

Woody fuel load in coastal wetlands of the La Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico

Carga de combustibles leñosos en humedales costeros de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas, México

Romeo de J. Barrios-Calderón¹; Dulce Infante-Mata^{1*}; José G. Flores-Garnica²; Cristian Tovilla-Hernández¹; Sofía J. Grimaldi-Calderón¹; José R. García Alfaro¹

¹El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula. Carretera Antiguo Aeropuerto km 2.5. C. P. 30700. Tapachula, Chiapas, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. Parque Los Colomos s/n, col. Providencia. C. P. 44660. Guadalajara, Jalisco, México.

*Corresponding author: dinfante@ecosur.mx, dulce.infante@gmail.com; tel.: +52 (962) 628 9800 ext. 5303.

Abstract

Introduction: The quantity and quality of forest fuels determine the frequency, intensity and impact of a fire. Despite the ecosystem services they provide, little is known about coastal wetlands such as mangroves and tropical freshwater forested wetlands.

Objective: To determine the woody fuel load in wetlands of the La Encrucijada Biosphere Reserve (EBR).

Materials and methods: Woody fuels were quantified in three sites where there is an association of mangroves and tropical freshwater forested wetlands. Four sampling units were established by vegetation type at each site. The planar intersect technique was adapted for this evaluation. The fuel load was quantified and compared by type of vegetation, site and diameter class of the woody material.

Results and discussion: Tropical freshwater forested wetlands accumulated dead fuels in a range from 63.19 to 151.87 t·ha⁻¹, while mangroves accumulated between 88.81 to 152.38 t·ha⁻¹; the load difference was not statistically significant ($F = 1.05$; $P = 0.31$). Regarding the diameter class, the fine fuel loads (from 0.01 to 0.60 cm) were significantly different among the mangrove sites ($F = 3.05$; $P = 0.04$), and the medium fuels (from 2.51 to 7.50 cm) were different among the swamp sites ($F = 9.93$; $P = 0.006$).

Conclusion: The quantification of forest fuels was possible in coastal wetlands, such as mangroves and tropical freshwater forested wetlands, finding loads up to three times higher than in other temperate zone ecosystems. The information obtained will support the prioritization of fire-prone areas.

Resumen

Introducción: La cantidad y calidad de combustibles forestales determinan la frecuencia, intensidad e impacto de un incendio. A pesar de los servicios ecosistémicos que proveen, poco se conoce de los humedales costeros como los manglares y selvas inundables.

Objetivo: Determinar la carga de combustibles leñosos en humedales de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada (REBIEN).

Materiales y métodos: Los combustibles leñosos se cuantificaron en tres parajes donde existe asociación de manglares y selvas inundables. Se establecieron cuatro unidades de muestreo por tipo de vegetación en cada paraje. En esta evaluación se adaptó la técnica de intersecciones planares. La carga de combustible se cuantificó y comparó por tipo de vegetación, paraje y categoría diamétrica del material leñoso.

Resultados y discusión: Las selvas inundables acumularon combustibles muertos en el rango 63.19 a 151.87 t·ha⁻¹, mientras que los manglares acumularon entre 88.81 a 152.38 t·ha⁻¹; la diferencia de cargas no fue estadísticamente significativa ($F = 1.05$; $P = 0.31$). Con respecto a la categoría diamétrica, las cargas de combustibles finos (de 0.01 a 0.60 cm) fueron diferentes significativamente entre los parajes de los manglares ($F = 3.05$; $P = 0.04$), y los combustibles medianos (de 2.51 a 7.50 cm), entre los parajes de las selvas inundables ($F = 9.93$; $P = 0.006$).

Conclusión: La cuantificación de combustibles forestales fue posible en humedales costeros, como los manglares y selvas inundables, encontrando cargas hasta tres veces mayores que en otros ecosistemas de zonas templadas. La información obtenida apoyará la priorización de zonas favorables para incendios.

Keywords: Fuel load; ignition; planar intersections; mangroves; tropical freshwater forested wetlands or swamps.

Palabras clave: Carga de combustible; ignición; intersecciones planares; manglares; selvas inundables.

Introduction

Wetlands are humid and flooded areas in which water is the main factor that determines the type of plants and animals that inhabit these ecosystems (Moreno-Casasola, 2016). Due to their high complexity, high biodiversity indices and a wide range of ecological attributes and functions, coastal wetlands define one of the ecosystems that provide the most environmental services to human beings (Moreno-Casasola & Infante, 2016). Such is the case of the tropical forested wetlands in Mexico, located in areas with freshwater influence (Infante, Moreno-Casasola, Madero-Vega, Castillo-Campo, & Warner, 2011; Silva, Alves, Matos, & Bruno, 2012), but in some areas they are found with mangrove species forming mangrove-swamp associations.

Wetlands can be affected by several factors. In Mexico, one of the causes is forest fires, caused mainly by anthropogenic activities. An example of this are the coastal wetlands of the La Encrucijada Biosphere Reserve, where fires of great ecological impact have occurred, which are related mainly to the extraction of wild fauna or the opening of areas for cultivation and pastures (Instituto Nacional de Ecología [INE], 1999; Kaal et al., 2011). In addition, coastal wetlands have a large amount of organic matter (Adame et al., 2013) and the variation in flood levels throughout the year decreases the decomposition process (Campos et al., 2011), causing the combustible material, mainly the woody type, to accumulate (Rodríguez-Trejo, Ramírez, Tchikoué, & Santillán, 2008). This situation favors the spread of forest fires (Vélez, 2009), also determining their behavior and effects on these ecosystems (Castillo & Correa, 2012).

Knowledge of the quantity and quality of fuels (logs, standing dead trees, branches, twigs and leaves distributed in the soil) is indispensable in wildland fire planning and management activities (Keane & Wagtendonk, 2001). Forest fuel is one of the factors that, in a certain way, can be controlled (Flores & Omi, 2003), which requires estimating the loads in order to establish the potential fire regime (behavior, intensity and impact) (Arnaldos, Navalón, Pastor, Planas, & Zarate, 2003; Morfin-Ríos, Jardel, Alvarado, & Michel-Fuentes, 2012); however, despite the importance, few studies have been conducted in Mexico aimed at evaluating the fuels in wetland ecosystems. Therefore, this research aimed to determine the woody fuel load ($t\cdot ha^{-1}$) in three sites of mangrove-tropical freshwater forested wetland association. It is hypothesized that there are no significant differences between the woody fuel loads of mangroves and tropical freshwater forested wetlands because the structure and composition of these ecosystems have common characteristics.

Introducción

Los humedales constituyen zonas húmedas e inundables en las que el agua es el factor principal que determina el tipo de plantas y animales que habitan estos ecosistemas (Moreno-Casasola, 2016). Debido a su complejidad alta, índices altos de biodiversidad y una gama amplia de atributos y funciones ecológicas, los humedales costeros conforman uno de los ecosistemas que más servicios ambientales prestan al ser humano (Moreno-Casasola & Infante, 2016). Tal es el caso de las selvas inundables en México, localizadas en zonas con influencia de agua dulce (Infante, Moreno-Casasola, Madero-Vega, Castillo-Campo, & Warner, 2011; Silva, Alves, Matos, & Bruno, 2012), pero que en algunas franjas se encuentran con especies de manglar formando asociaciones de manglar-selva inundable.

Los humedales pueden ser afectados por varios factores. En México, una de las causas son los incendios forestales, originados principalmente por las actividades antrópicas. Ejemplo de esto son los humedales costeros de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, donde se han presentado incendios de gran impacto ecológico, ligados principalmente a la extracción de fauna silvestre o a la apertura de áreas de cultivo y potreros (Instituto Nacional de Ecología [INE], 1999; Kaal et al., 2011). Aunado a esto, los humedales costeros tienen gran cantidad de materia orgánica (Adame et al., 2013) y la variación de los niveles de inundación a lo largo del año disminuye el proceso de descomposición (Campos et al., 2011), ocasionando que el material combustible se acumule, principalmente el leñoso (Rodríguez-Trejo, Ramírez, Tchikoué, & Santillán, 2008). Dicha situación favorece la propagación de incendios forestales (Vélez, 2009), determinando además el comportamiento del fuego y sus efectos en estos ecosistemas (Castillo & Correa, 2012).

El conocimiento de la cantidad y calidad de los combustibles (troncos caídos, árboles muertos en pie, ramas, ramillas y hojas distribuidas en el suelo) es indispensable en la planificación y gestión del manejo de incendios (Keane & Wagtendonk, 2001). El combustible forestal es uno de los factores que, en cierta forma, se puede controlar (Flores & Omi, 2003), para ello se requiere estimar las cargas con el fin de establecer el régimen potencial del fuego (comportamiento, intensidad e impacto) (Arnaldos, Navalón, Pastor, Planas, & Zarate, 2003; Morfin-Ríos, Jardel, Alvarado, & Michel-Fuentes, 2012); sin embargo, a pesar de la importancia, en México existen pocos trabajos sobre la evaluación de los combustibles en ecosistemas de humedales. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la carga ($t\cdot ha^{-1}$) de combustibles leñosos en tres condiciones de ecosistemas de manglar

Materials and methods

Study area

The research was carried out in the La Encrucijada Biosphere Reserve (EBR), located in southern Chiapas, Mexico, between 14° 43' - 15° 40' NL and 92° 26' - 93° 20' WL (INE, 1999), comprising part of the municipalities of Pijijiapan, Mapastepec, Acapetahua, Huixtla, Villa Comaltitlán and Mazatán. Due to its high biodiversity and the environmental services it provides, the reserve is one of the most important protected natural areas in Mexico. The EBR encompasses an area of 144 868 ha, of which 36 216 ha correspond to two core areas (La Encrucijada and Palmarcito) and 108 651 ha correspond to the buffer zone (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca [SEMARNAP], 1995).

The region has a warm-humid Am(w)-type climate with abundant rainfall in summer. The minimum annual rainfall is 1 300 mm and the maximum is 3 000 mm, distributed between 100 and 200 rainy days per year. The rainy season includes the months of May to November and the intra-summer drought occurs from July to August; the rest of the year is dry or with occasional rains in February or March. The average annual temperature is 28 °C, being constant all year round and generally higher than 22 °C. According to the INE (1999), the types of vegetation present are: mangrove, tropical freshwater forested wetlands, popal, tular, medium semi-evergreen forest, low deciduous forest, floating and underwater vegetation, coastal dune vegetation and palm groves.

Vegetation studied

Wetlands are water-covered areas or extensions of marshlands, swamps and peat bogs. They can be of either a natural or artificial regime, permanent or temporary, stagnant or running, with fresh or salt water; they include seawater extensions whose depth at low tide does not exceed 6 m (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006). The EBR wetlands comply with the three characteristics of a wetland mentioned by Mitsch and Gosselink (2015): a) they have a shallow, permanent or temporary layer or sheet of water, b) they have hydromorphic soils (saturated with water and not drained during part of the year), and c) they have aquatic vegetation (hydrophytes) that requires flooding to reproduce. There are 10 types of wetlands in the EBR, two of which are of the arboreal type and have great importance, namely mangroves and tropical freshwater forested wetlands.

Mangroves are the type of wetland that characterizes the EBR and are recognized as the highest in the American Pacific, reaching a height of more than

y selvas inundables. La hipótesis del estudio plantea que no existen diferencias significativas entre la carga de combustibles leñosos de manglares y selvas inundables, debido a que la estructura y composición de estos ecosistemas tienen características en común.

Materiales y métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada (REBIEN), localizada en el sur de Chiapas, México, entre los 14° 43' - 15° 40' LN y 92° 26' - 93° 20' LO (INE, 1999), que comprende parte de los municipios de Pijijiapan, Mapastepec, Acapetahua, Huixtla, Villa Comaltitlán y Mazatán. Debido a su alta biodiversidad y los servicios ambientales que provee, la reserva es una de las áreas naturales protegidas más importantes de México. La REBIEN ocupa una superficie de 144 868 ha, de las cuales 36 216 ha corresponden a dos zonas núcleo (La Encrucijada y Palmarcito) y 108 651 ha corresponden a la zona de amortiguamiento (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca [SEMARNAP], 1995).

El clima de la región es del tipo Am(w) cálido-húmedo con lluvias abundantes en verano. La precipitación mínima anual es 1 300 mm y la máxima es 3 000 mm, repartidos entre 100 y 200 días lluviosos al año. La temporada de lluvias comprende los meses de mayo a noviembre y la sequía intraestival se presenta de julio a agosto; el resto del año es seco o con lluvias ocasionales en febrero o marzo. La temperatura media anual es 28 °C, siendo constante todo el año y generalmente mayor de 22 °C. De acuerdo con el INE (1999), los tipos de vegetación presentes son: manglar, selva inundable, popal, tular, selva mediana subperennifolia, selva baja caducifolia, vegetación flotante y subacuática, vegetación de dunas costeras y palmares.

Vegetación estudiada

Los humedales son superficies cubiertas de agua o extensiones de marismas, pantanos y turberas; de régimen natural o artificial; permanentes o temporales; estancadas o corrientes; dulces o saladas; incluyen las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 m (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006). Los humedales de la REBIEN cumplen con las tres características de un humedal mencionadas por Mitsch y Gosselink (2015): a) presentan una capa o lámina de agua poco profunda, permanente o temporal, b) tienen suelos hidromorfos (saturados de agua y no drenados durante parte del año), y c) tienen vegetación acuática (hidrófitas) que requiere de inundación para reproducirse. En la REBIEN existen 10 tipos de humedales, de los cuales, dos de tipo arbóreo y de gran importancia son los manglares y selvas inundables.

45 m and occupying an area of approximately 16 000 ha (Tovilla-Hernández & Romero-Berny, 2012). There are four mangrove species in this type of vegetation: *Rhizophora mangle* L. which is the most abundant, followed by *Conocarpus erectus* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaerth and *Avicennia germinans* L. In the reserve, *R. mangle* attains its best development in sites exposed to constant changes in water level and salinity.

On the other hand, tropical freshwater forested wetlands are plant communities that occupy gently-sloping swampy terrains and riverbanks where the influence of fresh water is greater (Infante et al., 2011). The predominant species is *Pachira aquatica* Aubl., which is distributed in dense clusters, mainly on the banks of the mouth of the Huixtla River and the junction with the Mazateco River. The largest formations of *P. aquatica* tropical freshwater forested wetlands are in the municipality of Mazatán, as well as in the Villa Comaltitlán, Vado Ancho-Cintalapa, Agostaderos areas in Pijijiapan and at the mouth of the Margarita, Bobo and Pijijiapan rivers.

Sampling sites

Sampling sites were selected in three areas: Brisas del Hueyate (CG1), municipality of Huixtla, between 15° 01' 41" - 15° 01' 53" NL and 92° 42' 23" - 92° 43' 31" WL; El Castaño (CG2), municipality of Mapastepec, between 15° 16' 51" - 15° 17' 24" NL and 92° 57' 18" - 92° 57' 58" WL; and Río Arriba (CG3), municipality of Villa Comaltitlán, between 15° 08' 30" - 15° 09' 1" NL and 92° 43' 10" and 92° 44' 47" WL. These sites are located between the La Encrucijada core area and its border with the reserve's buffer zone (Figure 1).

The sites were located and established through aerial photographs, satellite images and land-use and vegetation maps, and through field experience. The fundamental criterion to define the location of the sites was the connectivity and association between the mangrove and tropical freshwater forested wetlands, as well as the fire history in the study areas.

Sampling design

An inventory of woody fuels was made in mangroves and tropical freshwater forested wetlands in the Brisas del Hueyate, El Castaño and Río Arriba sites, from January to May 2015. Four sampling units (SUs) were established by vegetation type in each site, for a total of 24 SUs. The SU size was used by Morfin-Ríos et al. (2012) in rainforests, where it is common to work with circular plots of 0.05 ha (12.62 m radius). In these plots the density of adult standing trees and stumps with a diameter at breast height (DBH) or diameter at stump height (DSH) greater than 2.5 cm was estimated.

Los manglares son el tipo de humedal que caracteriza a la REBIEN y son reconocidos como los más altos del Pacífico americano, llegando a medir más de 45 m de altura y ocupando una extensión aproximada de 16 000 ha (Tovilla-Hernández & Romero-Berny, 2012). En este tipo de vegetación se encuentran cuatro especies de mangle: *Rhizophora mangle* L. que es la más abundante, seguida de *Conocarpus erectus* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaerth y *Avicennia germinans* L. En la reserva, *R. mangle* alcanza su mejor desarrollo en sitios expuestos a cambios constantes de nivel de agua y salinidad.

Por otra parte, las selvas inundables son comunidades vegetales que ocupan terrenos pantanosos de pendiente suave y orillas de los ríos donde la influencia de agua dulce es mayor (Infante et al., 2011). La especie predominante es *Pachira aquatica* Aubl., la cual se distribuye en agrupaciones densas, principalmente a orillas de la desembocadura del río Huixtla y la unión con el río Mazateco. Las formaciones más grandes de selvas inundables de *P. aquatica* se encuentran en el municipio de Mazatán, así como en las zonas de Villa Comaltitlán, Vado Ancho-Cintalapa, Agostaderos en Pijijiapan y en la desembocadura de los ríos Margarita, Bobo y Pijijiapan.

Sitios de muestreo

Los sitios de muestreo se seleccionaron en tres parajes: Brisas del Hueyate (CG1) del municipio de Huixtla entre 15° 01' 41" - 15° 01' 53" LN y 92° 42' 23" - 92° 43' 31" LO; El Castaño (CG2) en Mapastepec entre 15° 16' 51" - 15° 17' 24" LN y 92° 57' 18" - 92° 57' 58" LO; y Río Arriba (CG3) en Villa Comaltitlán entre 15° 08' 30" - 15° 09' 1" LN y 92° 43' 10" y 92° 44' 47" LO. Estos sitios se localizan entre la zona núcleo La Encrucijada y sus límites con la zona de amortiguamiento de la reserva (Figura 1).

Los sitios se ubicaron y establecieron mediante fotografías aéreas, imágenes satelitales y mapas de uso de suelo y vegetación, y a través de la experiencia en campo. El criterio fundamental para definir la ubicación de los sitios fue la conectividad y asociación entre el manglar y selva inundable, además de los antecedentes de incendios en las zonas de estudio.

Diseño de muestreo

Se hizo un inventario de combustibles leñosos en manglares y selvas inundables en los parajes Brisas del Hueyate, El Castaño y Río Arriba, de enero a mayo de 2015. Se establecieron cuatro unidades de muestreo (UM) por tipo de vegetación en cada paraje, para un total de 24 UM. El tamaño de las UM fue el utilizado por Morfin-Ríos et al. (2012) en las selvas húmedas, donde comúnmente se trabaja con parcelas circulares

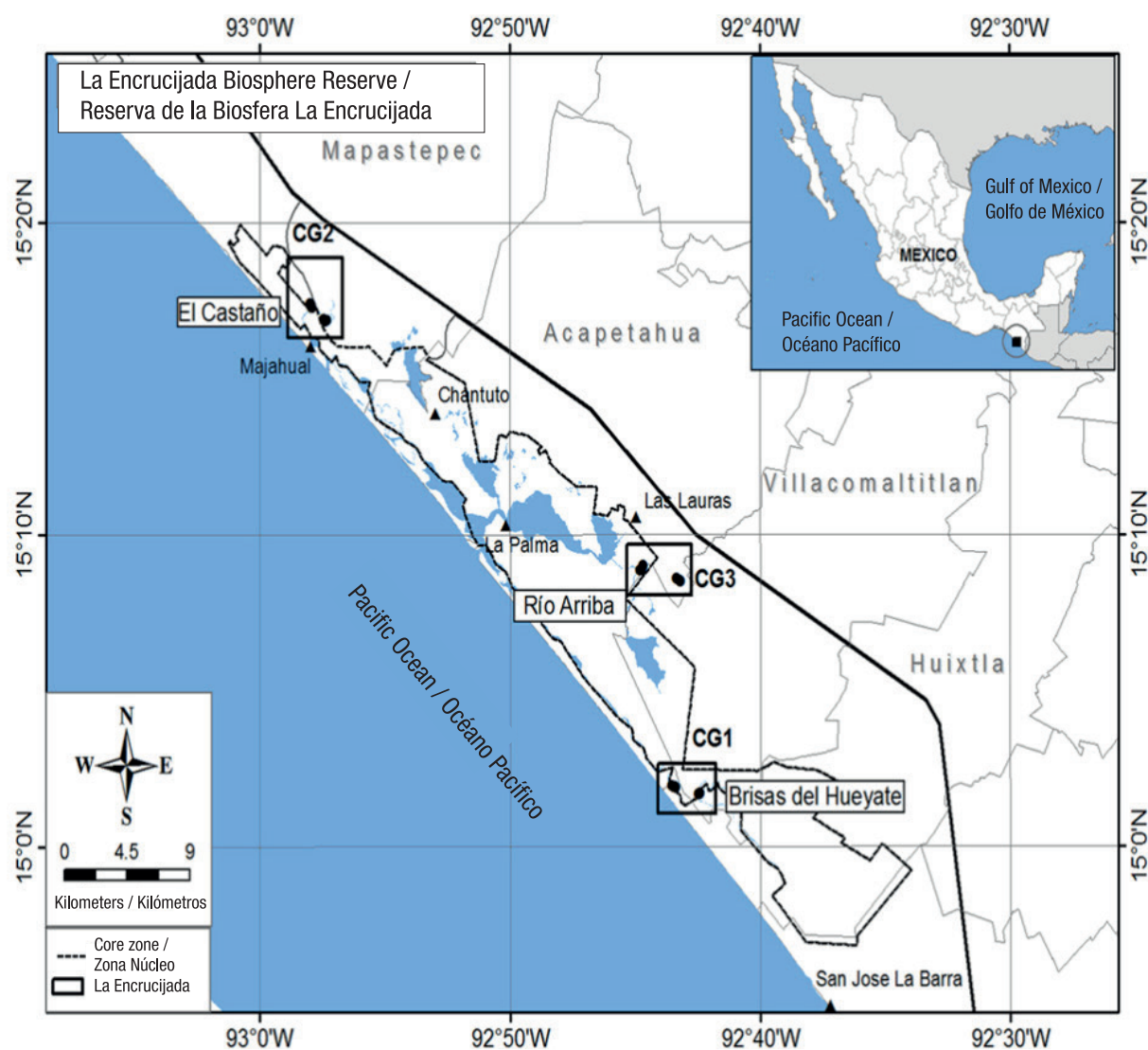


Figure 1. Distribution of study sites in the mangrove and tropical freshwater forested wetland areas of the La Encrucijada Biosphere Reserve in the state of Chiapas, Mexico: Brisas del Hueyate, municipality of Huixtla (CG1); El Castaño, municipality of Mapastepec (CG2); Río Arriba, municipality of Villa Comaltitlán (CG3).

Figura 1. Distribución de sitios de estudio en las zonas de manglar y selva inundable de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada en el estado de Chiapas, México: Brisas del Hueyate, municipio de Huixtla (CG1); El Castaño, municipio Mapastepec (CG2); Río Arriba, municipio Villa Comaltitlán (CG3).

Twenty percent of the total trees counted within the circular plot were selected to estimate total height and crown diameter. The vegetation structure was described by calculating the basal area, frequency, density and relative dominance of each species. With this information, the relative importance value (RIV) of the determinant species in the accumulation of woody fuels was obtained.

For the evaluation of fuels, in each SU a tree was chosen as the center or reference point and, from this, four 15-m transect lines were marked out, orienting

de dimensiones de 0.05 ha (12.62 m de radio). En estas parcelas se estimó la densidad de árboles adultos en pie y tocones con un diámetro a la altura de pecho (DAP) o diámetro a la altura del tocón (DAT) mayor de 2.5 cm. Se seleccionó 20 % del arbolado total contabilizado dentro de la parcela circular para estimar altura total y diámetro de copa. La estructura de la vegetación se describió a partir del cálculo del área basal, frecuencia, densidad y dominancia relativa de cada especie. Con esta información se obtuvo el valor de importancia relativa (VIR) de las especies determinantes en la acumulación de combustibles leñosos.

them with a 90° separation pattern and recording the direction or azimuth of each line (Figure 2). Specifically, the planar intersect counting technique was used to estimate the fuel load by counting branches or logs intersecting the vertical plane defined by a transect (Brown, 1971; Sánchez & Zerecero, 1983). The fuel diameter size classes of 0.01-0.60 cm, 0.61-2.50 cm and 2.51-7.50 cm (1, 10 and 100 h timelag, respectively) were chosen by measuring the intersections, while the larger pieces of 7.50 cm (1 000 h timelag) were recorded by their diameters. Four sampling lines (transects) were worked with in order to be able to capture the existing variance and reduce the error, this in case the pieces of downed woody material were not randomly distributed. Accordingly, a total of 96 transect lines were established (48 in the mangroves and 48 in the tropical freshwater forested wetlands).

Quantification of dead fuels

The sampling lines established at each site were sectioned to count fuel intersections on the basis of diameter (Figure 2). The dead fuel material was measured including everything from twigs to logs lying on the ground in the established linear transect (Flores, Xelhuantzi-Carmona, & Chávez-Durán, 2010). Figure 2 shows the distance at which each fuel category was quantified. The woody fuels of 1 h (≤ 0.60 cm), 10 h (0.61 to 2.50 cm) and 100 h (2.51 to 7.50 cm) were

Para la evaluación de combustibles, en cada UM se eligió un árbol como centro o punto de referencia y, a partir de este, se trazaron cuatro líneas de intersección de 15 m dirigiéndolas con un patrón de 90° de separación y registrando la dirección o azimut de cada línea (Figura 2). Específicamente, se usó la técnica de conteo de intersecciones planares con la que se estima la carga de combustibles mediante el conteo de ramas o troncos que intersectan el plano vertical definido por un transecto (Brown, 1971; Sánchez & Zerecero, 1983). Las clases de tamaño de diámetro combustible de 0.01-0.60 cm, 0.61-2.50 cm y 2.51-7.50 cm (tiempo de retardo de 1, 10 y 100 h, respectivamente) se eligieron por medición de las intersecciones, mientras que las piezas mayores de 7.50 cm (tiempo de retardo de 1 000 h) se registraron por sus diámetros. Se trabajó con cuatro líneas de muestreo (transectos) para poder captar la varianza existente y reducir el error, en caso de que las piezas de material leñoso caído no estuvieran distribuidas de forma aleatoria. De acuerdo con esto, se establecieron 96 líneas en total (48 en los manglares y 48 en las selvas inundables).

Cuantificación de combustibles muertos

Las líneas de muestreo establecidas en cada sitio se seccionaron para contar las intersecciones de combustibles en función de su diámetro (Figura 2). El material combustible muerto se midió incluyendo

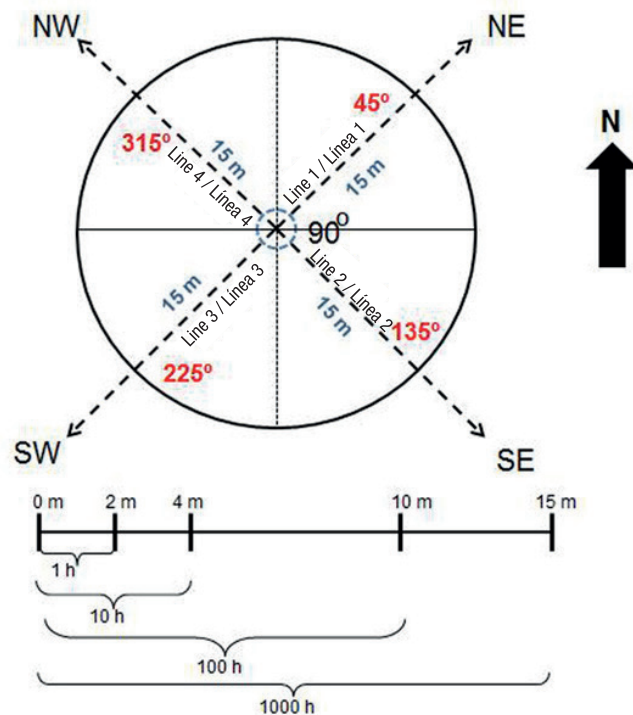


Figure 2. Layout of the four transects (sampling lines) established at each site to quantify the downed woody material (1, 10, 100 and 1 000 h fuels).

Figura 2. Esquema de los cuatro transectos (líneas de muestreo) establecidos en cada sitio para cuantificar el material leñoso caído (combustibles de 1, 10, 100 y 1 000 h).

recorded by counting on the basis of the number of intersected pieces using a forest fuel sizing gauge. Fuels of 1 000 h (>7.50 cm in diameter) were measured in the 15 m length of the transect line with the use of a flexometer, separating those found in a sound state from those that had some state of putrefaction.

Data processing

The weight of the woody fuels per diameter class was calculated with the formulas described by Sánchez and Zerecero (1983) indicated in Table 1. The fuel data and calculations were extrapolated to obtain the total amount (t·ha⁻¹). The results were analyzed in a randomized block experimental design, where the stratification criteria were the types of wetlands. The comparison of the mangrove and tropical freshwater forested wetland loads was made through the Student's *t*-test. On the other hand, the effect within and among the sites of each wetland was analyzed through the corresponding ANOVA (one and two way); subsequently, based on the results, a comparison of means of the variables evaluated was performed with the Tukey-Kramer test. Data analysis was conducted in JMP Pro 12.1 (Statistical Analysis System [SAS], 2015) with a 95 % confidence level.

desde ramillas hasta troncos tirados en el suelo en el transecto lineal marcado (Flores, Xelhuantzi-Carmona, & Chávez-Durán, 2010). La Figura 2 muestra la distancia a la que se cuantificó cada categoría de combustibles. Los combustibles leñosos de 1 h (≤0.60 cm), 10 h (0.61 a 2.50 cm) y 100 h (2.51 a 7.50 cm) se registraron por conteo de acuerdo con el número de piezas intersectadas mediante el uso de un calibrador. Los combustibles de 1 000 h (>7.50 cm de diámetro) fueron medidos en los 15 m de longitud de la línea con el uso de un flexómetro, separando los que se encontraron en estado firme de los que presentaron algún estado de putrefacción.

Procesamiento de datos

El peso de los combustibles leñosos por cada categoría diamétrica se calculó con las fórmulas descritas por Sánchez y Zerecero (1983) señaladas en el Cuadro 1. Los datos de combustibles y cálculos se extrapolaron para obtener la cantidad total (t·ha⁻¹). Los resultados se analizaron en un diseño experimental de bloques al azar, donde el criterio de estratificación fueron los tipos de humedales. La comparación de las cargas entre manglares y selvas inundables se hizo a través de la prueba *t* de Student. Por otra parte, el efecto dentro de los parajes y entre los parajes de cada humedal

Table 1. Formulas for calculating the weight of woody fuels (Brown, 1971) adapted by Sánchez and Zerecero (1983). Cuadro 1. Fórmulas para calcular el peso de combustibles leñosos (Brown, 1971) adaptadas por Sánchez y Zerecero (1983).

Type of fuel/ Tipo de combustible	Diameter class (cm)/ Clase diamétrica (cm)	Formula/ Fórmula
Fine / Finos	0.01-0.60	$P = \frac{0.484 * f * c}{N * l}$
Fine / Finos	0.61 - 2.50	$P = \frac{3.369 * f * c}{N * l}$
Medium / Medianos	2.51 - 7.50	$P = \frac{36.808 * f * c}{N * l}$
Coarse / Gruesos	> 7.50 (without rot)/(sin pudrición)	$P = \frac{1.46 * d^2 * c}{N * l}$
Coarse / Gruesos	> 7.50 (with rot)/(con pudrición)	$P = \frac{1.21 * d^2 * c}{N * l}$

W = fuel weight (t·ha⁻¹), f = frequency or number of intersections, c = terrain slope correction factor, d² = sum of the squares of the diameters of the branches and logs greater than 7.50 cm, N = number of lines, l = total length of the sampling line or sum of the lengths of the lines (given in linear feet [ft]: 1 m = 3.28 ft, 4 m = 13.12 ft, 10 m = 32.8 ft, 15 m = 49.20 ft).

P = peso de los combustibles (t·ha⁻¹), f = frecuencia o número de intersecciones, c = factor de corrección de pendiente del terreno, d² = suma de los cuadrados de los diámetros de las ramas y trozos mayores de 7.50 cm, N = número de líneas, l = longitud total de la línea de muestreo o suma de las longitudes de las líneas (dada en pies lineales [ft]: 1 m = 3.28 ft, 4 m = 13.12 ft, 10 m = 32.8 ft, 15 m = 49.20 ft).

Results and discussion

Total woody fuel load

The largest amount of combustible woody material corresponds to 1 000 h fuels (>7.50 cm in diameter) with a range of 46.58 to 96.78 t·ha⁻¹ in mangroves and of 32.49 to 101.69 t·ha⁻¹ in tropical freshwater forested wetlands. It is important to mention that, in this category, the largest proportion of woody pieces were found in a state of decomposition or rotting, which indicates that in a short time they will be part of the soil organic layer. Table 2 contains the average values for each category of woody fuels based on their timelag, and the total load per type of vegetation in each of the sites.

Woody fuel load in mangroves and tropical freshwater forested wetlands

Table 3 shows the results of the total woody fuel load by type of vegetation and site in the EBR. According to the results, the Student's *t* test shows that there is no statistically significant difference between the loads found in mangroves (121.75 ± 44.42 t·ha⁻¹) and tropical freshwater forested wetlands (98.74 ± 55.53 t·ha⁻¹) (*F* = 1.05; *P* = 0.31). However, at site level, the Tukey-Kramer test indicates that there is a greater accumulation in El Castaño with 137.96 ± 53.51 t·ha⁻¹ compared to Río Arriba with 84.98 ± 13.37 t·ha⁻¹ (*F* = 3.29; *P* = 0.006). The interaction between vegetation type and site was statistically significant (*F* = 4.48; *P* = 0.02). According to the two-way ANOVA, the Brisas del Hueyate mangroves (152.39 ± 42.6 t·ha⁻¹) and the El

se analizó a través de los ANOVA (de una y dos vías) correspondientes; posteriormente, con base en los resultados, se hizo una comparación de medias de las variables evaluadas con la prueba de Tukey-Kramer. El análisis de los datos se realizó en JMP Pro 12.1 (Statistical Analysis System [SAS], 2015) con un nivel de confianza de 95 %.

Resultados y discusión

Carga total de combustibles leñosos

La mayor cantidad de material combustible leñoso corresponde a los combustibles de 1 000 h (>7.50 cm de diámetro) con un rango de 46.58 a 96.78 t·ha⁻¹ en manglares y de 32.49 a 101.69 t·ha⁻¹ en selvas inundables. Es importante mencionar que, en esta categoría, la proporción mayor de piezas leñosas se encontraron en estado de descomposición o podridos, lo cual indica que en poco tiempo formarán parte de la capa orgánica de suelo. El Cuadro 2 contiene los valores promedio por cada categoría de combustibles leñosos en función de su tiempo de retardo, y la carga total por tipo de vegetación en cada uno de los parajes.

Carga de combustibles leñosos en manglares y selvas inundables

El Cuadro 3 presenta los resultados de la carga total de combustibles leñosos por tipo de vegetación y paraje en la REBIEN. De acuerdo con los resultados, la prueba *t* de Student refiere que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las cargas encontradas en manglares (121.75 ± 44.42 t·ha⁻¹) y selvas

Table 2. Total amount of woody fuels by timelag for mangroves and tropical freshwater forested wetlands at three sites in the La Encrucijada Biosphere Reserve. Each site had 16 lines distributed in four sampling units by vegetation type.

Cuadro 2. Cantidad total de combustibles leñosos por tiempo de retardo para manglares y selvas inundables en tres parajes de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Cada paraje tuvo 16 líneas distribuidas en cuatro unidades de muestreo por tipo de vegetación.

Wetland / Humedal	Site / Paraje	Timelag (h) / Tiempo de retardo (h)				Total fuel (t·ha ⁻¹) / Combustible total (t·ha ⁻¹)
		1	10	100	1 000	
Mangrove / Manglar	Brisas del Hueyate	2.85	8.08	44.67	96.78	152.39
Mangrove / Manglar	El Castaño	3.74	9.91	32.37	78.03	124.05
Mangrove / Manglar	Río Arriba	5.39	13.65	23.19	46.58	88.81
T. F. Forested / Selva inundable	Brisas del Hueyate	2.75	7.01	18.58	34.85	63.19
T.F. Forested / Selva inundable	El Castaño	4.16	10.06	35.96	101.69	151.87
T.F. Forested / Selva inundable	Río Arriba	4.57	10.3	33.80	32.49	81.16

Table 3. Total woody fuel load of mangroves and tropical freshwater forested wetlands in three sites within the La Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas.**Cuadro 3. Carga total de combustibles leñosos de manglares y selvas inundables en los tres parajes de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, Chiapas.**

Factor/level Factor/nivel	Mean (t·ha ⁻¹)/Media (t·ha ⁻¹)	Statistics/Estadísticos
Wetlands vegetation/Vegetación		
Mangrove/Manglar	121.75 ± 44.42 ns	$F_{1,21} = 1.05$ $P = 0.31$
Tropical freshwater forested/Selva inundable	100.39 ± 55.53 ns	
Site/Paraje		
Brisas del Hueyate	107.79 ± 58.09 ab	$F_{2,17} = 3.29$ $P = 0.006$
El Castaño	137.96 ± 53.51 a	
Río Arriba	84.98 ± 13.37 b	
Vegetation*site/Vegetación*paraje		
Mangrove, Brisas del Hueyate/Manglar Brisas del Hueyate	152.39 ± 42.60 a	$F_{2,17} = 4.48$ $P = 0.02$
Mangrove, El Castaño/Manglar El Castaño	124.05 ± 49.62 ab	
Mangrove, Río Arriba/Manglar Río Arriba	88.81 ± 15.84 bc	
Tropical freshwater forested, Brisas del Hueyate/ Selva inundable Brisas del Hueyate	63.19 ± 27.49 c	
Tropical freshwater forested, El Castaño/ Selva inundable El Castaño	151.87 ± 60.84 a	
Tropical freshwater forested, Río Arriba/ Selva inundable Río Arriba	81.16 ± 10.50 bc	

± Standard deviation of the mean. ns = not significant (Student's *t*, $P < 0.05$). Different letters in sites and vegetation*site indicate significant differences (Tukey-Kramer test, $P < 0.05$).

± Desviación estándar de la media. ns = no significativo (*t* de Student, $P < 0.05$). Letras diferentes en parajes y vegetación*paraje indican diferencias significativas (prueba de Tukey-Kramer, $P < 0.05$).

Castaño tropical freshwater forested wetlands (151.87 ± 60.84 t·ha⁻¹) have a greater accumulation of woody fuels compared to the other study areas. The Río Arriba mangroves (88.81 ± 15.84 t·ha⁻¹) and tropical freshwater forested wetlands (81.16 ± 10.5 t·ha⁻¹) show statistically equal loads; on the other hand, the Brisas del Hueyate swamp has the lowest loads (63.19 ± 27.49 t·ha⁻¹).

This indicates that the Brisas del Hueyate mangroves and the El Castaño tropical freshwater forested wetlands are more likely to burn under favorable conditions and elements for fires to spread, due to the greater accumulation of woody fuels. Although the Brisas del Hueyate swamps have the lowest fuel load (63.19 t·ha⁻¹), these quantities are high when compared with studies in some temperate ecosystems (Castañeda, Endara, Villers, & Nava, 2015; Omi, 2003).

inundables (98.74 ± 55.53 t·ha⁻¹) ($F = 1.05$; $P = 0.31$). Sin embargo, a nivel de paraje, la comparación de medias por Tukey-Kramer señala que hay mayor acumulación en la zona de El Castaño con 137.96 ± 53.51 t·ha⁻¹ con respecto a Río Arriba con 84.98 ± 13.37 t·ha⁻¹ ($F = 3.29$; $P = 0.006$). La interacción entre tipo de vegetación y paraje fue estadísticamente significativa ($F = 4.48$; $P = 0.02$). De acuerdo con el ANOVA de dos vías, los manglares de Brisas del Hueyate (152.39 ± 42.6 t·ha⁻¹) y las selvas inundables de El Castaño (151.87 ± 60.84 t·ha⁻¹) tienen mayor acumulación de combustibles leñosos con respecto a las demás zonas de estudio. Los manglares (88.81 ± 15.84 t·ha⁻¹) y selvas inundables (81.16 ± 10.5 t·ha⁻¹) de Río Arriba manifiestan cargas estadísticamente iguales; por su parte, las selvas inundables de Brisas del Hueyate tienen las cargas menores (63.19 ± 27.49 t·ha⁻¹).

In the case of Río Arriba, the arrival of water currents is less than the other sites due to the soil accumulation caused by meteorological phenomena such as storms and hurricanes. This has led to greater sedimentation, longer droughts and high availability of fuels to catch fire in the event of any human activity related to the use of fire, mainly in the dry season.

The accumulation of combustible material is due to structural elements, expressed through the RIV of the associated species. In the case of mangroves, 10 and 100 h fuels are produced mainly by the old branches and roots of *R. mangle*. In the case of tropical freshwater forested wetlands, there is a greater production of 1 h fuels formed by the branches of *P. aquatica*, associated with *Cynometra oaxacana* Brandege. The 1 000 h (heavy) fuels originate from the downing of trees due to strong winds and hurricanes, causing vulnerability of the mangrove (Tovilla-Hernández & Romero-Berny, 2012) and tropical freshwater forested wetlands in the presence of fire. All this leads to a greater accumulation of woody fuels that, in the January-May fire season, are available to start ignition.

From the standpoint of necromass production, the shrub and herbaceous elements do not accumulate much material; however, their biomass (mainly of the shrubs) represents an important source of fuel. Specifically, shrubs, herbaceous species and grasses as living fuels favor surface fire spread, which is more marked if the environmental conditions cause dryness of the material. In addition, it should be considered that some shrubs produce highly flammable structures, so their importance lies in their quantity ($t \cdot ha^{-1}$) and quality (content of flammable elements).

Fuel load per diameter class

Mangroves and tropical freshwater forested wetlands did not show significant differences in average dead fuel loads by diameter class (Figure 3). The average fuel accumulation of the three sites evaluated shows that mangroves and tropical freshwater forested wetlands have similar fuel loads, which may be determined by the same species association.

Fuel load by diameter classes among sites

At site level, the comparison of fuel loads between mangroves and tropical freshwater forested wetlands, by diameter class, is summarized in Table 4. In the mangroves of the three study sites, the following was found: the fine fuel load (0.01 a 0.60 cm) was significantly different between Brisas del Hueyate and Río Arriba ($F = 3.05$, $P = 0.09$); El Castaño had accumulations with characteristics in common with the two areas mentioned; and fine fuel classes of 0.61

Lo anterior indica que los manglares de Brisas del Hueyate y las selvas inundables de El Castaño están más propensos a quemarse bajo condiciones y elementos favorables para que el fuego se propague, debido a la acumulación mayor de combustibles leñosos. Aunque las selvas inundables de Brisas del Hueyate presentan la menor carga de combustibles ($63.19 t \cdot ha^{-1}$), estas cantidades son altas si se comparan con estudios en algunos ecosistemas templados (Castañeda, Endara, Villers, & Nava, 2015; Flores & Omi, 2003). En el caso de Río Arriba, la llegada de las corrientes de agua es menor, debido al azolvamiento ocasionado por fenómenos meteorológicos como tormentas y huracanes. Esto ha propiciado que exista sedimentación mayor, sequías más prolongadas y disponibilidad alta de los combustibles para incendiarse ante cualquier actividad antrópica relacionada con el uso del fuego, principalmente en la temporada seca.

La acumulación del material combustible se debe a elementos estructurales, expresados a través del VIR de las especies asociadas. Para el caso de los manglares, los combustibles de 10 y 100 h son producidos mayormente por las ramas y raíces viejas de *R. mangle*. En el caso de las selvas inundables, hay mayor producción de combustibles de 1 h conformados por ramillas de *P. aquatica*, asociada a *Cynometra oaxacana* Brandege. Los combustibles de 1 000 h (pesados) se originan de la caída de los árboles por la presencia de vientos fuertes y huracanes, provocando vulnerabilidad del manglar (Tovilla-Hernández & Romero-Berny, 2012) y selva inundable ante la presencia del fuego. Todo esto da lugar a una acumulación mayor de combustibles leñosos que, en la temporada de incendios de enero a mayo, quedan disponibles para comenzar la ignición.

Desde la perspectiva de producción de necromasa, los elementos arbustivos y herbáceos no acumulan mucho material; sin embargo, la biomasa de estos (principalmente de los arbustos) representa una fuente importante de combustible. Específicamente, los arbustos, hierbas y pastos como combustible vivo favorecen la propagación superficial del fuego, lo cual es más marcado si las condiciones ambientales propician resequead del material. Además, se debe considerar que algunos arbustos producen estructuras altamente inflamables, por lo que la importancia de estos radica en su cantidad ($t \cdot ha^{-1}$) y calidad (contenido de elementos inflamables).

Carga de combustibles por clase diamétrica

Los manglares y selvas inundables no mostraron diferencias significativas en las cargas promedio de combustibles muertos por categoría diamétrica (Figura 3). La acumulación promedio de combustibles de los tres parajes evaluados muestra que los manglares

to 2.50 cm, medium of 2.51 to 7.50 cm and coarse >7.50 cm (rotten and good) did not show significant differences, as shown in Figure 4. According to the results, the Río Arriba mangroves have greater 1 h fuel loads, due to their high density of mature trees, which generates a fall of leaf litter and twigs, thereby producing large accumulations. On the other hand, in the tropical freshwater forested wetlands of the three sites, the following was found: fine fuels of 0.01 to 0.60 cm and of 0.61 to 2.50 cm, and coarse fuels >7.50 cm did not show significant differences in average load; however, in the medium class from 2.51 to 7.50 cm there were significant differences between the Brisas del Hueyate load with 18.58 t·ha⁻¹ ($F = 9.93$, $P = 0.006$) and that of El Castaño (35.96 t·ha⁻¹) and Río Arriba (33.8 t·ha⁻¹). The latter two show similarity in total average load, as can be seen in Figure 5.

The greater amount of 100 h fuels in the swamps of El Castaño and Río Arriba is due to the influence of mature vegetation that generates a constant fall of twigs, mainly when there are strong winds, storms and hurricanes. This accumulated material disintegrates over time, being available in the dry season as a fire spread factor. Ignition originates in the 1 and 10 h fine fuels; the possibility of intensifying the fire and spreading it towards the coarse fuels (1 000 h), which are the most

y selvas inundables tienen cargas de combustibles semejantes, lo cual puede estar determinado por la misma asociación de especies.

Carga de combustibles por clases diamétricas entre parajes

A nivel paraje, la comparación de las cargas de combustibles entre manglares y selvas inundables, por categoría diamétrica, se resume en el Cuadro 4. En los manglares de los tres parajes de estudio se encontró lo siguiente: la carga de combustibles finos (0.01 a 0.60 cm) fue diferente significativamente entre Brisas del Hueyate y Río Arriba ($F = 3.05$, $P = 0.09$); El Castaño tuvo acumulaciones con características en común, respecto a las dos zonas mencionadas; y las clases de combustibles finos de 0.61 a 2.50 cm, medianos de 2.51 a 7.50 cm y gruesos >7.50 cm (podrido y firme) no presentaron diferencias significativas, tal como se observa en la Figura 4. De acuerdo con los resultados, los manglares de Río Arriba presentan cargas mayores de combustibles de 1 h, debido a su alta densidad de arbolado en edad madura, que genera caída de hojarasca y ramillas produciendo grandes acumulaciones. Por otra parte, en las selvas inundables de los tres parajes se encontró lo siguiente: los combustibles finos de 0.01 a 0.60 cm y de 0.61 a 2.50 cm, y los gruesos >7.50 cm

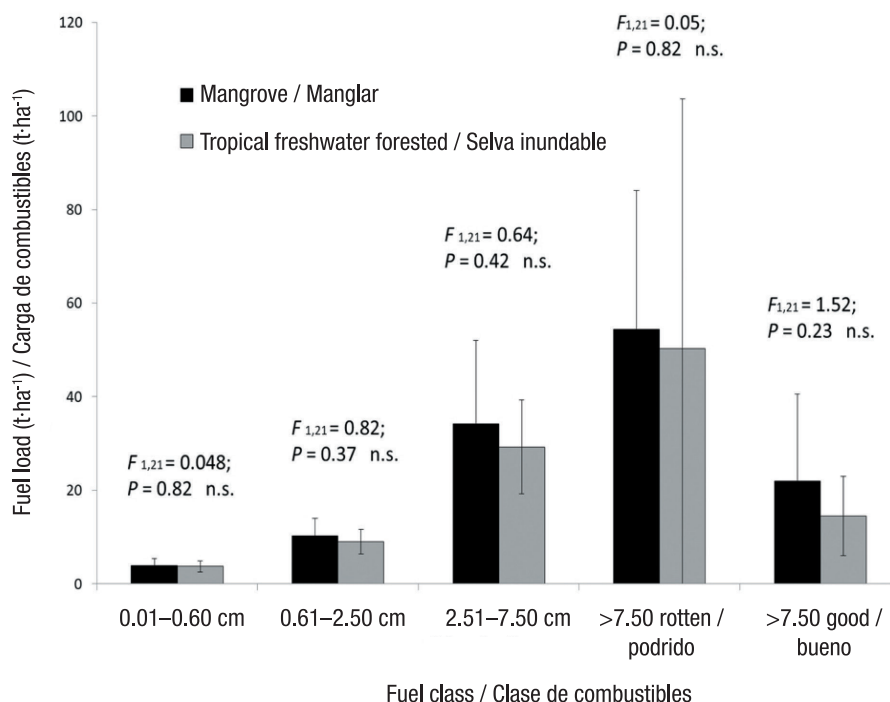


Figure 3. Comparison of woody fuel load by diameter class between mangroves and tropical freshwater forested wetlands in the La Encrucijada Biosphere Reserve. According to the Student's *t* test ($P > 0.05$), there were no significant differences; the standard deviation of the mean is represented on the bars.

Figura 3. Comparación de carga de combustibles leñosos por clase diamétrica entre manglares y selvas inundables de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. De acuerdo con la prueba *t* de Student ($P > 0.05$), no hubo diferencias significativas; sobre las barras se representa la desviación estándar de la media.

Table 4. Fuel load by diameter class in mangroves and tropical freshwater forested wetlands of three sites in the Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas.**Cuadro 4. Carga de combustibles por clase diamétrica en manglares y selvas inundables de tres parajes de la Reserva de la Biosfera la Encrucijada, Chiapas.**

Sampling units/ Unidades de muestreo	Mangrove/Manglar		Tropical freshwater forested/ Selva inundable	
	Average (t·ha ⁻¹)/ Promedio (t·ha ⁻¹)	Statistics/ Estadísticos	Average (t·ha ⁻¹)/ Promedio (t·ha ⁻¹)	Statistics/ Estadísticos
0.01-0.61 cm				
CG1 Brisas del Hueyate	2.85 ± 0.45 b	$F_{2,9} = 3.05$ $P = 0.04$	2.75 ± 0.45 ns	$F_{2,9} = 2.75$ $P = 0.12$
CG2 El Castaño	3.74 ± 1.85 ab		4.16 ± 1.40 ns	
CG3 Río Arriba	5.39 ± 1.00 a		4.57 ± 0.65 ns	
0.61-2.50 cm				
CG1 Brisas del Hueyate	8.08 ± 2.04 ns	$F_{2,9} = 2.36$ $P = 0.14$	7.01 ± 1.65 ns	$F_{2,9} = 2.35$ $P = 0.15$
CG2 El Castaño	9.91 ± 4.61 ns		10.06 ± 0.83 ns	
CG3 Río Arriba	13.65 ± 1.57 ns		10.30 ± 5.58 ns	
2.51-7.50 cm				
CG1 Brisas del Hueyate	44.67 ± 23.77 ns	$F_{2,9} = 1.38$ $P = 0.30$	18.58 ± 7.22 b	$F_{2,9} = 9.93$ $P = 0.006$
CG2 El Castaño	32.37 ± 14.45 ns		35.96 ± 5.13 a	
CG3 Río Arriba	23.19 ± 8.38 ns		33.80 ± 5.35 a	
>7.50 cm rotten/podrido				
CG1 Brisas del Hueyate	59.67 ± 21.64 ns	$F_{2,9} = 1.00$ $P = 0.40$	20.67 ± 16.22 ns	$F_{2,9} = 2.60$ $P = 0.13$
CG2 El Castaño	62.70 ± 40.03 ns		85.29 ± 64.00 ns	
CG3 Río Arriba	33.48 ± 6.24 ns		22.19 ± 5.63 ns	
>7.50 good/bueno				
CG1 Brisas del Hueyate	37.11 ± 25.97 ns	$F_{2,9} = 2.57$ $P = 0.13$	14.18 ± 9.33 ns	$F_{2,9} = 0.31$ $P = 0.73$
CG2 El Castaño	15.33 ± 6.20 ns		16.40 ± 9.46 ns	
CG3 Río Arriba	13.10 ± 10.59 ns		10.30 ± 7.40 ns	

± standard deviation of the mean. Different letters indicate significant differences (Tukey-Kramer test, $P < 0.05$) per diameter class among the Brisas del Hueyate, El Castaño and Río Arriba sites.

± desviación estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas (prueba de Tukey-Kramer, $P < 0.05$) por categoría diamétrica entre los parajes Brisas del Hueyate, El Castaño y Río Arriba.

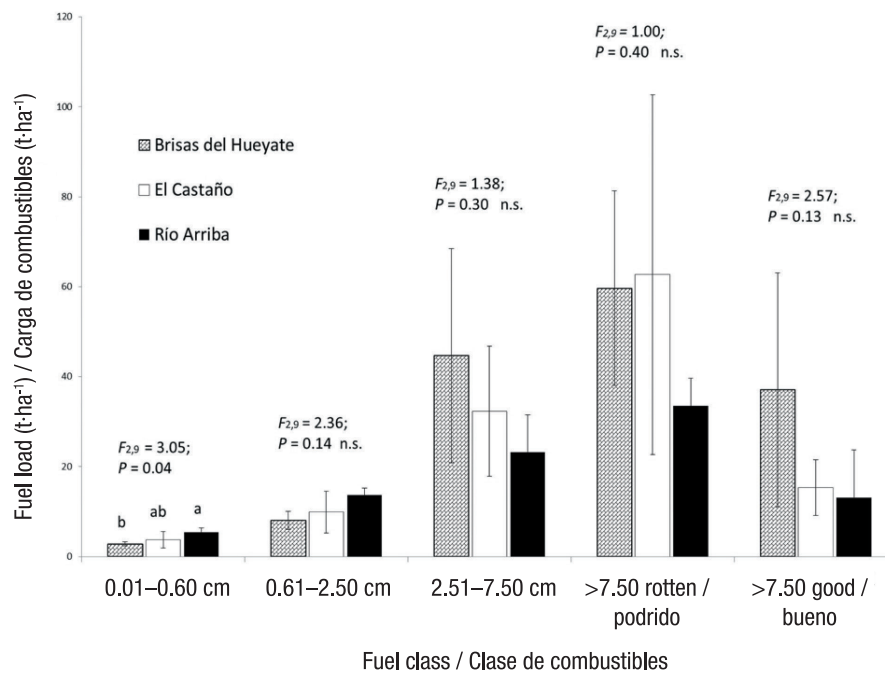


Figure 4. Comparison of the woody fuel load by diameter class among mangrove sites in the La Encrucijada Biosphere Reserve. Different letters indicate significant differences (Tukey-Kramer test, $P < 0.05$). The standard deviation of the mean is represented on the bars.

Figura 4. Comparación de carga de combustibles leñosos por categoría diamétrica entre parajes del manglar de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Letras diferentes indican diferencias significativas (prueba de Tukey-Kramer, $P < 0.05$). Sobre las barras se representa la desviación estándar de la media.

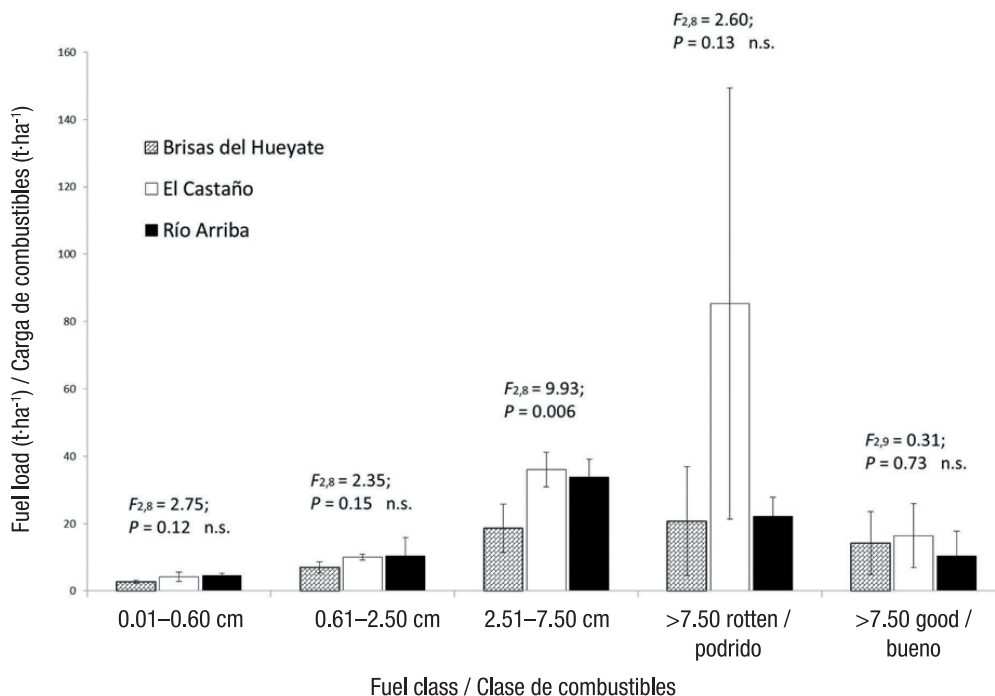


Figure 5. Comparison of the woody fuel load by diameter class among tropical freshwater forested wetland sites in the La Encrucijada Biosphere Reserve. Different letters indicate significant differences (Tukey-Kramer test, $P < 0.05$). The standard deviation of the mean is represented on the bars.

Figura 5. Comparación de la carga de combustibles leñosos por categoría diamétrica entre parajes de las selvas inundables de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Letras diferentes indican diferencias significativas (prueba de Tukey-Kramer, $P < 0.05$). Sobre las barras se representa la desviación estándar de la media.

dangerous, is increased through the medium fuel class (100 h). In this context, Villers and López (2004) emphasize that although the amount and proportion may vary, the combination of dead fuel diameter classes is a factor that affects fire spread and intensity, considering that fine fuels (1 h) have greater influence on the distribution.

Loads obtained in temperate forests vary from 0.54 to 3.11 t·ha⁻¹ for 1 h fuels and from 1.26 to 3.98 t·ha⁻¹ for 10 h fuels (Castañeda et al., 2015; Chávez et al., 2016; Flores & Omi, 2003), which are lower than those obtained in this study, since the mangroves generated 2.85 to 5.39 t·ha⁻¹ (1 h) and 8.08 to 13.65 t·ha⁻¹ (10 h) and the tropical freshwater forested wetlands accumulated 2.75 to 4.57 t·ha⁻¹ (1 h) and 7.01 to 10.3 t·ha⁻¹ (10 h). On the other hand, Estrada and Cervantes (2007) determined loads in a temperate climate forest with predominance of *Abies* in El Chico National Park, Hidalgo, obtaining a total load of 65.85 t·ha⁻¹, considered high for temperate ecosystems. This accumulation is low compared to those of the present study, which range from 88.81 to 152.39 t·ha⁻¹ for mangroves and from 63.19 to 151.87 t·ha⁻¹ for swamps. In short, this shows that mangroves and tropical freshwater forested wetlands can accumulate 50 % more fuel than temperate forests.

Within the studies oriented to average carbon stocks, carried out in the EBR, Adame et al. (2015) found downed woody material loads ranging from 11 to 205 t·ha⁻¹ with an average biomass of 26 to 59.4 t·ha⁻¹. This value is low compared to the range obtained in the mangroves and swamps. In another study conducted in tropical freshwater forested wetlands in Yucatán, Reyes and Coli (2009) reported fuel loads equivalent to 16.46 t·ha⁻¹, which are low compared to those obtained in the present study; however, the largest amount corresponds to fine fuels (7.45 t·ha⁻¹) that constitute significant accumulations, even greater than those obtained in the tropical freshwater forested wetlands evaluated in this work. On the other hand, in the tropical forests of Calakmul in Campeche, Neri-Pérez, Rodríguez-Trejo, and Contreras-Aguado (2009) reported total loads of 43.15 to 154.5 t·ha⁻¹, which are within the range obtained in the tropical freshwater forested wetlands of the EBR. In general, however, there are few studies that allow comparing the amount of dead fuels in wetlands, and that are aimed at establishing relationships with the presence of fires. It is hoped that the present research will contribute to the state of the art of evaluating dead fuel loads in wetlands and, most importantly, serve as a basis for subsequent studies aimed at fire management in the reserve.

The study of woody fuels classified by size is necessary to understand the dangerousness of the fuel element and fire behavior in forest ecosystems (Villers & López,

no presentaron diferencias significativas en la carga promedio; sin embargo, en la clase media de 2.51 a 7.50 cm si existieron diferencias significativas en la carga de Brisas del Hueyate con 18.58 t·ha⁻¹ ($F = 9.93, P = 0.006$) con respecto a El Castaño (35.96 t·ha⁻¹) y Río Arriba (33.8 t·ha⁻¹). Estos últimos presentan similitud en la carga promedio total, como se observa en la Figura 5.

La cantidad mayor de combustibles de 100 h en las selvas inundables de El Castaño y Río Arriba se debe a la influencia de vegetación madura que genera caída constante de ramillas, principalmente cuando se presentan vientos fuertes, tormentas y huracanes. Este material acumulado se desintegra a través del tiempo quedando disponible en la temporada de sequía como factor de propagación de incendios. La ignición se origina en los combustibles finos de 1 y 10 h; la posibilidad de intensificar el fuego y propagarlo hacia los combustibles gruesos (1 000 h), que son los más peligrosos, se incrementa a través de la clase de combustibles medianos (100 h). En este contexto, Villers y López (2004) enfatizan que, aunque la cantidad y proporción puedan variar, la combinación de categorías diamétricas de combustibles muertos es un factor que afecta la dispersión y la intensidad del fuego, considerando que los combustibles finos (1 h) tienen mayor influencia en la distribución.

Las cargas obtenidas en bosques templados varían de 0.54 a 3.11 t·ha⁻¹ para combustibles de 1 h y de 1.26 a 3.98 t·ha⁻¹ para combustibles de 10 h (Castañeda et al., 2015; Chávez et al., 2016; Flores & Omi, 2003), las cuales son menores que las obtenidas en este estudio, ya que los manglares generaron 2.85 a 5.39 t·ha⁻¹ (1 h) y 8.08 a 13.65 t·ha⁻¹ (10 h) y las selvas inundables acumularon 2.75 a 4.57 t·ha⁻¹ (1 h) y 7.01 a 10.3 t·ha⁻¹ (10 h). Por otra parte, Estrada y Cervantes (2007) determinaron cargas en un bosque de clima templado con predominancia de *Abies* en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, y obtuvieron una carga total de 65.85 t·ha⁻¹, considerada alta para ecosistemas templados. Esta acumulación es baja en comparación con las del presente estudio, que van de 88.81 a 152.39 t·ha⁻¹ para el caso de manglares y de 63.19 a 151.87 t·ha⁻¹ para las selvas inundables. En definitiva, esto demuestra que los manglares y selvas inundables pueden acumular más de 50 % de combustibles de lo que los bosques templados acumulan.

Dentro de los estudios orientados a los bancos de carbono promedio, realizados en la REBIEN, Adame et al. (2015) encontraron cargas de material leñoso caído que van de 11 a 205 t·ha⁻¹ con una biomasa media de 26 a 59.4 t·ha⁻¹. Este valor es bajo comparado con el rango obtenido en los manglares y selvas inundables. En otro estudio realizado en selvas inundables de Yucatán, Reyes y Coli (2009) reportaron cargas de combustibles equivalentes a 16.46 t·ha⁻¹ que son bajas comparadas

2004). The Rio Arriba site has a significant fine fuel load (0.01 to 0.60 cm) in its mangroves, which would give rise to a surface fire and one with greater displacement. This is different in the swamps of Brisas del Hueyate and El Castaño, where there are larger accumulations of medium-sized fuels (2.51 to 7.50 cm), which when burned and associated with coarse fuels can generate fires of greater magnitude and intensity.

Although there are variations in the woody fuel load among sites, we accepted the hypothesis that there are no significant differences in fuel accumulation between mangroves and tropical freshwater forested wetlands, because both systems have common characteristics, are structurally arboreal and share some species (Adame et al., 2015; Infante-Mata, Moreno-Casasola, & Madero-Vega, 2014). Table 5 summarizes the composition and structure at the level of vegetation and sites evaluated.

con las obtenidas en el presente estudio; sin embargo, la cantidad mayor corresponde a combustibles finos (7.45 t·ha⁻¹) que constituyen acumulaciones significativas, incluso mayores que las obtenidas en las selvas inundables evaluadas en este trabajo. Por otra parte, en las selvas bajas de Calakmul en Campeche, Neri-Pérez, Rodríguez-Trejo, y Contreras-Aguado (2009) reportaron cargas totales de 43.15 a 154.5 t·ha⁻¹, que están dentro del rango obtenido en las selvas inundables de la REBIEN. Existen pocos trabajos que permitan comparar la cantidad de combustibles muertos en humedales, y que estén orientados a establecer relaciones con la presencia de incendios. Se espera que la presente investigación contribuya al estado del arte de evaluar cargas de combustibles muertos en humedales y, lo más importante aún, que sirva como base para la realización de estudios posteriores, orientados al manejo del fuego en la reserva.

Table 5. Relative frequency (RF) and relative importance value (VIR), structural parameters of density and basal area that show the similarity in the association of arboreal species between mangroves and tropical freshwater forested wetlands in the three study sites within the La Encrucijada Biosphere Reserve.

Cuadro 5. Frecuencia relativa (FR) y valor de importancia relativa (VIR), parámetros estructurales de densidad y área basal que muestran la similitud en la asociación de especies arbóreas entre manglar y selvas inundables de los tres parajes de estudio de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada.

Species/Especies	Brisas del Hueyate				El Castaño				Río Arriba			
	Mangrove/ Manglar		Tropical freshwater forested/ Selva inundable		Mangrove/ Manglar		Tropical freshwater forested/ Selva inundable		Mangrove/ Manglar		Tropical freshwater forested/ Selva inundable	
	RF/ FR	RIV/ VIR	RF/ FR	RIV/ VIR	RF/ FR	RIV/ VIR	RF/ FR	RIV/ VIR	RF/ FR	RIV/ VIR	RF/ FR	RIV/ VIR
<i>Pachira aquatica</i>	87.13	226.34	94.10	285.28	-	-	89.58	258.75	79.80	190.46	89.64	275.84
<i>Rhizophora mangle</i>	9.20	64.47	0.67	3.08	96.94	293.70	0.54	17.76	8.00	81.42	-	-
<i>Cynometra oaxacana</i>	2.76	5.93	0.34	0.70	-	-	9.07	21.46	-	-	-	-
<i>Inga laurina</i>	0.46	1.97	2.70	5.72	-	-	0.68	1.53	12.20	28.13	9.67	22.28
<i>Laguncularia racemosa</i>	-	-	-	-	3.06	6.30	-	-	-	-	-	-
<i>Anonma glabra</i>	0.46	1.30	0.67	2.03	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coccoloba barbadensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.67	1.88
Lianas: <i>Dalbergia ecastaphyllum</i> , <i>Vitis caribaea</i>	-	-	1.52	3.19	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300
Density (ind·ha ⁻¹)/ Densidad (ind·ha ⁻¹)	1 740		2 965		490		3 695		2 500		2 945	
Basal area (m ² ·ha ⁻¹)/ Área basal (m ² ·ha ⁻¹)	54.62		68.54		28.13		57.14		42.95		38.48	

Relative frequency and the RIV demonstrate the association of four species in common: *P. aquatica*, *R. mangle*, *Inga laurina* (Sw.) Willd. and *C. oaxacana* in mangroves and tropical freshwater forested wetlands. Only the El Castaño mangrove, dominated extensively by *R. mangle* (RIV = 293.7), shows the absence of these species, which determines an intermediate woody fuel load in this study area.

Relative frequency and the RIV provide a certain degree of knowledge about the species that give rise to the woody fuels on the ground. In order of importance, the mangroves are mainly home to *R. mangle*, *P. aquatica*, *C. oaxacana*, *I. laurina*, *L. racemosa* and *Annona glabra* L., while the tropical freshwater forested wetlands mainly have *P. aquatica*, *R. mangle*, *C. oaxacana*, *I. laurina*, *L. racemosa*, *A. glabra*, *Coccoloba barbadensis* Jacq. and lianas such as *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) Taub. and *Vitis caribaea* DC.

It is clear that the two ecosystems (mangroves and tropical freshwater forested wetlands) have the same potential to catch fire as they do not show significant differences in their woody fuel load, which is considered a favorable element for ignition. Although only a few studies have focused on temperate ecosystems in Mexico, in general, the decomposition time of combustible material can be considered as follows: organic matter (1 to 2 years), leaf litter (3 to 5 years), fine woody material (8 to 10 years) and coarse woody material (20 to 60 years). This will be strongly conditioned by environmental factors, especially temperature and humidity, as well as contents and concentrations of chemical components (lignins, cellulose and hemicellulose) and wood density. According to this, a more accelerated fuel decomposition rate would be expected in tropical ecosystems, mainly due to high humidity and temperature; however, in the specific case of mangroves, the high relative density of their wood and the tannin content imply a slower decomposition rate. This indicates that studies must be carried out that not only determine the decomposition rates of combustible material in different ecosystems and conditions, but also evaluate the rate of recovery of the material. This will assist in the determination of the cycle of fuel load dynamics and, in turn, the reduction of uncertainty in aspects such as the fire regime (frequency, intensity, behavior and impact).

On the other hand, it is advisable to implement fuel management actions fomented by an integrated fire management plan, which includes physical prevention activities. These may include the establishment of firebreaks, green fuel barriers to stop fire, firewood extraction, transfer of combustible material, pruning and removal of low branches with horizontal continuity. Finally, because fire originates in the herbaceous wetlands - tular and popal areas- of the reserve, prescribed fires in those areas adjacent

El estudio de combustibles leñosos clasificados por tamaño es necesario para comprender la peligrosidad del elemento combustible y el comportamiento del fuego en ecosistemas forestales (Villers & López, 2004). El paraje Río Arriba tiene una carga de combustibles finos (0.01 a 0.60 cm) significativa en los manglares, que daría origen a un incendio superficial y con mayor desplazamiento. Esto es diferente en las selvas inundables de Brisas del Hueyate y El Castaño, donde se presentan acumulaciones mayores de combustibles medianos (2.51 a 7.50 cm), que al llegar a quemarse y asociarse con los combustibles gruesos pueden generar incendios de magnitud e intensidad mayores.

Aunque existen variaciones en la carga de combustibles leñosos entre parajes, se acepta la hipótesis planteada de que no existen diferencias significativas en la acumulación de combustibles entre manglares y selvas inundables, debido a que ambos sistemas tienen características en común, estructuralmente son arbóreos y comparten algunas especies (Adame et al., 2015; Infante-Mata, Moreno-Casasola, & Madero-Vega, 2014). El Cuadro 5 resume la composición y estructura a nivel de vegetación y parajes evaluados. La frecuencia relativa y el VIR demuestran la asociación de cuatro especies en común: *P. aquatica*, *R. mangle*, *Inga laurina* (Sw.) Willd. y *C. oaxacana* en manglares y selvas inundables. Solamente el manglar de El Castaño, dominado ampliamente por *R. mangle* (VIR = 293.7), manifiesta la ausencia de estas especies, lo cual determina una carga intermedia de combustibles leñosos en esta zona de estudio.

La frecuencia relativa y el VIR permiten una aproximación al conocimiento de las especies que dan lugar a los combustibles leñosos en el suelo. Por orden de importancia, en los manglares se encuentran *R. mangle*, *P. aquatica*, *C. oaxacana*, *I. laurina*, *L. racemosa* y *Annona glabra* L., principalmente, mientras que en las selvas inundables están presentes *P. aquatica*, *R. mangle*, *C. oaxacana*, *I. laurina*, *L. racemosa*, *A. glabra*, *Coccoloba barbadensis* Jacq. y lianas como *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) Taub. y *Vitis caribaea* DC, principalmente.

Es evidente que los dos ecosistemas (manglares y selvas inundables) tienen el mismo potencial de incendiarse al no mostrar diferencias significativas en la carga de combustibles leñosos, que se consideran elementos propicios para la ignición. Aunque en México existen pocos estudios enfocados en los ecosistemas templados, de manera general, se puede considerar el tiempo de descomposición del material combustible de la siguiente manera: materia orgánica (1 a 2 años), hojarasca (3 a 5 años), material leñoso fino (8 a 10 años) y material leñoso grueso (20 a 60 años). Esto estará fuertemente condicionado por factores ambientales como temperatura y humedad, principalmente; contenidos y concentraciones de componentes

to the mangroves (Hogart, 2007; Tovilla-Hernández & Romero-Berny, 2012) and tropical freshwater forested wetlands would be a viable alternative to reduce the accumulation of these herbaceous fuels.

Conclusions

Quantification of forest fuels is possible in coastal wetlands, such as mangroves and tropical freshwater forested wetlands, finding loads up to three times higher than those in other temperate ecosystems. The mangroves and tropical freshwater forested wetlands of the La Encrucijada Biosphere Reserve share some dominant tree species such as *R. mangle* and *P. aquatica*, which is reflected in the similarity of the loads obtained in both types of arboreal wetlands. The results obtained provide guidelines for subsequent studies and can favor decision-making for the prevention of fires in the reserve's wetlands, supporting the prioritization of zones vulnerable to forest fires.

Acknowledgments

The authors thank the following: the National Science and Technology Council (CONACYT) for awarding grant no. 378439 for the Master of Science in Natural Resources and Rural Development; the *Colegio de la Frontera Sur* for its training; the CONANP staff that administers the La Encrucijada reserve and the Brisas del Hueyate, El Castaño and Río Arriba Salvación communities for facilitating this work; and Gerardo de la Cruz Montes for his help in the fieldwork.

End of English version

References / Referencias

- Adame, M. F., Kauffman, J. B., Medina, I., Gamboa, J. N., Torres, O., Caamal, J., & Herrera-Silveira, J. A. (2013). Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE*, 8(2), e56569. doi: 10.1371/journal.pone.0056569
- Adame, M. F., Santini, N. S., Tovilla, C., Vázquez-Lule, A., Castro, L., & Guevara, M. (2015). Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences*, 12, 3805–3818. doi: 10.5194/bg-12-3805-2015
- Arnaldos, V. J., Navalón, N. X., Pastor, F. E., Planas, C. E., & Zarate, L. L. (2003). *Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Brown, J. K. (1971). A planar intersects method for sampling fuel volume and surface area. *Forest Science*, 17(1), 96–102. Retrieved from <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1092&context=barkbeetles>
- Campos, C. A., Hernández, M. E., Moreno-Casasola, P., Cejudo, E. E., Robledo, R. A., & Infante, M. D. (2011).

químicos (ligninas, celulosa y hemicelulosa); y densidad de la madera. De acuerdo con esto, se esperaría una tasa de descomposición de combustibles más acelerada en ecosistemas tropicales, principalmente por la humedad y temperaturas altas; sin embargo, en el caso específico de los manglares, la densidad relativa alta de su madera y el contenido de taninos implican un ritmo de descomposición más lento. Lo anterior indica que se deben realizar estudios que no solo determinen los ritmos de descomposición de material combustible en diferentes ecosistemas y condiciones, sino que también evalúen el ritmo de recuperación del material. Esto apoyará en la determinación del ciclo de la dinámica de cargas de combustibles y, a su vez, en la reducción de incertidumbre en aspectos como el régimen del fuego (frecuencia, intensidad, comportamiento e impacto).

Por otra parte, resulta conveniente implementar acciones de manejo de combustibles impulsadas por un manejo integral del fuego, que incluya actividades de prevención física. Entre estas se puede incluir el establecimiento de brechas cortafuego, barreras de combustibles verdes para detener el fuego, extracción de leña, traslado de material combustible, podas y chaponeos en ramas bajas con continuidad horizontal. Finalmente, debido a que el fuego se origina en los humedales herbáceos -tulares y popales- de la reserva, las quemas prescritas en dichas zonas aledañas a los manglares (Hogart, 2007; Tovilla-Hernández & Romero-Berny, 2012) y selvas inundables serían una alternativa viable para reducir la acumulación de dichos combustibles herbáceos.

Conclusiones

La cuantificación de combustibles forestales es posible en humedales costeros, como los manglares y selvas inundables, encontrando cargas hasta tres veces mayores que la comparada con otros ecosistemas de zonas templadas. Los manglares y selvas inundables de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada comparten algunas especies de árboles dominantes como *R. mangle* y *P. aquatica*, lo cual se refleja en la similitud de las cargas obtenidas en ambos tipos de humedales arbóreos. Los resultados obtenidos dan pauta para la realización de trabajos posteriores y pueden favorecer la toma de decisiones para la prevención de incendios en humedales de la reserva, apoyando la priorización de zonas vulnerables a incendios forestales.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada núm. 378439 para la Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural; al Colegio de la Frontera Sur por su formación; al personal de la CONANP que administra la reserva La Encrucijada y a las comunidades Brisas del Hueyate, El

- Soil water retention and carbon pools in tropical forested wetlands and marshes of the Gulf of Mexico. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8), 1388–1406. doi: 10.1080/02626667.2011.629786
- Castillo, S. M., & Correa, J. L. (2012). Actions to decrease the danger of forest fires in areas of wildland-urban interface: case study. *Territorium*, 19, 95–100. doi: 10.14195/1647-7723_19_11
- Castañeda, R. M. F., Endara, A. A. R., Villers, R. M. L. & Nava, B. E. G. (2015). Evaluación forestal y de combustibles en bosques de *Pinus hartwegii* en el Estado de México según densidades de cobertura y vulnerabilidad a incendios. *Madera y Bosques*, 21(2), 45–58. doi: 10.21829/myb.2015.212444
- Chávez, D. Á., Xelhuantzi, C. J., Rubio, C. E., Villanueva, D. J., Flores, L. H., & de la Mora, O. C. (2016). Caracterización de cargas de combustibles forestales para el manejo de reservorios de carbono y la contribución al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2589–2600. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263144472012>
- Estrada, C. I., & Cervantes, E. Á. (2007). Evaluación de combustibles forestales en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. *Ecología y biodiversidad, claves de la prevención*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/305851390_Ecologia_y_biodiversidad_claves_de_la_prevencion-Evaluacion_de_combustibles_Forestales-Estrada_Contreras_y_Angeles_Cervantes_Evaluacion_de_combustibles_forestales_en_el
- Flores, G. J. G., & Omi, P. N. (2003). Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulations using geomatic strategies. *Agrociencia*, 37(1), 65–72. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30237107>
- Flores, G. J. G., Xelhuantzi-Carmona, J., & Chávez-Durán, Á. A. (2010). Monitoreo del comportamiento del fuego en una quema controlada en un rodal de pino-encino. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(1), 49–59. doi: 10.5154/r.rchscfa.2009.05.017
- Hogarth, P. J. (2007). *The biology of mangroves and Seagrasses*. Great Britain: Oxford University Press.
- Infante-Mata, D., Moreno-Casasola, P., & Madero-Vega, C. (2014). ¿*Pachira aquatica*, un indicador del límite del manglar? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 143–160. doi: 10.7550/rmb.32656
- Infante, M. D., Moreno-Casasola, P., Madero-Vega, C., Castillo-Campo, G., & Warner, B. G. (2011). Floristic composition and soil characteristics of tropical freshwater forested wetland of Veracruz on the coastal plain of the Gulf of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 262(8), 1514–1531. doi: 10.1016/j.foreco.2011.06.053
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (1999). *Programa de manejo Reserva de la Biosfera La Encrucijada*. México: INE-SEMARNAP.
- Jones, J. W., Hall, A. E., Foster, A. M., & Lii, T. J. (2013). Wetland fire scar monitoring and analysis using archival Landsat data for the Everglades. *Fire Ecology*, 9(1), 133–150. doi: 10.4996/fireecology.0901133 10.4996/fireecology.090113
- Kaal, J., Carrión, M. Y., Asouti, E., Martín, S. M., Martínez, C. A., Costa, C. M., & Criado, B. F. (2011). Long-term deforestation in NW Spain: linking the Holocene fire history to vegetation change and human activities. *Quaternary Science Reviews*, 30(1-2), 161–175. doi: 10.1016/j.quascirev.2010.10.006
- Keane, R. E., & Wagtendonk, J. W. (2001). Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire*, 10(384), 301–319. doi: 10.1071/WF01028
- Mitsch, M. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands* (5.ª ed.). New York, USA: John Wiley & Sons.
- Moreno-Casasola, P. (2016). *Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques costeros de Veracruz*. México: INECOL - ITTO - CONAFOR - INECC.
- Moreno-Casasola, P., & Infante, M. D. M. (2016). *Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos*. México: INECOL-OIMT-CONAFOR.
- Morfin-Ríos, J. E., Jardel, E. J., Alvarado, E., & Michel-Fuentes, J. M. (2012). *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*. Guadalajara, Jalisco, México: CONAFOR-Universidad de Guadalajara.
- Neri-Pérez, A. C., Rodríguez-Trejo, D. A., & Contreras-Aguado, R. (2009). Inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche. *Universidad y Ciencia*, 25(2), 121–132. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018629792009000200002&lng=es&tlng=es
- Reyes, O., & Coli, J. (2009). *Diagnóstico de combustibles forestales en el área de conservación El Zapotal, municipio de Tizimí, Yucatán*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Rodríguez-Trejo, D., Ramírez, M., Tchikoué, H., & Santillán, P. J. (2008). Factores que inciden en la siniestralidad de incendios forestales. *Revista Ciencia Forestal en México*, 33(104), 37–58.
- Sánchez, C. J., & Zerecero, L. G. (1983). *Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca*. México: CIFONOR- INIF- SFF - SARH.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2006). *Manual de la convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (4.ª ed.). Gland, Suiza: Autor. Retrieved from http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). (1995). “Decreto por el que se declara Área Natural Protegida con el carácter de

Fin de la versión en español

- Reserva de la Biosfera, la zona conocida como La Encrucijada, ubicada en los municipios de Mazatán, Huixtla, Villa Comaltitlán, Acapetahua, Mapastepec y Pijijiapan, Chis., con una superficie de 144,868 hectáreas”. México: Diario Oficial de la Federación (DOF). Retrieved from <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/reservas/Encrucijada.pdf>
- Silva, K., Alves, E., Matos, V., & Bruno, R. (2012). Caracterização morfológica de frutos, sementes e fases da germinação de *Pachira aquatica* Aubl. (Bombacaceae). *Semina: Ciências Agrárias*, 33(3), 891–898. doi: 10.5433/1679-0359.2012v33n3p891
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). (2015). JMP 12.1. Statistical discovery from SAS. Cary, NC, USA: Author.
- Tovilla-Hernández, C., & Romero-Berny, E. I. (2012). Diagnóstico estructural de los manglares de Chiapas y Oaxaca. In A. J. Sánchez, X. Chiappa-Carrará, & P. R. Brito (Eds.), *Recursos acuáticos costeros del sureste* (pp. 257–279). Yucatán, México: Consejo de Ciencia, Innovación y Tecnología del Estado de Yucatán.
- Vélez, R. (2009). *La defensa contra incendios forestales, fundamentos y experiencias* (2.ª ed.). España: Mc Graw Hill.
- Villers, R. L., & López, B. J. (2004). *Incendios forestales en México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.