

Índice para la determinación de especies vegetales compatibles con las líneas de transmisión de energía eléctrica

Recibido para evaluación: 14 de Septiembre de 2004
Aceptación: 16 de Noviembre de 2004
Recibido versión final: 01 de Diciembre de 2004

Yulie Andrea Jiménez G.¹
Marcela Serna G.²
Álvaro Lema T.³
Esteban Álvarez D.⁴
Hernán Rincón H.⁵
Álvaro Cogollo P.⁶

RESUMEN

Con el propósito de diseñar métodos para identificar claramente los árboles que generan descargas eléctricas a tierra en los corredores de servidumbre de Líneas de Transmisión de Energía y evitar los cortes frecuentes de toda la vegetación presente en los corredores, este trabajo propone y evalúa un índice de "compatibilidad" de especies vegetales con Líneas de Transmisión, basado en seis variables: altura máxima, hábito de crecimiento, grupo ecológico, zona de vida, abundancia y frecuencia de las especies. Este índice se comprobó con 20 parcelas de 200 m² en tres zonas de vida en áreas de influencia del Sistema de Transmisión Nacional (STN), en las cuales se recolectó información de todas las plantas vasculares presentes, al censar 2147 individuos, correspondientes a 485 especies agrupadas en 105 familias. Las variables más discriminantes en el modelo fueron zona de vida, abundancia y frecuencia, de acuerdo con el Análisis de Componentes Principales (ACP). Este índice, aplicado a las 147 especies con DBH = 2,5 cm identificadas plenamente, mostró que las especies *Cecropia peltata* y *Jacaranda copaia* son las más inconvenientes en los corredores de servidumbre. Además se elaboró una propuesta de catálogo con información general y registro fotográfico de algunas especies compatibles, para considerar en labores de mantenimiento.

PALABRAS CLAVE: Líneas de Transmisión, Biodiversidad Vegetal, Índice, Catálogo de Flora, Composición Florística.

ABSTRACT

With the purpose of designing methods to clearly identify which plant species generate electrical ground discharges in energy transmission line service corridors and thus avoid the frequent pruning of all vegetation present in the corridors, this study proposes and evaluates "compatibility" Index of plant species with transmission lines, based on six variables: maximum height, growth form, ecological group, life zone, and abundance and frequency of each species. This index was tested in 20 plots of 200 m² in three life zones influenced by the national electrical transmission system, in which information was collected on all vascular plants present, yielding 2147 individuals belonging to 485 species and 105 families. The most discriminating variables in the model were life zone and ecological group, based upon an Analysis of Principal Components. This index applied to the 147 fully identified species with DBH = 2,5 cm showed that *Cecropia peltata* and *Jacaranda copaia* were the most problematic species for service lines. Furthermore, a catalogue was developed containing general information and a photographic record of some of the species considered as compatible as a reference for use during maintenance work.

KEY WORDS: Transmission Lines, Plant Biodiversity, Index, Flora Catalog, Floristic Composition.

1. Estudiante Especialización en Gestión Ambiental, Universidad de Antioquia.
2. Estudiante M. Sc. Bosques y Conservación Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
3. M. Sc. Bosques y Conservación Ambiental, Profesor Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
4. M. Sc. Ecología, Interconexión Eléctrica S.A. ISA.
5. Ingeniero Forestal, Director Área de Conservación Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe, Medellín.
6. Biólogo, Director Herbario JAUM Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe, Medellín.

yajimene@unalmed.edu.co

1. INTRODUCCIÓN



Las Líneas de Transmisión de Energía (LTE) requieren corredores de servidumbre de ancho variable dependiendo de su voltaje (por ejemplo 64 m para líneas con 500 kv en Colombia). En estos corredores es necesario controlar el crecimiento de la vegetación para evitar que haga contacto con los conductores de energía y evitar así descargas a tierra que interrumpen el flujo de la energía y pueden generar accidentes. Como consecuencia, el manejo de la vegetación en los corredores de servidumbre de LTE es objeto de investigación desde hace décadas en muchas partes del mundo (Bramble y Byrnes, 1983; Williams et al., 1997).

Los métodos de control del crecimiento de la vegetación más comunes incluyen la aplicación de herbicidas, ciclos de corta, ó combinaciones de ambos métodos, complementados algunas veces con quemas (Arner, 1979; Dreyer y Niering, 1986; Rowell et al., 1997). Como resultado se logra un corredor de servidumbre completamente despejado de vegetación donde apenas se permite el desarrollo de plantas herbáceas haciendo que las LTE se constituyan en elementos de fragmentación de los ecosistemas.

En años recientes, el reconocimiento creciente (a escala mundial) de la importancia que tiene para la sociedad la conservación de la diversidad biológica y los avances en legislación ambiental, han modificado la visión de cómo debe ser el control de la vegetación en los corredores de servidumbre de LTE (Glaholt et al., 1993; Perry et al., 1997). Actualmente, el manejo de la vegetación se enfoca tanto en garantizar el funcionamiento del proyecto como en mantener condiciones adecuadas para la conservación de la vida silvestre en los corredores de servidumbre (Morrow, 1997; Perry et al., 1997; Shupe et al., 1997; Brown, 1993; Byrnes et al., 1993; Canham et al., 1993; Ostfeld y Canham, 1993).

En las regiones tropicales, el rápido crecimiento de la vegetación incrementa la posibilidad del contacto de ésta con los cables conductores de la energía y por lo tanto el riesgo de una descarga a tierra con todos los peligros que esto tiene para las construcciones vecinas a la línea, las personas y el proyecto mismo. Por ello se requiere ejecutar con mayor frecuencia labores de corte de la vegetación con altos costos y mayores impactos sobre la biodiversidad. Una alternativa apropiada para evitar estos problemas consiste en diseñar técnicas para el desarrollo de una comunidad vegetal estable y de baja altura, que impida o retrase el crecimiento de las especies arbóreas (incompatibles con el correcto funcionamiento de las LTE) en los corredores de servidumbre (Brown, 1993; Byrnes et al., 1993; Ostfeld y Canham, 1993; Morrow, 1997). El desarrollo de esta técnica requiere poder identificar previamente las especies de plantas que pueden generar problemas para el funcionamiento de las LTE y cuales no, lo cual permitiría mitigar significativamente los impactos, pues sólo se eliminarían aquellas especies incompatibles y se reduciría la frecuencia y los costos de mantenimiento (Arévalo-Camacho et al., 1997).

La compatibilidad de una especie con las LTE depende no sólo de sus características morfológicas y ecológicas sino también de las condiciones ambientales y topográficas del terreno que proporcionan o restringen el establecimiento de la vegetación.

En Colombia, Interconexión Eléctrica S.A. ISA inició en 1998 un programa de investigación en Convenio con el Jardín Botánico de Medellín, con el objetivo de desarrollar métodos con bases ecológicas para prevenir y mitigar los impactos de las LTE sobre la biodiversidad en las diferentes fases de su desarrollo (Álvarez, 1997). El Proyecto de Manejo Integrado de la vegetación abarca diferentes aspectos relacionados con las fases de diseño, construcción y operación, con el objetivo final de reducir los impactos producidos por los corredores de servidumbre. El presente trabajo se enmarca dentro de este objetivo y permitió diseñar y aplicar un índice cuantitativo, que buscara establecer de manera objetiva la compatibilidad de las especies de plantas presentes en los corredores de servidumbre con las LTE en Colombia.

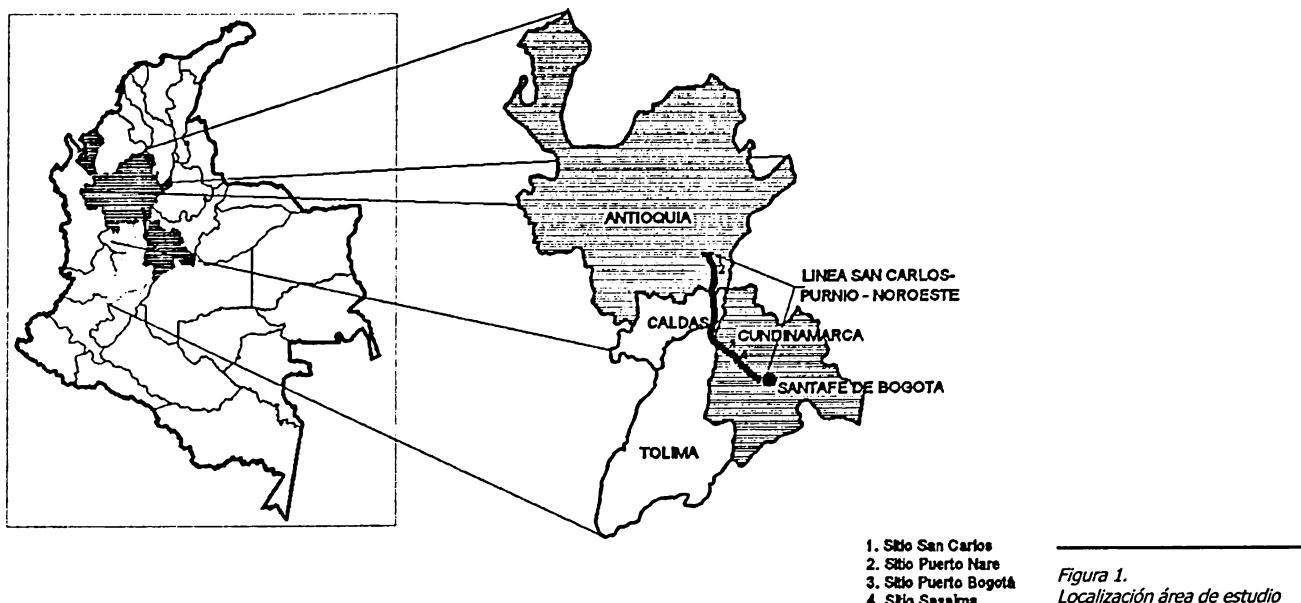
2. METODOS

2.1. Área de Estudio

Para probar el índice se realizó un estudio de caso en el área de influencia de la LTE de 230 Kv San Carlos - Purnio - Noroeste de 193 km que atraviesa Antioquia, Caldas, Tolima y Cundinamarca. Los puntos de muestreo preseleccionados se ubicaron en el área de los corredores de servidumbre o en el área de influencia de dicha línea de acuerdo con los mapas de cobertura vegetal, planta - perfil y uso del suelo, para su selección se consideró el área por cobertura vegetal y el número de puntos críticos de la vegetación definidos como puntos en los cuales la catenaria se encuentra a una distancia de 9 m o menos del suelo. . El trabajo se realizó en las zonas de vida bosque húmedo Tropical (bh - T), bosque muy húmedo Premontano (bmh - PM) y bosque seco Tropical (bs - T) con base en el sistema de Zonas de Vida (Holdridge 1978); teniendo en cuenta que 80 km de la línea pasan por bh - T, se hizo el montaje de 10 parcelas en esta zona de vida, mientras que en bs - T y bmh - PM se levantaron 5 en cada una de ellas. Los muestreos se realizaron en los municipios de Puerto Nare con una cobertura de rastrojo bajo y bosque intervenido, ubicado a 6°8'43,3"N y 74°46' 39,1" W; San Carlos, con una cobertura de bosque secundario medianamente intervenido y rastrojo alto a 6°10'50,8" N y 74°47' 53,3" W; Puerto Bogotá bosque secundario muy intervenido ubicado a 5°10'59,7"N y 74°40' 13,4" W y Sasaima bosque intervenido con bajo grado de intervención (4°57'11,9"N 74°25'11,4" W). Ver Figura 1.

2.2 Construcción del índice

El Índice ponderado de Compatibilidad de Especies Vegetales con las Líneas permite escoger un grupo de plantas con características como porte bajo y/o lento crecimiento que pueden permanecer bajo la línea en puntos críticos, donde la catenaria (curva originada por el peso del cable suspendido entre dos torres) se approxima al suelo a una distancia no mayor a 9 m, actuando al mismo tiempo como un control de otras especies de rápido crecimiento. El índice se construyó en función de las variables que se describen a continuación:



Altura máxima (HM): se refiere la altura máxima alcanzada por la especie; se estimó con base en revisión de literatura, información de herbarios de la ciudad y encuestas a investigadores y habitantes de la zona, o con la altura observada en campo. Diversos estudios han establecido rangos de altura de acuerdo con la hipótesis de trabajo (Finegan et al., 1999; Londoño y Alvarez, 1993), para este caso cuatro rangos: 0-5, 5-10, 10-15 y > 15 m, teniendo en cuenta que los puntos críticos más frecuentes para las LTE, se presentan hasta los 15 m.

Hábito de crecimiento (HC): forma como crece una planta, consignada como se observó en campo. Para este estudio, se clasificó en 4 grandes grupos (Font Quer, 1993):

- Árbol (A): vegetal leñoso > 5 m de altura, con el tallo simple hasta donde se ramifica y forma la copa, de considerable crecimiento en diámetro.
- Arbusto (T): vegetal leñoso < 5 m de altura sin un tronco preponderante porque se ramifica a partir de la base.
- Bejucos o escandentes (S): planta trepadora generalmente de tallos sarmentosos que suele subir a las copas de los árboles en busca de luz, donde extiende sus hojas y abre las flores.
- Hierba (H): planta no lignificada o ligeramente lignificada, de consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epígeos.



Grupo ecológico (GE): Hace referencia al estado dinámico de la especie. Se contemplaron cuatro grupos: pionera, secundaria inicial, secundaria tardía y climática (Kajeyama, 1997). Para esta categorización se consideró información adicional proveniente de literatura especializada (Martínez – Ramos 1985), información aportada por observaciones de campo y consulta con expertos en florística, que categorizaron cada una de las especies de acuerdo con la clasificación propuesta, como se muestra en la Tabla 1. Esta variable es de gran importancia debido a las diferencias en el crecimiento y comportamiento ecológico de las especies; Clark y Clark (2001), por ejemplo, encontró que el crecimiento inicial en altura de las pioneras puede ser el doble que de las nómadas y que, a edades de 20 años, las pioneras encuentran un decrecimiento, mientras las nómadas siguen un crecimiento constante.

Zona de vida (ZV): se refiere al grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, las cuales, tomando en cuenta las asociaciones edáficas y las etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo (Holdridge, 1978). La experiencia del mantenimiento, en los corredores de servidumbre, realizado por ISA, ha evidenciado una mayor frecuencia en sitios ubicados en bosque húmedo tropical (bh - T), a diferencia de los de bosque seco tropical (bs - T), debido fundamentalmente a las tasas de crecimiento rápidas y lentas respectivamente.

Abundancia relativa (Ar): proporción porcentual de cada especie en el número total de individuos en forma relativa (Lamprecht, 1990).

$$Ar = \frac{\# \text{ individuos} / sp}{\# \text{ total de individuos}} * 100$$

Frecuencia relativa (Fr): existencia o la ausencia de una especie en determinada subparcela, calculada como su porcentaje en la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies (Lamprecht, 1990).

$$Fa = \frac{\# \text{ de parcelas donde está la especie}}{\# \text{ total de parcelas}}$$

$$Fr = \frac{Fa_{sp}}{\sum Fa} * 100$$

Para la construcción del índice, las variables se ponderaron por un coeficiente de 6 a 1 y se relativizó dividiendo por la suma de los ponderadores:

$$ICLR = (6*IHMR + 5*IHCR + 4*IGER + 3*IZVR + 2*IAR+ IFR)/21$$

La importancia asignada a cada variable en el modelo, se hizo de acuerdo con criterios técnicos, información sobre el mantenimiento de corredores y consulta con expertos. Para cada variable se consigna la presencia (1) o ausencia (0) en cada uno de los rangos establecidos (Tabla 1), hallando el Índice Relativo (IR) por variable. El rango es directamente proporcional al grado de compatibilidad de la especie con la línea, donde uno (1) representa la menor compatibilidad y va ascendiendo a medida que aumenta la compatibilidad.

Rango	HM (m)	HC	IGER	IZVR	ZV	A	F
1	≥ 15	Árbol (A)	Pionera	bh - T	.	.	
2	10 - 15	Arbusto (T)	Secundaria inicial	bmh - PM	:	:	
3	5 - 10	Liana (L)	Secundaria tardía	bs - T	:	:	
4	< 5	Hierba (H)	Climática				

* La calificación de estas variables varía según los resultados obtenidos en las parcelas, es decir, una vez encontrado el rango de variación de la abundancia y frecuencia calculadas, éste se subdivide en cuatro rangos donde el menor toma una calificación de 1 y así sucesivamente hasta llegar a 4.

Tabla 1.
Calificación de las variables para
el ICLR

2.3. Análisis estadístico del índice

Para evaluar estadísticamente la influencia de las variables en el índice, se hizo un Análisis de Componentes Principales, el más simple de todos los métodos de ordenación de variables, el cual permite rotar los ejes del espacio donde se ubica una nube de puntos hasta alcanzar el patrón más simple que explique su comportamiento (Lema, 1996^b), y un Análisis de Correspondencia que permite analizar interrelaciones entre variables y develar patrones de comportamiento en grupo, lo cual no sería posible mediante el uso de otros procesos estadísticos (Lema, 1996^a).

2.4. Corroboration del índice mediante muestreo de vegetación

Para los muestreos de vegetación se adoptó la propuesta metodológica de Gentry (1982), modificada para aumentar la probabilidad de incluir individuos de mayor porte (DAP > 10 cm) y disminuir efectos de borde; en vez de transectos de 2 x 50 m, se establecieron 20 parcelas rectangulares de 4 x 50 m, para registrar y colectar los individuos con DAP $> 2,5$ cm. Adicionalmente, en uno de los lados de 2 x 50 m se incluyeron las especies con DAP $< 2,5$ cm, agrupadas en tres categorías: (1) plantas con altura menor de 3 m y diámetro menor de 1 cm, (2) plantas con altura mayor de 3 m y diámetro menor de 1 cm, (3) plantas con diámetro entre 1-2,5 cm, de las cuales solo se registra el número de especies y no el número de individuos. El material colectado fue secado en horno a una temperatura aproximada de 60°C, e identificado mediante comparación con colecciones de referencia de diferentes herbarios, el uso de claves y revisión de especialistas. Las colecciones quedaron consignadas en el herbario del Jardín Botánico de Medellín JAUM y la información de campo, se sistematizó en una base de datos en Access CIJ2000 (Convenio ISA-JAUM, 2000).

Se realizó además el análisis de la estructura de la población, teniendo en cuenta el Índice de Valor de Importancia (IVI), basado en la sumatoria de la abundancia, frecuencia y dominancia relativas de las especies para los individuos con DAP $> 2,5$ cm. Las especies compatibles de acuerdo con el ICLR, se caracterizaron haciendo énfasis en la información morfológica, ecológica y ambiental. Por último se editó un catálogo de algunas de las especies que resultaron compatibles según el índice propuesto, conformado por las fotografías de las especies y la información asociada a cada una de ellas.



3. RESULTADOS

3.1 Análisis de la vegetación

Fueron encontrados 2147 individuos, correspondientes a 485 especies, agrupadas en 105 familias de plantas vasculares; el aporte de las categorías inferiores (diámetro < 2,5 cm) fue de 250 especies (51.5%). La Tabla 2 muestra el número de familias y especies en cada sitio para individuos con diámetros mayores de 2,5 cm.

Tabla 2.
Composición florística de los sitios
muestreados (DAP > 2,5 cm)

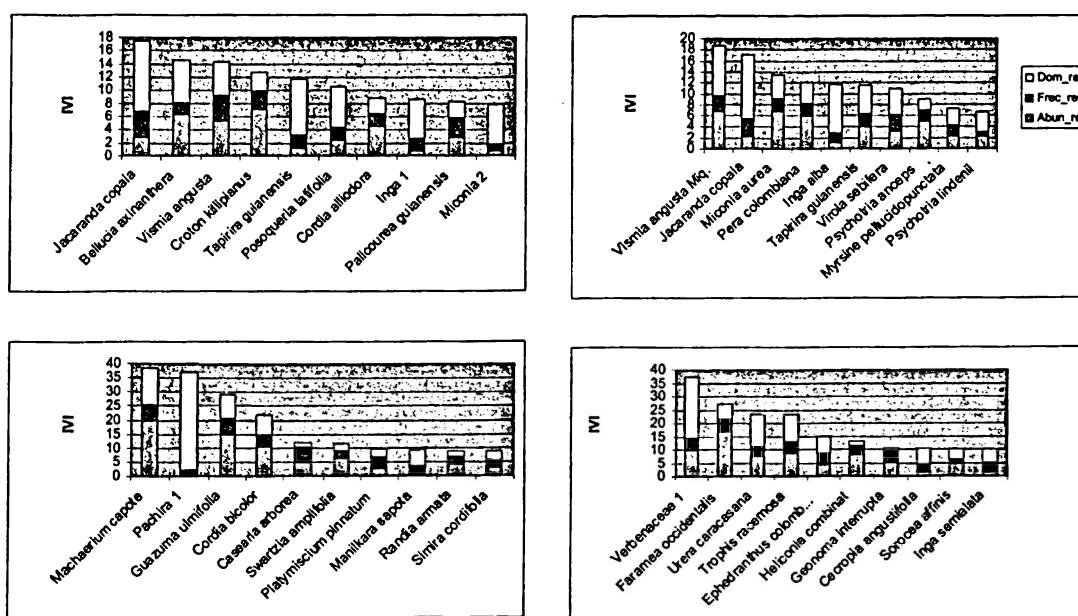
Municipio	Zona de vida	Familias	Especies	Individuos
Puerto Nare	bh-T	36	65	177
San Carlos	bh-T	43	112	434
Puerto Bogotá	bs-T	27	43	397
Sasaima	bh-PM	36	54	413

Respecto a los hábitos de crecimiento se encontró que de los individuos con diámetro > 2,5 cm que corresponden a 235 especies, el 91,5 % son árboles, el 3,8 % hierbas, 3,8 % escandentes y 0,9 % arbustos. En la Tabla 3 se muestra el número de especies por hábito de crecimiento. Los resultados encontrados con respecto al IVI para cada sitio, pueden observarse en la Figura 2.

Tabla 3.
Número de especies por hábito de
crecimiento en una muestra de 0,1
ha (5 parcelas de 200 m²) (DAP >
2,5 cm)

Hábito de crecimiento	Pto. Nare bh-T	San Carlos bh-T	Pto. Bogotá bs-T	Sasaima bmh-PM
Árboles	59	104	41	46
Hierbas	2	5	-	4
Escandentes	3	1	3	4
Arbustos	1	2	-	-
TOTAL	65	112	44	54

Figura 2.
Índice valor de importancia



3.2 Corroboration del índice

El índice se aplicó a las 147 especies y/o morfoespecies identificadas hasta especie con diámetro > 2,5 cm, exceptuando especies identificadas solo hasta género o familia por la imposibilidad de generalizar el comportamiento de las morfoespecies según el género. Estudios realizados por Gómez-Pompa (1971), muestran que el género *Piper* tiene especies con diferente comportamiento. En la Tabla 4 se presenta el ICLR obtenido por algunas de las especies seleccionadas para el cálculo del índice.

Nombre científico	Z. vida	ICLR	Nombre científico	Z. vida	ICLR	Nombre científico	Z. vida	ICLR
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	bh-T	0,129	<i>Guatteria amplifolia</i> Tr. & Pl.	bh-T	0,219	<i>Trichilia pallida</i> Sw.	bs-T	0,257
<i>Cecropia peltata</i> L.	bh-T	0,152	<i>Speruna guianensis</i> Aubl.	bh-T	0,219	<i>Piper aduncum</i> L.	bh-T	0,262
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	bh-T	0,152	<i>Pseudolmedia rigida</i> (Klotzsch & H. Karst.) Cuatrec.	bmh-PM	0,224	<i>Amaioua corymbosa</i> H. B. K.		0,267
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	bh-T	0,152	<i>Trichilia hirta</i> L.	bmh-PM	0,224	<i>Faramea rectinervia</i> Standl.		0,267
<i>Pourouma bicolor</i> C. Mart.	bh-T	0,157	<i>Doliocarpus dentatus</i> (Aubl.) Standl.	bh-T	0,229	<i>Mollinedia ovata</i> Ruiz & Pav.	bmh-PM	0,267
<i>Vismia angusta</i> Miq.	bh-T	0,157	<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	bh-T	0,229	<i>Pouteria durandii</i> (Standl.) Baehni	bh-T	0,267
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch	bh-T	0,167	<i>Inga lawranceana</i> Britton & Killip	bh-T	0,229	<i>Psychotria hazenii</i> Standl.	bh-T	0,267
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	bh-T	0,167	<i>Miconia spicellata</i> Bonpl.	bh-T	0,229	<i>Wettinia radiata</i> (O. F. Cook & Doyle) R. Bernal	bh-T	0,267
<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	bh-T	0,167	<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand	bs-T	0,229	<i>Matayba adenantha</i> Radlk.	bmh-PM	0,271
<i>Cespedesia spathulata</i> (Ruiz & Pav.) Planch.	bh-T	0,171	<i>Allophylus psilospermus</i> Radlk.	bmh-PM	0,233	<i>Saurauia yascae</i> Loes.	bmh-PM	0,271
<i>Cupania cinerea</i> Poepp. & Endl.	bh-T	0,171	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	bs-T	0,233	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	bs-T	0,276
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	bh-T	0,171	<i>Machaerium capote</i> Triana ex Dugand	bs-T	0,233	<i>Senna papillosa</i> (Britton & Rose) H. S.	bh-T	0,281
<i>Miconia aurea</i> (D. Don) Naudin	bh-T	0,176	<i>Aniba puchury-minor</i> (Mart.) Mez	bh-T	0,238	<i>Soroccea affinis</i> Hemsl.	bmh-PM	0,281
<i>Protium copalatum</i> Swart	bmh-PM	0,176	<i>Aspidosperma megalocarpum</i> Müll. Arg.	bs-T	0,238	<i>Trichilia martiana</i> C. DC.	bs-T	0,286
<i>Vochysia bractellinae</i> Standley	bh-T	0,176	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	bh-T	0,238	<i>Dioscorea trifida</i> L. f.		0,295
<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	bmh-PM	0,181	<i>Soroccea pubiloba</i> Hemsl.	bh-T	0,238	<i>Swartzia amplifolia</i> Harms	bh-T	0,295
<i>Bellucia exinanthera</i> Triana	bh-T	0,186	<i>Solanum microleprodes</i> Bitter	bmh-PM	0,243	<i>Swartzia amplifolia</i> Harms	bmh-PM	0,295
<i>Croton killipianus</i> Croizat	bh-T	0,186	<i>Tococa guianensis</i> Aubl.	bh-T	0,243	<i>Jubellina willburi</i> W. R. Anderson	bh-T	0,324
<i>Pera arborea</i> Mutis	bh-T	0,186	<i>Acalypha diversifolia</i> Jacq.	bmh-PM	0,248	<i>Jubellina willburi</i> W. R. Anderson		0,324
<i>Pera colombiana</i> Cardiel	bh-T	0,186	<i>Casearia subopaca</i> Triana & Planch.	bh-T	0,248	<i>Heliconia hirsuta</i> L. f.	bmh-PM	0,329
<i>Urena caracasana</i> (Jacq.) Griseb.	bmh-PM	0,186	<i>Cupania americana</i> L.	bmh-PM	0,248	<i>Heliconia hirsuta</i> L. f.	bh-T	0,329
<i>Achromea polyantha</i> Pax & Hoffm.	bh-T	0,19	<i>Guapira costaricana</i> (Standl.) Woodson	bmh-PM	0,248	<i>Psychotria carthagagenensis</i> Jacq.	bmh-PM	0,333
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	bh-T	0,19	<i>Inga acrocephala</i> Steud.	bs-T	0,252	<i>Psychotria carthagagenensis</i> Jacq.	bmh-PM	0,333
<i>Cariniana pyriformis</i> Miers	bh-T	0,19	<i>Inga sierrae</i> Britton & Killip	bmh-PM	0,252	<i>Cnidoscolus urens</i> (L.) Arthur	bs-T	0,357
<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	bh-T	0,19	<i>Doliocarpus multiflorus</i> Standl.	bh-T	0,257	<i>Cnidoscolus urens</i> (L.) Arthur		0,357
<i>Tabebuia chrysanthia</i> (Jacq.) G. Nichols	bh-T	0,19	<i>Mayna odorata</i> Aubl.	bs-T	0,257	<i>Dieffenbachia parviflora</i> Linden & Andre	bh-T	0,367
<i>Traitinnickia aspera</i> (Standl.) Swart	bh-T	0,19	<i>Geonoma interrupta</i> (Ruiz & Pav.) Mart.	bmh-PM	0,29	<i>Dieffenbachia parviflora</i> Linden & Andre		0,367
<i>Miconia lepidota</i> DC.	bh-T	0,195	<i>Serjania grandis</i> Seem.	bs-T	0,29	<i>Myriocarpa Sliptata</i> Benth.	bmh-PM	0,381

Tabla 4.
Índice de compatibilidad con la línea relativo por especie (ICLR).

El ICLR varía de 0,11 a 0,381, de acuerdo con los datos obtenidos para estas especies, intervalo en el que se propusieron tres rangos a criterio de los investigadores; el primero, con los valores más bajos (ICLR entre 0,11-0,232), corresponde a las especies incompatibles; el segundo (ICLR entre 0,233-0,293) a las especies posiblemente compatibles, de acuerdo con la periodicidad de las actividades de mantenimiento y la ubicación (distancia de las torres y longitud del vano) y el

tercer rango ($ICLR > 0,293$) incluye los valores obtenidos por las especies compatibles de acuerdo con las variables evaluadas.

3.3 Análisis estadístico

El Análisis estandarizado de Componentes Principales (ACP) muestra que el 90,35 % de la variación es explicado por los dos primeros componentes (Tabla 5).

Tabla 5.
Estadístico del análisis de componentes principales

Componente	1	2
Valores propios	0,035	0,016
Porcentaje	44,834	20,501
Porcentaje acumulado	44,834	65,335
Componentes ponderados		
Variable	Componente 1	Componente 2
IHMR	-0,034	-0,452
IHCR	0,016	-0,185
IGER	-0,068	0,281
IZVR	0,971	-0,179
IAR	0,102	0,469
IFR	0,202	0,656

IHMR: Índice de altura máxima relativo

IHCR: Índice de hábito de crecimiento relativo

IGER: Índice de grupo ecológico relativo

IZVR: Índice de zona de vida relativo

IAR: Índice de abundancia relativo

IFR: Índice de frecuencia relativo

El primer componente muestra el predominio del índice de zona de vida relativo, IZVR, de tal manera que podría interpretarse por el efecto de las zonas de vida pues los demás prácticamente son despreciables. En el segundo componente, contrastan las variables IFR e IAR con el IHMR. La frecuencia y abundancia están altamente correlacionadas, incluso al calcular el ACP excluyendo una de estas variables, no se observó un cambio significativo. Sin embargo, ambas variables aportan información sobre el comportamiento y distribución de las especies, relevante para la planeación de labores de mantenimiento de los corredores de servidumbre. En la Figura 3 se observa el ACP.

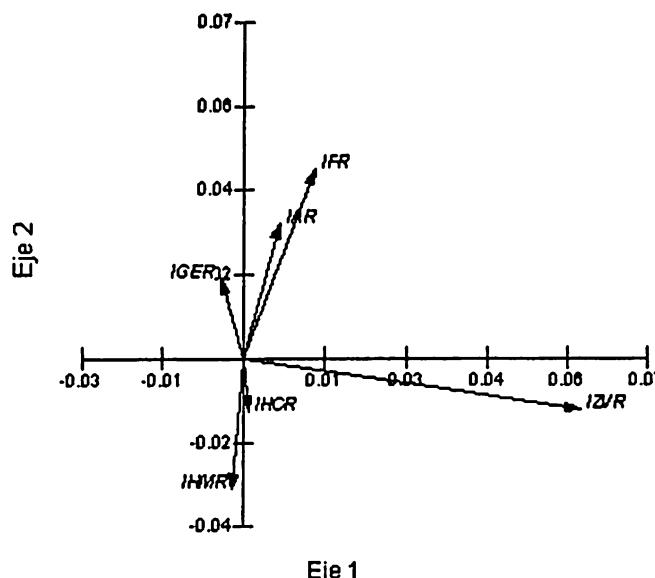


Figura 3.
Análisis de Componentes Principales

El análisis de correspondencia corrobora el resultado del ACP, con dos componentes como suficientes para dar explicación a la variabilidad de los datos, tal como se muestra en la Tabla 6. En esta Tabla se observa que las variables IAR e IFR están fuertemente correlacionadas; por otro lado, IHMR e IZVR, son las variables que ejercen más influencia en el Índice (Figura 4). En el análisis de correspondencia se puede observar la influencia de las variables en cada una de las especies, es así como se observa que la especie *Alchomea polyantha* está influenciada principalmente por las variables frecuencia y abundancia, mientras *Acalypha diversifolia* por zona de vida, *Dieffenbachia parlatorii* y *Allophylus psilospermus* por hábito de crecimiento y altura máxima y *Amaioua corymbosa* por grupo ecológico, no se muestra en la figura por motivos de espacio.

	Componente 1	Componente 2
Valores propios	0,072	0,064
Porcentaje	34,002	30,532
Porcentaje acumulado	34,002	64,534
	Componentes ponderados	
Variable	Componente 1	Componente 2
IHMR	-1,319	0,817
IHCR	-0,879	0,536
IGER	-0,732	-0,519
IZVR	1,265	1,176
IAR	0,386	-1,298
IFR	0,884	-1,382

Tabla 6.
Estadísticos del análisis de correspondencia

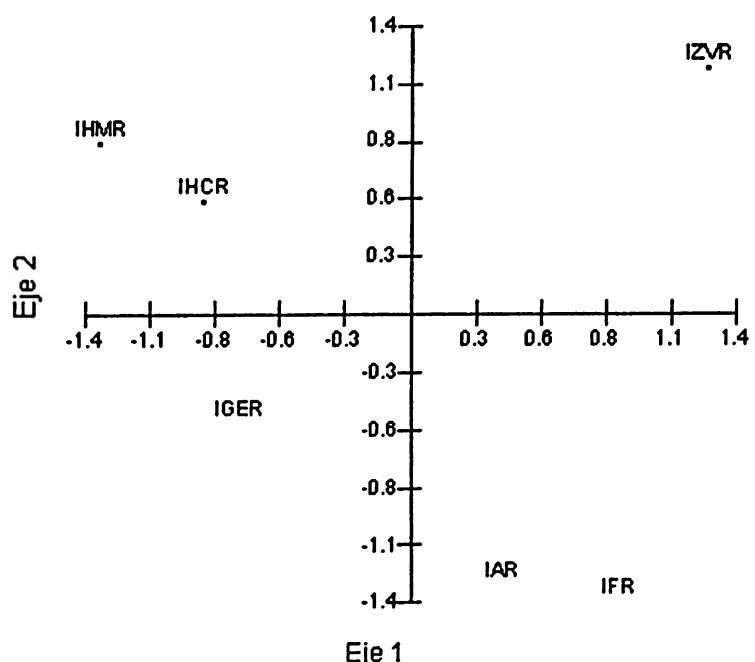


Figura 4.
Análisis de correspondencia para las variables del ICLR.

4. DISCUSIÓN

4.1 Análisis de vegetación



Los resultados de la Tabla 2 concuerdan con estudios hechos por Gentry (1993), donde el número de familias y especies en muestreos de 0,1 ha fluctúa entre 38 – 58 y 63 – 167 respectivamente, para individuos con DAP > 2,5 cm en zonas de vida similares (bh-T, bs-T, bmh- PM).

En cuanto a la composición de especies, las familias con mayor número de especies para bosque húmedo tropical fueron Rubiaceae (31) y Melastomataceae (21), resultados que concuerdan con estudios similares en esta zona de vida (Giraldo-Cañas, 1993). En bosque seco tropical, la familia mejor representada fue Fabaceae (8), resultado que corrobora lo encontrado por Mendoza (1999) y Marulanda et al. (2003) que en bosque seco encontraron que la familia con mayor número de especies fueron Mimosaceae (10) y Fabaceae (9). En bosque muy húmedo premontano las familias mas representativas fueron Araceae (7), Rubiaceae (5) y Sapindaceae (5).

El hábito de crecimiento arbóreo fue el predominante en el presente estudio; así mismo, Marulanda et al. (2003) encontraron que para bosque seco el 52,26% fueron árboles, el 29,03% lianas, 18,06% arbustos y 0,65% palmas. Hoyos, Hernández y Albert (1983) encontraron que el 44,73% eran árboles, 11,50% arbustos, 21,54% hierbas, 13,61 lianas y el resto epífitas.

Por otro lado, *Jacaranda copaia* es la especie con mayor índice de valor de importancia en Puerto Nare, y ocupa el segundo lugar en San Carlos; *Vismia angusta* es importante para los dos sitios muestreados en bh – T ocupando un tercer y primer lugar respectivamente; en Sasaima, Verbenaceae 1 seguido por *Faramea occidentalis* y en Puerto Bogotá, *Machaerium capote* y *Pachira sp1* fueron las especies más importantes. El tamaño fue el factor que más aportó a los altos valores del IVI, a excepción de *Faramea occidentalis* y *Machaerium capote* cuyo aporte al IVI fue dado por su abundancia.

4.2 Construcción del indicador

La experiencia en labores de mantenimiento corrobora los resultados obtenidos con el índice, pues algunas de las especies incompatibles son árboles pioneros, como *Jacaranda copaia* y *Cecropia peltata*; especies ya reconocidas como problemáticas por el personal de mantenimiento. El concepto de especie compatible incluye también a aquellas que, aunque tengan el potencial de alcanzar grandes alturas, pueden permanecer en los corredores de servidumbre sin afectar las LTE debido a su lento crecimiento. Por su carácter de especies de lento crecimiento, éstas permiten mantener condiciones de luz favorables para el establecimiento de especies propias de sotobosque y propiciar el desarrollo de una comunidad vegetal de porte bajo, que a su vez permitiría disminuir la frecuencia de mantenimiento de los corredores.

El índice posibilita clasificar las especies como compatibles y posiblemente compatibles en un lapso de tiempo determinado, lo cual es de gran importancia para el manejo de la vegetación en LTE, y para generar cambios en las actividades de planeación del mantenimiento, como cortas selectivas, en contraposición a actividades de tala rasa, lo que se traduce en mitigación del impacto sobre la biodiversidad y la disminución de los costos de mantenimiento. Sin embargo, varias especies compatibles con líneas de transmisión se encuentran en el sotobosque, situación que conlleva a estudiar la viabilidad de su establecimiento y desarrollo en los corredores de servidumbre, donde estarían expuestas a luz directa. Diversos trabajos muestran diferencias importantes entre especies con respecto a la influencia de la luz sobre su comportamiento ecológico y sus tasas de crecimiento (Lieberman et al., 1985; Finegan et al., 1999). Es posible que algunas especies no resistan cambios tan drásticos en cuanto al hábitat; no obstante, es importante tener en cuenta que la variabilidad inducida por el hombre en el medio ambiente en las zonas tropicales es un factor que puede favorecer notablemente la adaptación de las especies a ambientes cambiantes (Gómez-Pompa, 1971).

Una vez conservadas las especies compatibles, será posible amortiguar el impacto de los corredores de servidumbre en las áreas boscosas, creándose corredores de biodiversidad, por cuanto al establecerse especies tolerantes a la luz, empezarán a surgir cambios microclimáticos que facilitarán el crecimiento de especies que requieren sombra en alguna fase de su desarrollo.

Son muchos los beneficios de tener coberturas estables en los corredores; pueden establecerse sobre grandes áreas y al mismo tiempo, controlar la erosión y contribuir a la estética del paisaje. La inclusión de especies apropiadas puede además, ayudar en lo concerniente al manejo de la fauna silvestre. Muchos investigadores consideran que el concepto de vegetación estable es la mejor opción para el manejo de la vegetación en corredores de servidumbre (Bramble y Byrnes, 1983).

El ICLR no fue calculado para los individuos de categorías inferiores, cuyos hábitos son hierbas y escandentes de las familias Araceae, Gesneriaceae, Acanthaceae, Cyclantaceae y Marantaceae y en general el grupo de las Pteridophytas, pudiéndose afirmar que resultan compatibles pues no sobrepasan los 3 metros de altura.

Aunque la información sobre grupos ecológicos es escasa y no siempre es posible generalizar el comportamiento de un género para todas las especies del mismo, es posible determinar, por medio de observaciones de campo en intervalos de tiempo, la tasa de crecimiento de las especies, factor fundamental en la evaluación de la compatibilidad de las especies con las líneas de transmisión de energía. De otro lado, el conocimiento popular sobre el tamaño que alcanzan algunas especies, es un factor a tener en cuenta, no solo por la información que pueden aportar sobre alturas máximas observadas y el tiempo necesario para alcanzarlas, sino también en el uso potencial de las especies a establecer o mantener en los corredores de servidumbre. A partir de los resultados obtenidos con el cálculo del índice, se realizó un compendio con algunas de las especies compatibles y fueron editadas en el Catálogo de Flora compatible con Líneas de Transmisión, donde se presenta un reporte fotográfico y una caracterización morfológica y ecológica.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es posible, a partir de variables como altura máxima, hábito de crecimiento, zona de vida, grupo ecológico, abundancia y frecuencia de las especies, determinar la compatibilidad o incompatibilidad de las especies vegetales con las Líneas de Transmisión Energía Eléctrica. El ICLR tiene la versatilidad de permitir medir dichas variables, no de manera excluyente, sino con factores de ponderación, permitiendo consignar varias calificaciones por variable. En el Índice de compatibilidad con la línea las variables cualitativas y cuantitativas pudieron ser tenidas en cuenta para evaluar la compatibilidad de especies vegetales con líneas de transmisión. Las especies de mayor incompatibilidad con la línea fueron: *Jacaranda copaia*, *Cecropia peltata* y *Trema micrantha*, por lo tanto deben ser removidas en las actividades de mantenimiento. Las especies más compatibles con las LTE son *Acalypha diversifolia*, *Lacunaria jenmanii*, *Ephedranthus colombianus* y no requieren ser removidas en labores de mantenimiento.

Teniendo en cuenta el tipo de variables consideradas en el ICLR, es de vital importancia seguir aportando información a la base de datos sobre vegetación existente en el área de influencia de las líneas ya existentes y aumentar el grado de determinación botánica de las morfoespecies encontradas. Es clave considerar que para la aplicación del modelo en futuros estudios, sería interesante considerar la calificación de las variables de las especies reportada por zona de vida para encontrar el ICLR de las especies en cada una de éstas, y comparar los resultados con los obtenidos en este estudio.

El Catálogo de Flora Compatible con Líneas de Transmisión de Energía, es un trabajo que permite difundir y acceder a la información de una manera ágil y práctica. Es necesario investigar sobre propagación de las especies compatibles con la línea San Carlos - Purnio - Noroeste, al igual que los usos y nombres locales, para hacer más fructífero este esfuerzo, en la medida en que permita ofrecer beneficios directos a los habitantes de la zona. La publicación de este catálogo, permitiría implementar un programa de manejo selectivo de las especies, ya que los trabajadores



de mantenimiento de los corredores, tendrían una herramienta ágil y de fácil acceso para identificar dichas especies. Esta publicación podría estar acompañada de jornadas de capacitación para los trabajadores de los corredores de servidumbre.

7. AGRADECIMIENTOS

Al convenio Interconexión Eléctrica S.A. y Fundación Jardín Botánico «Joaquín Antonio Uribe» de Medellín (ISA - JAUM), por su apoyo financiero y logístico.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, E., 1997. Power lines and biodiversity in the Colombian territory. In: Williams, J.R., Goodrich-Mahoney, J.W., Wisniewsky J.R y Wisniewsky, J. (eds). The Sixth International Symposium on Environmental Concerns in rigths-of-Way Management. Elsevier Science, Oxford, England. ISBN 0080431984. pp. 343-353.
- Arévalo-Camacho, J., Roig-Solés, J., Juaristi, C. M., Gómez-Mazaneque, F., Bermejo, E., Domínguez-Lozano, F., Maza-Pecino, J., Molinero-Herranza, S. y Moreno-Rivero, L., 1997. Study of the Iberian flora compatible with power lines.
- Arner, D.H., 1979. The use of fire in rigth-of-way maintenance. *Journal of Arbor* 5, pp. 93-96.
- Bramble, W.C. y Byrnes, W.R., 1983. Thirty years of research on development of plant cover on an electric transmision right-of.way. *Journal of Arbor* 9, pp. 67-74
- Brown, D., 1993. The formation fo stable rigths-of-way vegetation with cover crops - How do you choose which species to plant?. En: Doucet, J., Seguin, C. y Giguere, M. (eds). Proceedings Fifth international Symposium on Envorinmental Concerns in Rigth-of-Way Maagement. ISBN 2-550-24521, pp. 70-73.
- Byrnes, W.R., W.C. Bramble, R.J., Hutnik, R.J. y Liscinsky., 1993. Rigth-of-way site factors responsible for resistance of certain plant cover types to tree invasion. En: Doucet, J., Seguin, C. y Giguere, M. (eds). Proceedings Fifth international Symposium on Envorinmental Concerns In Rigth-of-Way Management. ISBN 2-550-24521, pp. 76-80.
- Canham, C.D., Hill, J.D., Berkowitz, A.R. y Ostfled, R.S., 1993. Ecological perspectives on tree invasion in rigths-of-way: quantifying variation among communities in resistance to tree Invasion. En: Doucet, J., Seguin, C. y Giguere, M. (eds). Proceedings Fifth international Symposium on Envorinmental Concerns in Rigth-of-Way Maagement. ISBN 2-550-24521. pp. 81-86.
- Clark, D. y Clark, D., 2001. Getting to the canopy: tree eight grow in a neotropical rain forest. *Ecology*: 82 (5), pp. 1460 -162.
- Dreyer, G. D y Niering, W.A., 1986. Evaluation of two herbicides techniques in electric transmission rigths-of-way: development of relatively stable shrublands. *Environmental Management* 10, pp. 113-118.
- Finegan, B; Camacho, M; y Zamora, N., 1999. Diameter increment among 106 tree species in a logged and silviculturally treated Costa Rican rain forest. *Forest Ecology and Management* 121 (1999), pp.150-176
- Font Quer, P., 1993. Diccionario de Botánica. Barcelona: Labor, 1244 p.
- Gentry, A., 1982. Patterns of neotropical plant species diversity. *Evolutionary Biology* 15, pp.1-84.
- _____, 1993. Patterns of diversity and floristic composition in neotropical montane forest. En: Biodiversity and conservation of neotropical montane forest. New York: The New York Botanical Garden. Edited by Steven P. Churchill et. al., pp. 103 -126
- Giraldo-Cañas, D., 1993. Estructura y composición de un bosque secundario fragmentado en la Cordillera Central, Colombia. En: Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest. 1995. New York: The New York Botanical Garden. Edited by Steven P. Churchill et. al., pp. 159 - 167.



- Glaholt, R.D., Fryer, G. y Coletta, A., 1993. The UNEP convention on biodiversity and its implications for right-of-way selection and development. En: Doucet, J., Seguin, C. y Giguere, M. (eds). Proceedings Fifth international Symposium on Environmental Concerns in Right-of-Way Management. ISBN 2-550-24521, pp. 269-275.
- Gómez-Pompa, A., 1971. Posible papel de la vegetación secundaria en la evolución de la flora tropical. *Biotropica* 3 (2), pp. 125-135
- Holdridge L., 1978. Ecología basada en zonas de vida. Ibica: San Jose Costa Rica. 216 p.
- Hoyos, S. E., Hernández, J.J. y Albert, L., 1983. Estudio florístico de un bosque en el municipio de San Luis (Antioquia). *Actualidades biológicas* 12 (44), pp. 47 -58.
- Convenio Interconexión Eléctrica S.A. - Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe de Medellín (Convenio ISA-JAUM), 2000. Base de datos para inventarios florísticos. Software de aplicación CIJ2000.
- Kajeyama, A., 1997. Notas de campo. Curso sobre grupos ecológicos dictado en el posgrado Silvicultura y Conservación de bosques Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Lamprecht, H., 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenible. Rossdorf: Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. 335 p.
- Lema, A., 1996 a. Elementos someros de estadística multivariada. Notas introductorias para el curso de educación a distancia sobre Agroecología UN_CLADES. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 43 p.
- _____, 1996 b. Borrador para algunos elementos de estadística multivariada. Notas para un curso electivo de 12 semanas presentadas a los estudiantes del posgrado de bosques y conservación ambiental. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 43 p.
- Lieberman, D., Lieberman, M., Hartshorn, G. y Peralta R., 1985. Growth rate and age - size relationship of tropical wet forest trees in Costa Rica. *Journal of tropical ecology* 1, pp. 97 - 109.
- Londoño C. y Álvarez E., 1993. Composición florística, diversidad, estructura y biomasa de un bosque inundable en la Amazonía Colombiana. Tesis (Ecología). Universidad de Antioquia. 2 V.
- Martínez - Ramos, M., 1985. Claros de los árboles tropicales y regeneración tropical de las selvas altas perennifolias En: Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. GÓMEZ-POMPA, A. y DEL AMO, S. México: Alambra Mexicana, Vol 2, pp. 191 - 239 + figuras + ilustraciones.
- Marulanda, Luis O y Marulanda, I. Uribe, A., Velásquez, P., Montoya, M., Idaraga, A., López M. y López J., 2003. Estructura y composición de la vegetación de un fragmento de bosques seco en San Sebastián, Magdalena (Colombia). Composición de plantas vasculares. *Actualidades biológicas* 25 (78), pp. 17-30.
- Mendoza C., Humberto, 1999 Estructura y riqueza florística del bosque seco tropical en la región Caribe y el valle del río Magdalena, Colombia. *Caldasia* 21 (1), pp. 70 - 94.
- Morrow, S.D., 1997. Effective integrated vegetation management. En: Williams, J.R., Goodrich-Mahoney, J.W., Wisniewsky J.R y Wisniewsky, J. (eds). The Sixth International Symposium on Environmental Concerns in Rights-of-Way Management. Elsevier Science, Oxford, England. ISBN 0080431984, pp. 127-132.
- Ostfeld, R.S. y Canham, C., 1993. Ecological perspectives on tree invasion in right-of-way: effects of herbivory by mammals. En: Doucet, J., Seguin, C. y Giguere, M. (eds). Proceedings Fifth international Symposium on Environmental Concerns in Right-of-Way Management. ISBN 2-550-24521, pp. 159-164.
- Perry, M.C., Osenton, P.C., Fallon, F.W. y Fallon, J.E., 1997. Optimal management strategies for biodiversity within a power line right of ways. En: Williams, J.R., Goodrich-Mahoney, J.W., Wisniewsky J.R y Wisniewsky, J. (eds). The Sixth International Symposium on Environmental Concerns in Rights-of-Way Management. Elsevier Science, Oxford, England. ISBN 0080431984, pp.133-140.



- Rowell, C.E., Farrish K.W. y Dyer, J.M., 1997. Vegetation management alternatives on electric transmission line rows in north-central Louisiana: four year results. En: Williams, J.R., Goodrich-Mahoney, J.W., Wisniewsky J.R y Wisniewsky, J. (eds). The Sixth International Symposium on Environmental Concerns in Rights-of-Way Management. Elsevier Science, Oxford, England. ISBN 0080431984, pp. 147-152.
- Shupe, S.D., Finch, K.E. y Neuhauser, E.F., 1997. A Project Habitat Initiative in Eastern New York State, February 1997. En: Williams, J.R., Goodrich-Mahoney, J.W., Wisniewsky J.R y Wisniewsky, J. (eds). The Sixth International Symposium on Environmental Concerns in Rights-of-Way Management. Elsevier Science, Oxford, England. ISBN 0080431984, pp. 153-162.
- Williams, J.R., Goodrich-Mahoney, J.W., Wisniewsky J.R y Wisniewsky, J. (eds), 1997. The Sixth International Symposium on Environmental Concerns in Rights-of-Way Management. Elsevier Science, Oxford, England. ISBN 0080431984, 511 p.

