

# Almacenamiento de dióxido de carbono en plantaciones de especies forestales nativas bajo diferentes densidades, en el Trópico de Cochabamba

Vladimir Soria; Edwards Sanzetenea; Fimo Alemán

Escuela de Ciencias Forestales - Universidad Mayor de San Simón

*E mail:* vladimirsoriaparra@gmail.com

**Resumen.** A partir del estudio de seis especies forestales nativas, caracterizadas por un crecimiento rápido, mediano y lento, se analizó el almacenamiento de dióxido de carbono. Las especies se las tiene en una plantación del año 2005, realizada por el ex Proyecto FOMABO en el Valle de Sacta (Trópico de Cochabamba), direccionada a evaluar su estado de desarrollo, considerando tres diferentes densidades de plantación. La investigación se enfocó en cuantificar y comparar el desarrollo que presentan las especies forestales en función al volumen total, biomasa aérea total y carbono almacenado, determinado por la metodología de Dauber *et al.* (1999), la cual considera los árboles mayores a 10 cm de DAP. Se identificó el volumen total y biomasa aérea total del árbol promedio, teniendo a *palo yugo* y *verdolago de ala*, con valores de 0.76 m<sup>3</sup>, 1.04 t y 0.31 m<sup>3</sup>, 0.42 t; respectivamente; para el factor densidades, se presentaron diferencias significativas para 4\*4 y 3\*3 cuadrado superpuesto, con 0.36 m<sup>3</sup>, 0.49 t y 0.32 m<sup>3</sup>, 0.43 t, respectivamente. Para el carbono almacenado se tiene a *palo yugo* y *verdolago de ala* con 0.52 y 0.21 t/árbol, respectivamente, como promedio; para densidades se tiene diferencias significativas para 3\*3 y 4\*4 cuadrado superpuesto, con 0.24 y 0.22 t/árbol, respectivamente como promedio.

**Palabras clave:** Silvicultura; Densidad poblacional arbórea; Calentamiento global

**Summary: Carbon dioxide storage in plantations of native forest species under different densities, in the Tropic of Cochabamba.** Based on the study of six native forest species, characterized by rapid, medium and slow growth, the storage of carbon dioxide was analyzed. The species are held in a 2005 plantation, carried out by the former FOMABO Project in the Sacta Valley (Cochabamba Tropic), aimed at assessing their development status, considering three different planting densities. The research focused on quantifying and comparing the development of forest species in terms of total volume, total aerial biomass and stored carbon, determined by the methodology of Dauber *et al.* (1999), which considers trees larger than 10 cm of DAP. The total volume and total aerial biomass of the average tree was identified, having a pole yoke and wing verdolago, with values of 0.76 m<sup>3</sup>, 1.04 t and 0.31 m<sup>3</sup>, 0.42 t; respectively; for the densities factor, significant differences were found for 4 \* 4 and 3 \* 3 superimposed squares, with 0.36 m<sup>3</sup>, 0.49 t and 0.32 m<sup>3</sup>, 0.43 t, respectively. For the carbon stored there is a yoke and wing verdola with 0.52 and 0.21 t / tree, respectively, on average; for densities there are significant differences for 3 \* 3 and 4 \* 4 superimposed squares, with 0.24 and 0.22 t / tree, respectively as average.

**Keywords:** Forestry; Density of tree coverage; Global warming

## Introducción

El Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas de efecto invernadero que se encuentra de forma natural en la atmósfera, por lo que las actividades del hombre están aumentando su concentración, contribuyendo así al calentamiento global. Las emisiones de CO<sub>2</sub> se producen por la quema de combustibles (motores de automóviles, calefacción, centrales eléctricas), y procesos industriales como la quema de bosques, entre otros, por lo que el almacenamiento de CO<sub>2</sub> es una de las técnicas que se puede utilizar para reducir las emisiones (Sanzetenea 2016).

Muchos estudios han reportado que los bosques poseen un gran potencial para almacenar carbono (Dixon *et al.*, Masera *et al.*, De Jong *et al.*, citados por Pichardo *et al.* 2008).

El desarrollo forestal en varios países tropicales, y en especial en América Central, ha tenido un auge muy importante en las plantaciones forestales, promoviendo la reforestación con participación de productores individuales, comunidades y cooperativas (Ugalde 2000).

Dentro del marco institucional de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), mediante la Escuela de Ciencias Forestales (ESFOR), en el Trópico de Cochabamba (Valle de Sacta), y a través de una investigación, se efectúa un estudio en algunas plantaciones forestales, las cuales anteriormente estaban bajo el manejo del ex proyecto FOMABO, por lo que en esta incursión se evalúa la situación actual en que se encuentran las plantaciones forestales nativas, en referencia al almacenamiento de carbono. Con esta evaluación se busca aplicar los métodos técnicos de manejo, para mejorar, en contri-

bución a los estudios en el manejo forestal de seis especies nativas, bajo tres densidades distintas de plantación.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Trópico de Cochabamba, en el Valle de Sacta, cantón Icuna, provincia Carrasco, en predios de la Universidad Mayor de San Simón, en plantaciones implementadas por el ex proyecto FOMABO.

En la Figura 1 se detalla las características de las seis especies forestales consideradas en el estudio.

### *Medición de variables dasométricas*

Se levantó información cuantitativa, respecto al diámetro altura pecho (DAP), que es a 1.5 metros desde la base del árbol, altura comercial, altura primera rama y altura total, con un clinómetro y huincha métrica; estos valores correspondientes a las seis especies forestales, distribuidas en tres densidades distintas: 2\*2; 3\*3 y 4\*4 metros, en cuadrados superpuestos, con 3 repeticiones.

Para cada una de estas densidades, se tiene una superficie total de 3 hectáreas.

### *Análisis de los parámetros dasométricos*

#### **Cálculo del volumen comercial y total.**

Para el cálculo del volumen comercial y total de las seis especies forestales nativas, se aplicó la fórmula de área basal, multiplicando luego por la altura comercial total y por el factor de forma, que en este caso es 0.75 para la *corrección regional preandino amazónico* (Dauber *et al.* 1999).

Paquío	Tejeyeque	Trompillo de altura	Palo yugo	Verdolago de ala	Verdolago de pepa
<p><i>NC. Hymenaea courbaril.</i>  <i>F. Caesalpinioidea</i>  <i>e. (Fabaceae).</i>  <i>G.C. valiosas.</i>  <i>U. Parquet y pisos, láminas de enchape, embarcaciones, construcción.</i></p> 	<p><i>N.C. Centrolobium tomentosum.</i>  <i>F. Papilionoidea (Fabaceae).</i>  <i>G.C. no definido.</i>  <i>U. Construcción, muebles, láminas de enchape, parquet, artesanías y pisos.</i></p> 	<p><i>N.C. Cabralea canjerana.</i>  <i>F. Meliaceae.</i>  <i>U. Muebles, encofrado en construcción, actividades medicinales.</i></p> 	<p><i>N.C. Stryphnodendron purpureum.</i>  <i>F. Fabaceae.</i>  <i>U. Construcción en encofrados en tablonos y actividades medicinales.</i></p> 	<p><i>N.C. Terminalia oblonga.</i>  <i>F. Combretaceae.</i>  <i>U. Dura para vigas.</i></p> 	<p><i>N.C. Buchenavia punctata.</i>  <i>F. Combretaceae.</i>  <i>U. Para construcción.</i></p> 

**Figura 1.** Descripción de las especies forestales de estudio

**Cálculo de biomasa aérea total.** Para el cálculo de la biomasa aérea total de las seis especies forestales nativas, en tres densidades, se calculó el volumen total promedio por especie y densidad, este valor, luego, se multiplicó por la densidad básica promedio por eco región, que en este caso es 0.512 y por el factor de expansión de biomasa, que corresponde a 2.68 para la eco región *preandino amazónico* (Dauber *et al.* 1999), dando como resultado la biomasa aérea total.

**Cálculo de carbono almacenado.** Una vez obtenido el valor de la biomasa aérea total, éste se multiplicó por el factor de 0.5, que es el 50% de materia seca, dando como resultado el carbono almacenado en t/árbol, para las seis especies forestales nativas, en tres diferentes densidades.

#### *Análisis estadístico*

Para el análisis estadístico, se trabajó con un 95 % de probabilidad, considerando las variables de respuesta: volumen total, biomasa aérea total y carbono almacenado, utilizando el programa estadístico SAS<sup>®</sup>.

En base al modelo estadístico definido, se realizó un Análisis de Varianza, para probar las hipótesis planteadas, aplicando un diseño experimental estructurado completamente aleatorio, con al menos tres repeticiones para cada tratamiento.

## **Resultados y discusión**

### *Volumen total y biomasa aérea total por individuo y el cálculo de carbono almacenado*

Se consideraron los árboles mayores a 10 cm de DAP para obtener el volumen total, la biomasa aérea total y carbono almacenado, por individuo promedio (Dauber *et al.* 1999); para cada uno de estos parámetros se realizó la estimación y el análisis para los factores de las especies, densidades y la interacción de los dos (tratamientos).

Con los valores de las áreas basales de los individuos, multiplicadas por la altura total y su factor de forma (0.75), se calculó el volumen total (m<sup>3</sup>) por árbol promedio.

Se utilizó el método de expansión, para el caso de la biomasa y se calculó considerando la densidad de la madera de los árboles con un valor constante de 0.512, como también el factor de expansión de biomasa, el cual corresponde al valor de 2.68, ambos correspondientes a la eco región (tanto para la densidad de la especie y el factor de expansión), según los requerimientos necesarios para este tipo de estudio, definidos por Dauber *et al.* (1999).

El procedimiento de cálculo del carbono almacenado, se basó en el método no destructivo o indirecto, a través de la estimación con el factor de expansión, que tiene un valor de 0.5 multiplicado a la biomasa total (Dauber *et al.* 1999).

Las estimaciones de los componentes de varianza para los efectos aleatorios, indican que hubo variación entre especies, densidades y la interacción entre estos dos factores, lo cual demuestra que las especies plantadas en diferentes densidades, para el parámetro de volumen total y biomasa área total, variaron en su crecimiento, siendo diferente cada respuesta en las especies y densidades, en los 18 tratamientos resultantes de la interacción de los dos factores indicados. Tomando en cuenta que se considera el árbol pro-

medio por especie, densidad y tratamiento, el coeficiente de variación reportó un valor de 14.39% para el volumen total, 14.32% para la biomasa área total y 14.42% para el carbono almacenado; valores que se encuentran dentro los límites requeridos.

Según el análisis de varianza con un error de 5%, para el parámetro volumen total (m<sup>3</sup>/por árbol promedio) y biomasa área total (t/por árbol promedio) y el carbono almacenado (t/por árbol promedio), para el factor especie se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p = < 0.0001$ ). Según la prueba de Duncan (Cuadro 1), la especie con mayor volumen, biomasa y carbono almacenado, fue el *palo yugo*, seguido del *verdolago de ala*.

Para el factor densidad, también se tuvo diferencias altamente significativas, lo que indica que la densidad incide en el volumen y la biomasa total con el valor de  $p = < 0.001$  y el carbono almacenado con  $p = < 0.003$ . Según la prueba de Duncan (Cuadro 2), las densidades 4\*4 y 3\*3 metros de distanciamiento entre árboles plantados, presentaron mejores volúmenes y pesos de biomasa y carbono almacenado.

**Cuadro 1.** Comparación de volumen, biomasa total y carbono almacenado, por especie, con la prueba de Duncan

Espece	Volumen total (m <sup>3</sup> )	Biomasa total (t)	Carbono almacenado (t)
<i>Palo yugo</i>	0.76	1.04	0.52 a
<i>Verdolago de ala</i>	0.31	0.42	0.21 b
<i>Trompillo de altura</i>	0.20	0.27	0.14 c
<i>Verdolago de pepa</i>	0.20	0.27	0.14 c
<i>Paquio</i>	0.15	0.21	0.11 c
<i>Tejeyeque</i>	0.15	0.19	0.10 c

**Cuadro 2.** Comparación de volumen, biomasa total y carbono almacenado, por densidad, con la prueba de Duncan

Densidad	Volumen total (m <sup>3</sup> )	Biomasa total (t)	Carbono almacenado (t)
4x4	0.36	0.49	0.24 a
3x3	0.32	0.43	0.22 a
2x2	0.21	0.29	0.15 b

Para la interacción de especie \* densidad (tratamientos), existen diferencias altamente significativas, donde  $Pr > F$  son los mismos valores del volumen y la biomasa y un coeficiente de variación de 14.42%. Según la prueba de Duncan (Cuadro 3), se observa que el *palo yugo*, en las densidades 3\*3 y 4\*4 metros (tratamiento 5 y 6), presentan mejores volúmenes y pesos en biomasa y carbono

almacenado. La biomasa área total y el carbono almacenado, llegan a tener el mismo orden de resultados que el volumen total, debido a que se utiliza una sola densidad de la madera para las seis especies, como también el factor de expansión de biomasa, esto debido a los valores que se presentan por eco región.

**Cuadro 3.** Comparación de volumen total, biomasa área total y carbono almacenado, por tratamiento, con la prueba de Duncan

Tratamiento	Especie	Densidad	Volumen total (m <sup>3</sup> )	Biomasa total (t)	Carbono almacenado (t)
T5	<i>Palo yugo</i>	4x4	0.89	1.23	0.61 a
T6	<i>Palo yugo</i>	3x3	0.89	1.22	0.61 a
T4	<i>Palo yugo</i>	2x2	0.50	0.69	0.35 b
T15	<i>Verdolago de ala</i>	4x4	0.42	0.57	0.29 b
T14	<i>Verdolago de ala</i>	3x3	0.30	0.41	0.21 b
T9	<i>Trompillo de altura</i>	4x4	0.27	0.37	0.18 b
T17	<i>Verdolago de pepa</i>	3x3	0.22	0.30	0.15 b
T13	<i>Verdolago de ala</i>	2x2	0.21	0.28	0.14 b
T8	<i>Trompillo de altura</i>	3x3	0.20	0.28	0.14 b
T18	<i>Verdolago de pepa</i>	4x4	0.20	0.27	0.13 b
T12	<i>Tejeyequé</i>	4x4	0.19	0.24	0.13 b
T16	<i>Verdolago de pepa</i>	2x2	0.18	0.24	0.12 b
T3	<i>Paquio</i>	4x4	0.17	0.24	0.12 b
T2	<i>Paquio</i>	3x3	0.16	0.22	0.11 b
T1	<i>Paquio</i>	2x2	0.13	0.18	0.09 b
T10	<i>Tejeyequé</i>	2x2	0.13	0.17	0.09 b
T11	<i>Tejeyequé</i>	3x3	0.12	0.17	0.09 b
T7	<i>Trompillo de altura</i>	2x2	0.12	0.17	0.09 b

En la metodología de Dauber *et al.* (1977), que se ha empleado en el actual trabajo, pero con una densidad de madera estandarizada para la región, entonces se quiere decir que si existieran las densidades de las maderas de las diferentes especies, los resultados del carbono almacenado presentarían valores diferenciados.

Cabe resaltar algunas observaciones en la plantación experimental, así, la especie palo yugo ha sufrido un ataque de un coleóptero no identificado, causando una alta mortandad; igualmente ha existido una invasión del bosque natural a la plantación en el lado norte, por lo que es necesario realizar el mantenimiento, el cual ha causado mortandad en algunas especies como el *verdolago de pepa*.

Según el número de árboles observado y el área correspondiente a cada densidad, se ha visto que existe una alta densidad especialmente en las parcelas con densidades 2\*2 (árboles muy delgados) y proporcionalmente a las otras dos; por lo que es necesario hacer raleos con intensidades correspondientes a cada densidad y especie.

Según Coca y Arthur (2006), la especie *palo yugo* se considera de rápido crecimiento (entre 10 a 15 años); las especies *trompillo de altura* y *tejeyeque* de mediano crecimiento (15 a 30 años) y *paquio*, *verdolago de ala* y *verdolago de pepa* de lento crecimiento (> a 30 años); sin embargo, este dependerá de las condiciones de sitio. Según análisis propios, independientemente del *palo yugo*, las especies *verdolago de ala*, *trompillo de altura* y *verdolago de pepa*, presentaron mejores resultados y estas en las densidades 4\*4 y 3\*3 metros.

## Conclusiones

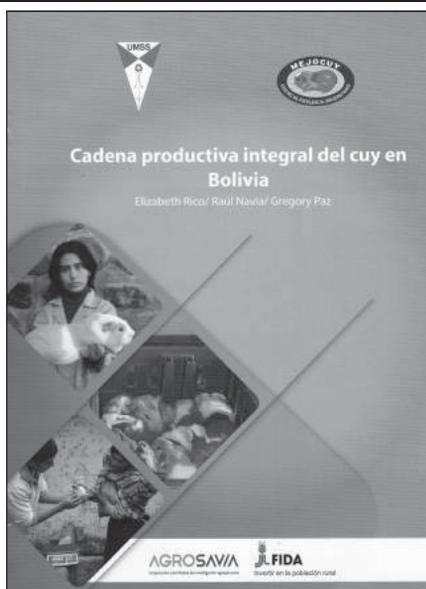
- De las seis especies estudiadas, los resultados arrojaron que el *palo yugo* y el *verdolago de ala*, presentaron mejores volúmenes y pesos de biomasa y carbono almacenado.
- Si se tuviera como propósito producir volumen, no es recomendable utilizar el *palo yugo* debido a su alta mortandad, la cual es producida por un coleóptero (no identificado), por ello se recomienda utilizar al *verdolago de ala*, *trompillo de altura* y *verdolago de pepa*.
- De las tres densidades de distanciamiento establecidas, el distanciamiento 2\*2, en cuadrado superpuesto, no es el recomendable, porque mantiene los árboles muy delgados; los mejores resultados se muestran en las densidades 4\*4 y 3\*3 en cuadrado superpuesto; sin embargo cualquiera de ellos -en el tiempo- deberán sufrir intervenciones silviculturales de raleo, para poder observar los efectos de estos tratamientos de manejo.
- Para el carbono almacenado, se debe manejar densidades más abiertas, ya que este tiene una influencia directa en aumentar el crecimiento en diámetro, por lo tanto en volumen.
- La metodología empleada en el presente trabajo, fue de todos los árboles >10 cm de DAP y con el árbol promedio; en el mismo también se debe utilizar con los árboles dominantes, para predecir los árboles remanentes que van a quedar al final de un manejo.

## Referencias citadas

- Coca M., Arthur S. 2006. Taller de evaluación y planificación de actividades de investigación para el trópico de Cochabamba. Informe Técnico Proyecto FOMABO / Fundación CETEFOR No. 5-2006. Cochabamba, Bolivia. 51 p.
- Dauber E., Terán J., Guzmán R. 1999. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. p. 1, 2, 4. *En línea*. Disponible en: <http://www.forest.ula.ve/rforibam/archivos/DOC2.pdf>  
Consultado en agosto de 2016.
- Pichardo A., Chávez C., Gallegos R. 2008. Estimación de carbono en plantaciones forestales de *Pinus douglasina*, a partir de biomasa aérea. *En línea*. Disponible en: [http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionForestal\(pp87-122\)/PichardoArmentaVicente/115-122.pdf](http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/Agronomia/ProduccionForestal(pp87-122)/PichardoArmentaVicente/115-122.pdf)  
Consultado en julio de 2017.
- Sanzetenea E. 2016. Apuntes de clases. Asignatura Manejo de Bosques. Escuela de Ciencias Forestales de la Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- Ugalde A. 2000. Guía para el establecimiento y medición de parcelas para el monitoreo y evaluación del crecimiento de árboles en investigación y en programas de reforestación, con la metodología del sistema MIRA. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Turrialba, Costa Rica. 16 p.

Trabajo recibido el 11 de marzo de 2019 - Trabajo aceptado el 18 de junio de 2019

## PUBLICACIONES RECIENTES DESTACADAS



Libro publicado por el Centro MEJOCUY en el marco del proyecto "Escalonamiento de la investigación regional y de la innovación de pequeños productores de cuyes en la escala de valor", con apoyo del FIDA.

Caracteriza comparativamente, por provincias, la crianza de cuyes en el departamento de Cochabamba. También establece la línea base de información científica técnica, generada a través de investigaciones y otros estudios en los sistemas de producción de cuyes en las diferentes regiones del país.

Por otra parte, analiza aspectos referidos a la post producción de compost de cuy, como alternativa de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, proporcionando beneficio económico adicional al productor de cuy.

**Mayor información y disponibilidad:**  
Centro MEJOCUY, teléfono 4762348 / E mail: [mejocuy@hotmail.com](mailto:mejocuy@hotmail.com)