

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERÍA
FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

**ANÁLISIS FLORÍSTICO DE DOS POBLACIONES DE ÁRBOLES EN
DIFERENTES ALTITUDES EN UN BOSQUE PRIMARIO EN SAN ISIDRO, SAN
RAMÓN, COSTA RICA**

JOSE DAVID FERNÁNDEZ SOLÍS

CARTAGO MARZO, 2015

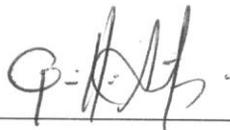
**ANÁLISIS FLORÍSTICO DE DOS POBLACIONES DE ÁRBOLES EN
DIFERENTES ALTITUDES EN UN BOSQUE PRIMARIO EN SAN ISIDRO, SAN
RAMÓN, COSTA RICA**

**Informe presentado a la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa
Rica como requisito para optar al título de Licenciatura en Ingeniería Forestal.**



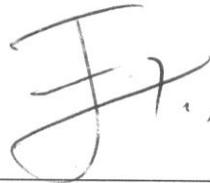
MSc. Braulio Vílchez Alvarado

Profesor tutor



Ing. Luis Acosta Vargas

Lector



Dr. Eugenio González Jiménez

Lector

DEDICATORIA

A mi padre, madre, hermanas y hermanos,
en especial a mi hermano Jorge Isaac,
quien ha sido mi motivo de estudio y
esfuerzo en la vida.

AGRADECIMIENTO

A los profesores y personal administrativo de la carrera de Ingeniería Forestal del ITCR por la ayuda, dedicación y enseñanza que me transmitieron.

A Braulio Vílchez por guiarme como profesor tutor, ayudarme y enseñarme durante la realización de mi trabajo final de graduación.

A Eugenio Gonzales y el personal del Centro Soltis para la Investigación y Enseñanza, por la confianza y apoyo brindado.

A mi novia Natalia y su familia por el cariño y la comprensión brindada durante toda mi carrera.

A mis amigos y compañeros que me acompañaron en todos los momentos felices y me ayudaron a levantarme en los difíciles.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
RESUMEN -----	1
ABSTRACT -----	2
INTRODUCCIÓN -----	3
MATERIALES Y MÉTODOS -----	4
Descripción del sitio -----	4
Diseño experimental -----	4
Análisis de datos-----	5
RESULTADOS -----	7
Estructura horizontal -----	9
Estructura vertical-----	11
Biomasa arriba del suelo -----	13
DISCUSIÓN -----	14
CONCLUSIONES -----	18
RECOMENDACIONES -----	18
REFERENCIAS -----	19

ANÁLISIS FLORÍSTICO DE DOS POBLACIONES DE ÁRBOLES EN DIFERENTES ALTITUDES EN UN BOSQUE PRIMARIO EN SAN ISIDRO, SAN RAMÓN, COSTA RICA

Jose David Fernández-Solís

RESUMEN

Las condiciones climáticas pueden provocar un cambio en las estructuras de las plantas en la gradiente altitudinal. El objetivo de este estudio fue relacionar la composición florística en poblaciones de árboles en dos pisos altitudinales en un bosque primario. Se instalaron cuatro parcelas permanentes: dos parcelas en el piso altitudinal alto a 710 m y dos unidades en el piso bajo a 570 m, de 2500 m² cada parcela, se midieron los diámetros, altura total y se identificaron las especies de árboles dentro de las unidades de muestreo. Se analizó la estructura horizontal y vertical del bosque a través del área basal, altura total promedio y biomasa arriba del suelo, se compararon entre cada piso altitudinal con una prueba de homogeneidad de Chi cuadrado. Se encontraron 48 familias, con 110 géneros y 145 especies, para 579 individuos identificados. Para área basal y altura total promedio no se encontraron diferencias significativas entre los pisos altitudinales. Mientras que, para la biomasa arriba del suelo en el piso altitudinal bajo fue mayor significativamente que en el piso alto, puede deberse a condiciones climáticas del sitio. Al tener una intensidad de muestreo baja de 0,11, no se puede explicar lo que sucede a nivel de ecosistema, por un alto sesgo en el muestreo.

Palabras clave: Composición florística, biomasa arriba del suelo, piso altitudinal, Costa Rica.

FLORISTIC ANALYSIS OF TWO POPULATIONS OF TREES AT DIFFERENT ALTITUDES IN A PRIMARY FOREST IN SAN ISIDRO, SAN RAMON, COSTA RICA

Jose David Fernández-Solís

ABSTRACT

Weather conditions may cause a change in the structure of plants in the altitudinal gradient. The objective of this study was to relate the floristic composition in populations of trees in two altitudinal floors in a primary forest. Four permanent plots were established: two plots on high altitude floor to 710 m and two plots on the ground floor to 570 m, of 2500 m² each plot, we measured the diameters, total height and tree species were identified within sample plots. We analyze the horizontal and vertical structure of the forest through the basal area, average total height and aboveground biomass, it were compared between each altitudinal floor with a homogeneity test Chi square. 48 families were found, with 110 genera and 145 species, to 579 individuals identified. For basal area and average total height there are not significant differences between the altitudinal floors. While, for above-ground biomass on the ground altitude floor was significantly higher in the high floor, may be due to climatic conditions of the site. By having a low sampling intensity of 0.11, we cannot explain what happens at the ecosystem level, by a high sampling bias.

Keywords: Floristic composition, aboveground biomass, altitudinal floor, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones climática y de sitio pueden provocar presión sobre muchos seres vivos. Esto se ve reflejado en la gradiente altitudinal, donde algunas poblaciones y especies se enfrentan precipitaciones y temperatura que pueden disminuir el crecimiento (Bailey et al., 2014; Kappelle, 2004; Kremer, Potts y Delzon, 2014; Michalet et al., 2014). Se prevé que, el aumento de la temperatura creará barreras naturales que reducirán los sitios adecuados para la existencia de especies vulnerables y promoverá la aparición de nuevas amenazas.

Rasmann et al. (2014) señalaron que se pueden encontrar cambios conforme se sube en el gradiente de elevación, como una mejor preparación de la defensa ecológica de las plantas. De esta manera, se podría derivar que la clina, conocida como la graduación de diferencias morfológicas dentro de la población de una especie, según su distribución geográfica, ecológica y ambiental (D. W. Morris y M. Z. Morris, 2002; Barioglio, 2009) se convertirá en una magnífica opción de estudios de diferentes tópicos, pues además estas características fenotípicas no son heredables (Parra, 1984). Estas especializaciones podrían ser parte de los procesos actuales de la evolución, que responden a la interacción del individuo con el ambiente. Según varios autores, como Flores (1999) y Hasson (2009), estas respuestas morfológicas se debe a un fundamento adaptativo que ayuda a la sobrevivencia de las plantas. Además, afirmaron que la variación en tamaño y estructura de las plantas pueden diferir por variables ambientales, como la temperatura, el aire, la exposición a la luz y variación geográfica.

La gran mayoría de las investigaciones de la clina se han referido al estudio de especies individuales y cómo varía su altura total, tamaño de las hojas (Colautti, Maron y Barrett, 2009; Samis et al., 2012; Jones et al., 2013). Sin embargo, la biomasa arriba del suelo, que se conoce es afectada por condiciones ambientales y factores climáticos en la composición florística, tal como el cambio en la altitud (Brown, 1997; D. W. Morris y M. Z. Morris, 2002) no ha sido muy estudiada en algunas regiones tropicales y menos aún en la Cordillera de Tilarán de Costa Rica.

El objetivo de este estudio fue relacionar la composición florística de poblaciones de árboles en dos pisos altitudinales en un bosque primario en San Isidro, en el cantón de San Ramón, provincia Alajuela, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio: El estudio se realizó en el bosque del Centro Soltis para la Investigación y Educación, manejado y operado por Texas A&M University, Estados Unidos. Se ubica en el poblado de San Isidro del distrito Peñas Blancas, cantón San Ramón, provincia de Alajuela, Costa Rica, entre las coordenadas CRTM05 de 430835 N y 1147783 O (figura 1). Esta área se encuentra en las zonas de vida bosque muy húmedo tropical transición a premontano y bosque pluvial premontano según la clasificación de zonas de vida (Holdridge, 1987). La estación seca tiene una duración de 3 meses y este sitio presenta altitudes entre los 400 a 800 m sobre el nivel del mar (ITCR, 2014). Esta zona presenta una precipitación anual entre los 4075 y 4931 mm (Soltis Center for Research and Education, 2013). Dentro de esta área se encuentran bosques primarios y secundarios.

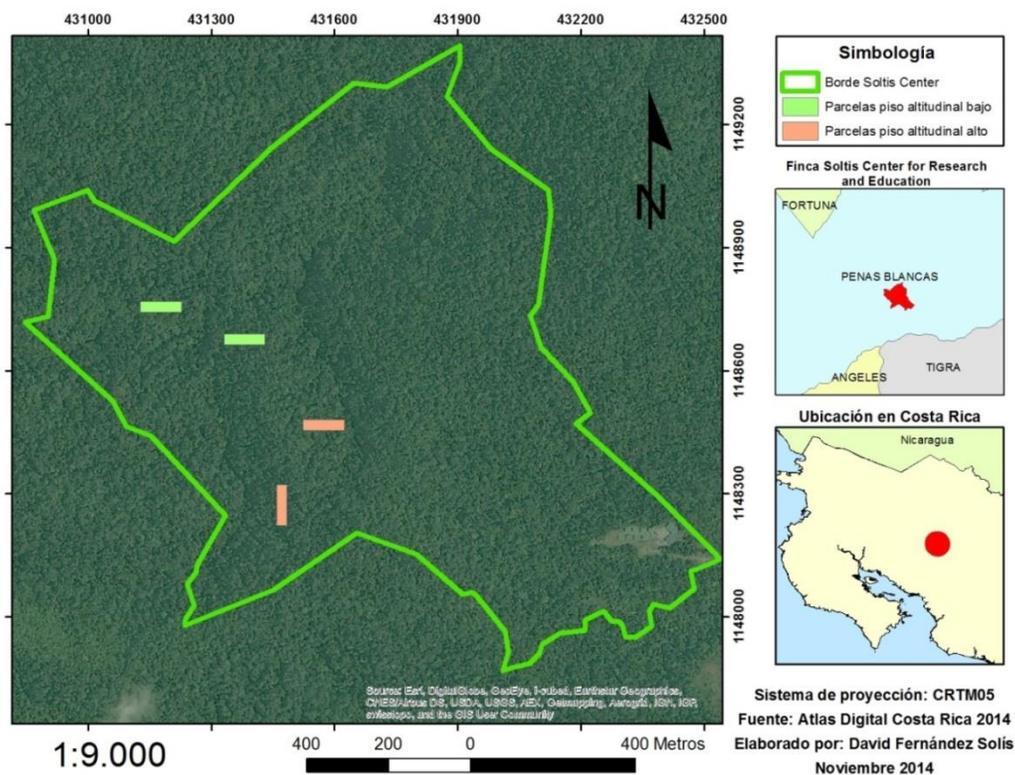


Figura 1. Ubicación de parcelas permanentes de muestreo en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

Diseño experimental: El trabajo se desarrolló entre los meses de julio a noviembre de 2014. Esta área fue estratificada según los tipos de vegetación encontrados en varios recorridos previos. El estudio se centró en el bosque primario, donde se establecieron cuatro parcelas permanentes

rectangulares, según la metodología dispuesta por Dallmeier, Kabel y Rice (1992). Las unidades de muestreo son de 25 x 100 m cada una, con un área total de 2500 m². Se situaron dos unidades de muestreo en cada extremo de los pisos altitudinales. En el piso bajo de 400 a 600 m de altitud, específicamente a 570 m se colocaron las parcelas 1 y 2. Las unidades 3 y 4, se situaron entre los 600 a 800 m de altitud en el piso alto a 710 m. En cada parcela se midió todo individuo con un diámetro mayor a 10 cm a la altura de pecho 1,3 m (d) medido con una cinta diamétrica Ben Meadows y la altura total (h) fue medida con un hipsómetro Blume Leiss. Se identificó con una placa de aluminio, con un número consecutivo de identificación, desde el número uno hasta el último árbol encontrado en las cuatro parcelas. Se hizo una división de los individuos encontrados en todas las parcelas en la base de datos, se separó los que pertenecían a cada unidad de muestreo. Además, se identificaron por familia, género y especie y se georreferenciaron con un GPS Garmin Montana 650. Los árboles que no se identificaron no se tomaron en cuenta para los análisis en este estudio; sin embargo fueron marcados con placa en el campo y guardados en la base de datos para estudios futuros, por considerarse que podrían tener alguna importancia desde el punto de vista de la taxonomía.

Análisis de datos: Para el análisis de la composición florística se calculó para cada parcela el número de familias, géneros, especies, número de individuos totales y la abundancia relativa por especie. Además, se obtuvo el diámetro y la altura total promedio por parcela.

Para el análisis de la estructura horizontal se realizó la distribución diamétrica de las especies cada 10 cm de diámetro y se representó en una figura. Además, se repitió este proceso pero con el área basal (G) por individuo y el cálculo de individuos por hectárea (N/ha) por clase de diámetro y por parcelas (Lamprecht, 1990). Se midió además, la distribución diamétrica de la cantidad de individuos de cinco especies con alto valor maderable y más representativas de las cuatro parcelas. Posteriormente, se analizaron en una hoja electrónica de Excel, con una prueba de homogeneidad para Chi cuadrado (χ^2) de Pearson, con una significancia del 0,05, los valores de G promedio de las parcela para los extremos de los pisos altitudinales, con el fin de identificar el cambio en la gradiente altitudinal.

La estructura vertical se basó en lo propuesto por IUFRO (Leibundgut, 1958), que clasifica el dosel según la alturas tomadas, dividido en estrato inferior, medio y superior. Se comparó el valor de h promedio de cada estrato vertical contra los pisos altitudinales alto y bajo, a través de la prueba de homogeneidad de χ^2 , a 95% de confiabilidad, con lo que se analizó las alturas de los árboles entre las altitudes de las poblaciones.

Se estimó la biomasa arriba del suelo (Bas) por medio del modelo alométrico, estipulado por Chave et al. (2014) para especies arbóreas tropicales (ecuación 1).

Ecuación 1.

$$Bas = 0,0673 \times (pD^2H)^{0,976}$$

Bas: Biomasa arriba del suelo para un individuo (kg).

p: Densidad de la madera del individuo (g cm^{-3}), en este trabajo se utilizó la densidad de $0,5 \text{ g cm}^{-3}$ para todos los individuos muestreados.

D: Diámetro a 1,3 m de altura del individuo (cm).

H: Altura total del individuo (m).

Se analizó el valor de Bas por ha para las unidades de muestreo y de especies importantes en las dos altitudes, con el análisis de homogeneidad de Chi cuadrado, con una confianza del 95%, con el que se comparó la similitud de la biomasa arriba del suelo para los extremos de los pisos altitudinales.

RESULTADOS

En la figura 2 se muestra la estratificación realizada, según el tipo de vegetación encontrada, donde el bosque primario tiene un área aproximada de 88,63 ha, mientras que el bosque secundario presenta un área de 30,76 ha. Los resultados del número de familias, géneros y especies, número de árboles por ha (N/ha), cantidad de individuos totales, diámetro (d), altura total (h) y área basal (G) en todas las parcelas se muestran en el cuadro 1.

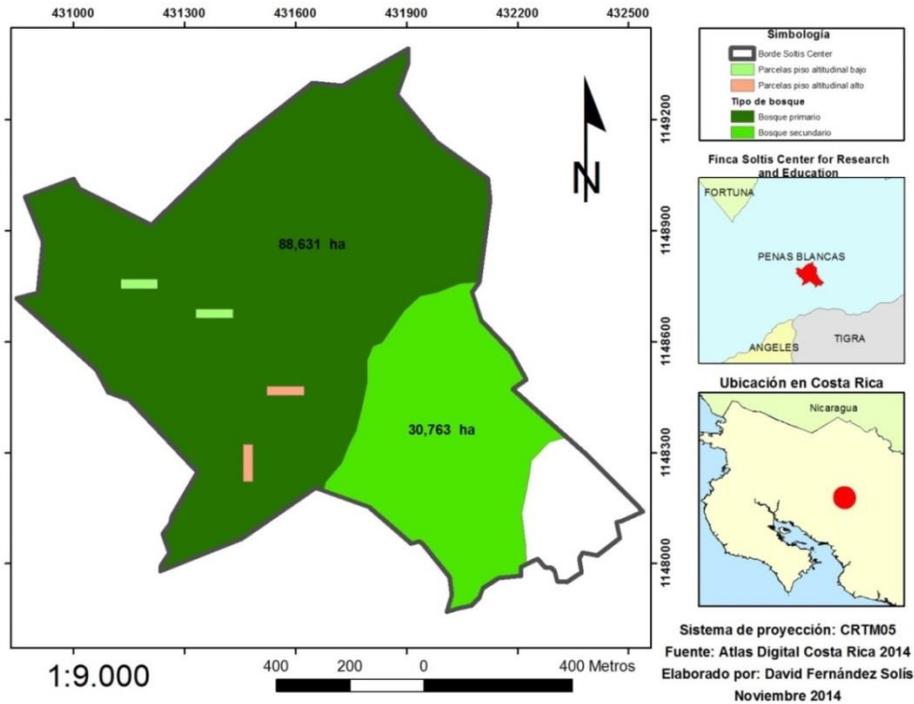


Figura 2. Estratificación según tipo de vegetación y ubicación de parcelas permanentes de muestreo en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

Se obtuvo un total de 579 individuos identificados a nivel de especie de los árboles muestreados, distribuidos en 48 familias, 110 géneros y 145 especies. Los individuos identificados del 1 hasta el 114 corresponden a la parcela 1, para la unidad de muestreo 2 a partir del árbol 115 al 273, en la parcela de medición 3 se identificaron del 274 hasta 418 y para la última unidad correspondió del individuo 419 al 584.

Cuadro 1. Cantidad de familias, géneros y especies, número de árboles por ha (N/ha), cantidad de individuos totales, diámetro (d), altura total (h) y área basal (G) en parcelas permanentes de muestreo en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

Características	Parcela				Total
	1	2	3	4	
Cantidad de familias	29	31	33	31	48
Cantidad de géneros	53	54	60	55	110
Cantidad de especies	59	62	68	66	145
N/ha	456	636	564	660	579
Individuos totales	114	159	141	165	579
d promedio (cm)	23,32	22,33	20,48	19,1	21,12
h promedio (m)	19,14	17,94	17,38	16,23	17,55

El número de árboles por hectárea en promedio fue de 579 ($\pm 91,59$ desviación estándar) en este estudio, siendo la parcela de medición 4 la que presentó mayor cantidad de individuos, ya que estadísticamente las parcelas presentan diferencias significativas ($\chi^2=95,24$. g.l.=18, $p=0,95$).

La familia con mayor abundancia fue Euphorbiaceae, con 67 individuos un 11,57 % del total de individuos muestreados, seguido de un 8,12 % Rubiaceae con 47 individuos y Meliaceae un 7,08 % con 41 individuos, el restante 73,23 % del total de árboles se distribuye en 45 familias más.

Las 10 especies más importantes según la abundancia relativa se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Especies arbóreas importantes según abundancia relativa en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

	Especies	Número de individuos	Abundancia relativa
1	<i>Pausandra trianae</i>	34	5,87
2	<i>Hedyosmum bonplandianum</i>	32	5,53
3	<i>Carapa nicaraguensis</i>	28	4,84
4	<i>Colubrina spinosa</i>	27	4,66
5	<i>Marila pluricostata</i>	23	3,97
6	<i>Cecropia insignis</i>	17	2,94
7	<i>Anaxagorea crassipetala</i>	13	2,25
8	<i>Protium ravenii</i>	12	2,07
9	<i>Psychotria panamensis</i>	12	2,07
10	<i>Guettarda crispiflora</i>	12	2,07
	135 especies mas	369	63,73
	Total	579	100,00

Pausandra trianae fue la especie más abundante, se presentó en las cuatro parcelas. Mientras que *Hedyosmum bonplandianum* se ausentó en la primera parcela. *Carapa nicaraguensis* si estuvo presente en todas las parcelas. En conjunto, las tres especies representan el 16,24 % (94 individuos) del total de árboles estudiados, los demás 485 individuos se dividen entre 142 especies más.

Estructura horizontal: En la figura 3, se describe la distribución diamétrica del número de árboles por hectárea. Se puede observar una distribución en forma de J invertida

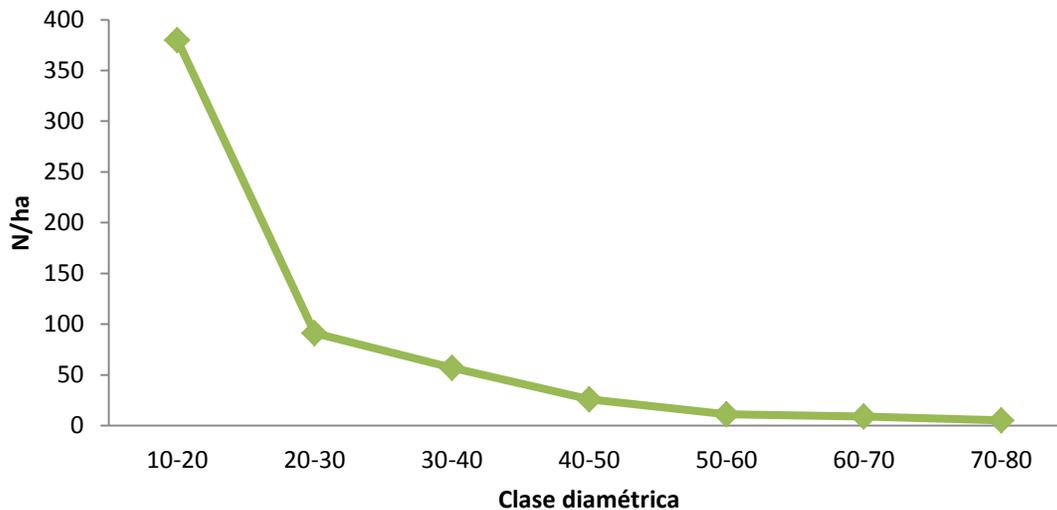


Figura 3. Distribución diamétrica (cm) del número de árboles por hectárea (N/ha) en parcelas permanentes de muestreo en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

La cantidad de individuos de las especies maderables más representativas de este sitio se presentan en la distribución diamétrica de la figura 4. *Carapa nicaraguensis* con 28 individuos, fue la tercera especie que presentó mayor cantidad de árboles en el total del bosque, solo se encontró ausente en la clase diamétrica de 30-40 cm. En la especie *Minuartia guianensis*, se midió 11 individuos y está ausente en las clases de 30-40 y 70-80 cm. Para *Pouteria laevigata* se obtuvieron 7 árboles, está presente entre los 20 a 70 cm de diámetro. Con 6 individuos, *Hyeronima oblonga* solo está presente en dos clases de 10-20 y 60-70. Por último *Calophyllum brasiliense* contó con 6 árboles, ausentándose en las clases 20-30 y 60-70.

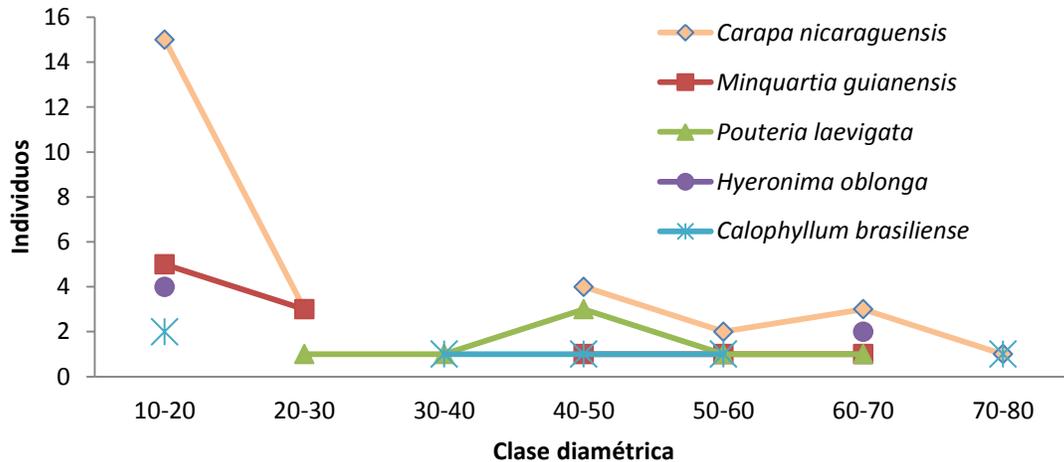


Figura 4. Distribución diamétrica (cm) del número de árboles de cinco especies maderables en parcelas permanentes de muestreo en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

La distribución diamétrica de las especies en el bosque estudiado se presenta en la figura 5, la mayor cantidad de especies se encuentran en la clase diamétrica 10-20 cm, con 111 especies que representan un 76,55 % del total de 145 especies identificadas. La clase 20-30 cm presentó 53 especies, un 36,55 % del total. Con 26,90 % se representó en la clase 30-40 cm, para 39 especies. La clase de 40-50 cm se encontraron 18 especies, siendo un 12,41 %. Entre los diámetros de 50-60 cm se mostró 10 especies con 6,90 %. Con 6 especies la clase 60-70 representó un 4,14 % del total. Finalmente, en la clase diamétrica de 70-80 cm, con 3,45 cm tan solo se encontró 5 especies.

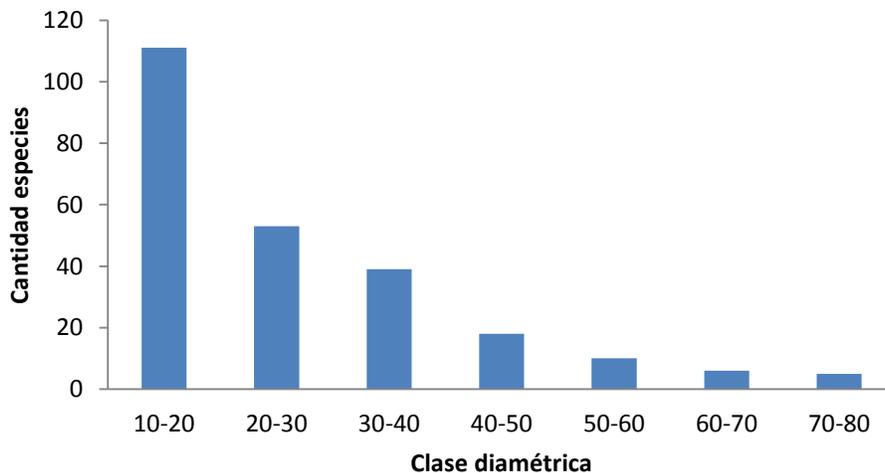


Figura 5. Distribución diamétrica (cm) de cantidad de especies arbóreas encontradas en parcelas permanentes de muestreo en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

La distribución diamétrica de los individuos general y por parcelas del área basal se muestra en la figura 6, donde se observa un punto alto en la clase diamétrica de 30-40 cm, solo la parcela cuatro no presentó este aumento en área basal en esta clase.

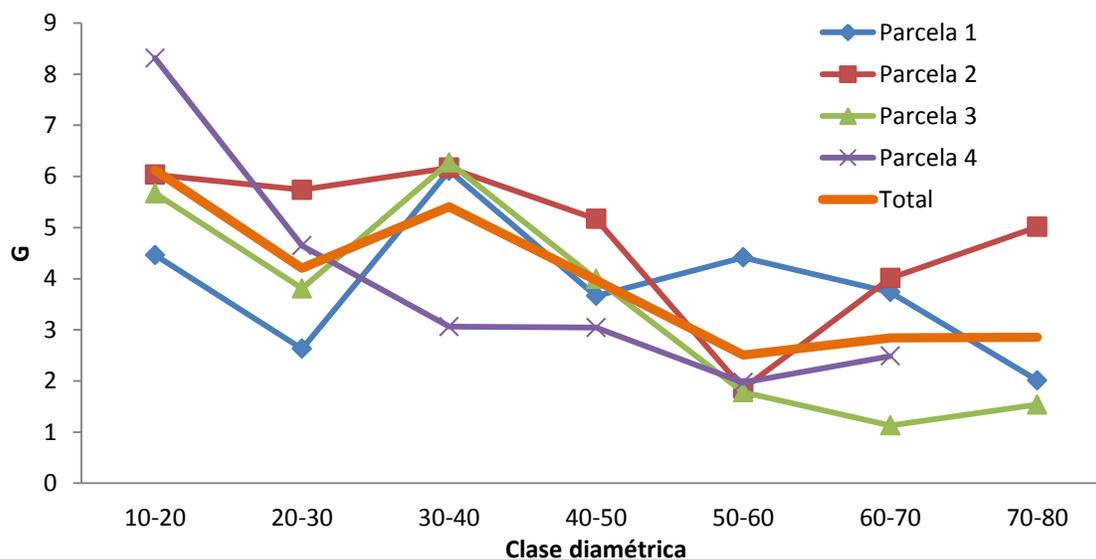


Figura 6. Distribución diamétrica (cm) del área basal (G) en m²/ha de árboles en parcelas permanentes de muestreo en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

En el cuadro 3 se resumen los datos del área basal por pisos altitudinales en las poblaciones estudiadas. Se encontró que no hubo diferencias significativas entre las áreas basales de los pisos altitudinales estudiados, según el valor estadístico $\chi^2=0,44$ (g.l.=1, p=0,95).

Cuadro 3. Área basal (m²/ha) en parcelas permanentes de muestreo por pisos altitudinales en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

Piso altitudinal	Parcelas		Total
	1	2	
Alto	24,20	23,52	23,86
Bajo	27,03	33,99	30,51
Total	25,61	28,75	27,18

Estructura vertical: En general se observaron especies comunes en los bosques viejos o primarios de los bosques húmedos y muy húmedos tropicales. En el cuadro 4 se muestra como se distribuyeron las 145 especies reportadas en el estrato vertical. Para el estrato inferior se

encontraron 439 árboles, esta categoría va de 4,18 a 21,46 m de altura. Con 135 individuos el estrato medio va de 21,46 a 38,73 m de altura. La clase de 38,73 hasta 56,00 m de altitud pertenece al estrato superior, con tan solo 5 individuos.

En el estrato inferior se midieron 73 especies, dominadas por *Anaxagorea crassipetala*, *Protium ravenii*, *Psychotria panamensis*, *Guettarda crispiflora* y *Casearia coronata*. En el estrato medio se cuantificaron 23 especies, las más abundantes encontradas fueron *Pouteria laevigata*, *Tetragastris panamensis*, *Hampea appendiculata*, *Terminalia oblonga* y *Terminalia amazonia*. No se presentaron especies que estén solo en el estrato superior. Las especies *Cecropia insignis*, *Marila pluricostata*, *Minuartia guianensis*, *Sterculia recordiana*, *Calophyllum brasiliense*, entre otras están presentes tanto en los estratos inferior y medio, para un total de 44 especies. No se presentaron especies que coincidieran en los estratos inferior y superior. Para los estratos medio y superior solo se encontró *Dussia macrophyllata* como especie en común. La especies *Carapa nicaraguensis*, *Hyeronima oblonga*, *Maranthes panamensis* y *Brosimum lactescens*, fueron la únicas que se encontraron en todos los tres estratos verticales.

Cuadro 4. Especies distribuidas en los estratos verticales inferior (I), medio (M) y superior (S) en parcelas permanentes de muestreo en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

	I+M+S	Solo I	I+M	I+S	Solo M	M+S	Solo S
Cantidad	4	73	44	0	23	1	0
%	2,76	50,34	30,34	0,00	15,86	0,69	0,00

En el cuadro 5 se muestra la altura total promedio de los individuos en cada piso altitudinal. Según la prueba Chi², el valor estadístico para la homogeneidad de los pisos altitudinales es de $\chi^2=0,02$ (g.l.=2, p=0,95), no hubo diferencias significativas ente la altura total promedio de los árboles que habían en cada parcela en los pisos altitudinales estudiados.

Cuadro 5. Altura total promedio (m) en parcelas permanentes de muestreo por pisos altitudinales en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

Piso altitudinal	Estratos			Promedio
	Inferior	Medio	Superior	
Alto	13,53	27,26	43,75	28,18
Bajo	14,55	27,67	46,56	29,59
Promedio	14,04	27,46	45,16	

En el cuadro 6 se muestran cinco especies maderables que se distribuyen en los estratos verticales estudiados. Las especies *C. nicaraguensis* y *H. oblonga* son las únicas que se presentaron en los tres estratos verticales. *M. guianensis*, *C. brasiliense* y *P. laevigata* solo estuvieron los estratos inferior y medio.

Cuadro 6. Cinco especies maderables distribuidas en los estratos verticales en parcelas permanentes de muestreo por pisos altitudinales en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

Especies	Estratos			Total
	Inferior	Medio	Superior	
<i>Carapa nicaraguensis</i>	16	11	1	28
<i>Minuartia guianensis</i>	6	5		11
<i>Pouteria laevigata</i>		7		7
<i>Hyeronima oblonga</i>	4	1	1	6
<i>Calophyllum brasiliense</i>	2	4		6
Total	33	22	2	57

Biomasa arriba del suelo: la Bas en kg/ha se presenta en el cuadro 7. Se observó un valor más alto en el piso altitudinal bajo. Además, la prueba de homogeneidad de Chi cuadrado demostró que sí existieron diferencias significativas ($\chi^2=2302,45$. g.l.=1, p=0,95) entre la biomasa arriba del suelo por hectárea de los árboles del piso altitudinal bajo con los del piso más alto.

Cuadro 7. Biomasa arriba del suelo (kg) por ha en parcelas permanentes de muestreo establecida en dos pisos altitudinales en bosque primario en Centro Soltis para la Investigación y Educación, San Ramón, Costa Rica, 2014.

Piso altitudinal	Parcelas		Total
	1	2	
Alto	204711,01	181593,45	193152,23
Bajo	254697,86	276812,40	265755,13
Total	229704,43	229202,93	229453,68

DISCUSIÓN

El bosque en estudio es un área privada protegida de aproximadamente 119,39 ha, que comparte territorio en la Sierra de Tilarán con el Bosque Eterno de los Niños y la Reserva Biológica de Monteverde (RBM), lo que convierte el área de estudio en un bosque nuboso tropical de altas precipitaciones y bajas temperatura (Pauchard, 2000). La parte caribe de la RBM por debajo de los 1400 m de altitud, según Haber (2000), presenta una selva tropical no estacional, con precipitaciones entre los 3500 mm y más de 7000 mm. Según este mismo autor, la altura del dosel varía con la exposición de los vientos alisios y la pendiente del terreno, lo que aumenta la creación de claros por la mayor caída de árboles y ramas, situación que tiene gran similitud con el bosque de Centro Soltis, que como posible consecuencia se tendrían áreas de sucesión de diferentes edades dentro de los bosques viejos o primarios.

La intensidad de muestro del bosque en estudio fue de 0,11, un valor muy bajo (Ortiz y Carrera, 2002) para poder asegurar que lo encontrado es propio de lo que sucede en todo el bosque primario de la finca. Debido a que las unidades de muestreo de 2500 m², no son suficientes para explicar lo que sucede a nivel de ecosistema, pues se está dando un sesgo porque hay individuos, especies que por su tamaño, abundancia, diámetro pueden estar afectando variables como la altura total, área basal y la biomasa arriba del suelo. Para el estudio fueron se midieron 579 ($\pm 91,59$) árboles por hectárea, con 48 familias, 110 géneros y 145 especies, mientras que según Cascante y Estrada (2001), en trabajos realizados en un bosque dentro de la Zona Protectora El Rodeo, Valle Central de Costa Rica, se encontraron 509 (± 47) N/ha, para 40 familias, 83 géneros y 106 especies. El área de bosque de El Rodeo se encuentra entre los 400 a 1000 m de altitud, en un área con precipitación media anual de 2467 mm y una temperatura promedio anual de 23,4 °C Cascante (2012). Este cambio en el número de individuos en los diferentes sitios, no se asegura que se deban a condiciones de precipitación, temperatura, distribución de especies, altitud. En el caso de nuestro estudio para poder demostrar posibles tendencias habría que aumentar el número de repeticiones o parcelas y del área de muestro, para obtener resultados con menor error estadístico.

La estructura horizontal del bosque presentó una curva en J invertida para la distribución diamétrica de las especies e individuos encontrados, Morales et al. (2012) encontraron este comportamiento para bosques tropicales primarios en el Corredor Biológico de Osa en Costa Rica. Los mismos autores resaltaron que, para el área basal de los bosques primarios de Osa, se tiene un aumento de la curva a partir de 45 cm de diámetro, acumulada en pocas especies. El área basal no tuvo un aumento marcado en la curva del bosque de Centro Soltis, por la posibilidad anterior de la caída de árboles de gran tamaño en las altas pendientes del sitio, lo que dio paso a cantidad de claros en el bosque y que el sitio específico de las parcelas sea un área en sucesión

del bosque, cuya composición es típica de los bosques viejos o primarios, pero que a escala pequeña de un cuarto de hectárea son influenciadas por unos pocos individuos grandes.

Para la distribución de la cantidad de especies por categoría diamétrica, Vargas (2012) aseguró que pueden cambiar según condiciones climáticas, como disponibilidad de agua, humedad y temperatura media anual. Un estudio realizado en un bosque tropical seco en México, Balvanera, Quijas y Pérez (2011) resaltaron la importancia de la disponibilidad de agua en la distribución espacial de especies arbóreas en el gradiente de elevación, encontraron varias especies generalistas según el patrón de distribución del agua. En una investigación realizada en un bosque lluvioso en la Estación Biológica La Selva, con recolección de datos durante 16 años, Clark et al. (2003) encontraron que había una correlación negativa entre el crecimiento anual diamétrica de seis especies con el aumento de las temperaturas mínimas diarias, lo que explica que los árboles crecieron menos cuando los días fueron más calientes. Contrariamente, los datos colectados en el bosque del Centro Soltis fueron tomados en un momento en el tiempo, sería necesaria una colección de varios años para comparar si podría existir una disminución diamétrica en las especies y por piso altitudinal.

En la estructura vertical se presentaron en el estrato superior las especies *D. macrophyllata*, *C. nicaraguensis*, *M. panamensis*, *B. lactescens* y *H. oblonga*. Estas especies son maderables y de gran tamaño (Jiménez et al., 1999), lo que justifica que estén presentes en el estrato vertical más alto por ser un bosque primario. *D. macrophyllata* fue la única que no presentó individuos en el estrato inferior. De las 23 especies medidas en el estrato intermedio, las sobresalientes fueron *P. laevigata*, *T. panamensis*, *H. appendiculata*, *T. oblonga* y *T. amazonia*, son especies que se comportan de porte medio a alto y maderables, excluyendo a *H. appendiculata* que no es maderable, va de tamaño de porte medio a pequeño y es una especie de claros grandes en bosques (Jiménez et al., 1999). Para el estrato vertical inferior se encontraron árboles de tamaño pequeño y sin importancia maderable (Jiménez et al., 1999), como *Anaxagorea crassipetala*, *Protium ravenii*, *Psychotria panamensis*, *Guettarda crispiflora* y *Casearia coronata*, son especies que se desarrollan plenamente bajo el dosel. Morales et al. (2013) mostraron que para un estudio desarrollado en el Corredor Biológico Osa, en los bosques primarios la cantidad de especies e individuos disminuye conforme se avanza del estrato vertical inferior al superior.

La especie *C. nicaraguensis* se encontró en los tres estratos verticales, aunque se encuentra ausente en la categoría diamétrica de 30-40 cm. Para esta especie la disponibilidad de claros de gran tamaño es positiva en su crecimiento según Webb (1999), estas aberturas en el dosel son frecuentes en el bosque de Centro Soltis. Se encontró ausente a *M. guianensis* en las clases diamétricas de 30-40 y 70-80 cm, los individuos de esta especie solo se ubicaron en el estrato inferior y medio, Clark D. A. y Clark D. B. (1992) indicaron que esta especie requiere más de 150

años para llegar al dosel, es emergente y en su etapa juvenil se desarrolla bajo el dosel con baja iluminación. *P. laevigata* se encontró solo en el estrato vertical medio y se distribuyó entre los diámetros de 20 hasta 70 cm, lo que podría obedecer a la falta de individuos juveniles y adultos del dosel alto, esta especie puede llegar a tener gran tamaño y alcanzar lo más alto del dosel (Jiménez et al., 1999), puede que esta especie fue afectada por fenómenos naturales para tomar este comportamiento. *H. oblonga* fue encontrada en los tres estratos verticales, pero en la distribución diamétrica solo de 10-20 y 60-70 cm, según Rincón, Triana y Burgos (2006) en un bosque húmedo tropical de Colombia, esta especie es muy abundante tanto en los estratos verticales y distribución de diámetros, sin embargo parece que en el bosque en estudio tiene algunos problemas de cosecha o establecimiento pues faltan individuos de algunas categorías de edad, lo que infiere que algunas veces no estuvo en los ciclos de reproducción y establecimiento de las especies del bosque. Finalmente, *C. brasiliense* se midió en los estratos inferior y medio, en la distribución diamétrica se ausentó de 20-30 y 60-70 cm, es una especie que puede ser encontrada en todos estratos verticales y de diámetros, pues alcanza gran tamaño (Jiménez et al., 1999), pero que al igual que *H. oblonga* parece que no aparece en algunos ciclos de reproducción y establecimiento de las especies.

En cuanto a la biomasa aérea, diversos autores han afirmado que la cantidad total de la precipitación y su distribución en el año es la principal variable que determina el crecimiento de la vegetación (Holdridge, 1987; Herrera y Gómez, 1985). Para explicar el decrecimiento en biomasa arriba del suelo según el aumento en la altitud de los bosques se puede tomar como referencia a Álvarez y Mack (2011) que reportaron que en bosques tropicales de Costa Rica, con altas precipitaciones medias anuales, hay fuertes pérdidas de nutrientes por el aumento de la precipitación y la altitud. En otro estudio realizado por Tully y Lawrence (2010), se pudo ver que hay una correlación negativa entre la cantidad de nitrógeno aportado al suelo con el aumento en la temperatura mínima, lo que podría afectar la absorción de carbono y de la biomasa de los bosques tropicales. Una elevación en temperatura puede afectar la disminuir el carbono ciclado y fijado en estos ecosistemas que como consecuencia daría bosques con menor biomasa. Estas explicaciones podrían ayudar a comprender el decrecimiento en biomasa de los bosques de Centro Soltis conforme se subió hacia el piso altitudinal alto.

En este trabajo solo se estudió los extremos altitudinales del bosque, pero varios autores reportaron mayor biomasa captada en las altitudes intermedias en bosque tropicales (Culmsee et al., 2010; Yepes et al., 2015). Según Clark D. A. y Clark D. B. (2011), es necesario dar mayor énfasis al monitoreo climático en las áreas de bosques tropicales, ya que pueden revelar los cambios forestales que provocan los factores climáticos.

Para este trabajo se intentó medir el efecto de la altitud sobre el tamaño y la biomasa de comunidades de árboles de un bosque primario, con aproximadamente 145 especies de 48 familias. Esto pudo ser un factor para no encontrar diferencias significativas en la altura total y área basal, pues esta agrupación de tantas especies que corresponden a muchas taxas coloca en un espacio determinado a una alta diversidad de especies y genética, con muchas diferencias en la expresión fenotípica. Cabe destacar, que para la biomasa aérea hubo diferencias significativas entre el piso altitudinal bajo y el alto, lo que parece indicar que para la comparación de comunidades de árboles se podría usar la biomasa como un posible indicador de diferencias entre pisos altitudinales.

Los patrones morfológicos son afectados por latitud, altitud y factores ambientales como la temperatura (Bitner, Peixoto y Klaczko, 1994; Pitchers, Pool y Dworkin, 2013). Estas variaciones se definen como clina y existen varios estudios referidos a la variación de tamaño y forma en las alas de insectos como las moscas (*Drosophila* sp.), así como de otras especies de animales (Ruibal, 1957; Tatar, Gray y Carey, 1997; Liao y Lu, 2011). En un estudio realizado por Vitasse et al. (2009) en Francia, encontraron diferencias altitudinales en el crecimiento y fenología foliar entre las poblaciones de seis especies, donde también hubo una clina genética opuesta, en la población de una especie de elevación alta se presentó que las hojas cambiaron de color antes que en la elevación baja, en otras especies se presentó lo contrario. Samis et al. (2012) mostraron una variación en la floración de la población de una especie en Estados Unidos, observado en una clina altitudinal que se asocia con la variación geográfica en la precipitación y temperatura. Según los autores consultados, para el estudio de la clina es necesario centrar la investigación en la variación morfológica de especies en una gradiente altitudinal, para futuros estudios deberá tomarse en cuenta estas características para obtener los resultados esperados.

CONCLUSIONES

La composición florística es típica de bosque viejos húmedos y muy húmedos tropicales, con formación de claros como parte de procesos dinámicos del bosque.

El área de muestreo no es suficiente para mostrar lo que sucede en el bosque primario.

El rango de separación entre los pisos latitudinales no es suficiente para encontrar diferencias significativas para área basal, altura total promedio y biomasa arriba del suelo.

Las especies maderables estudiadas son afectadas por los procesos dinámicos, para *Carapa nicaraguensis* la apertura de claros es positivo para su establecimiento y crecimiento, mientras que las demás especies es negativo por cortar ciclos de reproducción.

RECOMENDACIONES

Es recomendable para el estudio florístico de los pisos altitudinales una colección de datos anuales, para comparar el crecimiento de los individuos en el tiempo. También debe incluirse en futuros estudios el piso altitudinal intermedio, para completar el gradiente altitudinal, además de tomar en cuenta variables como viento, temperatura y precipitación. Debe aumentarse la cantidad de parcelas de estudio y/o el tamaño del área. Escoger especies importantes del sitio para el estudio de la clima.

REFERENCIAS

- Álvarez-Clare, S., y Mack, M. C. (2011). Influence of precipitation on soil and foliar nutrients across nine Costa Rican forests. *Biotropica*, 43(4), 433-441. doi:10.1111/j.1744-7429.2010.00732.x
- Bailey, J. K., Genung, M. A., Ware, I., Gorman, C., Van Nuland, M. E., Long, H., y Schweitzer, J. A. (2014). Indirect genetic effects: An evolutionary mechanism linking feedbacks, genotypic diversity and coadaptation in a climate change context. *Functional Ecology*, 28(1), 87-95. doi:10.1111/1365-2435.12154
- Balvanera, P., Quijas, S., y Pérez-Jiménez, A. (2011). Distribution patterns of tropical dry forest trees along a mesoscale water availability gradient. *Biotropica*, 43(4), 414-422. doi:10.1111/j.1744-7429.2010.00712.x
- Barioglio, C. F. (2009). *Diccionario de las ciencias agropecuarias*. Argentina: Editorial Brujas.
- Bitner-Mathe, B. C., Peixoto, A. A., y Klaczko, L. B. (1995). Morphological variation in a natural population of *Drosophila mediopunctata*: Altitudinal cline, temporal changes and influence of chromosome inversions. *Heredity*, 75(1), 54-61.
- Brown, S. (Ed.). (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forest: A primer*. University of Illinois: Illinois, United States: A Forest Resources Assessment publication.
- Cascante M, A., y Estrada Ch, A. (2001). Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 49(1), 213-225. Revisado de <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/16873>
- Cascante-Marín, A. (2012). Ubicación, relieve y clima de la zona de El Rodeo. *Brenesia*, (77), 15-22. Revisado de <http://ecobiosis.museocostarica.go.cr/ecosistemas/rodeo/publicaciones/Ubicacion,%20Relieve%20y%20Clima%20de%20la%20zona%20de%20El%20Rodeo.pdf>
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., . . . Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190. doi:10.1111/gcb.12629
- Clark, D. A., y Clark, D. B. (1992). Life history diversity of canopy and emergent trees in a neotropical rain forest. *Ecological Monographs*, 62(3), 315-344. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.2307/2937114>
- Clark, D. A., Piper, S. C., Keeling, C. D., y Clark, D. B. (2003). Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984-2000. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(10), 5852-5857. doi:10.1073/pnas.0935903100 [doi]

- Clark, D. A., y Clark, D. B. (2011). Assessing tropical forests' climatic sensitivities with long-term data. *Biotropica*, 43(1), 31-40. doi:10.1111/j.1744-7429.2010.00654.x
- Colautti, R. I., Maron, J. L., y Barrett, S. C. H. (2009). Common garden comparisons of native and introduced plant populations: Latitudinal clines can obscure evolutionary inferences. *Evolutionary Applications*, 2(2), 187-199. doi:10.1111/j.1752-4571.2008.00053.x
- Culmsee, H., Leuschner, C., Moser, G., y Pitopang, R. (2010). Forest aboveground biomass along an elevational transect in Sulawesi, Indonesia, and the role of Fagaceae in tropical montane rain forests. *Journal of Biogeography*, 37(5), 960-974. doi:10.1111/j.1365-2699.2009.02269.x
- Dallmeier, F., Kabel, M., y Rice, R. (1992). Methods for long-term biodiversity inventory plots in protected tropical forest. In F. Dallmeier (Ed.), *Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas: Methods for establishment and inventory of permanent plots* (pp. 11-46). París: UNESCO.
- Flores, E. (1999). *La planta: Estructura y función*. Cartago, Costa Rica: Libro Universitario Regional.
- Haber, W. (2000). Plants and vegetation. In N. M. Nadkarni, y N. T. Wheelwright (Eds.), *Monteverde: Ecology and conservation of a tropical cloud forest* (pp. 39-94). Cary, NC, USA: Oxford University Press, USA.
- Hasson, E. (2009). *Evolución y selección natural*. Argentina: Eudeba.
- Herrera, W., y Gómez, L. (1985). In Gómez L. (Ed.), *Clima de Costa Rica*. San José, Costa Rica: EUNED.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) (Productor), y Ortiz, E. (Director). (2014). *Atlas digital de Costa Rica 2014*. [Video/DVD] Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Jiménez-Madrigal, Q., Estrada-Chavarría, A., Rodríguez-González, A., y Arroyo-Mora, P. (1999). *Manual dendrológico de costa rica* (2nd ed.). Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Jones, M. R., Forester, B. R., Teufel, A. I., Adams, R. V., Anstett, D. N., Goodrich, B. A., . . . Manel, S. (2013). Integrating landscape genomics and spatially explicit approaches to detect loci under selection in clinal populations. *Evolution*, 67(12), 3455-3468. doi:10.1111/evo.12237
- Kappelle, M. (2004). *Diccionario de la biodiversidad*. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica: Instituto Nacional de la Biodiversidad (INBio) y Cooperación Española (AECI).
- Kremer, A., Potts, B. M., y Delzon, S. (2014). Genetic divergence in forest trees: Understanding the consequences of climate change. (special issue: Climate change and species range shifts.). *Functional Ecology*, 28(1), 22-36. más información doi: <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.12169>

- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura de los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidad y métodos para un aprovechamiento sostenido* (A. Carrillo Trans.). Berlín, Alemania: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Leibundgut, H. (1958). Empfehlungen für die baumklassenbildung und methodik bei versuchen über die wirkung von Waldpflegemaßnahmen. *Mitteilungen IUFRO Sektion*, 23(10)
- Liao, W., & Lu, X. (2012). Adult body size= f (initial size growth rate x age): Explaining the proximate cause of Bergman's cline in a toad along altitudinal gradients. *Evolutionary Ecology*, 26(3), 579-590.
- Michalet, R., Schöb, C., Lortie, C. J., Brooker, R. W., y Callaway, R. M. (2014). Partitioning net interactions among plants along altitudinal gradients to study community responses to climate change. *Functional Ecology*, 28(1), 75-86. doi:10.1111/1365-2435.12136
- Morales-Salazar, M., Vílchez-Alvarado, B., Chazdon, R., Ortega-Gutiérrez, M., Ortiz-Malavasi, E., Guevara-Bonilla, M. (2012). Diversidad y estructura horizontal en los bosques tropicales del Corredor Biológico de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(23) Revisado de <http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/487>
- Morales-Salazar, M., Vílchez-Alvarado, B., Chazdon, R., Ortiz-Malavasi, E., Guevara-Bonilla, M. (2013). Estructura, composición y diversidad vegetal en bosques tropicales del Corredor Biológico Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 10(24) Revisado de <http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/1319>
- Morris, D. W., y Morris, M. Z. (2002). *Dictionary of plant biology*. Cambridge, GBR: Cambridge International Science Publishing.
- Ortiz, E., y Carrera, F. (2002). Muestreo en inventarios forestales. In L. Orozco, y C. Brumer (Eds.), *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central* (pp. 99). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Parra, F. (1984). *Diccionario de ecología, ecologismo y medio ambiente*. Madrid, España: Alianza Editorial S.A.
- Pauchard, A. (2000). La experiencia de Costa Rica en áreas protegidas. *Ambiente y Desarrollo*, 16(3), 51-60. Revisado de http://146.83.237.36/eng/focus/people_focus5/pdf/Pauchard%202000%20AyD.pdf
- Pitchers, W., Pool, J. E., y Dworkin, I. (2013). Altitudinal clinal variation in wing size and shape in African *Drosophila melanogaster*: One cline or many? *Evolution*, 67(2), 438-452. doi:10.1111/j.1558-5646.2012.01774.x
- Rasmann, S., Pellissier, L., Defosse, E., Jactel, H., y Kunstler, G. (2014). Climate-driven change in plant-insect interactions along elevation gradients. *Functional Ecology*, 28(1), 46-54. doi:10.1111/1365-2435.12135

- Rincón-Velásquez, A., Triana-Gómez, M., Burgos, J. (2006). Caracterización florística y estructural de la vegetación en claros de la parcela permanente de 25ha en la reserva natural La Planada (Nariño). *Colombia Forestal*, 9(19) Retrieved from <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3347/4857>
- Ruibal, R. (1957). An altitudinal and latitudinal cline in rana pipiens. *Copeia*, 212-221.
- Samis, K. E., Murren, C. J., Bossdorf, O., Donohue, K., Fenster, C. B., Malmberg, R. L., . . . Stinchcombe, J. R. (2012). Longitudinal trends in climate drive flowering time clines in North American *Arabidopsis thaliana*. *Ecology and Evolution*, 2(6), 1162-1180. doi:10.1002/ece3.262
- Soltis Center for Research and Education. (2013). Resources: On line meteorological data. Revisado de <http://soltiscentercostarica.tamu.edu/Resources/On-Line-Meteorological-Data>
- Tatar, M., Gray, D. W., & Carey, J. R. (1997). Altitudinal variation for senescence in melanoplus grasshoppers. *Oecologia*, 111(3), 357-364.
- Tully, K., y Lawrence, D. (2010). Declines in leaf litter nitrogen linked to rising temperatures in a wet tropical forest. *Biotropica*, 42(5), 526-530. doi:10.1111/j.1744-7429.2010.00693.x
- Vargas, L. (2012). *Análisis de una cronosecuencia de bosques tropicales del Corredor Biológico Osa, Costa Rica* (Instituto Tecnológico de Costa Rica). Revisado de http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/3004/Informe_final.pdf?sequence=1
- Vitasse, Y., Delzon, S., Bresson, C. C., Michalet, R., y Kremer, A. (2009). Altitudinal differentiation in growth and phenology among populations of temperate-zone tree species growing in a common garden. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(7), 1259-1269. doi:10.1139/X09-054
- Webb, E. L. (1999). Growth ecology of *Carapa nicaraguensis* Aublet. (Meliaceae): Implications for natural forest Management1. *Biotropica*, 31(1), 102-110. doi:10.1111/j.1744-7429.1999.tb00121.x
- Yepes, A., Herrera, J., Phillips, J., Cabrera, E., Galindo, G., Granados, E., Duque, Á., Barbosa, A., Olarte, C., y Cardona, M. (2015). Contribución de los bosques tropicales de montaña en el almacenamiento de carbono en Colombia. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 63(1) Revisado de <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/14679>