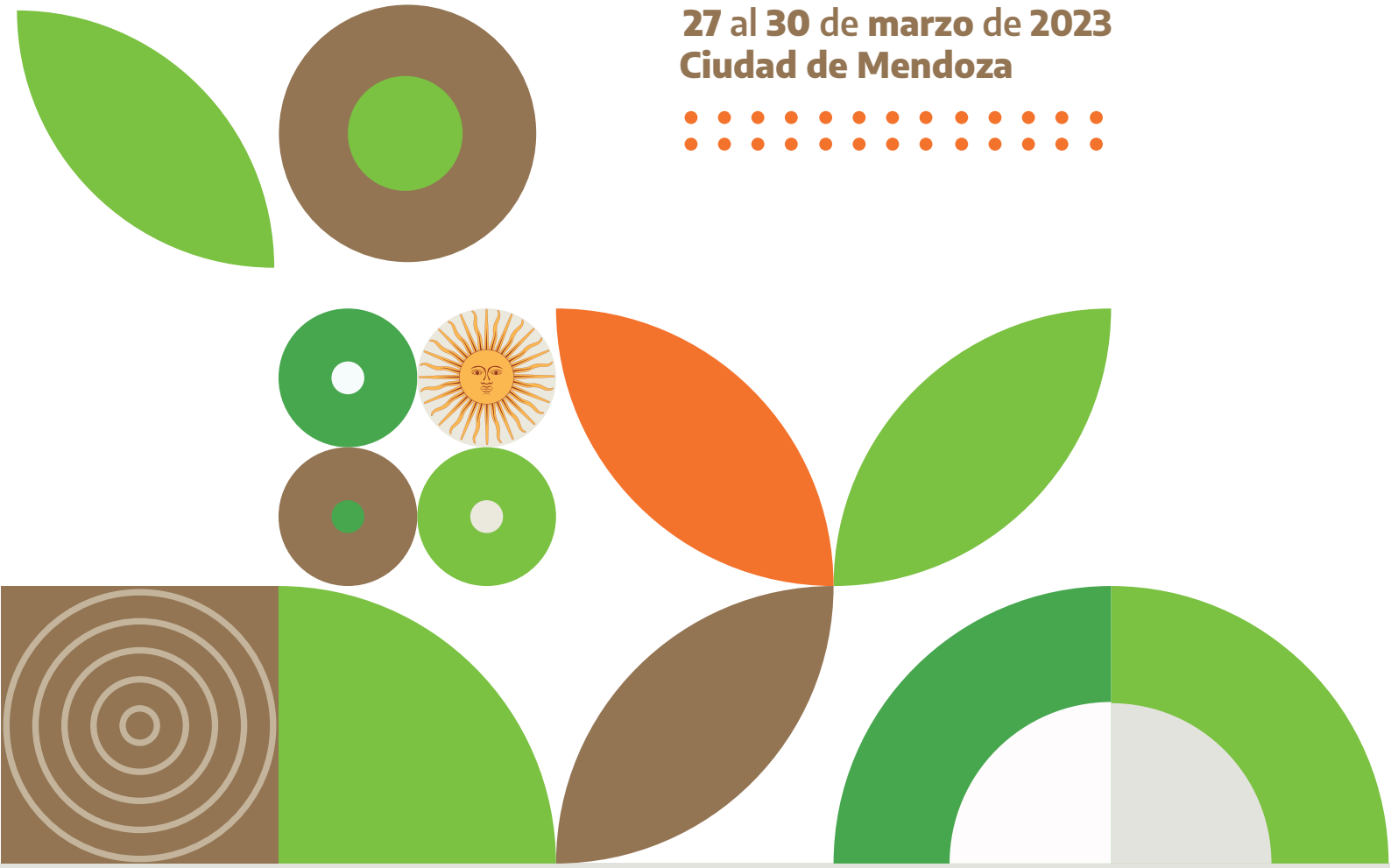
CONFLAT
VIII CONGRESO FORESTAL LATINOAMERICANO

VCongreso Forestal Argentino

Actas del VIII Congreso Forestal Latinoamericano y V Congreso Forestal Argentino

27 al 30 de marzo de 2023
Ciudad de Mendoza



Organizadores

MENDOZA GOBIERNO

CFI CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

AFoA Asociación Forestal Argentina

INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

CONICET

UNCUYO UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



Actas del VIII Congreso Forestal latinoamericano y V Congreso Forestal Argentino
Pablo Luis Peri ... [et al.]. - 1a ed., 2023.
Libro digital, PDF

Editores: Peri P.L.; Mundo I.; Lencinas M.V.; Goya J.; Mastrandrea C.; Colcombet L.
Diagramación; y diseño de carátula e interiores: María José Ledesma Cecot y Rodolfo Morone

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-46815-7-7

1. Recursos Forestales. 2. Ecología Forestal. 3. Genética. I. Peri, Pablo Luis.
CDD 577.3

Stock anual de carbono en fustes de *Hymenaea courbaril* mediante el análisis de anillos de crecimiento y densitometría de rayos X

Roger Chambi-Legoas[1], Yovana Alzamora[2], Elaine Zuloaga[2], Duberli Geomar Elera Gonzales[3], Emer Rosales-Solórzano[2], Mario Tomazello-Filho[4]

Palabras clave: Biomasa; Fijación de carbono; Dendrocronología.

Introducción

Los beneficios de los servicios ecosistémicos de los bosques, como el secuestro de carbono aún es poco valorado. *H. courbaril* es una especie de lento crecimiento muy extendida en américa tropical, y apreciada a nivel global por la excelente calidad de su madera. Actualmente representa a la segunda especie de densidad alta con mayor aprovechamiento forestal en Perú (SERFOR 2016). Debido a la alta densidad de su madera, la especie podría almacenar altos volúmenes de carbono en el fuste.

No obstante, aún existen pocos antecedentes sobre la cantidad de carbono que los árboles de *H. courbaril* pueden secuestrar, más aún, no existen estimaciones del incremento corriente anual de carbono secuestrado, el cual es importante para desarrollar proyecciones del carbono almacenado hasta la edad de cosecha. Este tipo de estudios es posible mediante la aplicación de la dendrocronología y densitometría de rayos x, para la reconstrucción del crecimiento de los árboles y la estimación de la densidad del leño en cada anillo de crecimiento, respectivamente (Worbes 1995).

Además, el fuste contiene aproximadamente entre el 58,5% al 75% del carbono almacenado en la biomasa aérea del árbol (fuste, ramas, hojas) (Derwisch et al. 2009), y es comúnmente, la única parte del árbol aprovechable como madera.

El objetivo de este trabajo fue reconstruir el crecimiento secundario, y estimar el stock de carbono secuestrado anualmente en los fustes de árboles de la especie *H. courbaril*, en los bosques amazónicos del Perú.

Material y métodos

El lugar de estudio abarcó los bosques de la región de la Amazonía sur del Perú, de clima Am-Clima tropical monzónico o subecuatorial según la clasificación de Köppen-Geiger, con temperatura media anual entre 22°C y 24°C y precipitación anual media de 2156 mm. Se extrajeron discos transversales a la altura del pecho (dap) de 28 árboles, que fueron pulidos con lijas para mejorar la visibilidad de los anillos de crecimiento. Se demarcaron 4 radios en cada disco pulido, para la identificación y marcación de los anillos de crecimiento. Posteriormente, se cortaron 4 secciones radiales de cada disco conteniendo los radios demarcados, las cuales fueron digitalizadas con un escáner profesional, a una resolución de 1200 dpi, para medición de los anillos de crecimiento en el software Image J y construcción de las series cronológicas.

Las series de crecimiento se sometieron a un análisis de datación cruzada, y su validación mediante el software COFECHA.

Posteriormente, las muestras fueron preparadas para análisis de la densidad por densitometría de rayos X y procesados en el software WinDENDROTM 2019 para calcular los valores de densidad y construir el perfil radial de la densidad de la madera.

La reconstrucción del crecimiento secundario a partir de los anillos de crecimiento combinado con una ecuación alométrica para la especie, dio como resultado la estimación del volumen del fuste (Brienen & Zuidema 2006); y junto a los perfiles radiales de densidad, se obtuvo el incremento corriente anual de carbono del fuste, asumiendo que 1 kg de biomasa contiene 0.45 kg de carbono (Brown 1997). Se modelaron curvas de crecimiento del dap, volumen, y carbono, usando la función Gompertz.

Resultados

El perfil de densidad permitió diferenciar claramente el límite de los anillos de crecimiento. La densidad se incrementa considerablemente hacia el límite del

1 Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Contacto: rchambi@unamad.edu.pe.
2 Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
3 Universidad Nacional Autónoma de Chota. Contacto: dgelerag@unach.edu.pe.
4 Universidade de São Paulo. Contacto: mtomazel@usp.br.

anillo para después descender bruscamente en el leño temprano del anillo siguiente (Figura 1).

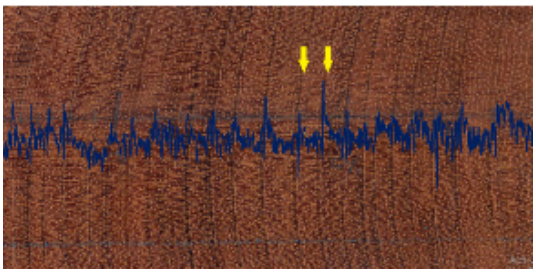


Figura 1. Sección transversal de leño de Hymenaea courbaril desde la médula hasta la corteza con el perfil de densidad aparente en línea azul (a). También se muestra un recorte de una sección intermedia de la muestra, observando el detalle del perfil radial de densidad aparente y los anillos de crecimiento (flecha amarilla).

El perfil radial de densidad en función de la edad de los árboles mostró que la densidad del leño de los árboles se incrementó hasta los 50 años aproximadamente, y a partir de esa edad la densidad disminuyó gradualmente, no obstante, los anillos de crecimiento formados desde los 150 años incrementaron levemente su densidad (Figura 2).

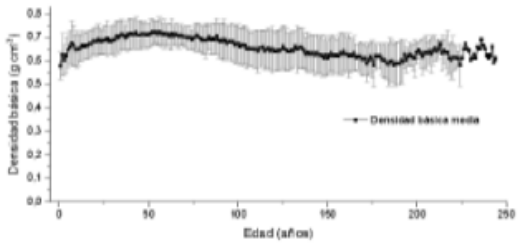


Figura 2. Perfil radial de densidad básica media de los árboles evaluados de Hymenaea courbaril en función de la edad de los árboles. Las barras verticales expresan la desviación estándar.

La medición de los anillos de crecimiento permitió la reconstrucción del crecimiento en dap de los árboles, y mediante el modelo Gompertz se ajustó la curva de crecimiento de volumen y carbono, mostrando un alto coeficiente de determinación ajustado (R2 adj) de 0,68 (Figura 3).

Las curvas del dap acumulado, muestran un crecimiento gradual de los árboles de *H. courbaril*. A los 200 años de edad los árboles alcanzaron entre 50 cm y 80 cm de dap (sin corteza) (Figura 3a). En el único árbol que registró 244 años de edad, el dap fue mayor a 100 cm. Los árboles alcanzaron el máximo incremento medio anual (IMA) del dap de 0,38 cm año-1 a una edad de 99 años, disminuyendo a partir de esa edad hasta alcanzar los 0,33 cm año-1 (Figura 3d). Además, a una edad de 244 años, el volumen del fuste es de aproximadamente 8,07 m3, con máximos de 9,78 m3 y mínimos de 6,35 m3 (Figura 3b).

H. courbaril puede almacenar desde 2452 kg hasta 3051 kg de carbono a lo largo de 244 años (Figura 3c). Los resultados indican que existió una alta variabilidad de carbono almacenado entre los árboles muestreados a menor edad de los árboles. La tendencia exponencial de la curva de carbono, e IMA de carbono indica que los árboles después de 244 años continuarán fijando cantidades importantes de CO_2 (Figura 3c y 3f).

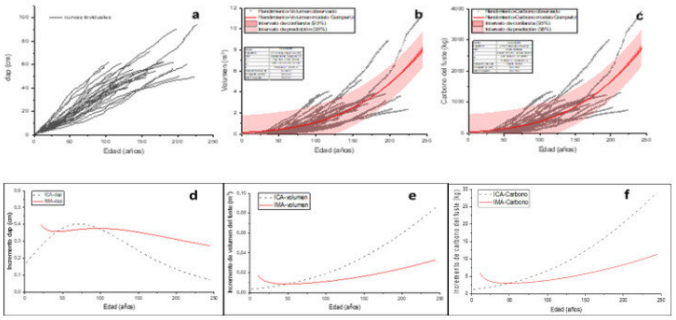


Figura 3. Curvas de crecimiento del dap (a), modelos de crecimiento Gompertz para el volumen sin corteza (b), y carbono almacenado en el fuste (c). Curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para el diámetro a la altura del pecho (dap) (d), volumen (e), y carbono del fuste (f). Los datos corresponden a 28 árboles muestreados de Hymenaea courbaril.

Considerando la densidad de la especie por clase diamétrica en el bosque (Tabla 1), se encontró que los árboles con dap entre 70 a 80 cm serían los que almacenan más carbono, en torno a 201 kg ha-1. En conjunto, todas las clases diamétricas de H. courbaril almacenarían en torno a 800 kg C ha-1.

Tabla 1. Rendimiento de carbono del fuste por hectárea en H. courbaril.

Clase diamétrica (cm)	Carbono en el fuste (kg árbol^{-1})	Densidad de árboles (# árboles ha^{-1})	Carbono en el fuste × hectárea (kg ha^{-1})
< 10	0,92	3,50	3,20
10-20	16,79	1,13	19,05
20-30	79,42	0,20	16,05
30-40	204,15	0,28	56,39
40-50	394,34	0,17	65,10
50-60	638,47	0,15	93,93
60-70	923,45	0,09	84,26
70-80	1286,61	0,16	201,37
80-90	1869,68	0,05	88,44
90-100	2486,12	0,03	84,32
> 100	3292,00	0,03	87,87
Total		**5,78**	**800,00**

Discusión y conclusiones

El incremento de la densidad durante las primeras décadas de edad, sugieren la presencia de leño juvenil, caracterizado por la presencia de células de menor espesor de pared celular, más cortas y delgadas, generando menor densidad (Lachenbruch et al. 2011).

Los resultados de la reconstrucción del dap son concordantes o ligeramente menores a otros estudios realizados en bosques de la Amazonía peruana, donde a los 200 años se reportó dap de 68 cm (Cahuana 2017), o de 80 cm de dap a los 160 años (Huaman 2011).

Asimismo, el IMA del dap encontrado fue menor a otros estudios basados en los anillos de crecimiento, como por ejemplo, 0,55 cm año-1 en árboles de 108 a 163 años de edad en Madre de Dios, Perú (Huaman 2011) o de 0,57 cm año-1 en árboles de 100 años de edad de bosques naturales de Bolivia (López et al. 2012). No obstante en Goiás, Brasil, se reportaron resultados concordantes con el presente estudio, donde las series cronológicas de 104 años en promedio de H. courbaril indicaron una tasa de 0,34 cm año-1 (Locosselli et al. 2016). Estas diferencias de incremento en dap, indican que el crecimiento de *H. courbaril* varía significativamente según el bioma que habita (Locosselli et al. 2017). El incremento medio anual en árboles de H. courbaril de 154 años de edad promedio, varía de 0,2 cm año-1 (en el bioma cerrado) a 1,3 cm año-1 (en el bioma del Amazonas y en los Bosques del Atlántico en Brasil). Los bajos incrementos en edades jóvenes muestran que el crecimiento de H. courbaril en los bosques amazónicos es menor al reportado en árboles de la misma edad creciendo en el Cerrado brasileño, que podría estar relacionado con la disponibilidad de luz solar que es menor en los bosques amazónicos debido al denso dosel, y mayor en el bioma Cerrado donde la densidad de la vegetación es muy baja (Locosselli et al. 2017).

Los resultados para el stock de carbono, sugieren que, hasta la edad de 244 años, los árboles de *H. courbaril* están aún en etapa de alta producción de biomasa y fijación de carbono, con IMA de 11,28 kg C año-1. El IMA máximo se presentaría en edades superiores a los 244 años de edad (Figura 3f). Nuestro estudio también muestra que poblaciones de H. courbaril pueden secuestrar alrededor de 0,8 t ha-1, que representa una contribución importante al total de carbono secuestrado en la biomasa aérea de los bosques de la Amazonía peruana que varía entre 135 t ha-1 a 165 t ha-1 de carbono (Mamani 2012).

En ese contexto, el presente estudio abre nuevas posibilidades de mejorar la estimación de carbono de los bosques, mediante estimaciones a escala anual a nivel de especie. Los resultados del presente estudio, muestran una tendencia de continuo incremento de carbono inclusive en árboles viejos de más de 200 años. Esto sugiere que las especies de alta densidad de madera, pueden continuar fijando grandes cantidades de carbono en sus fustes, demostrando la importancia de conservar o aprovechar sosteniblemente los bosques clímax.

Bibliografía citada

Brienen RJW, Zuidema PA. 2006. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. For Ecol Manage 226:256–267. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.038

Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO For Pap 134:55. https://doi.org/ISBN 92-5-103955-0

Cahuana LAP. 2017. Potencial Dendrocronológico De Árvores Da Família Fabaceae Na Floresta Tropical Amazônica Do Peru. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Derwisch S, Schwendenmann L, Olschewski R, Hölscher D (2009) Estimation and economic evaluation of aboveground carbon storage of Tectona grandis plantations in Western Panama. New For 37:227–240. https://doi.org/10.1007/s11056-008-9119-2

Huaman CIC. 2011. Dendrocronología de árboles de Azúcar Huayo (Hymenaea courbaril L) en la región de Madre de Dios (Provincia de Tahuamanu)-Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina

Lachenbruch B, Moore JR, Evans R. 2011. Radial Variation in Wood Structure and Function in Woody Plants, and Hypotheses for Its Occurrence. En: Meinzer FC, Lachenbruch B, Dawson TE (eds) Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 121–164

Locosselli GM, Krottenthaler S, Pitsch P, Anhuf D, Ceccantini G. 2017. Age and growth rate of congeneric tree species (Hymenaea spp. - Leguminosae) inhabiting different tropical biomes. Erdkunde 71:. https://doi.org/10.3112/erdkunde.2017.01.03

Locosselli GM, Schöngart J, Ceccantini G. 2016. Climate/growth relations and teleconnections for a Hymenaea courbaril (Leguminosae) population inhabiting the dry forest on karst. Trees - Struct Funct 30:1127–1136. https://doi.org/10.1007/s00468-015-1351-8

López L, Villalba R, Peña-Claros M. 2012. Ritmos

de crecimiento diamétrico en los bosques secos tropicales: aportes al manejo sostenible de los bosques de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano. Bosque 33:211–219. https://doi.org/10.4067/S0717-92002012000200011

Mamani JL. 2012. Stock del carbono aéreo en un bosque con paca de terrazas altas de la concesión de conservación Gallocunca, sector baltimore, distrito Tambopata Madre de Dios - Perú. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios

SERFOR. 2016. Anuario Forestal 2015 "Perú Forestal en Números 2015". Lima, Perú

Worbes M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees a review. IAWA J 16:337–351

VIII Congreso Forestal Latinoamericano
V Congreso Forestal Argentino

ISBN 978-987-46815-7-7