



# Reserva de carbono en un sistema silvopastoril compuesto de *Pinus patula* y herbáceas nativas

Reserve of carbon in a silvopastoral system composed of *Pinus patula* and native herbaceous

**Manuel Oliva\***; **Lorenzo Culqui Mirano**; **Santos Leiva**; **Roicer Collazos**; **Rolando Salas**; **Héctor V. Vásquez**; **Jorge Luis Maicelo Quintana**

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Calle Higos Urco N° 342, Chachapoyas, Amazonas, Peru.

Received December 27, 2016. Accepted June 05, 2017.

### Resumen

La investigación tuvo como objetivo determinar la reserva de carbono retenida bajo un sistema silvopastoril con *Pinus patula*, localizado en Amazonas, Perú. Para la estimación de carbono se utilizaron 06 plantas mediante el método directo, los fustes fueron seccionados cada 2 metros y a partir de estos se obtuvieron muestras de 5 cm de espesor previo al pesaje total. Para las ramas y hojas se realizó el pesaje total y se seleccionaron muestras de 200 g. Para la recolección de muestras de hojarasca y herbáceas nativas, se utilizó el método del cuadrante y las muestras de suelo se recolectaron alrededor de cada planta. Los datos fueron obtenidos mediante la formulación de ecuaciones alométricas y selección de la mayor correlación estimada, a partir de variables como diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura del fuste (AF). Como resultado, se encontró 92,13 t/ha de carbono almacenado y 337,20 t/ha de carbono equivalente. Además, la investigación permitió establecer una ecuación que ayudó a estimar la cantidad de carbono y CO<sub>2</sub> en pino pátula: Biomasa seca = 0,6575 \* DAP<sup>1,1794</sup> (r<sup>2</sup> = 0,91).

**Palabras clave:** Ecuación alométrica; carbono almacenado; CO<sub>2</sub>; Molinopampa pastos.

### Abstract

The objective of the research was to determine the carbon reserve retained under a silvopastoral system with *Pinus patula*, located in Amazonas, Peru. For the carbon estimation, 06 plants were used by the direct method, the shafts were sectioned every 2 meters and from these were obtained samples of 5 cm of thickness prior to the total weighing. For the branches and leaves the total weight was weighed and samples of 200 g were selected. For the collection of leaf litter and native herbaceous samples, the quadrant method was used and soil samples were collected around each plant. The data were obtained through the formulation of allometric equations and selection of the highest correlation estimated, based on variables such as diameter at chest height (DAP) and height of the stem (AF). As a result, 92.13 t / ha of stored carbon and 337.20 t / ha of carbon equivalent were found. In addition, the research allowed to establish an equation that allows estimating the amount of carbon and CO<sub>2</sub> in the pine tree: Dry biomass = 0.6575 \* DAP<sup>1.1794</sup> (r<sup>2</sup> = 0.91).

**Keywords:** Allometric equation; stored carbon; CO<sub>2</sub>; Molinopampa; pastures.

### 1. Introducción

Los ecosistemas de pradera son fundamentales para el desarrollo de la actividad ganadera, que es la que provee de fibra y proteína necesarias para la alimentación de las poblaciones, en especial de los países en desarrollo. Estos

ecosistemas representan aproximadamente el 41% de la superficie terrestre (Cárdenas *et al.*, 2012). Sin embargo, es importante mencionar que los recursos naturales vienen sufriendo un deterioro motivados por los sistemas tradicionales de uso del suelo como las prácticas agrícolas y

\* Corresponding author  
E-mail: [soliva@indes-ces.edu.pe](mailto:soliva@indes-ces.edu.pe) (M. Oliva).

ganaderas, dos de las principales actividades económicas de nuestra región y del país (Gudynas, 2015).

La actividad ganadera es responsable de altos porcentajes de emisión de gases de efecto invernadero, contribuye con un 9% del dióxido de carbono, 37% del gas metano y 65% del óxido nitroso; además esta actividad es conocida por reducir la capacidad de retener el carbono, por el hecho de que los sistemas de pastoreo carecen en su mayoría de especies arbóreas, provocando que el carbono escape hacia la atmósfera (Steinfeld *et al.*, 2006).

Una de las preocupaciones que surge respecto a esta problemática refiere a que los más pobres del mundo y quienes viven en inseguridad alimentaria, son a menudo, los más vulnerables a los impactos negativos del cambio climático y los que menos capacidad de adaptación tienen (Durán y Sánchez, 2012).

En efecto de lo anteriormente descrito, es importante que se tomen ciertas medidas que puedan contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a incrementar su captura en los suelos y biomasa. Una opción se basa en la captura de carbono en los suelos mediante sistemas silvopastoriles para desarrollar una ganadería sostenible, ya que es la única forma de hacerle frente a un problema de orden mundial como el cambio climático (Pascale *et al.*, 2014).

En la microcuenca ganadera de Molinopampa, los pobladores reconocen la importancia de poseer árboles en sus potreros debido a los beneficios que perciben de estos: ya sea como fuente de leña, regulador del ciclo hidrológico, sombra para su ganado, entre otros beneficios (Oliva, 2015).

La captura de carbono, a través del sistema silvopastoril, permitirá generar beneficios a los productores, quienes además mejorarán su economía al obtener un pago directo por el servicio ambiental (venta de carbono capturado), lo que posibilita obtener otros servicios y productos, tales como la madera y leña para unidad

familiar. Los sistemas silvopastoriles tratan de imitar la estructura y funcionalidad del bosque natural, pues existen grandes superficies deforestadas (Anguiano *et al.*, 2013).

En el Perú, son pocos los estudios realizados sobre cuantificación del carbono almacenado en los diferentes reservorios de ecosistemas agroforestales y/o silvopastoriles, en especial, si hablamos de especies exóticas como el pino pátula; sin embargo encontramos estudios como los de Oliva *et al.* (2015) quienes evaluaron el efecto de las plantaciones de *Pinus patula* sobre las características fisicoquímicas de los suelos en áreas altoandinas de la región Amazonas y concluyeron que los porcentajes de materia orgánica fueron mayores en áreas con plantaciones de pino respecto a las áreas donde no estuvieron presentes, lo que indicó mayor cantidad de carbono en esos suelos. Otro estudio a considerar es el realizado por Timoteo *et al.* (2016) quienes estimaron el carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante su primer año, obtuvieron valores de Biomasa y necromasa aérea alrededor de 11 t C ha<sup>-1</sup> y en el suelo de 24 t C ha<sup>-1</sup>. El carbono orgánico en el suelo representó casi el 60% del carbono total almacenado en estos sistemas agroforestales. Ambos estudios nos plantean la importancia de conocer la reserva de carbono existente en los sistemas agroforestales y en las especies forestales como tal. Adicionalmente, es una fuente importante de materia orgánica que, después de sufrir procesos de descomposición, liberan elementos nutritivos que se incorporan al suelo para ser nuevamente utilizados por las plantas (Martel y Cairampoma, 2012). La importancia de conservar estas especies forestales radica en el hecho de que constituye una herramienta clave para hacer frente a uno de los mayores problemas del siglo XXI: el cambio climático.

El objetivo de la presente investigación fue la determinación de las reservas de carbono de un sistema silvopastoril compuesto por pino (*Pinus patula*) como

especie arbórea y especies herbáceas nativas, en el distrito de Molinopampa, Perú utilizando el muestreo directo.

## 2. Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló en el anexo Ocol, distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, ubicado aproximadamente a 50 km de la ciudad de Chachapoyas (carretera Chachapoyas-Rodríguez de Mendoza) (Figura 1), a una altitud de 2407 msnm, y un rango de temperatura entre 10 a 15 °C, siendo considerada “Fuente Blanca Orgullo de la Región Amazonas”, por su gran producción de leche y productos lácteos. Para la ejecución de las actividades se siguieron las siguientes fases:

### Fase preliminar

Se recolectó información bibliográfica de investigaciones desarrolladas en diferentes zonas geográficas, así como también de información referida al área de estudio tales como mapas, planos y otros.

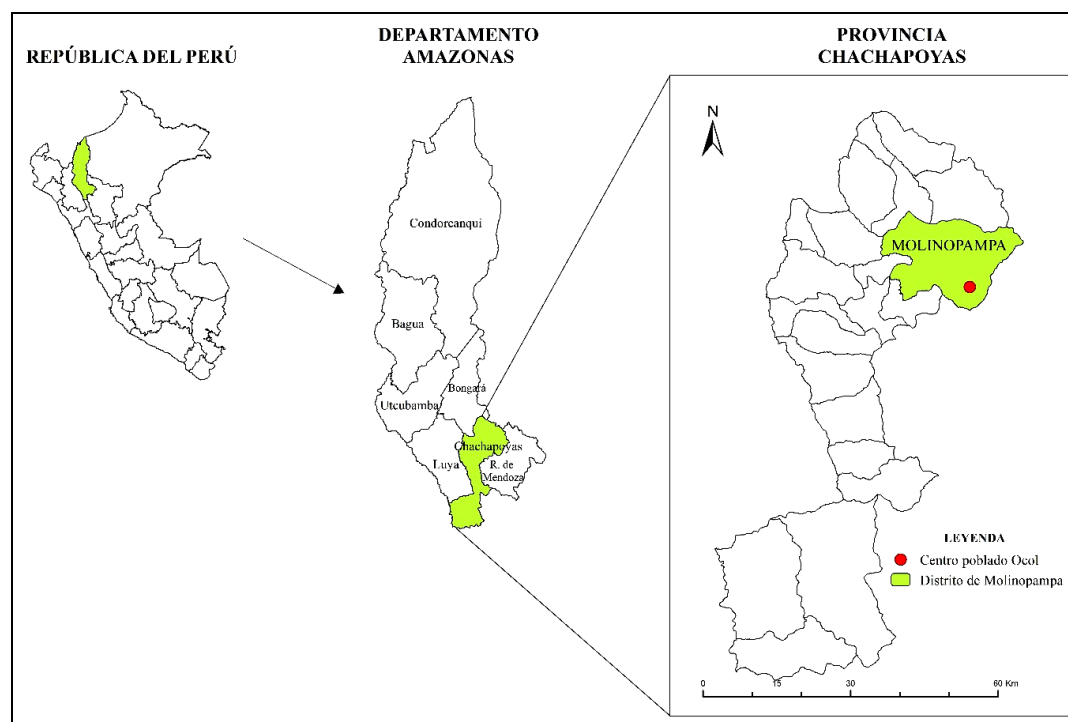
En esta fase se determinó la población, la cual estuvo representada por todos los

sistemas silvopastoriles compuesto con pino como componente arbóreo y como forraje, a las herbáceas nativas instaladas.

La muestra estuvo representada por una parcela de aproximadamente una hectárea, siendo representativa de todos los sistemas del sector. Como componentes del sistema se tuvo a los árboles de pino que tenían entre 8 a 10 años de edad y una densidad de siembra de 4 x 4 m y como componente pastoril a las plantas herbáceas nativas.

### Fase de campo

Se realizó un estudio de composición florística de las especies herbáceas presentes dentro del sistema. Para ello, se utilizó el método del transecto lineal, el cual consistió en tensar sobre la pradera, una cuerda delgada y remarcada 100 puntos cada 50 cm, estos fueron denominados puntos de contacto, se procuró que la cuerda atravesara las áreas representativas de la pradera, el punto de inicio fue elegido al azar y seguidamente se registraron las especies presentes en cada punto de contacto (Mostacedo y Fredericksen, 2000).



**Figura 1.** Ubicación geográfica del área de estudio.

Para la recolección de datos, se realizó el estudio directo en campo y se consideró un mínimo de seis árboles de pino. Previo al derribo de los árboles se realizaron las medidas dasométricas como: altura de planta, altura de fuste, diámetro de copa y Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y posteriormente, se extrajo la parte aérea de las 6 plantas, para lo cual se seccionó el fuste cada 2 metros extrayéndose rodajas de 5 cm de espesor. Las ramas secundarias, hojas y el fuste fueron pesados y se tomaron las muestras respectivas para ser llevadas al laboratorio.

Para determinar la biomasa de la hojarasca, se tomó el cuadrante definido por un marco de madera de 1,0 x 1,0 m. En él, se colectó toda la hojarasca acumulada, luego se obtuvo el peso fresco total y el peso fresco de toda la muestra. Para determinar la biomasa de las herbáceas forrajeras nativas, se utilizó el método del cuadrante al igual que para la hojarasca y una vez delimitado el cuadrante, se cortaron las plantas al ras del suelo, obteniendo así el peso fresco por cada cuadrante y luego el promedio por hectárea.

Para el análisis de carbono en el suelo, las muestras fueron extraídas en un radio de un metro, al pie de cada uno de los ejemplares de pino; las muestras fueron colectadas en tres profundidades diferentes (0 a 10 cm, de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm de profundidad).

Para la estimación de la cantidad total de carbono en el sistema, se consideró: a) carbono de la biomasa aérea, b) carbono de las herbáceas forrajeras nativas, c) carbono de las hojarascas y d) carbono del suelo.

### **Fase de laboratorio**

Las muestras recolectadas fueron secadas en estufa a 75 °C, hasta obtener un peso constante (Cañellas y San Miguel, 2000).

La determinación de biomasa seca se realizó mediante la relación peso seco – peso fresco de las muestras en cada componente. La biomasa seca total de cada árbol fue determinada sumando la biomasa seca de cada uno de sus componentes (Maicelo, 2012).

Para las herbáceas forrajeras y hojarasca, se secaron las muestras en la estufa, luego se procedieron a sacar la materia seca respectiva.

La determinación del carbono en la biomasa vegetal total, se realizó multiplicando la biomasa seca por el factor 0,5, método utilizado por Valenzuela (2001) en varias especies vegetales. En la especie de pino pátula, el factor usado fue 0,4270 según el análisis de tejido vegetal.

Posteriormente, el contenido de carbono se convirtió en CO<sub>2</sub>, el factor de conversión fue de 3,666; resultado de la división entre el peso molecular del CO<sub>2</sub> por el peso molecular del carbono (Valenzuela, 2001).

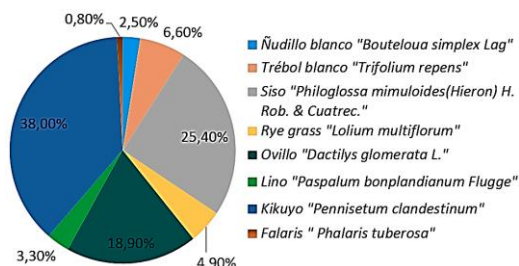
Para la estimación del carbono orgánico en el suelo, se calculó el peso del suelo, para lo cual se multiplicó el área por la profundidad y la densidad aparente que fueron calculados en el laboratorio. Posteriormente, el peso fue multiplicado por el porcentaje de carbono, dando como resultado el carbono orgánico en t/ha (Eyherabide *et al.*, 2014).

Las ecuaciones alométricas se formularon en base a variables dasométricas como altura de fuste, DAP y datos de biomasa seca, realizando, además, un análisis estadístico referido a pruebas de regresión múltiple, con el objetivo de definir la mejor correlación ( $r^2$ ) entre la variable dependiente respecto a las independientes (Rodríguez *et al.*, 2012). Para ello, se utilizó el software estadístico SPSS 19.0 versión de prueba, de propiedad de IBM COMPANY y cuyo país de origen es Estados Unidos.

## **3. Resultados y discusión**

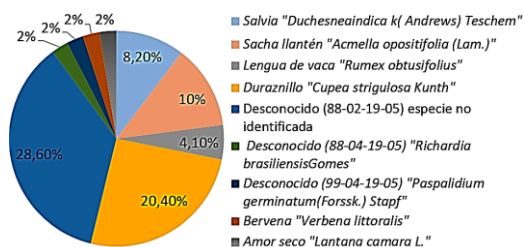
### **Caracterización del sistema silvopastoril con pino pátula**

En la Figura 2 se observa que en el sistema silvopastoril con pino pátula, la composición florística de especies herbáceas se muestra constituida por un mayor porcentaje de kikuyo (*Penisetum clandestinum*), con un 38%, seguido del siso (*Philoglossa mimuloides*) 25,40 % y pasto ovillo (*Dactylis glomerata L.*) con 18,90 %.



**Figura 2.** Composición florística de especies herbáceas forrajeras en sistemas silvopastoriles compuestos por *Pinus patula*.

La Figura 3 muestra la composición de malezas bajo el sistema silvopastoril, se encontró que un mayor porcentaje estuvo integrado por la mayoría de especies sin identificación con un 28,6 %, seguido por el duraznillo (*Cupea strigulosa* Kunth) con 20,4 % y Savia (*Andrews teschem*) con un 8,2 %.



**Figura 3.** Malezas nativas del sistema silvopastoril compuesto por pino pátula.

La caracterización del sistema silvopastoril tiene gran importancia y beneficios para los productores debido a que les brinda: leña, postes, estacas, madera y pastos, representando una importante contribución al bienestar de sus familias.

Luego de analizar la composición florística, las especies encontradas coinciden con las reportadas por Vasquez *et al.* (2014), quienes realizaron la identificación de malezas en las microcuencas ganaderas de Amazonas para sistemas silvopastoriles y sistemas a campo abierto, claro que al haber sido este un estudio más amplio, el número de especies fue mayor con un total de 94 especies y 33 familias botánicas, sin embargo, encontraron más especies en el sistema a campo abierto que en el sistema silvopastoril, esto demuestra que los

sistemas silvopastoriles no son tan abundantes en cuanto a especies herbáceas y malezas.

### Cálculo de carbono en el componente aéreo y el suelo

Se encontró que existe 19,37 t/ha de biomasa aérea del sistema silvopastoril con pino pátula, mientras que la biomasa del componente arbustivo herbáceo corresponde a 3,50 t/ha y la biomasa de la hojarasca 2,64 t/ha; haciendo un total de la biomasa vegetal de 25,51 t/ha.

Por otro lado, el carbono de la biomasa total se calculó multiplicando la biomasa vegetal total y el factor de conversión encontrada en la presente investigación de 0,4270; se obtuvo como resultado 10,89 t/ha.

El valor de carbono encontrado para el componente arbóreo en el sistema silvopastoril, es menor a lo reportado por Anguiano *et al.* (2013), quienes refieren que la biomasa de la vegetación de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* y *Pennisetum purpureum* se encuentran alrededor de 120 t/ha/año y varía de acuerdo a las especies de árboles, la estructura del bosque, el tipo de suelo y el clima.

Asimismo, Botero (2011) refiere que la eficiencia para la fijación de carbono en pastizales con pastos mejorados radica en que estos poseen, generalmente, sistemas radicales profundos, lo que puede contribuir fuertemente a la productividad primaria neta de las especies y por tanto, a la capacidad de inmovilización de carbono. En el caso de los sistemas silvopastoriles, por la presencia de árboles o arbustos, esta eficiencia puede ser mayor precisamente por la profundidad y abundancia de sus sistemas radicales, lo que no ocurre exactamente así en los pastos de gramíneas.

La acumulación de biomasa y de carbono de *Pinus patula* aumenta gradualmente, conforme el árbol adquiere mayor edad, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Aguirre *et al.* (2011), quienes realizaron un estudio para un bosque mixto

de *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote* y *Quercus spp.* y por Jiménez *et al.* (2013), quien estudio un bosque maduro de *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus laceyi*, *Quercus rysophylla*, *Quercus canbyi* y *Arbutus xalapensis*.

El contenido de carbono en la hojarasca presente sobre el suelo del sistema silvopastoril, fue de 1,12 y 2,00 t/ha, por lo que se observa que, al igual que sucedía con la biomasa aérea, la capacidad de acumulación de la hojarasca en el suelo depende de la densidad (Anguiano *et al.*, 2013).

### Porcentaje de carbono en el suelo

En la Tabla 1 se observa que los suelos de los sistemas silvopastoriles, con pino como componente arbóreo, están entre los rangos de 2,26 a 4,09 % de carbono, siendo el promedio de 3,29 %. Esto se debe a la acumulación de residuos de hojas y ramas en descomposición e indican mucha fertilidad en los suelos (García *et al.*, 2012). Además, el porcentaje de carbono orgánico se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo; de igual forma, la materia orgánica proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico (Borges *et al.*, 2012).

**Tabla 1**

Porcentaje de carbono en el suelo

Calicata	% Carbono en el suelo	% Materia orgánica en el suelo
Calicata 1	2,26	3,90
Calicata 2	2,76	4,76
Calicata 3	2,98	5,13
Calicata 4	3,60	6,20
Calicata 5	4,06	7,00
Calicata 6	4,09	7,06
Promedio	3,29	5,68

Fuente: Análisis de datos obtenidos en Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la UNTRM-A.

López *et al.* (2011) manifiestan que la materia orgánica se puede consumir por los animales y gran parte de ella (30 - 70 %) regresa al suelo en forma de heces y orina. Parte de las plantas se hacen senescentes, pasan a formar parte de la hojarasca y residuos orgánicos depositados sobre el

suelo y son descompuestas rápidamente por los microorganismos del suelo, por lo que la hojarasca no solo está compuesta por las hojas que caen de los árboles y como consecuencia del reciclaje de nutrientes estas se incorporan al suelo, sino también por restos de desechos de los animales que se encuentran dentro del sistema que conjuntamente se descomponen y sirven de alimentación para la planta y los pastos que se encuentran alrededor de la planta.

El 5,68 % de contenido de materia orgánica en los suelos con presencia de *Pinus patula* y herbáceas nativas, supera el 4% de materia orgánica, considerando como un suelo orgánico según Vela *et al.* (2011).

Las cantidades de carbono almacenadas en el suelo variaron de acuerdo a las profundidades, de 0 – 10 cm se obtuvo 30,60 t/ha; de 10 – 20 cm, 36,62 t/ha y para la profundidad de 20 – 30 cm, 14,02 t/ha; haciendo un total de 81,24 t/ha. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Cruz y Etchevers (2011), quienes encontraron en suelos forestales de pinares y abetales, valores de carbono alrededor de 100 t/ha, cifras del orden de las obtenidas en nuestros sistemas en el año 2015.

### Ecuación alométrica en la biomasa arbórea (*Pinus patula*)

Se tuvieron como variables al diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (AT) y altura comercial (AC), como primera aproximación del modelo alométrico a ser utilizado. Esto permitió graficar la tendencia de las variables independientes (DAP) y la variable dependiente biomasa total.

Tras lo efectuado, se observó que a mayor DAP, existe mayor altura, lo cual indica que la plantación se encuentra en las primeras etapas, además presenta una correlación significativa positiva ( $p < 0,005$  y  $r^2 > 0,9154$ ).

El porcentaje de carbono en *Pinus patula* (42,70%), es menor al factor encontrado por Valenzuela (2001), del 50% en especies forestales, indicador que demues-

tra la concentración de carbono usado como factor de conversión para la proyección de la cantidad de carbono retenido por individuos en un área.

En la Tabla 2 se muestra que el modelo más sencillo para *Pinus patula* es un modelo de potencia. Este, considera que solo el DAP es una de las variables de fácil medición y mayor precisión que la altura.

**Tabla 2**

Estadísticos de ajuste de los modelos probados para la estimación de biomasa total para *Pinus patula*

Tipo de ecuación	Ecuación Alométrica	r <sup>2</sup>	P
Ecuación logarítmica	Bt = 85,118 ln (DAP) – 263,74	0,8839	0,005
Ecuación lineal simple	Bt = 1,6093(DAP) - 13,534	0,9014	0,004
Ecuación exponencial	Bt = 21,431e <sup>0,022(DAP)</sup>	0,9066	0,005
Ecuación potencial (*)	Bt = 0,6575 (DAP) <sup>1,1794</sup>	0,9154	0,003
Ecuación cuadrática	Bt = -0,0028 (DAP) <sup>2</sup> +1,919 (DAP) -21,762	0,9019	0,031

(\*) La ecuación elegida para estimar la cantidad de biomasa aérea en plantaciones de *Pinus patula* y su posterior estimación de carbono y CO<sub>2</sub>, por individuo en una determinada área en el distrito de Molinopampa, tiene una expresión de la forma:

$$BS = 0,6575 * DAP^{1,1794}$$

Esta ecuación utiliza solo el DAP como variable regresora, presentando un nivel de confianza aceptable con un r<sup>2</sup> mayor a 0,91.

La ecuación potencial de la forma  $BS = 0,6575 * DAP^{1,1794} * AF^{0,4057}$ , que determina la mayor correlación con respecto a las variables DAP y altura de fuste, indicando que existe un mayor grado de significancia representado por la biomasa;  $\beta = 0,892617 * (DAP)^{1,84697}$  con un r<sup>2</sup> lo más cerca a uno r<sup>2</sup> = 0,95 (Pereira *et al.*, 2016). Sin embargo, en función de los valores estadísticos presentados, y teniendo en cuenta los costos que representa, la evaluación en campo de las distintas variables y la facilidad para su medición, la introducción de esta variable no justifica la mejoría del modelo. Además, el valor obtenido en el presente trabajo es similar e

incluso mayor a los obtenidos por otros autores como Cruz *et al.* (2015) quienes obtuvieron valores de r<sup>2</sup> de 0,92 y 0,87 para las especies quillay, peumo, espino y litre, lo que le da más sustento a la ecuación alométrica encontrada.

Se determinó que el carbono total fue de 30,99 kg en promedio por árbol de pino pátula lo que representa 113,60 Kg de CO<sub>2</sub>, que representa el 42,70 % (tabla 3).

Cuando se compara la concentración de carbono del *Pinus patula* con el de otras especies de similar tamaño (Tabla 4), se observa que en la mayoría de los casos las otras especies la superan en cuanto a retención de carbono, sin embargo, si se compara con la especie *Alnus acuminata* el valor de retención de carbono del *Pinus patula* es superior; esto puede deberse al hecho de que la evaluación del contenido de carbono no se realizó en la misma edad para toda las plantaciones y a que las plantaciones de pino de este estudio son plantaciones jóvenes que no superan los diez años de edad. No obstante, cabe rescatar que la especie *Alnus acuminata* es más apreciada en la zona de estudio por su reconocida capacidad de aportar materia orgánica, debido a ello se encuentra formando parte de un gran número de sistemas silvopastoriles (Oliva, 2015a).

El carbono retenido por todo el sistema silvopastoril fue de 337,20 t/ha, este valor es superior a lo reportado por Huamancayo y Robles (2014) en sistemas silvopastoriles multiestrato, *M. flexuosa* y un sistema tradicional con pastura natural en los cuales se obtuvieron valores de 55,65; 55,83 y 56,96 respectivamente. Los valores obtenidos pueden indicar que la densidad de las plantaciones forestales es menor por hectárea en comparación al sistema silvopastoril con *Pinus patula*.

La importancia de conocer la capacidad de retención de carbono de la especie *Pinus patula* radica en que refuerza la teoría de que los sistemas silvopastoriles contribuyen a la adaptación y mitigación del cambio climático.

**Tabla 3**Determinación de la concentración de carbono total de *Pinus patula*

Árboles	Biomasa Húmeda (kg)	Biomasa seca (kg)*	Biomasa* 50%**	Carbono total (kg) (·)	CO <sub>2</sub> kg (··)	% CT respecto a BH (···)
A1	227,72	98,94	49,47	42,25	154,89	24,74
A2	248,08	104,54	52,27	44,64	163,65	26,14
A3	96,96	45,39	22,695	19,38	71,05	11,35
A4	153,45	67,27	33,635	28,73	105,32	16,82
A5	142,25	62,08	31,04	26,51	97,19	15,52
A6	130,7	57,17	28,585	24,41	89,49	14,29
Promedio			36,28	30,99	113,60	18,14

\*La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral); \*\*La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral); (·) El factor usado de 0,4270 fue obtenido del análisis de carbono en el tejido vegetal de *Pinus patula*; (··) El factor de conversión 3,666 es resultado de la división entre el peso molecular del CO<sub>2</sub> (44) por el peso molecular del carbono (12), para la proyección de CO<sub>2</sub>; (···) El porcentaje de carbono total respecto a biomasa húmeda, se realizó para determinar la cantidad de carbono en promedio que posee un ejemplar de *Pinus patula* en pie, que es del 18,14 %.

**Tabla 4**

Comparación de la retención de carbono en especies forestales

Especie forestal	Nombre común	Contenido de carbono (%)
<i>Pinus patula</i>	Pino patula	42,70
<i>Ceroxylon peruvianum</i>	Pona	56,69
<i>Alnus acuminata</i>	Aliso	32,9%
<i>Pinus cembroides</i> Zucc	Pino	47,7 % - 47,8%
<i>Picea mexicana</i> Martínez	Ciprés	46,98
<i>Pinus arizonica</i> Engelm	Pino amarillo	49,36
<i>Pinus ayacahuite</i>	Pino real	48,86
<i>Pinus culminicola</i>	Pino enano	46,13
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	Pino negro	46,87

Fuente: Maicelo *et al.*, 2012; Fonseca *et al.*, 2013; Pompa y Yerena, 2014; CONAFOR, 2008.

#### 4. Conclusiones

Los árboles presentaron un promedio de 30,99 kg de carbono secuestrado en tejido vegetal, equivalente a 113,60 kg de CO<sub>2</sub>, mientras que las herbáceas nativas de 15 a 20 días de edad presentaron un total de 3,50 t/ha y la hojarasca aportó 2,64 t/ha de carbono. La cantidad de carbono almacenado en el suelo bajo el sistema silvopastoril fue de 81,24 t/ha de carbono en las tres profundidades.

La especie *Pinus patula* presenta un buen porcentaje de captura de carbono, siendo de 42,70 %. En el sistema silvopastoril, se obtuvo 92,13 t/ha de carbono almacenado y con un factor de conversión de 3,66 se obtuvo 337,20 t/ha de carbono equivalente. Por otro lado, se estableció una ecuación que permite estimar la cantidad de carbono y CO<sub>2</sub> en pino patula: Biomasa seca =

0,6575\*DAP<sup>1,1794</sup> ( $r^2 = 0,9154$ ), que determinó la mayor correlación con respecto a la variable DAP.

Se recomienda realizar estudios de carbono para esta especie, teniendo en cuenta diferentes edades y hacer uso de un mayor número de ejemplares por parcela a fin de garantizar su representatividad. Además, estudios como este podrían ser importantes para otras especies forestales que forman parte de sistemas silvopastoriles dentro de la microcuenca ganadera de Molinopampa y otras de la región, a fin de analizar su importancia en la retención de carbono; pudiéndose además complementar con estudios sobre otros servicios ambientales como la formación y almacenamiento de materia orgánica, retención del suelo, belleza escénica y la regulación del ciclo hidrológico; ello ayudaría con la difusión de estos sistemas frente a los de campo abierto u otros sistemas que tienen una clara tendencia a la deforestación.

#### Referencias bibliográficas

- Aguirre, O. A.; Jiménez J. 2011. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 2(6): 73-84.
- Anguiano, J.M.; Aguirre, J.; Palma, J.M. 2013. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. Avances en Investigación Agropecuaria 17(1): 149-160.
- Borges, J.A.; Barrios, M.; Sandoval, E.; Bastardo, Y.; Márquez, O. 2012. Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado de Yaracuy. Bioagro 24(2): 121- 126.



- Botero, J.A. 2011. Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de Carbono, 2011. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4435S/y4435s07.htm>
- Cárdenas, E.; Bustamante, A.M.; Espitia, J.E.; Páez, A. 2012. Productividad en materia seca y captura de carbono en un sistema silvopastoril y un sistema tradicional en cinco fincas ganaderas de piedemonte en el departamento de Casanare. *Revista Medicina Veterinaria* 24: 51-57.
- Cañellas, I.; San Miguel, A. 2000. Determinación de la biomasa ramoneable y la composición química bromatológica de matorrales de *Quercus coccifera* L. *Pastos* 30(2): 205-225.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2008. Catálogo de contenido de carbono en especies forestales de tipo arbóreo del noreste de México. Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico. Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología. Jalisco, México. 44 pp. Disponible en: [http://www.ccms.org.mx/descargas/Catalogo\\_de\\_contenido\\_de\\_carbono\\_en\\_especies\\_forestales\\_de\\_tipo\\_arboreo\\_del\\_noroeste\\_de\\_Mexico.pdf](http://www.ccms.org.mx/descargas/Catalogo_de_contenido_de_carbono_en_especies_forestales_de_tipo_arboreo_del_noroeste_de_Mexico.pdf)
- Cruz, P.; Badcuñan, A.; Velozo, J.; Rdoríguez, M. 2015. Funciones alométricas de contenido de carbono para quillay, peumo, espinu y litre. *Bosque* 36 (3): 375-381.
- Cruz, G.; Etchevers, J.D. 2011. Contenidos de carbono orgánico de suelos someros en pinares y abetales de áreas protegidas de México. *Agrociencia* 45 (8): 849-862.
- Durán, G.; Sánchez, A. 2012. Cambio climático y derecho a la alimentación. Editorial Advantía S. A. 92 pp.
- Eyherabide, M.; Saínz, H.; Barbieri, P.; Echevarría, H.E. 2014. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo (Argentina)* 32(1): 13-19.
- Fonseca, W.; Ruiz, L.; Rojas, M.; Alice, F. 2013. Modelos alométricos para la estimación de biomasa y carbono en *Alnus acuminata*. *Ciencias ambientales* 46: 37-50.
- García, Y.; Ramírez, W.; Sánchez, S. 2012. Indicadores de calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* 35(2): 125-138.
- Gudynas, E. 2015. Situación actual de los recursos naturales. *Leisa revista de agroecología* 31(3): 36-38.
- Huamancayo, G.G.; Robles, R.R. 2014. Carbono almacenado en tres sistemas ganaderos en el distrito de José Crespo y Castillo, Aucayacu. Proyecto "Implementación de una unidad familiar de producción sostenible para el trópico húmedo". Resumen de artículos científicos de trabajos de investigación realizados en la unidad familiar de producción sostenible en el trópico húmedo-Aucayacu. Volumen I. Tingo María 2014.
- Jiménez, J.; Treviño, E.J.; Yerena, J.I. 2013. Concentración de carbono en especies del bosque de pino-encino en la sierra madre nororiental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4 (17): 50-61.
- López, A.; Schlönvoigt, A.; Muhammad, I.; Kleinn, C.; Kanninen, M. 2011. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6 (33): 51-53.
- Maicelo, J.L. 2012. Indicadores de sustentabilidad en función del suelo y retención de carbono en la biomasa de *Ceroxylon peruvianum* Galeano, Sanín & Mejía en la cuenca media del río Utcubamba, Amazonas, Perú. *Ecología aplicada* 11(1): 33-38.
- Martel, C.; Cairampoma, L. 2012. Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en "Cicra", Madre de Dios (Perú). *Ecología Aplicada* 11(2): 59-65.
- Mostacedo, B.; Fredericksen, T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Editora El País. Santa Cruz, Bolivia. 92 pp.
- Oliva, S.M.; Collazos, R.; Espárraga, T.A. 2015. Efecto B de las plantaciones de *Pinus patula* sobre las características fisicoquímicas de los suelos en áreas altoandinas de la región Amazonas. *Revista Indes* 2(1): 28-36.
- Oliva, S.M. 2015. Influencia de los factores socioeconómicos y ambientales sobre la adopción de tecnologías silvopastoriles en los productores ganaderos del distrito de Molinopampa, Amazonas. Tesis para optar el grado de Magister Scientae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 126 pp.
- Pascale, C.; Zubillaga, M.M.; Taboada, M.A. 2014. Suelos, producción agropecuaria y cambio climático: Avances en Argentina. Primera edición. Argentina, Buenos Aires, Argentina. 15 pp. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Nuria\\_Lewczuk/publication/304913926\\_Sustentabilidad\\_y\\_las\\_emisiones\\_de\\_carbono\\_en\\_la\\_agricultura\\_argentina/links/577d0cbe08aeb71c4e939fc4/Sustentabilidad-y-las-emisiones-de-carbono-en-la-agricultura-argentina.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Nuria_Lewczuk/publication/304913926_Sustentabilidad_y_las_emisiones_de_carbono_en_la_agricultura_argentina/links/577d0cbe08aeb71c4e939fc4/Sustentabilidad-y-las-emisiones-de-carbono-en-la-agricultura-argentina.pdf)
- Pereira, L.R.; Maia, E.; Araújo, H.; Lemos, P.C.; Ribeiro, J.C.; Soares, F.J. 2016. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. *Revista Ciencia Agronómica* 47 (1): 32-40.
- Pompa, M.; Yerena, J.I. 2014. Concentración de carbono en *Pinus cembroides* Zucc: fuente potencial de mitigación del calentamiento global. *Revista Chapingo Serie CC. Forestales y del Ambiente* 20(3): 169-175.
- Rodríguez, G.; De Los Santos, H. M.; Gonzáles, V. A.; Aldrete, A.; Gómez, A.; Fierros, A. M. 2012. Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de pino de rápido crecimiento en Oaxaca. *Madera y Bosques* 18(1): 25-41.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M; De Haan, C. 2006. *Livestock's Long Shadow. Environmental Issues and Options*. LEAD-FAO, Rome 2006. 26 pp.
- Timoteo, K.; Remuzgo, J.; Valdivia, L.; Sales, F.; García, D.; Abanto, C. 2016. Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia Amazónica* 25 (1): 45-54.
- Valenzuela, H. 2001. Estimación de secuestro de carbono en bosques naturales de oyamel (*Abies religiosa*) en el sur del Distrito Federal. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Vásquez, H.; Maicelo, J.L.; Collazos, R.; Oliva, M. 2014. Selección, Identificación y distribución de malezas (adventicias), en praderas naturales de las principales microcuencas ganaderas de la región Amazonas. *Revista Indes* 2(1): 71-79.
- Vela, G.; López, J.; Rodríguez, M.L. 2011. Niveles de carbono orgánico total en el suelo de conservación del distrito federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 77: 18-30.