

Artículo Original

Identificación y valoración de impactos sobre la flora por la implementación de pequeñas centrales hidroeléctricas (Sonsón-Antioquia)¹

Luz Bibiana Moscoso Marín, Jorge Luis Montealegre Torres²

■ RESUMEN

Las pequeñas centrales hidroeléctricas están incluidas entre las fuentes limpias de producción de energía, constituyéndose como un negocio atractivo, además de que la legislación vigente otorga las licencias ambientales y establece un control blando, e incentivos fiscales y financieros bastante flexibles, lo que altera las dinámicas biológicas de forma grave si se acumulan en una cuenca, o se establecen sin precauciones.

Objetivo. Se evaluó el efecto y se estimaron las transformaciones que sufren las comunidades vegetales terrestres con un diámetro a la altura del pecho mayor o igual a 10 centímetros, con la instalación de las obras en el municipio de Sonsón, a través del modelo de Conesa y otro propuesto por los autores. **Metodología.** La valoración de impactos se realizó a través de ambos modelos y se determinó la estructura, composición y diversidad de las comunidades vegetales terrestres en inmediaciones de las pequeñas centrales hidroeléctricas antes de las intervenciones por el establecimiento de infraestructuras. **Resultados.** Se encontró que la actividad más impactante fue la remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios para talleres, portales de túneles, accesos temporales, casa de máquinas y demás obras constructivas, pues estos terrenos quedan irrecuperables con efectos irreversibles, acumulativos y persistentes en el tiempo. **Conclusión.** Con el modelo desarrollado a partir de la revisión y recopilación de información de otros proyectos PCH bajo condiciones similares, tanto ambientales como de magnitud en su proceso constructivo, se logró estimar con gran precisión, una valoración de impactos generados por ellos, específico para el componente flora.

¹ Derivado de: 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. Febrero 2011-febrero 2013.

² Ingeniera Forestal. Especialista en Pedagogía e investigación en el aula, magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente <bibimos_1@hotmail.com>. 3Ecólogo, magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente <tedoka@hotmail.com> Autor para correspondencia: bibimos_1@hotmail.com

Palabras clave: Cobertura vegetal, impactos, pequeñas centrales hidroeléctricas, Sonsón.

Identification and valuation of flora impacts due to small hydroelectric plants implementation (Sonson-Antioquia)

■ ABSTRACT

Small hydroelectric power plants are included among the clean energy production sources, and they are attractive as a business. Besides, in force regulations give them environmental licenses and make a soft control. Also, there are tax and financial advantages and flexibility for them. As a consequence, if many of those plants accumulate in a watershed or are established with not enough precautions, the biological characteristics of the place can be severely affected. **Objective.** The effect was assessed and the transformation of the vegetation with a diameter equal or above 10 centimeters at the height of human chest was estimated, with the hydroelectric plants installed in the town of Sonsón, following Conesa's model and another one proposed by the authors. **Methodology.** The assessment of the impacts was performed with both models and the structure, composition and the diversity of the vegetation around the small hydroelectric power plants before the facilities were installed, were determined. **Results.** The highest impact found was the removal of the topsoil to adequate workshops,

entrances of tunnels, temporary accesses, machinery rooms and other constructions, and this soil cannot be recovered. The effects are irreversible, accumulative and persistent over time. **Conclusion.** With the model developed from the revision and collection of data from other small hydroelectric power plants with similar conditions, both environmental and in terms of the size of their construction processes, a very precise estimation of their impacts on the flora was achieved.

Keywords: Vegetation, impacts, small hydroelectric power plants, Sonsón.

Identificação e avaliação de impactos sobre a flora com a implantação de pequenas usinas hidrelétricas (Sonson-Antioquia)

■ RESUMO

As pequenas centrais hidroelétricas estão incluídas em fontes limpas de produção de energia, constituindo-se como um atraente negócio, para além da legislação em vigor concede as licenças ambientais e estabelece um controle programável, e incentivos fiscais e financeiros bastante flexível, o que altera a dinâmica biológica de forma séria se se acumulam em uma bacia, ou que estabelece sem precauções. **Objetivo.** Avaliado o impacto e a previsão a respeito das transformações que sofrem as comunidades de plantas

terrestres com um diâmetro à altura do peito igual ou superior a 10 centímetros, com a instalação da fábrica no município de Sonson, através do modelo do Conesa e outra proposta pelos autores. **Metodologia.** A avaliação dos impactos são realizados por ambos os modelos, e determinado a estrutura, a composição e a diversidade das plantas terrestres das comunidades do entorno de pequenas centrais hidrelétricas antes das intervenções pelo estabelecimento de infraestruturas. **Os resultados.** Verificou-se que a atividade mais marcante foi a remoção da camada superficial do solo para adequação dos locais para workshops, portais de túneis, acesso temporário, casa de máquinas e outros projetos de construção, porque essas áreas ficam irrecuperáveis com efeitos irreversíveis, cumulativos e persistentes ao longo do tempo. **Conclusão.** Com o modelo desenvolvido a partir da revisão e coleta de informações de outros projetos PCH em condições semelhantes, tanto do ponto de vista ambiental e a magnitude de seu processo construtivo, conseguiu estimar com grande precisão, uma avaliação dos impactos gerados por eles, específico para o componente da flora.

Palavras chaves: Cobertura vegetal, impactos, pequenas centrais hidrelétricas, Sonson.

■ INTRODUCTION

Colombia, debido a su situación privilegiada desde el punto de vista hidrológico, tiene un gran potencial para desarrollar proyectos de generación hidroeléctrica. Este potencial ha sido ampliamente explorado con la

construcción de grandes hidroeléctricas [Morales *et al.*, 2014]. Es necesario tener en cuenta que los proyectos de represas de gran alcance pueden causar cambios ambientales irreversibles, en un área geográfica muy extensa [IPSE, 2010], además de marginar a regiones no interconectadas [Morales *et al.*, 2014]. Según esto, 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 pequeñas centrales hidroeléctricas (en adelante PCH), según el IPSE [2010] 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, y 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. Estas, además, tienen bajo costo de operación y fácil mantenimiento, así como inversiones, tiempo de planeación y construcción mucho menores que una hidroeléctrica convencional [Rojanamon, Chaisomphob y Bureekul, 2009; Furukawa, *et al.* 2010].

Por otro lado, 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 territorio. 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 CO₂ contemplados en el Protocolo de Kyoto al acceder a fondos de financiación a través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio.

Sin embargo, aquellas zonas en las cuales se implantan las estructuras para el funcionamiento de las PCH, es decir, áreas destinadas a captación, casa de máquinas, túneles, ventanas de construcción, líneas de transmisión y otras obras complementarias, requieren, sin excepción, que toda la capa vegetal existente sea removida para dar paso a su construcción; se prevé, entonces, 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 como 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 y alteración y/o interrupción de las interrelaciones ecológicas, con los consecuentes efectos adversos y desconocidos sobre biodiversidad y sobre los bienes y servicios ambientales.

La utilización de la diversidad vegetal específica como indicador de las condiciones de un ecosistema o comunidad es un parámetro más a tener en cuenta al medir el impacto de un factor determinado sobre el ecosistema; asimismo, es un indicador importante de las oportunidades de desarrollo que tiene cada ser vivo dentro de un área. Para estudiar la fisonomía de la vegetación se deben analizar ciertas características de la misma, como las funciones [características morfológicas-biológicas] de las especies que forman la estructura o la distribución espacial de estas en la comunidad [Moscovich *et al.*, 2005].

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 médico, industrial o artesanal.

Estas comunidades vegetales, además, pueden regular ciclos hidrológicos, tienen características paisajísticas y conforman corredores biológicos que permiten la

dispersión de semillas, polen, alimento y refugio para la biota. De acuerdo con Donovan (2007), los ecosistemas sanos son un elemento integrante del funcionamiento adecuado del ciclo hidrológico, y la protección del medio ambiente debe, por ende, ocupar un lugar central en la gestión integrada de los recursos hídricos. Una mejor gestión medioambiental requiere, sin embargo, una comprensión amplia de los sistemas ecológicos y de los procesos hidroecológicos, incluidos los de los ecosistemas forestales.

Adicionalmente, la población humana ubicada en los alrededores de las cuencas impactadas con la remoción de las coberturas vegetales podría 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 y aportantes a la subsistencia local.

En las zonas rurales, fuera del consumo doméstico y social, se puede utilizar la energía con otros fines como el secado y despulpado de café u otros granos, trapiches, pica-pastos, panaderías, carpinterías, talleres metalmecánicos y automotrices, conservación de productos agrícolas, desgranado o trillado de maíz, soja, sorgo, etc. Es por esto que la energía hidroeléctrica ha coadyuvado sustancialmente a la mejora progresiva de los estándares de calidad de vida en el ámbito mundial, y previsiblemente seguirá jugando un papel decisivo en la generación eléctrica de bajo impacto medioambiental y social (Díez & Olmeda, 2008).

Por su parte, Mora y Hurtado (2004)

señalan que en Colombia se tienen grandes posibilidades para una amplia difusión de PCH; además, las empresas eléctricas y las 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. Este tipo de energía posee un potencial notable en el ámbito mundial, y Colombia dispone de numerosas localizaciones idóneas para la instalación de PCH. Sin embargo, el desarrollo hidroenergético a pequeña escala en el ámbito de la gestión integral del recurso hídrico debe incorporar unas premisas ambientales sólidas (Díez & Olmeda, 2008), que permitan la conservación de los recursos de flora y fauna a través de la medición de los impactos que sobre ellos se ciernen por su implementación. Asimismo, en el país algunas empresas que se han encargado de la construcción y operación de centrales hidroeléctricas importantes han partido de análisis generales de cambios de coberturas, relacionados con inventarios previamente realizados, argumentando que ellos pueden contribuir sensiblemente a la conservación del hábitat de especies críticas de fauna y flora terrestre (Andrade *et al.*, 2013).

■ MATERIALES Y MÉTODOS

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 el municipio de Sonsón. Este presenta la siguiente información general, según la Gobernación de Antioquia (2011) y CORNARE (2009): 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 1323 km²; la altitud de la cabecera municipal es 2475 msnm, con una temperatura media 14,4 °C, y posee todos los pisos térmicos.

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 se realizó la identificación *in situ* de los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 10 centímetros a partir de dos tipos de muestreo:

Muestreos tipo RAP (proceso de evaluación rápida). Estos consisten en el montaje de transectos semipermanentes, cada uno compuesto de 5 parcelas de 10 x 20 metros. En este se censan todos los individuos de porte arbóreo, tomando características morfológicas, como DAP, altura, diámetro de copa, etc., y taxonómicas, es decir, su clasificación completa en las categorías de familia, género y especie.

Identificación *in situ* de los individuos al 100 %: en aquellos sitios donde la vegetación presentó características importantes de intervención o donde el área fuera inferior a 1000 m², a través de un censo con las características idénticas al proceso anterior.

Con ambos tipos de muestreo se registraron los nombres locales dados a las especies vegetales encontradas y para aquellos individuos que no fueron identificados en

campo, se realizó la colección de muestras botánicas para su posterior determinación en herbario. Todas las especies fueron corroboradas y consultadas en la base de datos especializada Tropicos.org., del *Missouri Botanical Garden*.

El material determinado fue sometido a ubicación en los siguientes listados de especies de plantas amenazadas: *Red List* (IUCN, 2001), Resoluciones: 0316 de 1974 del INDERENA, 10194 del 10 de Abril de 2008 de CORANTIOQUIA, Libros rojos para Colombia del IAvH (Cárdenas & Salinas, 2007), UNEP WCMC (2003), determinando si alguna de las especies se encuentra en categoría de peligro, vulnerabilidad o similar.

Calificación y valoración ambiental usado tradicionalmente. A partir de la identificación de los impactos de cada proyecto en la Matriz de Identificación de Impactos de Conesa, se asignaron valores a cada uno de los atributos que permitieron calificar los impactos.

Como en el estudio de impacto ambiental interesa no solo identificar los impactos producidos por el proyecto, sino también definir su calificación y 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, con la siguiente ecuación lineal (Conesa, 2009):

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

Los valores que se indican en la matriz se obtienen de los parámetros: signo, Intensidad (I), extensión (Ex), momento (Mo), persistencia

(Pe), reversibilidad (Rv), recuperabilidad (Mci), sinergia (Si), acumulación (Ac), efecto (Ef) y periodicidad (Pr), cada uno de los cuales manejan su propia escala y valoración de acuerdo con la metodología especificada.

Modelo propuesto por los autores. La presentación del método de evaluación de impactos propuesto parte de identificar las variables y los valores de cada una de ellas, de acuerdo con los criterios descritos para el modelo siguiente, el cual fue sometido a un análisis en *Statgraphics® Centurion XV*, y se presenta a continuación:

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

Los valores que se indican en el modelo se obtienen de los parámetros: porcentaje de área de cobertura vegetal a perderse (CV), porcentaje de especies removidas (ER), porcentaje de individuos removidos

(IR), presencia de especies en listados rojos (PLR), porcentaje de pérdida de biodiversidad (PD), porcentaje de biomasa removida (BR), tipo de cobertura vegetal dominante (CVD), distancia al fragmento más cercano (DFC) y áreas protegidas presentes sobre el área a remover (AP). A cada una de estas variables se le asignó su correspondiente equivalencia cualitativa y se obtuvo la sumatoria general de impactos para la PCH, la cual se califica de la siguiente manera: entre 0 y 10, tolerable; entre 11 y 32, bajo; entre 33 y 54, medio; entre 55 y 76, alto, y entre 77 y 100, severo.

■ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estructura y composición de las comunidades vegetales. En los dos sitios objeto de estudio se encontraron los elementos que definen la estructura y la composición de cada comunidad vegetal y que se muestran en la tabla 1.

Table 1. Principales elementos estructurales y composicionales en los proyectos 1 y 2 del municipio de Sonsón.

Elemento	Proyecto 1	Proyecto 2
Zonas de vida	Bosque seco tropical (bs-T) Bosque húmedo premontano (bh-PM) Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM)	Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) Bosque pluvial montano (bp-M)
Coberturas vegetales	Vegetación secundaria o en transición	Arbustal denso Pastos arbolados
Tipo de muestreo	RAP	Censo al 100%
Número de morfoespecies	31	14
Número de familias	24	11
Número de individuos	68	28
Índice de Simpson (D)	0,05	0,06
Índice de Simpson (1/D)	20,71	16,66
Índice de Shannon-Wiener	3,10	2,48
Especie más representativa	<i>Cecropia</i> sp. (IVI = 27,66)	<i>Alchornea bogotensis</i> Inga sp. (abundancia = 4 individuos c/u)

De la tabla anterior es posible analizar los siguientes elementos:

Las áreas de los dos proyectos tienen rasgos similares en cuanto a zonas de vida; entre el Proyecto 1 y el Proyecto 2 se presenta una zona de vida coincidente que corresponde a bnh-PM con temperaturas entre 18 y 24 °C, y precipitaciones de 2000 a 4000mm/año [Holdridge, 1967].

Con relación a coberturas vegetales se observa que los dos 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 y pastos arbolados.

El índice de Simpson [D] revela que en las dos comunidades existe una probabilidad relativamente baja de que dos individuos tomados de una muestra sean de la misma especie; dichos valores son 20,71 y 16,66 para el Proyecto 1 y el Proyecto 2, respectivamente, lo cual implica que existen pocas especies que tengan una abundancia marcada y que la composición de estas comunidades es relativamente distinta. 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, ella es *Cecropia* sp. [27,66], mientras que para el caso del Proyecto 2, las especies más representativas resultaron por la abundancia de las mismas dentro del censo; ellas fueron *Alchornea bogotensis* e *Inga* sp., con 4 individuos cada una.

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 para el otorgamiento de licencias ambientales. Para ello se utilizó la matriz de identificación de impactos propuesta por Conesa (2009), que se muestra en la tabla 2, pero se modificó haciendo la valoración particularmente para aquellas actividades que implican alguna alteración de la dimensión biótica y específicamente del componente biota terrestre, coberturas vegetales.

A partir de los valores dados a los diferentes parámetros utilizados para la calificación de los impactos identificados, se obtuvieron 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, 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 [alinderamiento 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].

Table 2. Valoración de impactos ambientales usando el Método de Conesa.

COMPONENTES	DIMENSIÓN BIÓTICA	
	Biota terrestre	
	Cobertura vegetal	
Elementos		
Actividades	Proyecto 1	Proyecto 2
Etapa preliminar		
Apertura de senderos y trochas	30 [-]	3 [x]
Constitución de servidumbres	27 [-]	27 [x]
Alindramiento de terrenos adquiridos	22 [+]	24 [+]
Etapa de construcción		
Corte y disposición de vegetación arbórea y arbustiva en zona de obras superficiales	44 [-]	28 [-]
Remoción de capa superficial del suelo para adecuación de sitios de talleres, portales del túnel, accesos temporales, casa de máquinas	57 [-]	35 [-]
Adecuación y operación de sitios para almacenar de forma temporal o permanente, los residuos de las excavaciones	46 [-]	18 [-]
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, y generar peligro de daños a la línea o que dificulte el levantamiento del pescante para el tendido y templado de los cables	56 [-]	36 [-]
Etapa de operación y mantenimiento		
Presencia del proyecto	29 [x]	25 [x]
Tala de vegetación en servidumbres, alrededores de instalaciones permanentes, taludes, vías de acceso, etc.	50 [-]	28 [x]
Operación del proyecto	30 [x]	21 [x]

Donde: [-] Impacto negativo, [+] Impacto positivo, [x] Impacto indiferente

Para el Proyecto 2, 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 estas no se desarrollarán por encontrarse a orillas de carretera.

Uso del modelo de valoración de impactos ambientales sobre el componente flora.

Con base en el modelo propuesto y descrito en la metodología, los dos proyectos objeto de estudio fueron sometidos a la ponderación de las variables elegidas, y cada una de ellas se incluyó en el modelo de regresión para obtener la calificación de impactos sobre coberturas vegetales que se observa en la tabla 3.

Table 3. Valoración de impactos sobre coberturas vegetales con el método propuesto por los autores.

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

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

Para el Proyecto 1 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 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.

Comparación de los resultados con otros estudios. Adicional a los análisis anteriores, es posible realizar una exploración de impactos sobre diferentes elementos y componentes, a través de 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. Sin embargo, una revisión de modelos para el análisis de impactos ambientales, puede verse en la tabla 4.

Table 4. Valoración de impactos sobre coberturas vegetales con el método propuesto por los autores..

Modelo	Parámetros	Autor
$IA = 0,90P + 0,34D + 0,07M - 0,04Ex + 0,07Rv - 0,11S + 0,21Mt$	P: Presencia; D: Duración; M: Magnitud; Ex: Extensión; Rv: Reversibilidad; S: Sinergia; Mt: Mitigabilidad	Plazas et al (2009)
$I_{FB} = 0,182846 - 0,040247I_{dr} + 0,114944I_{mr} + 0,102421I_{cvr} + 0,272524I_{ddr} - 0,266542I_{lqr}$	I _{dr} : Distancia a fuentes de agua; I _{mr} : Pendiente (%); I _{cvr} : Cobertura vegetal circundante; I _{ddr} : densidad de drenaje (km/km ²); I _{qr} : Caudal (l/s)	Ospina y Lema (2004)
$II = 3I + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Mci + Si + Ac + Ef + Pr$	I: intensidad; Ex: Extensión; Mo: Momento; Pe: Persistencia; Rv: Reversibilidad; Mci: Recuperabilidad ; Si: Sinergia; Ac: Acumulación; Ef: Efecto; Pr: Periodicidad	Conesa (2009)

Con el modelo propuesto por Plazas et al. (2009), los autores concluyeron que para el componente flora fueron significativamente importantes, ya que los valores de las componentes principales, es decir, cobertura vegetal, hábitat y nichos ecológicos, fueron muy altos, alcanzando una suma de 83,5, correspondiente a un peso de 0,0043.

De acuerdo con Ospina y Lema (2004) la relación que existe entre lo físico y lo biótico es directa, es decir, a mayor número de fuentes afectadas, mayor será el impacto generado en lo biótico; de igual manera, una disminución en el caudal está asociada a funciones ecosistémicas menos complejas y/o áreas altamente intervenidas.

Finalmente, a través del método de Conesa los autores del presente estudio y aplicado a la zona de Alejandría-Antioquia, han obtenido una serie de calificaciones ambientales similares, 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. De igual manera, el impacto general del proyecto sobre la vegetación está calificado como "Alto" generado principalmente por la remoción de especies vegetales, la presencia en listados rojos y la pérdida de diversidad. 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 [Moscoso y Montealegre 2013].

■ CONCLUSIONES

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 asociada 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.

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 con 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.

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 solamente 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 del Proyecto 1 está calificado como Alto generado principalmente por la remoción de especies e individuos vegetales, la pérdida de diversidad y la biomasa removida, mientras que para el Proyecto 2 es Medio jalonado básicamente por la presencia de especies en listados rojos.

■ REFERENCIAS

Andrade, G. I., Valderrama, E., Vanegas, H. A. y González, S. [2013]. Regeneración del hábitat en áreas con presencia documentada de especies amenazadas. Una contribución a la conservación asociada a la operación del proyecto Central Hidroeléctrica Miel I, cordillera Central de Colombia, departamento de Caldas. Revista Biot Colombia, vol. 14, núm. 2, julio-diciembre, 2013, pp. 313-326.

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. 232 pp.

CORNARE. 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

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

IPSE. 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-conconvencional&Itemid=505&lang=es

Conesa, V. 2009. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 4.^a edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 867p. [Consultado el 28 de mayo, 2012] Disponible en Internet: <http://books.google.com.co/books?id=GW8lu9Lqa0QC&printsec=frontcov>

[er&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](#)

Díez Hernández, J. M. & Olmeda Sanz, S. (2008). Diseño Eco-Hidrológico de pequeñas centrales hidroeléctricas: Evaluación de caudales ecológicos. Revista Energética, núm. 39, julio, 2008, pp. 65-76.

Donovan, D. G. (2007). El agua, los bosques y el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los recursos hídricos. Unasylva: Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales. N.º 229, pp. 62-63.

Furukawa, A., Watanabe, S., Matsushita, D. & Okuma, K. (2010). Development of ducted Darrieus turbine for low head hydropower utilization. Current Applied Physics. Vol. 10 (2). Pp. S128-S132.

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

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

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.

Morales, S., Corredor, L., Paba, J. & Pacheco, L. (2014). Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación. DYNA 81 (184), pp. 178-185

Moscoso, L. B. y Montealegre, J. L. (2013). Impactos en la flora terrestre por la implementación de pequeñas centrales hidroeléctricas en Alejandría, Antioquia. *Revista Producción + Limpia*, vol. 8, núm. 2, pp. 85-93

Moscovich, F., Keller, H., Fernández, R. y Borhen, A. (2005). Indicadores de impacto ambiental de plantaciones forestales – component vegetal. *Revista Ciencia Florestal*, vol. 15, núm. 1, pp. 21-32

Ospina, J. E. y Lema, Á. (2004). Indicadores cuantitativos de los impactos generados en proyectos de desarrollo lineales. *Gestión y Ambiente* Vol. 7, N.º 1: 91-112

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

Rojanamon, P., Chaisomphob, T. & Bureekul, T. (2009). Application of geographical

information system to site selection of small run-of-river hydropower project by considering engineering/economic/environmental criteria and social impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 13(9). pp 2336-2348

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

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.