

Tamaño óptimo de parcelas circulares para el inventario forestal en plantaciones de *Eucalyptus* sp

Optimal size of circular plots for forest inventory in *Eucalyptus* sp. plantations

Autores:

Ing. Antonio Morais - Nkiawete¹, <https://orcid.org/0009-0000-4503-6590>

Dr.C. Geyser Flores - Galano², <https://orcid.org/0000-0002-0336-7962>

MSc. Benito Monroy - Reyes³, <https://orcid.org/0000-0002-4162-0770>

Dr.C. Eduardo Figueroa - García⁴, <https://orcid.org/0000-0002-9938-2154>

Javier Vera - López⁵, <https://orcid.org/0000-0002-8454-4288>

Filiación institucional: ¹Empresa Esplendor Florestal, Huambo, Angola. ²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Jose Eduardo Dos Santo, Huambo, Angola. ³Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara, Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez, 2100, Predio Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México. ⁴Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez UA Cocula. ⁵Colegio de Postgraduados, Campeche, México.

E-mail: antoniomorais90@hotmail.com, gfloresgalano.85@gmail.com

Fecha de Recibido: 14 oct. 2025

Fecha de Aprobado: 16 dic. 2025

Resumen

El trabajo se realizó en la empresa Esplendor Florestal en Huambo, con el objetivo de determinar el tamaño óptimo de las parcelas circulares para el inventario forestal en plantaciones de *Eucalyptus* sp. Para ello se realizó un muestreo aleatorio simple por medio del método de parcelas fijas circulares de tres tamaños diferentes (300, 400 y 500 m²), utilizando como variable de interés volumen, área basal y número de árboles por hectáreas. Para determinar el tamaño más adecuado, se aplica un análisis de varianza simple a la media de la variable de interés y una comparación de los intervalos múltiples, mediante una prueba de Duncan, con el paquete estadístico SPSS. El resultado arrojó que existe una relación positiva entre las variables evaluadas y que las parcelas más adecuadas para realizar el inventario pueden ser las de 400 y 500 m², ya que no mostraron diferencia significativa entre las variables evaluadas.

Palabras clave: Área basal; Número de árboles; Regresión y volumen

Abstract

The study was conducted at the Esplendor Florestal company in Huambo, with the aim of determining the optimal size of circular plots for forest inventory in *Eucalyptus* sp. plantations. To this end, simple random sampling was carried out using the fixed circular plot method with three different sizes (300, 400, and 500 m²), using volume, basal area, and number of trees per hectare as variables of interest. To determine the most appropriate size, a simple analysis of variance was applied to the mean of the variable of interest and a comparison of multiple intervals was performed using Duncan's test with the SPSS statistical package. The results showed that there is a positive relationship between the variables evaluated and that the most suitable plots for conducting the inventory may be those measuring 400 and 500 m², as they did not show a significant difference between the variables evaluated.

Keywords: Basal area; Number of trees; Regression and volume

Introducción

El Inventario es una iniciativa única del Ministerio de Agricultura, a través del diseño, la implementación y la puesta en marcha del Instituto Forestal, y tiene un diseño estadístico que busca responder a las necesidades de datos e información asociadas a los diversos procesos internacionales de seguimiento de las acciones de los países para el desarrollo sostenible. Además, se basa en una conceptualización jerárquica de los ecosistemas y su diseño corresponde a un enfoque diverso, cubriendo así un amplio espectro de cuestiones relacionadas con los ecosistemas (Sagardia *et al.*, 2021).

La evolución de los métodos de inventario forestal refleja un cambio significativo en la forma en que se supervisan y gestionan los recursos forestales. Los inventarios forestales tradicionales se basaban en mediciones manuales y en la observación directa, que, aunque eficaces en áreas pequeñas, tenían limitaciones cuando se aplicaban a áreas grandes. La creciente presión sobre los ecosistemas forestales debido a la deforestación, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, ha puesto de manifiesto la necesidad de métodos más eficientes y precisos para la evaluación de los recursos forestales (Mieles-Giler *et al.*, 2024).

Un inventario forestal es la recopilación sistemática de datos sobre los recursos forestales de una zona determinada. Permite evaluar el estado actual de la zona de estudio y proporciona la base para el análisis y la planificación, que es el punto de partida para una gestión forestal sostenible (Roque *et al.*, 2023).

Es importante que el tamaño de la muestra sea adecuado, ya que las muestras innecesariamente grandes son costosas y suponen una pérdida de dinero y tiempo, mientras que las muestras de tamaño reducido dan resultados poco fiables (Quevedo 2006). El tamaño y la forma de las parcelas influirán en la eficiencia de un inventario forestal, lo que se refleja en el nivel de precisión alcanzado y en la exactitud de los valores estimados, además de tener una influencia directa en los costos del inventario (Roque *et al.*, 2023).

Todavía existen lagunas en el conocimiento científico sobre estos temas, lo que limita el desarrollo y la implementación de estrategias eficaces para gestionar los fragmentos que aún existen (Sarango-Ordóñez, 2024). Por ello, es muy importante realizar estudios que permitan conocer cuáles tamaños de parcelas son más adecuados y representativos para realizar inventarios forestales de manera que optimice el tiempo y garantice una representación del

área de estudio. Es por ello que el objetivo de la investigación es determinar el tamaño óptimo de las parcelas circulares para el inventario forestal en plantaciones de *Eucalyptus* sp.

Materiales y métodos

La investigación se efectuó en plantaciones de *Eucalyptus* sp. de la Empresa Esplendor Florestal en Huambo, Angola, el inventario fue en 100 ha en la localidad de Cuima, municipio Caála, desde febrero hasta agosto de 2025.

El inventario se realizó a través de un muestreo aleatorio simple, por medio del método de parcelas fijas circulares de tres tamaños diferentes (300, 400 y 500 m²) (Tabla 1). Fue determinado el diámetro a 1,30 m para todos los árboles con altura igual o superior a 5 m, con una cinta diamétrica y la altura con el Hipsómetro de Suunto.

En este método se emplearon las siguientes dimensiones:

Superficie (m ²)	Radio (m)
300	9,77
400	11,28
500	12,62

En el procesamiento de la información se utilizaron las fórmulas básicas ya conocidas en la literatura clásica sobre dosimetría y, con la ayuda de la hoja de cálculo electrónica Excel, se calcularon los principales índices dendrométricos y dosimétricos (altura media en (m), diámetro medio en (cm), altura comercial en (m), área basal en (m². ha⁻¹), volumen total en (m³. ha⁻¹), volumen comercial en (m³. ha⁻¹) y número de árboles por hectárea (N . ha⁻¹).

Para determinar el tamaño óptimo de la parcela al realizar el inventario forestal se procedió a determinar la prueba de normalidad, a través de la prueba de Shapiro-Wilk porque se trabaja con datos inferiores a 100 unidades, en este caso 30 (Tabla2). Como en todos los casos $P \geq 0,05$, entonces aceptamos la hipótesis nula, porque los datos tienen una distribución normal y se aplica estadística paramétrica, esto permite realizar un análisis de Anova para determinar diferencia significativa.

Tabla 1. Prueba de normalidad para los diferentes factores volumétricos y dendrométricos estudiados

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Área basal	0,964	30	0,385
Volumen	0,962	30	0,355
Área basal. ha ⁻¹	0,981	30	0,842
Volumen.ha ⁻¹	0,983	30	0,896
Núm. arb. ha ⁻¹	0,946	30	0,132
Volumen comercial	0,962	30	0,347
Vol comercial. ha ⁻¹	0,980	30	0,816

Para determinar cuál es el tamaño más adecuado para la gestión forestal, se aplica un análisis de varianza simple a la media de la variable de interés y una comparación de los intervalos múltiples, mediante una prueba de Duncan, con el paquete estadístico SPSS, y, de acuerdo con los resultados obtenidos, se selecciona la mejor forma y tamaño.

Resultados y discusión

El estudio del modelo regresión entre número de árboles y el volumen por hectárea muestra que el valor de R^2 explica el 82 % de la variación en la variable de respuesta, por tanto, el modelo se ajusta bien a los datos entre los valores observados y los valores de predicción. Lo que indica que las variables en cuestión tienen una relación positiva. Criterios similares expresan Romero *et al.* (2024), donde plantean que el modelo de regresión múltiple es confiable para determinar el volumen maderable de los eucaliptus.

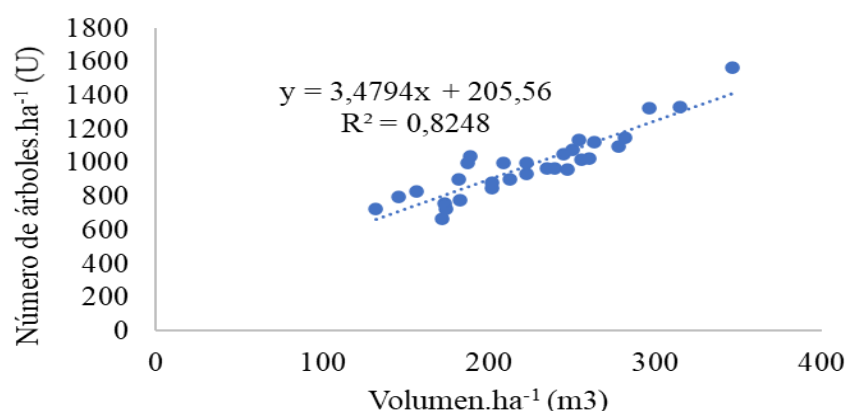


Figura 1. Modelo de regresión entre número de árboles por hectáreas y el volumen por hectárea en la plantación de *Eucalyptus* sp.

El conocimiento de la distribución espacial de la capacidad intrínseca del terreno para el crecimiento del *Eucalyptus* es otra vía que debe ser abordada. Esta capacidad inherente del terreno para sostener el crecimiento de una determinada especie se denomina calidad de estación y es un indicador de productividad forestal (volumen y volumen comercial) (Teijodo-Murias *et al.*, 2025).

El modelo de regresión entre volumen y el área basal por hectáreas (Figura 2), muestra una que el valor de R^2 explica el 99, 14% de la interacción entre las variables en estudio y una regresión ajustada lo que confiere un buen ajuste, ya que explica la variabilidad de los datos de respuesta. Lo que indica que existe una relación positiva ente el volumen y el área basal por hectárea

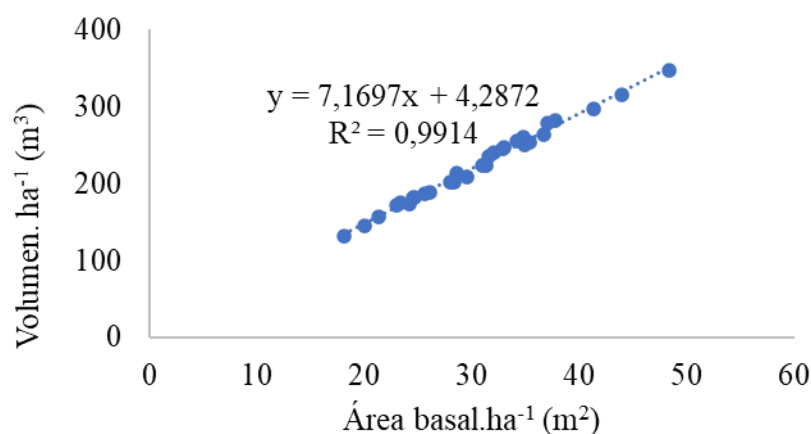


Figura 2. Modelo de regresión entre el volumen por hectárea y el área basal por hectáreas en la plantación de *Eucalyptus* sp.

En el caso del modelo de regresión entre volumen comercial y el volumen por hectáreas (Figura 3), tiene un comportamiento similar a las variables analizadas con anterioridad, muestra una relación positiva entre los parámetros estudiados con un buen ajuste del modelo. El estudio muestra que existe una interdependencia de las variables objeto de estudio y como en todos los casos los modelos mostraron un buen ajuste. Resultados similares fueron alcanzados por Romero *et al.* (2024), en plantaciones de eucalipto en Perú, donde estos investigadores afirman además que existe alta correlación positiva entre Volumen comercial en m³ y Circunferencia en m, altura comercial en metros. Afirmando que variables independientes tiene una influencia positiva en el Volumen comercial en m³, a mayor longitud de la circunferencia del árbol y mayor altura existe mayor volumen.

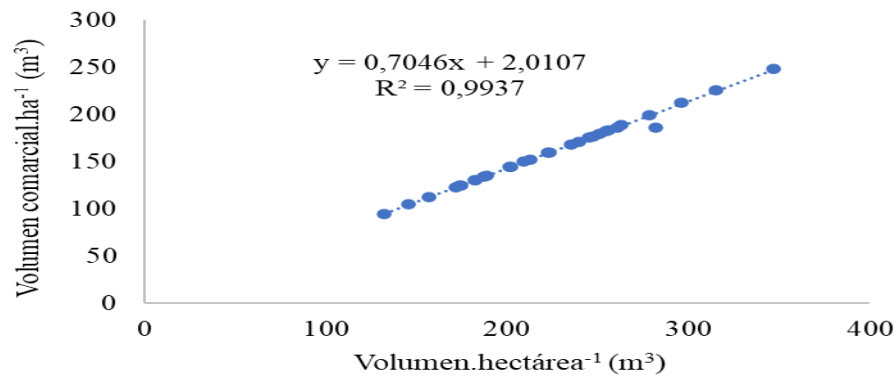


Figura 3. Modelo de regresión entre el volumen comercial por hectárea y el volumen por hectárea en la plantación de *Eucalyptus* sp.

De acuerdo con Sripathi *et al.* (2017), el tamaño de la parcela experimental es una de las principales causas de la alta variación residual en los experimento de campo, que afecta la eficiencia estadística de la parcela usada como unidad experimental.

En la tabla 5, se muestra el análisis de Anova para los diferentes parámetros dendrométricos y volumétricos estudiados. Para el área basal y volumen, así como, el volumen comercial por parcelas no se observó diferencia significativa entre las parcelas de 400 y 500 m², pero estas a su vez si difieren significativamente de las de 300 m². Por otra parte, cuando fue determinado el área basal por hectárea, volumen por hectárea y volumen comercial por hectárea, al igual que en el número de árboles por hectárea no hubo diferencia significativa entre los diferentes tamaños de las parcelas.

A partir de los resultados obtenidos se recomienda que para realizar estudios de inventarios forestales en plantaciones de *Eucalyptus* sp. lo ideal es utilizar parcelas de 400 ó 500 m², ya que no existe diferencia significativa entre los datos tomados de ellas.

La caracterización dasométrica de bosques y plantaciones forestales se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante muestreo en campo, basado en la teoría general de muestreo que permite dimensionar un inventario forestal considerando un nivel de error y de incertidumbre aceptable. Este enfoque requiere un tiempo y costo significativo para obtener parámetros biofísicos del bosque, como el área basal, el volumen maderable, la biomasa aérea total y la densidad. Los inventarios representan un costo considerable dentro del presupuesto general de una empresa, lo que conlleva a reducir la actividad de muestreo a unas pocas parcelas, a partir de las cuales se infiere información sobre toda la masa forestal (Ferrando. 2023).

Tabla 5. Estudio de Anova para los diferentes tamaños de las parcelas para los diferentes factores volumétricos y dendrométricos en la plantación de *Eucalyptus* sp.

Tamaño Parcelas	Área basal por parcela	Volumen por parcela	Volumen comercial por parcela	Área basal.ha ⁻¹	Volumen.ha ⁻¹	Volumen comercial.ha ⁻¹	Número árboles.ha ⁻¹
300	0,967 b	7,072 b	5,063 b	32,2411	235,7211	168,7542	1026,657
400	1,239 a	9,059 a	6,486 a	30,9814	226,4752	160,5714	997,50
500	1,446 a	10,567 a	7,565 a	28,9247	211,3369	151,3041	936,00
EE	0,06	0,44	0,31298	1,29664	9,33666	6,59975	35,769

Medias seguidas por letras desiguales, en las columnas, difieren significativamente para ($p < 0,05$)

La determinación del tamaño óptimo de las parcelas es esencial para garantizar una planificación experimental eficiente. Este método utiliza un modelo de regresión de potencia para describir la relación entre el coeficiente de variación y el número de unidades experimentales básicas, lo que permite identificar el punto de máxima curvatura de forma objetiva. A partir de ese punto, es posible determinar el tamaño óptimo de la parcela, que representa el equilibrio entre la precisión experimental y el tamaño de la parcela (Caitano *et al.*, 2025).

De manera general la determinación del tamaño óptimo de muestreo es esencial porque permita agilizar los trabajos de campo en cuanto a la toma de datos para poder realizar el muestreo, es por ello que el trabajo realizado tiene mucha importancia porque permita identificar que las parcelas de 400 y 500 m² no mostraron diferencia significativa entre ellas, por eso es posible utilizar una u otra para realizar el inventario forestal.

Conclusiones

Los modelos de regresiones de las variables evaluadas (volumen, área basal, número de árboles y volumen comercial por hectárea), mostraron una relación positiva entre ellos.

Los diferentes parámetros dendrométricos y volumétricos determinados para conocer el tamaño óptimo de las parcelas circulares mostraron que las parcelas de 400 y 500 m² son las más adecuadas para realizar el inventario forestal continuo.

Bibliografía

- Caitano, L. Tognere, J. dos Santos, E. Santana, T. Hassuda , K. Bonomo, R. Barreto, M. Alves , A. Schmildt, . Romais, E. (2025). Determinação do tamanho ótimo de parcelas para experimentos com mudas clonais de eucalipto. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*. 33(1):1-19. DOI: 10.55905/oelv23n1-040
- Carvalho, A.C. 2023. Efeito do tamanho da unidade de amostra na representatividade florística e fitossociológica de um parque ecológico em Chapadão do Sul/ms. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Florestal. 20 pp.
- FAO, IDF. 2009. *Monitorização e Avaliação de Recursos Florestais Nacionais de Angola – Guia para recolha de dados*. National Forest Monitoring and Assessment Working Paper NFMA XX/P. Rome, Luanda.
- Ferrando, S. (2023). Determinación de variables dasométricas en rodales de *Eucalyptus* sp. mediante un sensor Lidar zenmuse. L1 implementado en un dron Dji Matrice. Universidad de la República Centro Universitario de Tacuarembó. Ingeniería Forestal. 63pp.
- Libano, A. M.; Felfili, J. M. Mudanças temporais na composição florística e na diversidade de um cerrado sensu stricto do Brasil Central em um período de 18 anos (1985-2003). *Acta Botânica Brasílica*, [S./l.], v. 20, v.4, p. 927–936, 2006.
- Lombardi, F. 2015. Quantifying the effect of sampling plot size on estimation of structural indicators in old-growth forest stands. *Forest Ecology and Management*, v. 346, p. 89–97.
- Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., & Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 65–88. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121>.
- Quevedo, H. (2006). *Métodos Estadísticos para la Ingeniería Ambiental y la Ciencia*. Universidad Autónoma de CD. Juárez. 848 p.
- Romero, A. Gaitán, L. Chávez, G.A. (2024). Multiple regression model to predict the timber volume of *Eucalyptus* trees in the Aylambo Forest Park of the National University of Cajamarca. *Revista Ciencia Latina*. 8(6):10245-10261. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6
- Roque, E. Barrena, V. Ocaña J. 2023. Tamaño óptimo de parcela de inventarios forestales en bosques secos (Lambayeque, Perú). *Revista ciencia y Práctica*. 3(6): 3-17.

- Sagardía, R. Bahamondez, C. Ávila, A. Reyes, R. Vergara, G. 2021. Los Recursos Forestales en Chile 2021. Inventario Forestal Nacional de Bosques Nativos y Actualización de Plantaciones Forestales. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 248. p. 196.
- Sarango-Ordóñez, J. P. (2024). Transformación de los métodos de inventario forestal desde técnicas tradicionales hasta herramientas tecnológicas. *Horizon Nexus Journal*, 2(1), 19-30. <https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n1/31>.
- Sarango-Ordóñez, J. P. (2024). Transformación de los métodos de inventario forestal desde técnicas tradicionales hasta herramientas tecnológicas. *Horizon Nexus Journal*, 2(1), 19-30. <https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n1/31>.
- Tejjido-Murias, I. , López-Sánchez, C.A. García-Manteca, P. García Villabrille, J.D. Rojo-Alboreca, A. Ruiz Fernández, F. Barrio-Anta, M. (2025). (Modelos de productividad de *Eucalyptus globulus* en el norte de España usando variables ambientales espacialmente continuas como predictores. Noveno Congreso Forestal Español.Editorial Sociedad Española de Ciencias Forestales. ISBN: 978-84-941695-7-1