

Estimación de volúmenes maderables de *Eucalyptus globulus* en el distrito de Lajas - provincia de Chota.

Estimation of timber volumes of *Eucalyptus globulus* in the Lajas district - Chota province.

Dialeny Meliza Delgado Delgado ¹; Yon Gilder Herrera Cieza ¹; Roxana Jackeline Rafael Sánchez ¹; Miguel Ángel Villar Cabeza ²; Fátima Elizabeth Marcelo Bazán ³; Juan Rodrigo Baselly Villanueva ³.

RESUMEN

El *Eucalyptus globulus* es la especie exótica más plantada en el país, pero se desconoce la situación actual de la producción maderable de todas estas plantaciones. En este contexto se realizó un inventario forestal para cuantificar el volumen de madera de un macizo forestal de esta especie, ubicada en el distrito de Lajas provincia de Chota departamento Cajamarca. Determinándose un Volumen total (Vt) de 36.8377 m³ ha⁻¹ y comercial (Vc) de 18.8876 m³ ha⁻¹. Además, se realizó los cálculos del Incremento Medio Anual total (IMAt) siendo de 3.0699 m³ha⁻¹año⁻¹ y del Incremento Medio Anual comercial (IMAc) que es de 1.5740 m³ha⁻¹año⁻¹. Finalmente se utilizó el modelo de regresión $\text{Log}V_{T/C} = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(\text{DAP} \times H_{T/C}) + \varepsilon$ para estimar VT y VC, obteniéndose buenos ajustes con Coeficientes de correlación (R_{yy}) de 0.989 y 0.973.

Palabras claves: *Eucalyptus globulus*, inventario forestal, Volumen total (VT), Volumen comercial (VC), Incremento Medio Anual (IMA).

ABSTRACT

Eucalyptus globulus is the most planted exotic species in the country, but the current situation of the timber production of all these plantations is unknown. In this context, a forest inventory was carried out to quantify the volume of wood of a forest massif of this species, located in the district of Lajas province of Chota department of Cajamarca. Determining a Total Volume (Vt) of 36.8377 m³ ha⁻¹ and commercial (Vc) of 18.8876 m³ ha⁻¹. In addition, calculations were made of the Total Annual Average Increase (IMAt) being of 3.0699 m³ha⁻¹año⁻¹ and the Average Annual Commercial Increase (IMAc) which is 1.5740 m³ha⁻¹año⁻¹. Finally, we used the regression model $\text{Log}V_{T/C} = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(\text{DAP} \times H_{T/C}) + \varepsilon$ to estimate VT and VC, obtaining good adjustments with correlation coefficients (R_{yy}) of 0.989 and 0.973.

Keywords: *Eucalyptus globulus*, forest inventory, Total volume (Vt), Commercial volume (Vc), Annual average increase (IMA).

¹ Alumnos de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional Autónoma de Chota.

² Responsable del PIA (Programa de Investigación Agraria Forestal) de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca – INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria).

³ Equipo técnico del PIA (Programa de Investigación Agraria Forestal) de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca – INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria).

INTRODUCCIÓN

El *Eucalyptus globulus* es originario de Tasmania, siendo introducido al Perú en el año 1860 con la finalidad de establecer plantaciones, encontrándose las primeras en los departamentos de Junín, Cusco y Ancash (Moreno 2015, Fernández 2008); en Cajamarca se llevó a cabo entre 1880 y 1882, siendo probablemente los mojes de la congregación Franciscana quienes repartieron las primeras plantas (Pajares s.f.). Esta especie forestal es de mayor utilización en la reforestación del país y su aceptación como madera ha ido creciendo en el mercado nacional, por lo que constituye una opción muy promisoriosa. El IGP (2012), indica que el *Eucalyptus globulus* genera ingresos económicos, porque sirve para leña, construcción, delimitación de linderos, muebles, para usos medicinales, entre otros. Hasta el año 2013 se contó con aproximadamente 1 008 000 ha de superficie reforestada (Samaniego 2013); por la cantidad de plantaciones existentes David y Cárdenas (1979), mencionan que el eucalipto ocupa el 90 % de la extensión de plantaciones en el Perú, adaptándose a condiciones de la sierra entre los 2000 y 3500 metros sobre el nivel del mar. Gillis y Flores (1983) realizaron un estudio situacional de plantaciones de eucalipto en el departamento de Cajamarca, plantadas entre los años 1974 y 1980, determinado que no son rentables para una industria ya que tienen poca supervivencia, mucha heterogeneidad y poco crecimiento.

Para saber la cantidad de madera existente en un predio se realiza una evaluación de productividad de un sitio, una de las formas más utilizadas es la determinación del volumen ya que este valor permite apreciar la ganancia producida al combinar el diámetro y la altura (Pinilla y Gonzales 1996),

obteniéndose esta información mediante un inventario forestal que Cuñachi (s. f), lo define como un método de recolección y registro de datos de los diferentes árboles forestales que conforman el bosque o plantación, por medio de pequeñas parcelas de muestreo, SERFOR (2016) señala que esta actividad constituye uno de los instrumentos más importantes para el registro de información en la evaluación de los recursos forestales, mostrando un estado situacional cuantitativo y cualitativo.

El análisis de regresión es un método estadístico para el estudio de la interdependencia entre variables, el análisis se centra en el estudio de la relación matemática entre variables, con el objetivo de predecir valores de una o más variables dependientes a partir de un conjunto de variables predictoras (Cancino s.f.). Una forma de acceder al conocimiento del volumen de madera de una plantación de forma práctica y en menor tiempo es a través de la regresión (Da Cunha *et al.* 2009). En los modelos volumétricos la variable predictoria sólo puede ser el DAP o el DAP y alturas, el uso de estas depende de la variación en la masa forestal, y la variable a predecir es el volumen.

En vista de la gran importancia de esta especie por sus beneficios, su gran extensión en el país, y que en la actualidad es escasa la información sobre la producción maderable. Se realizó un inventario de una plantación ubicada en el distrito de Lajas provincia de Chota departamento de Cajamarca con el fin de generar información, sobre la cantidad de madera existente y la situación actual en la que se encuentra.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de la investigación

La investigación se desarrolló en una plantación forestal de *Eucalyptus globulus*, ubicada en el distrito de Lajas provincia de Chota departamento de Cajamarca. Entre las coordenadas 750918 – 751201 Este y 9275475 – 9275734 Norte UTM de la proyección WGS 84-Zona 17S, y con un rango altitudinal entre 2186 y 2268 msnm. El macizo está en un sistema de plantación de tres bolillos, con un distanciamiento de 3 x 3 m. Los árboles fueron aprovechados a los 21 años, y ahora sus rebrotes tienen 12 años, los cuales no tienen manejo y en su mayoría presentan gomosis. La extensión arbórea actual es de 3.36 ha, con pendientes de entre 3 y 45 %,

Según, Valdivia *et al.* (s. f), indica que el distrito de Lajas se ubica a una latitud de 6°33' Sur, longitud 78°44'Oeste y su temperatura media anual se encuentra entre 15.9 °C a 21.0 °C. Según Sánchez y Sánchez (2010), de acuerdo a la clasificación de Javier Pulgar Vidal, Chota – Lajas se encuentra dentro de la región Quechua baja, con un clima fresco.

Metodología

Usando un GPS se georreferenció el perímetro de la masa boscosa y el centroide de cada parcela. Los datos obtenidos, coordenadas, fueron procesados en el programa ArcGIS, calculando el área total de la plantación y se verificó la adecuada distribución de las parcelas.

El inventario de la plantación se realizó con la finalidad de determinar Volumen total (Vt), Volumen (Vc) y el Incremento Medio Anual

(IMA). Se instalaron 20 parcelas rectangulares con un tamaño de 25m x15m (375 m²), dispuesta al azar en función de la fisiografía del terreno. En cada una de estas se midió el DAP, Altura total (Ht) y comercial (Hc), mensurándose un total de 579 árboles. Se utilizó forcípula para la medición del DAP y el hipsómetro Suunto para medir alturas.

Los datos obtenidos en el inventario fueron sistematizados y procesados en el software Excel. Para determinar las frecuencias diamétricas se usaron todos los datos. En el cálculo de los volúmenes se usaron DAPs mayores de 5 cm, obteniéndose los volúmenes existentes en cada parcela, los cuales fueron promediados y extrapolados para estimar los volúmenes para todo el predio.

Para el ajuste se utilizó modelo de Spurr linearizado con una modificación, donde el DAP no fue elevado al cuadrado, quedando de la siguiente manera:

$$\text{Log}V_{T/C} = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(\text{DAP} \times H_{T/C}) + \varepsilon$$

Siendo: $V_{T/C}$ = Volumen total o comercial, en m³.

Dap = Diámetro a la altura del pecho, en cm.

$H_{T/C}$ = Altura total o comercial, en m.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = Constantes propias del modelo de regresión.

Usándose solamente las mediciones de los individuos con DAPs mayores a 10 cm para el ajuste, los cuales fueron procesados el Software Excel, mediante el método de regresión lineal. Para análisis de varianza de la regresión se usó la prueba de “F” y “t” a una significancia de $\alpha \leq 0.05$ y un 95 % de confianza. El grado de los ajustes fueron determinados usando el Coeficiente de correlación

($R_{\hat{Y}Y}$), Coeficiente de determinación (R^2), Error padrón residual S_{YX} , gráfica de distribución de residuos y su histograma.

RESULTADOS

Frecuencias diamétrica obtenidas del inventario forestal

En la *Tabla 1* se muestran 9 clases diamétricas, en donde se observa que el mayor número de árboles se encuentra en los intervalos 4.5 – 7.5 cm con 262 individuos, representando un 45.25 %. La clase diamétrica donde se observa la menor cantidad de árboles se encuentra en el intervalo 32.5 – 35.5 cm con un solo árbol, representado un 0.17 %.

Tabla 1. Frecuencias diamétricas de *Eucalyptus globulus*.

Intervalos de clase (cm)		Marca de clase (cm)	N° de árboles	Frecuencia relativa (%)
Li	Ls			
0.5	3.50	2.00	77	13.30
4.50	7.50	6.00	262	45.25
8.50	11.50	10.00	141	24.35
12.50	15.50	14.00	65	11.23
16.50	19.50	18.00	21	3.63
20.50	23.50	22.00	6	1.04
24.50	27.50	26.00	3	0.52
28.50	31.50	30.00	3	0.52
32.50	35.50	34.00	1	0.17
SUMA			579	100

Determinación del volumen maderable en las parcelas inventariadas

En la *Tabla 2* se observan los resultados obtenidos en cada una de las parcelas evaluadas, a partir de los cuales se obtuvieron valores promedio para cada variable dasométrica evaluada. Extrapolando tales valores, es posible estimar que el macizo presenta un VT de 36.8377 m³ha⁻¹ y VC de 18.8876

m³ha⁻¹, un IMA_t de 3.0699 m³ha⁻¹año⁻¹ y IMA_c de 1.5740 m³ha⁻¹año⁻¹. Además, todo el predio tiene 123.77 m³ de VT y 63.46 m³ de VC.

Tabla 2. Variables dasométricas por parcela.

Parcela	N° árboles	DAP (cm)	AB (m ²)	VT (m ³)	VC (m ³)	IMA _t (m ³ año ⁻¹)	IMA _c (m ³ año ⁻¹)
1	9	8.3	0.0551	0.3596	0.2112	0.0300	0.0176
2	17	8.7	0.1155	0.7957	0.4425	0.0663	0.0369
3	13	9.6	0.1099	0.7009	0.3744	0.0584	0.0312
4	21	8.7	0.1509	1.2615	0.5548	0.1051	0.0462
5	40	9.4	0.3149	2.3274	1.2630	0.1939	0.1053
6	20	9.3	0.1551	1.1787	0.6779	0.0982	0.0565
7	9	7.2	0.0374	0.2050	0.0909	0.0171	0.0076
8	20	8.3	0.1254	0.7623	0.2324	0.0635	0.0194
9	27	7.7	0.1378	0.4977	0.1447	0.0415	0.0121
10	11	8.6	0.0631	0.4273	0.2440	0.0356	0.0203
11	24	7.9	0.1288	0.8116	0.4452	0.0676	0.0371
12	16	8.1	0.0908	0.4847	0.2413	0.0404	0.0201
13	20	9.3	0.1564	1.1804	0.6522	0.0984	0.0544
14	10	9.3	0.0774	0.5482	0.2900	0.0457	0.0242
15	33	10.7	0.3390	2.8634	1.6095	0.2386	0.1341
16	25	9.0	0.1752	1.2537	0.7262	0.1045	0.0605
17	24	9.4	0.1161	0.7511	0.4255	0.0626	0.0355
18	25	12.1	0.3346	3.0308	1.5105	0.2526	0.1259
19	27	11.5	0.3727	3.2676	1.5202	0.2723	0.1267
20	24	13.2	0.4590	4.9207	2.5093	0.4101	0.2091
Prom.	21	9.32	0.1758	1.3814	0.7083	0.1151	0.0590
Des. Estand.	8.12	1.52	0.1200	1.247	0.6410	0.104	0.0534
Max.	40	13.2	0.4590	4.9207	2.5093	0.4101	0.2091
Min.	9	7.2	0.0374	0.205	0.0909	0.0171	0.0076
C.V.	39.1	16.26	68.16	90.26	90.50	90.26	90.50

Ajuste del modelo matemático para estimar volúmenes

Al realizar las regresiones con todos los datos del inventario, estas no fueron significativas; y los individuos con DAPs menores de 10 cm presentaron una gran subestimación de sus volúmenes. Por lo cual se trabajó con los rebrotes que tenían DAPs mayores de 10 cm obteniendo regresiones estadísticamente significativas, prueba de “F” y “t”, para los dos volúmenes como se observa en la *Tabla 3*. Su grado de ajuste fue bueno, *Tabla 4*, pues los menores valores de $R_{\hat{Y}Y}$

y R^2 son 0.973 y 0.946 respectivamente; además el mayor S_{YX} fue de 0.024. En las gráficas de distribución de residuos se observa que existe sobre y sub estimación en diámetros menores, pero con forme el DAP aumenta sólo hay subestimación de los volúmenes (*Gráfico 1-a*); por otro lado, en el histograma de residuos se determina que los ajustes en su mayoría de estimaciones se aproximan al 0 % y tiene casi igual número de sobre y subestimación (*Gráfico 1-b*). Producto de las regresiones se determinaron los valores de los parámetros β_0 y β_1 que se muestran en la *Tabla 5*.

Tabla 3. Análisis de varianza de la regresión.

Variable dasométricas	Volumen total (Vc)	Volumen comercial (Vt)
Grados de libertad	Regresión	1
	Residuos	137
	Total	138
Calculado	"F"	6085.980
	"t"	
	β_0	-98.418
Tabulado	β_1	78.012
	"F"	3.984
	"t"	1.960

Tabla 4. Indicador estadístico del grado del ajuste.

Variable dasométricas	Volumen total (Vc)	Volumen comercial (Vt)
Indicadores	$R_{\hat{Y}Y}$	0.989
	R^2	0.978
	S_{YX}	0.024

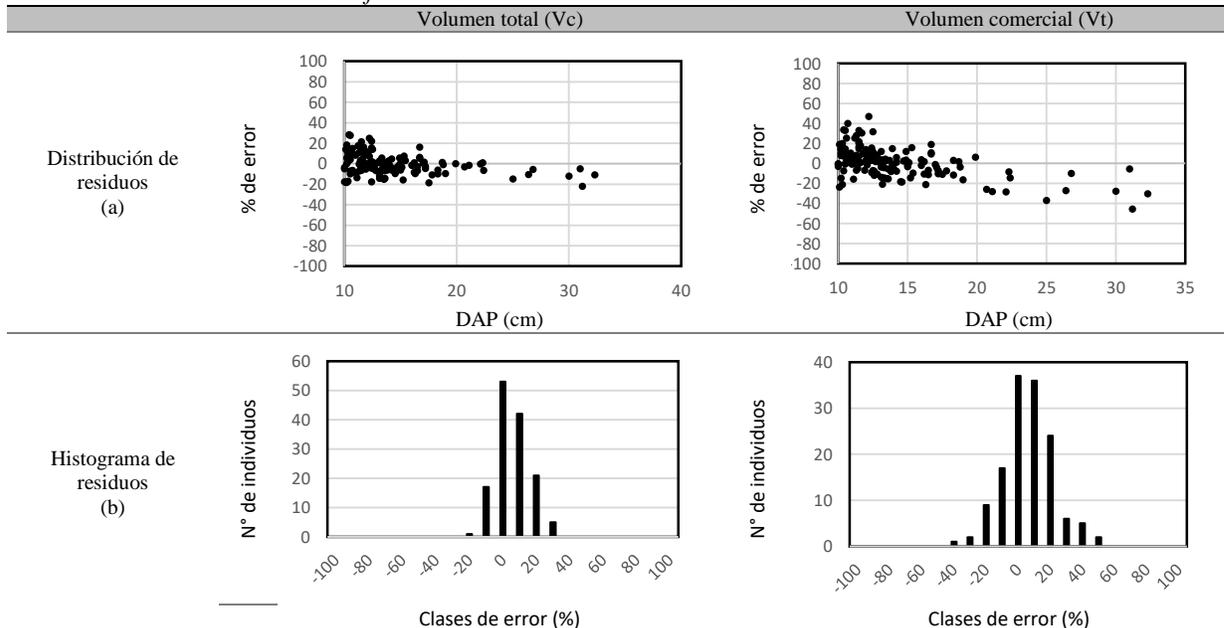
Tabla 5. Parámetros del modelo para los volúmenes.

Variable dasométricas	Volumen total (Vc)	Volumen comercial (Vt)
Parámetros	β_0	-4.4208
	β_1	1.5663

DISCUSIÓN

Campos y Leite (2013) mencionan que la distribución diamétrica de una plantación presenta una distribución unimodal o normal, con ligera frecuencia de diámetros a la izquierda y derecha en el eje X, y en bosque naturales la distribución de frecuencias sigue una tendencia decreciente con el aumento del DAP.

Gráfico 1. Análisis de los residuos de las estimaciones.



Menez *et. al.* (2015) realizó un estudio en *Eucalyptus urophylla*, de 8 años de edad obteniendo los mayores individuos en las clases diamétricas centrales; en este estudio las primeras clases diamétricas tuvieron el mayor número de rebrotes y conforme el DAP aumenta el número de ellos disminuye, esto nos indica que esta masa forestal tiene una mala estructura, pareciéndose a la de un bosque natural y no de una plantación; al presentar diámetros pequeños el valor comercial de los individuos sería como leña y postes.

El eucalipto es una especie de rápido crecimiento, pero se reporta una gran variedad de cifras para su IMA; en el suroeste de España fue de 5 a 6 m³ha⁻¹año⁻¹, y en el noroeste 20 m³ha⁻¹año⁻¹, por otro lado, en Uruguay fue de 25 m³ha⁻¹año⁻¹ y en Portugal a la edad de 10 años fue de 20 m³ha⁻¹año⁻¹, siendo considerados estos tres últimos como muy buenos (Skolmen y Ledig 1990). A pesar de la gran variación registradas los valores de crecimiento obtenidos para los rebrotes en estudio fueron muy inferiores a los reportados en otros lugares, siendo para el IMA_t de 3.0699 m³ha⁻¹año⁻¹ y IMA_c de 1.5740 m³ha⁻¹año⁻¹.

Samaniego (2013), indica que una planta de eucalipto con gomosis es índice de estrés por factores abióticos como sequía, fuego, heladas, o reacción frente a agentes bióticos tales como insectos u hongos; en la plantación la mayoría de los brotes presentan esta enfermedad indicando la existencia de estrés. Según Gillis y Flores (1983) las causas para el fracaso de una plantación son el uso de semillas y plántones de baja calidad, la mala selección de la especie a plantar en función a la calidad de sitio, pocas a nulas o mal ejecutadas labores silviculturales en el desarrollo de los individuos hasta su aprovechamiento; siendo

algunos o todos los factores mencionados por lo que esta plantación se encuentra en esta situación; como la falta de manejo de los rebrotes que ha generado una gran heterogeneidad en el desarrollo de los individuos y poca producción maderable.

Los ajustes con todos los datos no tuvieron validez estadística, pues los rebrotes con diámetros pequeños tienen mínimo volumen maderable y no presentan una tendencia definida; Barrios *et. al.* (2014) realizó un estudio con 101 árboles de *Eucalyptus grandis* con una significancia de $\alpha < 0.01$, y un 99 % de confianza; obteniendo un valor de 0.993 para el R^2 y de 0.0248 para el S_{YX} . Los indicadores estadísticos obtenidos en el presente estudio se encuentran cercanos a los anteriores valores mencionados, el $R_{\hat{Y}Y}$ de 0.973, R^2 de 0.946 y S_{YX} de 0.024.

Prodan *et. al.* (1997) denomina funciones generales a las que usan dos mediciones de los árboles para estimar el volumen y son recomendadas en grandes extensiones. Los datos usados provienen de un área pequeña, pero tienen alta variación (Tabla 6), a pesar de eso se logró ajustar el modelo ya que usa dos variables independientes, DAP y Alturas, que generan más combinaciones para estimar la variable dependiente, volumen. Además, las estimaciones del Volumen total fueron mejores pues las Alturas totales tuvieron menor variación que las comerciales.

Tabla 6. Análisis estadístico de los datos dasométricos usado en las regresiones.

	DAP	Ht	Hc
Promedio	14.14	12.74	6.99
Mínimo	10.00	7.00	2.75
Máximo	32.30	21.50	15.00
Varianza	20.17	7.11	4.10
Des. estándar	4.49	2.67	2.02
C.V.	31.75	20.93	28.94

CONCLUSIÓN

Para obtener una buena rentabilidad maderable se deben usar semillas y plántones de calidad, hacer una buena selección de la especie a plantar en función a la calidad de sitio y realizar labores silviculturales que ayuden el desarrollo de los individuos. La plantación estudiada se encuentra en muy mal estado, teniendo la madera sólo un valor comercial como leña o postes. Por la edad de los individuos ya no se podría hacer manejo, por lo cual la solución es la tala total de la plantación y manejar los nuevos rebrotes o la instalación total con nuevos individuos teniendo las consideraciones anteriormente mencionadas.

El uso de individuos con diámetros menores de 10 cm dificulta la regresión, el modelo $\text{Log}V_{T/C} = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(\text{DAP} \times H_{T/C}) + \varepsilon$ puede ser usado en áreas pequeñas con alta variación pues presenta más combinaciones para la variable respuesta. Cuando se desea determinar el mejor modelo a usar de varios, se recomienda primero realizar la regresión con el Volumen comercial pues tendrá mayor error de estimación a comparación del Volumen total.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrios, A; López, A; Nieto, N. (2014). *Predicción de Volúmenes Comerciales de Eucalyptus Grandis a Través de Modelos de Volumen Total y de Razón*. Colombia. 137 p.
- Campos, JCC; Leite, HG. 2013. *Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas*. 4 ed. Viçosa, MG, BR. UFV. 605 p.
- Cancino, J. s. f. *Dendrometría Básica*. s. 1, s.e. 65. p.
- Cuñachi, EG. s. f. *Manual práctico de inventarios forestales*. CORPIAA Atalaya Ucayali, Perú, s.e. 3 p.
- Da Cunha, TA; Guimarães Finger, CA. 2009. *Modelo de regresión para estimar el volumen total con corteza de árboles de Pinus taeda L. en el sur de Brasil*. Kurú: Revista Forestal. 6(16) 2-15.
- David, E; Cardenas, H. 1979. *Turno Financiero en Plantaciones de Eucalyptus globulus Labill del Valle del Mantaro*. Revista forestal del Perú. 9(2): 40-52.
- Fernández A, AF. 2008. *Estudio de Prefactibilidad para la Producción y Comercialización de Papel a partir de Eucalipto*. Tesis Ing. Lima- Perú. 105 p.
- Gillis M; Flores T, F. 1985. *Las plantaciones forestales en Cajamarca*. Baños del Inca, Cajamarca, Perú, CICAFOR (Centro de Investigación y Capacitación Forestal). 94 p.
- IGP (Instituto Geofísico del Perú). 2012. *Manejo de Riesgos de Desastres ante Eventos Meteorológicos Extremos en el Valle del Mantaro*. Perú. 197 p.
- Menez M, FC; Imaña E, J; Pereira, RS; Rezende, AV; Eder Pereira, Miguel. 2015. *Modelaje de la Distribución Diamétrica de Eucalyptus urophylla a través de las Funciones Normal, Weibull y sb Johnson en la Región de Brasilia*. Brasil. 15 p.
- Moreno R, L. 2015. *Manejo e Industrialización del Eucalipto (Eucalyptus globulus)*. Tesis Ing. Trujillo-Perú. 36 p.
- Pajares G, U. s.f. *El Eucalyptus globulus Labill sub-globulus en la sierra de Cajamarca*. Baños del Inca, Cajamarca, Perú, CICAFOR (Centro de Investigación y Capacitación Forestal). 13 p.
- Pinilla S, JC; Kahler G, C. 1996. *Determinación de Volúmenes para Eucalipto*. Chile. 21p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. *Mensura Forestal*. San José, CR. IICA. 586p.

Samaniego M, CA. 2013. *Efecto de un incendio forestal en una plantación de Eucalyptus globulus Labill. subsp. Globulus en Huaraz*. Tesis Ing. Lima-Perú, UNALM. 113 p.

Sánchez R, A; Sánchez T, S. 2010. *Mapa de Pisos Altitudinales*. Cajamarca, Perú. 13 p.

SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Perú). 2016. *Primer Informe Parcial del Inventario Nacional de Flora y Fauna Silvestre*. Informe de 2016. La Molina, Lima, Perú. 268p.

Skolmen, R.G.; LEDIG, F. T. 1990. *Eucalyptus globulus Labill. Bluegum eucalyptus*. En: Burns, Russell M.; Honkala, Barbara H., eds. *Silvics of North America: 2. Hardwoods*. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 299-304p.

Valdivia V, FM; Rojas Q, AF; Comaila R, E. s. f. *Estudio Definitivo para la Rehabilitacion y Mejoramiento de la Carretera Chongoyape- Cochabamba- Cajamarca Tramo Cochabamba-Chota*. Cajamarca-Perú. 143 p.