



Artículo / Article

Biomasa aérea de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca

Aboveground biomass of *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson in a tropical evergreen forest at the North of Oaxaca State

Filemón Manzano Méndez¹, Juan Ignacio Valdez Hernández²,
Miguel Ángel López López² y Elizandro Pineda Herrera³

Resumen

Zanthoxylum kellermanii es una especie de importancia ecológica y económica del sureste mexicano, que se desarrolla en la región de La Chinantla, Oaxaca. Para generar las ecuaciones conducentes a determinar su biomasa aérea, se derribaron dos árboles por clase diamétrica (10, 15, 20 y 25 cm), de las que se separaron tres secciones: follaje, ramas y fuste. De cada una se obtuvieron muestras que se pesaron en fresco y que posteriormente fueron secadas en estufas. Con estos datos se estableció la relación entre peso fresco y peso seco para estimar valores de biomasa por componentes y del árbol total para cada clase, además se ajustaron ecuaciones alométricas mediante técnicas de regresión no lineal. Los valores de biomasa aérea por árbol variaron de 0.494 a 2.14 kg en follaje, de 1.74 a 25.9 kg en ramas y de 7.6 a 206.72 kg en fustes; la proporción promedio de la biomasa fue de 83 % en fustes, 14 % en ramas y 3 % en follaje. Las ecuaciones alométricas generadas para *Z. kellermanii* mostraron un buen nivel de ajuste, determinado por sus valores estadísticos, por lo que el modelo es confiable para realizar una buena predicción de la biomasa aérea a través del diámetro normal. El patrón de distribución de la biomasa, respecto al peso seco total indica que la especie tiene su mayor potencial para acumular biomasa en el fuste.

Palabras clave: Biomasa aérea, ecuaciones alométricas, follaje, fuste, Oaxaca, ramas.

Abstract

Zanthoxylum kellermanii is a species of ecological and economic value in southeast Mexico, in particular in the *Chinantla* region of Oaxaca State. In order to generate the equations that determine its aboveground biomass, two trees by diametric class (10, 15, 20 and 25 cm) were felled, dividing each of them into three sections: foliage, branches and stem. From each section samples were taken and weighed directly to determine fresh weight and later they were dried in kilns. With these data the relationship between fresh weight and dry weight was established to estimate values of biomass per tree compartments and the total for each category, adjusting allometric equations by nonlinear regression techniques. The values of biomass per tree ranged from 0.494 to 2.14 kg in foliage, 1.74 to 25.9 kg in branches and 7.6 to 206.72 kg in stems. The average proportion of the biomass was 83 % in stems, 14 % in branches and 3 % in foliage. Allometric equations generated for *Z. kellermanii* showed a good level of fit, determined by their statistical values, so that the model is reliable to make a good prediction of biomass through the normal diameter. The distribution pattern of biomass, relative to the total dry weight indicates that this species has the greatest potential to accumulate biomass in the stem.

Key words: Aboveground biomass, allometric equations, foliage, stem, Oaxaca, branches.

Fecha de recepción/Date of receipt: 30 de diciembre de 2014; Fecha de aceptación/Date of acceptance: 11 de enero de 2016.

¹ Asesoría e Investigación para el Manejo de Ecosistemas Forestales Oaxaca, Oax., México.

² Postgrado Forestal, Colegio de Postgraduados. México.

³ Postgrado Consultor independiente. Correo-e: elherrera2001@yahoo.com.mx

Introducción

Los ecosistemas forestales tienen una función importante en el ciclo del carbono porque almacenan grandes cantidades de dicho elemento en la vegetación y en el suelo, al intercambiarlo con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración (Domínguez, 2011). Esas comunidades constituyen verdaderos sumideros de carbono para formar las estructuras de los organismos y que después se convierten, parcialmente, en materia orgánica (Pardos, 2010), por lo que la distribución de la biomasa en los árboles es crucial en la velocidad de acumulación de esta última y en el flujo de C (Chou y Gutiérrez, 2013).

El componente aéreo de los árboles es uno de los principales reservorios de biomasa; su producción y su presencia en las estructuras del árbol son dos características relevantes para su estimación en especies forestales (Pardos, 2010). La capacidad de los bosques para almacenar carbono en biomasa aérea varía por su composición florística, edad y densidad de población en cada estrato de la comunidad vegetal (Laumonier *et al.*, 2010).

El manejo de los bosques bajo un enfoque de sustentabilidad ha conducido a la generación de ecuaciones alométricas que estiman la biomasa en diferentes secciones del árbol. Potencial que desde hace décadas se ha comprobado y utilizado para interpretar variaciones dimensionales y volumétricas en plantas (Niklas, 1994; Enquist y Niklas, 2002); y su aplicación ha sido útil en agricultura, en el estudio del funcionamiento de algunos ecosistemas y de los bosques (Soto *et al.*, 2010; Chave *et al.*, 2014).

Estas ecuaciones son útiles en la estimación del almacenamiento de carbono y en el cálculo parcial de la productividad primaria de muchos tipos de ecosistemas (Rodríguez *et al.*, 2008; Návar, 2009; Acosta *et al.*, 2011; Carrillo *et al.*, 2014). La productividad primaria es un indicador del balance de carbono entre la vegetación y la atmósfera, así como una variable de interés en investigaciones de cambio climático global (Schlesinger, 1997; Clark *et al.*, 2001).

Tema que se ha abordado en plantaciones de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg (Monroy y Návar, 2004) y *Bambusa oldhamii* Munro (Castañeda *et al.*, 2005); en sistemas agroforestales (Callo *et al.*, 2004; Roncal *et al.*, 2008; Casanova *et al.*, 2011; Soto *et al.*, 2010); en selvas caducifolias (Rodríguez *et al.*, 2008; Návar *et al.*, 2013), subperennifolias (Aquino *et al.*, 2015) y perennifolias (Montero *et al.*, 2008; Douterlungne *et al.*, 2013). Destaca el hecho de que aun cuando las selvas poseen una alta concentración de biomasa, todavía muchas especies no se han estudiado a cabalidad.

En el norte del estado de Oaxaca se localiza la tercera masa forestal más extensa del trópico húmedo mexicano (De

Introduction

Forest ecosystems have an important role in the carbon cycle because they store large amounts of this element in the vegetation and soil, to exchange it with the atmosphere through photosynthesis and respiration (Domínguez, 2011). These communities are real carbon sinks to form the structures of organisms and then partially converted to organic matter (Pardos, 2010), so that the distribution of biomass in the trees is crucial to the rate of accumulation of the latter and C flow (Chou and Gutiérrez, 2013).

The air component of trees is one of the main reservoirs of biomass; their production and their presence in the structures of the tree are two important characteristics to estimate it in forest species (Pardos, 2010). The ability of forests to store carbon in their biomass varies by species composition, age and density of the population in each stratum of the plant community (Laumonier *et al.*, 2010).

The management of forest ecosystems with a focus on sustainability has led to the generation of allometric equations that estimate the biomass in different sections of the tree. This potential to interpret dimensional and volumetric variations has already been tested and used in plants for decades (Niklas, 1994; Enquist and Niklas, 2002) and its application has been useful in agriculture, and in the study of how some ecosystems and forests work (Soto *et al.*, 2010; Chave *et al.*, 2014).

These equations are useful in estimating carbon storage and the partial calculation of primary productivity of many types of ecosystems (Rodríguez *et al.*, 2008; Návar, 2009; Acosta *et al.*, 2011; Carrillo *et al.*, 2014). Primary productivity is an indicator of carbon balance between vegetation and the atmosphere, as well as a variable of interest in research on global climate change (Schlesinger, 1997; Clark *et al.*, 2001).

In the Mexican tropics this issue has been addressed in plantations of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg (Monroy and Návar, 2004) and *Bambusa oldhamii* Munro (Castañeda *et al.*, 2005), in agroforestry systems (Callo *et al.*, 2004; Roncal *et al.*, 2008; Casanova *et al.*, 2011; Soto *et al.*, 2010), in deciduous forests (Rodríguez *et al.*, 2008; Návar *et al.*, 2013), semi-deciduous (Aquino *et al.*, 2015) and evergreen (Montero *et al.*, 2008; Douterlungne *et al.*, 2013). It highlights the fact that even though the forests have a high concentration of biomass, many species have not been fully explored yet.

The third largest forest area in the Mexican humid tropics is located at the north of Oaxaca State (De Teresa *et al.*, 2009); it has been subjected to intense processes of disturbance that affect carbon dynamics such as deforestation and land use change. In this situation, it is necessary to quantify or to make an inventory of the current biomass and carbon reserves of these

Teresa *et al.*, 2009), la cual ha sido sometida a fuertes procesos de disturbio que inciden en la dinámica del carbono, como la deforestación y el cambio de uso del suelo. Situación que hace necesario cuantificar o inventariar las reservas actuales de biomasa y carbono de estos ecosistemas. *Zanthoxylum kellerianii* P. Wilson es una especie integrante de las selvas secundarias de La Chinantla, constituye un componente valioso en la sucesión ecológica y es apreciada por su madera (Manzano *et al.*, 2010).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar la biomasa aérea total, su distribución en el fuste, las ramas y el follaje en árboles de *Zanthoxylum kellerianii* en una selva secundaria del norte de Oaxaca.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en la localidad de San Martín Soyolapan, municipio Comaltepec, estado de Oaxaca, que se ubica fisiográficamente en la cuenca del río Papaloapan y en las estribaciones de la Sierra Norte de Oaxaca (17°41'53.5" N y 96°16'57.3" W) (Figura 1), a una altitud de 160 m.

ecosystems. *Zanthoxylum kellerianii* P. Wilson is an integral species of the secondary forests of La Chinantla, it is a valuable component of the ecological succession and it is prized for its timber (Manzano *et al.*, 2010).

From the aforementioned, the aim of the actual study was to make an estimation of the total aboveground biomass, its location in the stem, branches and foliage in *Zanthoxylum kellerianii* trees of a secondary tropical forest at the north of Oaxaca.

Materials and Methods

Study area

Fieldwork was carried out in San Martín Soyolapan, Comaltepec municipality, Oaxaca State which is physiographically placed in the Papaloapan river basin and in the surroundings of the Sierra Norte de Oaxaca (17°41'53.5" N y 96°16'57.3" W) (Figure 1), at 160 m high.

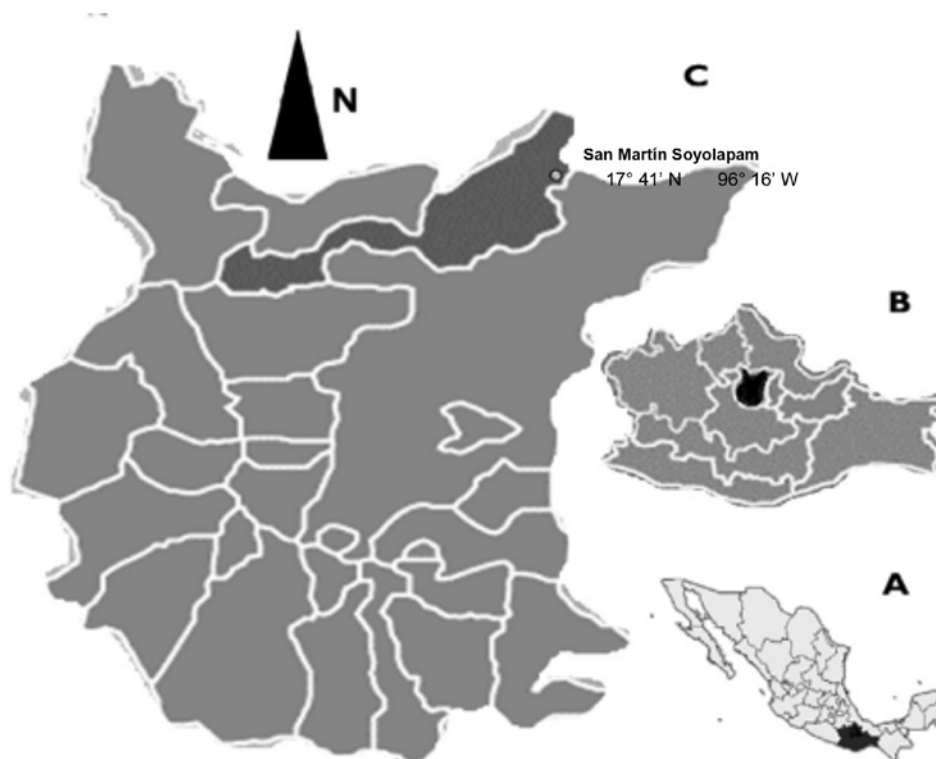


Figura 1. Zona de estudio. Localización del estado de Oaxaca en los Estados Unidos Mexicanos (A), Región Sierra Norte (B), Santiago Comaltepec (C).

Figure 1. Study area. Location of Oaxaca State in Mexico (A), Sierra Norte Region (B), Santiago Comaltepec (C).

El clima se clasifica como Am(w)g, cálido húmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 24 °C y precipitación anual de hasta 3 590 mm (García, 1987). Geológicamente se observan afloramientos de rocas ígneas extrusivas y calizas con los siguientes grupos de suelos: lateríticos rojo-amarillentos, latosólicos amarillo-rojizos, litosuelos kársticos, migajones rojos y lateritas (Inegi, 2011). La vegetación predominante corresponde a selva alta perennifolia con abundancia de las siguientes especies arbóreas: *Andira galeotiana* Standley, *Brosimum alicastrum* Sw., *Dialium guianense* (Aub) Sandw., *Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell y *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. (Miranda y Hernández, 1963).

Descripción de la especie

Zanthoxylum kellerianii es un árbol que alcanza de 10 a 25 m de altura y hasta 80 cm de diámetro. Tiene corteza pardo-grisácea. Hojas pinnadas de 20 a 50 cm de largo, foliolos dispuestos en espiral de dimensiones 4 x 2 a 1.5 x 5.5 cm, de forma orbicular a elíptica. Especie dioica, las inflorescencias masculinas de hasta 30 cm de largo y femeninas de hasta 10 cm, ambas en panículas subterminales y axilares. Frutos capsulares, triangulados, moreno negruzcos, de 5 a 7 mm. Se desarrolla en los bosques húmedos, a una altitud de 50 a 700 m, desde el sur de México a Perú. Forma parte del estrato medio o superior de selvas altas perennifolias, especialmente de *Terminalia amazonia*, en suelos laterítico profundos derivados de arrastres aluviales antiguos. Su madera tiene un bello veteado, por lo que se le utiliza para el aserrío y en la fabricación de tablas para construcciones rurales (Pennington y Sarukhán, 2005).

Construcción de las ecuaciones alométricas

Se seleccionaron dos árboles por cada una de las siguientes categorías diamétricas: 10, 15, 20 y 25 cm, lo que responde a que este tamaño de muestra ha sido aplicado en otros estudios del trópico con resultados aceptables (Brown et al., 1995). Antes de que los ejemplares fueran derribados se les midió el diámetro normal (DN) con una cinta diamétrica *Ben Meadows* de 5 m de longitud. Una vez derribados, cada árbol fue seccionado en tres partes: fuste, ramas y follaje.

Los fustes al igual que las ramas se cortaron en tramos de dos metros y el follaje se separó de las ramas y se empaquetó en porciones de 0.5 kg en bolsas de plástico (Domínguez, 2011). Cada componente se colocó de manera independiente en una báscula *Torrey* de 500 kg para obtener su peso fresco *in situ*.

Se obtuvieron cinco muestras por sección de cada individuo de las categorías diamétricas de 10 y 15 cm, y 10 muestras por sección de cada árbol de las categorías de 20 y 25 cm. Las correspondientes a las ramas y fustes fueron secciones transversales (rodajas) de 3 y 5 cm de grosor, respectivamente.

Climate is classified as Am(w)g, which is moist warm with summer rains, an average annual temperature, 24 °C and annual rainfall up to 3 590 mm (García, 1987). Geologically there can be found extrusive igneous rocky and limestone outcrops with the following soil types: yellow-reddish lateritic, yellow-reddish latosolic, karstic lithosols, red loams and laterites (Inegi, 2011). The prevailing vegetation is the evergreen tropical forest where the following tree species are abundant: *Andira galeotiana* Standley, *Brosimum alicastrum* Sw., *Dialium guianense* (Aub) Sandw., *Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell y *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. (Miranda and Hernández, 1963).

Species description

Zanthoxylum kellerianii is a tree up to 10 to 25 m high and 80 cm in diameter. It has a brownish-grey bark. Pinnate leaves 20 to 50 cm long, 4 x 2 a 1.5 x 5.5 cm orbicular to elliptic shape leaflets displayed in a spiral. Dioecious species, the male inflorescences up to 30 cm long and the female inflorescences up to 10 cm, both in subterminal and axillary panicles. Capsular, triangle shape, brownish-black fruits 5 to 7 mm. It grows in the humid forests, at 50 to 700 m high, from southern Mexico up to Peru. It is part of the medium stratum of the evergreen tropical rainforest, particularly of *Terminalia amazonia*, over deep lateritic soils from ancient alluvial runoffs. Its wood has a beautiful grain which makes it attractive for sawing and it is used, as well, for rural building (Pennington and Sarukhán, 2005).

Construction of allometric equations

Two trees from each of the following categories were removed: 10, 15, 20 y 25 cm, as this sampling size has been used in different studies carried out in the tropics with good results (Brown et al., 1995). Before these trees were felled, their normal diameter (DN) was measured with a 5 m long *Ben Meadows* diametric tape. Once on the ground, they were divided into three sections: stem, branches and foliage.

Stems as well as branches were cut in 2 m lots and foliage was taken from the branches and packaged in 0.5 kg portions in plastic bags (Domínguez, 2011). Each part was placed in a separate way in a 500 kg *Torrey* balance to determine fresh weight *in situ*.



El peso fresco se registró *in situ* para todas las partes con una báscula de balanzón Oken modelo C-A de 5 kg de capacidad y una aproximación de 5 g. La totalidad de las muestras se depositó en bolsas de plástico para su traslado a los Laboratorios Generales del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, previo registro de sus datos de control (Figuerola *et al.*, 2005; Domínguez, 2011).

En el laboratorio, las muestras de ramas y follaje se guardaron en bolsas de papel y así se colocaron en estufas de secado marca Felisa. La temperatura para deshidratar las de ramas y de hojas fue de 75 °C y la, de fustes a 80 °C, mismas que se mantuvieron hasta alcanzar un peso constante. Con estos datos se estableció la relación entre peso fresco y peso seco para estimar la proporción de biomasa por componentes, así como de la parte aérea total, mediante la ecuación 1 (Domínguez, 2011):

$$\begin{aligned} \% \text{ muestras} &= PS/PF \times 100 \\ PS_{com} \text{ (kg)} &= \% \text{ muestras} \times PF_{com} \text{ (kg)} / 100 \end{aligned} \quad (1)$$

Donde:

PS = Peso seco
PF = Peso fresco
PS_{com} = Peso seco del componente arbóreo
PF_{com} = Peso fresco del componente arbóreo

Los valores de biomasa por componente de cada ejemplar muestreado a partir de los datos de peso fresco y peso seco se ajustaron con ecuaciones alométricas, con técnicas de regresión no lineal. Fue ajustado un modelo potencial mediante el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS versión 8.0 (SAS, 1999). Este modelo (ecuación 2) ha sido ampliamente utilizado en diferentes estudios de determinación de biomasa aérea en árboles (Acosta *et al.*, 2002; Figuerola *et al.*, 2005; Carrillo *et al.*, 2014):

$$Y = b_0 X^{b_1} \quad (2)$$

Donde:

Y = Peso estimado del componente arbóreo en kg
 b_0 y b_1 = Coeficientes de la regresión
X = Diámetro normal en cm

Con las ecuaciones alométricas se elaboraron gráficas en la hoja de cálculo Excel (Microsoft, 2003) para la biomasa aérea total y de los componentes del árbol.

La bondad de ajuste del modelo se evaluó a través de los valores estadísticos del análisis de varianza: cuadrado medio del error (CME), coeficiente de determinación (R^2) y nivel de significancia ($p < 0.05$).

Five samples were obtained from each tree section of the diameter categories 10 and 15 cm, and 10 samples per section of each tree categories 20 and 25 cm. Samples of branches and stems were cross sections (slices) of 3 and 5 cm thick, respectively. The fresh weight of the samples was recorded *in situ* for all the sections with a pan scale (Oken) five kilograms of capacity and an approximation of five grams. All the samples were placed in plastic bags for transportation to the laboratory (Laboratorios Generales del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo) in which control data were recorded (Figuerola *et al.*, 2005; Domínguez, 2011).

In the laboratory, samples of branches and foliage were put into paper bags and then into drying kilns. Branch and leaves samples were dried at 75 °C and stems, at 80 °C., until constant weight was achieved. With these data the ratio of fresh and dry weight was determined to estimate the proportion of biomass components as well as the total aboveground, by using Equation 1 (Domínguez, 2011):

$$\begin{aligned} \% \text{ samples} &= PS/PF \times 100 \\ PS_{com} \text{ (kg)} &= \% \text{ samples} \times PF_{com} \text{ (kg)} / 100 \end{aligned} \quad (1)$$

Where:

PS = Dry weight
PF = Fresh weight
PS_{com} = Dry weight of the tree section
PF_{com} = Fresh weight of the tree section

The biomass values by section of each tree that was sampled from the dry and fresh weight data were fitted with allometric equations by non-linear regression techniques. A potential model was fitted by the NLIN procedure of SAS 8.0 version (SAS, 1999). This model (Equation 2) has been widely used in different studies focused on tree aboveground biomass (Acosta *et al.*, 2002; Figuerola *et al.*, 2005; Carrillo *et al.*, 2014):

$$Y = b_0 X^{b_1} \quad (2)$$

Where:

Y = Estimated weight of the tree section in kg
 b_0 and b_1 = Regression coefficients
X = Normal diameter in cm

With the allometric equations graphics were made with an Excel sheet (Microsoft, 2003) for total aboveground biomass and of the tree sections.

The goodness of fit of this model was assessed through the statistical values of the analysis of variance: mean squared error (CME, for its acronym in Spanish), determination coefficient (R^2) and significance level ($p < 0.05$).

Resultados y Discusión

Ecuaciones alométricas

En el Cuadro 1 se presentan las ecuaciones alométricas generadas para estimar la biomasa aérea total y de componentes, así como sus estimadores de variación y confiabilidad estadística. Todas las ecuaciones mostraron un buen nivel de ajuste ($p < 0.0001$), y tanto los valores de R^2 como los cuadrados medios del error (CME) indican que el modelo es confiable para estimar la biomasa aérea a partir del diámetro normal.

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas para la estimar biomasa aérea total y de los componentes de árboles de *Zanthoxylum kellerianii* P. Wilson.

Componente	Ecuación	N	R^2	CME	Fc	Prob > F
Fuste	$Y=0.00108X^{3.7448}$	8	0.98	180.5	276.5	<.0001
Ramas	$Y=0.00062X^{3.2722}$	8	0.96	8.704	90.04	<.0001
Follaje	$Y=0.00942X^{1.8329}$	8	0.98	0.079	257.1	<.0001
Árbol total	$Y=0.00166X^{3.6586}$	8	0.99	205.2	318.5	<.0001

N = Tamaño de muestra; R^2 = Coeficiente de determinación; CME = Cuadrado medio del error; Fc = F calculada, Y = Biomasa (kg), X = Diámetro normal (cm).

Table 1. Allometric equations formulated to estimate total aboveground biomass and of the tree sections of *Zanthoxylum kellerianii* P. Wilson.

Tree component	Equation	N	R^2	CME	Fc	Prob > F
Stem	$Y=0.00108X^{3.7448}$	8	0.98	180.5	276.5	<.0001
Branches	$Y=0.00062X^{3.2722}$	8	0.96	8.704	90.04	<.0001
Foliage	$Y=0.00942X^{1.8329}$	8	0.98	0.079	257.1	<.0001
Total tree	$Y=0.00166X^{3.6586}$	8	0.99	205.2	318.5	<.0001

N = Sample size; R^2 = Determination coefficient; CME = Mean squared error; Fc = calculated F; Y = Biomass (kg), X = normal diameter (cm).

Las curvas de regresión ajustadas para estimar la biomasa aérea se ilustran en la Figura 2, para los componentes del árbol y para el individuo completo.

Distribución de biomasa aérea

La biomasa aérea en cada uno de los componentes de *Zanthoxylum kellerianii* se dispuso de la siguiente manera: en el fuste el intervalo tuvo una amplitud de valores entre 77.50 % a 87.52 % en las categorías diamétricas 10 y 25 cm; en las ramas fue de 11.00 % a 17.52 %, en los mismos diámetros, y la variación del follaje fue de 1.47 % a 4.98 % en los de 25 y 10 cm. La proporción promedio de biomasa por sección fue de 83.21 % en fuste, de 13.57 % en ramas y de 3.22 % en follaje, lo que incluye a todas las categorías diamétricas (Cuadro 2 y Figura 3).

Results and Discussion

Allometric equations

In Table 1 are shown the allometric equations formulated to estimate total aboveground biomass and of the tree sections, as well as their variation estimators and statistical reliability. All the equations showed a good fit ($p < 0.0001$) and both, the R^2 and the mean squared error (CME) values point out that the model is reliable to estimate aboveground biomass from normal diameter.

The regression fitted curves to estimate aboveground biomass are shown in Figure 2 for tree components and the full tree.

Distribution of aboveground biomass

Aboveground biomass in each of the sections of *Zanthoxylum kellerianii* was organized as follows: in the shaft the range of values was between 77.50 % and 87.52 % in the diametric categories 10 and 25 cm; in the branches, it was 11.00 % to 17.52 % which referred to 25 and 10 cm, and the variation in foliage was from 1.47 % to 4.98 % in the same classes. The average proportion of biomass per section was 83.21 % in stem, from 13.57 % in branches and foliage of 3.22 % in, which includes all diameter categories (Table 2 and Figure 3).

The dry weight in the different tree sections was distributed within the following ranges: foliage, 0.494 kg to 2.136 of kg; branches, 1.738 kg to 8.055 kg and stem 7.690-206.725 kg, for

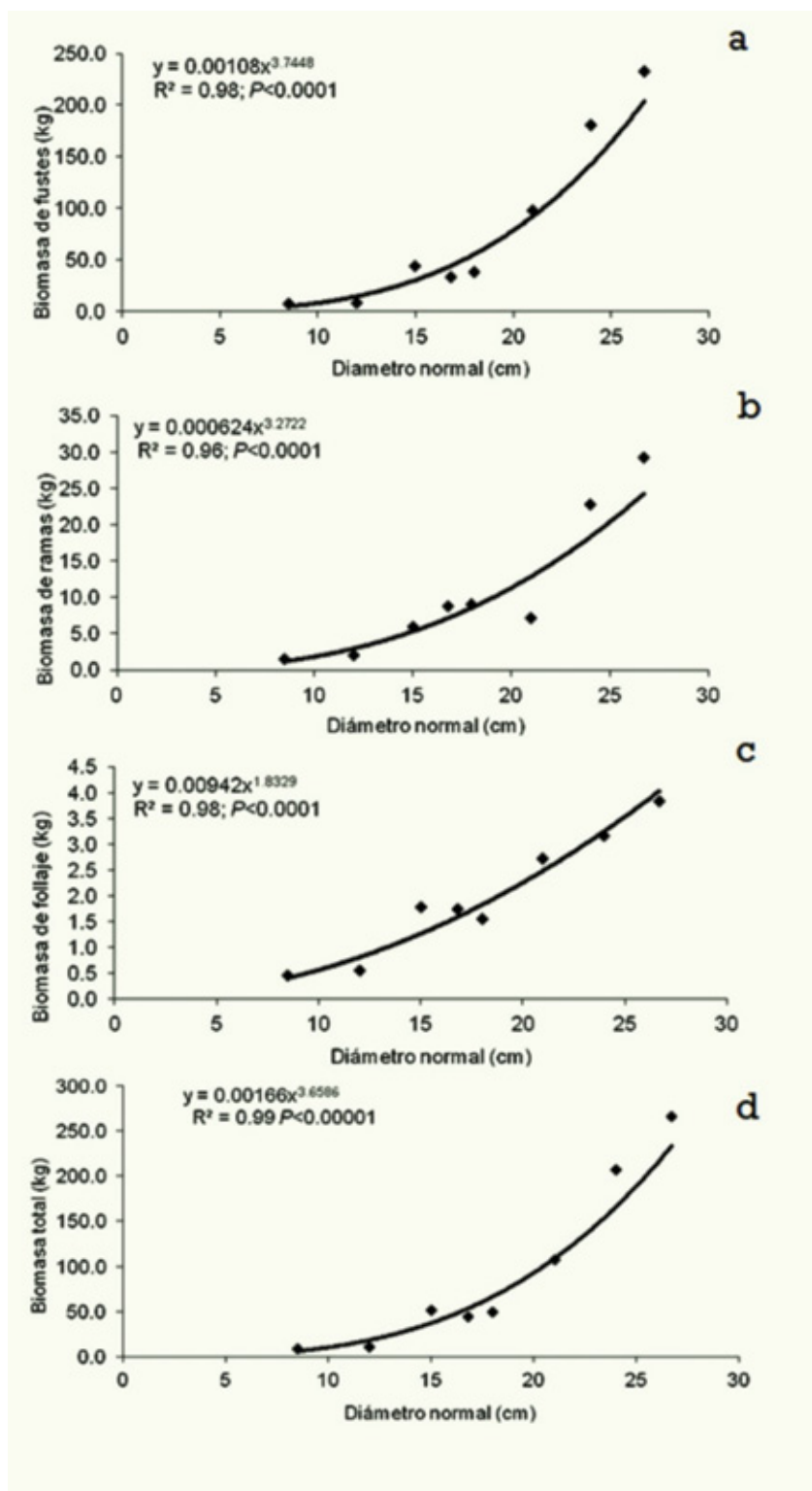


Figura 2. Curvas de regresión ajustada para estimar biomasa aérea por componente arbóreo: fustes (a), ramas (b), follaje (c) y total (d) en árboles de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson.

Figure 2. Regression fitted curves to estimate aboveground biomass by tree components and the full tree: stems (a), branches (b), foliage (c) and full tree (d) in *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson.

El peso seco en las diferentes secciones de los árboles se distribuyó en los intervalos: follaje, de 0.494 kg a 2.136 kg; ramas de 1.738 kg a 8.055 kg y fuste 7.690 a 206.725 kg, para las categorías diamétricas de 10 y 25 cm en todos los casos; la mayor proporción de la biomasa aérea se concentró en el fuste y la menor en el follaje. Los valores de biomasa total del árbol van de 9.923 a 236.727 kg en categorías diamétricas de 10 y 25 cm (Cuadro 2).

the 10 and 25 cm diameter categories in all cases, being the highest proportion of aboveground biomass in the stem and the lowest in the foliage. The values of total tree biomass range from 9.923 to 236.727 kg in the diameter categories of 10 and 25 cm (Table 2).



Cuadro 2. Peso seco (kg) y distribución de biomasa aérea (%) en los componentes arbóreos para las diferentes categorías diamétricas de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson.

CD (cm)	Peso seco (kg)				Distribución de biomasa (%)		
	Fuste	Ramas	Follaje	Árbol	Fuste	Ramas	Follaje
10	7.690	1.738	0.494	9.923	77.502	17.517	4.981
15	38.441	7.330	1.758	47.530	80.879	15.423	3.698
20	67.816	8.055	2.136	78.007	86.936	10.326	2.738
25	206.727	25.985	3.490	236.201	87.521	11.001	1.477
Promedio					83.210	13.567	3.224

CD = Categoría diamétrica.

Table 2. Dry weight (kg) and aboveground biomass (%) distribution in tree components for the different diametric categories of *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson.

CD (cm)	Dry weight (kg)				Biomass distribution (%)		
	Stem	Branches	Foliage	Tree	Stem	Branches	Foliage
10	7.690	1.738	0.494	9.923	77.502	17.517	4.981
15	38.441	7.330	1.758	47.530	80.879	15.423	3.698
20	67.816	8.055	2.136	78.007	86.936	10.326	2.738
25	206.727	25.985	3.490	236.201	87.521	11.001	1.477
Average					83.210	13.567	3.224

CD = Diametric category.

Los resultados del presente estudio revelan un comportamiento semejante de la distribución de biomasa en relación con otras investigaciones en el trópico húmedo mexicano, ya que concentra gran parte en el fuste (83.21 %). Al respecto, Monroy y Nívar (2004) calcularon 73.88 % en el fuste total, y 27.09 % en ramas para individuos de una plantación de *Hevea brasiliensis* en Uxpanapa, Veracruz; y Castañeda et al. (2005) registran valores de 83.7 % en tallos, 12.3 % en follaje y 4 % en ramas de *Bambusa oldhamii* Munro en Huatusco, Veracruz.

Otros estudios de biomasa en especies de selvas altas en Tabasco (Montero et al., 2008) y Costa Rica (Fonseca et al., 2009) confirman que una mayor proporción de biomasa en el

The results of the actual study reveal a similar behavior of the biomass to others from research made in the Mexican humid tropic, as it concentrates the greatest part in the stem (83.21 %). In this regard, Monroy and Nívar (2004) determined 73.88 % in the whole stem and 27.09 % in branches in a *Hevea brasiliensis* plantation in Uxpanapa, Veracruz State; and Castañeda et al. (2005) of 83.7 % in stems, 12.3 % in foliage and 4 % in branches of *Bambusa oldhamii* Munro in Huatusco, Veracruz State.

Other studies about biomass of tropical rainforests species in Tabasco (Montero et al., 2008) and Costa Rica (Fonseca et al., 2009) confirm that a greater amount of biomass in the stem increases with age and the size of the tree, thus, some research

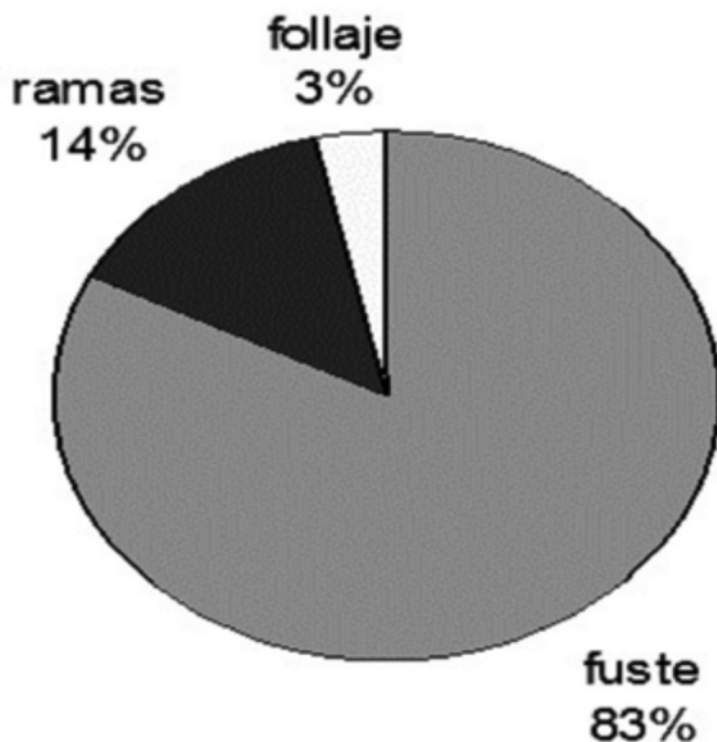


Figura 3. Distribución proporcional de la biomasa aérea en cada uno de los componentes arbóreos de *Zanthoxylum kellerianii* P. Wilson.

Figure 3. Proportional distribution of the aboveground biomass in each of the tree components of *Zanthoxylum kellerianii* P. Wilson.

fuste se incrementa con la edad y el tamaño del árbol, por lo que algunas investigaciones únicamente basan su metodología en el volumen del tronco (Návar *et al.*, 2013).

La biomasa de ramas registró un porcentaje intermedio (13.57 %) en contraste con la biomasa de fuste y de las hojas. Goodman *et al.* (2014) señalan que la primera está determinada por las dimensiones y la arquitectura de la copa, así como la calidad de sitio y características del rodal, entre las que destaca el espacio de crecimiento (Foli *et al.*, 2003).

La biomasa del follaje tuvo el valor más bajo en la distribución de los componentes arbóreos (3.22 %); al igual que en las ramas, esta biomasa fue proporcionalmente superior en los árboles con diámetros pequeños y disminuyó, progresivamente, con el aumento del mismo. Los individuos en esta condición son dominados y disponen de poca luz (López *et al.*, 2006), lo que sugiere una condición limitante a modo de la Ley del Mínimo en la que las cantidades de recurso disponible están muy cercanas a lo indispensable (Odum, 1972); y en este caso particular, se relaciona con el supuesto de deficiencia de crecimiento, en el que se manifiesta que la producción de madera del tallo tiene menor prioridad, comparada con la producción de follaje y raíces.

studies only base their methodology in the volume of the trunk (Návar *et al.*, 2013).

The biomass of branches recorded an intermediate (13.57 %) value relative to the biomass of stem and leaves. Goodman *et al.* (2014) mention that the first is determined by the size and architecture of the crown, and the quality of site and stand characteristics, among which the growing space is outstanding (Foli *et al.*, 2003).

Foliage biomass recorded the lowest value in the distribution of magazines (3.22 %); as in branches, this sort of biomass was proportionately greater in trees with small diameters and gradually decreased with their increment. Small trees are dominated and have little light (López *et al.*, 2006), suggesting a limiting condition by way of the Law of Least in which the amounts of resources available are very close to what is indispensable (Odum, 1972); and in this particular case it is related to the concept of growth deficiency, in which it is stated that the production of stem wood has a lower priority, compared to the production of foliage and roots.



Enquist *et al.* (1999) demostraron que la tasa de crecimiento en árboles tropicales tiene una relación potencial con la biomasa. Para el presente estudio, la especie presenta incrementos de diámetro superiores a 1.5 cm año^{-1} favorecidos por copas con buena calidad (simétrica, vigorosa) y expuestas, tanto vertical como lateralmente a la luz solar (Manzano *et al.*, 2010). Los mismos autores señalan que siendo una especie de sucesión temprana, puede ser utilizada en programas de recuperación y enriquecimiento de áreas con disturbio en la zona de estudio.

Conclusiones

Las ecuaciones alométricas generadas para *Zanthoxylum kellermanii* mostraron un buen nivel de ajuste, determinado por sus valores estadísticos, por lo que el modelo es confiable para realizar una predicción atinada de la biomasa aérea a través del diámetro normal.

El patrón de distribución de la biomasa, respecto al peso seco total, indica que la especie tiene su mayor potencial para acumular biomasa en el fuste.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al comisariado comunal de Santiago Comaltepec por haber brindado su apoyo en todo momento a la investigación, al igual que las autoridades y los habitantes de la agencia municipal de San Martín Soyolapan. Así mismo, a la Fundación Ford por haber auspiciado los estudios de postgrado del primer autor. A los revisores asignados por la Revista Mexicana de Ciencias Forestales por los comentarios y sugerencias al documento original.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Flemón Manzano Méndez: trabajo de campo y de gabinete y elaboración del manuscrito; Juan Ignacio Valdez Hernández: trabajo de gabinete y elaboración del manuscrito; Miguel Ángel López López: trabajo de campo y de gabinete y elaboración del manuscrito y Elizandro Pineda Herrera: trabajo de gabinete, preparación y revisión del manuscrito.

Referencias

- Acosta M., M., J. Vargas H., A. Velázquez M. y J. D. Etchevers B. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6):725-736.
- Acosta M., M., F. Carrillo A. y R. Gómez V. 2011. Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(4):529-543.
- Aquino R., M., A. Velázquez M., J. Castellanos B., H. de los Santos P. y J. Etchevers B. 2015. Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. *Agrociencia* 49(3):299-314.

Enquist *et al.* (1999) proved that the growth rate in tropical trees has a potential relationship with biomass. For this study, the species has diameter increases higher than 1.5 cm yr^{-1} favored by the glass with good quality (symmetrical, vigorous) and exposed both vertically and laterally to sunlight (Manzano *et al.*, 2010). The same authors mention that being a species of early succession, it can be used in recovery programs and enrichment of disturbed areas in the study area.

Conclusions

The allometric equations from *Zanthoxylum kellermanii* showed a right goodness of fit, determined by their statistical values, which make the model a reliable option to make a correct prediction of the aboveground biomass through normal diameter.

The distribution pattern of biomass in regard to total dry weight shows that this species has its greatest potential to accumulate biomass in the stem.

Acknowledgements

The authors would like to thank the community authority of Santiago Comaltepec for his support during this research, as well as to the authorities and people of San Martín Soyolapan. Also to the Ford Foundation for having sponsored the graduate studies of the first author. To the specialists that reviewed the document by assignment of the *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* for their comments and suggestions to the original version.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribución by author

Flemón Manzano Méndez: field and office work and writing of the manuscript; Juan Ignacio Valdez Hernández: office work and writing of the manuscript; Miguel Ángel López López: field and office work and writing of the manuscript and Elizandro Pineda Herrera: office work, writing and review of the manuscript.

End of the English version



- Brown, I. F., L. Martinelli, W. W. Thomas, M. Moreira, C. Ferreira and R. Victoria. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondonia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 75(1):175-189.
- Callo C., D. A., I. B. Rajagopal y L. C. Krishnamurthy. 2004. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales en Veracruz. *Ciencia UANL* 2(2):60-65.
- Carrillo A., F., M. Acosta M., E. Flores A., J. Juárez B. y E. Bonilla P. 2014. Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en La Sierra Nevada, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(5):779-793.

- Casanova L. F., J. Petit A. y J. Solorio S. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1):133-143.
- Costañeda M. A., J. Vargas H., A. Gómez G., J. I. Valdez H. y H. Vaquera H. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa aldamii*. *Agrociencia* 39:107-116.
- Chave, J., M. Réjou M., A. Búrquez, E. Chidumayo, M. Colgan, W. Delitti B.C., A. Duque, T. Eid, P.M. Fearnside, R. C. Goodman, M. Henry, A. Martínez-Yrizar, W. A. Mugasha, H. Muller-Landau, M. Mencuccini, B. W. Nelson, A. Ngomanda, E. M. Nogueira, E. Ortiz M., R. Pélassier, P. Ploton, C. M. Ryan, J. G. Saldarriaga and G. Vieilledent. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20:3177-3190.
- Chou, S. W. y E. Gutiérrez E. 2013. Ecuación para estimar la biomasa arbórea en los bosques tropicales de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 26(2):41-54.
- Clark, D. A., S. Brown, D. W. Kicklighter, J. Q. Chambers, J. R. Thomlinson, J. Ni and E. A. Holland. 2001. NPP in tropical forest: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications* 11:371-384.
- De Teresa, A. P., G. Hernández C., P. Legarreta H. y M. Orozco R. 2009. Quia-na. La selva chinanteca y sus pobladores. Ed. UAM-I-Juan Pablos editores, México, D. F., México. 113 p.
- Domínguez C., C. 2011. Manual interdisciplinario de investigación forestal. Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. USDA Forest Service. Río Piedras, Puerto Rico. 168 p.
- Douterlungne, D., A. M. Herrera G., B. G. Ferguson, I. Siddique y L. Soto P. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para restauración. *Agrociencia* 47(4):385-397.
- Enquist, B. J., G. V. West, E. L. Charnov and J. H. Brown. 1999. Allometric scaling of production and life-history variation vascular plants. *Nature* 401:907-911.
- Enquist, B. J., and K. Niklas. 2002. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants. *Science* 295(5559):1517-1520.
- Figueroa N., C., J. Etchevers B., A. Velásquez M. y M. Acosta M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana* 23(1):57-64.
- Foli, E. G., D. Alder, H. G. Miller and M. D. Swaine. 2003. Modelling growing space requirements for some tropical forest tree species. *Forest Ecology and Management* 173:79-88.
- Fonseca, G. W., F. Alice G. y J. M. Rey B. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1):36-47.
- García, M. E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 217 p.
- Goodman, R. C., O. Phillips L. and T. R. Baker. 2014. The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates. *Ecological Applications* 24(4):680-698.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 2011. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000. Serie III (continuo nacional). Aguascalientes, Ags., México. s/p.
- Laumonier, Y., A. Edin, M. Kanninen and A. W. Munandar. 2010. Landscape-scale variation in the structure and biomass of the hill dipterocarp forest of Sumatra: implications for carbon stock assessments. *Forest Ecology and Management* 259:505-513.
- López L., M. A., A. Velásquez M., J. Acosta M. and E. Estañol B. 2006. Biomass distribution in declining Sacred-fir seedlings. *Interciencia* 31(6):451-455.
- Manzano, F., J. I. Valdez H., M. A. López L. y H. Vaquera H. 2010. Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellerianii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 16(2):19-33.
- Microsoft, 2003. Microsoft Excell for Windows. (Version 2003). Redmond, WA, USA. n/p.
- Miranda, F. y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-179.
- Monroy, R. C. y J. J. Nívar Ch. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10(2):29-43.
- Montero G., N., O. Castillo A. y J. L. Martínez S. 2008. Captura de carbono en un remanente de Selva Alta Perennifolia en el Ejido Niños Héroes, Tenosique, Tabasco. *Kuxulkab* 14(26):45-50.
- Nívar Ch., J. J. 2009. Allometric equations and expansion factors for tropical dry trees of eastern Sinaloa, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10:45-52.
- Nívar Ch., J., F. J. Rodríguez F. y P. A. Domínguez C. 2013. Ecuaciones alométricas para árboles tropicales: Aplicación al inventario forestal de Sinaloa, México. *Agronomía Mesoamericana* 24(2):347-356.
- Niklas, K. J. 1994. Plant allometry: the scaling of form and process. University of Chicago Press. Chicago, IL, USA. 412 p.
- Odum, E. P. 1972. *Ecología*. Nueva editorial Interamericana. México, D.F., México. 653 p.
- Pardos, J. A. 2010. Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Ministerio de Ciencia e Innovación Madrid, España. 253 p.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán K. 2005. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. Fondo de Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 523 p.
- Rodríguez L., R., J. Jiménez P., J. Meza R., O. Aguirre C. y R. Razo Z. 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4 (2):215-222.
- Roncal G., S., L. Soto P., J. Castellanos A., N. Ramírez M. y B. de Jong. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia* 33(3):200-206.
- Statistical Analytical System (SAS). 1999. User's guide, version 8.0 for Windows SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 595 p.
- Schlesinger, W. H. 1997. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. Academic Press, San Diego, CA, USA. 588 p.
- Soto P. into, L., M. Anzueto, J. Mendoza, G. Ferrer and B. de Jong. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 78:39-51.



