

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 12, número 3; 2024

Estimación del valor de carbono almacenado en función de dos métodos de muestreo en bosques de pino del estado de Chihuahua, México

Estimation of carbon stored value based on two sampling methods in pine forests of the state of Chihuahua, Mexico

Estimativa do valor do carbono armazenado com base em dois métodos de amostragem em florestas de pinheiros do estado de Chihuahua, México

Viridiana Sugely Galvoán-Moreno¹  , Oscar A. Aguirre-Calderón^{1*}  , Eduardo Alanís-Rodríguez¹  , Javier Jiménez-Pérez²  , Luis Gerardo Cuellar-Rodríguez¹  ,
Gerónimo Quiñonez-Barraza²  , Joel Rascón-Solano³ 

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

²Instituto Nacional de Investigación Forestal y Agropecuaria, Campo Experimental del Valle de Guadiana (INIFAP-CEVAG), Km 4,5 Carretera Durango-Mezquital, 34170, Durango, Durango, México.

³Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Km 2,5 Carretera Delicias-Rosales, 33000, Delicias, Chihuahua, México.

*Autor por correspondencia: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx



Recibido: 10/06/2024.

Aprobado: 14/08/2024.

RESUMEN

El estudio se realizó en el predio particular "La Lobera", localizado en el municipio de Guachochi al suroeste del estado de Chihuahua, México, con el objetivo de contrastar las estimaciones del contenido de carbono almacenado en un bosque irregular en relación a dos métodos de muestreo empleados, se realizaron 50 sitios de dimensión fija y 50 de variable con el muestreo angular de Bitterlich en puntos muestrales coincidentes. La estimación de carbono equivalente difiere en 66,42 toneladas métricas por hectárea, donde el método de Bitterlich presenta el valor más alto. En cuanto al incremento corriente anual, expresado en porcentaje, no se presentaron diferencias entre métodos; sin embargo, el ICA de carbono equivalente difiere en 4,40 toneladas métricas por hectárea, donde el método de Bitterlich presenta el valor más alto, sobreestimando los valores.

Palabras clave: bonos de carbono, Bitterlich, área fija, métodos de muestreo.

ABSTRACT

The study was carried out in the private property "La Lobera", located in the municipality of Guachochi in the southwest of the state of Chihuahua, México, with the objective of contrasting the estimates of the carbon content stored in an irregular forest in relation to two sampling methods used 50 sites of fixed dimension and 50 of variable were made with Bitterlich angular sampling at coincident sampling points. The carbon equivalent estimate differs by 66.42 metric tons per hectare, where the Bitterlich method presents the highest value. Regarding the current annual increase, expressed as a percentage, there were no differences between methods; however, the ICA of equivalent carbon differs by 4.40 metric tons per hectare, where the Bitterlich method presents the highest value, overestimating the values.



Keywords: carbon credits, Bitterlich, fixed area, sampling methods.

RESUMO

O estudo foi realizado na propriedade privada "La Lobera", localizada no município de Guachochi, no sudoeste do estado de Chihuahua, México, com o objetivo de contrastar as estimativas do conteúdo de carbono armazenado em uma floresta irregular em relação a dois métodos de amostragem utilizados em 50 locais de dimensão fixa e 50 de dimensão variável, com amostragem angular de Bitterlich nos pontos de amostragem coincidentes. A estimativa do equivalente de carbono difere em 66,42 toneladas métricas por hectare, onde o método de Bitterlich apresenta o valor mais alto. Em relação ao aumento anual atual, expresso em percentagem, não houve diferenças entre os métodos; no entanto, o ICA do carbono equivalente difere em 4,40 toneladas métricas por hectare, onde o método de Bitterlich apresenta o valor mais alto, superestimando os valores.

Palavras-chave: créditos de carbono, Bitterlich, área fixa, métodos de amostragem.

INTRODUCCIÓN

En el mundo el área total de los bosques para el año 2020 era de 4.060 millones de hectáreas (ha), que corresponde a 31 % de la superficie total de la tierra (FAO, 2020). Estos Bosques son grandes generadores de oxígeno e imanes de dióxido de carbono (CO₂) al fijarlo en los suelos y eliminarlo de la atmósfera, debido a que las tierras forestales capturan 188 millones de toneladas de CO₂ (CONAFOR, 2019).

La creciente preocupación internacional por las consecuencias nocivas del cambio climático ha animado a organizaciones e instituciones a profundizar en el conocimiento de los gases de efecto invernadero y su dinámica. Al conocer la huella de carbono permite controlar, reducir o mitigar las emisiones y sus efectos, y cada vez se reconoce más su alcance para el comercio de bienes y servicios, especialmente a nivel internacional y entre los países



participantes, para reducir las emisiones que firmaron el Protocolo de Kyoto (Schneider y Samaniego, 2010).

De acuerdo con Vázquez (2011), Castillo-Elías *et al.* (2018), Frelich (2020) y Hilmers *et al.* (2020), "bonos de carbono" es el nombre genérico con el que se denomina a una serie de instrumentos económicos y de mercado, creados para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). López-Toache *et al.* (2016), mencionan que el mercado de bonos de carbono es uno de los mecanismos que utiliza la economía ambiental para tratar de mitigar las emisiones de GEI a nivel mundial.

Por su parte, México comenzó a tener un papel desde 1998, pero no fue hasta el 23 de octubre del año 2008, donde a partir de la reforma energética aprobada se le dio al país la importancia en el mercado de bonos de carbón. Vázquez (2011) hace mención que, desde dicho año, México ocupa el 4º lugar mundial, con la participación del 3 %. El Protocolo de Kyoto, dio apertura a las oportunidades de la industria mexicana que emite a la atmósfera GEI, al reducir la contaminación con una inversión propia e inclusive menor, y a la vez ser eficiente, mediante la modernización de los procesos productivos. Las toneladas almacenadas son compradas por empresas de países industrializados mediante los bonos de carbono, esto permite a las empresas de los países desarrollados compensar sus emisiones de GEI de tal manera que evitan sanciones económicas, y los países en desarrollo obtienen recursos para modernizar sus procesos industriales. En México, la venta de bonos de carbono es una práctica cada vez más común en el sector empresarial. El país cuenta con diversos proyectos de reducción de emisiones de GEI, que generan créditos de carbono que pueden ser vendidos en el mercado internacional.

El almacenamiento neto de carbono orgánico en los bosques depende del manejo, la edad, la distribución del tamaño, la estructura y la composición de la vegetación. Una adecuada evaluación de la biomasa forestal es un factor muy importante porque permite determinar el potencial de carbono que se puede almacenar en la superficie de la vegetación natural (bosques y selvas) y seguir estrategias o compromisos institucionales de mitigación (Rincón-Ruíz, *et al.*, 2014)



Obtener una estimación correcta de la biomasa forestal, y, por ende, de la cantidad de carbono secuestrado es de suma importancia, para determinar la cantidad de ese elemento que podría liberarse a la atmósfera en forma de dióxido de carbono, y así contribuir a aumentar la cantidad de gases de efecto invernadero; o, por lo contrario, conocer la cantidad que se encuentra almacenada cuando se busca que el bosque mitigue los efectos de esos gases (Schlegel 2001; López-Toache *et al.*, 2016).

En este sentido, los atributos del inventario forestal son una fuente importante de información para una variedad de propósitos de manejo forestal estratégicos y tácticos (Brososke *et al.*, 2013; Goodbody *et al.*, 2017; Vandendaele *et al.*, 2021). Sin embargo, los métodos para estimar el contenido de carbono se han limitado a muestreo de área fija los cuales tienden a ser costosos e involucran tiempos considerables para el registro total de los datos. Por tal motivo, los métodos para el procesamiento de datos de las estimaciones de carbono almacenado deben ser de fácil ejecución y ser aplicables a los diferentes tipos de ecosistema, de tal forma que permitan comparaciones entre sí. Por esto, el objetivo del estudio fue contrastar las estimaciones del contenido de carbono almacenado en un bosque irregular en relación a dos métodos de muestreo empleados en un predio en el noroeste de México en el municipio de Guachochi, Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realizó en el predio particular "La Lobera", cuenta con una superficie de 200 ha, de las cuales 145 ha son arboladas y bajo producción maderable, el predio se localiza en el municipio de Guachochi al suroeste del estado de Chihuahua, en la región de la Sierra Madre Occidental, sus coordenadas geográficas extremas son 26°36' - 27°42' de latitud norte y 106°49' - 107°51' de longitud oeste (Figura 1).



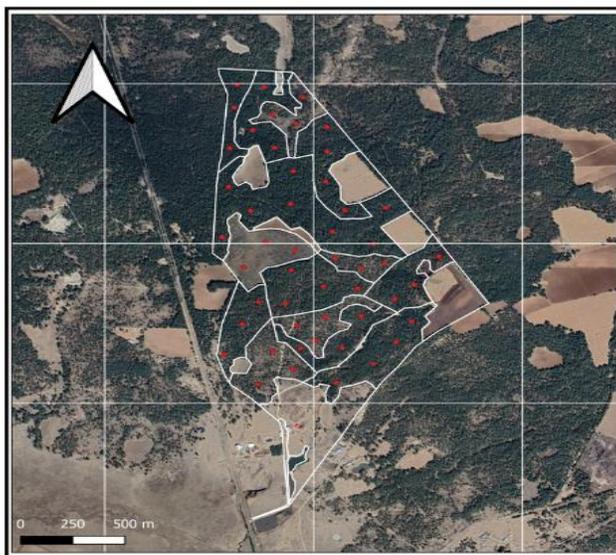


Figura 1. - Ubicación geográfica del área de estudio

Métodos de muestreo forestal

a) Método de Bitterlich

El método se basa en el postulado de Bitterlich que de acuerdo con (Finger, 1992), el número de árboles de un rodal, cuyos diámetros a la altura del pecho ($D_{1,30m}$), a partir de un punto fijo, son superiores a un valor angular alfa constante, es proporcional al área basal en metros cuadrados por hectárea. Según Pardé (1956), referir un número pequeño o grande de árboles, se compone en una fuente de error en la estimación del área basal por hectárea. Bitterlich (1984) menciona que el factor apropiado es aquel que cuenta de 20 a 30 árboles por unidad de muestreo (giro de 360°).

b) Método de Área Fija.

En este método la selección de los individuos se efectúa de forma proporcional a la superficie de la unidad mínima de manejo y, a su vez, por la frecuencia de los individuos que se encuentran al interior de la misma. La forma y tamaño de la unidad de muestreo constituyen las variables fundamentales para evaluar la aplicación práctica de este método (Péllico-Netto y Brena, 1997). La forma y el tamaño de las unidades de muestreo están



definidas, por lo general, por la practicidad y dificultad de operación para la determinación de la composición florística, densidad, delimitación y ubicación en el campo, que por cualquier otra argumentación.

Procedimientos metodológicos

En el área de estudio se establecieron 50 sitios de dimensiones variables de Bitterlich y 50 sitios circulares de 1.000 m² con un método de muestreo sistemático con una intensidad de muestreo de 3,45 %, una confiabilidad del 95 % y un error muestral del 5 %. Se registraron los datos dasométricos de la especie, diámetro normal y altura total de cada uno de los individuos, en los sitios de dimensión variable se utilizó el factor cuatro con el relascopio de Bitterlich. Estos datos se recabaron para determinar biomasa y de ella derivar el valor de carbono almacenado, así como la precisión estadística de cada método de muestreo en función de las existencias reales, se comparó la estimación de número de árboles por hectárea (N arb ha⁻¹), área basal por hectárea (G) y volumen por hectárea (Vol m³ ha⁻¹).

Se calculó el número de árboles por hectárea (N arb ha⁻¹) para sitios circulares con la siguiente relación Ecuación 1:

$$N \text{ arb ha}^{-1} = \frac{\sum N \text{ arb}_i}{M} * 10 \quad (1)$$

Donde:

N arb ha⁻¹ = Número de árboles por hectárea.

N arb_i = Número de árboles del sitio _i.

M = Número de sitios.

La estimación de área basal por hectárea (G) fue realizada con el siguiente procedimiento Ecuación 2:

$$G = \frac{\sum g_i \text{ (m}^2\text{)}}{M} * 10 \quad (2)$$

Donde:



G = Área basal en metros cuadrados por hectárea.

g_i (m^2) = Área basal del sitio i expresada en metros cuadrados.

M = Número de sitios.

El volumen individual (m^3) fue determinado mediante la ecuación desarrollada por el modelo biométrico de UMAFOR-0807 (CONAFOR - Gobierno de Chihuahua - UMAFOR 0807, 2014), la cual se presenta a continuación Ecuación 3:

$$VTA = \beta_0 * (d_{1,30}^{\beta_1}) * (H^{\beta_2}) + \beta_3 * (d_{1,30}^2) \quad (3)$$

Donde:

VTA m^3 ha $^{-1}$ = Volumen Total en m^3 por hectárea.

VTA $_i$ = Volumen Total Árbol del sitio i .

\hat{a} = Parámetro de estimación de volumen.

$D_{1,30m}$ = Diámetro.

La estimación de biomasa y contenido de carbono se obtuvo con la siguiente Ecuación 4:

$$B = \exp(x) (d_{1,30})^y \quad (4)$$

Donde:

x = Parámetro de Variable dependiente

y = Parámetro Variable independiente

$D_{1,30m}$ = Diámetro normal

El contenido de carbono se obtuvo multiplicando el valor de la biomasa por el factor de conversión 0,50 sugerido por el IPCC (1996). Cada tonelada de carbono almacenado se multiplicó por el factor de expansión del carbono indicado por el IPCC de 3,67.



Materiales y equipos utilizados

Los datos dasométricos para el estudio se tomaron a cada uno de los individuos, la base de datos la constituye el arbolado a los que se les midió el diámetro ($D_{1,30m}$) \geq a 7,6 cm con Forcípula Haglöf® de 90 cm y la altura total con un hipsómetro Suunto® PM5-1520. Adicionalmente se registró la especie a la que pertenece cada individuo. Para la estimación de área basal en los sitios de dimensiones variables se utilizó el Relascopio de Bitterlich.

Procedimientos estadísticos

El paquete estadístico IBM-SPSS® versión 25 se empleó para detectar diferencias estadísticas en las estimaciones de ambos métodos de muestreo, se evaluó la igualdad de varianzas con la prueba de F ($P < 0,05$). Se realizaron análisis de varianza paramétricos y no paramétricos ($P < 0,05$) para determinar las diferencias entre métodos con respecto a las variables número de árboles por hectárea, área basal por hectárea, volumen total por hectárea y carbono equivalente por hectárea. Se empleó la prueba de separación de medias de Duncan para identificar los subrodales que presentaron similitud en relación al método de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La diferencia en el número de árboles por hectárea estimado por los métodos es significativa en dos subrodales el 14 y 23, de acuerdo con los resultados de las cincuenta unidades de muestra establecidas. Estos valores indican que a pesar de que en los otros subrodales las estimaciones sean semejantes en cuanto al número estimado de árboles por hectárea, la distribución irregular del arbolado podrá generar un efecto en el cálculo preciso de densidad (Figura 2a).

La Figura 2b muestra que la distribución de los árboles, diámetro de los mismos y densidad de la masa, generan variabilidad en la estimación de área basal por hectárea entre sitios de muestreo con diferencias significativas en los subrodales 8, 14 y 23. Se han realizado estudios buscando determinar cuál es el mejor factor de área basal en plantaciones de *Pinus spp.*,



donde Gorenstein (2002) indica que no encontró diferencias significativas entre los factores de área basal (FAB) 1, 2 y 4 probados en dicho estudio. Al usar un factor de área basal pequeño en un punto de muestreo específico se contará con un número grande de árboles, cuyo diámetro normal será mayor que el ángulo proyectado, lo cual complica el trabajo de campo. Banyard (1976) recomienda emplear un FAB grande para contar pocos árboles por parcela de área variable; sin embargo, esto implica menor precisión en la estimación. Brack y Wood (1998) recomiendan contar entre 7 y 12 árboles por punto de parcela variable. Una vez seleccionado el FAB adecuado, se debe utilizar el mismo valor en cada parcela de área variable (Biterlich, 1984).

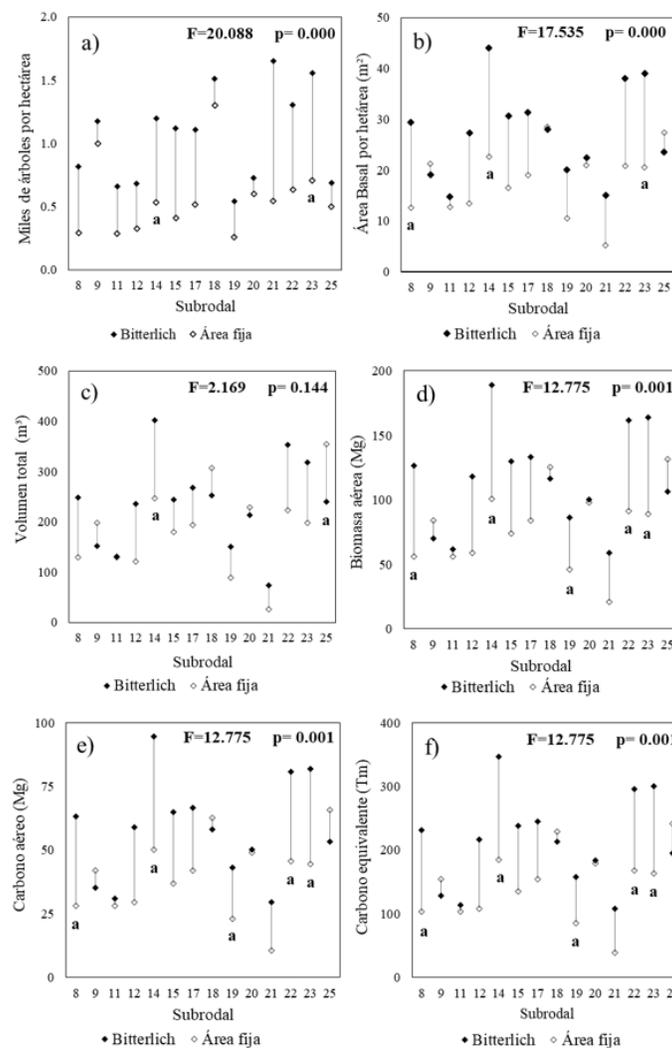


Figura 2. - Contraste de resultados de los métodos de muestreo de los subrodales analizados



La diferencia en volumen total árbol por hectárea estimado en el método de dimensión fija no es significativa ($P = 0,144$) como muestra la Figura 2c; debido en parte a que en los sitios de dimensiones variables se toma un árbol de referencia con características dasométricas representativas del punto de muestreo; y por su parte, los sitios de dimensiones fijas toman en cuenta el volumen individual de los árboles presentes en el área de muestra, en este sentido las dimensiones del árbol representativo en el sitio de dimensiones variable fueron muy próximas a las dimensiones del arbolado muestreado en los sitios de dimensión fija. Por su parte la Figura 2d muestra diferencias significativas en las estimaciones de biomasa aérea en relación a los métodos de muestreo empleado. Las principales diferencias estadísticas se relacionan con los sitios de muestreo que presentaron desigualdad en cuanto a área basal y volumen. Lo anterior se debe principalmente a que la estimación de biomasa se realiza a partir de una estimación de diámetro normal, variable que presenta diferencias significativas entre los métodos de muestreo. Por su parte las Figuras 2e y 2f, presentan diferencias significativas entre métodos de muestreo debido a que son estimaciones que se derivan de la biomasa aérea.

Como se muestra en la Figura 3a el ICA (%) no presentan una diferencia significativa entre métodos, solo dos sitios mostraron diferencias estadísticas ($p = 0,663$), lo cual se debe principalmente a las diferencias encontradas en la edad e incremento de los árboles seleccionados. Por su parte, el ICA (Volumen) sí muestra diferencias significativas, este resultado es derivado de las estimaciones de volumen realizadas en el estudio (Figura 3b), al presentarse diferencias entre métodos en el volumen por hectárea se presentarán desigualdades en las estimaciones de ICA (Volumen). Por otra parte, las Figuras 3c y 3d muestran que existen diferencias significativas en las estimaciones de carbono almacenado y carbono equivalente respectivamente. Como se mencionó anteriormente, estas estimaciones están altamente relacionadas con el diámetro medio y la distribución de diámetros registrados en los sitios de muestreo.



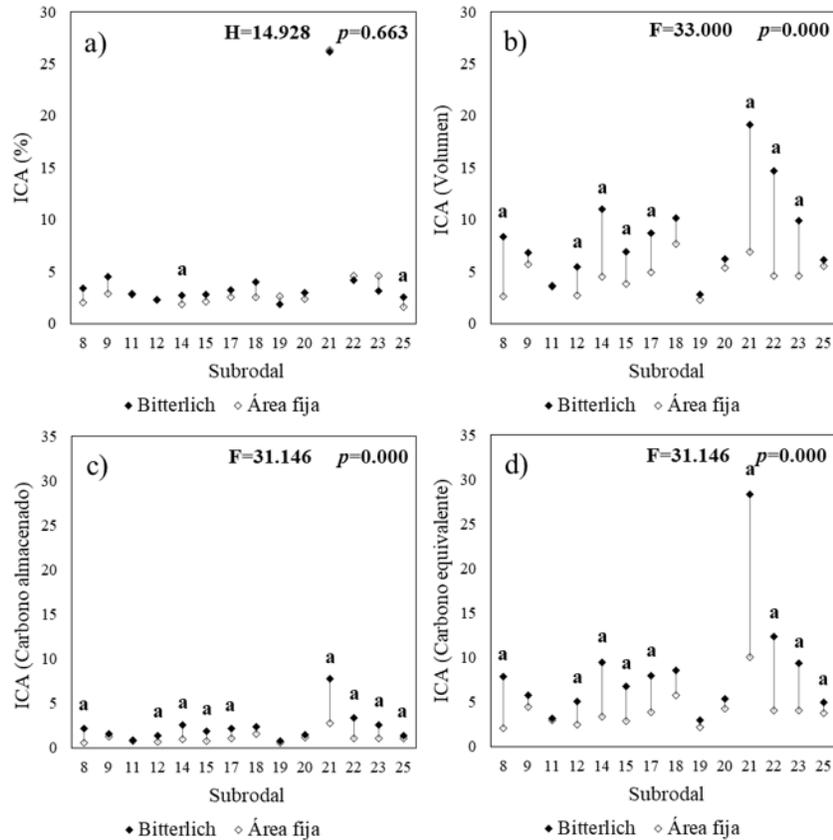


Figura 3. - Estimaciones y contraste de incremento de volumen y carbono almacenado por subrodal.

En cuanto a los créditos de carbono se encontró que el método de muestreo de dimensiones variables presenta ingresos desde 348,24 hasta 3.614,64 dólares por año, en relación al incremento corriente anual estimado y la superficie de los rodales como se muestra en la Tabla 1. En este sentido, los ingresos están relacionado principalmente con la capacidad de crecimiento y densidad que presenta el bosque, por ejemplo, el rodal número 21 está constituido por una masa pura de *Pinus arizonica* Engelm. plantada en el año 2009 (13 años al momento del muestreo) con una densidad de 1 111 arb ha⁻¹, debido a ser una masa joven los incrementos tienden a ser mayores en relación a las masas maduras. Finalmente, los ingresos percibidos por la venta de bonos de carbono empleando este método de muestreo se estiman en 14.800,80 dólares anualmente respecto a la superficie arbolada del predio.



Tabla 1.- Valor de carbono estimado para predio La Lobera. Primera sección de la tabla refiere resultados del método dimensión variable y segunda parte de la tabla refiere a resultados del método de dimensión fija. ICA: Incremento Corriente Anual; ICAcareq: ICA de carbono equivalente; dlls: Dólares americanos; M.N.: Moneda Nacional de México

Rodal	Superficie (ha)	ICA (%)	ICAcareq (ton)	ICAcareq/rod (ton)	Valor dlls (\$)	Valor M.N. (\$)
8	3,90	3,37	7,82	30,49	365,88	6.951,72
9	5,34	4,49	5,78	30,87	370,44	7.038,36
11	6,08	2,76	3,13	19,06	228,72	4.345,68
12	7,01	2,31	5,02	35,20	422,40	8.025,60
14	8,13	2,73	9,48	77,07	924,84	17.571,96
15	8,44	2,82	6,72	56,69	680,28	12.925,32
17	8,96	3,24	7,92	70,95	851,40	16.176,60
18	9,69	4,01	8,57	83,01	996,12	18.926,28
19	9,97	1,84	2,91	29,02	348,24	6.616,56
20	10,32	2,92	5,37	55,42	665,04	12.635,76
21	10,65	26,13	28,28	301,22	3.614,64	68.678,16
22	13,16	4,17	12,36	162,65	1.951,80	37.084,20
23	13,97	3,11	9,35	130,64	1.567,68	29.785,92
25	30,30	2,55	4,99	151,11	1.813,32	34.453,08
Total	145,92	4,75	8,41	1.233,40	14.800,80	281.215,20
8	3,90	2,02	2,08	8,12	97,44	1.851,36
9	5,34	2,89	4,46	23,82	285,84	5.430,96
11	6,08	2,83	2,93	17,78	213,36	4.053,84
12	7,01	2,26	2,45	17,15	205,80	3.910,20
14	8,13	1,82	3,35	27,23	326,76	6.208,44
15	8,44	2,13	2,89	24,38	292,56	5.558,64
17	8,96	2,53	3,89	34,89	418,68	7.954,92



18	9,69	2,50	5,75	55,69	668,28	12.697,32
19	9,97	2,58	2,19	21,82	261,84	4.974,96
20	10,32	2,34	4,22	43,50	522,00	9.918,00
21	10,65	26,30	10,05	107,50	1.290,00	24.510,00
22	13,16	4,56	4,02	100,86	1.210,32	22.996,08
23	13,97	4,56	4,02	104,13	1.249,56	23.741,64
25	30,30	1,56	3,78	114,39	1.372,68	26.080,92
Total	145,92	4,35	4,01	701,26	8.415,12	159.887,28

Por su parte, el método de muestreo de área fija indica que el ingreso mínimo a percibir es de 97,44 dólares, mientras que el mayor ingreso esperado es por 1.372,68 dólares por año. Los resultados anteriores están relacionados principalmente con la densidad de los rodales y las estimaciones de biomasa realizada. Los rodales que presentan menor densidad y menores valores de biomasa son los que cuentan con los ingresos inferiores. Adicionalmente, se encontró que en este método la superficie del rodal es significativamente importante, debido a que los rodales de mayor extensión también son los que representan los mayores ingresos. De acuerdo con las estimaciones realizadas, al emplear este método de muestreo sería posible percibir un ingreso anual de 8.415,12 dólares por concepto de venta de bonos de carbono.

Si bien, reportes de Kenning *et al.* (2005), Kiani *et al.* (2013), Kuliešis *et al.* (2016), Mirzaei y Bonyad (2016), Vidal *et al.* (2016), Lupi *et al.* (2017), Basiri *et al.* (2018), Mora-Espinoza *et al.* (2020), Pucher *et al.* (2022), Galván-Moreno *et al.* (2023) y Leiter y Hasenauer (2023), afirman que ambos métodos de muestreo son confiables para realizar estimaciones de densidad, área basal y volumen, es necesario realizar análisis más robustos que permitan definir la eficiencia de aplicación de estos métodos en bosques incoetáneos y heterogéneos para realizar estimaciones dasométricas, ecológicas y de carbono. Estos análisis deben emplear un elemento de referencia absoluto, como lo puede ser un censo o parcelas de monitoreo



silvícola, de tal manera que sea posible contrastar su precisión y adaptabilidad a las diversas condiciones de los bosques mexicanos en producción maderable.

CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas en relación a las estimaciones del contenido de carbono almacenado, en el predio La Lobera, entre dos métodos de muestreo empleados.

La estimación de carbono equivalente difiere en 66,42 toneladas métricas por hectárea, donde el método de Bitterlich presenta el valor más alto.

El incremento corriente anual no presentó diferencias entre métodos; sin embargo, el ICA de carbono equivalente difiere en 4,40 toneladas métricas por hectárea para el método de Bitterlich.

Emplear el método de Bitterlich sobreestimaría los ingresos obtenidos por concepto de venta de bonos de carbono para bosques irregulares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) de México por la beca otorgada al primer autor para realizar sus estudios de Doctorado en Ciencias con énfasis en Manejo de Recursos Naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANYARD, S.G. y BANYARD, S.G., 1975. A comparison between point sampling and plot sampling in tropical rain forest based on a concept of the equivalent relascope plot size. Commonwealth Forestry Review [en línea], vol. 54, no. 3/4, [consulta: 17 septiembre 2024]. Disponible en: <https://eurekamag.com/research/000/269/000269351.php>.



- BASIRI, R., MORADI, M., KIANI, B. y BABAARABI, M.M., 2018. Evaluation of distance methods for estimating population density in *Populus euphratica* Olivier natural stands (case study: Maroon riparian forests, Iran). *Journal of Forest Science* [en línea], vol. 64, no. 5, [consulta: 17 septiembre 2024]. Disponible en: <https://ideas.repec.org//a/caa/jnljfs/v64y2018i5id146-2017-jfs.html>.
- BITTERLICH, W., 1984. *The Relascope Idea: Relative Measurements in Forestry* [en línea]. S.l.: Commonwealth Agricultural Bureaux. ISBN 978-0-85198-539-8. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/The_Relascope_Idea.html?id=7DfxAA AAMAAJ&redir_esc=y.
- BRACK, C.L. y WOOD, G.B., 1998. Forest Mensuration - Measuring trees, stands and forests for effective forest management. *Revista Forestal (Costa Rica)*.
- BROSOFSKE, K.D., FROESE, R.E., FALKOWSKI, M.J. y BANSKOTA, A., 2014. A Review of Methods for Mapping and Prediction of Inventory Attributes for Operational Forest Management. *Forest Science* [en línea], vol. 60, no. 4, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 0015-749X. DOI 10.5849/forsci.12-134. Disponible en: <https://doi.org/10.5849/forsci.12-134>.
- CASTILLO ELÍAS, B., GERVACIO JIMÉNEZ, H., BEDOLLA SOLANO, R., CASTILLO ELÍAS, B., GERVACIO JIMÉNEZ, H. y BEDOLLA SOLANO, R., 2018. Estructura forestal de una zona de manglar en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero. *Revista mexicana de ciencias forestales* [en línea], vol. 9, no. 45, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/rmcf.v9i45.140. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322018000100066&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- CONAFOR, 2019. *Bosques y Cambio Climático. Comisión Nacional Forestal*. [en línea]. 2019. S.l.: CONAFOR. Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/bosques-y-cambio-climatico-23762>.



FAO, 2020. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 Principales resultados*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [en línea]. 2020. S.l.: FAO. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/ca8753es>.

FINGER, C.G., 1992. *Fundamentos de biometría forestal*. Rio Grande do Sul, Brasil: Universidad Federal de Santa María.

FRELICH, L.E., 2020. . Boreal and Taiga Biome. En: M.I. GOLDSTEIN y D.A. DELLA SALA, (eds.), *Encyclopedia of the World's Biomes* [en línea]. S.l.: Elsevier, pp. 103-115. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11926-8>.

GALVÁN-MORENO, V.S., OLIVAS-GARCÍA, J.M., RASCÓN-SOLANO, J. y HERNÁNDEZ-SALAS, J., 2023. Evaluation of two sampling methods for even-age Pinus forest in northern Mexico. *Notulae Scientia Biologicae* [en línea], vol. 15, no. 2, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 2067-3264. DOI 10.55779/nsb15211564. Disponible en: <https://www.notulaebiologicae.ro/index.php/nsb/article/view/11564>.

GOODBODY, T.R.H., COOPS, N.C., MARSHALL, P.L., TOMPALSKI, P. y CRAWFORD, P., 2017. Unmanned aerial systems for precision forest inventory purposes: A review and case study. *The Forestry Chronicle* [en línea], vol. 93, no. 01, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 0015-7546. DOI 10.5558/tfc2017-012. Disponible en: <https://pubs.cif-ifc.org/doi/10.5558/tfc2017-012>.

HILMERS, T., BIBER, P., KNOKE, T. y PRETZSCH, H., 2020. Assessing transformation scenarios from pure Norway spruce to mixed uneven-aged forests in mountain areas. *European Journal of Forest Research* [en línea], vol. 139, no. 4, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 1612-4677. DOI 10.1007/s10342-020-01270-y. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01270-y>.



IPCC, G. G., M., y IPCC, 1996. Chapter 5: Land Use Change and Forestry. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Revised Version*. [en línea]. London, United Kingdom: IPCC, pp. 57. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/>.

KENNING, R.S., DUCEY, M.J., BRISSETTE, J.C. y GOVE, J.H., 2005. Field efficiency and bias of snag inventory methods. *Canadian Journal of Forest Research* [en línea], vol. 35, no. 12, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 0045-5067. DOI 10.1139/x05-207. Disponible en: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/x05-207>.

KIANI, B., FALLAH, A., TABARI, M., HOSSEINI, S.M. y PARIZI, M.-H., 2013. A comparison of distance sampling methods in Saxaul (*halloxydon ammodendron* C.A. Mey Bunge) Shrub-Lands. *Polish Journal of Ecology* [en línea], vol. 61, no. 2, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286231022_A_comparison_of_distance_sampling_methods_in_Saxaul_halloxydon_ammmodendron_CA_Mey_Bunge_Shrub_Lands.

KULIEŠIS, A., TOMTER, S.M., VIDAL, C. y LANZ, A., 2016. Estimates of stem wood increments in forest resources: comparison of different approaches in forest inventory: consequences for international reporting: case study of European forests. *Annals of Forest Science* [en línea], vol. 73, no. 4, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 1297-966X. DOI 10.1007/s13595-016-0559-0. Disponible en: <https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-016-0559-0>.

LEITER, M. y HASENAUER, H., 2023. Continuous cover forestry: Which sampling method should be used to ensure sustainable management? *Trees, Forests and People* [en línea], vol. 13, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 2666-7193. DOI 10.1016/j.tfp.2023.100419. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666719323000511>.

LÓPEZ-TOACHE, V., ROMERO-AMADO, J., TOACHE-BERTTOLINI, G. y GARCÍA-SÁNCHEZ, S., 2016. Bonos de carbono: financiarización del medioambiente en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*



[en línea], vol. 25, no. 47, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN , 2395-9169. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41744004008>.

LUPI, C., LAROCQUE, G.R., DESROCHERS, A., LABRECQUE, M., MOSSELER, A., MAJOR, J., BEAULIEU, J., TREMBLAY, F., GORDON, A.M., THOMAS, B.R., VÉZINA, A., BOUAFIF, H., CORMIER, D., SIDDEERS, D. y KRYGIER, R., 2017. Biomass from young hardwood stands on marginal lands: Allometric equations and sampling methods. *Biomass and Bioenergy* [en línea], vol. 98, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 0961-9534. DOI 10.1016/j.biombioe.2017.01.023. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195341730048X>.

MIRZAEI, M. y BONYAD, A.E., 2016. Comparison of fixed area and distance sampling methods in open forests: case study of Zagros Forest, Iran. *Journal of Forestry Research* [en línea], vol. 27, no. 5, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 1993-0607. DOI 10.1007/s11676-016-0239-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0239-9>.

MORA-ESPINOZA, J.A., PEÑALVER-ROMEO, A., AGUILAR-TORRES, F.J., RIVAS-BARZOLA, J.R., TRIANA-TOMALÁ, Á., MORA-ESPINOZA, J.A., PEÑALVER-ROMEO, A., AGUILAR-TORRES, F.J., RIVAS-BARZOLA, J.R. y TRIANA-TOMALÁ, Á., 2020. Método de muestreo angular para el inventario de plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L. f.). *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente* [en línea], vol. 26, no. 3, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 2007-4018. DOI 10.5154/r.rchscfa.2019.11.081. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-40182020000300419&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

PARDE, J., 1956. Un appareil révolutionnaire: le relascope à mirar de Bitterlich. *Revue Forestière Française*. *Revue Forestière Française* [en línea], Disponible en: <https://hal.science/hal-03383800/document>.

PÉLLICO-NETTO, S. y BRENA, D.A., 1997. *Inventario Forestal*. S.l.: Curitiba: UFD-UFSM,



PUCHER, C., NEUMANN, M. y HASENAUER, H., 2022. An Improved Forest Structure Data Set for Europe. *Remote Sensing* [en línea], vol. 14, no. 2, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/rs14020395. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/2/395>.

RINCÓN RUIZ, A., ECHEVERRY-DUQUE, M., PIÑEROS-QUICENO, A., TAPIA-CAICEDO, C., DAVID-DREWS, A., ARIAS-ARÉVALO, P. y ZULUAGA-GUERRA, P., 2014. *Valoración Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos: Aspectos Conceptuales y Metodológicos* [en línea]. S.l.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. ISBN 978-958-8889-04-7. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281243542_Valoracion_Integral_de_la_Biodiversidad_y_los_Servicios_Ecosistemicos_Aspectos_Conceptuales_y_Metodologicos.

UMAFOR 0807, 2014. *Sistema Biométrico*. uachochi, Chihuahua. Chihuahua, México: UMAFOR 0807, G: Comisión Nacional Forestal,

VANDENDAELE, B., FOURNIER, R.A., VEPAKOMMA, U., PELLETIER, G., LEJEUNE, P. y MARTIN-DUCUP, O., 2021. Estimation of Northern Hardwood Forest Inventory Attributes Using UAV Laser Scanning (ULS): Transferability of Laser Scanning Methods and Comparison of Automated Approaches at the Tree- and Stand-Level. *Remote Sensing* [en línea], vol. 13, no. 14, [consulta: 17 septiembre 2024]. ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/rs13142796. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/14/2796>.

VÁZQUEZ, A., 2011. El mercado de los bonos de carbono. *Revista Derecho Ambiental y Ecología*, vol. 41, no. 7,

VIDAL, C., ALBERDI, I.A., HERNÁNDEZ-MATEO, L. y REDMOND, J.J., 2016. *National Forest Inventories* [en línea]. S.l.: Springer Cham. vol. Vol. XXXII. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-44015-6>.



Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

