible en Internet: <http://web.presidencia.gov.co/decretoslinea/2010/agosto/05/dec282005082010.pdf>

MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010b). *Metodología general para la presentación de estudios ambientales* / Zapata P., Diana M., Londoño B Carlos A et al. (Eds.) González H Claudia V.; Idárraga A

Jorge.; Poveda G Amanda.; et al. (Textos). Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 72 p.

Mora, D. C. y Hurtado, J. M. (2004). *Guía para estudios de prefactibilidad de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos*. Trabajo de grado Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 185p.

Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T- Manuales y Tesis ORCYT/UNESCO & SEA, volumen 1. Zaragoza, España. 84p. [Consultado el 27 de junio, 2012] Disponible en: <http://entomologia.rediris.es/sea/manytas/metodos.pdf>.

Ortiz, R. (2010). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Universidad del Valle. Periódico Síntesis, Sala de lectura. [Consultado el 24 de septiembre, 2010] Disponible en Internet. <http://sintesis.univalle.edu.co/saladelectura/pequenhas-centrales.html>

Osaba, M. (2010). *Alud de Pequeñas centrales hidroeléctricas*. IPS Agencia de noticias *Inter Press Service*. Ambiente-Brasil. [Consultado el 24 de septiembre, 2010] Disponible en Internet: <http://ipsnoticias.net/nota.asp?idnews=89332>

Ospina, J. E. y Lema, Á. (2004). *Indicadores cuantitativos de los impactos generados en proyectos de desarrollo lineales*. Gestión y Ambiente Vol. 7 No. 1: 91-112

Oyarzún, J. (2008). *Evaluación de impactos ambientales*. Temas ambientales. [Consultado el 4 de diciembre, 2012] Disponible en Internet: [http://www.aulados.net/Temas\\_ambientales/EIA/EIA\\_Jorge\\_Oyarzun.pdf](http://www.aulados.net/Temas_ambientales/EIA/EIA_Jorge_Oyarzun.pdf)

Pearson, T.; Walker, S. & Brown, S. (2005). *Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects*. Bio C F & Winrock international. 57p.

Plazas, J. A.; Lema, Á. y León, J. D. (2009). *Una propuesta estadística para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo*. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín 62(1): 4937-4955

Prodepaz y sus Prácticas Comunicativas Bajo la Luz del Derecho a la Información. (2011, 2 de junio). Entorno. [web log post]. Recuperado el 5 de mayo de 2012 de <http://investigacionprodepaz.wordpress.com/>

Rangel, J. O., Lowy, P. D. y Aguilar, M. (1997). *Colombia diversidad biótica II. Tipos de vegetación en Colombia. Una aproximación al conocimiento de la terminología fitosociológica, fitoecológica y de uso común*. Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia., Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM., Comité de investigaciones y Desarrollo Científico CINDEC. U.N., Academia Colombiana de ciencias Exactas Físicas y Naturales. Editorial Guadalupe Ltda. Bogotá, Colombia. 436p.

Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M., y Romero, M. (2006). *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Segunda edición. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 154p.

Rodríguez, H. (2008). *Estudios de impacto ambiental*. Guía metodológica. Segunda Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 156p.

Santos, T. y Tellería J. L. (2006). *Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies*. Ecosistemas. 2006/2 3-12. [Consultado el 4 de octubre, 2011] Disponible en Internet: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/540/54015202.pdf>

Smith, R.; Ángel, W. y Gil, M. M. (2003). *Análisis de inversión en pequeñas centrales hidroeléctricas*. Tesis de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. [Consultado el 22 de septiembre, 2010] Disponible en Internet: [http://sigma.poligran.edu.co/politecnico/apoyo/decisiones/simposio/documentos/02\\_hidroelectrica\\_MMgil.pdf](http://sigma.poligran.edu.co/politecnico/apoyo/decisiones/simposio/documentos/02_hidroelectrica_MMgil.pdf)

Tropicos.org. (2012). Missouri Botanical Garden. [Consultado el 22 de septiembre, 2012] Disponible en Internet: <http://www.tropicos.org>

UNEP WCMC. (2003). *Checklist of CITES species*. CITES Sp. 339p.

**ANEXO 1**  
**REGISTRO FOTOGRÁFICO DE CAMPO**



Foto 8. Panorámica del cañón del río Arma en el Proyecto 1 Sonsón.



Foto 9. Coberturas vegetales observadas en el Proyecto 1 Sonsón.



Foto 10. Cobertura vegetación secundaria o en transición en el Proyecto 1  
Sonsón.



Foto 11. Cobertura arbustal denso en la zona de captación del Proyecto 2  
Sonsón.



Foto 12. Cobertura pastos arbolados en la zona casa de máquinas del Proyecto 2 Sonsón.



Foto 13. Panorámica del río Sirgua y coberturas circundantes en el Proyecto 2 Sonsón.



Foto 14. Cobertura de vegetación secundaria o en transición el el Proyecto 3 Alejandría.



Foto 15. Interior de la cobertura vegetación secundaria o en transición del Proyecto 3 Alejandría.



Foto 16. Estado de conservación de la zona captación en el Proyecto 3  
Alejandría.



**ANEXO 3**  
**OTROS MODELOS USADOS PARA MEDIR IMPACTOS AMBIENTALES EN**  
**PROYECTOS DE DESARROLLO**

Modelo	Parámetros	Autor
$II = 3I + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Mci + Si + Ac + Ef + Pr$	I: intensidad, Ex: Extensión; Mo: Momento; Pe: Persistencia; Rv: Reversibilidad; Mci: Recuperabilidad ; Si: Sinergia; Ac: Acumulación; Ef: Efecto; Pr: Periodicidad	Conesa (2009)
$IA = 0,90P + 0,34D + 0,07M - 0,04Ex + 0,07 Rv - 0,11S + 0,21 Mt$	P: Presencia; D: Duración; M: Magnitud; Ex: Extensión; Rv: Reversibilidad; S: Sinergia; Mt: Mitigabilidad	Plazas <i>et al.</i> (2009)
$I_{F-B} = 0,182846 - 0,040247I_{dr} + 0,114944I_{mr} + 0,102421I_{cvr} + 0,272524I_{ddr} - 0,266542I_{qr}$	I <sub>dr</sub> : Distancia a fuentes de agua; I <sub>mr</sub> : Pendiente (%); I <sub>cvr</sub> : Cobertura vegetal circundante; I <sub>ddr</sub> : densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> ); I <sub>qr</sub> : Caudal (l/s)	Ospina y Lema (2004)
$IT_k = \sum (M_{kj} I_{kj})$	IT <sub>k</sub> : Impacto total sobre el factor ambiental k; M <sub>kj</sub> : magnitud del impacto de la acción j sobre el factor k; I <sub>kj</sub> : importancia del impacto de la acción j sobre el factor k	Lugones (1971)

## ANEXO 4

### IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS EN PROYECTOS PCH ASOCIADOS AL COMPONENTE FLORA

Sistemas que conforman el medio e impactos directos e indirectos asociados con los proyectos PCH. Adaptado de Rodríguez (2008) y Conesa (2009).

Sistema	Componente	Elemento	Impacto asociado
Físico	Aire	Calidad	Calidad del aire definida en términos de la concentración de partículas contaminantes emitidas a la atmósfera, mediante el humo o el uso de procesos industriales que emitan material particulado y que llegan a ser nocivos para el hombre, <b>plantas</b> o animales.
	Agua	Disponibilidad	La alteración de las condiciones físicas del recurso agua por acciones antrópicas como <b>desprotección vegetal</b> de los cauces puede alterar el régimen hidrológico de las cuencas y la cantidad y calidad del recurso hídrico.
		Dinámica	Modificaciones en el régimen hidráulico natural por la construcción de obras de ocupación de cauce que desvían o alteran la dinámica del cauce; y en la estabilidad de vertientes por fenómenos hidrogeomorfológicos, altas pluviosidades, y cambios en la <b>cobertura vegetal</b> .
	Suelo	Uso del suelo	Identifica los tipos de actividades antrópicas desarrolladas sobre los suelos de la región, clasifica la aptitud de los suelos y registra los cambios históricos recientes generados sobre ellos. Es una característica estrechamente ligada a los procesos socioeconómicos de la región. Cambios en los usos del suelo, que

Sistema	Componente	Elemento	Impacto asociado
			generen <b>pérdida de coberturas</b> estratégicas para las comunidades adyacentes, así como cambios de uso que generen pérdida de ecosistemas estratégicos para la vegetación y la <b>fauna</b> de la región.
Biótico	Biota terrestre	Cobertura vegetal	Comprende todas las <b>comunidades vegetales terrestres</b> localizadas en la zona de estudio que se definen a partir de las características del hábitat (suelos, geomorfología, clima, humedad, etc.), los diferentes estados sucesionales, y el grado de intervención antrópica. Las <b>coberturas vegetales</b> se evalúan a partir de la <b>composición florística</b> y la estructura de las <b>comunidades vegetales</b> . Alteración en el tamaño espacial de las <b>coberturas vegetales</b> y cambios en sus características estructurales, de <b>composición de especies</b> (disminución de la biodiversidad), y de dinámica de las <b>comunidades vegetales</b> .
		Fauna Terrestre	Complejo de interacciones en la comunidad de mamíferos-aves-reptiles-anfibios- <b>vegetación</b> (relaciones bióticas, flujos poblacionales, tramas tróficas, estructura de gremios) determinadas por la dinámica del entorno (disponibilidad y diversidad de hábitat, alimento, senderos y rutas de migración y variabilidad del ambiente abiótico). Alteración de las interacciones, las bases productivas y la estructura de soporte (recursos) de las poblaciones silvestres de mamíferos, aves, reptiles, anfibios, debido a modificaciones en la conectividad, integridad, amplitud y complejidad de las coberturas vegetales por acciones del proyecto.
	Ecosistemas	Paisaje	Percepción espacial entre lo natural,

Sistema	Componente	Elemento	Impacto asociado
			la topografía y el tratamiento de superficies, en lugares específicos del entorno, constituyendo referentes de localización e identidad. Alteración de la calidad visual de la zona, por cambios en los elementos del paisaje.
Social	Espacial	Empleo	Actividades desarrolladas por la población asentada en la zona de influencia para su sustento económico. Cambios en el perfil ocupacional de la población aledaña al proyecto y relacionadas con cualquier tipo de <b>cobertura vegetal</b> .

Actividades del proyecto que generan impacto sobre las coberturas vegetales  
(Adaptado de Rodríguez, 2008).

Actividad	Descripción
<b>Etapa preliminar</b>	
Actividades previas	Visitas de reconocimiento: apertura de senderos y trochas
Compra de predios y mejoras	Constitución de servidumbres Alinderamiento de terrenos adquiridos
<b>Etapa de construcción</b>	
Remoción de vegetación y descapote	Corte y disposición de vegetación arbórea y arbustiva en zona de obras superficiales.  Remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios de: talleres, portales del túnel, accesos temporales, casa de máquinas.
Disposición de sobrantes de excavación	Adecuación y operación de sitios para almacenar de forma temporal o permanente, los residuos de las excavaciones.

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
Limpieza de la servidumbre para la línea de conexión y áreas operativas	Corte de la vegetación arbórea y arbustiva existente dentro del corredor de la servidumbre y que por su altura o por oscilación causada por el viento, pueda aproximarse a los conductores a distancias menores que las recomendadas para una tensión dada; generando peligro de daños a la línea o que dificulte el levantamiento del pescante para el tendido y templado de los cables.
<b>Etapas de operación</b>	
Presencia del proyecto	Aunque no constituye una actividad en sí misma, se considera como parte de las actividades de operación con el fin de poder incluir los efectos de la presencia física de las diferentes estructuras que conforman el proyecto.
Mantenimiento de servidumbres y vías	Tala de vegetación en servidumbres, alrededores de instalaciones permanentes, taludes, vías de acceso, etc.

## ANEXO 5

### MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA LA DIMENSIÓN BIÓTICA DE TRES PROYECTOS PCH

Matriz de impactos ambientales modificada de Conesa (2009) para la dimensión biótica (coberturas vegetales).

COMPONENTES	DIMENSIÓN BIÓTICA		
	Biota Terrestre		
Elementos	Cobertura Vegetal		
Actividades	Proyecto 1 Sonsón	Proyecto 2 Sonsón	Proyecto 3 Alejandría
<b>Etapa preliminar</b>			
Apertura de senderos y trochas	-	x	-
Constitución de servidumbres	-	x	-
Alinderamiento de terrenos adquiridos	+	+	+
<b>Etapa de construcción</b>			
Corte y disposición de vegetación arbórea y arbustiva en zona de obras superficiales	-	-	-
Remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios de: talleres, portales del túnel, accesos temporales, casa de máquinas	-	-	-
Adecuación y operación de sitios para almacenar de forma temporal o permanente, los residuos de las excavaciones	-	-	-
Corte de la vegetación arbórea y arbustiva existente dentro del corredor de la servidumbre y que por su altura o por oscilación causada por el viento, pueda aproximarse a los conductores a distancias menores que las recomendadas para una tensión dada; generando peligro de daños a la línea o que dificulte el levantamiento del pescante para el tendido y templado de los cables	-	-	-
<b>Etapa de operación y mantenimiento</b>			
Presencia del proyecto	x	x	x
Tala de vegetación en servidumbres, alrededores de instalaciones permanentes, taludes, vías de acceso, etc.	-	x	-
Operación del proyecto	x	x	x

(-) Impacto negativo, (+) Impacto positivo, (x) Impacto indiferente

Matriz de valoración de impactos para la dimensión biótica (coberturas vegetales) con base en los parámetros de caracterización de impactos y la función de jerarquización. Modificada de Conesa (2009).

<b>ACTIVIDADES PROYECTO 1 SONSON</b>	<b>Signo</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Extensión</b>	<b>Momento</b>	<b>Persistencia</b>	<b>Reversibilidad</b>	<b>Recuperabilidad</b>	<b>Sinergia</b>	<b>Acumulación</b>	<b>Efecto</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Calificación</b>
<b>Etapa preliminar</b>												
Apertura de senderos y trochas	-	2	1	4	2	2	2	2	4	4	2	<b>30</b>
Constitución de servidumbres	-	2	1	4	2	2	2	2	4	1	2	<b>27</b>
Alindramiento de terrenos adquiridos	+	2	1	2	2	1	1	2	1	1	4	<b>22</b>
<b>Etapa de construcción</b>												
Corte y disposición de vegetación arbórea y arbustiva en zona de obras superficiales	-	4	1	4	4	4	4	2	4	4	4	<b>44</b>
Remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios de: talleres, portales del túnel, accesos temporales, casa de máquinas	-	8	1	4	4	4	8	2	4	1	4	<b>57</b>
Adecuación y operación de sitios para almacenar de forma temporal o permanente, los residuos de las excavaciones	-	4	2	4	4	4	4	2	4	4	4	<b>46</b>
Corte de la vegetación arbórea y arbustiva existente dentro del corredor de la servidumbre y que por su altura o por oscilación causada por el viento, pueda aproximarse a los conductores a distancias menores que las recomendadas para una tensión dada; generando peligro de daños a la línea o que dificulte el levantamiento del pescante para el tendido y templado de los cables	-	8	2	4	4	4	4	2	4	4	2	<b>56</b>
<b>Etapa de operación y mantenimiento</b>												
Presencia del proyecto	x	2	1	1	4	4	4	2	1	1	4	<b>29</b>
Tala de vegetación en servidumbres, alrededores de instalaciones permanentes, taludes, vías de acceso, etc.	-	8	2	2	2	2	4	2	4	4	2	<b>50</b>
Operación del proyecto	x	1	1	1	4	4	8	2	1	1	4	<b>30</b>

<b>ACTIVIDADES PROYECTO 2 SONSÓN</b>	<b>Signo</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Extensión</b>	<b>Momento</b>	<b>Persistencia</b>	<b>Reversibilidad</b>	<b>Recuperabilidad</b>	<b>Sinergia</b>	<b>Acumulación</b>	<b>Efecto</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Calificación</b>
<b>Etapas preliminar</b>												
Apertura de senderos y trochas	x	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	<b>3</b>
Constitución de servidumbres	-	2	1	4	2	2	2	2	4	1	2	<b>27</b>
Alindramiento de terrenos adquiridos	+	8	1	4	2	1	1	4	1	1	1	<b>24</b>
<b>Etapas de construcción</b>												
Corte y disposición de vegetación arbórea y arbustiva en zona de obras superficiales	-	2	1	4	4	2	4	2	4	4	1	<b>28</b>
Remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios de: talleres, portales del túnel, accesos temporales, casa de máquinas	-	4	1	4	4	2	4	4	4	4	4	<b>35</b>
Adecuación y operación de sitios para almacenar de forma temporal o permanente, los residuos de las excavaciones	-	2	1	4	2	2	2	2	1	1	1	<b>18</b>
Corte de la vegetación arbórea y arbustiva existente dentro del corredor de la servidumbre y que por su altura o por oscilación causada por el viento, pueda aproximarse a los conductores a distancias menores que las recomendadas para una tensión dada; generando peligro de daños a la línea o que dificulte el levantamiento del pescante para el tendido y templado de los cables	-	8	4	4	2	2	4	2	4	4	2	<b>36</b>
<b>Etapas de operación y mantenimiento</b>												
Presencia del proyecto	x	1	1	4	4	2	2	2	4	1	4	<b>25</b>
Tala de vegetación en servidumbres, alrededores de instalaciones permanentes, taludes, vías de acceso, etc.	x	1	1	4	2	2	2	4	4	4	4	<b>28</b>
Operación del proyecto	x	1	1	4	4	4	2	2	1	1	1	<b>21</b>

<b>ACTIVIDADES PROYECTO 3 ALEJANDRÍA</b>	<b>Signo</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Extensión</b>	<b>Momento</b>	<b>Persistencia</b>	<b>Reversibilidad</b>	<b>Recuperabilidad</b>	<b>Sinergia</b>	<b>Acumulación</b>	<b>Efecto</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Calificación</b>
<b>Etapas preliminar</b>												
Apertura de senderos y trochas	-	2	1	4	2	2	2	2	4	4	2	<b>30</b>
Constitución de servidumbres	-	2	1	4	2	2	2	2	4	1	2	<b>27</b>
Alindramiento de terrenos adquiridos	+	2	1	2	2	1	1	2	1	1	4	<b>22</b>
<b>Etapas de construcción</b>												
Corte y disposición de vegetación arbórea y arbustiva en zona de obras superficiales	-	4	1	4	4	4	4	2	4	4	4	<b>44</b>
Remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios de: talleres, portales del túnel, accesos temporales, casa de máquinas	-	8	1	4	4	4	8	2	4	1	4	<b>57</b>
Adecuación y operación de sitios para almacenar de forma temporal o permanente, los residuos de las excavaciones	-	4	2	4	4	4	4	2	4	4	4	<b>46</b>
Corte de la vegetación arbórea y arbustiva existente dentro del corredor de la servidumbre y que por su altura o por oscilación causada por el viento, pueda aproximarse a los conductores a distancias menores que las recomendadas para una tensión dada; generando peligro de daños a la línea o que dificulte el levantamiento del pescante para el tendido y templado de los cables	-	8	2	4	4	4	4	2	4	4	2	<b>56</b>
<b>Etapas de operación y mantenimiento</b>												
Presencia del proyecto	x	2	1	1	4	4	4	2	1	1	4	<b>29</b>
Tala de vegetación en servidumbres, alrededores de instalaciones permanentes, taludes, vías de acceso, etc.	-	8	2	2	2	2	4	2	4	4	2	<b>50</b>
Operación del proyecto	x	1	1	1	4	4	8	2	1	1	4	<b>30</b>

**ANEXO 6**

**DATOS USADOS PARA EL DESARROLLO DEL MODELO DE VALORACIÓN  
DE IMPACTOS SOBRE EL COMPONENTE FLORA**

<b>Proyectos</b>	<b>CVP (%)</b>	<b>ER (%)</b>	<b>IR (%)</b>	<b>PLR (P/A)</b>	<b>PD (%)</b>	<b>BR (%)</b>	<b>CVD (Tipo)</b>	<b>DFC (m)</b>	<b>AP (P/A)</b>
Sonsón 1	1	12	11	0	12	11	7	5	0
Sonsón 2	1	7	7	12	7	7	5	7	0
Alejandría	1	9	9	12	9	9	7	1	0
San Andrés 1	1	5	5	12	5	5	7	1	0
San Andrés 2	1	1	1	12	1	1	7	7	0
San Andrés 3	1	1	1	12	1	1	9	1	0
San Andrés 4	1	5	5	12	1	1	7	1	0
Penderisco 1	1	1	1	0	1	1	1	11	11
Penderisco 2	1	1	1	12	1	1	7	11	11
Aguadas	1	7	7	12	7	7	9	1	0
Urama	1	9	7	0	9	9	11	1	11
Amalfi	1	7	7	12	1	7	11	1	0

CVP: Cobertura vegetal a perderse

ER: Especies removidas

IR: Individuos removidos

PLR: Presencia en listados rojos

PD: Pérdida de diversidad

BR: Biomasa removida

CVD: Cobertura vegetal dominante

DFC: Distancia al fragmento más cercano

AP: Áreas protegidas

**ANEXO 7**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL MODELO DE VALORACIÓN DE IMPACTOS  
AMBIENTALES SOBRE EL COMPONENTE FLORA**

**Regresión Múltiple - ICF**

Variable dependiente: ICF

Variables independientes: CV, ER, IR, PLR, PD, BR, CDV, DFC, AP

**Análisis de Varianza**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F
Modelo	1268,0	9	140,889	9,37
Residuo	150,41	2	15,04	
Total (Corr.)	1268,0	11		

R-cuadrada = 88,1 por ciento

**El StatAdvisor**

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre ICF y 9 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es

$$ICF = 1,49 \cdot 10^{-13} + CV + ER + IR + PLR + PD + BR + CDV + DFC - 1,51 \cdot 10^{-14} AP$$

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 88% de la variabilidad en ICF. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 0,0%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 150,41.

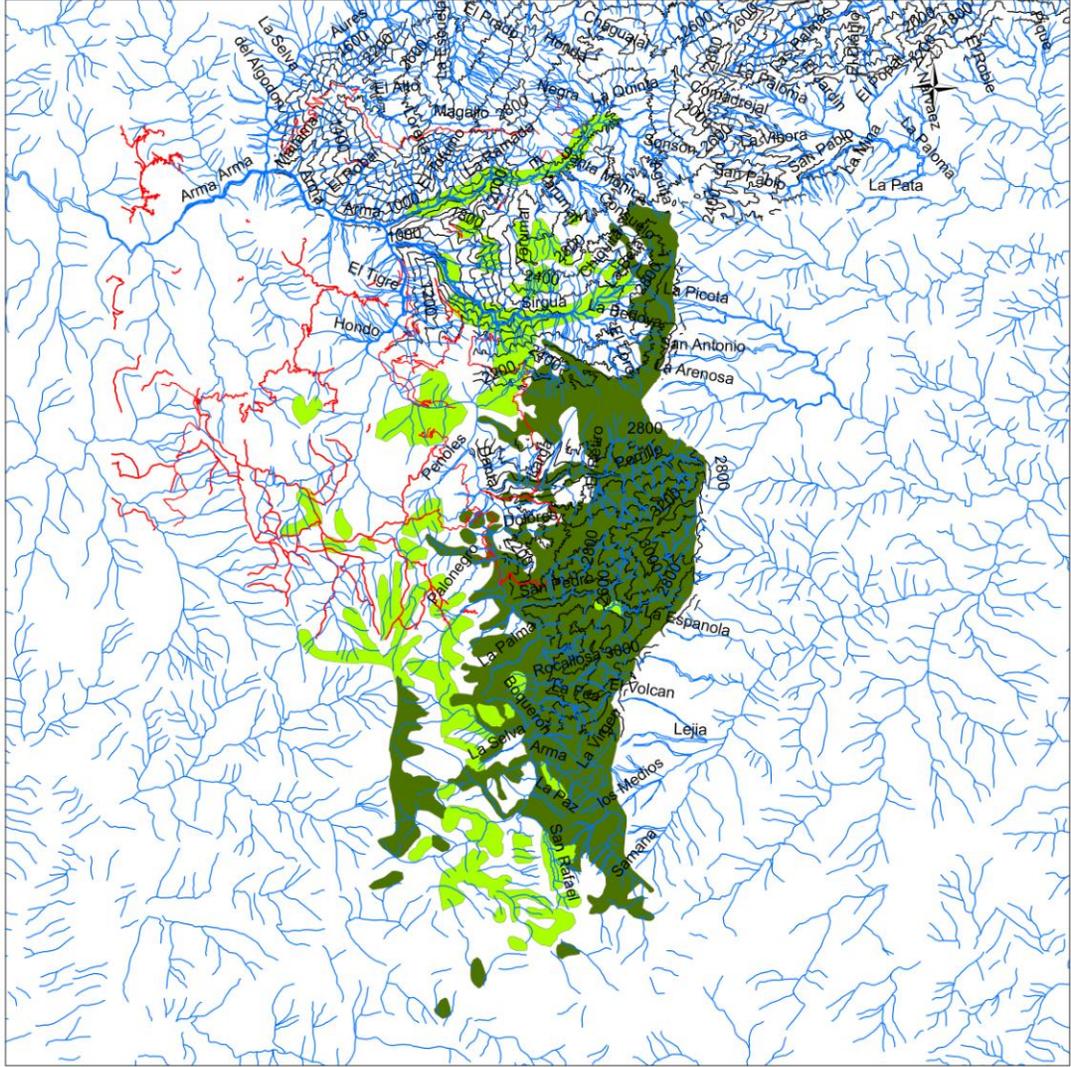
**Matriz de Correlación para las estimaciones de los coeficientes**

	CTE	CV	ER	IR	PLR	PD	BR	CDV	DFC	AP
CONSTANTE	1,0000	-0,1898	0,2992	-0,5013	-0,1570	-0,3315	0,6095	-0,7697	-0,4725	-0,2592
CV (%)	-0,1898	1,0000	0,6816	-0,5741	-0,1401	0,5929	0,0916	0,2748	-0,6718	-0,7821
ER (%)	0,2992	0,6816	1,0000	-0,9087	0,0162	0,3177	0,3900	-0,0704	-0,6840	-0,8259
IR (%)	-0,5013	-0,5741	-0,9087	1,0000	0,0102	-0,1776	-0,7132	0,2459	0,7551	0,8815
PLR (P/A)	-0,1570	-0,1401	0,0162	0,0102	1,0000	0,0034	0,0584	-0,3079	-0,0225	0,2861
PD(%)	-0,3315	0,5929	0,3177	-0,1776	0,0034	1,0000	-0,3556	0,4339	-0,2607	-0,3199
BR (%)	0,6095	0,0916	0,3900	-0,7132	0,0584	-0,3556	1,0000	-0,5363	-0,5141	-0,5381
CDV (tipo)	-0,7697	0,2748	-0,0704	0,2459	-0,3079	0,4339	-0,5363	1,0000	0,3955	-0,0558
DFC (m)	-0,4725	-0,6718	-0,6840	0,7551	-0,0225	-0,2607	-0,5141	0,3955	1,0000	0,6834
AP (P/A)	-0,2592	-0,7821	-0,8259	0,8815	0,2861	-0,3199	-0,5381	-0,0558	0,6834	1,0000

**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra las correlaciones estimadas entre los coeficientes en el modelo ajustado. Estas correlaciones pueden usarse para detectar la presencia de multicolinealidad severa, es decir, correlación entre las variables predictoras. En este caso, hay 15 correlaciones con valores absolutos mayores que 0,5 (sin incluir el término constante).

**ANEXO 8**  
**PLANOS**



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

**IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS GENERADOS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH) SOBRE LA FLORA TERRESTRE, EN LA REGIÓN ORIENTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA**

**PROYECTO SONSON 1  
COBERTURAS VEGETALES**

LUZ BIBIANA MOSCOSO MARÍN  
JORGE LUIS MONTEALEGRE TORRES

**CONVENCIONES**

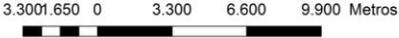
- RED HIDRICA
- CURVAS DE NIVEL
- VIAS

**LEYENDA**

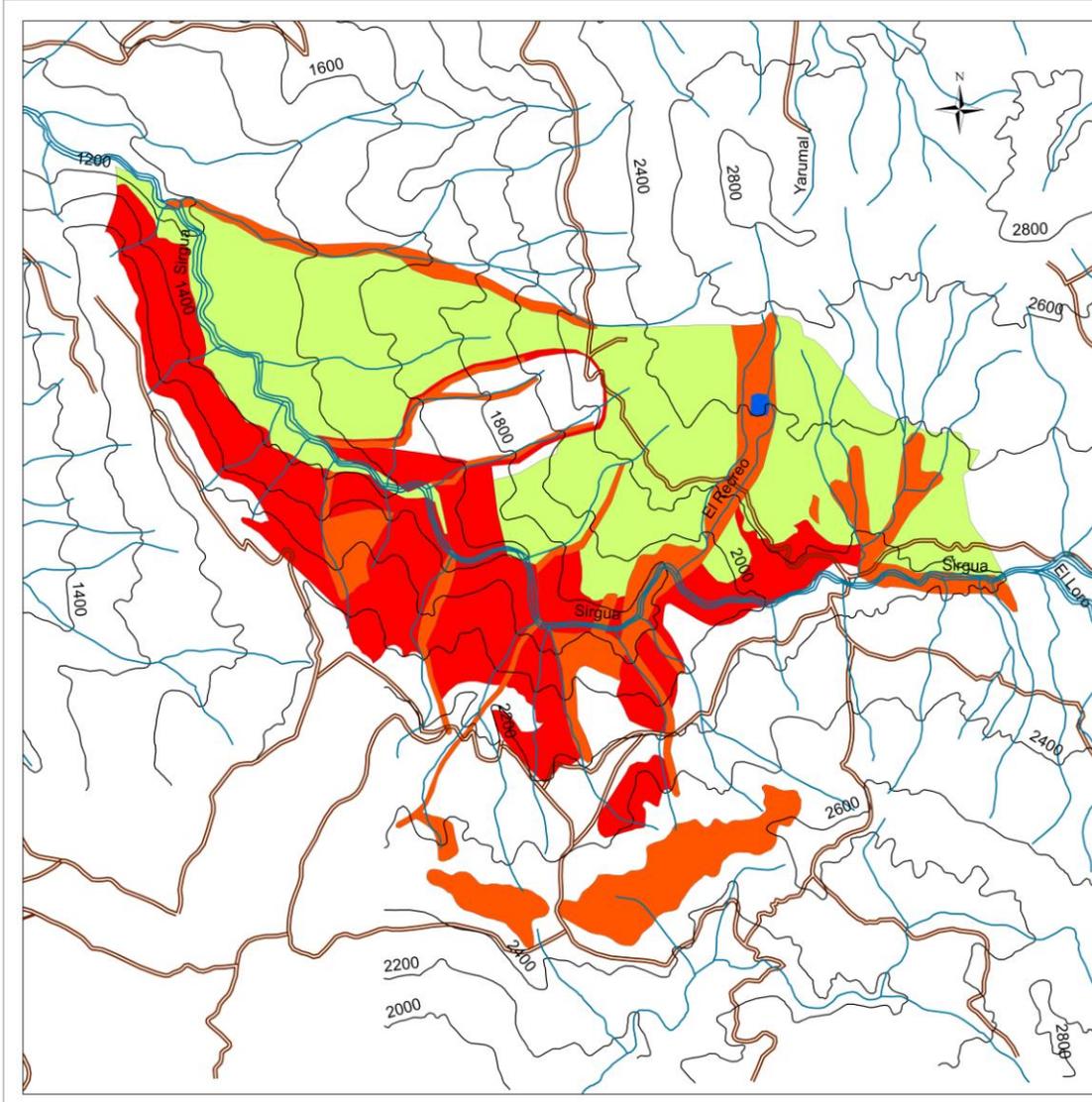
**COBERTURAS**

- Bosque Primario
- Bosque Secundario

Sistema de Coordenadas  
Proyección del sistema de coordenadas:  
MAGNA Colombia Bogotá  
Proyección: Transverse Mercator  
Meridiano central: -74,07750792



1:100.000



**UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES**

**IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS GENERADOS POR LA  
IMPLEMENTACIÓN DE LAS PEQUEÑASCENTRALES  
HIDROELÉCTRICAS (PCH) SOBRE LA FLORA  
TERRESTRE, EN LA REGIÓN ORIENTE DEL  
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA**

**PROYECTO SONSÓN 2  
COBERTURAS VEGETALES**

LUZ BIBIANA MOSCOSO MARÍN  
JORGE LUIS MONTEALEGRE TORRES

**CONVENCIONES**

-  RED HIDRICA
-  CURVAS DE NIVEL
-  VIAS

**LEYENDA**

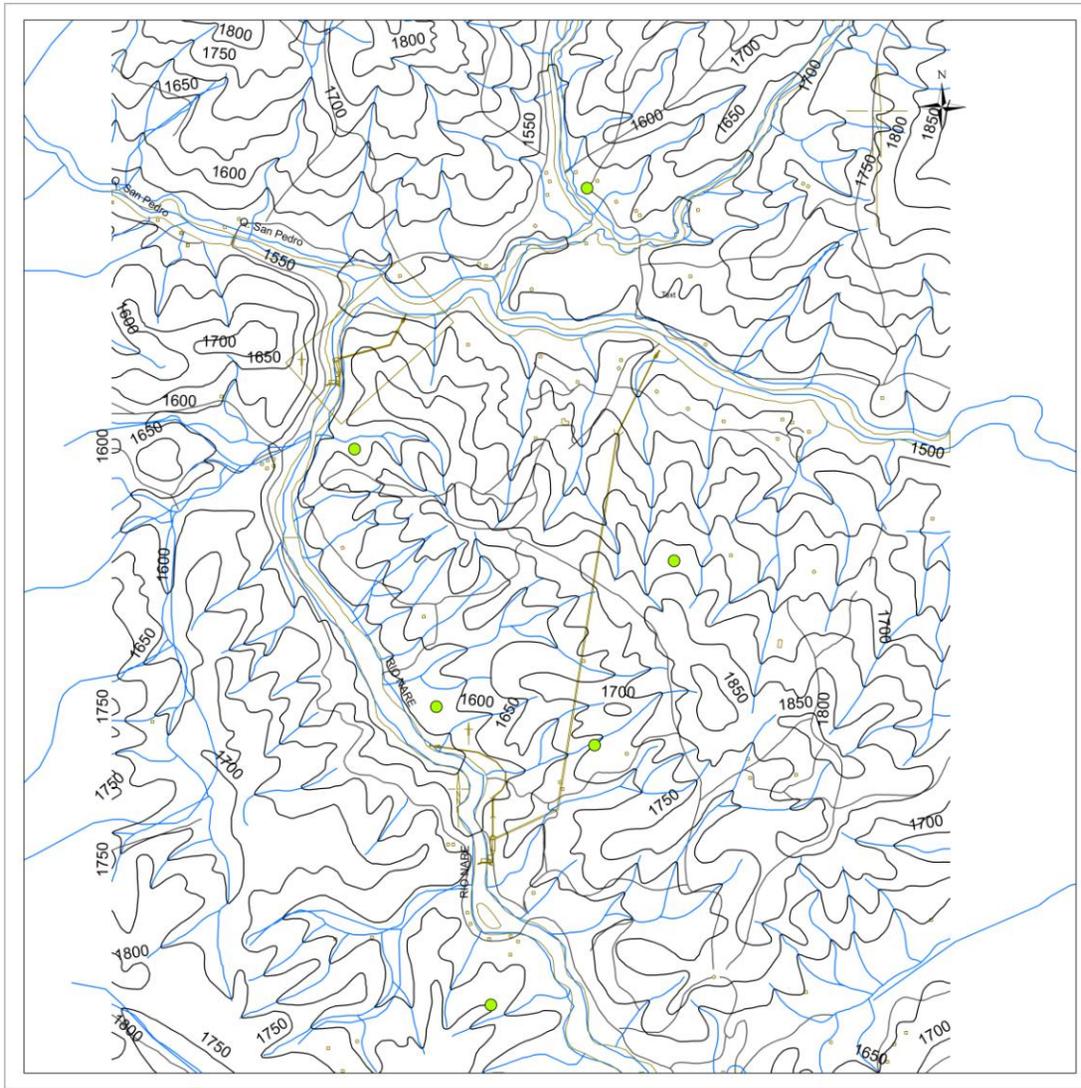
**COBERTURAS**

-  BOSQUE NATURAL
-  BOSQUE PLANTADO
-  PASTOS ARBOLADOS
-  VEGETACIÓN EN TRANSICIÓN

Sistema de Coordenadas  
Proyección del sistema de coordenadas:  
MAGNA Colombia Bogotá  
Proyección: Transverse Mercator  
Meridiano central: -74,07750792



1:15.000



UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES

**IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS GENERADOS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH) SOBRE LA FLORA TERRESTRE, EN LA REGIÓN ORIENTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA**

**PROYECTO ALEJANDRIA  
ZONA DE APROVECHAMIENTO FORESTAL**

LUZ BIBIANA MOSCOSO MARÍN  
JORGE LUIS MONTEALEGRE TORRES

**CONVENCIONES**

-  Red de drenaje
-  Curvas de nivel
-  Vias
-  Zona de aprovechamiento

**LEYENDA**

-  Aprovechamiento forestal

Sistema de Coordenadas  
Proyección del sistema de coordenadas:  
MAGNA Colombia Bogotá  
Proyección: Transverse Mercator  
Meridiano central: -74,07750792



1:8.000