



Desafíos en la estimación de la biomasa vegetal en zonas áridas: mitos, errores y posibles soluciones

LUIS A. HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ ^{1,2,*}, JUAN MANUEL DUPUY-RADA ^{1,3}, ALFONSO MEDEL-NARVÁEZ ⁴,
CARLOS PORTILLO-QUINTERO ⁵, JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ-STEFANONI ^{1,3,*}

¹Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Calle 43 # 130, Colonia Chuburná de Hidalgo, 97200, Mérida, Yucatán. México.

²Campo Experimental Todos Santos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Calle Agricultura No. 1555 entre Calle México y Durango, 23070, La Paz, Baja California Sur, México.

³Laboratorio Nacional CONAHCyT de Biología del Cambio Climático, SECIHTI.

⁴Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

⁵Department of Natural Resources Management, College of Agricultural Sciences and Natural Resources Management, Texas Tech University, Lubbock, TX 79401, USA.

*luis.hernandez@estudiantes.cicy.mx; jl_stefanoni@cicy.mx

Resumen: Estimar la biomasa aérea de la vegetación resulta fundamental para el diseño de estrategias orientadas a la mitigación del cambio climático. El instrumento más utilizado para ello, son los inventarios forestales, como el que se realiza en México desde el año 2004. Sin embargo, se ha demostrado que la metodología utilizada en estos inventarios para recolectar información en campo tiene limitaciones que pueden generar errores al estimar la biomasa de la vegetación. En este ensayo se analizan algunos factores que conllevan a una subestimación de la biomasa aérea en zonas áridas y se proponen algunas estrategias para mejorar la precisión de las estimaciones.

Palabras clave: Baja California Sur, cactáceas columnares, ecuación alométrica, matorral, selva baja caducifolia.



Gobierno de
México

Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación





Durante la fotosíntesis, las plantas capturan dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y, mediante la energía del sol y el agua, lo transforman en azúcares. Estos se convierten en celulosa y lignina, materiales ricos en carbono (C) que conforman los tejidos de las plantas. Gracias a este proceso, los bosques almacenan grandes cantidades de C, tanto en la biomasa aérea (BA: troncos, ramas y hojas), como en el suelo (raíces, materia orgánica) (Pan *et al.* 2011). Sin embargo, la quema de la vegetación (debido a incendios forestales o por prácticas productivas), así como la degradación forestal o la deforestación, no sólo disminuyen la cantidad de C almacenado, sino que lo liberan a la atmósfera. Por ello, la conservación de los bosques tiene un papel fundamental en la mitigación de las emisiones de CO_2 , uno de los principales gases de efecto invernadero que retienen el calor en la atmósfera y ocasionan el calentamiento global. Como la BA resulta más fácil de medir que la biomasa subterránea, la BA se utiliza habitualmente para evaluar el estado y los cambios del C almacenado en los bosques.

La BA se puede estimar de forma directa a través de la cosecha y pesaje de toda la materia que compone la vegetación. Las estimaciones directas que se han hecho en diversos ecosistemas han permitido relacionar matemáticamente la BA con ciertas medidas de los árboles, como su altura, el diámetro del tronco a 1.3 m sobre el suelo o el tamaño de su copa. A estas fórmulas matemáticas se les conoce como ecuaciones alométricas, y permiten hacer estimaciones indirectas de la BA total almacenada en un sitio. Sin embargo, este método resulta inviable para realizar estimaciones en superficies grandes (p. ej. la península de Yucatán), ya que implica medir todos los árboles. Para resolver esta limitación, se realizan mediciones en un grupo de parcelas representativas del área a evaluar (es decir, que

contengan todos los tipos de ecosistemas asociados a las variaciones de topografía, clima y uso del suelo), donde se miden todos los árboles. La BA estimada en estas parcelas se puede relacionar con información de sensores remotos (imágenes satelitales) para inferir la cantidad y distribución espacial de la BA del territorio completo (Rodríguez-Veiga *et al.* 2019). Esta es la metodología que emplea la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en México desde el año 2004, a partir del Inventario Nacional Forestal (INF), el cual se lleva a cabo con una periodicidad de cinco años. El último INF, realizado entre 2015 y 2020, incluyó más de 9,000 parcelas de monitoreo de una hectárea distribuidas en todo el territorio mexicano. El INF ha sentado las bases para estimar la BA forestal en México y ha permitido monitorear sus cambios a través del tiempo.

Sin embargo, los criterios que se emplean en el INF para la medición de los árboles no siempre se ajustan a todos los tipos de vegetación. Por ejemplo, el INF sólo contabiliza y mide los árboles con un diámetro mayor a 7.5 cm, lo cual puede resultar en una subestimación considerable de la BA en los sitios donde la mayoría de los individuos son más pequeños que esa medida. Este problema se ha estudiado en las selvas secas de la Península de Yucatán, donde se ha encontrado que los árboles pequeños (con diámetro < 7.5 cm) pueden aportar hasta 56 % de la BA total (Hernández-Stefanoni *et al.* 2020). Este sesgo también puede presentarse en otros tipos de vegetación, como los matorrales desérticos, donde abundan especies de estructura arbustiva con tallos gruesos que se ramifican por debajo de 1.3 m, la altura a la que se mide el diámetro (Figura 1A). Otra fuente de error en la estimación de la BA en las zonas áridas es la ausencia de ecuaciones alométricas específicas para las cactáceas columnares, las cuales son muy abun-

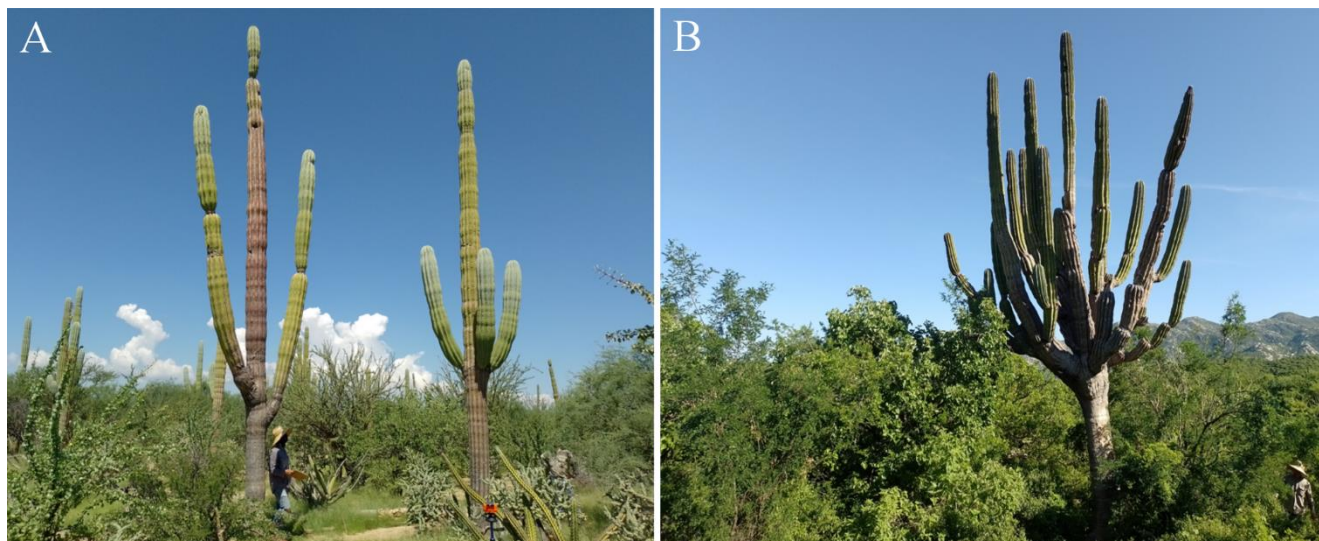


Figura 1. Matorral (A) y selva baja caducifolia (B) con presencia de cactáceas columnares prominentes (*Pachycereus* spp.) y arbustos de porte bajo. En el matorral se observan otras especies características de este ecosistema como el “palo adán” (*Fouquieria diguetii* (Tiegh.) I.M. Johnst.) y algunas cactáceas como la “cholla” (*Cylindropuntia* spp.) y la “pitaya” (*Stenocereus* spp.). La mayoría de estos individuos serían omitidos durante las mediciones del INF por no superar los 7.5 cm de DN, sin embargo, almacenan la mayor cantidad de la BA de estos sitios. (Fotografías: Luis A. Hernández-Martínez).

dantes en ciertos sitios (Figura 1A-B). Por ello, en el INF se utilizan ecuaciones alométricas generales, es decir, que estiman la BA para diversas especies sin ser específicas de alguna de ellas. Asimismo, en algunas ocasiones, el INF no reporta con claridad las ecuaciones alométricas utilizadas para algunas especies, como es el caso de las cactáceas columnares. Aunque se ha reportado que las cactáceas pueden aportar hasta el 11 % de la BA en matorrales del estado de Sonora (Búrquez *et al.* 2010), existe poca información sobre los errores que pueden existir en las estimaciones del INF debido a la falta de ecuaciones alométricas para estas especies. Por lo general, las zonas áridas se perciben como áreas con bajos niveles de almacenamiento de BA (Briones *et al.* 2018), en comparación con los bosques templados y las selvas tropicales. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que las zonas áridas cubren grandes superficies

de territorio y que la cantidad de BA podría estar subestimada debido a los factores mencionados previamente.

Un estudio reciente analizó los errores que comete el INF al estimar la BA en el matorral y en la selva baja caducifolia de la Región del Cabo, Baja California Sur (Hernández-Martínez *et al.* 2025) (Figura 2). En este estudio se analizaron dos causas principales de la subestimación de la BA: La primera, fue la falta de ecuaciones alométricas para las cactáceas columnares del género *Pachycereus* spp. Para resolverlo, se desarrolló una ecuación alométrica específica para la especie más abundante en la zona de estudio: *Pachycereus pringlei* (S. Watson) Britton & Rose. La segunda causa de subestimación fue la exclusión de los individuos con un diámetro menor a 7.5 cm. Para evaluar el efecto de esto, se midieron arbustos y árboles pequeños en 28 parcelas (14 en matorral y 14 en

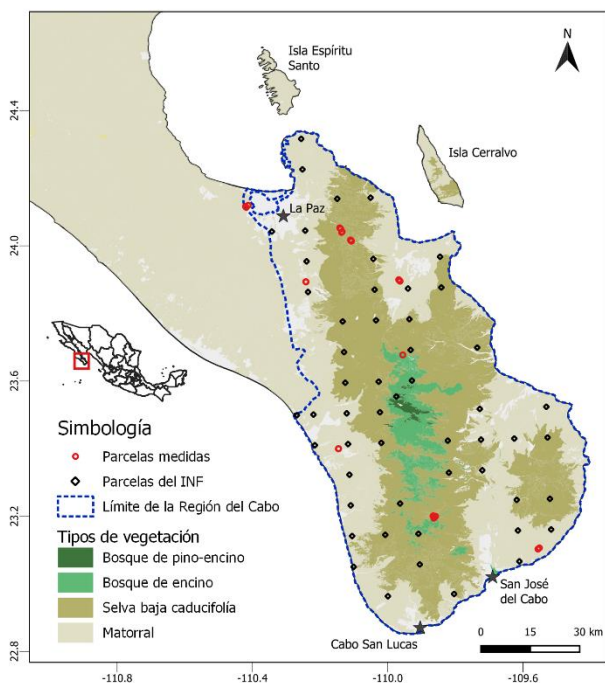


Figura 2. Localización geográfica de la Región del Cabo en el noroeste de México. (Mapa: Luis A. Hernández-Martínez).

selva baja caducifolia; ver Figura 2), y se calculó su aporte relativo a la BA total. Con esa proporción se generaron factores de corrección que se aplicaron a las estimaciones de BA del INF en cada tipo de vegetación.

Como resultado de la aplicación de la ecuación alométrica específica para *P. pringlei*, el valor promedio de BA pasó de 96.2 a 163 kg/individuo, lo cual equivale a un incremento del 70 % en comparación con la estimación reportada en el INF (Figura 3). Este resultado muestra claramente que la BA de *P. pringlei* está seriamente subestimada. Por otra parte, los resultados mostraron que los individuos de menor talla aportan entre 16 y 38 % de la BA total en el matorral y entre 29 y 81 % en la selva baja caducifolia. La

aplicación de los factores de corrección incrementó la BA promedio de 10.27 a 12.44 Ton/ha en el matorral y de 19.64 a 30.62 Ton/ha en la selva baja caducifolia, lo cual equivale a un incremento de 21 y 56 %, respectivamente (Figura 4).

Los resultados de este análisis revelaron que el matorral y la selva baja caducifolia de la Región del Cabo almacenan cantidades de BA mayores a las reportadas hasta ahora por el INF. Sin embargo, se demostró que el uso de ecuaciones alométricas específicas y la inclusión de los individuos de talla menor en los cálculos son alternativas efectivas para disminuir el nivel de

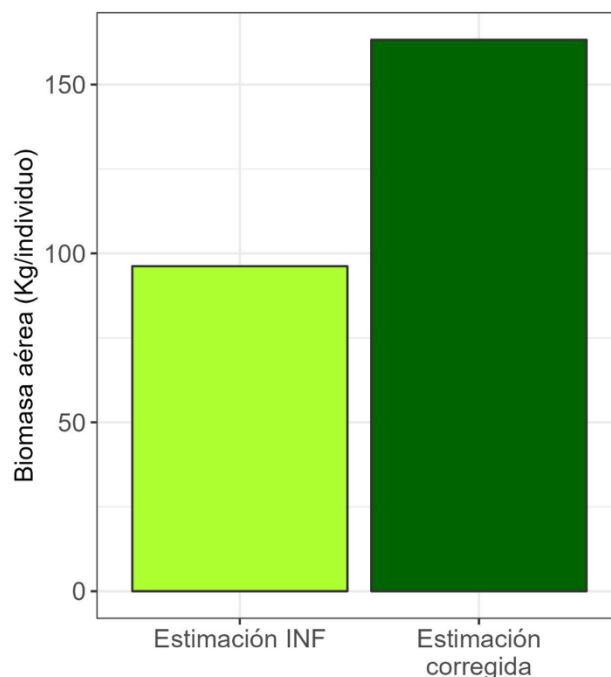


Figura 3. Gráfica de barras que muestra el incremento de la BA promedio de las cactáceas columnares (*Pachycereus* spp.) al realizar la estimación con la ecuación alométrica específica. (Gráfica: Luis A. Hernández-Martínez).

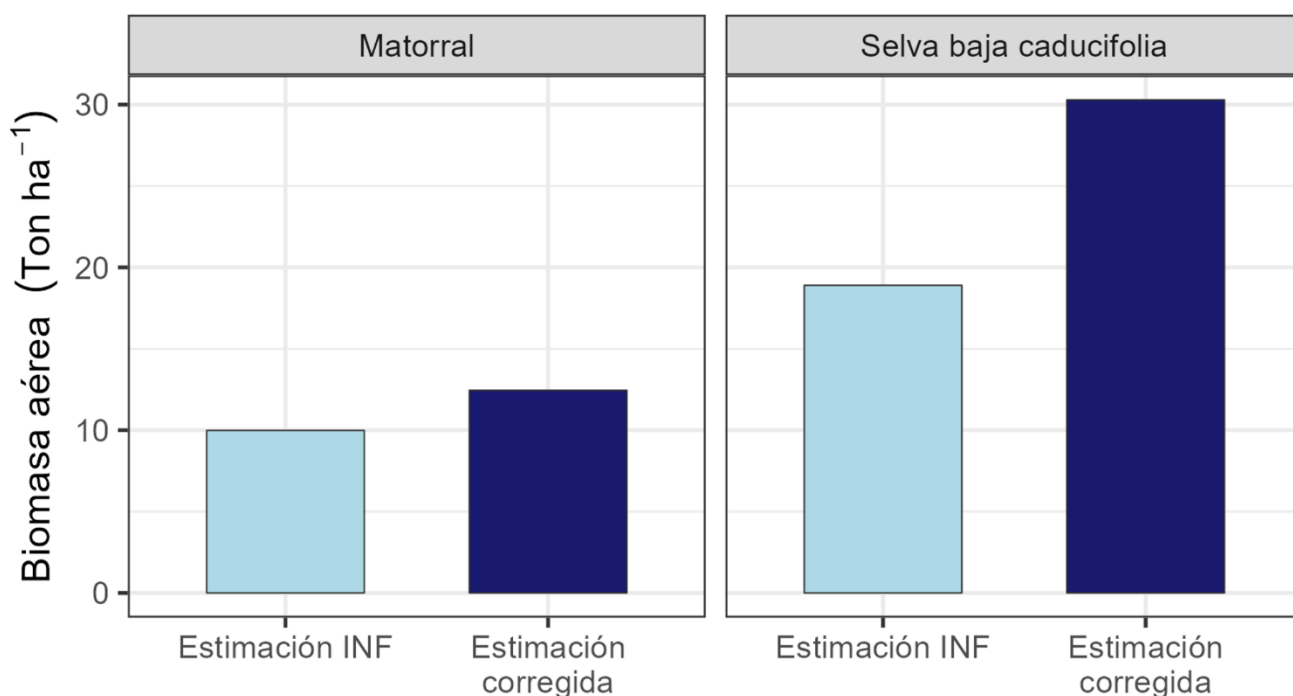


Figura 4. Gráfica de barras que muestra el incremento de la BA promedio del matorral y la selva baja caducifolia de la Región del Cabo al incluir el aporte de los individuos de talla menor a través de los factores de corrección. (Gráfica: Luis A. Hernández-Martínez).

subestimación. Tomando en cuenta que las zonas áridas cubren más de la mitad del territorio de México, realizar dichos ajustes metodológicos debería ser prioritario en los inventarios que se realicen en el futuro. Estas mejoras permitirán conocer de forma más precisa el aporte de la vegetación de las zonas áridas (particularmente de las cactáceas) y desmentir el mito que las define como áreas de bajo aporte al almacenamiento de C. Así mismo, favorecerán el diseño e implementación de estrategias de conservación o restauración de áreas degradadas.

Referencias

- Briones O., Búrquez A., Martínez-Yrizar A., Pavón N., & Perroni Y. 2018. Biomass and productivity in mexican arid lands. *Madera y Bosques* 24.
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401898>
- Búrquez A., Martínez-Yrizar A., Núñez S., Quintero T., & Aparicio A. 2010. Above-ground biomass in three Sonoran Desert communities: Variability within and among sites using replicated plot harvesting. *Journal*



of Arid Environments 74: 1240-1247.

<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.04.004>

Hernández-Martínez L.A., Dupuy-Rada J.M., Medel-Narváez A., Portillo-Quintero C., & Hernández-Stefanoni J.L. 2025. Improving aboveground biomass density mapping of arid and semi-arid vegetation by combining GEDI LiDAR, Sentinel-1/2 imagery and field data. *Science of Remote Sensing* 11.

<https://doi.org/10.1016/j.srs.2025.100204>

Hernández-Stefanoni J.L., Castillo-Santiago M.Á., Mas J.F., Wheeler C.E., Andres-Mauricio J., Tun-Dzul F., George-Chacón S.P., Reyes-Palomeque G., Castellanos-Basto B., Vaca R., & Dupuy J.M. 2020. Improving aboveground biomass maps of tropical dry forests by integrating LiDAR, ALOS PALSAR, climate and field data. *Carbon Balance and Management* 15: 1–17.

<https://doi.org/10.1186/s13021-020-00151-6>

Pan Y., Birdsey R.A., Fang J., Houghton R.,

Kauppi P.E., Kurz W.A., Phillips O.L., Shvidenko A., Lewis S.L., Canadell J.G., Ciais P., Jackson R.B., Pacala S.W., McGuire A.D., Piao S., Rautiainen A., Sitch S., & Hayes D. 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science* 333: 988–993.

<https://doi.org/10.1126/science.1201609>

Rodríguez-Veiga P., Quegan S., Carreiras J., Persson H.J., Fransson J.E.S., Hoscilo A., Ziolkowski D., Stereńczak K., Lohberger S., Stängel M., Berninger A., Siegert F., Avitabile V., Herold M., Mermoz S., Bouvet A., Le Toan T., Carvalhais N., Santoro M., Cartus O., Rauste Y., Mathieu R., Asner G.P., Thiel C., Pathe C., Schmullius C., Seifert F.M., Tansey K., & Balzter H. 2019. Forest biomass retrieval approaches from earth observation in different biomes. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 77: 53–68.

<https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.12.008>

Desde el Herbario CICY, 17: 226-231 (2-octubre-2025), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Germán Carnevali, Patricia Rivera Pérez y José Luis Tapia Muñoz. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 2 de octubre de 2025. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.