

Estructura y composición florística del bosque nuboso de la Isla del Coco

Structure and floristic composition of the cloud forest of Isla del Coco National Park

Michael Antonio Porras-Jiménez¹
Luis Guillermo Acosta-Vargas²
Marvin Castillo-Ugalde³
Ruperto Quesada-Monge⁴

Fecha de recepción: 16 de octubre del 2013
Fecha de aprobación: 15 de diciembre del 2013

Porras-Jiménez, M; Acosta-Vargas, L; Castillo-Ugalde, M; Quesada-Monge, R. Estructura y composición florística del bosque nuboso de la Isla de Coco. *Tecnología en Marcha*. VI Encuentro de Investigación y Extensión. Pág 22-36.

- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: mapjcr82@gmail.com.
- 2 Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: lacosta@itcr.ac.cr.
- 3 Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: mcastillo@itcr.ac.cr.
- 4 Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: rquesada@itcr.ac.cr.

Palabras clave

Isla del Coco; área basal; endemismo; bosque nuboso; cambio climático.

Resumen

En el Parque Nacional Isla del Coco (Costa Rica) durante el 2012, se establecieron 6 Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) de 2500 m² cercanas a los Cerros Yglesias y Pelón (630 y 560 msnm, respectivamente) con el de caracterizar la estructura y composición florística de este bosque; donde por las condiciones de humedad y nubosidad favorecen un tipo de asociación vegetal considerada como el bosque nuboso a más baja altitud del mundo, entre 300 y 630 msnm. Se midieron todos los individuos con dap > 5 cm, además de su altura total, posición de copa, forma de copa y lianas.

Se encontraron 16 especies botánicas, seis de éstas, endémicas. La diversidad de especies respecto a la estructura vertical, disminuye de 14 en el dosel inferior; a 5 en el dosel superior. *Sacoglottis holdridgei*, es la única especie con distribución vertical y horizontal continua. La abundancia es de 1653±362 árboles/ha; con alta densidad de *Cyathea alfonisiana* (1202 árboles/ha) en la primera categoría diamétrica. El área basal es de 21,53±2.01 m²/ha, 23% corresponden a *C. alfonisiana*, y 62,5% a *S. holdridgei*. Tanto los índices de valor de importancia de algunas especies, como los índices de diversidad presentan diferencias significativas respecto a la altitud.

El comportamiento de las especies, la altitud, y las condiciones climáticas del sitio, permiten valorar la dinámica estructural y la composición de estas poblaciones como un indicador de los efectos del cambio climático.

Key words

Cocos Island; basal area; endemism; cloud forest; climate change.

Abstract

In Isla del Coco National Park (also known as Cocos Island), on 2012, six Permanent Sample Plots of 2500 m² were established, near to Cerro Yglesias (630 mosl) and Cerro Pelón (560 mosl), with the aim to characterize the structure and floristic composition of this forest; where humidity and cloudiness developed a type of plant association, considered the cloud forest at lowest altitude in the world, between 300 and 630 musl. All plants with a DBH > 5 cm were measured. Also total height, crown position, crown shaped and lianas were recorded.

Sixteen plant species were found, six of them are endemic. Species diversity decreases in the vertical structure, from 14 species in the lower canopy to five in the canopy. *Sacoglottis holdridgei* is the only species with a continuous horizontal and vertical distribution. The abundance is 1653±362 tree/ha. *Cyathea alfonisiana* reported the highest abundance of 1202 tree/ha in the first diameter class. The basal area is 21,53±2.01 m²/ha, 23 % correspond to *C. alfonisiana*, and 62,5 % to *S. holdridgei*. The altitude analysis showed significant differences in the importance value index of some species and, the diversity indices.

The pattern of the species, altitude, and climatic conditions of the site, allow estimation of the structural dynamics and composition of these populations as an indicator of climate change effects.

Introducción

La Isla del Coco es una isla oceánica de 24 km², de origen volcánico, con una edad geológica de 2 millones de años. Se ubica en el Pacífico Este Tropical, a 496 km al suroeste de Cabo Blanco, Puntarenas, Costa Rica. Forma parte del territorio costarricense desde el año 1869 (Bolívar; Rovinski & WO, 2000). A partir del año 1978 ingresa al manejo del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). Posee el reconocimiento internacional como patrimonio de la humanidad (MCJD, 2007). Es considerada como un excelente laboratorio natural para el estudio de la evolución de las especies, y, actualmente, genera importantes aportes al país, pues conforma un importante atractivo turístico. Además, esta área protegida se enfrenta a diversas amenazas sobre sus ecosistemas, que van desde la pesca ilegal hasta la sobrepoblación de especies introducidas y el cambio climático (Madriz, 2009).

Los primeros estudios científicos en Isla del Coco datan de 1892 por parte de Anastasio Alfaro y Henry Pittier, quienes por primera vez recomiendan "proteger la valiosa naturaleza de la Isla del Coco". Desde entonces, ha habido expediciones científicas, intentos de colonización, una colonia penal, expediciones de búsquedas de tesoros e intentos similares de mantener una presencia humana en Isla del Coco. Todos los intentos de colonización han fracasado (Bolívar et al., 2000). Dejando áreas deforestadas cambios de cobertura y otras alteraciones al ecosistema insular, acentuados en las bahías Chatham y Wafer donde, actualmente, se desarrollan las actividades de manejo y la infraestructura de servicios del parque, oficinas, talleres de mantenimiento y habitaciones de funcionarios y colaboradores.

Recientes investigaciones botánicas describen dos principales comunidades vegetales: bosque pluvial premontano y bosque nuboso (Rivera, 2006). Sin embargo, Trusty, Kesler, Haug & Delgado (2006) proponen siete tipos de comunidades vegetales para la isla: orillas de acantilados costeros, bosques de bahía, vegetación riparia, bosque muy húmedo de baja altitud, bosque nublado de altura, vegetación de derrumbes y vegetación de islotes.

La investigación biológica en Isla del Coco ha tenido mayor desarrollo en la parte marina como prioridad

funcional. Sin embargo, en la coyuntura actual ante el cambio climático, la descripción, caracterización y monitoreo de las comunidades vegetales, conforma una herramienta de manejo importante para la administración de esta área protegida. En ese camino, en el 2006 se caracterizó el bosque pluvial premontano en la parte baja de la isla, utilizando Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) (Rivera, 2006); mientras que, para el 2008, Zamora (2008) caracterizó los bosques de bahía en Chatham y Wafer, mediante transeptos temporales.

Este estudio tiene el objetivo de caracterizar la estructura y composición florística del bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica.

Metodología

Área de estudio

La Isla del Coco se ubica entre 5°30'-5°34'N y 87°01'-87°06'W a 500 km al suroeste de Costa Rica (Cortés, 2008). El bosque nuboso de la Isla del Coco se ubica en los alrededores de los cerros Yglesias y Pelón (630 y 560 msnm) entre 300 y 630 msnm, y abarca un área cercana a 468,50 ha.

El clima de la isla es tropical per-húmedo, determinado por un valor promedio de precipitación anual de 7000 mm y una temperatura promedio anual de 27 °C. Toda la cobertura de la isla corresponde a bosque pluvial premontano, según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdrige (1987).

Muestreo

Se utilizó el mapa base del bosque nuboso con un área correspondiente al 20% de la isla y cuyo límite se definió sobre la curva de nivel 300 metros sobre el nivel del mar (msnm). Como línea guía del muestreo se utilizó el sendero existente a Cerro Yglesias, sistemáticamente se definieron dos pisos de altura cada 150 msnm dentro del área considerada como bosque nuboso definiéndose así, los pisos altitudinales entre los 300-450 msnm y 450-600 msnm, utilizados para posteriores análisis. En cada piso altitudinal se seleccionando aleatoriamente tres puntos de muestreo. Se establecieron seis PPM de 2500 m² (50 x 50 m) según protocolo de Sánchez (en prensa). Por la topografía no se utilizó el tamaño de PPM sugerido por Sánchez (en prensa). La Figura

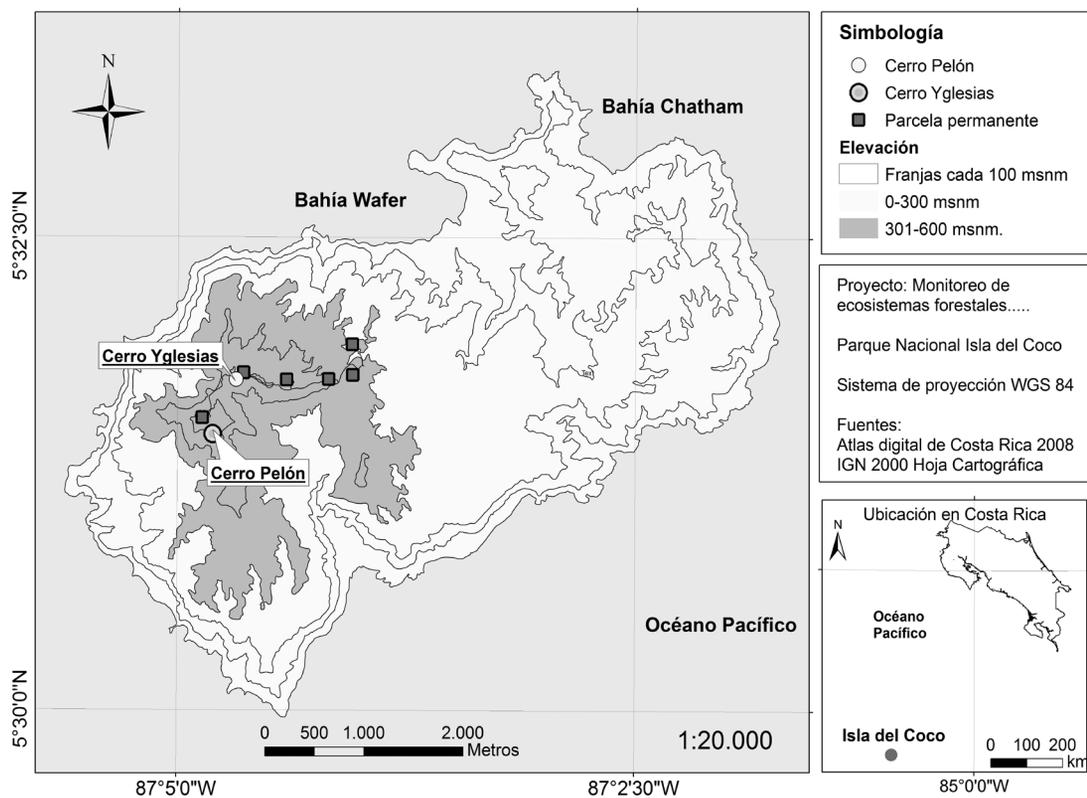


Figura 1. Mapa de distribución de las PPM en el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco. Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

El mapa muestra la distribución de las PPM en el área de bosque nuboso (Atlas, 2008; IGN, 2000).

Recolección de datos

El trabajo de campo se desarrolló entre los meses de febrero y julio de 2012. En cada parcela se midieron todos los individuos con diámetro a la altura de pecho (dap) mayor o igual a 5 cm (medido a 1,30 m del suelo), se realizó la identificación taxonómica a nivel de familia, género y especie, se estimó la altura total y se clasificó la posición de copa, forma de copa y la presencia de lianas. Cada individuo fue marcado con placa de aluminio y pintura sobre la línea de medición (Sánchez, sin publicar).

Estructura

La estructura horizontal se describió en términos de valores promedio de área basal (G) y número de

individuos por especie (N) y por clase diamétrica, para cada unidad de muestreo y, en general, para todo el bosque. Se realizó el respectivo análisis de dominancia, frecuencia y abundancia de las especies. La estructura vertical se describió por medio del número de árboles y número de especies por clase de altura. Las clases de altura fueron identificadas por medio del análisis de conglomerados realizado en el paquete estadístico InfoStat-e (Di Rienzo et al., 2011) con base en los valores de abundancia de especies por altura y por clase diamétrica.

Composición florística

Se determinó el Índice de Valor de Importancia (IVI) de Curtis y McIntoch (citado en Lamprecht, 1990), para cada especie por parcela. Con base en los parámetros relativos de abundancia dominancia y frecuencia. Se evaluó la diversidad de especies por medio de índices basados en la riqueza de especies

y distribución espacial de individuos (Shanon-Winer, inverso de Simpson, Alpha-Fisher y Margalef), para el cálculo de los índices de diversidad, se utilizó el programa PAST versión 2.09 (Hamer, Harper y Ryan; 2001).

Análisis de datos

Con las variables estructurales y de composición obtenidas para todo el bosque se realizó un análisis de varianza, agrupando los índices de valor de importancia de las cinco especies con mayor peso ecológico y los índices de diversidad por parcela, en dos grupos altitudinales de 300 a 450 y de 450 a 600 msnm respectivamente. Se trabajó con la hipótesis de que no existen diferencias en estas variables a través de la gradiente altitudinal. Para dicho análisis, se utilizó el paquete estadístico InfoStat-e (Di Rienzo et al., 2011).

Resultados y discusión

Composición florística

Se encontró un total de 11 familias botánicas 14 géneros y 16 especies. Cinco de estas son endémicas de Isla del Coco, para un 31,25% de endemismo, cifra que se explica por las condiciones únicas de humedad que presenta este bosque y la lejanía e insularidad a 500 km del punto más cercano al continente, en Cabo blanco, Puntarenas (Montoya, 2001). La cantidad de especies es baja en comparación directa con un bosque tropical continental. Por ejemplo: Centeno (2009) reporta 285 especies, para un bosque húmedo tropical en la región Huetaar. Mientras que en los bosques de la península de Osa Garro (2011) reporta 128 especies y la isla de Malpelo en Colombia cuenta con 33 especies (Informe Nacional 1996). Por lo que la cantidad de especies encontrada en este sitio es razonable ubicándose dentro de la disminución probable de la diversidad en islas de diferente tamaño y diferente lejanía del continente (MacArthur, 1967).

Castañeda *et al.* (2000) menciona en cuanto a la diversidad de los bosques tropicales, que la composición y diversidad presentes en un bosque, depende de la cantidad de especies que lo constituyan, así cuanto mayor sea el número de especies mayor será la diversidad; esta diversidad depende de factores como el clima, tipo de suelo, competencia intra e interespecífica, de la ocurrencia de claros dentro del

bosque y de la capacidad que tenga el bosque para recuperar estas áreas por otras especies invasoras o por el germoplasma disponible en el sitio. Además, estos autores recomiendan ponderar el número de especies en relación con el área de los sitios, para análisis comparativos de diversidad.

Ante las limitantes abióticas de los nichos en los que se han desarrollado las especies encontradas, la excepcionalidad de la Isla del Coco en comparación con otras islas del Pacífico este tropical, y la pequeña área que corresponde al bosque nuboso o, más aún, a la isla en general, este ecosistema posee gran diversidad de especies en relación con su área.

La cantidad de especies es similar a la encontrada en el bosque premontano de Isla del Coco por: Rivera (2006), quien reportó 15 especies. Sin embargo, algunas especies y géneros sólo se encontraron en la parte alta de la isla. Por ello, se les puede asociar al bosque nuboso, como *Schlegelia brachyantha*, *Myrsine pellucidopunctata* y *Hedyosmum racemosum*. Lo que, además, las hace vulnerables ante el cambio climático.

La mitad de especies encontradas se consideran esciófitas totales, lo cual sugiere que este ecosistema se encuentra en una sucesión tardía, donde las heliófitas efímeras ya no están presentes. Por otro lado, las heliófitas durables se encuentran en segundo lugar en cantidad de especies; mientras que se hallaron solamente tres especies en el grupo de las esciófitas parciales. El acceso restringido a esta zona, el lento metabolismo y la poca presencia de las especies de fauna introducidas en este sector de la isla (Sierra, 2001; Howe y Westley, 1988), favorecen las condiciones óptimas para la proporción de especies por gremio ecológico y el bajo nivel de disturbio en este bosque.

El diferencial de variación de la cantidad de especies respecto al área muestreada tiende a estabilizarse cuando el área analizada supera los 10000 m², por lo que la probabilidad de encontrar una especie nueva en este bosque es baja y el muestreo es representativo (figura 2).

Estructura horizontal

Se contabilizaron 2479 individuos de especies arborescentes, arbustivas, lianas, palmas y helechos arborescentes con dap \geq 5 cm en las seis PPM. Los helechos arborescentes se agrupan en más de un 95% en las tres primeras categorías diamétricas y

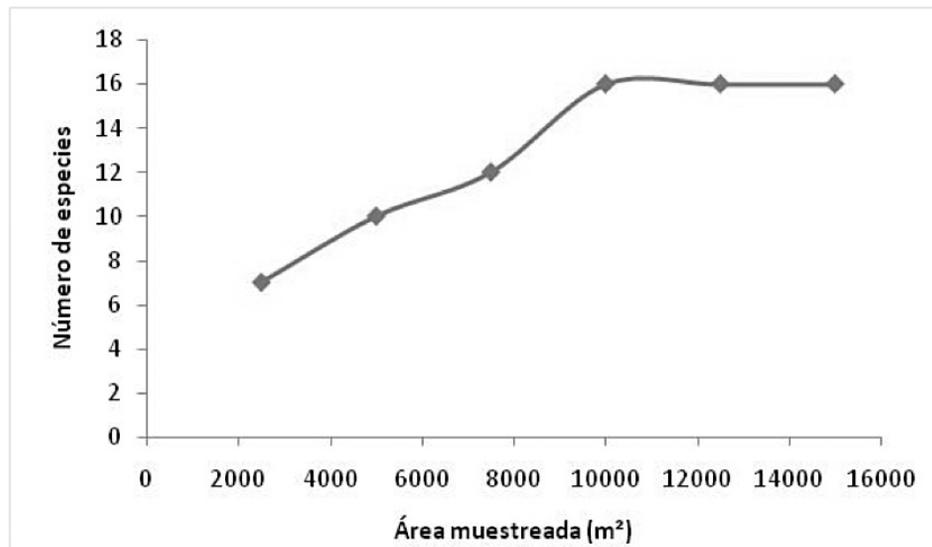


Figura 2. Curva de relación especie área para el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco. Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

presentan una distribución del tipo “J” invertida, asociada a bosques discetaneos.

El modelo de “J” invertida, donde hay concentración de individuos en las clases diamétricas menores, se da en respuesta a procesos de competencia y adaptación de las especies a las condiciones lumínicas y ambientales del bosque, así como por el porte de las especies presentes, pues muy pocas alcanzan grandes tamaños (figura 3).

En promedio, se reportan 1653 ± 362 ($S=345,25$; $n=6$) individuos por hectárea para toda la muestra. Sin embargo, al excluir las especies no leñosas (helechos arborescentes), ese dato pasa a 477 ± 261 ($S=248,97$; $n=6$) árboles por hectárea.

En bosques húmedos tropicales se reportan abundancias entre 389 y 475 individuos por hectárea (Lamprecht, 1990) con $dap \geq 10$ cm. Para bosques pluviales de Colombia se reportan 571 individuos por hectárea con $dap \geq 10$ cm (Yockteng y Cavelier, 1999). La densidad de individuos en el bosque primario de la Isla del Coco puede verse alta, al tomar en cuenta todos los individuos. Sin embargo, al analizar por aparte las especies leñosas (árboles, arbustos, lianas y palmas), se reporta una baja densidad, sobre todo al tratarse de un muestreo para $dap \geq 5$ cm. La abundancia en una parcela de una hectárea en el bosque primario de la Estación Biológica Sirena, del Parque Nacional Corcovado en

Costa Rica fue de 808 árboles/ha, para $dap \geq 5$ cm (Castillo, M; Quesada, R. 2004), valor que casi duplica el de Isla del Coco, lo cual deja ver que la abundancia de especies leñosos en el bosque nuboso de Isla del Coco es baja, lo cual es explicable en términos del aislamiento y a procesos de evolución adaptación de las especies en Isla del Coco.

Cabe resaltar que el análisis a partir del diámetro mínimo de medición ($dap \geq 5$ cm, se ha podido obtener una mejor imagen del comportamiento de la curva de distribución según categorías diamétricas ya que, al bajar el diámetro de medición, se incluye una sección de la población que normalmente no se cuantifica, y que aporta más de 50% de masa. Por otro lado, se puede conocer mejor el comportamiento de la variable diámetro en el sentido de una distribución horizontal de la población (Louman, Quirós y Nilsson, 2001).

En el bosque nuboso, la única especie que presenta una distribución diamétrica continua es *Sacoglottis holdridgei* que se encuentra bien distribuida y se ajusta al modelo de “J” invertida, sin embargo, la disminución de individuos en algunas categorías sugiere un faltante de regeneración para esta especie. Para especies como *Ocotea insularis* y *Euterpe precatória*, se reportan para diámetros de 35 o 45 cm lo que confirma el hábito general para dichas especies, que se ubican y desarrollan plenamente en ese estrato. Las 13 especies restantes se encuentran

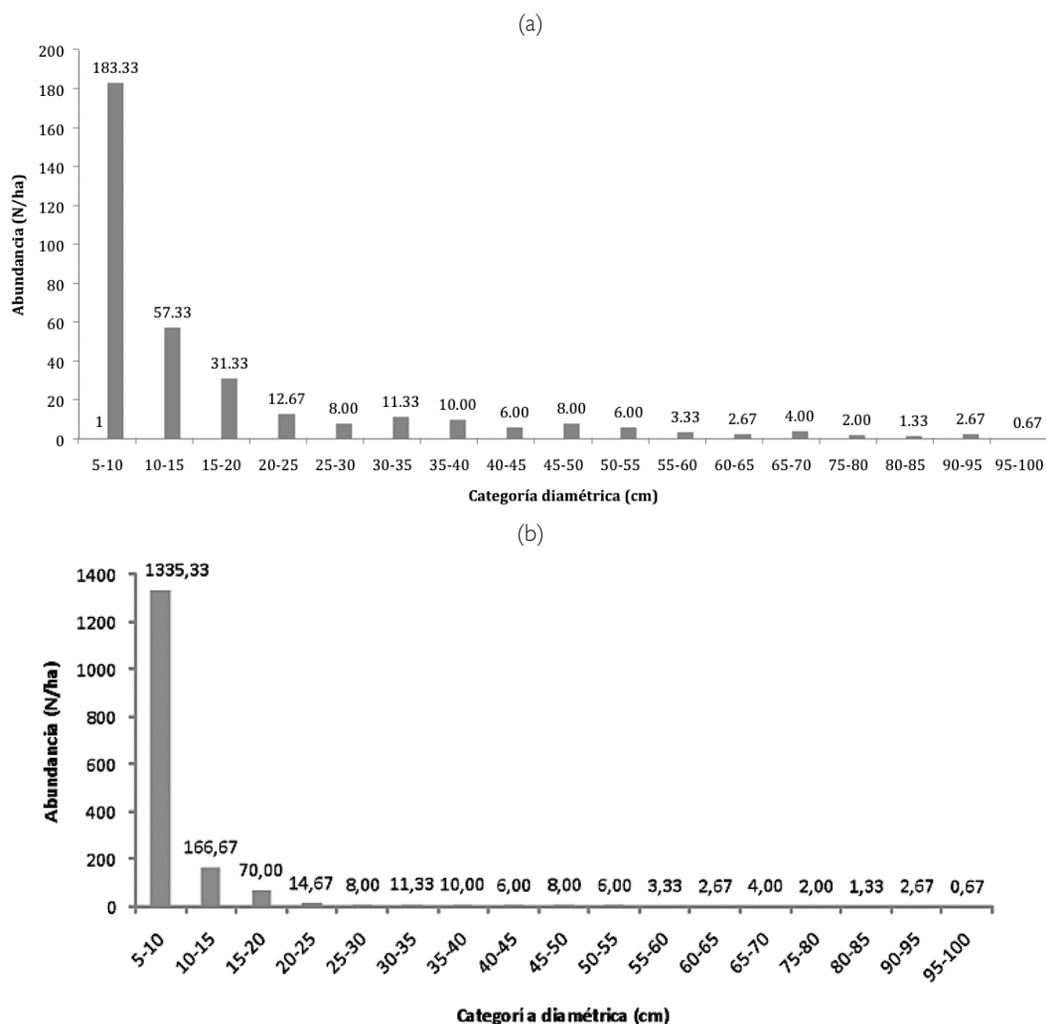


Figura 3. Distribución diamétrica del número de individuos (a) solamente especies leñosas, (b) todas las especies, para el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco, Océano Pacífico, Costa Rica. 2012.

en la primera categoría de clase diamétrica (5-10 cm), o a lo sumo, llegan a la segunda o tercera categoría, como el caso particular de la especie *Myrsine pellucidopunctata*, que se encuentra en la primera y tercera categoría, y ausente en la segunda. La cantidad de especies disminuye significativamente respecto al aumento en diámetro, encontrándose 6 especies en la segunda categoría (10-15 cm), 4 en la tercera (15-20 cm), 2 en la cuarta (20-25 cm) y una sola especie (*Sacoglottis holdridgei*) a partir de la categoría de entre 45 y 50 cm.

La distribución del área basal del bosque nuboso por clases diamétricas, que ilustra el comportamiento de la dominancia en las diferentes agrupaciones de diámetro, mostró que al igual que en el caso de

la abundancia, la especie *Cyathea alfonisiana* genera grandes aportes al área basal en la primera clase diamétrica (Figura 4); lo que ilustra el grado de importancia que esta especie tiene en este ecosistema, a pesar de su pequeño tamaño, la densidad en la que está presente la torna una especie indicadora muy importante en el estrato inferior. El resto de las especies generan un área basal que se comporta de manera casi normal a lo largo de las categorías diamétricas con el pico más alto en la categoría, entre 45 y 55 cm, con aportes mayoritarios de la especie *S. holdridgei*.

Para toda la muestra se reporta un área basal de 32,30 m², para un promedio por hectárea para el bosque nuboso de 21,53±2.07 m² (S=2,59; n=6). El

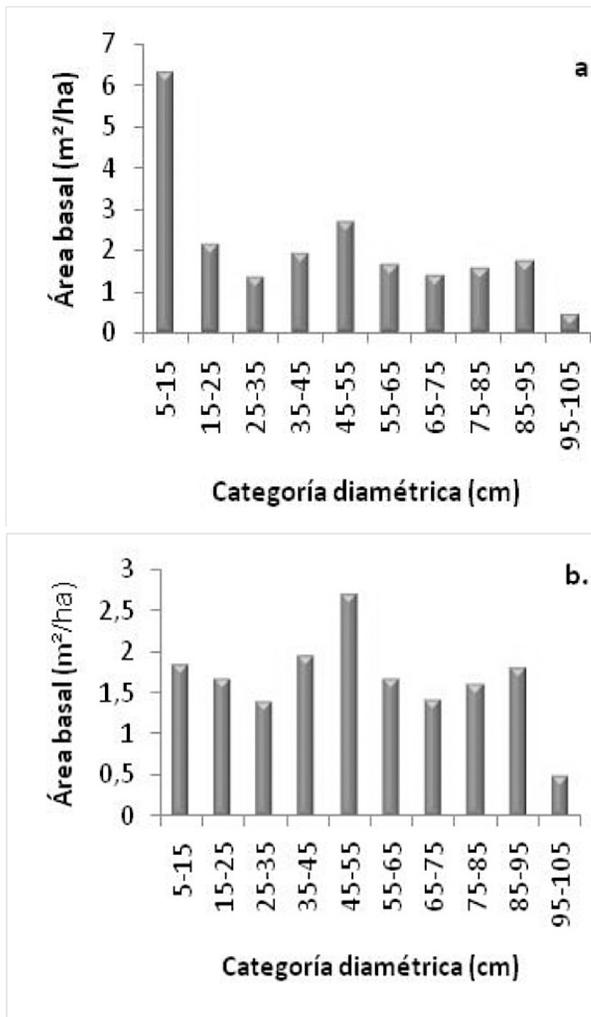


Figura 4. Distribución diamétrica del área basal de todas las especies (a), solamente leñosas (b), para el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco. Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

área basal se concentra en la primera clase diamétrica y representa un 29% del total. En el caso del análisis de área basal, para las especies leñosas, se reportan 24,76 m² para toda la muestra, para un promedio por hectárea de 16,53±2,85 m² (S=3,57; n=6). En este caso la concentración de área basal se da en la categoría entre 45 y 55 cm con un 16,28% del total. Además, las especies que más aportan área basal corresponden a *S. holdridgei* y *O. insularis*. *C. alfonsiana*, en ese orden, las cuales contribuyen con el 96,55% de la totalidad de la variable. Esto resalta el papel de estas especies en el comportamiento del bosque.

Valores de área basal en diferentes estudios citados por Lamprecht (1990), reporta en los bosques primarios tropicales hasta 32,6 m²/ha, para bosques en Carere, Colombia de hasta 28,1 m²/ha. y en África, entre 23 y 37 m²/ha-1 para dap ≥ 10 cm. Por ello, en esa comparación el área basal del bosque nuboso de la Isla del Coco (21,53 m²/ha) presenta un valor bajo para dicha variable. ,

En cuanto a la frecuencia de las especies el análisis de esta variable permite obtener una imagen de la homogeneidad de la muestra (Camacho, 2000) que, en este caso, indica que el bosque nuboso a pesar de contar con pocas especies, no se puede considerar homogéneo en términos generales pues las especies presentes cuentan con frecuencias ubicadas en las dos primeras categorías. Esto implica que ninguna especie supera el 40% de frecuencia, y el bosque posee una buena proporción de mezcla (Guariguata y Kattan, 2002) en la clase I se ubicaron 10 especies equivalentes al 62,5%; mientras el restante 37,5% de las especies se ubicaron en la clase de frecuencia II con un total de 6 especies.

En el cuadro 2, se presenta el resumen de los datos de abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia (IVI), para todas las especies presentes en el bosque nuboso en términos relativos y absolutos.

El peso ecológico en este bosque recae sobre la especie *C. alfonsiana*, cuyo IVI se ve influenciado, en mayor medida, por los valores de abundancia, siendo dominante en el dosel inferior, donde aprovecha el nicho creado bajo la sobra de *S. holdridgei* y favorecida por la alta nubosidad del sitio. A pesar de que *S. holdridgei* se encuentra en segundo lugar de acuerdo con el IVI, no se puede negar su rol en el bosque, pues es el principal responsable de cerrar el dosel superior y retener humedad bajo sus copas, lo que tiene relación directa con la capacidad de sobrevivencia de *C. alfonsiana*.

Por otro lado, el hecho de que la especie dominante en este sitio sea una especie endémica y además caracterizada como especie esciófita total, es un indicador de que el estadio sucesional en este sitio, corresponde a una asociación tardía en la que los individuos han alcanzado su máximo desarrollo y han logrado utilizar al máximo la capacidad del sitio.

Cuadro 1. Abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia de las especies presentes en el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco, Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

Familia	Especie	Gremio ecológico	Hábito	Procedencia
Arecaceae	<i>Euterpe precatoria</i> var. <i>longevaginata</i> (Mart.) An. He	ET	P	N
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum racemosum</i> (Ruiz y Pav.) G. Don	ET	Ar	N
Cyatheaceae	<i>Cyathea alfonisiana</i> L.D. Gómez	ET	HA	E
Humiriaceae	<i>Sacoglottis holdridgei</i> Cuatrec.	ET	A	E
Lauraceae	<i>Ocotea insularis</i> (Meisn.) Mez	EP	A	N
Marcgraviaceae	<i>Marcgravia waferi</i> Standl.	ET	L	E
Melastomateaceae	<i>Conostegia lasiopoda</i> Benth.	HD	Ar	N
Melastomateaceae	<i>Henriettella fascicularis</i> (Sw.) C. Wright	HD	Ar	N
Melastomateaceae	<i>Henriettella adorata</i> Markgr.	HD	Ar	N
Melastomateaceae	<i>Miconia dodecandra</i> Cogn.	HD	Ar	N
Melastomateaceae	<i>Miconia diegogomezzi</i> Kriebel & Almeda	HD	Ar	E
Myrcinaceae	<i>Ardisia cuspidata</i> Benth.	ET	Ar	E
Myrcinaceae	<i>Myrsine pellucidopunctata</i> Oerst.	EP	A	N
Myrtaceae	<i>Eugenia pacifica</i> Benth.	EP	Ar	E
Rubiaceae	Rubiaceae	ET	Ar	N
Schlegeliaceae	<i>Schlegelia brachyantha</i>	ET	L	N

ET: esciófita total; EP: esciófita parcial; HD: heliófita durable; P: palma; Ar: arbusto; A: árbol; L: liana; HA: Helecho arborescente; E: endémico; N: nativa.

Cuadro 1. Abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia de las especies presentes en el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco, Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

Especie	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI
	ABS	%	ABS	%	ABS	%	
<i>Cyathea alfonisiana</i> Gómez	1811	73,05	7,51	23,24	25	10,46	106,76
<i>Sacoglottis holdridgei</i> Cuatrec.	157	6,33	20,17	62,43	25	10,46	79,22
<i>Henriettella fascicularis</i> (Sw.) C. Wright	120	4,84	0,83	2,58	23	9,62	17,04
<i>Euterpe precatoria</i> var. <i>longevaginata</i> (Mart.)	72	2,90	1,04	3,21	24	10,04	16,16
<i>Ocotea insularis</i> (Meisn.) Mez	63	2,54	1,24	3,84	23	9,62	16,00
<i>Marcgravia waferi</i> Standl.	66	2,66	0,32	0,98	21	8,79	12,43
<i>Miconia</i> sp.	34	1,37	0,45	1,40	17	7,11	9,88
<i>Rustia occidentalis</i> Benth.	33	1,33	0,15	0,47	15	6,28	8,08
<i>Miconia dodecandra</i> Cogn.	30	1,21	0,15	0,47	12	5,02	6,70
<i>Ardisia cuspidata</i> Benth.	24	0,97	0,09	0,28	12	5,02	6,27
<i>Henriettella adorata</i> Markgr.	13	0,52	0,08	0,25	9	3,77	4,54
<i>Myrsine pellucidopunctata</i> Oerst.	12	0,48	0,11	0,35	8	3,35	4,18
<i>Conostegia lasiopoda</i> Benth.	15	0,61	0,05	0,15	8	3,35	4,10
<i>Hedyosmum racemosum</i> (Ruiz y Pav.)	13	0,52	0,05	0,17	8	3,35	4,04
<i>Eugenia pacifica</i> Benth.	12	0,48	0,05	0,16	6	2,51	3,16
<i>Schlegelia brachyantha</i>	4	0,16	0,01	0,03	3	1,26	1,45
TOTAL	2479	100,00	32,31	100,00	239	100,00	300,00

ABS: absoluta

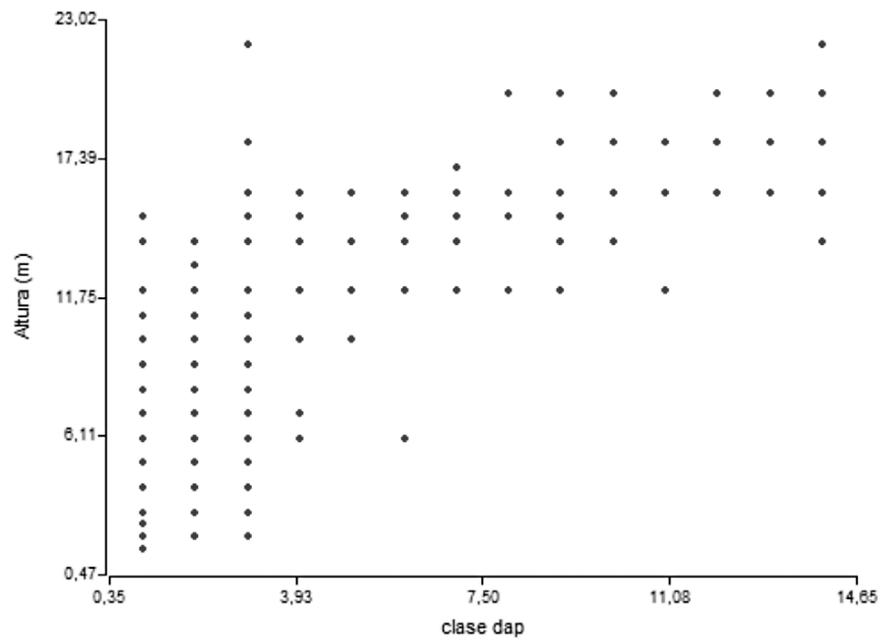


Figura 5. Diagrama de dispersión del número de individuos por especie y clase diamétrica en relación con la altura, para el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco. Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

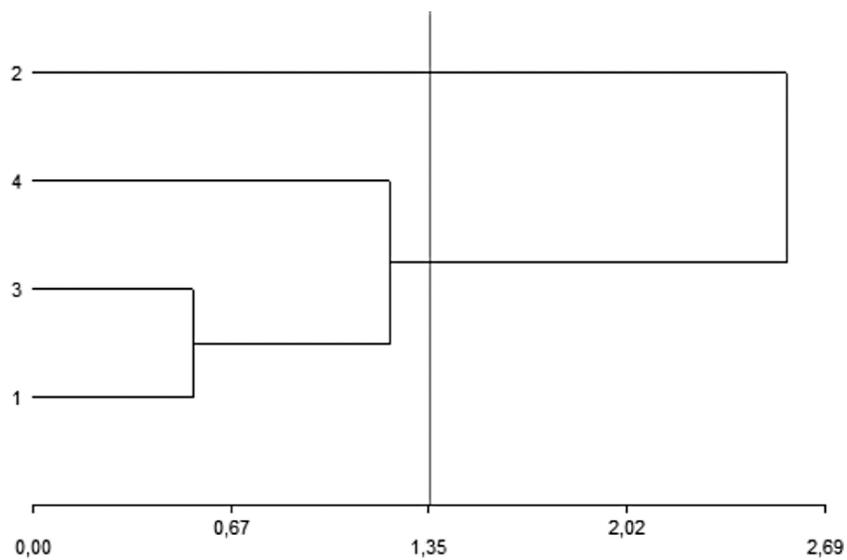


Figura 6. Diagrama de conglomerados de especie por clase de altura y diámetro, para el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco. Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

Cuadro 3. Altura, diámetro y número de especies por conglomerado de altura en el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco, Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

Grupo del análisis de conglomerado	Altura*	Diámetro	Especies
4	9,61 a	13,47	2
3	5,98 b	8,67	7
2	13,37 c	34,00	1
1	3,77 d	6,79	4

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Estructura vertical

El mayor número de individuos está presente en el estrato bajo del bosque nuboso y que disminuye drásticamente al pasar al estrato medio. La diferencia entre la cantidad de individuos en los estratos bajo y medio se observa también a nivel de especies presentes en cada estrato pasando de 14 especies en el estrato bajo a tan solo 5 en el estrato alto o dosel.

Se observó, además, poca regeneración de *S. holdridgei*. Por otro lado, la variación en el número de especies entre el estrato medio y alto es mucho menor, esto por la buena densidad que presenta el

estrato alto sobre todo con las especies *S. holdridgei*, *O. insularis* y *Euterpe precatoria*. La única especie que cuenta con una distribución vertical continua es *S. holdridgei*.

Analizando en un diagrama de dispersión de diámetro vs altura, es posible agrupar las especies presentes en torno a la altura en tres estratos (figura 5). El primer estrato, formado por las especies que se ubican en las primeras tres categorías diamétricas y que alcanzan hasta 11.75 m en promedio. El segundo estrato un poco más disperso de especies ubicadas mayoritariamente en las categorías diamétricas de entre 30 y 50 cm, con alturas que van desde los 11.75 hasta los 17.5 m y, un tercer estrato, con un pequeño grupo de especies que, en su mayoría, pertenecen a las clases diamétricas altas y que alcanzan hasta 24 m de altura. Sin embargo, los grupos de especies que forman cada estrato no están totalmente definidos y presentan excepciones como especies que tienen diámetros pequeños pero alturas mayores a 17 m, así como especies que presentan diámetros de tamaño medio aunque están por debajo de 11 m de altura.

Por medio del análisis de conglomerados (figura 6) se identifican dos estratos de altura y, cuyo límite se encuentra alrededor de los 17 m.

Las especies presentes tienden a formar cuatro estratos en relación con las alturas promedio y los diámetros promedio de cada especie. Estos estratos se forman por los distintos requerimientos lumíni-

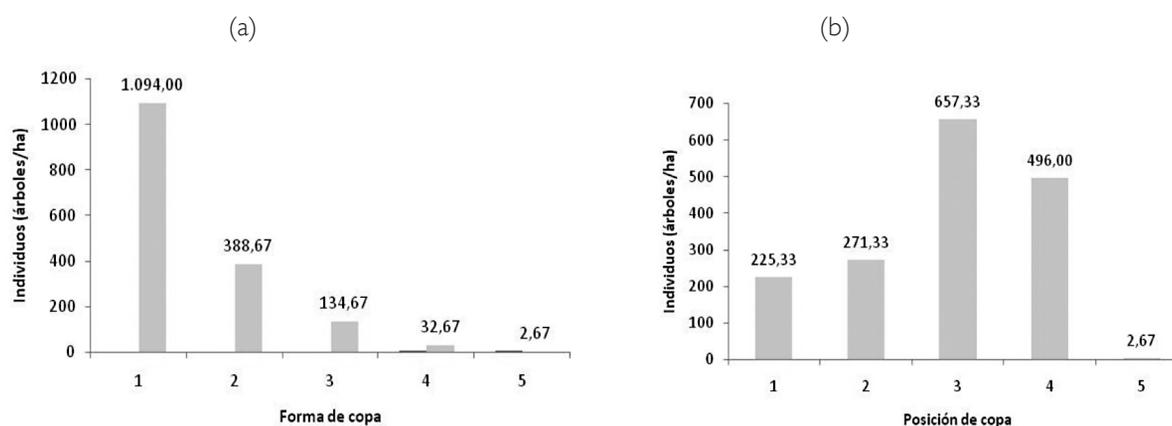


Figura 6. Distribución del número de individuos por posición de copa y forma de copa para el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco, Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

cos de las especies que los conforman, donde las especies de mayor tamaño que ocupan el estrato alto necesitan estar expuestas a la luz para captar la mayor cantidad de energía posible por medio de sus copas; las especies de menor tamaño ubicadas en el piso inferior; por el contrario, no requieren de altas cantidades para cubrir sus necesidades lumínicas.

La variabilidad de altura para cada especie es alta; sin embargo, los grupos formados en el análisis de conglomerados presentan diferencias significativas ($F=115,23$; $p=0,0001$; $n=14$) (cuadro 3).

De acuerdo al análisis de conglomerados, el primer estrato (Grupo 1) más bajo del dosel presenta 3,7 m de altura, diámetro promedio de 6,79 cm y lo conforman *Cyathea alfonisiana*, *Ardisia cuspidata*, *Conostegia lasiopoda* y *Rubiaceae*. El segundo estrato agrupa especies con una altura promedio de 5,9 m y diámetro promedio de 8,67 cm y lo constituyen las especies *Eugenia pacifica*, *Hedyosmum racemosum*, *Henriettella fascicularis*, *Henriettella odorata*, *Miconia dodecandra*, *Miconia diegogomezii* y *Myrsine pellucidopunctata*. Un tercer estrato con una altura promedio de 9,6 m y diámetro promedio de 13,4 cm ocupado por *E. precatoria* y *O. insularis*.

El cuarto estrato con altura promedio de 13.5 m y diámetro promedio de 34 cm se encuentra solitaria la especie *S. holdridgei*.

La altura reportada en este bosque tiende a ser en promedio menor que en el bosque pluvial (Porras, 2012), y los individuos con la mayor varianza en altura son los del estrato superior. Se observó un cambio en la altura de *S. holdridgei* que está relacionada con la posición en el terreno, así los individuos de cimas tienden a tener menor tamaño, mientras que los que se encuentran a media ladera o en pequeños valles presentan alturas mayores esto probablemente asociado a las condiciones de vientos.

En cuanto al análisis de la distribución de individuos según la posición de copa se observan valores bajos para las posiciones 1 y 2 y altos valores para la posición 3 y 4. En la categoría 5, se reportan pocos individuos (figura 7). El mayor número de individuos en la categoría 3 es atribuible al hecho de que la mayoría de individuos de la especie *C. alfonisiana* se encuentran en esa categoría de posición, bajo el dosel formado mayormente por *S. holdridgei*.

Con respecto a la forma de copa el 67% de los individuos se agrupan en la primera categoría, con

Cuadro 4. Promedio de Índices de valor de importancia de las cinco especies más representativas por piso altitudinal, en el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco. Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

Piso	Índices de Valor de Importancia*				
	<i>C. alfonisiana</i>	<i>S. holdridgei</i>	<i>H. fascicularis</i>	<i>E. precatoria</i>	<i>O. insularis</i>
1	96,37 a	87,38 a	29,86 a	12,17 a	22,34 a
2	152,36 b	89,51 a	0,00 a	14,74 a	4,01 a

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$). *Cyaalp* ($f=9,53$, $p=0,00367$, $n=6$), *Sachol* ($f=0,02$, $p=0,8872$, $n=6$), *henfas* ($f=26,03$, $p=0,0070$, $n=6$), *Eutpre* ($f=0,05$, $p=0,8266$, $n=6$), *Ocoins* ($f=4,86$, $p=0,092$, $n=6$).

Cuadro 5. Promedio de cuatro Índices de diversidad por piso altitudinal, en el bosque nuboso del Parque Nacional Isla del Coco. Océano Pacífico. Costa Rica. 2012.

Piso	Índices de diversidad biológica*			
	Shannon	Simpson	Alpha-Fisher	Margalef
1	1,52 a	0,63 a	2,44 a	1,91 a
2	0,68 b	0,28 b	1,53 b	1,26 b

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$). Shannon ($f=20,44$, $p=0,0107$, $n=6$), Simpson ($f=12,56$, $p=0,0239$, $n=6$), Alpha-Fisher ($f=35,84$, $p=0,0039$, $n=6$), Margalef ($f=27,98$, $p=0,0061$, $n=6$).

una marcada diferencia hacia las demás categorías siendo la más baja la forma de copa 5 con 2,67 árboles por hectárea (figura 7).

Las gráficas ilustran el grado de competitividad existente en el sitio por la escasa luz que llega a los estratos bajos a causa de un dosel cerrado y la nubosidad en el sitio. Lo que, a su vez puede evidenciar el bajo grado de disturbio presente en el bosque nuboso (Finegan, 1997). En términos generales la mayoría de individuos poseen copas con forma muy buena. Sobre todo al tomar en cuenta los helechos arborescentes pues estos no se ramifican ni se bifurcan, presentando casi siempre formas de copa de categoría I, especializadas en aprovechar la poca luz en sitios bajo sombra.

Variación en estructura y diversidad

El análisis de variabilidad, con base en los datos del índice de valor de importancia de cada especie y los índices de diversidad obtenidos, en torno a la agrupación de los sitios en dos pisos altitudinales (Piso 1: 300 a 450 msnm y Piso 2: 450 a 600 msnm), mostró diferencias significativas (cuadro 4).

La influencia de la altitud en las variables estructurales del bosque se evidencia por el aumento del peso ecológico para una especie como el caso de *C. alfonsiana* o por el contrario con la disminución de la importancia de *Henriettella fascicularis* conforme se aumenta la altitud. Sin embargo, para *S. holdridgei*, no presenta diferencias y su importancia en el ecosistema parece no cambiar respecto a la altitud. Por ello, se puede afirmar que, a medida que se aumenta en altitud, sucede un cambio en las especies acompañantes, hay un aumento de densidad de helechos arborescentes y una disminución de la presencia de especies leñosas sobre todo en los estratos bajos, cuyos espacios son aprovechados por grandes cantidades de helechos arborescentes que van sustituyendo a las melastomáceas de los pisos más bajos. Caso contrario, en el estrato superior no se hay diferencias significativas y los individuos conservan su IVI a través de la gradiente altitudinal como es el caso de *O. insularis*, *E. precatória* y *S. holdridgei*.

Es posible resumir la variabilidad de especies o composición florística del bosque por medio de los índices de diversidad (Acosta, 2012), que permiten, además, el análisis de los cambios por la presencia o ausencia de una u otra especie en el sitio estudiado.

Los índices de diversidad calculados en este trabajo presentan diferencias significativas en los dos estratos de altitud bajo análisis (cuadro 5).

Se puede afirmar que en el bosque nuboso la diversidad de especies es inversamente proporcional a la altitud de los sitios. Lo cual le confiere similitud a este bosque con los bosques de roble estudiados por Kappelle (2008). Además todos los índices cambian en una proporción muy similar, por lo que es posible explicar toda la diversidad mediante uno sólo de estos índices pues todos reflejan la misma variabilidad.

Las últimas proyecciones sobre cambio climático estiman que es posible un desplazamiento de las especies hacia sitios más altos para adaptarse a cambios de temperatura y humedad (Dallmeier, Kabel & Rice 1995), de manera que para el caso de Isla del Coco las especies propias del bosque nuboso están seriamente amenazadas, ya que no podrán desplazarse altitudinalmente y su adaptación puede no darse. La fragilidad de este ecosistema al no tener posibilidad de proyectarse a sitios más altos y el aislamiento propio de la Isla del Coco son razones que justifican las iniciativas de monitoreo y conservación.

Conclusiones

El bosque nuboso presenta cambios en estructura y composición relacionados con la gradiente altitudinal.

El peso ecológico para *S. holdridgei* se mantiene similar entre parcelas, mientras que para *C. alfonsiana* aumenta de acuerdo a la altitud de los sitios.

Las especies *C. alfonsiana* y *S. holdridgei* representan el 61% del peso ecológico en este sitio, convirtiéndolas en las especies con mayor biomasa en este ecosistema.

El estadio sucesional en este bosque corresponde a una asociación tardía, en la que los individuos han alcanzado su máximo desarrollo y han logrado utilizar al máximo la capacidad del sitio.

A medida que se aumenta la altitud de los sitios, se disminuye significativamente la diversidad biológica y se homogeniza la población del bosque nuboso.

Recomendaciones

Establecer un plan estratégico para el mantenimiento y continuidad de medición en las unidades de muestreo establecidas.

Se recomienda la instalación de una estación meteorológica o sensores remotos en Cerro Pelón para obtener datos climáticos más representativos para dichas áreas.

Es importante que el personal del ACMIC, se familiarice con el sistema de monitoreo de bosques y tomen en cuenta estos sitios dentro de los planes de acción de los diferentes programas de trabajo en la Isla. Se recomienda una capacitación del personal en cuanto a los aspectos generales del bosque, encontrados en este estudio, y los alcances del sistema de monitoreo establecido.

Continuar con investigaciones acerca de la fisiología y fenología de las especies que ingresaron en el sistema de monitoreo.

Agradecimientos

A la Comisión Nacional de Rectores (CONARE) por financiar el proyecto "Monitoreo de ecosistemas forestales para el fortalecimiento de estrategias de conservación y uso de bosques: una contribución a la iniciativa Costa Rica Carbono Neutral"; al Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC); al Comité de Becas del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Bibliografía

Acosta, L. 2012. Análisis silvigenético de los bosques húmedos tropicales del Parque Nacional La Cangreja, Pacífico Central, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 116p.

Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC), Onca Natural. 2007. Plan de Manejo del Parque Nacional Isla del Coco. Disponible en: http://www.acmic.sinac.go.cr/doc/plan_manejo_pnic.pdf. Consultado el 12 de agosto de 2012.

Atlas Digital de Costa Rica. 2008. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 1 DVD.

Bolivar, A; Rovinski, Y; WO, E. 2000. La pesca en la Isla del Coco. Estudio integral para el mejoramiento del control pesquero en la zona de influencia del Área de Conservación Marina y Terrestre Isla del Coco. San José, Febrero.

Camacho, M. 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical. Guía de establecimiento y medición.

Serie técnica. Manual técnico No. 42. CATIE. Turrialba. C.R. 52 p.p.

Castañeda, E; Morales, S; Obregón, F; Osorno D; Ramírez, F & Zolotoff J. 2000. Estado Actual de la Vegetación del Volcán Mombacho, Granada, Nicaragua. Fundación COCIBOLCA. Granada. 28p.

Castillo, M; Quesada, R. 2004. Caracterización de la vegetación de la Estación Biológica Sirena mediante dos parcelas permanentes, Parque Nacional Corcovado, Área de Conservación Osa. Informe final, Proyecto de investigación. Cartago. Costa Rica, 65 pp.

Centeno, F. 2009. Evaluación de la Aplicación de Tratamientos Silviculturales en Bosques Naturales de la Región Huetar Norte de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Práctica de Especialidad. Cartago, Costa Rica. 99 p.

Cortés, J. (2008). Historia de la investigación marina de la Isla del Coco, Costa Rica. Revista de Biología Tropical, 56(Supl 2), 1-18.

Dallmeier, F., M. Kabel and R. Rice. 1992. Methods for long-term biodiversity plots in protected tropical forest. in: Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas. MAB Digest 11. F. Dallmeier, eds. Paris, UNESCO. pp. 11-46

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., Robledo, C.W. Infostat. 2011 (en línea). AR, Grupo infostat, Universidad Nacional de Córdoba.

Finegan, B. 1997. Comunidades de bosques tropicales: historia, perturbación y el ambiente del ambiente físico. Apuntes de clase de postgrado de CATIE. "Bases ecológicas para el manejo de bosques tropicales". CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Garro, M. 2011. Recuperación del Bosque Húmedo Tropical 19 años después de la cosecha, bajo cuatro sistemas de manejo forestal, en la península de Osa, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 128p.

Guariguata, M; Kattan, G. 2002. Ecología y conservación de Bosques Neotropicales. 1er Ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 692 p.

Hamer, O., Harper, D., Ryan, P. 2001. Paleontological statistics software package for education and data analysis (en línea). Paleontología electrónica 4(1):1-9. Consultado el 20 may 2012. Disponible en http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/past.pdf.

Holdrige, L.R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. San José, CR, IICA Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216p.

Howe, H & Westley, L. 1988. Ecological relationships of plants and animals. Oxford University, Oxford. 273 p.

INFORME NACIONAL (IN). 1996. Aporte al conocimiento de la biodiversidad costero-marina de la Isla Malpelo, Colombia. Santa Fe de Bogotá. Colombia.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). 2012. Clima en Costa Rica, Isla del Coco. Disponible en: http://www.imn.ac.cr/educacion/climacr/isla_coco.html. Consultado el 12 de mayo de 2012.

- Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2000. Hoja Cartográfica de la Isla del Coco. Área de Conservación Marina Isla del Coco. Costa Rica.
- Kappelle, M. 2008. Biodiversidad de los bosques de roble de la América tropical. 1er Ed. Santo Domingo, Heredia. Instituto Nacional de Biodiversidad INBIO. 336 p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Traducido por Antonio Carrillo. GTZ. Alemania. 335 p.
- Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. 2001. Silvicultura de Bosques Latifoliados Húmedos con Énfasis en América Central. Serie técnica. Manual Técnico N° 46. CATIE. Turrialba. C.R. 265 pp.
- MacArthur, R; Wilson, E. 1967. The theory of island biogeography. Princenton University, New Jersey. 203 p.
- Madriz, P. 2009. El Parque Nacional Isla del Coco (PNIC): Una isla oceánica invadida Proyecto Mejoramiento de las prácticas de manejo y conservación en el Área de Conservación Marina Isla del Coco (MINAE/SINAC, ACMIC-PNIC. PNUD, GEF, FFEM). Revista Biocenosis. Vol. 22 (1-2) 2009.
- Ministerio de Cultura y Juventud y Deportes (MCJD). 2007. Inmuebles declarados patrimonio histórico-arquitectónico de Costa Rica. Centro de investigación y conservación del patrimonio cultura. Gobierno de Costa Rica. Disponible en: http://www.mcjdcrgo.cr/patrimonio/centro%20de%20investigacion%20y%20conservacion%20del%20patrimonio%20cultural/inmuebles%20declarados%20patrimonio%20historico/puntarenas/puntarenas01/isla_coco.html.
- Montoya, M. 2001. La biota en una isla oceánica como la Isla del Coco. Revista Ambientico N° 88. Disponible en: <http://www.una.ac.cr/ambi/revista/88/>. Consultado el 16 de marzo de 2012.
- Montoya, M. 2001. La excepcionalidad de Isla del Coco. Revista Ambientico N° 88. Disponible en: <http://www.una.ac.cr/ambi/revista/88/>. Consultado el 16 de marzo de 2012.
- Porrás-Jim: Organización para Dinras-Jim: Organización para Estudios Tropicales. p: 35-90tm" patrimonio/centro%20de%20investigacio. (Tesis de Licenciatura) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Rivera, W., J. 2006. Estructura y composición del bosque premontano del Parque Nacional Isla del Coco. Área de Conservación Marina Isla del Coco. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Práctica de Especialidad. Cartago, Costa Rica. 123 p.
- Sierra, Claudine. El cerdo cimarrón (*Sus scrofa*, Suidae) en la Isla del Coco, Costa Rica: Escarbaduras, alteraciones al suelo y erosión. Rev. biol. trop. [online]. dic. 2001, vol.49, no.3-4 [visitado 11 Septiembre 2008], p.1158-1170. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442001000300035&lng=es&nrm=i so. ISSN 0034-7744.
- Trusty, JL; Kesler, HC; Haug Delgado, G. 2006. Vascular flora of Isla del Coco, Costa Rica. Proceedings of the California Academy of Sciences, Fourth Series. Volume 57(7): 247-355 pp.
- Yockteng, R; Cavellier, J. 1999. Diversidad y mecanismos de dispersión de árboles de la Isla Gorgona y de los bosques húmedos tropicales del Pacífico colombiano-ecuatorial. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia.
- Zamora, A. 2008. Estructura y composición florística de los bosques de bahía en el Parque Nacional Isla del Coco. Área de Conservación Marina Isla del Coco. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Práctica de Especialidad. Cartago, Costa Rica. 76 p.