



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

COMBUSTIBLES FORESTALES SUPERFICIALES Y RIESGO DE INCENDIO EN TRES ESTADIOS DE SUCESIÓN DE BOSQUES EN EL PARQUE NACIONAL PALO VERDE, COSTA RICA.

**TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA
FORESTAL**

Pedro Andrey Rojas Chaves

CARTAGO, COSTA RICA

NOVIEMBRE, 2014

Combustibles forestales superficiales y riesgo de incendio en tres estadios de sucesión de bosques en el Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica.

Resumen

Para este estudio se cuantificó el combustible forestal superficial de los árboles en pie y del mantillo orgánico. También, se caracterizó la composición florística, en tres tratamientos de estadios sucesionales, bosque primario (38,36 ha), mayor a 30 años (22,75 ha) y de 10-25 años (29,88 ha). Se estableció un diseño de muestreo de parcelas temporales simple aleatorio estratificado con siete repeticiones por tratamiento (15 x 50 m), con sub muestreo de parcelas de 1m² para la cuantificación del material superficial del suelo. Las muestras de mantillo fueron llevadas al laboratorio del Centro de Investigación en Integración Bosque Industria (CIIBI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago, se realizaron pruebas de consumo del combustible. Se determinó el índice de peligrosidad de combustibles superficiales (IP_{CS}). En los tres sitios se identificó un total de 567 individuos, distribuidos en 57 especies pertenecientes a 28 familias (5 familias representadas por solamente un individuo). Solamente 10 especies estuvieron presentes en los tres estadios sucesionales. La mayor cantidad de especies se encontró en el bosque primario (37), mientras que el bosque mayor a 30 años presentó el mayor número de familias (20). El bosque primario presenta la mayor cantidad de combustible disponible en los árboles con un valor de 254,67 Mg ha⁻¹. Para el bosque secundario maduro (> 30 años) se estimó una biomasa promedio de 196,27 Mg ha⁻¹. Los valores más bajos (71,31 Mg ha⁻¹) corresponden al bosque de 10-25 años. Los combustibles acumulados en el mantillo fueron mayores para el bosque primario (14,06 Mg ha⁻¹), seguido por el bosque mayor a 30 años (11,87 Mg ha⁻¹), y por último el bosque de 10-25 años (7,75 Mg ha⁻¹). Se encontró que la cantidad de combustibles tiende a ser mayor en los sitios más viejos. Se obtuvo un valor promedio del IP_{CS} de 754,32, según el criterio de clasificación descrito por Galiana (2009) y modificado por Parra (2013), los tres estadios de sucesión se ubican en la categoría de peligrosidad media-baja.

Palabras clave: Biomasa, incendios forestales, índice de peligrosidad de combustibles superficiales, porcentaje de consumibilidad, Costa Rica.

Surface fuels and forest fire risk in three stages of forest succession in the Palo Verde National Park, Costa Rica.

Abstract

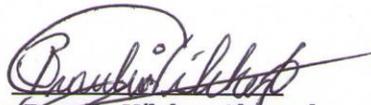
In this study, forest fuel of the standing trees and aboveground mulch was quantified. Also, the floristic composition was characterized in three successional stages of treatment, old or primary forest (38.36 ha), more than 30 years (22.75 ha) and 10-25 years (29.88 ha). The sampling design for temporary plots was a simple random and stratified, with seven replicates per treatment (15 x 50 m), with sub plots 1m² for quantification of surface soil material. Topsoil samples were taken to the laboratory of the Center for Integration Research Forest Industry (CIIBI) at the Instituto Tecnológico de Costa Rica. The consumption tests were performed. The hazard index was determined from surface fuels. A total of 567 individuals, 57 species and 28 families (five families represented by only one individual) was identified. Only 10 species were present in the three successional stages. Most species are found in primary forest (37), while the > 30 years forest had the highest number of families (20). The primary forest has the highest amount of forestry fuel with a value of 254.67 Mg ha⁻¹. The mature secondary forest (> 30 years) was the second highest with 196.27 Mg ha⁻¹. The lowest values (71.31 Mg ha⁻¹) correspond to the 10-25 years forest. The fuels accumulated in the topsoil was higher for primary forest (14.06 Mg ha⁻¹), followed by the largest forest to 30 years (11.87 Mg ha⁻¹), and finally the forest 10-25 years (7.75 Mg ha⁻¹). It was found that the amount of fuel tends to be higher in the older sites. The average value obtained of IPCS was 754.32, according to the classification criteria described by Galiana (2009) and modified by Parra (2013), the three stages of succession are placed in the medium-low risk category.

Key Words: Biomass, forest fire, danger index of surface fuels, Costa Rica.

Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

**COMBUSTIBLES FORESTALES SUPERFICIALES Y RIESGO DE
INCENDIO EN TRES ESTADIOS DE SUCESIÓN DE BOSQUES EN EL
PARQUE NACIONAL PALO VERDE, COSTA RICA.**

Miembros del tribunal

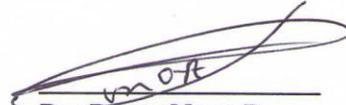


MSc. Braulio Vilchez Alvarado
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Director de tesis



Dr. Mahmood Sasa Marín
Organización para Estudios Tropicales

Lector



Dr. Roger Moya Roque
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Lector

DEDICATORIA

A mis padres y mi familia, ya que ellos me brindaron todo su apoyo, confianza y motivación para salir adelante y alcanzar este gran éxito.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis padres Irene y Pedro por su esfuerzo, apoyo, dedicación y amor para formar a la persona que soy hoy.

A mis grandes amigos por su apoyo y por amistad durante mi carrera de estudiante, especialmente a Verónica Villalobos Barquero, Erick Naranjo Esquivel y Jason Rojas Guerrero por todos los momentos de estudio, trabajo de giras y disfrute que vivimos juntos.

A mi profesor tutor Braulio Vílchez Alvarado, que más que un profesor se convirtió en un gran amigo que me guió durante mi formación profesional y personal.

A mis profesores, porque de cada uno de ellos aprendí lo necesario para salir adelante durante mis estudios.

A los funcionarios de la Escuela de Ingeniería forestal y del departamento de transportes por la colaboración y apoyo brindado durante mis estudios.

A la Organización para Estudios Tropicales por brindarme todas las facilidades dentro de las instalaciones de la estación Biológica Palo Verde y muy especialmente al personal de la estación por su calidez y trato durante la estadía en la elaboración del proyecto final de graduación.

A la empresa cementera Holcim, por aportar el financiamiento necesario para el hospedaje, alimentación y compra de materiales durante el proyecto.

Al Sistema Nacional de Áreas de Conservación por concederme el permiso de investigación en el Área de Conservación Arenal-Tempisque, para acceder al Parque Nacional Palo Verde.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| MATERIAL Y MÉTODOS..... | 2 |
| Sitio de estudio..... | 2 |
| Toma de datos | 2 |
| Carga de combustibles superficiales | 3 |
| Índice de peligrosidad de combustibles superficiales | 5 |
| Análisis estadístico..... | 6 |
| RESULTADOS..... | 6 |
| Estructura y composición florística | 6 |
| Carga de combustibles superficiales | 10 |
| Índice de peligrosidad de combustibles superficiales | 12 |
| DISCUSIÓN | 13 |
| Estructura y composición florística | 13 |
| Carga de combustibles superficiales | 14 |
| Índice de peligrosidad de combustibles superficiales | 15 |
| CONCLUSIONES | 16 |
| REFERENCIAS..... | 18 |
| ANEXOS | 23 |

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un fenómeno natural y constante en los ecosistemas terrestres del mundo. Castillo, Pedernera y Peña (2003); Shlisky et al (2007) y Mckenzie et al (2011), señalan que el fuego ha sido parte vital y esencial en los procesos de sucesión ecológica y dinámica de los paisajes boscosos. Sin embargo, según Goldammer (1999), Cochrane y Ryan (2009) los incendios eran poco comunes en bosques tropicales por la elevada humedad de estos ecosistemas, y ahora son fenómenos bastante frecuentes a escala mundial, al punto que aproximadamente 50% de la superficie afectada por el fuego corresponde a áreas tropicales. Las alteraciones antropogénicas de acuerdo con Schultz et al (2008) han ocasionado que todos los años grandes extensiones de bosques, selvas, matorrales y pastizales se incendien, alterando así la dinámica natural del fuego y ocasionando serias repercusiones ambientales.

Para Flannigan, Krawchuk, de Groot, Wotton, Gowman (2009) y Rodríguez-Trejo (2012) en la actualidad, el cambio climático global ha afectado el régimen del fuego, por lo que se están observando alteraciones en los incendios forestales en diversas regiones del planeta, siendo estos de mayor duración, intensidad y severidad. Aunado a esto, Castillo et al (2003), Barlow y Peres (2004) piensan que el fenómeno del niño es un factor determinante a tomar en cuenta, ya que modifica las condiciones climáticas predominando la baja humedad relativa del aire, las altas temperaturas, el bajo contenido de humedad de la vegetación y la presencia de vientos cálidos que favorecen la formación de incendios. Además, Castillo et al (2003) Morfin-Ríos, Jardel, Alvarado y Michel-Fuentes (2012) aseguran que el proceso de combustión de grandes cantidades de la biomasa de los bosques tropicales constituye una gran fuente de emisión de gases químicamente activos, tales como dióxido de carbono, metano, óxido nítrico, entre otros. Factores que contribuyen en gran medida al calentamiento global.

En Costa Rica los incendios forestales son cada vez más frecuentes y de mayor intensidad. Según el reporte de la Comisión Nacional sobre Incendios Forestales (CONIFOR, 2013), entre el 2012 y 2013 se registró un aumento de 20 887,56 hectáreas afectadas por incendios, hasta alcanzar una cifra de 55 603,13 hectáreas quemadas en el 2013 (162 incendios). El 89,50% de los eventos fueron de origen antropogénico siendo el cambio de uso del suelo la principal causa (30,25%), además de actividades de quema de pastos (18,25%), quemas agropecuarias (17,28%) vandalismo (15,43%) y

cacería (8,02%). Son muchos los esfuerzos que se han hecho en materia de combate contra incendios; sin embargo, a diferencia de ecosistemas forestales templado-fríos, casi no se han generado información sobre los ecosistemas forestales tropicales y sus combustibles, y son pocos los esfuerzos que se han hecho por estudiar los procesos de inflamabilidad y consumo de los combustibles (Neri-Pérez, Rodríguez-Trejo y Contreras-Aguado, 2009).

El presente estudio tuvo como objetivo cuantificar los combustibles superficiales de tres estadios sucesionales del bosque seco tropical transición a húmedo y determinar el riesgo de propagación de incendios de los combustibles presentes en los diferentes estadios sucesionales de los bosques del Parque Nacional Palo Verde.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el Parque Nacional Palo Verde (PNPV) ubicado en la provincia de Guanacaste, 28 kilómetros hacia el suroeste del cantón de Bagaces entre los ríos Bebedero y Tempisque (10°21' N, 85° 21' W). El parque abarca un área de 19 800 hectáreas entre humedales y bosques en diferentes estadios sucesionales. El PNPV se encuentra en las zonas de vida bosque seco tropical y bosque húmedo tropical según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967). Las parcelas se ubican específicamente en la zona de vida bosque seco tropical transición a húmedo. La estación seca se extiende por 5 meses (diciembre - abril) mientras que la estación lluviosa es de 7 meses (mayo – noviembre), con una precipitación media anual que oscila entre 1267 y 1717 mm, y una temperatura promedio de 25°C (Gillespie, Grijalva y Farris, 2000). Los suelos más abundantes son Typic Pellusterts/Typic Pelluderts and Typic Ustropepts de acuerdo con Powers., Becknell., Irving y Pérez-Aviles (2009).

Toma de datos

Entre agosto y octubre del 2014 se realizaron muestreos de composición florística y carga de combustibles superficiales en megagramos por hectárea ($Mg\ ha^{-1}$) bajo tres tratamientos de estadios sucesionales, bosque viejo o primario (38,36 ha), mayor a 30 años (22,75 ha) y de 10-25 años (29,88 ha). El diseño de muestreo de parcelas temporales del estudio corresponde a un aleatorio estratificado con igual número de

repeticiones (7) entre tratamientos. Se tomaron muestras del mantillo orgánico superficial del suelo, ramas y tallos leñosos. Además se determinó la biomasa presente en los árboles vivos. Las muestras de mantillo obtenidas fueron llevadas al laboratorio dentro del Centro de Investigación en Integración Bosque Industria (CIIBI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago. Se realizaron pruebas de inflamabilidad, consumibilidad y combustión para el cálculo del índice de peligrosidad de combustibles superficiales y el riesgo de incendio para cada tipo de bosque.

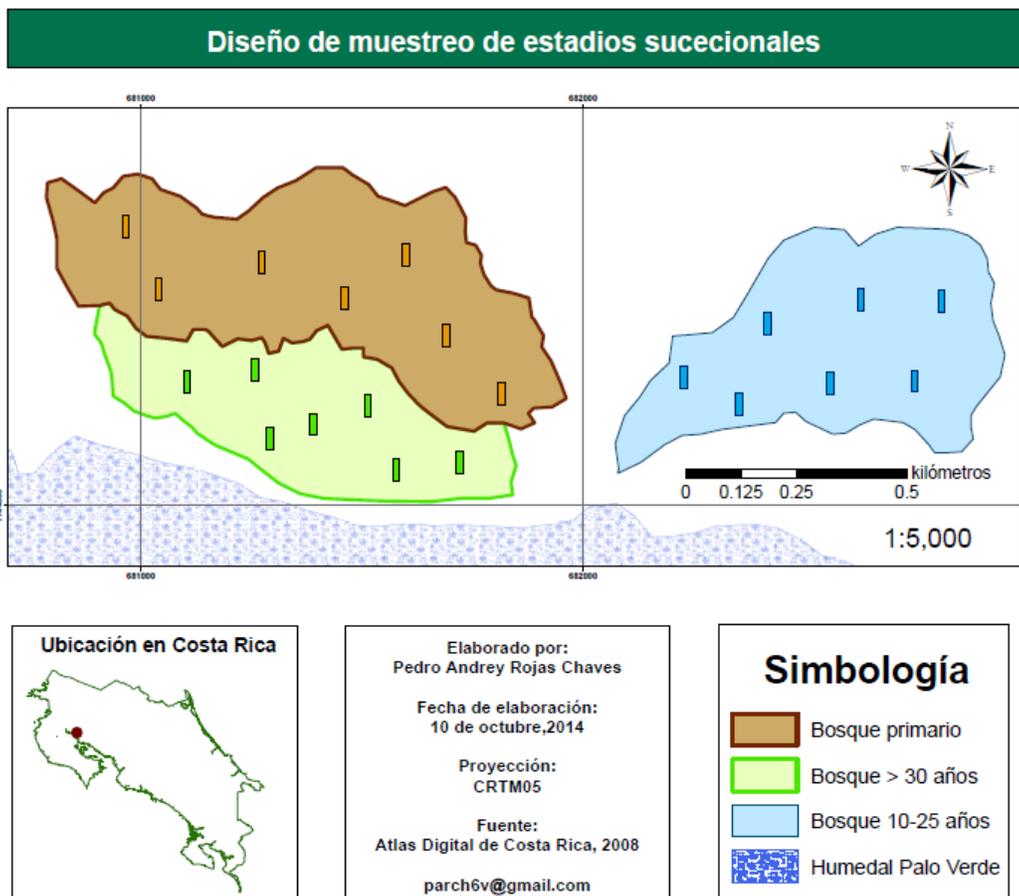


Figura 1. Diseño de muestreo de combustibles en cada estadio sucesional del bosque, del PNPV, Costa Rica.

Carga de combustibles superficiales

Árboles en pie

En cada estadio sucesional se instalaron siete parcelas temporales de 750 m² (50 m x 15 m) separadas 150 m entre sí. Se evaluó con intensidades de muestreo de 1,37

%, 2,31 % y 1,76 % para el bosque primario, mayor a 30 años y de 10-15 años respectivamente. En cada parcela se identificaron los individuos, se midió el diámetro y altura total de todos los árboles mayores a diez centímetros de diámetro medido a 1,30 metros arriba del suelo, este límite se definió con el fin de incluir en este estudio solamente los árboles satisfactoriamente establecidos de acuerdo con Powers et al (2009). Para determinar el combustible de los árboles en pie (biomasa de los árboles) se utilizó la ecuación desarrollada por Chave et al (2014). El valor de densidad de la madera de cada una de las especies dado en gramos por centímetro cúbico (Anexo 4) se obtuvo del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001) y de la base de datos elaborada por Zanne et al (2009):

$$AGB_{est} = 0,0673 \times (\rho D^2 H)^{0,976}$$

Donde:

AGB_{est} = biomasa de los árboles en pie, kg.

D = diámetro, cm.

H = altura total, m.

ρ = densidad de la madera, g cm⁻³. (Anexo 4)

Mantillo

Para estimar la cantidad de combustible disponible en la cubierta vegetal superficial del suelo se tomaron tres muestras de 0,9 m² en tres puntos distintos de las parcelas (extremos y centro) en los diferentes tratamientos, 63 en total. El material se colectó en bolsas de papel debidamente rotuladas, se llevó al laboratorio de la OET en la estación biológica Palo Verde donde fue pesado y luego secado en un horno a 45°C hasta alcanzar un peso constante (aproximadamente 48 horas). Las muestras secas fueron pesadas nuevamente para determinar la biomasa (Mg ha⁻¹) a partir del contenido de humedad mediante la fórmula propuesta por Schleguel, Gayoso y Guerra (2001). En este estudio no incluyó los árboles caídos.

$$Bm = \frac{Phbm}{1 + \left(\frac{CH}{100}\right)}$$

Donde:

Bm = biomasa seca del matillo, g.

Phbm = peso húmedo del mantillo, g.

CH = contenido de humedad, %.

Índice de peligrosidad de combustibles superficiales

De acuerdo con Galiana, Aranoneses, Montiel, De La Cita y Fernández (2009) el índice de peligrosidad de combustibles superficiales hace referencia a la facilidad intrínseca de un sistema forestal para propagar el fuego, convirtiéndolo en un incendio. Dicho índice se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$IP_{CS} = ({}^{\circ}T_{Ig}) + ({}^{\circ}T_p) + \%C$$

Donde:

IP_{CS} = Índice de Peligrosidad de Combustibles Superficiales.

CS = Carga de combustibles superficiales.

${}^{\circ}T_{Ig}$ = Temperatura de ignición.

${}^{\circ}T_p$ = Temperatura pico o máxima alcanzada.

$\%C$ = Porcentaje de consumibilidad.

Para determinar la temperatura de ignición se pesaron 45 gramos de cada muestra. Se sometió a un proceso de autoignición utilizando una plantilla eléctrica, se aplicó un intervalo de temperatura entre cero y quinientos grados Celsius bajo condiciones de aislamiento de corrientes de aire. La temperatura se midió mediante el uso de una termocúpla (Testo 177-T4), se colocó un sensor por debajo del material y otro sobre la muestra. La temperatura de ignición no se pudo obtener mediante la metodología descrita, el material muestreado llegó a consumirse por completo, sin embargo, no se pudo distinguir el momento en que este entró en ignición, describiendo la ignición como el momento en que el material alzar llama de acuerdo con Anderson (1970), Neri-Pérez (2009), Rodríguez-Trejo (2012) y Parra (2013). Sin embargo, Anderson (1970) y Parra (2013) realizaron reportes de temperatura de ignición de combustibles promedio de 300 °C y 324,23 °C respectivamente para bosques secos tropicales. Para el cálculo del IP_{CS} se utilizó 324,23 °C como la temperatura media de ignición para los tres estadios de sucesión.

Para determinar la proporción de combustible quemado (porcentaje de consumibilidad) se pesó aproximadamente 1 gramo de cada muestra, se colocó en un vidrio reloj y se le aplicó calor con un quemador bunsen hasta que el material se consumió por completo. Luego se retiraron las cenizas y se pesaron. La temperatura máxima se midió mediante el uso de una termocúpla (Testo 177-T4), se colocó un sensor sobre la muestra. El

porcentaje de cenizas (%c) y de consumibilidad (%Co) se calcularon con los modelos desarrollados por Neri-Pérez et al (2009):

$$\%c = \frac{pf}{pi} \times 100$$

$$\%Co = 100 - \%c$$

Donde:

pf = peso de las cenizas

pi = peso inicial de la muestra.

Análisis estadístico

Los datos de abundancia, área basal, volumen y carga de combustibles (cobertura forestal y mantillo) fueron analizados con el programa estadístico Infostat (versión 2008) con un 95% de confianza ($\alpha = 0,05$). Para verificar la normalidad de los datos se realizó la prueba Shapiro-Wilks modificado, ninguno de los valores tuvo un comportamiento normal por lo que se procedió a utilizar estadística no paramétrica para comparar las medianas de las diferentes variables por tratamiento. Se planteó la H_0 : No existen diferencias significativas entre los combustibles para cada estadio de sucesión, y H_a : Si existen diferencias significativas entre los combustibles para cada estadio de sucesión. Se realizó un análisis de varianza no paramétrica (Kruskal-Wallis) para buscar diferencias entre las variables.

Para el índice de peligrosidad de combustibles superficiales se analizó cada una de las variables (Temperatura de ignición, temperatura máxima y porcentaje de consumibilidad) mediante una prueba de normalidad de datos (Shapiro-Wilks modificado). Se realizó un análisis de varianza para comprobar si existían diferencias estadísticas significativas entre las variables por estado sucesional. Para comparar las medias de los resultados se utilizó una prueba de Tukey.

RESULTADOS

Estructura y composición florística

Se obtuvo un error de muestreo de 3,68 % sobre el área basal para el diseño simple aleatorio estratificado. En los tres sitios se identificó un total de 567 individuos, distribuidos en 57 especies pertenecientes a 28 familias (5 familias representadas por

solamente un individuo). Solamente 10 especies estuvieron presentes en los tres estadios sucesionales.

En el bosque viejo o primario se encontraron 172 individuos ($327,62 \text{ ha}^{-1}$) pertenecientes a 20 familias y representados por 37 especies (Figura 2, a y b; Anexo 1). El 60,47% de los árboles está representado en tan solo cuatro familias (Fabaceae, Malvaceae, Anacardaceae y Moraceae). En el bosque mayor a 30 años, se registraron 179 individuos ($340,95 \text{ ha}^{-1}$) distribuidos en 35 especies, pertenecientes a 21 familias (Figura 2, a y b; Anexo 2). Cuatro de estas familias (Anacardaceae, Malvaceae, Rubiaceae, Burseraceae) abarcaron el 63,69% de los individuos muestreados. Para el estadio de 10-25 años se registró un total de 216 individuos ($411,43 \text{ ha}^{-1}$), 27 especies pertenecientes a 14 familias (Figura 2, a y b; Anexo 3), donde las cuatro familias con mayor número de individuos abarcan el 82,87% de los árboles (Malvaceae, Simaroubaceae, Fabaceae, Rubiaceae).

La composición de especies y familias es distinta para cada estadio sucesional, se encontró que existen diferencias significativas ($\alpha = 0,05$; $p = 0.0001$) entre la cantidad de especies y familias. La abundancia de individuos mostró diferencias estadísticas del bosque más joven (10-25 años) respecto a los otros estadios (Cuadro 1). La mayor cantidad de especies se encontró en el bosque primario (37), mientras que el bosque > 30 años presentó el mayor número de familias (20) (Cuadro 1). El número de especies presentó forma de J invertida para todos los estadios de sucesión; el mayor número de especies se encontró en las primeras clases, y disminuyó conforme aumentó el diámetro (Figura 2, c).

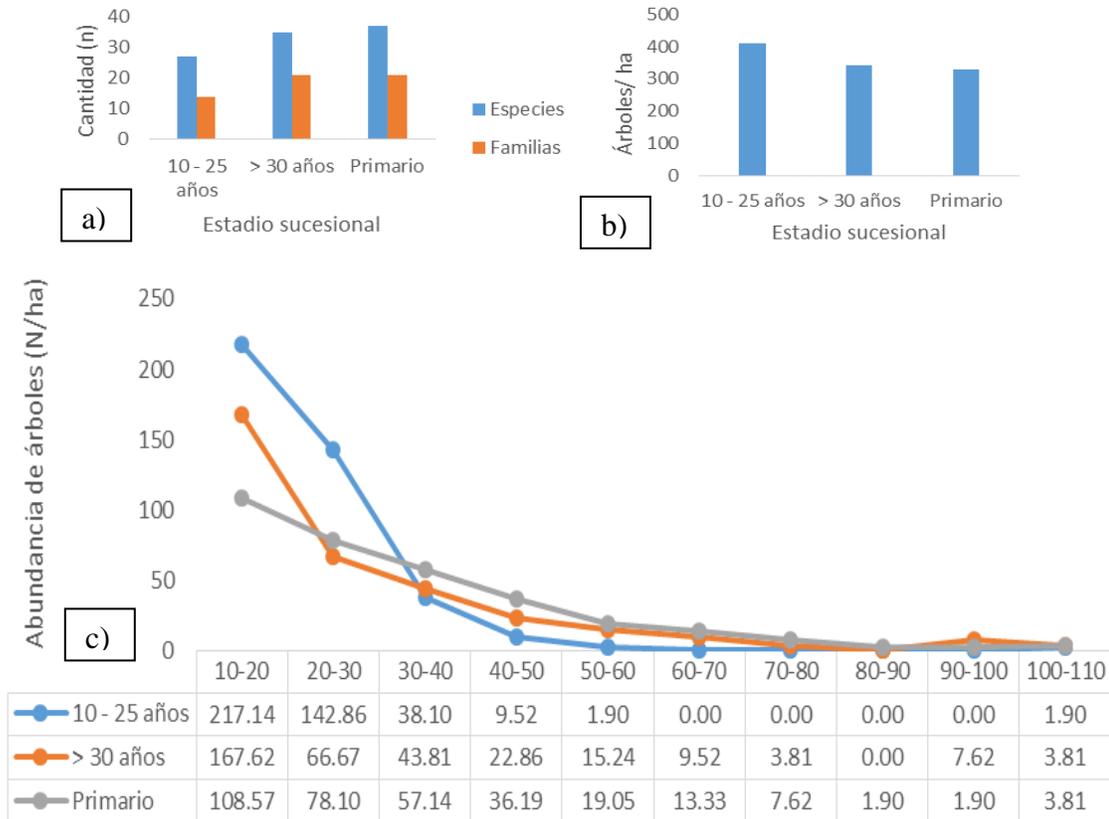


Figura 2. a) Número de especies y familias, b) abundancia de árboles ($N\ ha^{-1}$) y c) número de árboles por hectárea por distribución diamétrica para bosques de diferentes estadios sucesionales del PNPV, Costa Rica. 2014.

Se encontró que la densidad de árboles por unidad de área disminuye conforme aumenta la edad de los sitios (Cuadro 1 y Figura 2, c). En cuanto al área basal y volumen encontramos que los valores promedio tienden a ser mayores conforme se aumenta el estadio sucesional, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0,05$; $p = 0,0001$) entre las medias de los tratamientos (Cuadro 1). El cuadro 1 presenta los valores de los parámetros estructurales (abundancia de individuos, familias y especies, área basal (G) y volumen (V) para los diferentes estadios de sucesión).

Cuadro 1. Valores promedio con su desviación estándar de los parámetros estructurales (abundancia de individuos por hectárea, número de familias, abundancia de especies, área basal (G) y volumen (V)) para tres estadios sucesionales, en bosques del PNPV, Costa Rica. 2014.

| Estadio sucesional | Número de árboles | Desviación estándar | Número de especies | Desviación estándar | Número de familias | Desviación estándar | G (m ² ha ⁻¹) | Desviación estándar | V (m ³ ha ⁻¹) | Desviación estándar |
|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 10 - 25 años | 216 a | 9,04 | 27 a | 17,64 | 14 a | 24,65 | 16,78 a | 0,12 | 81,09 a | 0,91 |
| > 30 años | 179 b | 7,64 | 35 b | 7,22 | 20 b | 13,88 | 30,12 b | 0,28 | 215,07 b | 2,53 |
| Primario | 172 b | 7,44 | 37 b | 3,67 | 19 b | 10,09 | 34,49 c | 0,26 | 262,58 c | 2,24 |

* Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Para el bosque primario el pico máximo de área basal se da en la categoría entre 30 y 40 cm de diámetro (Figura 3). El valor más alto de área basal reportado se encuentra en el bosque más juvenil (10 – 25 años) en la clase diamétrica entre 20 y 30 cm (Figura 3), que a su vez, es la segunda categoría que presenta mayor densidad de individuos (Figura 2, c).

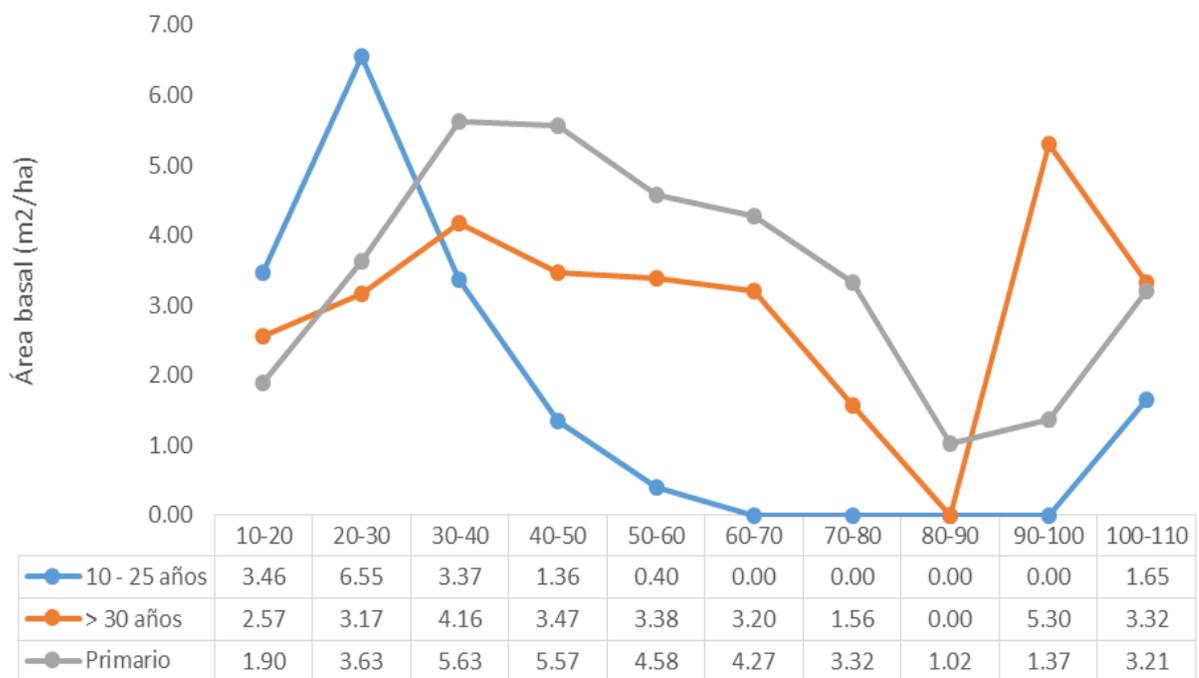


Figura 3. Área basal (m² ha⁻¹) según la distribución diamétrica para bosques de diferentes estadios sucesionales del PNPV, Costa Rica. 2014.

Carga de combustibles superficiales

El valor más alto de combustible promedio de los árboles en pie se encuentra en la categoría diamétrica 60 - 70 cm (bosque primario) con 47,11 Mg ha⁻¹ y el valor mínimo de biomasa correspondió a la clase de 50 – 60 cm del estadio 15 – 25 años con apenas 0,93 Mg ha⁻¹ (Figura 4). Este resultado es consecuente con el valor de área basal más bajo del estudio (0,40 m² ha⁻¹), mientras que el pico más alto de combustibles corresponde al quinto valor más alto del área basal (4,27 m² ha⁻¹).

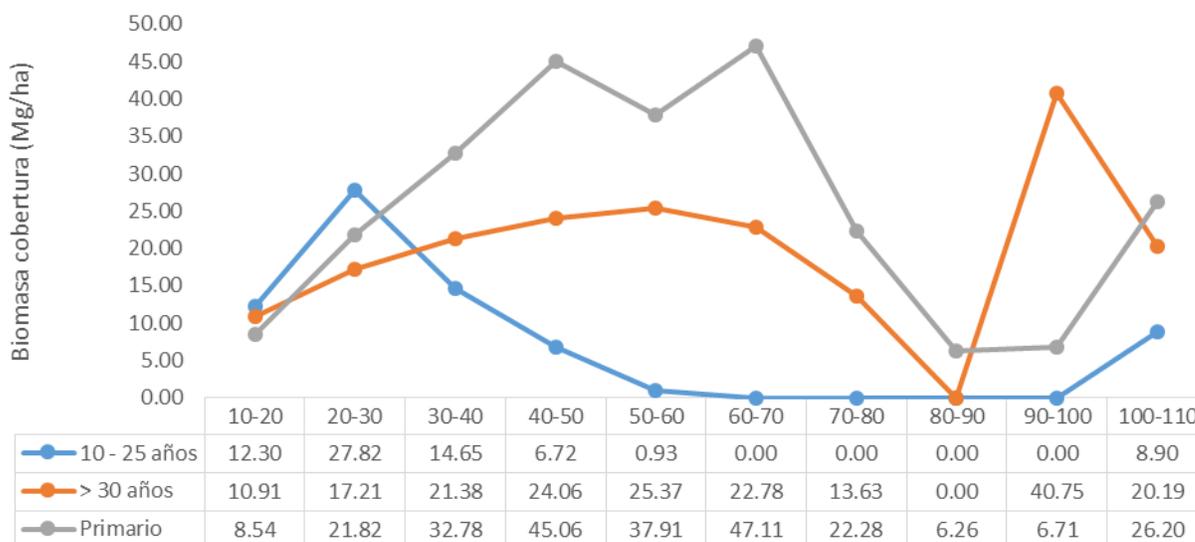


Figura 4. Carga de combustibles de árboles en pie (Mg ha⁻¹) según la distribución diamétrica para bosques de diferentes estadios sucesionales del PNPV, Costa Rica. 2014.

Para la biomasa acumulada por los árboles en pie se encontraron diferencias estadísticas ($\alpha = 0,05$; $p = 0,0001$) entre las tres edades de bosque. El bosque primario presenta la mayor cantidad de combustible disponible con un valor de 254,67 Mg ha⁻¹ (Cuadro 2 y Figura 5). Para el bosque secundario maduro (> 30 años) se estimó una biomasa promedio de 196,27 Mg ha⁻¹. Los valores más bajos (71,31 Mg ha⁻¹) corresponden al bosque de 10-25 años. En el cuadro 2 se presentan los valores obtenidos de combustibles (Mg ha⁻¹) en los árboles en pie y el mantillo orgánico para los diferentes estados de sucesión. Este cuadro muestra como la cantidad de biomasa es mayor conforme aumenta la edad del sitio encontrándose diferencias significativas entre los tres sitios de estudio ($\alpha = 0,05$) para ambos combustibles.

Cuadro 2. Combustible (Mg ha⁻¹), desviación estándar y coeficiente de variación para los árboles en pie y el mantillo en tres estadios de sucesión, en bosques del PNPV, Costa Rica 2014.

| Estadio sucesional | Combustible árboles en pie (Mg ha ⁻¹) | Desviación estándar | Coeficiente de variación | Combustible mantillo (Mg ha ⁻¹) | Desviación estándar | Coeficiente de variación | Combustible total (Mg ha ⁻¹) |
|--------------------|---|---------------------|--------------------------|---|---------------------|--------------------------|--|
| 10 - 25 años | 71,31 a | 0,65 | 197,97 | 7,75 a | 3,00 | 38,75 | 79,06 a |
| > 30 años | 196,27 b | 2,13 | 194,40 | 11,87 b | 5,78 | 48,67 | 208,14 b |
| Primario | 254,67 c | 2,39 | 161,61 | 14,06 b | 10,24 | 72,84 | 268,73 c |
| Promedio | 174,08 | 1,72 | 184,66 | 11,23 | 6,34 | 53,42 | 185,31 |

* Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Los combustibles acumulados en el mantillo fueron mayores para el bosque primario (14,06 Mg ha⁻¹), seguido por el bosque mayor a 30 años (11,87 Mg ha⁻¹), y por último el bosque de 10-25 años (7,75 Mg ha⁻¹) (Cuadro 2 y Figura 5). Se encontraron diferencias estadísticas ($\alpha = 0,05$; $p = 0,0018$) en la cantidad de biomasa del mantillo orgánico en los tres sitios muestreados. Al calcular los valores promedio para cada una de las parcelas, se encontró que el valor máximo alcanzado corresponde a la parcela BP6 (bosque primario) con 33,66 Mg ha⁻¹ y el valor mínimo de biomasa correspondió al de la parcela BJ7 (bosque de 10-25 años) con 5,25 Mg ha⁻¹.

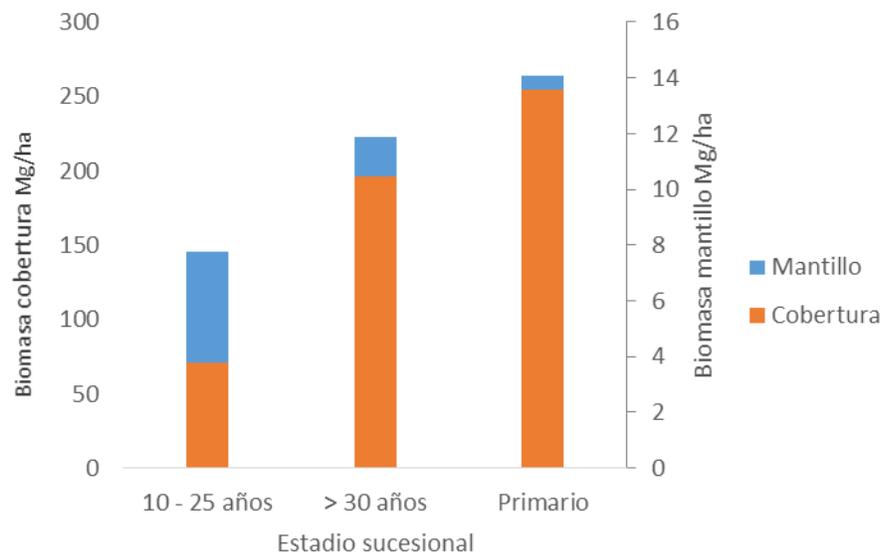


Figura 5. Carga de combustibles de árboles en pie y mantillo orgánico (Mg² ha⁻¹) para tres bosques de diferentes estadios sucesionales del PNPV, Costa Rica. 2014.

Se obtuvo un valor total de combustible forestal de 79,06 Mg ha⁻¹ para el bosque más joven (10 – 25 años), 208,14 Mg ha⁻¹ en el bosque mayor a 30 años y un máximo de 268,73 Mg ha⁻¹ en el bosque primario (Figura 5), siendo este el estadio sucesional con la mayor carga de combustibles disponible. Existen diferencias estadísticas que respaldan estos resultados ($\alpha = 0,05$; $p = 0,0001$)

Índice de peligrosidad de combustibles superficiales

Temperatura de ignición ($^{\circ}T_{ig}$)

Para el cálculo del IP_{CS} se utilizó 324,23 °C como la temperatura media de ignición para los tres estadios de sucesión.

Temperatura pico o máxima alcanzada ($^{\circ}T_p$)

El valor promedio de temperatura pico obtenido es de 347,90 °C. Se determinó que no existen diferencias estadísticas ($\alpha = 0,05$; $p = 0,0806$) entre los tratamientos.

Porcentaje de consumibilidad (%C)

Se encontró que no existen diferencias estadísticas ($\alpha = 0,05$; $p = 0,0704$) entre la proporción de consumo del combustible en los tres estadios sucesionales del bosque.

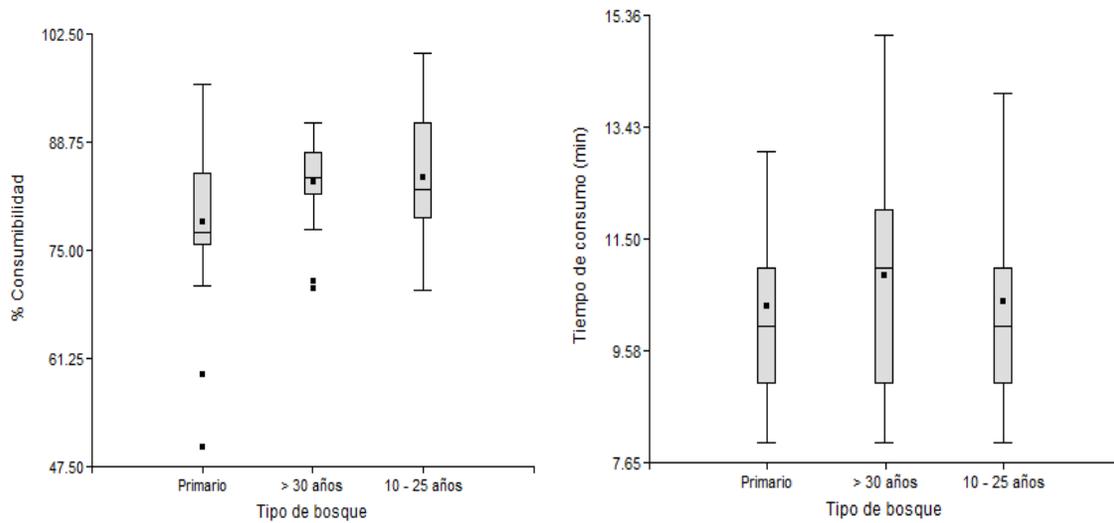


Figura 6. Porcentaje y tiempo de consumo del combustible presente en el matillo superficial en tres bosques de diferentes estadios sucesionales del PNPV, Costa Rica. 2014.

El valor promedio más alto corresponde al bosque de 10 – 25 años (84,26 %) (Cuadro 3). Por otro lado, el bosque primario presenta el menor dato promedio (78,63 %). Los porcentajes de consumo van desde el 50% hasta un 100 % (Figura 6).

Cuadro 3. Porcentaje y tiempo de consumibilidad con la respectiva desviación estándar, coeficiente de variación y error estándar de las medias, para el mantillo superficial del suelo en tres estadios de sucesión, en bosques del PNPV, Costa Rica 2014.

| Estadio de sucesión | Porcentaje de consumibilidad | Desviación estándar | Coeficiente de variación | Error estándar | Tiempo de consumo (min) | Desviación estándar | Coeficiente de variación | Error estándar |
|---------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|----------------|
| 10 - 25 años | 84,26 a | 8,79 | 10,43 | 1,92 | 10,43 a | 1,50 | 14,39 | 0,33 |
| > 30 años | 83,67 a | 5,83 | 6,97 | 1,27 | 10,86 a | 1,77 | 16,28 | 0,39 |
| Primario | 78,63 a | 10,31 | 13,11 | 2,25 | 10,34 a | 1,56 | 15,09 | 0,34 |
| Promedio | 82,19 | 8,31 | 10,17 | 1,81 | 10,54 | 1,61 | 15,25 | 0,35 |

* Valores con la misma letra son estadísticamente iguales

Cuadro 4. Índice de peligrosidad de combustibles superficiales (IP_{CS}) en tres estadios de sucesión en bosques del PNPV, Costa Rica. 2014.

| Estadio de sucesión | Carga de combustibles ($Mg\ ha^{-1}$) | Temperatura ignición ($^{\circ}C$) | Temperatura máxima ($^{\circ}C$) | Consumibilidad (%) | IP_{CS} |
|---------------------|---|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------|---------------|
| 10 - 25 años | 7,75 | 324,23 | 349,70 | 84,26 | 758,19 |
| > 30 años | 11,87 | 324,23 | 344,10 | 83,67 | 752,00 |
| Primario | 14,06 | 324,23 | 349,90 | 78,63 | 752,76 |
| Promedio | 11,23 | 324,23 | 347,90 | 82,19 | 754,32 |

Se obtuvo un valor promedio del IP_{CS} de 754,32, según el criterio de clasificación descrito por Galiana (2009) y modificado por Parra (2013), los tres estadios de sucesión se ubican en la categoría de peligrosidad de propagación del fuego de media-baja.

DISCUSIÓN

Estructura y composición florística

Fonseca, Chaves, Mora y Meza (2002) tienen registros de 34 familias y 68 especies en bosques secos de Guanacaste, valores cercanos a los obtenidos. Además, Zamora (2010) obtuvo resultados de abundancia de familias y especies aproximados a

los del presente estudio (32 y 69 respectivamente) en una evaluación de la composición florística en bosques secos en Miramar de Puntarenas.

Morales-Salazar, Vílchez-Alvarado, Chazdon, Ortega-Gutiérrez, Ortiz-Malavassi y Guevara-Bonilla (2012) encontraron que los bosques primarios son más diversos que los bosques secundarios y que los índices de Shannon-Wiener y Simpson, así como el Alpha de Fisher incrementa en diversidad conforme se aumenta el estadio de sucesión del bosque.

La tendencia de la densidad de árboles por unidad de área a disminuir conforme aumenta la edad de los sitios también fue descrita por Powers et al (2009) en bosques secos de Guanacaste, y por Vílchez, Chazdon y Milla (2008) en bosques secundarios de la región Huetar Norte de Costa Rica. El comportamiento del área basal y el volumen de aumento según se incrementa la edad de los bosques es descrita por Leiva, Rocha, Mata y Gutiérrez-Soto (2009), comprobaron este comportamiento obteniendo una excelente correlación ($r^2 = 0,96$). Además, Carvajal-Venegas y Calvo-Alvarado (2013) lo definen como una muestra del estado de recuperación de los bosques.

Para el bosque primario el pico máximo de área basal se da en la categoría entre 30 y 40 cm de diámetro (Figura 3). Se presenta menor cantidad de individuos que en las dos clases anteriores, pero con diámetros mayores. En las clases posteriores se presenta una disminución del área basal con un aumento en las últimas dos categorías diamétricas las cuales corresponden a los diámetros más grandes, comportamiento también presente para los dos estadios de bosque inferiores. Por su parte, Morales-Salazar et al (2012), Zamora (2010) y Louman, Quirós y Nilsson (2001) encontraron patrones de distribución de área basal y volumen por clase diamétrica ($dap > 10$ cm) similares a los del presente estudio.

Carga de combustibles superficiales

Los valores obtenidos (Cuadro 2) concuerdan con lo encontrado por Becknell, Kucek y Powers (2012) para sitios bajo condiciones ambientales y ecológicas similares en Costa Rica, con un valor máximo de biomasa reportado de 334 Mg ha^{-1} . Por su parte, Gasparri y Manghi (2004) obtuvieron un valor cercano (266 Mg ha^{-1}) al del bosque primario en estudios de los bosques tropicales de Argentina. Se encontró que la cantidad de biomasa acumulada en los árboles tiende a ser mayor en los sitios más viejos. Becknell et al (2012) reportan el mismo comportamiento en bosque seco y seco transición húmedo en la provincia de Guanacaste. Por su parte, Ulate (2011) obtuvo valores promedio de

biomasa para la zona de vida bosque seco tropical (bs-T) de 161,33; 129,59 y 79,58 Mg ha⁻¹ en bosques primarios, intervenidos y secundarios tardíos (> 20 años) respectivamente; observándose la misma relación entre la edad del bosque y la cantidad de biomasa. Los resultados obtenidos de biomasa en el bosque primario están por encima del promedio encontrado por Ulate (2011), sin embargo el valor se encuentra dentro del ámbito de distribución normal descrito por Becknell et al (2012). Para estudios posteriores se recomienda considerar la biomasa que aportan los árboles caídos ya que constituyen una parte importante de los combustibles, sin embargo, la determinación de estos valores va a depender del estado de descomposición de la madera.

La tendencia del aumento de la cantidad de combustibles del matillo con la edad del bosque (Figura 5), es un comportamiento también descrito por Aguilar-Arias, Ortiz-Malavassi, Vílchez-Alvarado y Chazdon (2011), quienes obtuvieron a su vez, valores de biomasa ligeramente inferiores, en bosques de la Península de Osa. Esta diferencia puede deberse a que ambos estudios se realizaron en distintas zonas de vida. Además, según Xuluc-Tolosa, Vester, Ramírez-Marcial, Castellanos-Albores y Lawrence (2003), los bosques secos caducifolios tienden a acumular mayor cantidad de hojarasca, debido a las bajas tasas de descomposición de la materia orgánica y a que muchos de los individuos botan las hojas en períodos secos.

Los valores totales de carga de combustibles siguen la misma tendencia de aumento conforme se incrementa la edad del bosque (Cuadro 2).

Índice de peligrosidad de combustibles superficiales

Temperatura de ignición

Anderson (1970) y Parra (2013) reportaron valores de temperatura de ignición de combustibles promedio de 300 °C y 324,23 °C respectivamente para bosques secos tropicales. Al utilizar un valor de referencia existe un cierto grado de incertidumbre, ya que el material con el que se hicieron las pruebas es distinto al del estudio. Para estudios posteriores se recomienda contar con el equipo y tecnología necesaria para determinar la temperatura de ignición de los combustibles.

Temperatura pico o máxima alcanzada ($^{\circ}T_p$)

El resultado promedio en el estudio es comparable con el reportado por Parra (2013) en bosques de Colombia bajo condiciones ambientales similares (344,20 °C).

Porcentaje de consumibilidad (%C)

Parra (2013) reporta porcentajes de consumo inferiores a los del estudio (Figura 6), para el bosque más avanzado reporta un consumo de 63,70 % y de 77,30 % para el bosque secundario intermedio. Neri-Pérez et al (2009) encontró que la hojarasca de los bosques subcaducifolios y caducifolios tienden a consumirse en mayor medida que los bosques perennifolios. De igual manera, Mutch (1970) describe valores de consumo más altos para los bosques latifoliados tropicales, en contraste con ecosistemas pertenecientes a otros pisos altitudinales según Holdridge. Por otro lado, Neri-Pérez et al (2009) también encontraron que los bosques más avanzados en edad presentan porcentajes de consumo inferiores a los bosques de menor edad.

Los tres estadios de sucesión se ubican en la categoría de peligrosidad de propagación del fuego de media-baja. Esto se debe a que los valores de temperatura de ignición y máxima son relativamente altos por lo que el material presenta cierto tiempo de retardo de combustión. Sin embargo, bajo condiciones naturales el bosque puede verse afectado por otros factores como la radiación, humedad del suelo, velocidad del viento y topografía del terreno que podrían favorecer la propagación del fuego. Es recomendable realizar estudios calorimétricos de las especies dominantes en cada sitio de estudio, ya que al ser bosques compuestos por una gran diversidad de especies, es común que la dinámica de propagación del fuego sea condicionada por el material preponderante.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la abundancia, composición de especies, área basal y volumen del bosque aumentan conforme avanza el estadio de sucesión. Además existen diferencias en el grado de acumulación de combustibles forestales según el estadio sucesional del bosque.

A medida que este avanza aumentan las cantidades de combustibles. En el bosque primario se encuentra la mayor concentración de combustibles tanto de los árboles en pie como del mantillo superficial del suelo.

La biomasa representada en los árboles en pie constituye el principal aporte de combustibles en el bosque, por lo tanto, existe una gran acumulación de material leñoso disponible para arder en presencia de los incendios forestales.

El valor promedio de temperatura máxima alcanzada por los combustibles es de 347,90 °C para todo el bosque.

La proporción de combustible que se consume está por encima del 75 % para los tres estadios sucesionales muestreados.

Por último, el riesgo de ocurrencia de incendios según la peligrosidad es de media-baja en los tres estadios de sucesión.

REFERENCIAS

- Aguilar-Arias, H., Ortiz-Malavassi, E., Vílchez-Alvarado, B., y Chazdon, R.L. (2011). Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9 (22), 22-31. Recuperado de <http://www.tecdigital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/360>
- Anderson, H. E. (1970). Forest fuel ignitibility. *Fire Technology*, 6 (4), 312-322. Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02588932>
- Atlas Digital de Costa Rica. 2009. Edgar Ortiz Malavassi y Casia Soto Montoya. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Barlow, J., Peres, C.A. (2004). Ecological responses to El Niño-induced surface fires in Central Brazilian Amazonia: management implications for flammable tropical forests. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 359 (1443), 367-380.
- Becknell, J. M., Kucek, L. K. y Powers, J. S. (2012). Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. *Forest Ecology and Management*, 276 (2012), 88-95. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112712002009>
- Carvajal-Venegas, D. y Calvo-Alvarado, J.C. (2013). Tasas de crecimiento, mortalidad y reclutamiento de vegetación en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 10(25), 1-12. Recuperado de <http://www.tecdigital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/1371/1267>
- Castillo, M., Pedernera, P. y Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista ambiente y desarrollo de CIPMA*, 19 (3-4), 44-53. Recuperado de http://www.cipma.cl/web/200.75.6.169/RAD/2003/3-4_Castillo.pdf
- Chave, J., Rejou-Mechain, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, F. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martinez – Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller –Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Pelissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J. G. y Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*. doi: 10.1111/gcb.12629

- Cochrane, M.A. y Ryan, K.C. (2009). *Fire and fire ecology: Concepts and principles*. Alemania: Cochrane. Recuperado de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77381-8_2
- Comisión Nacional sobre Incendios Forestales (CONIFOR). (2013). *Resultados de la temporada de incendios forestales 2013*. (Comunicado de prensa). San José: Secretaria ejecutiva.
- Flannigan, M.D., Krawchuk, M.A., de Groot, W.J., Wotton, B.M., Gowman, L.M. (2009). Implications of changing climate for global wildland fire. *International journal of wildland fire*, 18 (5), 483-507. Recuperado de <http://www.publish.csiro.au/?paper=WF08187>
- Fonseca, W., Chaves, E., Mora, F., Meza, V. (2002). Dinámica y composición del bosque seco tropical. Seminario sobre Ecosistemas Forestales de Bosques Secos Mesoamericanos. Heredia: Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales. 154-160.
- Galiana, M., Aranoneses, C., Montiel, C., De La Cita, L. y Fernández, M. (2009). *Caracterización de los escenarios del fuego en España*. (5° Congreso Forestal Español). Ávila: S.E.C.F. – Junta de Castilla y León. Recuperado de <http://www.congresoforestal.es/fichero.php?t=12225&i=14&m=2185>
- Gasparri, I. y Manghi, E. (2004). *Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales argentinas*. (Informe Final). Argentina: Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable, Dirección de bosques. Recuperado de http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/umsef/file/volumen_biomasa_carbono.pdf
- Gillespie, T.W., Grijalva, A. y Farris, C.N. (2000). Diversity, composition, and structure of tropical dry forests in Central America. *Plant Ecology*, 147, 37–47.
- Goldammer, J.G. (1999). Forests on fire. *Science*, 284 (5421), 1782-1783. Recuperado de <http://www.sciencemag.org/content/284/5421/1782.1.full>
- Holdridge, L.R. 1967. Life zone ecology. San José, CR, Tropical Science Center. p. 40-43.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). *Climate change 2001: The scientific Basis*. (Technical Sumamary. Contribution of working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change).

- Cambridge: WMO-UNEP. Cambridge University Press. Recuperado de <http://www.ipcc.ch/home>
- Leiva, J. A., Rocha, O. J., Mata, R. y Gutiérrez-Soto, M. V. (2009). Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Revista Biología Tropical*, 57 (3), 817-836. Recuperado de <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/viewFile/5495/5241>
- Louman, B., Quirós, D. y Nilsson, M. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Turrialba, C.R.: CATIE.
- Mckenzie, D., Miller, C. y Falk, D.A. (2011). *The landscape ecology of fire*. New York, USA: Springer Science+Media B.V. Recuperado de http://www.firescience.gov/projects/09-2-01-10/project/09-2-01-10_09_2_01_10_Deliverable_02.pdf
- Morales-Salazar, m., Vílchez-Alvarado, B., Chazdon, R. L., Ortega-Gutiérrez, M., Ortiz-Malavassi, E. y 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), 19-28. Recuperado de [http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/kuru/Documents/2012/Vol-9\(23\)-2012/2.%20Diversidad%20y%20estructura%20horizontal%20en%20los%20bosques%20tropicales%20del%20Corredor%20Biol%C3%B3gico%20de%20Osa,%20Costa%20Rica.pdf](http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/kuru/Documents/2012/Vol-9(23)-2012/2.%20Diversidad%20y%20estructura%20horizontal%20en%20los%20bosques%20tropicales%20del%20Corredor%20Biol%C3%B3gico%20de%20Osa,%20Costa%20Rica.pdf)
- Morfin-Ríos, J.E., Jardel P., Alvarado C. y Michel-Fuentes, J. M. (2012). *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*, Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México: Editorial Universitaria José Bonifacio Andrada. Recuperado de http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/Evaluac_cuantific_de_combustibles_Forestales.pdf
- Mutch, R.W. (1970). Wildland fires and ecosystems - a hypothesis. *Ecology* 51(6), 1046-1051. Recuperado de http://www.nps.gov/seki/naturescience/fic_f_conif.htm
- Neri-Pérez, A.C., Rodríguez-Trejo, D.A. y Contreras-Aguado, R. (2009). Inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche. *Universidad y ciencia*, 25 (2), 121-132. Recuperado de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792009000200002

- Parra, A. C. (2013). *Propuesta de un índice de riesgo local de incendios superficiales de cobertura vegetal, caso: cuenca media del río Cali, Colombia*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional, Heredia, CR.
- Powers, J. S., Becknell, J. M., Irving, J. y Pérez-Aviles, D. (2009). Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers. *Forest Ecology and Management*, 258 (2009), 959-970. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112708008165>
- Rodríguez-Trejo, D.A. (2012). Génesis de los incendios forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 357-373.
- Schleguel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. (2001). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial: Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales*, Universidad Austral de Chile. Valdivia. Recuperado de <http://www.uach.cl/proforma/carbono/manincar.pdf>
- Shlisky, A., Waugh, J., González, P., González, M., Manta, M., Santoso, H., Fulks, W. (2007). *Fire ecosystems and people: Threats and strategies for global biodiversity conservation*. (GFI Technical Report 2007-2). Arlington, VA.
- Schultz, M.G., Heil, A., Hoelzemann, J.J., Spessa, A., Thonicke, K., Goldammer, J.G., Held, A.C., Pereira, J.M., van het Bolscher, M. (2008). Global wildland fire emissions from 1960 to 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 22, 1-17. Recuperado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007GB003031/full>
- Ulate, C. A. (2011). *Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica*. (Tesis de licenciatura, Instituto tecnológico de Costa Rica). Recuperado de http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/3005/Informe_final.pdf?sequence=1
- Xuluc-Tolosa, F.J., Vester, H.F.M., Ramírez-Marcial, N., Castellanos-Albores, J. y Lawrence, D. (2003). Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 174, 401-412.

Zamora, M. (2010). *Caracterización de la flora y estructura de un bosque transicional húmedo a seco, Miramar, Puntarenas, Costa Rica*. (Tesis de licenciatura, Instituto tecnológico de Costa Rica). Recuperado de http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/3017/Informe_

Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., and Chave, J. (2009). Global wood density database. *Dryad*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10255/dryad>, 235

ANEXOS

Anexo1. Número de árboles, área basal, volumen y biomasa de las especies presentes en el bosque primario del PNPV, Costa Rica. 2014.

| Espece | Familia | Número de individuos | Área basal (m ² ha ⁻¹) | Volumen (m ³ ha ⁻¹) | Biomasa (Mg ha ⁻¹) |
|------------------------------------|------------------|----------------------|---|--|--------------------------------|
| <i>Allophylus occidentalis</i> | Sapindaceae | 1 | 0,0437 | 0,1831 | 0,1002 |
| <i>Alvaradoa amorphoides</i> | Simaroubaceae | 4 | 0,7824 | 6,2575 | 5,4700 |
| <i>Astronium graveolens</i> | Anacardaceae | 12 | 1,8757 | 14,1636 | 17,5453 |
| <i>Bombacopsis quinata</i> | Malvaceae | 4 | 2,1021 | 15,7668 | 11,2375 |
| <i>Brosimum alicastrum</i> | Moraceae | 17 | 5,2987 | 44,3338 | 46,1473 |
| <i>Bursera glabra</i> | Burseraceae | 1 | 0,2740 | 1,8806 | 0,8769 |
| <i>Bursera simaruba</i> | Burseraceae | 7 | 0,8109 | 4,7760 | 2,4885 |
| <i>Caesalpinia eriostachys</i> | Fabaceae | 6 | 0,9401 | 7,3627 | 8,3225 |
| <i>Calycophyllum candidissimum</i> | Rubiaceae | 8 | 1,8399 | 14,2476 | 14,7610 |
| <i>Cordia panamensis</i> | Cordiaceae | 2 | 0,0994 | 0,5171 | 0,3147 |
| <i>Croton sp.</i> | Euphorbiaceae | 1 | 0,0223 | 0,0450 | 0,0300 |
| <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | Fabaceae | 2 | 1,2784 | 12,1404 | 6,8560 |
| <i>Guaiacum sanctum</i> | Zygophyllaceae | 1 | 0,3533 | 2,2235 | 3,8764 |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> | Malvaceae | 10 | 0,7965 | 3,8902 | 3,1969 |
| <i>Hura crepitans</i> | Euphorbiaceae | 2 | 2,9237 | 23,1786 | 13,9840 |
| <i>Licania arborea</i> | Chrysobalanaceae | 1 | 0,1541 | 0,9541 | 0,8978 |
| <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> | Fabaceae | 6 | 0,6191 | 3,6293 | 4,7529 |
| <i>Lonchocarpus phaseolifolius</i> | Fabaceae | 7 | 0,2272 | 1,4498 | 1,5535 |
| <i>Luehea candida</i> | Malvaceae | 7 | 0,6250 | 2,9842 | 5,0554 |
| <i>Lysiloma divaricatum</i> | Fabaceae | 9 | 2,6822 | 20,7228 | 26,8042 |
| <i>Machaerium biovulatum</i> | Fabaceae | 3 | 0,1173 | 0,6479 | 0,6180 |
| <i>Manilkara chicle</i> | Sapotaceae | 6 | 2,4673 | 22,4757 | 36,1441 |
| <i>Piscidia carthagenensis</i> | Fabaceae | 4 | 0,5030 | 3,8612 | 5,0063 |
| <i>Pithecellobium lanceolatum</i> | Fabaceae | 1 | 0,0647 | 0,3548 | 0,1837 |
| <i>Plumeria rubra</i> | Apocynaceae | 3 | 0,5287 | 2,6038 | 2,2003 |
| <i>Rehdera trinervis</i> | Verbenaceae | 6 | 0,6524 | 2,8704 | 2,2249 |
| <i>Sapindus saponaria</i> | Sapindaceae | 7 | 0,8766 | 4,2354 | 4,2492 |
| <i>Semialarium mexicanum</i> | Celastraceae | 1 | 0,0660 | 0,2784 | 0,1539 |
| <i>Sideroxylon capiri</i> | Sapotaceae | 2 | 0,7405 | 5,9195 | 5,4210 |
| <i>Spondias mombin</i> | Anacardaceae | 9 | 1,7675 | 14,7797 | 8,1716 |
| <i>Spondias purpurea</i> | Anacardaceae | 1 | 0,05921 | 0,1222 | 0,1054 |
| <i>Stemmadenia obovata</i> | Apocynaceae | 5 | 0,2417 | 1,0420 | 0,7648 |
| <i>Stenocereus aragonii</i> | Cactaceae | 1 | 0,0315 | 0,1099 | 0,0097 |
| <i>Sterculia apetala</i> | Malvaceae | 6 | 1,8882 | 17,7689 | 8,6198 |
| <i>Tabebuia impetiginosa</i> | Bignoniaceae | 2 | 0,5006 | 3,6255 | 5,2271 |
| <i>Tabebuia ochracea</i> | Bignoniaceae | 5 | 0,1596 | 0,7547 | 0,9056 |
| <i>Trichilia americana</i> | Meliaceae | 2 | 0,0745 | 0,4234 | 0,3913 |
| Subtotal | | 172 | 34,4882 | 262,5800 | 254,6680 |

Anexo 2. Número de árboles, área basal, volumen y biomasa de las especies presentes en el bosque secundario mayor a 30 años del PNPV, Costa Rica. 2014.

| Especie | Familia | Número de individuos | Área basal (m² ha⁻¹) | Volumen (m³ ha⁻¹) | Biomasa (Mg ha⁻¹) |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---|--|-------------------------------------|
| <i>Albizia niopoides</i> | Fabaceae | 2 | 1,6055 | 14,8060 | 14,6771 |
| <i>Allophylus occidentalis</i> | Sapindaceae | 1 | 0,0534 | 0,2588 | 0,1894 |
| <i>Alvaradoa amorphoides</i> | Simaroubaceae | 1 | 0,0332 | 0,1382 | 0,1254 |
| <i>Annona purpurea</i> | Annonaceae | 1 | 0,0191 | 0,0786 | 0,0562 |
| <i>Astronium graveolens</i> | Anacardaceae | 39 | 4,3736 | 29,4143 | 35,2139 |
| <i>Bombacopsis quinata</i> | Malvaceae | 3 | 1,9831 | 15,8769 | 9,7239 |
| <i>Brosimum alicastrum</i> | Moraceae | 8 | 4,2201 | 30,8664 | 33,2478 |
| <i>Bursera simaruba</i> | Burseraceae | 9 | 0,7790 | 4,3770 | 2,2787 |
| <i>Caesalpinia eriostachys</i> | Fabaceae | 6 | 1,3847 | 8,3644 | 9,4033 |
| <i>Calycophyllum candidissimum</i> | Rubiaceae | 13 | 2,4177 | 15,0572 | 16,9588 |
| <i>Capparis indica</i> | Capparaceae | 3 | 0,0558 | 0,1410 | 0,1318 |
| <i>Ceiba pentandra</i> | Malvaceae | 1 | 0,0928 | 0,4542 | 0,1601 |
| <i>Cordia alliodora</i> | Cordiaceae | 3 | 0,1489 | 0,6216 | 0,5181 |
| <i>Guaiacum sanctum</i> | Zygophyllaceae | 2 | 0,5259 | 3,2151 | 5,4392 |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> | Malvaceae | 10 | 0,7383 | 3,1289 | 2,5454 |
| <i>Jacquinia nervosa</i> | Theophrastaceae | 1 | 0,0153 | 0,0245 | 0,0252 |
| <i>Luehea candida</i> | Malvaceae | 14 | 0,8623 | 3,6763 | 5,6056 |
| <i>Lysiloma divaricatum</i> | Fabaceae | 2 | 0,7013 | 6,2957 | 6,7227 |
| <i>Machaerium biovulatum</i> | Fabaceae | 3 | 0,1243 | 0,7877 | 0,8348 |
| <i>Myrospermum frutescens</i> | Fabaceae | 1 | 0,0546 | 0,2644 | 0,3202 |
| <i>Piscidia carthagenensis</i> | Fabaceae | 3 | 0,2278 | 1,4542 | 1,6591 |
| <i>Plumeria rubra</i> | Apocynaceae | 1 | 0,0171 | 0,0473 | 0,0445 |
| <i>Randia armata</i> | Rubiaceae | 2 | 0,0401 | 0,0940 | 0,0910 |
| <i>Samanea samam</i> | Fabaceae | 2 | 3,3181 | 32,8988 | 20,1851 |
| <i>Semialarium mexicanum</i> | Celastraceae | 4 | 0,1308 | 0,4032 | 0,2257 |
| <i>Sideroxylon capiri</i> | Sapotaceae | 3 | 0,7750 | 7,0937 | 8,3028 |
| <i>Simarouba glauca</i> | Simaroubaceae | 1 | 0,1438 | 1,0573 | 0,6395 |
| <i>Sloanea terniflora</i> | Elaeocarpaceae | 1 | 0,0215 | 0,0747 | 0,0880 |
| <i>Spondias mombin</i> | Anacardaceae | 18 | 3,0787 | 20,5291 | 11,2793 |
| <i>Spondias purpurea</i> | Anacardaceae | 1 | 0,0653 | 0,1852 | 0,0836 |
| <i>Stemmadenia obovata</i> | Apocynaceae | 2 | 0,0337 | 0,1262 | 0,1067 |
| <i>Sterculia apetala</i> | Malvaceae | 4 | 1,3818 | 9,4721 | 5,0102 |
| <i>Tabebuia ochracea</i> | Bignoniaceae | 7 | 0,4295 | 2,4050 | 3,0832 |
| <i>Trichilia americana</i> | Meliaceae | 5 | 0,1172 | 0,5073 | 0,4679 |
| <i>Triplaris melaenodendron</i> | Polygonaceae | 2 | 0,1507 | 0,8786 | 0,8299 |
| Subtotal | | 179 | 30,1201 | 215,0739 | 196,2741 |

Anexo 3. Número de árboles, área basal, volumen y biomasa de las especies presentes en el bosque de secundario de 10 a 25 años del PNPV, Costa Rica. 2014.

| Espece | Familia | Número de individuos | Área basal (m ² /ha) | Volumen (m ³ /ha) | Biomasa (Ton/ha) |
|------------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------|
| <i>Acacia collinsii</i> | Fabaceae | 3 | 0,0614 | 0,2288 | 0,2911 |
| <i>Albizia niopoides</i> | Fabaceae | 2 | 0,1944 | 0,8051 | 1,1011 |
| <i>Alvaradoa amorphoides</i> | Simaroubaceae | 41 | 3,1664 | 16,1429 | 16,0261 |
| <i>Astronium graveolens</i> | Anacardaceae | 2 | 0,1883 | 1,1940 | 1,3985 |
| <i>Bauhinia glabra</i> | Fabaceae | 2 | 0,0979 | 0,2135 | 0,2877 |
| <i>Brosimum alicastrum</i> | Moraceae | 1 | 0,3070 | 1,9264 | 1,8642 |
| <i>Caesalpinia eriostachys</i> | Fabaceae | 4 | 0,3917 | 2,1345 | 1,9439 |
| <i>Calycophyllum candidissimum</i> | Rubiaceae | 15 | 0,4730 | 2,4131 | 2,4123 |
| <i>Capparis odoratissima</i> | Capparaceae | 1 | 0,0174 | 0,0281 | 0,0267 |
| <i>Cecropia peltata</i> | Urticaceae | 1 | 0,0191 | 0,0661 | 0,0216 |
| <i>Ceiba pentandra</i> | Malvaceae | 1 | 0,4014 | 2,7757 | 0,9288 |
| <i>Cordia collococca</i> | Cordiaceae | 5 | 0,1402 | 0,7516 | 0,4185 |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> | Malvaceae | 87 | 6,7405 | 24,9592 | 22,5933 |
| <i>Jacquinia nervosa</i> | Theophrastaceae | 2 | 0,0350 | 0,0627 | 0,0659 |
| <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> | Fabaceae | 4 | 0,4022 | 1,4946 | 2,4196 |
| <i>Lonchocarpus peninsularis</i> | Fabaceae | 2 | 0,1303 | 0,9440 | 1,0202 |
| <i>Manilkara chicle</i> | Sapotaceae | 1 | 0,0208 | 0,0990 | 0,1406 |
| <i>Myrospermum frutescens</i> | Fabaceae | 2 | 0,0305 | 0,1251 | 0,1485 |
| <i>Piscidia carthagenensis</i> | Fabaceae | 8 | 0,2463 | 1,3645 | 1,5749 |
| <i>Pithecellobium lanceolatum</i> | Fabaceae | 3 | 0,1422 | 0,4083 | 0,2608 |
| <i>Samanea samam</i> | Fabaceae | 4 | 2,2583 | 15,9929 | 11,6347 |
| <i>Sapindus saponaria</i> | Sapindaceae | 1 | 0,0162 | 0,0558 | 0,0433 |
| <i>Spondias mombin</i> | Anacardaceae | 10 | 0,8355 | 5,2091 | 2,9056 |
| <i>Stemmadenia obovata</i> | Apocynaceae | 6 | 0,1348 | 0,3726 | 0,3012 |
| <i>Sterculia apetala</i> | Malvaceae | 1 | 0,0529 | 0,2887 | 0,1908 |
| <i>Thouinidium decandrum</i> | Sapindaceae | 4 | 0,1461 | 0,5910 | 0,5323 |
| <i>Xylosma intermedia</i> | Salicaceae | 3 | 0,1349 | 0,4424 | 0,7568 |
| Subtotal | | 216 | 16,7848 | 81,0894 | 71,3090 |

Anexo 4. Densidad de la madera (IPCC, 2001 y Zanne et al, 2009) de las especies registradas en los tres estados sucesionales de bosque en PNPV, Costa Rica. 2014.

| Espece | Densidad (g cm ⁻³) | Referencia | Espece | Densidad (g cm ⁻³) | Referencia |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| <i>Acacia collinsii</i> | 0,80 | Zanne et al, 2009. | <i>Lonchocarpus phaseolifolius</i> | 0,69 | IPCC, 2001. |
| <i>Albizia niopoides</i> | 0,63 | Zanne et al, 2009. | <i>Luehea candida</i> | 0,91 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Allophylus occidentalis</i> | 0,45 | IPCC, 2001. | <i>Lysiloma divaricatum</i> | 0,73 | IPCC, 2001. |
| <i>Alvaradoa amorphoides</i> | 0,58 | Zanne et al, 2009. | <i>Machaerium biovulatum</i> | 0,70 | IPCC, 2001. |
| <i>Annona purpurea</i> | 0,57 | IPCC, 2001. | <i>Manilkara chicle</i> | 1,04 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Astronium graveolens</i> | 0,75 | Zanne et al, 2009. | <i>Myrospermum frutescens</i> | 0,83 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Bauhinia glabra</i> | 0,60 | Zanne et al, 2009. | <i>Piscidia carthagenensis</i> | 0,80 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Bombacopsis quinata</i> | 0,39 | IPCC, 2001. | <i>Pithecellobium lanceolatum</i> | 0,36 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Brosimum alicastrum</i> | 0,69 | IPCC, 2001. | <i>Plumeria rubra</i> | 0,50 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Bursera glabra</i> | 0,29 | IPCC, 2001. | <i>Randia armata</i> | 0,69 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Bursera simaruba</i> | 0,33 | Zanne et al, 2009. | <i>Rehdera trinervis</i> | 0,47 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Caesalpinia eriostachys</i> | 0,72 | Zanne et al, 2009. | <i>Samanea samam</i> | 0,46 | IPCC, 2001. |
| <i>Calycophyllum candidissimum</i> | 0,73 | Zanne et al, 2009. | <i>Sapindus saponaria</i> | 0,60 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Capparis indica</i> | 0,68 | Zanne et al, 2009. | <i>Semialarium mexicanum</i> | 0,36 | IPCC, 2001. |
| <i>Capparis odoratissima</i> | 0,68 | Zanne et al, 2009. | <i>Sideroxylon capiri</i> | 0,69 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Cecropia peltata</i> | 0,30 | Zanne et al, 2009. | <i>Simarouba glauca</i> | 0,40 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Ceiba pentandra</i> | 0,24 | Zanne et al, 2009. | <i>Sloanea terniflora</i> | 0,80 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Cordia alliodora</i> | 0,52 | Zanne et al, 2009. | <i>Spondias mombin</i> | 0,36 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Cordia collococca</i> | 0,38 | Zanne et al, 2009. | <i>Spondias purpurea</i> | 0,35 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Cordia panamensis</i> | 0,48 | IPCC, 2001. | <i>Stemmadenia obovata</i> | 0,47 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Croton sp.</i> | 0,40 | IPCC, 2001. | <i>Stenocereus aragonii</i> | 0,10 | IPCC, 2001. |
| <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | 0,35 | Zanne et al, 2009. | <i>Sterculia apetala</i> | 0,36 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Guaiacum sanctum</i> | 1,10 | Zanne et al, 2009. | <i>Tabebuia impetiginosa</i> | 0,90 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> | 0,51 | Zanne et al, 2009. | <i>Tabebuia ochracea</i> | 0,78 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Hura crepitans</i> | 0,34 | Zanne et al, 2009. | <i>Thouinidium decandrum</i> | 0,67 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Jacquinia nervosa</i> | 0,73 | Zanne et al, 2009. | <i>Trichilia americana</i> | 0,57 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Licania arborea</i> | 0,65 | Zanne et al, 2009. | <i>Triplaris melaenodendron</i> | 0,60 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> | 0,78 | Zanne et al, 2009. | <i>Xylosma intermedia</i> | 0,77 | Zanne et al, 2009. |
| <i>Lonchocarpus peninsularis</i> | 0,79 | Zanne et al, 2009. | Densidad promedio | 0,59 | ----- |

Anexo 5. Diez especies con mayor biomasa en los tres estadios sucesionales de bosque en el PNPV, Costa Rica. 2014.

| Estadio sucesional | Especie | Biomasa (Mg ha ⁻¹) |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Primario | <i>Brosimum alicastrum</i> | 46,15 |
| | <i>Manilkara chicle</i> | 36,14 |
| | <i>Lysiloma divaricatum</i> | 26,80 |
| | <i>Astronium graveolens</i> | 17,55 |
| | <i>Calycophyllum candidissimum</i> | 14,76 |
| | <i>Hura crepitans</i> | 13,98 |
| | <i>Bombacopsis quinata</i> | 11,24 |
| | <i>Sterculia apetala</i> | 8,62 |
| | <i>Caesalpinia eriostachys</i> | 8,32 |
| | <i>Spondias mombin</i> | 8,17 |
| | Subtotal | 191,74 |
| > 30 años | <i>Astronium graveolens</i> | 35,21 |
| | <i>Brosimum alicastrum</i> | 33,25 |
| | <i>Samanea samam</i> | 20,19 |
| | <i>Calycophyllum candidissimum</i> | 16,96 |
| | <i>Albizia niopoides</i> | 14,68 |
| | <i>Spondias mombin</i> | 11,28 |
| | <i>Bombacopsis quinata</i> | 9,72 |
| | <i>Caesalpinia eriostachys</i> | 9,40 |
| | <i>Sideroxylon capiri</i> | 8,30 |
| | <i>Lysiloma divaricatum</i> | 6,72 |
| | Subtotal | 165,71 |
| 10 - 25 años | <i>Guazuma ulmifolia</i> | 22,59 |
| | <i>Alvaradoa amorphoides</i> | 16,03 |
| | <i>Samanea samam</i> | 11,63 |
| | <i>Spondias mombin</i> | 2,91 |
| | <i>Lonchocarpus minimiflorus</i> | 2,42 |
| | <i>Calycophyllum candidissimum</i> | 2,41 |
| | <i>Caesalpinia eriostachys</i> | 1,94 |
| | <i>Brosimum alicastrum</i> | 1,86 |
| | <i>Piscidia carthagenensis</i> | 1,57 |
| | <i>Astronium graveolens</i> | 1,40 |
| | Subtotal | 64,77 |