BIOMASA AÉREA DE ÁRBOLES EN BOSQUES SECOS DE LA ECORREGIÓN CHIQUITANA EN ALTA VISTA, SANTA CRUZ, BOLIVIA

Above-ground biomass of trees in the dry forests of the chiquitano ecoregion in Alta Vista, Santa Cruz, Bolivia

María Alejandra Paz-Roca [1,2] & Bonifacio Mostacedo [3]

[1]Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano (FCBC),
[2]Carrera de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAGRM,
[3]Facultad de Ciencias Agrícolas, UAGRM, Km 9 al N, El Vallecito, Santa Cruz, Bolivia
Autor de correspondencia: bonifaciomostacedo@uagrm.edu.bo

Resumen: El presente estudio describe y compara la biomasa de dos tipos de bosques, semideciduo e hidrofítico, ubicados en la propiedad del Centro de Estudios de Bosque Seco Tropical Alta Vista, municipio de Concepción, Santa Cruz. Los objetivos de este estudio fueron: a) estimar la biomasa aérea en los dos tipos de bosque, b) cuantificar la biomasa aérea de acuerdo a las categorías diamétricas y altura de los árboles, y c) clasificar el stock de biomasa de acuerdo a las especies presentes en los dos tipos de bosque. Se levantó información en 24 transectos de 0,1 ha en los dos tipos de bosque, para árboles mayores de 10 cm de DAP. También se usaron transectos de 0,05 ha, para árboles de 5-10 cm de DAP y de 0,01 ha para árboles más pequeños de 1-5 cm de DAP. Se utilizaron dos ecuaciones alométricas preestablecidas en otros estudios para calcular la biomasa aérea, las cuales tuvieron como insumo el diámetro, altura de árboles y densidad de la madera. La densidad de la madera se obtuvo de la bibliografía. Como resultado se obtuvo 213 ton/ha en el bosque hidrofítico y 209 ton/ha en el bosque semideciduo, siendo estadísticamente similares entre los dos tipos de bosque. Tomando en cuenta las categorías diamétricas, en ambos tipos de bosque, entre el 60 y 69 % de la biomasa se encontró en árboles de 20 a 50 cm de diámetro. Árboles entre 15 a 19 m de altura tuvieron entre 63 a 66 % de la biomasa total. Según las especies, en el bosque hidrofítico, cuatro especies (*Acosmium cardenasii, Anadenanthera colubrina, Poincianella pluviosa* y *Machaerium scleroxylon*) representaron el 55 % de la biomasa total. Asimismo, en el bosque semideciduo, otras cuatro especies (*Myracrodruon urundeuva, Acosmium cardenasii, Anadenanthera colubrina y Poincianella pluviosa*) representaron el 58 %. Este estudio aporta información sobre el almacenamiento (stock) de biomasa de los bosques de la Chiquitania, una de las ecorregiones poco conocidas a nivel mundial.

Palabras clave: Bosque seco chiquitano, biomasa aérea, Santa Cruz, Bolivia.

Abstract: This study describes and compares the biomass of two types of forest: semi-deciduous forest and hydrophytic forest on the property of the Centro de Estudios de Bosque Seco Tropical Alta Vista, Concepción municipality, Santa Cruz, Bolivia. The objectives of this study were: a) to estimate the above-ground biomass in two types of forest, b) to quantify the above-ground biomass

according to the diameter and height categories of the trees, and c) to classify the stock of biomass according to the species present in the two forest types. Information was collected in 24 transects of 0.1 ha, in two forest types, for trees greater than 10 cm DBH. Other transects of 0.05 ha were used for trees with 5-10 cm, and 0.01 ha for smaller trees with 1-5 cm. Two pre-established allometric equations were used to calculate the above-ground biomass, which had as input the diameter, height of trees, and wood density. The wood density was obtained from the bibliography. As a result, 213 ton/ha of above-ground biomass were obtained in the hydrophytic forest and 209 ton/ha in the semi-deciduous forest, being statistically similar between the forest types. Taking into account the diameter categories, in both types of forest, more than 60 y 69 % of the biomass was found in trees with a diameter of 20 to 50 cm (DBH). Trees between 15 to 20 tall had about 63 to 66 % of the total biomass. According to the species, in the hydrophytic forest, four species (*Acosmium cardenasii*, *Anadenanthera colubrina*, *Poincianella pluviosa*, and *Machaerium scleroxylon*) represented 55 % of the total biomass. Likewise, in semi-deciduous forest, four other species (*Myracrodruon urundeuva*, *Acosmium cardenasii*, *Anadenanthera colubrina*, and *Poincianella pluviosa*) accounted for 58 %. This study provides information on the storage (stock) of biomass in the forests of Chiquitania, one of the little-known ecoregions worldwide.

Keywords: Chiquitano dry forest, above-ground biomass, Santa Cruz, Bolivia.

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales juegan un rol importante en el cambio climático y el ciclo del carbono a nivel global, ya que absorben dióxido de carbono que actualmente se tiene en exceso en la atmósfera debido a las actividades humanas (Chave *et al*. 2003, Lal 2009). La acumulación de biomasa es indispensable porque los bosques a través del proceso de fotosíntesis capturan dióxido de carbono atmosférico (CO_2), lo fijan en sus estructuras vivas y parte de éste lo acumulan en su biomasa, además que lo transfieren al mantillo en descomposición y al suelo; de esta manera constituyen reservas de carbono (Lal 2008). Los bosques tropicales son los más importantes sumideros de carbono, almacenando aproximadamente el 40 % de todo el carbono en la vegetación terrestre (Baraloto *et al*. 2013). Otra parte del carbono es intercambiado con la atmósfera, mediante los procesos de respiración (Lal 2008).

Los bosques secos tropicales, después de los bosques tropicales húmedos ubicados en la Amazonia, son ecosistemas que sobresalen en importancia desde el punto de vista de la absorción de carbono. Estos bosques secos tienen sus propias particularidades, como ser la prolongada época de sequía que afecta en la capacidad de fotosíntesis y por ende la absorción de CO_2 (Crezee 2015, Pardo-Toledo *et al*. 2014). Por otro lado, la densidad de sus maderas generalmente es alta, lo que hace que, si bien los árboles pueden ser más delgados, también pueden tener las células y tejidos más compactos (Fearnside 1997).

Bolivia tiene una gran diversidad de bosques, y existen algunos estudios de biomasa en ellos, principalmente en los bosques secos de la Chiquitania (Araujo-Murakami *et al*. 2006, Dauber

et al. 2001, Mostacedo *et al*. 2008), en bosques de transición chiquitano-amazónico (Dauber *et al*. 2001, Paredes 2008, Villegas *et al*. 2008), bosques secos del chaco y valles cruceños (Crezee 2015). Así también, la región de la Chiquitania tiene varios tipos de bosque, de los cuales los más importantes son el bosque seco semideciduo y el bosque hidrofítico, caracterizados principalmente por diferencias de contenido de humedad en el suelo (Catari *et al*. 2010). Los bosques del Centro de Estudios del Bosque Tropical de Alta Vista, localizado en la región chiquitana en el municipio de Concepción, tiene representados estos dos tipos de bosque, convirtiéndose en un laboratorio natural para realizar diversos estudios, en este caso de biomasa.

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar la biomasa aérea en una porción del bosque seco chiquitano, para determinar las diferencias entre dos tipos de bosque que son los más representativos en la región de la Chiquitania. Este trabajo también analiza la importancia de las especies arbóreas en términos de contenido de biomasa, además de la relación que existe entre la biomasa y el tamaño (diámetro y altura) de los árboles. Así, la finalidad de este estudio es contribuir con información sobre la capacidad de captura de carbono de una de las regiones más importantes que tiene nuestro país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Esta investigación se realizó en el Centro de Estudios del Bosque Seco Tropical Alta Vista, ubicado a 17 km al este de la localidad de Concepción (16º05’10” S, 61º54'28" W), municipio de Concepción, Santa Cruz, Bolivia (Figura 1). El Centro es un predio de más de 3360 ha de bosques con pasturas para la ganadería eco amigable, el desarrollo de actividades forestales sostenibles, entre otras actividades productivas y cuenta con la infraestructura necesaria para la realización de investigaciones, eventos de capacitación, educación ambiental y ecoturismo. Se caracteriza por tener una representación de los bosques de la región Chiquitana. Por otro lado, la estación meteorológica reporta para el área de Alta Vista una temperatura media de 25,2 ºC, una precipitación media de 1117 mm/año, humedad relativa del 73 % y vientos predominantes del noroeste con una velocidad promedio de 13 km/h. La época seca oscila entre 4-5 meses al año, entre los meses de mayo a septiembre (FCBC 2015).

La vegetación de Alta Vista está conformada en su mayor parte por el bosque subhúmedo semideciduo y el bosque semideciduo hidrofítico y freatófilo. También, está la vegetación del Cerradao (o pampa monte) y vegetación acuática (Catari *et al*. 2010). El bosque subhúmedo semideciduo tiene árboles hasta 20-25 m de altura, con especies características como *Acosmium cardenasii*, *Centrolobium microchaete*, *Simira catappifolia* y *Pisonia zapallo*. En el bosque semideciduo hidrofítico las especies características son *Capparidastrum coimbranum*, *Gallesia integrifolia*, *Syagrus sancona*, *Attalea phalerata* y *Cariniana estrellensis* (Catari *et al*. 2010). Los suelos son principalmente francos (66 %) y arenosos (34 %), la mayor parte ácidos y con baja fertilidad y capacidad de intercambio catiónico (Terrazas 2010).

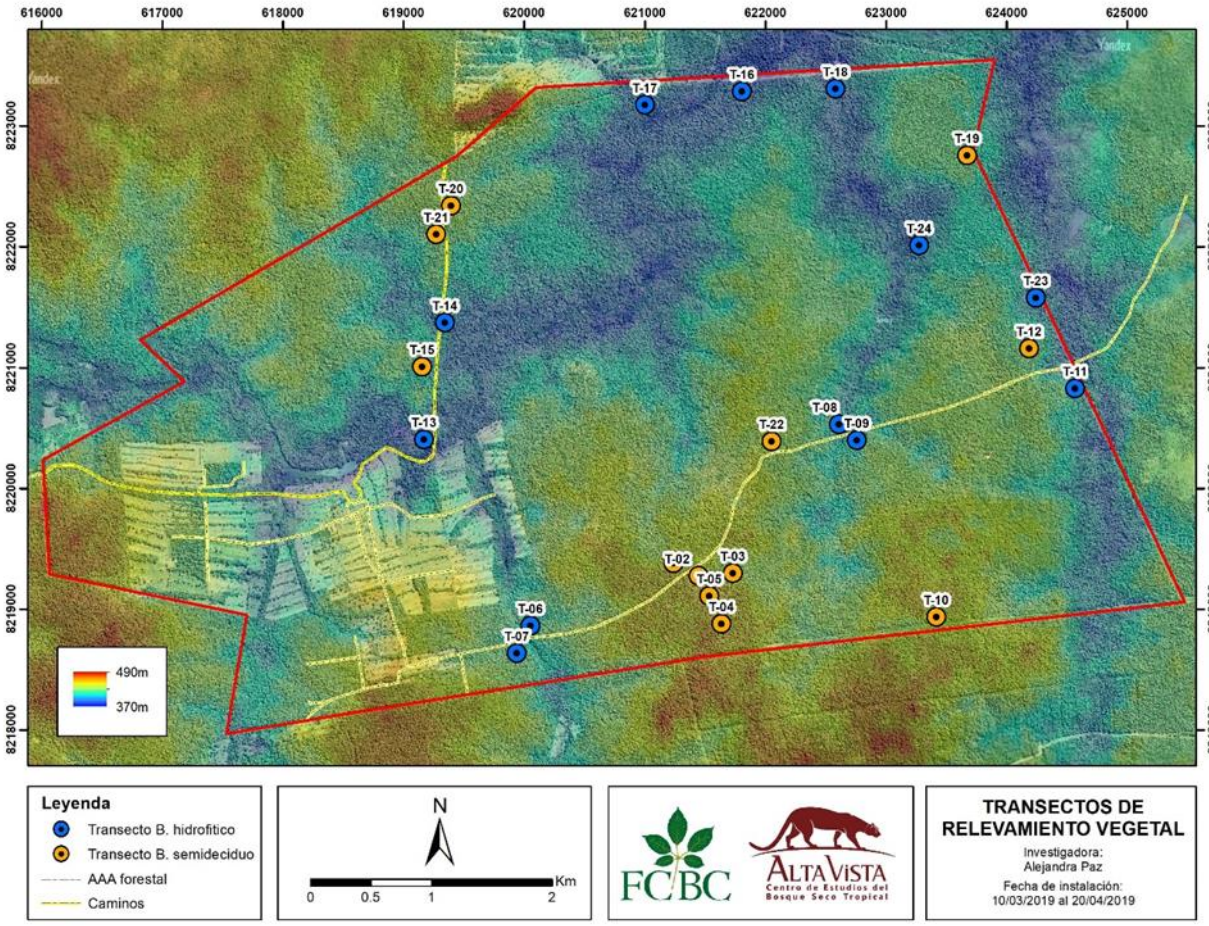

Figura 1. Área de muestreo en el Centro de Estudios de Bosque Seco Tropical Alta Vista, Concepción. Los puntos indican los transectos de muestreo realizados en el bosque hidrofítico (puntos de color azul) y el bosque semideciduo (puntos de color naranja). En la imagen satelital (ASTER; https://asterweb.jpl.nasa.gov/data.asp), las manchas con tendencia a color azul vienen a ser los bosques hidrofíticos y los que tienden a color rojizo vienen a ser los bosques semideciduos. La línea roja representa el límite de la propiedad.

Diseño de estudio

Para realizar el estudio, inicialmente se estratificaron los tipos de bosque, utilizando una imagen satelital ASTER (https://asterweb.jpl.nasa.gov/data.asp). Igualmente, se hizo un recorrido de campo inicial para verificar las diferencias de la vegetación. Según la información bibliográfica, Alta Vista tiene tres tipos de bosque: 1) bosque semideciduo hidrofítico y freatofítico (de aquí en adelante se denominará: bosque hidrofítico), 2) bosque subhúmedo semideciduo sobre suelos bien drenados (de aquí en adelante se denominará: bosque semideciduo, y 3) bosque chiquitano bajo sobre suelos pedregosos o arenosos (Cerradao; Catari *et al*. 2010).

El estudio se realizó solo en los dos primeros tipos de bosque, por tener la mayor superficie dentro del predio. El diseño de muestreo fue estratificado (dos tipos de bosque) y sistemático. En cada tipo de bosque se establecieron 12 transectos de medición, los cuales estaban distanciados por más de 100 m entre transecto. Se levantó información en 24 transectos totales (Figura 1), cada uno de 100x10 m (0,1 ha) para medir árboles mayores a 10 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Adicionalmente, se colocaron de manera anidada transectos más pequeños de 50x10 m (0,05 ha) para medir los árboles de 5 a 10 cm de DAP y otros transectos de 50x2 m (0,01 ha) para medir los individuos de 1 a 5 cm de diámetro (Figura 2).

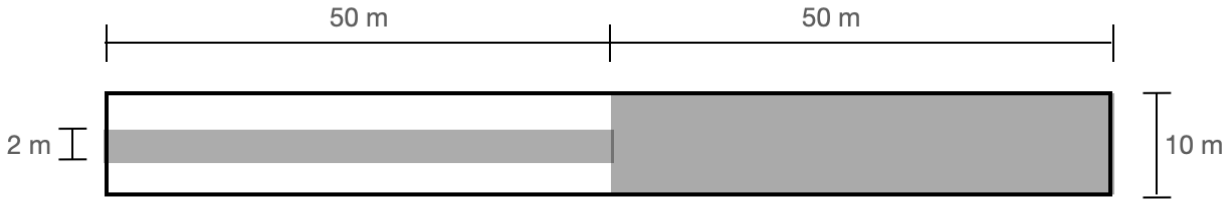

Figura 2. Diseño de los transectos utilizados para el muestreo. Transecto principal (transecto grande de 100x 10 m); transecto intermedio de 50x10 m, y transecto pequeño de 50x2 m.

Toma de datos

Se tomó en cuenta las especies registradas en los transectos, que fueron identificadas en el campo y con el apoyo de una persona local conocedora de las plantas nativas. Las especies fueron identificadas tomando en cuenta la experiencia de campo de los autores, consultando la bibliografía generada en el lugar (Catari *et al.* 2010) y la base de datos de Tropicos (tropicos.org). Para la elaboración de la Tabla 1, las especies no identificadas fueron consideradas como "otras especies".

Seguidamente, en los tres transectos, se midió el diámetro de los árboles a la altura del pecho (DAP, en centímetros) utilizando una cinta diamétrica (Forestry Suppliers Inc.). La altura de los árboles (en metros) se midió utilizando un clinómetro marca Suunto, con el cual se midió la pendiente (en porcentaje) desde 20 m de distancia de cada árbol hacia la parte más alta de la copa del árbol. Posteriormente, se revisó la literatura (Baker *et al*. 2004, Fearnside 1997) o sitios de internet para obtener valores de la densidad de la madera de las especies encontradas (ICRAF-CGIAR, http://db.worldagroforestry.org//wd). Para aquellas especies que no se encontraron sus valores de densidad de madera, se realizó un promedio del género o la familia botánica correspondiente (GlobAllomeTree, http://www.globallometree.org/data/wood-densities/).

Análisis de datos

Con la información tomada en campo se organizó una base de datos en planillas de Excel. Primeramente, para calcular la biomasa se utilizaron ecuaciones alométricas planteadas por Brown *et al.* (1989) y Chave *et al*. (2005). Luego, se obtuvo un valor de biomasa para cada árbol, resultado

del promedio de los valores obtenidos por cada ecuación alométrica. Las ecuaciones alométricas utilizadas fueron:

Brown *et al*. (1989): $$BA = e^{(-2,409+0,9522*Ln(D^2*H*\rho))}$$

Chave *et al*. (2005): $$BA = e^{(-2,187+0,916*Ln(D^2*H*\rho))}$$

Donde:

BA = Biomasa aérea
D = diámetro del fuste (cm)
H = altura de la planta (m)
ρ = densidad de la madera

Luego, para determinar la biomasa aérea en los dos tipos de bosque, se calcularon los promedios y el error estándar tomando en cuenta el número de los transectos y árboles en cada tipo de bosque. Todos los valores de biomasa medidos en los distintos transectos fueron extrapolados a toneladas por hectárea (ton/ha). Para ver las diferencias de la cantidad de biomasa entre tipos de bosque, utilizando el programa INFOSTAT, se realizó un análisis de t-Student de muestras independientes. También, se hizo una categorización de la biomasa por categorías diamétricas (cada 10 cm) y de altura (cada 5 m), para ambos tipos de bosque. Para determinar la relación entre la biomasa de los árboles con su diámetro, se hizo un análisis de regresión aplicando la función cuadrática del tipo: $y=ax^2+bx+c$. Igualmente, la biomasa se agrupó por especies para determinar las más importantes en los bosques de Alta Vista. Para comparar el promedio de biomasa por especies entre tipos de bosque, se hizo una prueba no paramétrica de Mann-Whitney, ya que los datos no cumplían parámetros de normalidad ni homogeneidad de varianzas.

RESULTADOS

De acuerdo con los objetivos planteados se realizó la cuantificación de la biomasa aérea en los dos tipos de bosques de Alta Vista, teniendo un promedio general de 211 ton/ha de biomasa aérea. El bosque semideciduo tuvo un promedio de 209 ton/ha, mientras que el bosque hidrofítico tuvo una biomasa promedio de 213 ton/ha, no habiendo diferencias significativas entre los dos tipos de bosque (t = 0,19; P = 0,84).

Tomando en cuenta las categorías diamétricas, se pudo observar que la mayor concentración de biomasa (59 %) se encontró en árboles entre 20 a 49 cm de diámetro, distribuyéndose en proporciones similares en categorías de 20 a 29, de 30 a 39 y 40 a 49 cm de diámetro. La menor cantidad de biomasa se encontró en árboles por debajo de los 10 cm de DAP (Figura 3A). Referido a las categorías de altura, los árboles entre 15 a 19 m de altura tuvieron la mayor cantidad de biomasa, en ambos tipos de bosque (Figura 3B), con 47,5 % en el bosque semideciduo y 51 % en el bosque hidrofítico. El menor porcentaje de biomasa fue encontrado en los árboles menores a 10 m de altura. Al relacionar la biomasa con el diámetro de cada uno de los árboles, con un modelo

cuadrático, se pudo ver que los árboles con mayor diámetro tuvieron mayor biomasa. Pero, lo más importante es que se encontró que los árboles del bosque semideciduo tienden a tener mayor biomasa con los mismos diámetros comparado a los árboles del bosque hidrofítico. Esa diferencia de biomasa viene a ser mayor a medida que se incrementa el diámetro de los árboles (Figura 4).

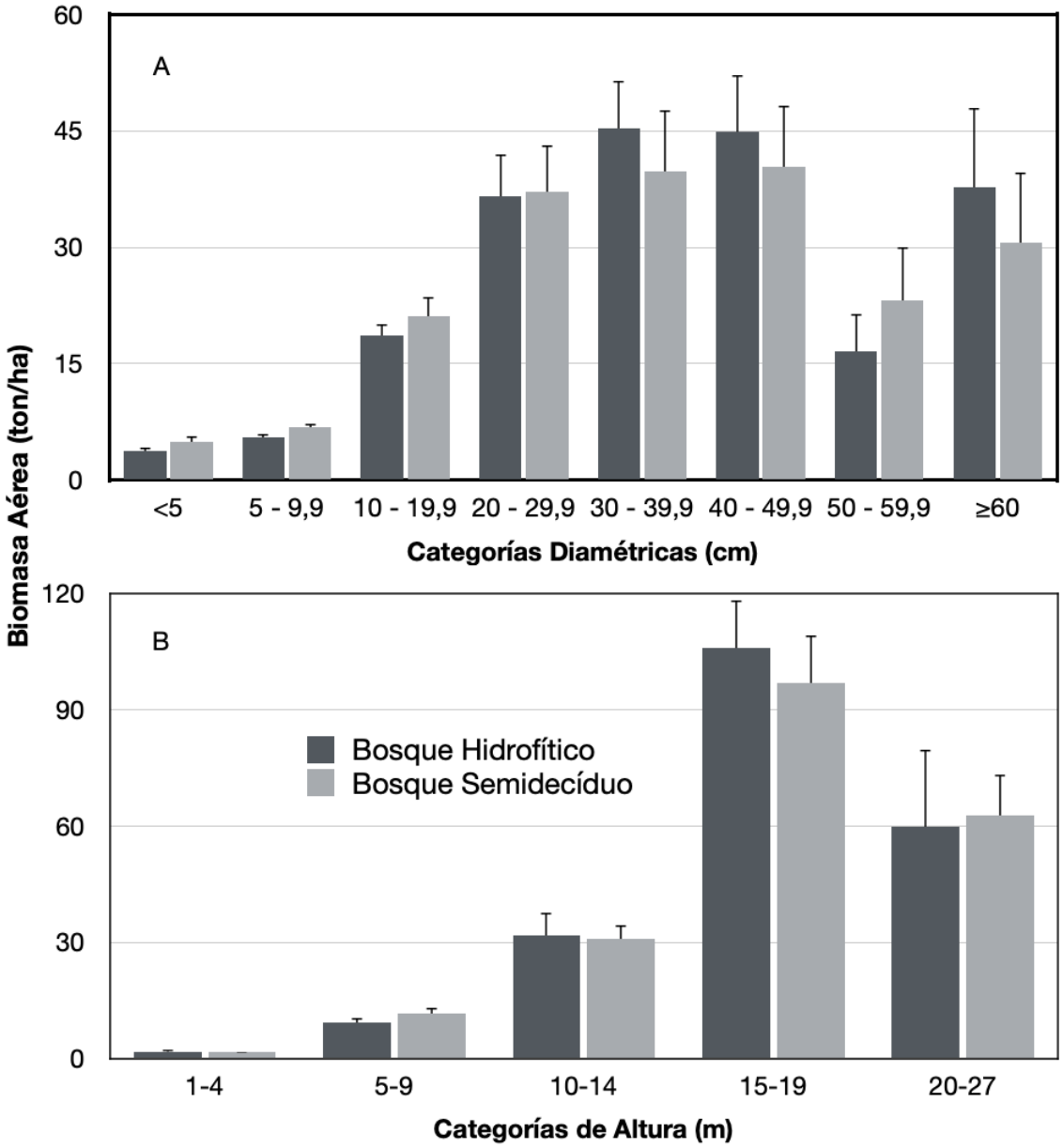

Figura 3. Distribución del promedio (N=12) de biomasa aérea (ton/ha) por categorías diamétricas (A) y categorías de altura (B) de los árboles en dos tipos de bosque. Las líneas verticales representan los errores estándar.

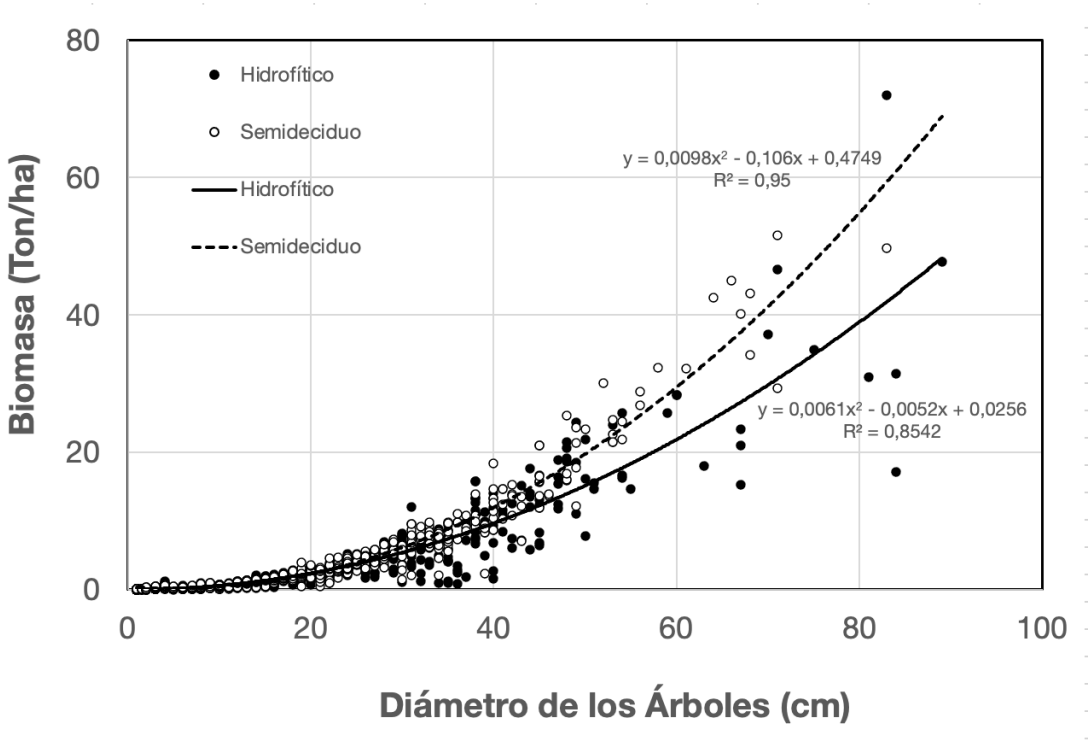

Figura 4. Relación entre la biomasa de los árboles con su diámetro, en dos tipos de bosque: semideciduo e hidrofítico. Las líneas representan la relación media con un modelo cuadrático del tipo: $y=ax^2-bx+c$.

A nivel de familia, de las 20 especies con el mayor porcentaje de biomasa, siete pertenecen a la familia Fabaceae, por lo cual se considera la familia más importante. Asimismo, en este estudio se identificaron, en el bosque hidrofítico, 64 especies de árboles de todas las categorías de tamaño, entre las cuales las más abundantes fueron: *Acosmium cardenasii*, *Capparidastrum coimbranum*, *Lachesiodendron viridiflorum*, *Poincianella pluviosa* y *Aspidosperma cylindrocarpon*, las cuales representan el 43,9 % del total de la abundancia. En el bosque semideciduo, se identificaron 56 especies de todas las categorías de tamaño. Las especies más abundantes fueron *A. cardenasii*, *L. viridiflorum*, *Albizia niopoides*, *Casearia gossypiosperma* y *Centrolobium microchaete*, las que representan el 48 % del total de abundancia.

A nivel de especie, la biomasa estuvo concentrada en solo unas cuantas especies. En el bosque hidrofítico, 5 especies que tuvieron más del 10 ton/ha, cada una, representan el 61,8 % del total de biomasa. Estas especies son *Acosmium cardenasii* (42,7 ton/ha), *Anadenanthera colubrina* (28,1 ton/ha), *Bougainvillea modesta* (10,4 ton/ha), *Poincianella pluviosa* (26,3 ton/ha) y *Machaerium scleroxylon* (21,8 ton/ha). En el bosque semideciduo, otras 5 especies que tuvieron más de 20 ton/ha cada una, representan el 68,9 % del total de biomasa. Estas especies fueron: *Acosmium cardenasii* (31,3 ton/ha), *Anadenanthera colubrina* (30,7 ton/ha), *Myracrodruon urundeuva* (32,6 ton/ha), *Poincianella pluviosa* (25,8 ton/ha) y *Centrolobium microchaete* (20,1 ton/ha; Tabla 1).

Tabla 1. Biomasa aérea (Promedio = P y Error estándar = EE, de ton/ha) de las principales 20 especies arbóreas, en dos tipos de bosque de Alta Vista, ordenadas alfabéticamente**.** Las letras indican diferencias significativas en la sumatoria de rangos realizadas con la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, con un 95% de probabilidad.

Nombre Científico	**Familia**	**Bosque Hidrofítico (P±EE)**	**Bosque Semideciduo (P±EE)**	**Mann-Whitney**	**Valor-P**
Acosmium cardenasii	Fabaceae	42,7 ± 9a	31,3 ± 9,9a	51	0,24
Albizia niopoides	Fabaceae	1,8 ± 0,8a	2,2 ± 1,1a	65	0,71
Anadenanthera colubrina	Fabaceae	28,1 ± 10,1a	30,7 ± 12,3a	70	0,93
Aspidiosperma rigidum	Apocynaceae	1,3 ± 1,2a	0,1 ± 0,1a	65	0,71
Aspidosperma cylindrocarpon	Apocynaceae	5,4 ± 1,6a	4,2 ± 1,3a	62	0,59
Bougainvillea modesta	Nyctaginaceae	10,4 ± 5a	0,2 ± 0,2b	38	0,05
Capparidastrum coimbranum	Capparaceae	5,6 ± 2,1a	0,8 ± 0,6b	29	0,012
Casearia gossypiosperma	Salicaceae	1,4 ± 0,5a	4,5 ± 0,7b	20	0,02
Ceiba speciosa	Malvaceae	7,2 ± 2,5a	1,7 ± 1,3b	38,5	0,05
Centrolobium microchaete	Fabaceae	6,3 ± 2,4a	20,1 ± 8,8a	47	0,16
Combretum leprosum	Combretaceae	3,3 ± 1,2a	1,1 ± 0,8a	40,5	0,07
Gallesia integrifolia	Petiveriaceae	1,7 ± 1,2a	0,1 ± 0,1a	51	0,24
Lachesiodendron viridiflorum	Fabaceae	6,8 ± 2,7a	9,1 ± 3,6a	54	0,32
Machaerium acutifolium	Fabaceae	0,1 ± 0,1a	7,7 ± 2,4b	14	0,0001
Machaerium scleroxylon	Fabaceae	21,8 ± 8,8a	7,6 ± 4,2a	49	0,2
Myrciaria sp.	Myrtaceae	4,5 ± 2,9a	2,6 ± 2a	68,5	0,84
Myrocrodruon urundeuva	Anacardiaceae	6 ± 6a	32,6 ± 13,8a	47,5	0,16
Poincianella pluviosa	Fabaceae	26,3 ± 8,1a	25,8 ± 9,3a	61	0,55
Sweetia fruticosa	Fabaceae	2 ± 1,4a	2,4 ± 1,5a	59,5	0,48
Tabebuia sp.	Bignoniaceae	1,3 ± 0,9a	9,7 ± 4,6a	44	0,11
Otras especies		25,1	9,32	-	-
Total		209,21	203,82	-	-

Comparando entre tipos de bosque, la mayoría de las especies con mayor biomasa (Tabla 1) fueron similares (ver valores de P). Sin embargo, en el caso de *Capparidastrum coimbranum* se encontró 6 veces más de biomasa en el bosque hidrofítico que en el bosque semideciduo (M-W=29,

P=0,012). Por otro lado, *Casearia gossypiosperma* (M-W=20, P=0,02) y *Machaerium acutifolium* (M-W=14, P=0,0001) tuvieron mayor biomasa en el bosque semideciduo que en el bosque hidrofítico.

DISCUSIÓN

La estimación de la biomasa aérea de los árboles es esencial para estudios de almacenes y flujos de carbono en los ecosistemas boscosos. La secuestración biótica del carbono es natural y trae muchos beneficios adicionales, tal como mejora de los hábitats silvestres, la calidad del suelo y el agua, además que puede ayudar a restaurar los suelos degradados (Lal 2008). Por ello es necesario entender el papel que juegan los bosques secos chiquitanos.

En este estudio los valores de biomasa encontrados son un poco elevados en comparación a los encontrados en tipos de bosque similares (Tabla 2). La biomasa varió entre 209 y 213 ton/ha, siendo que no hubo diferencia entre los tipos de bosque analizados. En este estudio se tomó en cuenta árboles con diámetros mayores a 1 cm, mientras que en la mayoría de los estudios realizados consideraron solo árboles mayores a 10 cm de DAP. El resultado más parecido es lo encontrado por Araujo-Murakami *et al.* (2006), en los bosques secos semideciduos del Parque Nacional Noel Kempff Mercado, en los cuales se encontraron valores de biomasa entre 193 a 208 ton/ha. En otros estudios, en ecosistemas similares, se encontraron valores más bajos. Por ejemplo, Mostacedo *et al.* (2008), encontraron valores de 180 ton/ha en un lugar a 30 km aproximadamente al este del sitio de estudio, lo cual puede deberse a que en el presente estudio se consideró árboles mayores a 10 cm de diámetro; no obstante, los resultados demuestran que el mayor porcentaje de biomasa está arriba de los 20 cm de diámetro. En otro estudio, realizado por Dauber *et al.* (2001), se reportaron valores de 114 ton/ha, los cuales todavía son mucho más bajos. Es posible que los valores encontrados por Dauber *et al.* (2001) se deba a que no se tomaron en cuenta individuos inferiores a 10 cm de DAP. Asimismo, en los bosques secos con influencia chaqueña (Crezee 2015), se han encontrado valores cercanos (178 ton/ha en el chaco serrano y 201 ton/ha en el bosque tucumano), pero también en este estudio se tomaron en cuenta todos los individuos desde 2,5 cm de DAP. Por su parte, en el bosque de transición Chiquitano amazónica, en el Bajo Paraguá, se encontraron valores entre 144 a 168 ton/ha (Villegas *et al.* 2008), valores que parecen ser bajos considerando que este sitio tiene elementos de bosque tropical húmedo. Finalmente, los bosques semideciduos andinos del Parque Nacional Madidi son los que tienen valores más altos de biomasa, que están entre los 270 a 295 ton/ha (Paredes 2008). Desde nuestro punto de vista, los valores son altos porque, a pesar de ser semideciduos, tiene influencia de los bosques amazónicos, por ser árboles más altos y gruesos, lo que tiene mucha relación con el incremento de la precipitación pluvial. En un estudio de los bosques secundarios en bosques tropicales se mostró una relación de incremento de biomasa a medida que hay mayor precipitación pluvial (Araujo-Murakami *et al*. 2016, Poorter *et al*. 2016).

Tabla 2. Resumen de valores de biomasa obtenidos por otros estudios, para algunos bosques secos y subhúmedos en Bolivia, en los cuales se incluye la biomasa calculada en este estudio. También, se incluye los diámetros mínimos de estudio considerados para cada estudio.

Región	Tipo de bosque	DAP mínimo de medición (cm)	Biomasa aérea (ton/ha)	Referencias
Área Natural de Manejo Integrado Rio Grande – Valles Cruceños	Bosque tucumano	5	201	Crezee 2015
	Bosque seco chaqueño	5	178	Crezee 2015
	Bosque seco interandino	5	78	Crezee 2015
Parque Nacional Noel Kempff Mercado	Bosque seco semideciduo	10	193-208	Araujo-Murakami *et al*. 2006
Bajo Paraguá	Bosque transición chiquitano amazónica	10	144-168	Villegas *et al*. 2008
Parque Nacional Madidi	Bosque semideciduo andino			
	- Fondo de valle	10	295	Paredes 2008
	- Ladera	10	293	Paredes 2008
	- Cima	10	270	Paredes 2008
Chiquitania	Transición chiquitano-amazónico	10	97	Dauber *et al*. 2001
	Chiquitania	10	114	Dauber *et al*. 2001
Chiquitania	Bosque seco INPA	10	180	Mostacedo *et al*. 2008
	Bosque subhúmedo La Chonta	10	165	Mostacedo *et al*. 2008
Chiquitania, Alta Vista, Concepción	Bosque semideciduo	1	209	Este estudio
	Bosque hidrofítico	1	213	Este estudio

La variación en los valores de biomasa también depende de los modelos alométricos utilizados. La mayoría de los estudios han utilizado modelos donde se toman en cuenta variables como la altura, diámetro y densidad de la madera de los árboles. Sin embargo, a pesar de ello, hay mucha variación. Los estudios en bosques secos de Bolivia que utilizaron modelos alométricos están reportados en las siguientes publicaciones (Brown 1997, Brown *et al.* 1989, Chave *et al*. 2005). En este estudio se utilizaron los modelos alométricos de Brown (1989) y Chave *et al*. (2005), que son los más utilizados o aceptados.

Con relación a la biomasa según las categorías diamétricas, se ha encontrado que el mayor porcentaje está entre los 20 a 50 cm de DAP. Similar resultado se encontró en los bosques secos chiquitanos de INPA Parket (Mostacedo *et al.* 2008). Por otro lado, en la mayoría de los estudios la evaluación de la biomasa se hace para árboles mayores a 10 cm de DAP. En este estudio se hizo la medición de árboles mayores a 1 cm de DAP, y se puede ver que la contribución a la biomasa total de árboles menores de 10 cm de DAP es aproximadamente de 9,2 ton/ha (4,3 %) en el bosque hidrofítico y de 11,5 ton/ha (5,5 %) en el bosque semideciduo. Asimismo, utilizando la función cuadrática, se puede ver que la biomasa es mayor en árboles del bosque semideciduo que el bosque hidrofítico, tomando en cuenta los mismos diámetros. Es posible que esto sea porque la densidad de madera o la altura de los árboles sea mayor en el bosque semideciduo (Chave *et al*. 2006). Al parecer en el bosque hidrofítico hay más especies con maderas más livianas. Por ejemplo, especies como *Myrocrodruon urundeuva* y *Centrolobium microchaete* representan el 25 % de la biomasa total y estas tienen densidades de madera muy alta. Al contrario, en el bosque hidrofítico, especies como *Bougainvillea modesta, Capparidastrum coimbranum* y *Ceiba speciosa*, tienen madera blanda y representan el 11 % de la biomasa total, mientras que en el bosque semideciduo la biomasa es muy baja para estas especies.

En relación con la altura de los árboles, los resultados indican que la biomasa está concentrada en aquellos mayores a 15 m de altura, en ambos tipos de bosque. En estas categorías de altura se encuentran los árboles con mayor diámetro, a pesar de que la abundancia es baja. En los resultados, no se encontró que haya diferencias entre tipos de bosque en términos de biomasa, en todas las categorías de altura. No se ha encontrado estudios que relacionen la altura de los árboles con la biomasa, por lo menos en bosques secos. Es probable que sea porque no hay mucha credibilidad en la altura de los árboles por que las estimaciones tienen márgenes de error muy grandes. En nuestro caso, las mediciones de altura se hicieron con clinómetro, que permitió tener datos precisos.

CONCLUSIONES

El presente estudio se constituye en uno de los primeros reportes de la biomasa que albergan los bosques del Centro de Estudios del Bosque Seco Tropical Alta Vista. Asimismo, todos los resultados obtenidos se encuentran dentro de los márgenes establecidos por otros estudios realizados en bosques secos. Dentro de la Chiquitania el bosque semideciduo almacena 209 ton/ha en comparación con el bosque hidrofítico que almacena 213 ton/ha, aunque estadísticamente son similares. Asimismo, el mayor porcentaje de biomasa se encontró en árboles con 20 a 50 cm de

diámetro y aquellos que tienen entre 15 a 27 m de altura. Los árboles de 1 a 10 cm de diámetro representan el 5 % de la biomasa total.

Según las especies, la biomasa es diferente entre los dos tipos de bosque analizados, habiendo una tendencia de predominancia de especies con densidad de madera más baja en el bosque hidrofítico y densidades más altas en bosque semideciduo. Sin embargo, hay otras especies que son similares en biomasa, tales como *Acosmium cardenasii* y *Anadenanthera colubrina*. Este estudio es una contribución al conocimiento de la capacidad de almacenamiento de carbono, como una forma de mitigar el cambio climático por su capacidad de absorción de CO_2 que tienen los bosques secos de la Chiquitania, siendo estos importantes después de los bosques tropicales húmedos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado gracias al apoyo financiero y logístico de la Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano (FCBC). Se agradece a las personas que contribuyeron de alguna manera en el trabajo de campo y a los revisores asignados por la Revista Kempffiana, quienes hicieron aportes significativos con sus correcciones y observaciones.

LITERATURA CITADA

ARAUJO-MURAKAMI, A., L. ARROYO-PADILLA, T. J. KILLEN & M. SALDIAS-PAZ. 2006. Dinámica del bosque, incorporación y almacenamiento de biomasa y carbono en el Parque Nacional Noel Kempff Mercado. Ecología en Bolivia 41 (1): 24–25.

ARAUJO-MURAKAMI, A., W. MILLIKEN, B. B. KLITGAARD, A. M. CARRIÓN-CUELLAR, S. VARGAS-LUCINDO & R. PARADA-ARIAS. 2016. Biomasa y carbono en bosques amazónicos de tierra firme e inundable (várzea) en el oeste de Pando. Kempffiana 12 (1): 3–19.

BAKER, T. R., O. L. PHILLIPS, Y. MALHI, S. ALMEIDA, L. ARROYO, A. DI FIORE, T. ERWIN, T. J. KILLEEN, S. G. LAURANCE, W. F. LAURANCE, S. L. LEWIS, J. LLOYD, A. MONTEAGUDO, D. A. NEILL, S. PATIÑO, N. C. A. PITMAN, J. N. M. SILVA & R. VÁSQUEZ MARTÍNEZ. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. Global Change Biology 10 (5): 545–562.

BARALOTO, C., Q. MOLTO, S. RABAUD, B. HÉRAULT, R. VALENCIA, L. BLANC, P. V. A. FINE & J. THOMPSON. 2013. Rapid simultaneous estimation of aboveground biomass and tree diversity across Neotropical forests: A comparison of field inventory methods. Biotropica 45 (3): 288–298.

BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. FAO Forestry Paper Nro 134. Roma, pp. 55.

BROWN, S., A. J. GILLESPIE & A. LUGO. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forest Science 35 (4): 881–902.

CATARI, J. C., J. VILLAGOMEZ & M. SAAVEDRA 2010. Vegetación de la hacienda Alta Vista: composición, estructura, diversidad de áreas importantes para la conservación. Santa Cruz, Bolivia: Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano.

CHAVE, J., C. ANDALO, S. BROWN, M. A. CAIRNS, J. Q. CHAMBERS, D. EAMUS, H. FOLSTER, F. FROMARD, N. HIGUCHI, J. KIRA, J. P. LESCURE, B. W. NELSON, H. OGAWA, H. PUIG, B. RIERA & T. YAMAKURA. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest. Oecologia 145 (1): 87–99.

CHAVE, J., R. CONDIT, S. LAO, J. P. CASPERSEN, R. B. FOSTER & S. P. HUBBELL. 2003. Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. Journal of Ecology 91 (2): 240–252.

CHAVE, J., H. C. MULLER-LANDAU, T. R. BAKER, T. A. EASDALE, H. T. STEEGE & C. O. WEBB. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. Ecological Applications 16 (6): 2356–2367.

CREZEE, B. 2015. Regional spatial variation in aboveground biomass, forest structure and species composition of Bolivian tropical dry forests. Tesis de maestría. Utrecht University. Utrecht, Holanda.

DAUBER, E., R. GUZMÁN & J. TERÁN. 2001. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. Revista Forestal Iberoamericana (IUFRO) 1 (1).

FCBC. 2015. Plan de Ordenamiento Predial, Centro de Estudios del Bosque Seco Tropical Alta Vista (memoria descriptiva). Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano. Santa Cruz, Bolivia.

FEARNSIDE, P. M. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. Forest Ecology and Management 90 (1): 59–87.

LAL, R. 2008. Carbon sequestration. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 363 (1492): 815–830.

LAL, R. 2009. Sequestering atmospheric carbon dioxide. Critical Reviews in Plant Sciences 28 (3): 90–96.

MOSTACEDO, B., Z. VILLEGAS, J. C. LICONA, A. ALARCÓN, C. LEAÑO, M. PEÑA & L. POORTER. 2008. Dinámica de la biomasa en áreas de manejo forestal sujetas a diferentes intensidades de aprovechamiento. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

PARDO-TOLEDO, E., A. ARAUJO-MURAKAMI, L. ARROYO-PADILLA, J. P. HEREDIA, V. D. ROJAS-LANDIVAR, M. FLORES-VALENCIA, Z. PÉREZ, R. SIBLER, L. M. MENDIZABAL, M. VEGA-MARTÍNEZ & L. MORENO. 2014. Productividad interanual e interestacional de la biomasa aérea en la Chiquitanía transicional a la Amazonía (Guarayos, Bolivia). Ecología en Bolivia 49 77–92.

PAREDES, S. 2008. Composición, estructura y biomasa del bosque semideciduo andino del valle del río San Juan en el Parque Nacional Madidi. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.

POORTER, L., F. BONGERS, T. M. AIDE, A. M. ALMEYDA ZAMBRANO, P. BALVANERA, J. M. BECKNELL, V. BOUKILI, P. H. S. BRANCALION, E. N. BROADBENT, R. L.

CHAZDON, D. CRAVEN, J. S. DE ALMEIDA-CORTEZ, G. A. L. CABRAL, B. H. J. DE JONG, J. S. DENSLOW, D. H. DENT, S. J. DEWALT, J. M. DUPUY, S. M. DURÁN, M. M. ESPÍRITO-SANTO, M. C. FANDINO, R. G. CÉSAR, J. S. HALL, J. L. HERNANDEZ-STEFANONI, C. C. JAKOVAC, A. B. JUNQUEIRA, D. KENNARD, S. G. LETCHER, J.-C. LICONA, M. LOHBECK, E. MARÍN-SPIOTTA, M. MARTÍNEZ-RAMOS, P. MASSOCA, J. A. MEAVE, R. MESQUITA, F. MORA, R. MUÑOZ, R. MUSCARELLA, Y. R. F. NUNES, S. OCHOA-GAONA, A. A. DE OLIVEIRA, E. ORIHUELA-BELMONTE, M. PEÑA-CLAROS, E. A. PÉREZ-GARCÍA, D. PIOTTO, J. S. POWERS, J. RODRÍGUEZ-VELÁZQUEZ, I. E. ROMERO-PÉREZ, J. RUÍZ, J. G. SALDARRIAGA, A. SANCHEZ-AZOFEIFA, N. B. SCHWARTZ, M. K. STEININGER, N. G. SWENSON, M. TOLEDO, M. URIARTE, M. VAN BREUGEL, H. VAN DER WAL, M. D. M. VELOSO, H. F. M. VESTER, A. VICENTINI, I. C. G. VIEIRA, T. V. BENTOS, G. B. WILLIAMSON & D. M. A. ROZENDAAL. 2016. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. Nature 530 (7589): 211–214.

TERRAZAS, J. 2010. Diagnóstico de suelos de la propiedad Alta Vista. Santa Cruz, Bolivia. Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano, pp. 100.

VILLEGAS, Z., B. MOSTACEDO, M. TOLEDO, C. LEAÑO, J. C. LICONA, A. ALARCÓN, V. VROOMANS & M. PEÑA-CLAROS. 2008. Ecología y manejo de los bosques tropicales del Bajo Paraguá, Bolivia. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Manuscrito recibido en octubre de 2020
Manejado por Alejandro Araujo-Murakami
Aceptado en diciembre de 2020.