

Composición y estructura forestal del Corredor Biológico Interurbano Río Tibás, Heredia, Costa Rica

Composition and forest structure of the interurban biological Corridor Tibás River,
Heredia, Costa Rica

Jossy Esteban Calvo-Villalobos ¹

Tania Bermúdez-Rojas ¹

Hannia Vega-Bolaños ¹

Abstract

This research had as objective to determine the forest structure and floristic composition of the “Tibás River Interurban Biological corridor” region. We delimit three elevational zones/strata in the area and established 61 sampling plots (15 x 15 m). Species richness, abundance and ecological group species (early or late-successional and seed dispersal methods) in trees (diameter > 10 cm) and seedlings (individuals between 30 cm and 1.5 m of height) were evaluated. Then we characterized the ecosystems according with diversity indexes (Shannon and Pielou), their diameter category, tree density and forest canopy gap. We recorded 113 tree species in 43 families (diameter > 10 cm) and 122 seedlings species (41 families). Mean tree density estimation ranged between 469-491 individuals/ha in the elevational zones. The three strata follow a reverse-J diameter distribution, and among 70-77 % of tree diameters ranged between 10 and 39.9 cm. While the three elevational zones recorded optimal recruitment and diversity indexes, according with diameter distribution, Shannon (> 3.13) and Pielou (> 0.81), the low and medium stratum suggested a greater ecosystem disturbance, and less sustainability, due to high early-successional and wind-dispersed species proportions encountered. Likewise, mean forest canopy gap values were moderate in the lower elevational zones (59-72 %) and relatively high in the greater altitudinal level (87 %). This information suggests that the low and medium elevational zones are areas with higher restoration priority, and enrichment strategies in the riparian forest may be required.

Key words: Biodiversity, forest structure, functional diversity, natural succession, interurban ecosystem, Heredia, Costa Rica.

1. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Costa Rica; Heredia, Costa Rica; jcalvo2412@gmail.com; tania.bermudez.rojas@una.cr; hannia.vega.bolanos@una.cr

Recibido: 28/09/2017

Aceptado: 28/11/2017

Publicado: 14/12/2017

Introducción

Los bosques ribereños son esenciales en el mantenimiento de diversos procesos ecológicos y generación de servicios ecosistémicos (Chará, Giraldo, Chará-Serna, Pedraza y Camargo 2011; Fernández, Souza y Tanaka, 2014). A pesar de ello en la actualidad se encuentran altamente amenazados en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica (GAM) y enfrentan situaciones como el aumento de la población, falta de planificación de las actividades urbanas, deforestación y pérdida de conectividad biológica (Leandro, Coto y Salgado 2010; Calvo y Mora 2012).

Por esta razón la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL); una empresa dedicada a la venta y distribución de electricidad en Costa Rica, en conjunto con instituciones gubernamentales y municipalidades de la GAM, proponen la creación de corredores biológicos interurbanos como elemento base para la recuperación de la cuenca del Virilla, mediante el fortalecimiento de la conectividad biológica y los servicios ecosistémicos (Feoli, 2013). Uno de ellos es el Corredor Biológico Interurbano Río Tibás (CBRT).

Este corredor biológico pretende restaurar la cobertura vegetal en territorios ubicados 300 m a ambos lados del cauce principal del río Tibás, integrando áreas naturales, públicas, privadas, rurales y urbanas, para lo cual se requiere información de línea base. La presente investigación tiene como objetivo determinar la estructura y composición de la cobertura arbórea del sitio propuesto como CBRT para orientar futuras estrategias de restauración.

Materiales y métodos

Área de estudio

La ubicación del CBRT fue establecida por la CNFL y corresponde a un área de 300 m en ambos lados del río Tibás, entre las coordenadas 10°01,1091'latitud Norte y 83°03,358'O longitud Oeste. El río se extiende 19,5 km entre los 1000 y 2000 msnm y se ubica en la parte alta de la subcuenca del río Virilla. Administrativamente tiene jurisdicción en 3 cantones; San Rafael, San Isidro y Santo Domingo de Heredia (ITCR, 2014). Su temperatura media anual varía desde los 22,5 °C en la parte más baja hasta 16 °C en la zona más alta y la precipitación oscila aproximadamente entre 1600 mm anuales hasta 2500 mm anuales en la parte baja y alta respectivamente.

Para este estudio el área de interés se estratificó en tres zonas según las franjas altitudinales, definidos como zona alta (1530-2000 msnm), media (1190-1529 msnm) y baja (1000-1189 msnm) (figura 1). Dicha zonificación fue

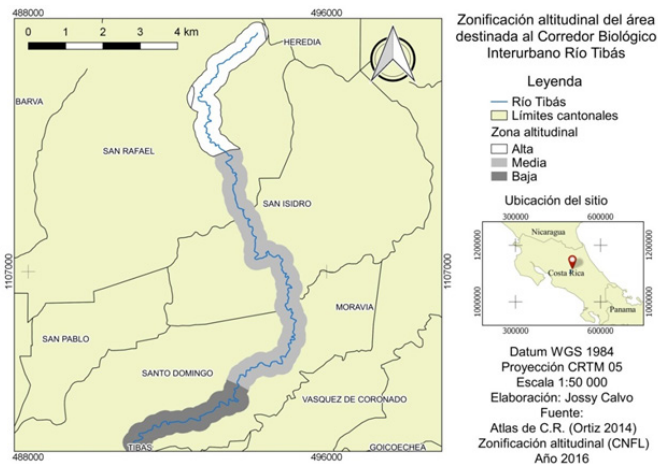


Figura 1. Ubicación y zonificación altitudinal del Corredor Biológico Interurbano Río Tibás, Heredia Costa Rica.

Figure 1. Location and altitudinal zoning of the Biological Corridor of Tibás River, Heredia Costa Rica.

elaborada por la CNFL con base en las características del cauce.

Muestreo

El muestreo se realizó entre enero y junio de 2016. Se delimitaron las zonas boscosas del CBRT a través de imágenes satelitales, trabajo de campo y el programa de sistemas de información geográfica QGIS (versión 2.12 Lyon, 2009). Posteriormente en el mismo software, para cada estrato del sitio se ubicaron y seleccionaron al azar parcelas de muestreo de 15 x 15 m cada una.

El número de parcelas en cada zona altitudinal se determinó por medio de curvas de acumulación de especies hasta alcanzar una curva asintótica, como indicador representativo del número de especies en cada estrato. Los datos fueron procesados con el programa "Estimates Win 820" y se utilizó el estimador de riqueza CHAO 1 Villarreal et al. (2006). En total se establecieron 61 parcelas de muestreo (15 x 15 m); 20 en la parte baja, 23 en la zona media y 18 en la parte alta del corredor.

Se determinó la riqueza, abundancia y diámetro a la altura de 1,3 m (DAP) de individuos con DAP mayor a 10 cm. Se evaluó la regeneración natural según la abundancia y riqueza de brinzales (individuos entre 30 cm y 1,5 m de altura) en sub-parcelas de 2 x 2 m ubicadas en las esquinas de cada parcela (para un total de 244). Asimismo, con un densiómetro se midió el porcentaje de cobertura de dosel en cada sub-parcela (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Adicionalmente, se mencionaron y categorizaron especies de interés en conservación de

acuerdo con su grado de endemismo o vulnerabilidad según la lista roja de la IUCN.

Análisis de datos

Se determinó el índice de valor de importancia (I.V.I) para cada especie y familia (Curtis y McIntosh, 1950). Se determinaron índices de diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou (Villarreal et al., 2006), mediante el programa PAST versión 3.8 (Hammer, 2001). Para estimar el grado de similitud en la composición arbórea entre estratos se realizó un análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), usando índices de disimilitud de Bray-Curtis, con el software R versión 3.3.1 (R Core Team, 2012). Posteriormente se aplicó una prueba ANOSIM para comprobar diferencias significativas entre las tendencias observadas (Clarke y Warwick, 2001).

Para evaluar la estructura forestal se realizaron gráficos de frecuencias con los datos de DAP, con el fin de separar categorías diamétricas y estimar el estado de sucesión de los ecosistemas. Asimismo se estimó la densidad de árboles y brinzales (N) por hectárea para cada estrato (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Los datos obtenidos de porcentajes de cobertura vegetal y densidad de individuos fueron analizados estadísticamente mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para valorar diferencias significativas entre los distintos estratos y relacionar su grado de perturbación. Finalmente, se evaluó el porcentaje de especies e individuos según el gremio ecológico que representan (heliófitas, esciófitas) y el síndrome de dispersión (anemocoria, antropocoria, autocoria y zoocoria) con el fin de inferir sobre su diversidad funcional.

Resultados

Composición arbórea: Se registraron en total 1651 individuos; 45 familias y 159 especies. De estos 650 individuos (43 familias y 113 especies) fueron árboles (DAP mayor a 10 cm) y 1001 brinzales (41 familias y 122 especies). No se logró la identificación de once especies de brinzales debido a su desarrollo temprano y falta de caracteres sexuales (tres Piperaceae, dos Asteraceae, una Solanaceae y cinco desconocidos). Estos no se incluyeron en los análisis a nivel de especie.

El esfuerzo de muestreo para estimar la riqueza se considera adecuado en la zona baja y media del CBRT. Ambas curvas de acumulación para árboles y brinzales empezaron a estabilizarse indicando baja probabilidad de encontrar nuevas especies. No obstante en la zona alta se determinó que es muy probable encontrar nuevas especies. El estimador Chao 1 sugirió una riqueza de árboles (DAP > 10 cm) de 74 especies, de las solo 48 registradas.

En esta última zona se dificultó la realización de más parcelas debido a que no se pudo contactar con muchos propietarios para adquirir el permiso de ingreso a fincas privadas. Asimismo la región Norte, a partir de cerca de los 1800 msnm, corresponde a bosques muy poco intervenidos sin caminos de acceso, colindante con el Parque Nacional Braulio Carillo.

Las familias en árboles (DAP > 10 cm) de mayor importancia de acuerdo con el I.V.I fueron Melastomataceae (88,7 %) en la zona alta y Fabaceae en las zonas media y baja (78 % y 79 % respectivamente). En brinzales destacaron las familias Rubiaceae (42 %) en la zona alta y Asteraceae y Euphorbiaceae en los estratos más bajos (cuadro 1). Las especies con mayor peso ecológico en cada estrato según el índice se mencionan en el cuadro 2. Se destaca que las especies arbóreas con valores más altos son exóticas: *Cupressus lusitanica* Mill en las zonas alta y media y *Erythrina poeppigiana* Walp. O.F. Cook en la zona baja.

Se registraron 23 especies exóticas; 18 especies de árboles y 12 en regeneración. Las más abundantes fueron el ciprés que representó el 9 % de todos los árboles registrados, seguido del *E. poeppigiana* y el cedro nogal (*Juglans neotropica* Diels). En la zona baja la higuera (*Ricinus communis* L) representó el 8 % del total de brinzales registrados.

Nueve especies registradas son de interés especial en conservación. De estas, dos son endémicas: *Guatteria oliviformis* (Donn. Sm.) y *Euphorbia hoffmanniana* (Klotzsch y Garcke) Boiss), cuatro endémicas regionales

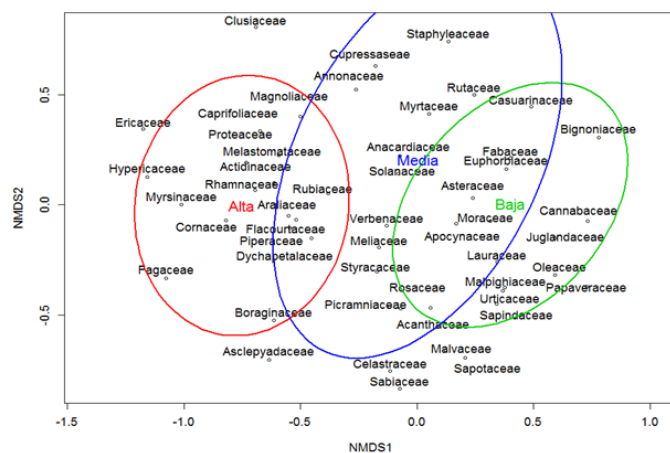


Figura 2. Ordenación espacial de familias arbóreas según el escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) en zonas altitudinales del área destinada al Corredor Biológico Interurbano Río Tibás, Heredia, Costa Rica (2D Stress=0.17, R=0.48, P=0.001). Se utilizó el índice de disimilitud de Bray Curtis.

Figure 2. Spatial arrangement of tree families according to the multidimensional non-metric staggering (NMDS) in altitudinal areas of the area destined for the Interurban Biological Corridor Tibás River, Heredia, Costa Rica (2d stress = 0.17, R = 0.48, P = 0.001). The insimilarity index of Bray Curtis was used.

Cuadro 1. Familias de árboles (DAP > 10 cm) y brinzales más importantes, según el Índice de Valor de Importancia, en los tres estratos altitudinales del área destinada al Corredor Biológico Interurbano Río Tibás, Heredia, Costa Rica.

Table 1. Families of trees (DAP > 10 cm) and saplings more important, according to the value index of importance, in the three strata altitudinal of the area destined to the Biological Corridor Interurban Tibás River, Heredia, Costa Rica.

Árboles (DAP > 10 cm)		Brinzales	
Familias	I.V.I (%)	Familias	I.V.I (%)
Zona alta			
Melastomataceae	88,67	Rubiaceae	42,01
Cupressaceae	44,76	Melastomataceae	23,68
Proteaceae	19,20	Myrsinaceae	15,90
Myrtaceae	18,23	Solanaceae	12,90
Myrsinaceae	15,46	Piperaceae	11,23
Zona media			
Fabaceae	78,39	Asteraceae	21,25
Euphorbiaceae	37,77	Euphorbiaceae	19,38
Myrtaceae	31,59	Myrtaceae	17,96
Cupressaceae	30,74	Fabaceae	17,44
Lauraceae	14,22	Solanaceae	12,66
Zona baja			
Fabaceae	79,29	Asteraceae	31,22
Anacardiaceae	31,41	Solanaceae	20,03
Lauraceae	19,74	Euphorbiaceae	19,13
Juglandaceae	19,32	Fabaceae	16,90
Urticaceae	16,87	Lauraceae	13,77

(Costa Rica, Nicaragua y/o Panamá) y tres catalogadas como vulnerables según la lista roja de la UICN (cuadro 3).

Los resultados de riqueza, abundancia e índices de diversidad para cada estrato se presentan en el Cuadro 4. A pesar de la presencia de plantaciones de especies exóticas y perturbación por actividades antropogénicas (principalmente en las zonas media y baja) todos los estratos altitudinales presentaron índices de Shannon relativamente altos y baja dominancia de especies según el índice de Pielou.

Por otro lado, los tres estratos presentaron porcentajes de disimilitud de Bray Curtis por encima del 61 %. Estas diferencias también se explican a través de la composición de familias en distintos estratos ($R=0,48$, $P=0,001$). En la Figura 2 se presenta un modelo de ordenación bidimensional demostrando asociación de las familias vegetales con las distintas zonas altitudinales.

Estructura arbórea

La distribución de categorías diamétricas no difirió mucho entre las zonas altitudinales. Los tres estratos

presentaron una distribución de “J” invertida (figura 3) y la proporción de árboles con DAP entre 10 y 39,9 cm osciló entre el 70 % en la zona media al 77 % en la zona alta, incluyendo dos clases diamétricas donde se ubicó la mayor cantidad de individuos.

La cobertura del dosel fue estadísticamente mayor en la zona alta (cuadro 5), la cual fue moderada en las zonas baja y media (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). La densidad estimada de árboles (DAP > 10 cm) para todo el sitio fue de 474 individuos/ha y no varió significativamente entre los estratos, sin embargo la densidad de brinzales sí presentó diferencias y fue mucho mayor en la zona alta (cuadro 5) (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

Diversidad funcional

Las proporciones encontradas de acuerdo con la agrupación de gremios ecológicos y síndromes de dispersión se comportaron de manera similar según los análisis por número de especies o de individuos. Se observó mayor proporción de especies esciófitas (parciales y totales) y de zoocoria en la zona alta, mientras que en los estratos más bajos la proporción de

Cuadro 2. Porcentajes del Índice de Valor de Importancia para las 10 especies de árboles y brinzales con mayor valor en los tres estratos altitudinales del área destinada al Corredor Biológico Interurbano Río Tibás, Heredia, Costa Rica.

Table 2. Percentages of the value index of importance for the 10 species of trees and saplings with greater value in the three altitudinal strata of the area destined for the interurban biological Corridor Río Tibás, Heredia, Costa Rica.

Árboles (DAP > 10 cm)		Brinzales	
Especies	I.V.I (%)	Especies	I.V.I (%)
Zona alta			
<i>Cupressus lusitanica</i>	96,20	<i>Palicourea padifolia</i>	97,11
<i>Blakea maurofernandeziana</i>	76,21	<i>Blakea maurofernandeziana</i>	53,20
<i>Myrsine coriacea</i>	56,58	<i>Myrsine coriacea</i>	49,53
<i>Roupala glaberrima</i>	53,56	<i>Trichillia havanensis</i>	37,75
<i>Cornus disciflora</i>	44,27	<i>Miconia aeruginosa</i>	37,26
<i>Myrcianthes fragrans</i>	23,27	<i>Viburnum costaricanum</i>	32,11
<i>Rogiera amoena</i>	21,24	<i>Roupala glaberrima</i>	31,87
<i>Conostegia xalapensis</i>	15,56	<i>Solanum tuerckheimii</i>	31,62
<i>Mauria heterophylla</i>	15,52	<i>Mauria heterophylla</i>	24,76
<i>Myrcia splendens</i>	15,26	<i>Ardisia compressa</i>	18,38
Zona media			
<i>Cupressus lusitanica</i>	85,75	<i>Vernonia patens</i>	40,75
<i>Croton draco</i>	46,77	<i>Eriobotrya japonica</i>	35,29
<i>Sapium glandulosum</i>	41,74	<i>Inga punctata</i>	30,94
<i>Myrcianthes fragrans</i>	34,24	<i>Annona cherimola</i>	30,19
<i>Cecropia obtusifolia</i>	29,54	<i>Psidium guajava</i>	24,72
<i>Erythrina berteroana</i>	28,51	<i>Euphorbia hoffmanniana</i>	21,87
<i>Licaria triandra</i>	28,16	<i>Myrcia splendens</i>	20,00
<i>Conostegia xalapensis</i>	27,42	<i>Croton draco</i>	19,26
<i>Inga punctata</i>	25,56	<i>Cupania glabra</i>	19,26
<i>Mauria heterophylla</i>	21,26	<i>Hamelia patens</i>	19,26
Zona baja			
<i>Erythrina poeppigiana</i>	76,33	<i>Montanoa hibiscifolia</i>	49,73
<i>Juglans neotropica</i>	43,80	<i>Ricinus communis</i>	49,06
<i>Mauria heterophylla</i>	42,59	<i>Acaciella angustissima</i>	35,37
<i>Spondias purpurea</i>	41,50	<i>Mauria heterophylla</i>	35,37
<i>Cecropia obtusifolia</i>	40,18	<i>Vernonia patens</i>	35,37
<i>Croton draco</i>	36,03	<i>Croton draco</i>	27,01
<i>Sapium glandulosum</i>	35,72	<i>Psidium guajava</i>	22,01
<i>Acnistus arborescens</i>	31,39	<i>Juglans neotropica</i>	21,38
<i>Trema micrantha</i>	31,01	<i>Persea caerulea</i>	20,03
<i>Robinsonella lindeniana</i>	25,06	<i>Robinsonella lindeniana</i>	19,70

Cuadro 3. Especies de interés especial en conservación de acuerdo a su distribución geográfica limitada o estado poblacional según la lista roja de la UICN, registradas en distintos estratos altitudinales del área del Corredor Biológico Río Tibás, Heredia, Costa Rica.

Table 3. Percentages of the value index of importance for the 10 species of trees and saplings with greater value in the three altitudinal strata of the area destined for the interurban biological Corridor Río Tibás, Heredia, Costa Rica.

Familia	Especie	Condición	Zona
Annonaceae	<i>Guatteria oliviformis</i>	Endémica	Alta
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hoffmanniana</i>	Endémica	Media
Myrtaceae	<i>Eugenia cartagensis</i>	Endémica regional	Alta
Rubiaceae	<i>Hoffmannia pittieri</i>	Endémica regional	Alta
Myrsinaceae	<i>Parathesis glabra</i>	Endémica regional	Media
Magnoliaceae	<i>Magnolia poasana</i>	Endémica regional	Alta
Meliaceae	<i>Cedrela tonduzii</i>	UICN (Vulnerable)	Alta
Fagaceae	<i>Quercus bumelioides</i>	UICN (Vulnerable)	Alta
Meliaceae	<i>Cedrela odorata*</i>	UICN (Vulnerable)	Baja / Media

*C. *odorata* corresponde a individuos plantados en cultivos de café.

Cuadro 4. Indicadores de riqueza, abundancia e índices de diversidad de brinzales y árboles (DAP > 10 cm) en tres estratos altitudinales del área del Corredor Biológico Río Tibás, Heredia, Costa Rica.

Table 4. Indicators of richness, abundance and indices of diversity of saplings and trees (DAP > 10 cm) in three strata altitudinal of the area of the Biological Corridor Tibás River, Heredia, Costa Rica.

Zona	Árboles				Brinzales			
	Riqueza	AR*	H**	J***	Riqueza	AR*	H**	J***
Alta	48	12,1	3,13	0,81	66	27,07	3,48	0,83
Media	73	10,06	3,82	0,89	63	11,52	3,82	0,92
Baja	61	10,2	3,52	0,89	48	16,75	3,41	0,88

*AR = abundancia relativa que corresponde al número de individuos registrados en relación con el número de parcelas realizadas. **H = Shannon. ***J = Pielou

los grupos de heliófitas efímeras y de anemocoria fue mayor (figuras 4 y 5 respectivamente). Cabe resaltar que entre el 2 y 10 % de especies no se clasificaron por la falta de información documentada en literatura.

Discusión

Composición arbórea

La consolidación de la mayor parte de la población costarricense en el Valle Central y el consecuente desarrollo de actividades agropecuarias y urbanas ha llevado a la pérdida de cerca del 80 % de bosques húmedos premontanos originales, así como la fragmentación del porcentaje restante (Sánchez-Azofeifa, Harris y Skole, 2001). En la región del CBRT la mayor parte del área está ocupada por cobertura boscosa (27 %), no obstante el 58 % de la misma se concentra en la zona alta, dominando en menores altitudes usos agrícolas (principalmente café) y urbano.

Las especies abundantes en las zonas media y baja del CBRT son típicas de zonas intervenidas en el Valle Central, tales como el yos (*Sapium glandulosum* L. Morong), guarumos (*Cecropia* sp.) y targuá (*Croton draco* Schltl. y Cham) (Hammel, Grayum, Herrera y Zamora, 2003). Al igual que otros estudios en bosques similares del Valle Central destacó la familia Fabaceae como la más diversa y abundante, entre otras bien representadas como Myrtaceae, Lauraceae y Euphorbiaceae (Cascante-Marín y Estrada-Chavarría, 2012; Villalobos, 2013).

Asimismo, la riqueza (familias y especies) de estos dos estratos fue muy similar a lo reportado en el río Pirro en Heredia; un ecosistema urbano en zonas de vida equivalentes (Villalobos, 2013). Sin embargo, fue considerablemente inferior a lo reportado en la franja de bosques premontanos húmedos y muy húmedos en la Zona Protectora el Rodeo (zonas de vida equivalentes) con 115 especies arbóreas y 40 familias. Cabe resaltar que este último corresponde a uno de los remanentes boscosos más importantes y menos intervenidos de estas zonas de vida en el Valle Central y recibe una

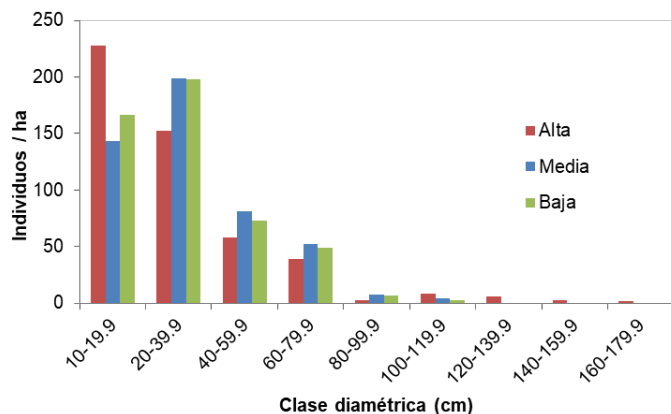


Figura 3. Categorización de árboles por clases diamétricas en distintas zonas altitudinales de área del Corredor Biológico Río Tibás, Heredia, Costa Rica.

Figure 3. Categorization of trees by diameter classes in different areas altitudinal area of Biological Corridor Tibás River, Heredia, Costa Rica.

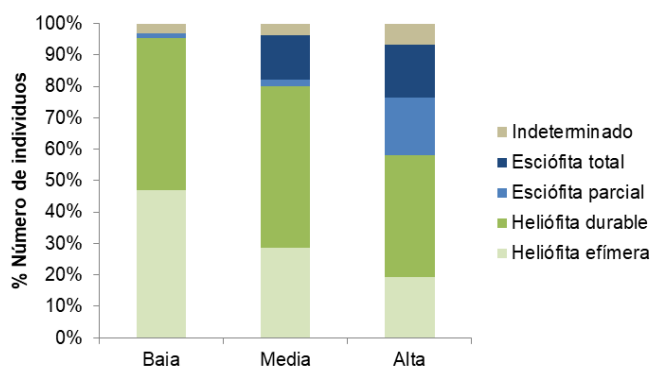


Figura 4. Categorización de árboles por clases diamétricas en distintas zonas altitudinales de área del Corredor Biológico Río Tibás, Heredia, Costa Rica.

Figure 4. Categorization of trees by diameter classes in different areas altitudinal area of Biological Corridor Tibás River, Heredia, Costa Rica.

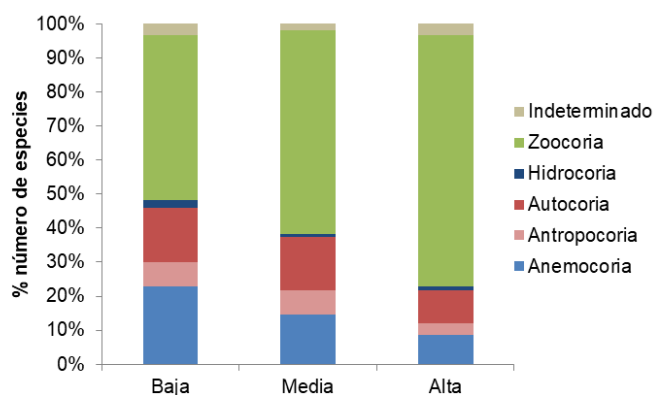


Figura 5. Categorización de árboles por clases diamétricas en distintas zonas altitudinales de área del Corredor Biológico Río Tibás, Heredia, Costa Rica.

Figure 5. Proportion of species heights according to the syndrome of dispersion for various zones heights of the Biological Corridor Intercity Tibás River, Heredia, Costa Rica.

mayor influencia de flora del Pacífico seco y la región Sur del país (Cascante-Marín y Estrada-Chavarría, 2012).

En relación con el estrato alto del corredor, este pertenece a una zona de vida mayormente conservada en el Valle Central pero se mantiene como un área poco estudiada. No obstante hay reportes de especies representativas que concuerdan con este estudio, como la dominancia encontrada de arbustos de cafecillo en regeneración (*Palicourea* sp., Rubiaceae), así como de los árboles lloró (*Cornus disciflora* DC.), *Mauria heterophylla* Kunth y *Roupala glaberrima* Pittier en el dosel (Maglianesi, 2010; Ortega-Rivera y Vélchez-Alvarado, 2013).

Resalta que en los tres estratos una especie exótica es la de mayor peso ecológico (según el I.V.I). El ciprés durante mucho tiempo fue la especie más utilizada en reforestación en el Valle Central del país (Barrientos y Monje-Nájera, 2010) y en el área de estudio su dominancia persiste. Los otros casos más relevantes son el de *E. poeppigiana* (poró gigante) y *Juglans neotropica* Diels (cedro nogal), especies típicamente plantadas en sistemas de cafetales (Rojas-Rodríguez, Canessa y Ramírez, 2005) y actualmente corresponden al bosque ribereño en muchas áreas del corredor como cultivos abandonados.

A pesar de ello, es muy probable que estas especies no representen una amenaza seria para el futuro planteamiento del corredor y sucesión ecológica. Las condiciones de regeneración natural encontradas son favorables en términos de riqueza e índices de diversidad y ésta fue muy escasa para especies como el ciprés y poró gigante. Condición que se podría relacionar con la óptima cobertura vegetal, el aumento en la competencia por nutrientes y el espacio (Chaverri, Zamora, Aguilar y Gutiérrez, 1998). La especie que podría representar un riesgo mayor es la invasora *R. communis* que fue muy abundante en varios sitios de la zona baja, especialmente en áreas más perturbadas.

Por otro lado, se encontró que los estratos altitudinales explican casi un 50 % las diferencias en composición florística, destacando que son tres ecosistemas considerablemente diferentes al menos en cuanto a su composición, asociado en gran parte a diferencias climáticas. No obstante, el grado de intervención urbana y diferencias en porcentajes de cobertura de dosel también podría incidir en este resultado. Finalmente, se resalta que la presencia de varias especies arbóreas endémicas o con algún grado de amenaza refuerza el valor de conservación y mantenimiento de conectividad biológica en estas zonas boscosas.

Estructura arbórea

Un indicador óptimo de sostenibilidad para los tres estratos es el de establecimiento de especies sucesoras

Cuadro 5. Descripción general de los estratos altitudinales en el área destinada al Corredor Biológico Interurbano Río Tibás y resultados obtenidos de densidad de árboles (N) y porcentaje de cobertura vegetal.

Table 5. General description of the strata heights in the area intended for the Biological Corridor Intercity Tibás River and results of density of trees (N) and percentage of vegetal cover.

Características generales del estrato	Zona alta	Zona media	Zona baja
Características generales del estrato			
Elevación (msnm)	1530-2000	1190-1529	1000-1189
Zona de vida (clasificación según Holdridge)	Bosque Pluvial Montano Bajo / Bosque Muy Húmedo Montano Bajo	Bosque Muy Húmedo Premontano	Bosque Húmedo Premontano
Área total de cobertura boscosa (ha)	169,8	80,2	40,9
Proporción que representa la cobertura boscosa en el área total del estrato	57,7 %	16,2 %	16,1 %
Otras coberturas abundantes en la matriz	Pastos (29 %)	Agrícola (23 %), Urbano (27 %)	Agrícola (32 %), Urbano (15 %)
Valores de estructura boscosa			
Valores de estructura boscosa			
Proporción de individuos en clases diamétricas	-DAP entre 10-39,9 cm (77 %) -DAP entre 40-79,9 cm (20 %) -DAP igual o mayor a 80 cm (3 %)	-DAP entre 10-39,9 cm (70 %) -DAP entre 40-79,9 cm (28 %) -DAP igual o mayor a 80 cm (2 %)	-DAP entre 10-39,9 cm (74 %) -DAP entre 40-79,9 cm (25 %) DAP igual o mayor a 80 cm (1 %)
N ha-1 esperada (árboles DAP > 10 cm)	491	471	469
N ha-1 esperada (brinzales)	1127*	552	662
Promedio de cobertura de dosel (%)	87,6 ± 14*	72,9 ± 18	59,8 ± 30
Intensidad de muestreo			
Intensidad de muestreo			
Número de parcelas	18	23	20
Área de muestreo (m ²)	4050	5175	4500
Intensidad de muestreo según área total de superficie boscosa	0,23 %	0,64 %	1,1 %

Los valores de densidad (N) de árboles y brinzales se extrapolaron a hectáreas para mejor comparación con otras investigaciones. En datos con asterisco (*) se encontraron diferencias significativas en relación con los otros estratos altitudinales (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

según la distribución diamétrica de J invertida encontrada (Olivier y Larson, 1990). Así bien, las densidades de árboles estimadas (entre 469-491 individuos/ha) siguen un comportamiento similar a lo reportado por otros estudios en bosques tropicales premontanos y montanos menos intervenidos en Costa Rica (Wattenberg y Breckle, 1995; Orozco, 1991; Cascante-Marín y Estrada-Chavarría, 2012).

Los individuos excepcionalmente grandes, diámetros mayores a 100 cm, correspondieron a cipreses en

plantaciones y árboles remanentes como *R. glaberrima* y *C. disciflora* en la zona alta, o bien a higueros (*Ficus* sp.) en las zonas media y baja. Estos últimos pudieron haberse conservado por su valor como sombra o cercas vivas.

Diversidad funcional: Los tres estratos altitudinales presentaron proporciones de clases diamétricas e indicadores de diversidad y equidad similares. No obstante el porcentaje de cobertura de dosel y la densidad de brinzales fueron significativamente mayores

en la zona alta, que destaca como la menos perturbada. Dicha condición también se refleja en cambios detectados en la proporción de gremios ecológicos y síndromes de dispersión de las especies. Hacia la parte alta se encontró menor proporción de heliófitas efímeras, especies pioneras demandantes de mucha luz, debido al cierre del dosel y mayor proporción de plantas de sombra o esciófitas, características de sucesión tardía (Pütz Groeneveld, Alves, Metzger y. Huth, 2011).

Este aumento de especies esciófitas es indicador de mayor sostenibilidad del ecosistema y una posible convergencia hacia bosques primarios (Ruschel, Mantovani, Sedrez y Onofre, 2009; Higuchi et al. 2008). En las zonas media y baja, la disminución de cobertura de dosel y aumento de claros dentro del bosque favorece la colonización de especies heliófitas y anemócoras, típico de bosques sometidos a frecuentes perturbaciones (Bocanegra-González, K. T., Fernández-Méndez, F. y Galvis-Jiménez, J. (2015).

Estas proporciones de gremios ecológicos son similares a lo reportado por Villavicencio (2012) en un Bosque Muy Húmedo Premontano Bajo en la cuenca del río Aranjuez, Puntarenas. En éste, las especies heliófitas representaron hasta el 90 % en zonas intervenidas, porcentaje que bajó a cerca del 70 % en la zona más alta y menos perturbada de la cuenca. Se ha encontrado también que este grupo de esciófitas es particularmente más sensible a la fragmentación por lo que en las zonas media y baja del corredor se refuerza la necesidad de mejorar las condiciones de cobertura del dosel y conectividad del paisaje (Metzger, 2000).

En relación con los síndromes de dispersión, generalmente en los bosques tropicales húmedos más del 50 % de las especies son dispersadas por animales, condición que se encontró en los tres estratos del CBRT (Howe y Smallwood, 1982; Di Stéfano, Nielsen, Hoomans y Fournier, 1996). No obstante, en la zona alta se registró mayor proporción de zoocoria (cerca de 75 %) y disminución de la anemocoria, lo cual se asocia con un mejor estado de conservación (Sandor, 2012; Bocanegra-González, et al., 2015).

La representación de diversos grupos funcionales encontrados en los tres estratos, según gremios ecológicos y síndromes de dispersión, indican alguna capacidad de resiliencia ante perturbaciones. No obstante mayores proporciones de especies esciófitas y zoócoras son ideales (Folke et al., 2004; Bocanegra-González et al. 2015).

En la zona baja del CBRT cerca del 50 % de individuos corresponden a heliófitas efímeras. Esto puede afectar negativamente la sustentabilidad del ecosistema, especialmente en sitios con una matriz antropogénica donde dominan usos agrícolas y urbanos. Los bosques

están expuestos a mayor frecuencia de aperturas de claros y muchas especies suelen ser poco competitivas, por lo que son susceptibles a agentes externos como plagas y enfermedades (Lozano-Zambrano, 2009; Ceccon, 2014). En este estudio se observó una considerable mayor afectación por el pasto gigante *Pennisetum purpureum* Schumach en ecosistemas de la zona baja; una especie invasora que limita seriamente la regeneración natural e hidrología del río (Lambert, Dudley y Saltonstall, 2010), situación que podría verse favorecida por la condición mencionada.

Conclusiones

La composición florística difirió hasta un 61% entre las tres zonas altitudinales. En las zonas media y baja resaltó la familia Fabaceae como la más diversa y abundante, entre otras bien representadas como Myrtaceae, Lauraceae y Euphorbiaceae, con muchas especies típicas de bosques intervenidos. Mientras que en la zona alta destacaron mayormente familias como Melastomataceae, Rubiaceae y Cupressaceae.

Los tres estratos altitudinales mostraron índices de diversidad de Shannon mayores a 3.1 y alta equidad en la composición de especies según el índice de Pielou. Asimismo la distribución diamétrica encontrada sugiere que se encuentran en recuperación y es indicadora de procesos adecuados de reclutamiento.

No obstante en la zona alta se concentra cerca del 58 % de la cobertura boscosa del área del CBRT y ésta destaca como la menos perturbada, con mayor proporción de especies esciófitas, zoócoras, porcentajes de cobertura en el dosel cercano al 87 % y mayor densidad de brinzales (hasta un 51 % más alta que otros estratos). Las zonas media y baja reflejaron mayor grado de perturbación debido a su moderada y baja cobertura de dosel ($72,9 \pm 18$ y $59,8 \pm 30$ respectivamente) y proporciones altas de especies heliófitas efímeras y anemócoras.

Recomendaciones

En conjunto con las acciones propuestas para mejorar la conectividad en la zona destinada al CBRT, es importante manejar zonas boscosas de los estratos medio y bajo a través de enriquecimiento, utilizando especies nativas heliófitas durables y esciófitas. Esto con el fin de contrarrestar la dominancia encontrada por especies exóticas y heliófitas efímeras, que pueden incidir negativamente en la sustentabilidad. Asimismo es importante localizar y manejar las principales zonas del CBRT afectadas por la invasión de pasto gigante, para permitir procesos óptimos de sucesión ecológica.

Agradecimientos

A la Compañía Nacional de Fuerza y Luz por el financiamiento otorgado para esta investigación y en especial a Sergio Feoli y Jorge Araya del Departamento de Recursos Naturales por todo su apoyo durante el trabajo. A la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Costa Rica por el apoyo con materiales para el muestreo y finalmente a Ana Beatriz Hernández, Marco Calvo y Ronald Cordero por el apoyo y acompañamiento para el levantamiento de datos.

Resumen

Se estimó la estructura y composición forestal del área destinada al Corredor Biológico Interurbano Río Tibás. Se delimitó el corredor en tres estratos altitudinales y se realizaron 61 parcelas de muestreo de vegetación (15 x 15 m). Se evaluó la riqueza, abundancia, gremios ecológicos y síndromes de dispersión de árboles mayores o igual a 10 cm a la altura del pecho y brinzales (individuos entre 30 cm y 1,5 m de altura). También se caracterizaron los ecosistemas según índices de diversidad (Shannon y Pielou), categorías diamétricas, densidad de individuos y porcentaje de cobertura vegetal del dosel. Se registraron 113 especies de árboles (43 familias) y 122 de brinzales (41 familias). La densidad de árboles osciló entre 469-491 individuos/ha según el estrato y las categorías diamétricas siguieron una distribución de "J" invertida en las tres zonas altitudinales. Entre el 70-77 % de los árboles poseían diámetros entre 10 y 39,9 cm, lo que sugiere condiciones óptimas de reclutamiento. Los índices de diversidad de Shannon fueron mayores a 3,13 y la equidad fue alta según el índice de Pielou (mayor a 0,81). No obstante las zonas baja y media sugirieron mayor perturbación y menor sustentabilidad debido a proporciones altas de especies heliófitas efímeras y anemócoras encontradas. Asimismo el promedio de cobertura del dosel fue relativamente óptimo en la zona alta (87 %) y moderado en los estratos medio y bajo (entre 59-72 %). Estos últimos poseen prioridad de restauración y se recomiendan estrategias como el enriquecimiento en zonas boscosas para fortalecer su sustentabilidad.

Palabras clave: Biodiversidad, estructura de bosque, diversidad funcional, regeneración natural, ecosistema interurbano, Heredia, Costa Rica.

Referencias

Barrientos, Z. y Monje-Nájera, J. (2010). Restauración ecológica en la Meseta Central de Costa Rica. *Biocenosis*, 23: 20-25.

Bocanegra-González, K. T., Fernández-Méndez, F. y Galvis-Jiménez, J. (2015). Grupos funcionales de árboles en bosques secundarios de la región Bajo Calima

(Buenaventura, Colombia). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.* 19: 17-40.

Calvo, G. y Mora, J. (2012). Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el índice Holandés. *Tecnología en Marcha*, 25: 37-44.

Cascante-Marín, A. y Estrada-Chavarría, A. (2012). Diversidad y composición del fragmento más importante de bosque premontano del Valle Central de Costa Rica. *Brenesia*, 77: 57-70.

Ceccon, E. (2014). Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Ciudad de México, México: Ediciones Díaz de Santos

Chará J., L. Giraldo, A. Chará-Serna, G. Pedraza y J. Camargo. 2011. Beneficios ambientales y sociales de los corredores ribereños. Serie microcuencas de montaña. Valle del Cauca, Colombia: Fundación CIPAV

Chaverri, A., Zamora, N., Aguilar, V. y Gutiérrez, J. (1998). Regeneración natural de especies nativas latifoliadas y de ciprés (*Cupressus lusitanica*) bajo una plantación de ciprés en San José de la Montaña, Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 22(1): 7-17.

Clarke, K. R. y Warwick, R. M. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Second Edition. Plymouth, United Kingdom: PRIMER-E Ltd.

Curtis, J. T., y McIntosh, R. P. (1950). The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Ecology*, 31(3), 434-455.

Di Stéfano, J. F., Nielsen, V., Hoomans, J. y Fournier, L. A. (1996). Regeneración de la vegetación arbórea en una pequeña reserva forestal urbana del nivel premontano húmedo, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44(2 A): 575-580

Feoli, S. (2013). Corredor Biológico Interurbano del Río Torres y corredores biológicos en general. *Ambientico*, 232-233: 51-55.

Fernández, J., Souza, A. y Tanaka, M. (2014). Can the structure of a riparian forest remnant influence stream water quality? A tropical case study. *Hidrobiología*, 724: 175-185.

Folke, C., Carpenter, S. B., Walker, M., Scheffer, T., Elmqvist, L., Gunderson, L. y Holling, C. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 35: 557-581.

Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C. y Zamora, N. (2003). *Manual of Plants of Costa Rica*. Missouri, United States of America. Missouri Botanical Garden Press

Hammer, O., Harper, D.A.T. y Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

Howe, H.F. y Smallwood, J. (1982). Ecology of seed dispersal. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13: 201-228

ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). (2014). Atlas de Costa Rica 2014 (CD-ROM). Cartago, Costa Rica, ITCR 1 CD-ROM.

Lambert, A. M., Dudley, T. L. y Saltonstall, K. (2010). Ecology and

- impacts of the large-statured invasive grasses *Arundo donax* and *Phragmites australis* in North America. *Invasive Plant Science and Management*, 3(4): 489-494.
- Leandro, H., Coto, J. y Salgado, V. (2010). Calidad del agua de los ríos de la Microcuenca IV del río Virilla. *Uniciencia*, 24: 69-74.
- Lozano-Zambrano, F. H. (ed). (2009). *Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales*. Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- Maglianesi, M. (2010). Caracterización de la comunidad vegetal en áreas de bosque nativo y plantaciones de coníferas en la Reserva Forestal Grecia (Alajuela, Costa Rica). *Cuadernos de Investigación UNED*, 2(2): 245-253.
- Metzger, J. P. (2000). Tree functional group richness and landscape structure in a Brazilian tropical fragmented landscape. *Ecological applications*, 10(4): 1147-1161.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis de ecología vegetal*. Santa Cruz, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR).
- Olivier, C. y Larson, B. C. (1990). *Forest stand dynamics*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Orozco Vilchez, L. (1991). Estudio ecológico y de estructura horizontal de seis comunidades boscosas en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales. Publicación No. 2. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba.
- Ortega-Rivera, M. y Vilchez-Alvarado, B. (2013). Ecología del paisaje y caracterización de la cobertura forestal de la microcuenca del Río La Balsa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 10(25), 13-25.
- Pütz, S., Groeneveld, J., Alves, L., Metzger, J. y Huth, A. (2011). Fragmentation drives tropical forest fragments to early successional states: a modelling study for Brazilian Atlantic forests. *Ecological Modelling*, 222(12): 1986-1997.
- QGIS Development Team, (2009). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Rojas-Rodríguez, F., Canessa, R., y Ramírez, J. (2012). Cafetales arbolados. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2(4), 101-106.
- Ruschel, A., Mantovani, M., Sedrez, M. y Onofre, R. (2009). Caracterização e dinâmica de duas fases sucessionais em floresta secundária da Mata Atlântica. *Revista Arvor*, 33(1): 101-115.
- Sandor, M. E. (2012). *Forest regeneration on the Osa Peninsula, Costa Rica*. (Tesis de Maestría). University of Connecticut. Connecticut, United States of America.
- Sánchez-Azofeifa, G. A., Harris, R. C. y Skole, D. L. (2001). Deforestation in Costa Rica: a quantitative analysis using remote sensing imagery. *Biotropica*, 33: 378-384.
- Villalobos, R. (2013). *Rehabilitación forestal de la zona de protección de la microcuenca del río Pirro, Heredia, Costa Rica* (Tesis de Licenciatura). Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, F.H., Ospina, M. y Umaña, A.M. (2006). *Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Villavicencio, D. (2012). *Análisis Silvicultural, estudio del grado de fragmentación y propuesta de ordenamiento territorial para los bosques de la cuenca media del río Aranjuez, Costa Rica* (Tesis de licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Wattenberg, I., y Breckle, S. W. (1995). Tree species diversity of a premontane rain forest in the Cordillera de Tilaran, Costa Rica. *Ecotropica*, 1(1): 21-30.