

## Carbono almacenado de especies forestales nativas en sistemas agroforestales en el Valle del Sacta, Cochabamba

Edwards Sanzetenea<sup>1</sup>; Marco Veizaga<sup>2</sup>; Fimo Alemán<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Docente ESFOR/UMSS; <sup>2</sup> Tesista ESFOR/UMSS; <sup>3</sup> Investigador FCAPyF/UMSS

E mail: e.sanzetenea@gmail.com

**Resumen.** Desde el año 2002, la Escuela Técnica Forestal, con el Proyecto FOMABO, instaló parcelas agroforestales multi-especies, en propiedades de agricultores en la zona de Valle del Sacta. La investigación ha sido enfocada en cuantificar y comparar el desarrollo que presentan las especies forestales en función al volumen total, además el carbono almacenado, determinado por dos métodos (factor de expansión y por ecuación matemática). Se determinó que el serebó es la especie que presenta el mejor volumen total con 1.2 m<sup>3</sup>, para seis sistemas agroforestales considerados, seguido del tejeyeque con 0,4 m<sup>3</sup>. Para el carbono, la especie que presenta el mayor carbono almacenado, es el serebó con 65 t/ha, seguido del coco con 57 t/ha.

**Palabras clave:** Cambio Climático; Especies Forestales; Plantaciones Mixtas

**Abstract. Carbon storage of native forest species in agroforestry systems in Valle del Sacta, Cochabamba.** Since 2002, ESFOR/UMSS with the FOMABO project installed agroforestry multi-species plots in farmers' properties in the area of Valle del Sacta. The research has been focused on quantifying and comparing the development of forest species based on total volume, plus carbon storage determined by two methods (expansion factor and the mathematical equation). Defining that *serebó* is the species that has the best total volume with (1.2 m<sup>3</sup>), by both the agroforestry system as the six agroforestry systems; therefore it is the best developed followed by *tejeyeque* with 0.4 m<sup>3</sup>. For the carbon storage determined by the methods of expansion factor and by the mathematical equation, the species that has the largest carbon stored is *serebó* with 65 t/ha, followed by Coco for the six agroforestry systems.

**Keywords:** Climate Change; Forest Species; Mixed Plantations

### Introducción

En el año 2003, el Proyecto *Manejo de Bosques Tropicales de Bolivia* (FOMABO), conjuntamente con agricultores del Valle del Sacta, en el trópico de Cochabamba, instalaron parcelas multi-especie, donde las actividades agroforestales a mediano plazo, tienen la perspectiva de elevar el nivel de vida de los agricultores que viven en el medio, a través de estrategias de desarrollo que consisten en buscar la integración de las actividades agrícolas y forestales auto sostenidas, dentro del sistema producti-

vo, aumentando su producción en estas dos áreas importantes del agricultor, conservando los recursos naturales y reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>, como respuesta alternativa al cambio climático.

El presente estudio enfoca la valoración de las especies forestales alternativas del lugar, cultivadas en ensayos de sistemas agroforestales, aplicando técnicas de evaluación y seguimiento del desarrollo, además de la cuantificación del carbono almacenado de las especies, en los distintos sistemas implementados.

Estas acciones promueven las plantaciones mixtas (agroforestales), como alternativas para la productividad y rendimiento de madera, para futuros proyectos enfocados en la captura de carbono, como incentivo a la reducción de los impactos negativos hacia los bosques naturales y como alternativas para el almacenamiento del carbono en la mitigación al cambio climático actual.

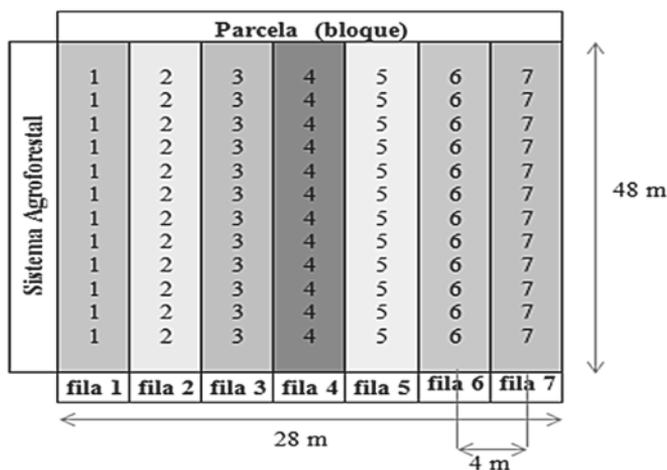
El objetivo general es estudiar el desarrollo, con relación al carbono almacenado, de siete especies nativas arbóreas del trópico, implementadas en diferentes sistemas agroforestales, a través de parámetros dasométricos y modelos matemáticos estimativos, buscando alternativas de manejo y producción con pequeños agricultores, como respuesta al cambio climático en la zona de Valle Sacta; Cochabamba, Bolivia.

## Materiales y métodos

Las parcelas de investigación se encuentran localizadas en la zona de Valle Sacta, dentro del municipio de Valle Ivirza, provincia Carrasco del departamento de Cochabamba, a 223 km de la ciudad capital de departamento.

Geográficamente la zona está limitada por los paralelos  $17^{\circ}31'30''$  -  $17^{\circ}07'30''$  de latitud Sud y los meridianos  $64^{\circ}47'10''$  y  $64^{\circ}31'05''$  de longitud Oeste, encajonada por los ríos Sacta e Izarsama - Zabala, con elevaciones desde 195 a 250 msnm (Mendoza, 2008).

La Figura 1 detalla la distribución de las especies en siete filas formando una parcela.



1. Verdolago, *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell.
2. Jorori Colorado, *Swartzia jorori* Harms.
3. Tejeyeque, *Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd.
4. Serebó, *Schizolobium parahyba* (Vell. Conc.) S. F. Blake.
5. Coco, *Guazuma ulmifolia* Lam.
6. Curupaú, *Anadenanthera colubrina* (Vell. Conc.) Benth.
7. Yesquero, *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze.

**Figura 1.** Diseño de la parcela y distribución de las especies

La distribución de las especies fue aleatoria en las 15 parcelas, en hileras a un distanciamiento de 4x4 entre árboles con una superficie de 1344 m<sup>2</sup> por parcela, combinadas con cultivos como: plátano nuevo, plátano viejo (*Musa paradisiaca*), cacao (*Theobroma cacao*), palmito (*Bactris gasipaes* H.B.K), cítrico-coca-flores (*Citrus* sp., *Erythroxylum coca*) y barbecho.

### **Cálculo de volumen comercial y total**

Para el cálculo del volumen comercial y total de las siete especies forestales, se aplicó la fórmula de área basal de los árboles, utilizando el *Diámetro a la Altura del Pecho* (DAP), como sigue:

$$AB = \frac{\pi}{4} \times (DAP^2)$$

El valor obtenido se multiplica por la altura comercial y total, a su vez por el factor de forma, con un valor de forma de 0.65 para el trópico (propuesto por Russo s.f.).

$$\text{Volumen comercial} = AB * Hc * ff$$

$$\text{Volumen total} = AB * Ht * ff$$

### **Cálculo de biomasa**

El carbono almacenado se determinó por dos métodos, uno por factor de expansión propuesto por Russo (s.f.) y por una ecuación matemática propuesta por Brown (1989) (citado en Dauber, *et al.*, 1999).

El cálculo de la biomasa en el área total de las siete especies forestales, en los distintos sistemas agroforestales, se determinó por el método de factor de expansión, tomando el volumen total multiplicando por la densidad básica

maderable ( $\delta$ ) de cada especie, y por último por el factor de expansión de biomasa (FEB), con un valor de 2.68 para la región pre andina amazónica, como indica Dauber *et al.* (1999), dando como resultado la biomasa aérea total.

$$Bt = \text{Vol.} * \delta * \text{FEB}$$

Para la ecuación matemática propuesta por Brown (citada en Dauber, *et al.* 1999), se determinó la biomasa aérea total en función al diámetro medio (d) y altura media (h), obtenidos de los datos de campo y la densidad básica de la madera ( $\delta$ ) de cada una de las siete especies forestales, que se encuentran en los distintos sistemas agroforestales.

$$Bt = e^{(-2.4090 + 0.9522 \ln (d)^2 * h * \delta)}$$

Obtenidas las biomásas aéreas totales por los dos métodos, a estos valores se les aplicó una transformación de unidades de kilogramos a toneladas.

### **Cálculo del carbono almacenado**

Una vez obtenido el valor de la biomasa aérea total, tanto por el método de factor de expansión como por una ecuación matemática, éste se multiplicó por el factor de 0.5, que es el 50% de materia seca propuesto por Russo (s.f.), dando como resultado el carbono almacenado en t/ha, de las siete especies forestales en los distintos sistemas agroforestales.

$$CBt = Bt * 0.5$$

### **Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico, se trabajó con el 95% de fiabilidad, donde se obtuvo un análisis del modelo estadístico y diseño experimental para las variables de respuesta volumen total, carbono

almacenado (dos métodos), el cual fue realizado por el procedimiento *Proc Mixed*, donde este desarrolla el análisis estadístico de acuerdo a la teoría de modelos mixtos, determinado por el programa SAS<sup>®</sup> versión 9.2.

En base al modelo estadístico definido, se obtuvo el ANOVA para probar las hipótesis planteadas, aplicando el diseño experimental de bloques completos al azar en localidades (BCAA<sub>(ambiente)</sub>), no estructurado, con al menos dos repeticiones.

## Resultados

En el Cuadro 1 se observa los volúmenes medios comerciales y totales de las especies forestales, en los distintos sistemas agroforestales, donde el verdolago (*Terminalia amazonia*), jorori colorado (*Swartzia jorori*), serebó (*Schizolobium amazonicum*), coco (*Guazuma ulmifolia*), curupá (*Anadenanthera*

*colubrina*), yesquero (*Cariniana estrellensis*), presentan mayor volumen comercial y total en el sistema agroforestal “plátano nuevo”, en comparación con los otros sistemas. El tejeyeque (*Centrolobium tomentosum*) reporta mayores volúmenes en el sistema agroforestal “cítrico - coca - flores”.

### **Biomasa aérea total y carbono almacenado**

La biomasa aérea total y el carbono almacenado, se calcularon tanto por sistema agroforestal como para las siete especies forestales nativas en estudio, ambos por los métodos de factor de expansión (FE) y ecuación matemática (EM).

Obtenidos estos valores se interpoló de kilogramos a toneladas, como metro cuadrado a hectárea, para obtener valores con unidades expresadas en t/ha.

**Cuadro 1.** Volúmenes comerciales y totales de las especies forestales de los seis SAF

Especie	SAF palmito		SAF cítrico, coca, flores		SAF cacao		SAF barbecho		SAF plátano nuevo		SAF plátano viejo		Promedio especies	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Verdolago	0.08	0.15	0.06	0.12	0.08	0.15	0.03	0.05	0.17	0.36	0.09	0.19	0.08	0.17
Jorori Colorado	0.16	0.31	0.11	0.24	0.09	0.18	0.01	0.02	0.16	0.32	0.04	0.07	0.09	0.18
Tejeyeque	0.21	0.40	0.30	0.61	0.21	0.37	0.09	0.16	0.27	0.59	0.22	0.41	0.21	0.41
Serebó	0.65	1.39	0.60	1.25	0.57	1.04	0.63	0.99	0.68	1.47	0.47	0.99	0.62	1.21
Coco	0.09	0.14	0.10	0.24	0.16	0.28	0.15	0.26	0.28	0.60	0.23	0.49	0.17	0.35
Curupá	0.09	0.16	0.06	0.14	0.17	0.31	0.02	0.04	0.26	0.49	0.18	0.50	0.13	0.30
Yesquero	0.15	0.27	--	--	0.13	0.23	0.04	0.07	0.24	0.45	0.11	0.21	0.11	0.20
Promedio SAF	0.20	0.40	0.21	0.43	0.20	0.37	0.14	0.23	0.29	0.61	0.19	0.41	0.20	0.40

**Referencias:** A: Volumen comercial (en m<sup>3</sup>)  
B: Volumen total (en m<sup>3</sup>)

### *Biomasa aérea y carbono almacenado de las siete especies forestales por sistema agroforestal*

La especie que presenta valores mayores, calculados por el método de factor de expansión para los seis sistemas agroforestales, es el serebó con 130.9 t/ha para la biomasa aérea total y 65.4 t/ha para el carbono almacenado, seguido del coco con 114.1 t/ha para la biomasa aérea total y 57.0 t/ha para el carbono almacenado, la especie que presenta valores menores es el jorori colorado con 16.3 t/ha para la biomasa aérea total y 8.1 t/ha para el carbono almacenado.

Para los valores calculados por el método de ecuación matemática, la especie que presenta los mayores valores es el serebó, con 50.9 t/ha para la biomasa aérea total y 25.4 t/ha para el carbono almacenado, seguida del coco con 39.7 t/ha para la biomasa aérea total y 19.9 t/ha para el carbono almacenado; la especie que presenta valores menores es el jorori colorado con 16.3 t/ha para la biomasa aérea total y 8.1 t/ha para el carbono almacenado, como se observa en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Biomasa aérea total y carbono almacenado de las especies forestales en los seis SAF

P SAF	YE	CU	CO	SE	TE	JC	VE	Especie
64.7	72.2	70.8	54.9	11.7	81.6	52.2	109.2	BA FE
40.0	36.1	35.4	27.4	59.3	40.8	26.1	54.6	CA FE
30.6	27.4	23.2	21.3	42.4	31.8	22.3	45.6	BA EM
15.3	13.7	11.6	10.7	21.2	15.9	11.1	22.8	CA EM
93.2	--	97.1	78.4	119.6	122.8	50.9	90.2	BA FE
46.6	--	48.5	39.2	59.8	61.4	25.5	45.1	CA FE
35.5	--	27.4	29.3	48.2	50.3	19.8	38.3	BA EM
17.8	--	13.7	14.6	24.1	25.1	9.9	19.1	CA EM
95.2	79.0	110.8	91.8	133.6	88.7	62.5	100.3	BA FE
47.6	39.5	55.4	45.9	66.8	44.3	31.2	50.2	CA FE
39.1	33.6	40.7	42.2	54.5	38.0	23.3	41.6	BA EM
19.6	16.8	20.3	21.1	27.2	19.0	11.7	20.8	CA EM
73.7	36.2	56.6	123.1	138.8	72.9	23.2	64.9	CA FE
48.1	24.0	29.0	81.1	102.2	44.9	12.1	43.5	BA EM
24.1	12.0	14.5	40.5	51.1	22.5	6.1	21.7	CA EM
98.8	133.3	136.2	182.2	139.5	112.8	119.2	119.2	BA FE
65.9	49.4	66.6	68.1	91.1	69.7	56.4	59.6	CA FE
51.1	39.6	50.6	53.1	10.5	46.8	48.8	48.1	BA EM
27.6	19.8	39.6	26.6	35.2	23.4	24.4	24.1	CA EM
74.4	39.7	101.3	117.3	66.6	82.2	28.7	84.9	BA FE
37.2	19.8	50.7	58.7	33.3	41.1	14.4	42.4	CA FE
26.2	16.1	35.5	40.2	24.2	28.5	7.9	31.1	BA EM
13.0	8.1	16.8	20.1	12.1	14.2	4.0	15.6	CA EM
--	59.7	105.5	114.1	130.9	103.2	53.6	98.6	BA FE
--	29.8	52.7	57.0	65.4	51.6	26.8	49.3	CA FE
--	21.4	29.6	39.7	50.9	35.1	16.3	34.1	BA EM
--	10.7	14.8	19.9	25.4	11.5	8.1	17.0	CA EM

Referencias: VE: Verdolago; JC: Jorori colorado; TE: Tejeyeque; SE: Serebó  
 CO: Coco; CU: Curupaú; YE: Yesquero;  
 P SAF: Promedio de los SAF (Sistemas Agroforestales)

**Propuesta para las intervenciones silviculturales**

En el Cuadro 3, se observa la propuesta de las intervenciones silvícolas generales por sistema agroforestal, con sus respectivas parcelas. Para cada parámetro analizado se requiere de cierta intervención; en el caso del porcentaje de copa y la forma de copa, las intervenciones que se aplicarían son la poda y aclareo de ramas.

El grado de cobertura de copa y el índice de copa son variables de información; en el caso del índice de copa indica si la especie plantada presenta mejor calidad y productividad en la parcela, y en el caso de grado de cobertura de copa indica si la especie presenta mayor consumo energético o no, por el transporte

de nutrientes a lo largo de su copa, por otra parte también indica si presenta o no mayor fotosíntesis por el grado de cobertura que presenta.

Para el manto de copa, la intervención a aplicarse es el aclareo de copa. Para el índice de espacio vital y el grado de esbeltez, la intervención silvicultural es el raleo.

En cada parcela se realizó el análisis para las siete especies forestales, esto quiere decir que si cuatro de las siete especies forestales necesitan alguna intervención, entonces se intervendrían (SI) y si cuatro de las siete especies forestales no necesitarían alguna intervención, entonces no se intervendría (NO).

**Cuadro 3.** Intervenciones silviculturales para las quince parcelas de los seis SAF

Tratamiento silvicultural	Variable	Valor comercial	SAF palmito		SAF cítrico, coca, flores		SAF cacao		SAF barbecho			SAF plátano nuevo			SAF plátano viejo		
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Poda, aclareo	% de copa	50	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	Forma de copa	0.5	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Variables de información.	Grado cobertura de copa	1.2	+ F	+ F	- F	- F	+ F	+ F	+ F	+ F	- F	- F	- F	- F	- F	- F	- F
	Índice de copa	1	- C	- C	- C	- C	- C	- C	+ C	+ C	+ C	- C	- C	- C	- C	- C	- C
Aclareo, raleo	Índice espacio vital	0.5	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
	Manto de copa	0.5	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO
Raleo	Grado de esbeltez	1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO

**Referencias:** En "grado de cobertura de copa": + F: mayor al valor 0.5 → realizar poda  
 - F: menor al valor 0.5 → NO se realiza poda

En "índice de copa": + C: mayor al valor 1.0 → reducir la expansión de copa  
 - C: menor al valor 1.0 → NO se reduce la expansión de copa

## Conclusiones

- El serebó es la especie que presenta el mejor volumen total con 1.2 m<sup>3</sup>, para los seis sistemas agroforestales, seguido de tejeyeque con 0.4 m<sup>3</sup>.
- Para el carbono almacenado, determinado por el método de factor de expansión y por ecuación matemática, el mejor valor es el serebó con 131 t/ha de BT y 65 t/ha de CA por el método FE 51 t/ha de BT y 25 t/ha de CA para el método EM, seguido del coco con 114 t/ha de BT y 57 t/ha de CA para el método FE, 40 t/ha de BT, 20 t/ha de CA, para el método EM.
- Las intervenciones silvícolas, propuestas a aplicarse, son la poda y raleo. Para un 40% de las parcelas se propone una poda y para el 50%

el raleo, en los seis sistemas agroforestales.

## Referencias citadas

- Dauber, E., Terán, J., Guzmán, R. 1999. Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. pp. 1, 2, 4. *En línea*: Disponible en: [www.forest.ula.ve/foribam/archivos/DOC2.pdf](http://www.forest.ula.ve/foribam/archivos/DOC2.pdf) Consultado en noviembre de 2013.
- Mendoza, C. 2008. Comportamiento de siete especies forestales tropicales en diferentes sistemas agroforestales buscando alternativas de producción y aumentar los ingresos económicos para los agricultores en la zona de Valle Sacta. ESFOR, FCAyP - UMSS. Cochabamba, Bolivia.
- Russo, R. s.f. Guía práctica para la medición de la captura de carbono en la biomasa forestal. Universidad Earth Unidad de Carbono Neutro. pp. 3-4. *En línea*: Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/29369907/> Consultado en noviembre de 2013.

Trabajo recibido el 10 de agosto de 2015 - Trabajo aceptado el 6 de septiembre de 2015

## Publicaciones de la ESFOR, Asociación ÁRBOLES y FUTURO:



La Escuela de Ciencias Forestales de la Universidad Mayor de San Simón y la Asociación ÁRBOLES y FUTURO, en el marco del Proyecto *Gestión y Comercialización Sostenible de Plantaciones en los Valles Andinos de Cochabamba*, publicaron los "Informes Finales de Ejecución del Proyecto", documentos que presentan los avances, resultados, aportes silviculturales y el potencial de impacto económico de las plantaciones forestales con la especie pino.

El Proyecto fue ejecutado en el periodo 2010 al 2013 con financiamiento del Cantón de Vaud de Suiza.

Los interesados en los documentos pueden solicitarlos en oficinas de la ESFOR y en "ÁRBOLES y FUTURO".