

# Modelo alométrico para estimar el potencial de captura de carbono en *Polylepis spp* en Poccrac, Ancash 2016

## *Alometric model to estimate the potential of carbure capture in Polylepis spp in Poccrac, Ancash 2016*

---

<sup>1</sup>Eleuterio Ramírez Apolinario<sup>a</sup>, <sup>2</sup>Freddy Pelaez Pelaez<sup>b</sup>

---

Recibido, abril 2018

Aceptado, julio 2018

### RESUMEN

En el siguiente estudio se han generado ecuaciones alométricas para estimar la biomasa forestal aérea de dos especies: *Polylepis incana* y *Polylepis sericea*, de un bosque natural andino ubicado en el caserío de Poccrac, en las alturas de Ticapampa, Ancash.

Las ecuaciones alométricas para ambas especies, han sido diseñadas a partir de 15 datos, relacionando la biomasa (M) como variable dependiente con el diámetro de altura de pecho como variable independiente (DAP).

La medida del DAP de los árboles de *Polylepis* seleccionados están dentro del rango que va desde 5 cm a 20cm.

En el análisis de regresión realizado con el programa estadístico SPSS V 22.0, se encuentra para la especie *Polylepis incana* un coeficiente de correlación de  $r^2=0.929$  y para la especie *Polylepis sericea* un  $r^2=0.94$ , lo cual indica un alta relación entre las variables biomasa y DAP, mostrando buena bondad de ajuste para los parámetros que constituyen la ecuación alométrica de ambas especies.

Los resultados obtenidos constituyen un importante aporte metodológico para las estimaciones de captura de carbono en zonas destinadas a la conservación y una herramienta para valorar la función de captura de CO<sub>2</sub> en bosques andinos.

**Palabras clave:** Ecuaciones Alométricas, Biomasa, Ecosistemas Andinos

<sup>1</sup>Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Trujillo

<sup>a</sup> Lic. Física

<sup>b</sup> Biólogo

## ABSTRACT

*In the following study, allometric equations have been generated to estimate the aerial forest biomass of two species: *Polylepis incana* and *Polylepis sericea*, from an Andean natural forest located in the village of Poccrac, in the heights of Ticapampa, Ancash.*

*The allometric equations for both species have been designed from 15 data, relating the biomass (M) as a dependent variable with the diameter of breast height as an independent variable (DAP). The DAP measurement of the selected *Polylepis* trees are within the range of 5 cm to 20 cm. In the regression analysis performed with the statistical program SPSS V 22.0, a correlation coefficient of  $r^2 = 0.929$  is found for the *Polylepis incana* species and a  $r^2 = 0.94$  for the *Polylepis sericea* species, which indicates a high relation between the biomass variables and DAP, showing good goodness of fit for the parameters that constitute the allometric equation of both species.*

*The results obtained constitute an important methodological contribution for the estimates of carbon capture in areas destined for conservation and a tool to assess the CO<sub>2</sub> capture function in Andean forests*

**Keywords:** *Allometric equations, biomass, Andean ecosystems*

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de tipo ambiental que afectan al mundo, está relacionada con el cambio climático, las altas emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como parte de los gases de efecto invernadero (GEI), han influido directamente a este cambio especialmente a partir de mediados del siglo XIX (Orrego et al., 2003).

La permanencia en la atmósfera del CO<sub>2</sub> potencializa el fenómeno y es por esto que las estrategias de mitigación están direccionadas a su disminución y captura (Pearson et al., 2005).

Los bosques son sistemas complejos que pueden contribuir a la mitigación del cambio climático pues almacenan carbono en la vegetación y en el suelo e intercambian carbono con la atmósfera a través del proceso fotosintético y la respiración.

El CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera se captura en los procesos metabólicos de las plantas a través de la fotosíntesis; en este proceso, el carbono atmosférico secuestrado se expresa en términos de biomasa constituido por follaje, ramas, raíces, troncos, flores y frutos (Rodríguez et al., 2006).

Siendo los árboles los que retienen en mayor cantidad este elemento por unidad de área en comparación con otros tipos de vegetación (IPCC, 2007).

En el Perú, los bosques andinos son remanentes de grandes extensiones de bosques de quenual (*Polylepis* spp.) y colle (*Buddleia* spp.), que han sido fuertemente talados para la ampliación de la frontera agropecuaria, producción de leña, carbón y como combustible para la

minería extensiva, desde las épocas precoloniales hasta la actualidad. (Llerena et al., 2014).

Algunos reducidos a manchas o parches forestales, quedando apenas menos de unos 940 km<sup>2</sup> de estos bosques, entre los 3 000 y 4 500 msnm, en zonas muy apartadas, protegidas por su difícil acceso y también como áreas naturales protegidas (Fjeldså y Kessler, 1996).

En las partes elevadas de la Cordillera Blanca en la zona de Ancash, la vegetación mayormente se presenta en forma de pajonales y pequeños arbustos, siendo el género *Polylepis*, el elemento arbóreo dominante.

Su tala, (a pesar de ser una especie protegida) está generando pérdida de la diversidad biológica, alteración del ciclo hidrológico y cambio micro meteorológico, afectando a la población local y a la vez acelerando la degradación del ecosistema.

Su conservación representa una prioridad por su extraordinaria riqueza y endemismo, y porque varias de sus especies constituyentes están siendo severamente amenazados (Aubad et al., 2010).

Urge, buscar mecanismos de solución diferentes a los utilizados en la actualidad, que pasa solo por prohibir la tala de esta especie, actividad que no puede ser controlado en su totalidad, debido a la extensión del área geográfica por donde se extienden los pequeños bosques de *Polylepis* y por la necesidad específica de cada

población que se ubica en las cercanías de estos bosques.

Una alternativa viable según Ruignitz et al, (2009), sería realizar intervenciones productivas de servicios ambientales, que tengan como meta la estimación de captura de carbono en bosques de productores familiares o comunidades rurales, como una forma de generar beneficios financieros mediante el acceso al mercado de bonos de carbono.

El servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en ecosistemas forestales y agroforestales es un mecanismo aprobado en el Protocolo de Kyoto para la reducción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Pero antes, debe ser estimado, cuantificado y valorado económicamente, necesitándose para ello de una metodología apropiada. (Camilo y Díaz 2010).

Avendaño et al., (2011), sostiene que: "la estimación de la biomasa en zonas que están dedicadas a la conservación requieren de la implementación de un método de medición con datos que se ajusten a la estructura particular de cada bosque sin la necesidad de generar tala de árboles".

Ziani y Mencuccini, (2004); proponen métodos indirectos a partir de mediciones dasométricas precisas como por ejemplo el diámetro de altura de pecho (DAP), como una alternativa adecuada para la estimación de la biomasa en áreas donde existen restricciones para la tumba de árboles y se requieren resultados con bajo margen de error.

Etchevers et al., (2002). Sostienen que el uso de modelos alométricos como metodología permite obtener una estimación confiable y directa de la biomasa y por ende del carbono en los sistemas vegetales, porque tal estimación es individual y mediante la sumatoria se puede obtener una estimación global para cada sistema.

En ese sentido el objetivo de siguiente estudio está orientado básicamente en determinar una metodología basada en ecuaciones alométricas, para estimar el potencial de captura de carbono en especies de *Polylepis incana* y *Polylepis sericea*, que crecen en bosques nativos del caserío de Poccrac, distrito de Ticapampa, Ancash.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Objeto de estudio

Biomasa de plantas de *Polylepis* spp de las especies incana y sericea de un bosque interandino ubicado en la zona de Poccrac, Distrito de Ticapampa en Ancash.

### Selección de la muestra

La selección de las plantas a talar se realizó empleando un muestreo no probabilístico de tipo intencional, es decir se seleccionó el tipo de planta de acuerdo a sus características dasométricas como: diámetro de altura de pecho (DAP), fuste recto y de crecimiento en lugares de fácil acceso.

Las plantas seleccionadas estuvieron en un rango de:  $5\text{cm} \leq \text{DAP} \leq 20\text{ cm}$ . Para ambas especies se realizó 15 talas, cantidad utilizada en muchos estudios según Ruignitz et al., (2009). Éstas fueron hechas en el periodo que va de mayo a diciembre que es época de carencia de lluvias en la zona sierra de Ancash.

### Área de estudio

La recolección de datos se realizó en remanentes de un bosque natural, ubicado en las quebradas del caserío de Poccrac, distrito de Ticapampa-Recuay. Región de Ancash.

Geográficamente situado entre las coordenadas: Latitud  $09^{\circ}45'28''$  Sur. Longitud:  $77^{\circ}26'40''$  Oeste. Y una altitud de 3465msnm (Código Ubigeo: 021710-RENIEC).

Esta zona tiene un clima de tundra, con una temperatura media de  $9,3^{\circ}\text{C}$ , y un promedio de 715mm de precipitación anual. El tipo de suelo que presenta es de terraza aluvional, constituida por materia de grava en matriz arenosa.

### Métodos y técnicas

En este trabajo se utilizó una metodología basada en la correlación de la biomasa y el DAP, ya que según Solano et al. (2014), ésta constituye la variable que frecuentemente mas se relaciona con la biomasa y es la mas fácil de ser medida en campo, ya que la altura y otras variables son menos precisas de identificar y medir.

Además, según el mismo autor, los modelos alométricos con variables logarítmicas y con exponentes cuadrados, son los que mejor nivel de significancia tienen; es decir son los modelos más confiables y que mejor se ajustan para calcular la biomasa aérea de las especies forestales.

Para el análisis de la regresión lineal de las ecuaciones alométricas se utilizó el programa estadístico SPSS V 22.0

### Estimación de biomasa

Para estimar la biomasa se utilizó el método

indirecto (tala de baja intensidad), que consiste en cortar y pesar una cantidad definida de árboles, la masa (M) de éstas plantas se relaciona con una variable dasométrica de fácil medición como el diámetro de altura de pecho (DAP), según lo sugerido por Schlegel et al. (2001, Brown (2001) y Acosta et al. (2002). luego se estima el comportamiento de la relación en un gráfico (M vs DAP).

Mediante análisis de regresión se forma una ecuación que se denomina alométrica, que puede ser extrapolada a toda la cantidad de árbol de la especie presente en el área.

Contenido de carbono en la biomasa. El IPCC (2007), estima un valor estándar de 0,5 como factor de fracción de carbono (FC) presente en la masa de toda materia vegetal; es decir toda planta contiene en su estructura un 50% de carbono, una vez que se há removido el agua.

Por lo tanto, para transformar los valores de biomasa en valores de carbono orgánico, se considera la siguiente relación:

$$C = 0,5 M$$

Donde: C, es la cantidad de carbono presente en la planta; 0,5 es el FC; M es la masa de la planta.

La conversión de carbono a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), también se realiza mediante

estándar establecida por la IPCC (2007).

$$CO_2 = Kr * C$$

Donde: CO<sub>2</sub>, es dióxido de carbono (Kg); C es carbono (Kg) y Kr es la relación de los pesos moleculares de CO<sub>2</sub> y C.

Técnica de recolección y pesaje de muestras  
En la toma de datos procedimos a medir el DAP de la planta antes de talar, luego de la tala se separaron las partes: fuste, ramas y hojas y se pesaron separados.

El pesado de las partes se realizó en el campo, luego fueron trasladados a un almacén para su secado natural y en sombra.

El avance del secado fue monitoreado semanalmente hasta que alcanzó un peso constante (que aproximadamente sucede a las 8 semanas).

En inventario realizado en el área de estudio se identificó 37 árboles de *Polylepis incana* y 28 de la especie *Polylepis sericea*, con diámetros de altura de pecho que están dentro del rango de 5 a 20 cm.

Estos datos están consignados en la tabla 1, para la especie *Polylepis incana* y la tabla 2 para la especie *Polylepis sericea*.

**TABLA 1 : Diámetro de altura de Pecho (DAP) y de la biomasa aérea de *Polylepis ilncana***

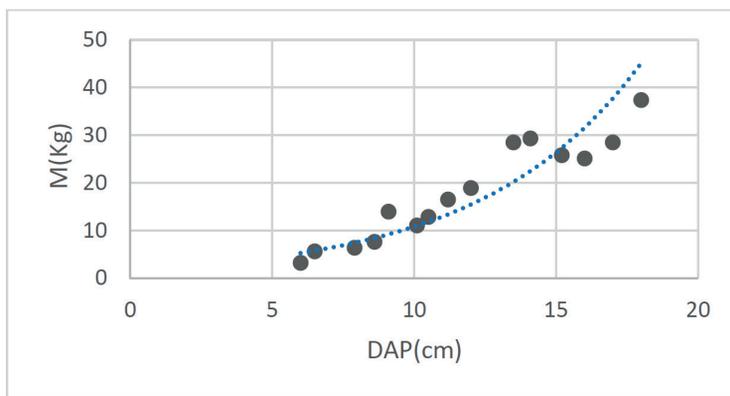
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DAP (cm)	11,2	10,5	16,0	17,0	18,0	9,1	6,5	7,9	12,0	13,5	6,0	15,2	14,1	10,1	8,6
M (Kg)	16,5	12,9	25,1	28,5	37,4	14,0	5,62	6,4	18,9	28,5	3,2	25,8	29,3	11,1	7,6

**TABLA 2 : Diámetro de altura de pecho (DAP) y de la biomasa aérea de *Polylepis sericea***

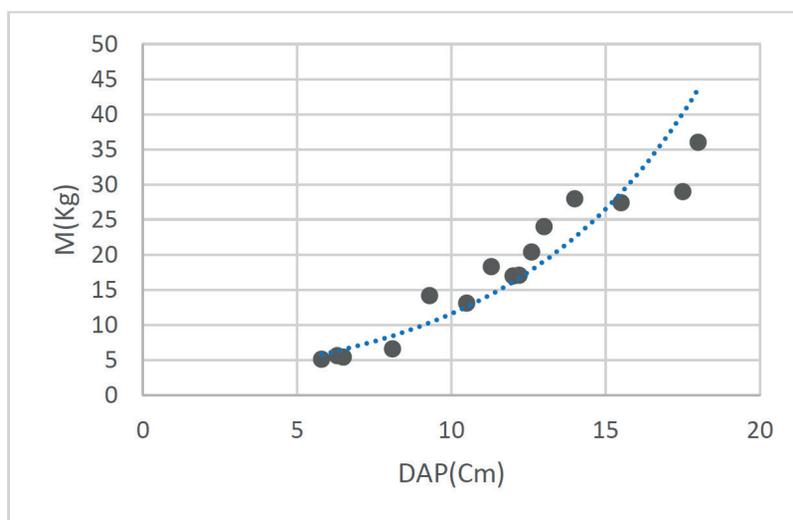
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DAP (cm)	17,5	12,0	13,0	10,5	18,0	9,3	12,2	15,5	6,3	8,1	12,6	14,0	5,8	6,5	11,3
M (Kg)	29,0	17,0	24,0	13,1	36,0	14,2	17,1	27,4	5,6	6,6	20,4	28,0	3,0	5,4	18,3

Al relacionar la información de biomasa (M) y el diámetro de altura de pecho (DAP) para ambas especies, se obtiene los gráficos de la figura 1 y figura 2.

En ella se observa un comportamiento de tipo polinomial de la forma  $M = B (DAP)^A$  ( con constantes A y B por estimar).



**Figura 1. Comportamiento polinomial de la relación biomasa aérea y DAP, para *Polylepis incana***



**Figura 1. Comportamiento polinomial de la relación biomasa aérea y DAP, para *Polylepis Sericea***

### RESULTADOS

El comportamiento polinómico de la dependencia de las variables, se linealizó aplicando el Ln a la biomasa M y el Ln al DAP (para ambas especies), quedando una

ecuación linealizada de la forma  $\text{Ln } M = \text{Ln } B + A \text{ LnDAP}$ , en donde A y B son los parámetros de ajuste del modelo. (figura 3 y figura 4).

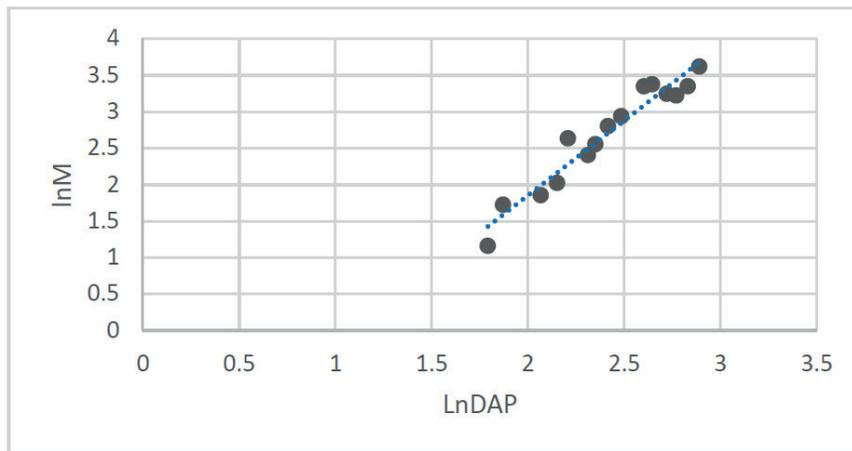


Figura 3. Comportamiento lineal de la relación biomasa aérea y DAP, para Polyilepis Incana.

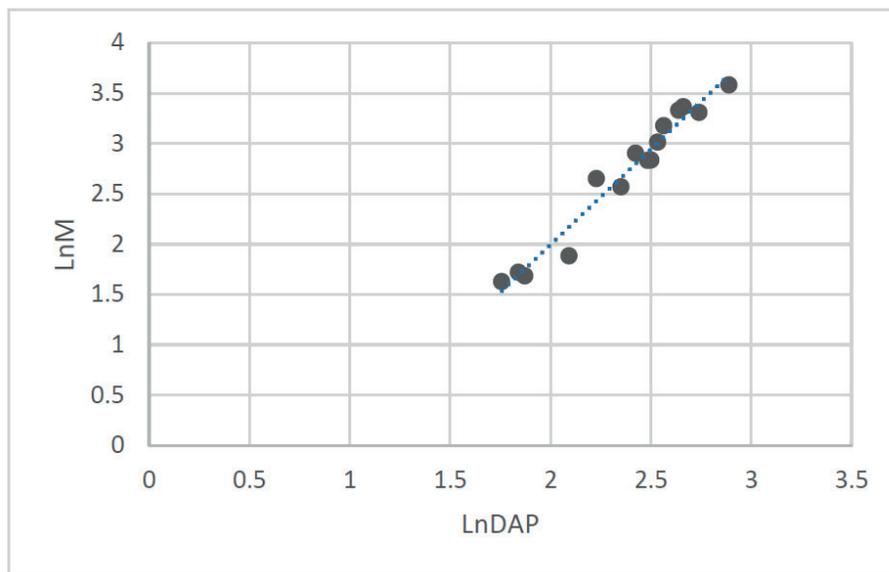


Figura 4. Comportamiento lineal de la relación biomasa aérea y DAP, para Polyilepis Sericea .

Para estimar el valor de las constantes A , B y determinar la bondad de ajuste de las variables se realizó el tratamiento

de datos con el software estadístico SPSS V 22.0, obteniendo el siguiente resultado.

**TABLA 3 : Parámetros del análisis de regresión lineal con el programa estadístico SPSS V 22.0**

Nombre	Coeficientes			r	r <sup>2</sup>	r <sup>2</sup> corregido	Error tipo residual
	LNB	A	N				
<i>Polylepis incana</i>	-2,137	2,0078	15	0,968	0,936	0,929	0,043
<i>Polylepis sericea</i>	-2.1757	2,0250	15	0,970	0,941	0,934	0,041

Estimados las constantes A y B construimos las ecuaciones alométricas, estableciendo una forma polinomial y otra lineal.

**TABLA 4 : Modelos alométricos del tipo polinomial y lineal para *Polylepis incana* y *Polylepis sericea***

Especie	Modelo Alométrico	
	Polinomial	Lineal
<i>Polylepis incana</i>	$M = 0,118 \text{ DAP}^{2,0078}$	$\text{Ln}(M) = -2,371 + 2,0078\text{Ln}(\text{DAP})$
<i>Polylepis sericea</i>	$M = 0.1135 \text{ DAP}^{2,025}$	$\text{Ln}(M) = -2.1757 + 2.025 \text{ Ln}(\text{DAP})$

El cálculo de biomasa, carbono y bióxido de carbono presente en la totalidad de estas plantas, se calculó utilizando la ecuación alométrica polinomial, obteniendo el siguiente resultado.

**TABLA 5 : Cantidad de biomasa, carbono y dióxido de carbono presentes en el bosque natural de Pocracc.**

Especie	DAP	N	M(Kg/Ha)	C(Kg/Ha)	CO <sub>2</sub> (Kg/Ha)
<i>Polylepis incana</i>	5 cm ≤ DAP ≤ 20 cm	37	821,29	410,645	1 505,946
<i>Polylepis sericea</i>	5 cm ≤ DAP ≤ 20 cm	28	579.15	289,575	1 061,872

## DISCUSIÓN

El análisis de regresión lineal de las ecuaciones alométricas (tabla 3), arrojó como resultado valores de  $r^2 = 0.929$  para *Polylepis incana* y  $r^2 = 0.934$  para *Polylepis sericea*; ésto indica que en ambos modelos existe una

fuerte correlación entre las variables estimadas.

Además, los valores de los parámetros relacionados con la pendiente del modelo lineal para cada especie son similares, lo

que hace suponer que es posible utilizar un modelo general única para las dos especies estudiadas.

El modelo exponencial obtenido para ambas especies (tabla 4) se corresponde con lo estimado por Chave et al.,(2005), quien propone la ecuación alométrica:  $M = 0,112 \text{ DAP}^{1,832}$  (sin considerar parámetros como la densidad de la madera y- la altura del árbol) para el cálculo de contenido de carbono en biomasa arriba del suelo en bosques de costa y sierra.

El DAP como variable independiente es un buen predictor de la biomasa aérea de las especies estudiadas, ya que las ecuaciones alométricas obtenidas dieron coeficientes de determinación cercanos a la unidad.

La biomasa aérea hallada para *Polylepis incana* es de de 821,29 Kg/Ha y de 579,15 Kg/Ha para *Polylepis sericea*, lo que hace un aproximado de 33,2 y de 20,7 Kg de masa promedio por árbol respectivamente, resultado que se aproxima a lo obtenido por Calderon y Lozada (2010) quien ha encontrado biomasa de 21,78 Mg/Ha para una densidad de 1000 ind/Ha, de la especie *P. incana*, que transformado a peso promedio por individuo resulta en 21,78 Kg de biomasa para cada árbol de 8 años de edad.

Es muy común encontrar resultados como el de Vasquez et al.(2014) que para la especie *P. incana* hallan biomasa de 76Mg/Ha, donde no se especifica el número de individuos, porque en éstos casos el estudio es realizado tomando muestras por parcelas y luego se extrapola a una hectárea; éstos tipos de estudio es aplicable para plantaciones en donde se tiene homogeneidad de las plantas.

En nuestro caso las especies estudiadas se encuentra dispersos en diferentes cantidades por hectárea en terrenos irregulares de la zona; es decir no es una plantación uniforme de ahí que lo mas recomendable a nuestro entender es individualizar la cantidad promedio de biomasa por planta.

## CONCLUSIONES

El valor alto del coeficiente de correlación ( $r^2$ ) indica una aceptable variabilidad en los datos y que el modelo para ambas especies es adecuado y significativo.

Al desarrollar modelos alometricos teniendo como variable dependiente el DAP se obtiene buenos ajustes y esto es una ventaja puesto que su medición en el campo es fácil de realizar.

La cantidad de carbono almacenado en especies de *P. incana* y *P. sericea* en el bosque natural de Pocrac, para DAP de 5 a 20 cm, está dentro de los siguientes promedios: *P. incana* 410,645 Kg/Ha, para una densidad de 37 individuos y la cantidad obtenido para *P. sericea* es de 289,575 Kg /Ha para una densidad de 28 individuos, resultados que se encuentran dentro de los estándares obtenidos por otros estudios relacionados en el tema.

Esta investigación proporciona una base sólida para evaluar la capacidad de fijación de carbono de los bosques naturales de la Sierra norte del Perú, utilizando la metodología propuesta se puede calcular de forma sencilla las cantidades de carbono susceptibles de ser almacenadas en la vegetación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avendaño, R., A. Galindo y A. Angulo. 2011. Ecología y educación ambiental. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, México DF.
- Acosta M., Vargas H., Velasquez M. y Etchevers B. (2002). estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *agrociencia* 36. 752-736.
- Aubad, J., Aragón, P. y Rodríguez, (2010). Human access and landscape structure effects on Andean forest bird richness, *Acta Oecologica* 36: 396-40.
- Brown, S. (2001). Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer. Roma. FAO forestry paper, 134.
- Calderón, M., y Lozada, V. (2010). Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*. Escuela Politécnica del Ecuador.
- Camilo, P.; y Díaz, T. (2010). Estimación del carbono contenido en la biomasa forestal aérea de dos bosques andinos en los Departamentos de Santander y Cundinamarca. Colombia. UDFJC.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, A. Cairns, J. Chambers, H. Lescure, B. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riera, T. Yamakura (2005). Tree Allometry and improved estimation of Carbon Stocks and Balance in Tropical Forests. *Oecologia* 145.
- Etchevers, J.; Vargas J; M. Acosta; A. Velásquez (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca-México *Agrociencia*. Vol.36.Nº006.
- Fjeldså, J y Kessler, M. (1996). Conserving the Biological Diversity of *Polylepis* Woodlands of the Highland of Peru and Bolivia. A contribution to sustainable natural resource management in the Andes. NORDECO. Copenhagen, Denmark. pp: 250.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *Climate Change (2014): The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. Paris, Francia. s.e. p 2.
- Llerena, P.; S. Yalle ; E. Silvestre (2014). Los bosques y el cambio climático en el Perú: Situación y perspectivas. Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Lima –Perú.
- Machado, A., Conceicao, B., Figueiredo, J. 2002. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantacoes de pinus oocarpa. *Revista Ciencias Exatas e Naturais*, Vol. n°4 Jul/ dez. : 185-197.
- Orrego, J. del Valle, J. y Moreno, F, (2003). Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia. (Eds.). Medellín. Universidad Nacional de Colombia.
- Pearson, T. Walker, y Brown, S. (2005). Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank. 64 p.
- Rodriguez, R. Jimenez, J. Aguirre, O. y Treviño, E. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *CIENCIA UANL* 9: 179 p.

Rugnitz, M. T.; Chacón, M.L; Porro R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales 1ª edición, Lima Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).

Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Manual de procedimientos para inventarios. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

Solano, C.vega, V. H. Heras, K.Cueva. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. CEDAMAZ. Ecuador

Vásquez, E., Ladd, B., y Borchard, N.(2014). Carbon storage in a high-altitude Polylepis Woodland in the Peruvian andes. Alpine Botany. 124(1),71-75.

Zianis D., Mencuccini M., 2003. On simplifying allometric analyses of forest biomass. Forest Ecology and Management, 187: 311-332.

### **CORRESPONDENCIA**

Mag. Eleuterio Ramirez Apolinario  
e-mail: era\_0262@hotmail.com