



Optimización del tamaño de muestra para inventarios forestales mediante muestreo aleatorio en un bosque seco tropical de Manabí, Ecuador

Optimization of sample size for forest inventories using random sampling in a tropical dry forest of Manabí, Ecuador

Autores

¹Néstor Leopoldo Tarazona

✉ nestor.tarazona@espam.edu.ec



¹Gabriela Delgado Macias

✉ mgdelgado@espam.edu.ec



¹Marcos Vinicio Loor Alcívar

✉ mvloor@espam.edu.ec



²Sandra Grace Pincay Sánchez

✉ sandrapincay84@gmail.com



²Maverick Ángel Magallan Rodríguez

✉ maverick.magallan@docentes.educación.edu.ec



¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.

²Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Resumen

La optimización del tamaño de muestra en inventarios forestales es clave para generar información confiable que respalde el manejo y la conservación de ecosistemas vulnerables como el bosque seco tropical. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo optimizar el tamaño de muestra para inventarios forestales mediante muestreo aleatorio simple en un bosque seco tropical de Manabí, Ecuador. La investigación se desarrolló en 20 ha de bosque principal de la comunidad Andil, donde se aplicó un diseño de muestreo aleatorio simple con nueve parcelas rectangulares de 20 × 25 m, equivalentes a 500 m² cada una y una superficie total muestreada de 0,45 ha; en cada unidad se midieron todos los individuos con DAP ≥ 10 cm, registrando diámetro, altura total, área basal y volumen, y se calcularon además varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, error estándar y límites de confianza al 95%, valores que se procesaron en el programa Rstudio. Los resultados registraron 203 individuos distribuidos en 17 especies, con dominancia de *Guazuma ulmifolia*, *Senna mollissima* y *Cochlospermum vitifolium*; además, se estimó un volumen total de 62,37 m³, una media de 6,93 m³ por parcela, un coeficiente de variación de 31,22% y un tamaño de muestra calculado de 8,82 parcelas, redondeado a 9. Se concluye que el muestreo aleatorio simple permitió definir un tamaño de muestra técnicamente suficiente para caracterizar de forma general la masa forestal, aunque la heterogeneidad del bosque sugiere ampliar el número de parcelas si se busca mayor precisión.

Palabras clave: forestería, arboles, parcelas, estimación, cálculo.

Abstract

Optimizing sample size in forest inventories is key to generating reliable information that supports the management and conservation of vulnerable ecosystems such as tropical dry forests. In this context, the present study aimed to optimize sample size for forest inventories using simple random sampling in a tropical dry forest in Manabí, Ecuador. The research was conducted in 20 ha of main forest belonging to the Andil community, where a simple random sampling design was applied with nine rectangular plots of 20 × 25 m, equivalent to 500 m² each, for a total sampled area of 0.45 ha. In each plot, all individuals with a DBH ≥ 10 cm were measured, recording diameter, total height, basal area, and volume. Variance, standard deviation, coefficient of variation, standard error, and 95% confidence limits were calculated and processed using RStudio software. The results recorded 203 individuals distributed among 17 species, with *Guazuma ulmifolia*, *Senna mollissima*, and *Cochlospermum vitifolium* being dominant. Additionally, a total volume of 62.37 m³ was estimated, with an average of 6.93 m³ per plot, a coefficient of variation of 31.22%, and a calculated sample size of 8.82 plots, rounded to 9. It is concluded that simple random sampling allowed for a technically sufficient sample size to generally characterize the forest stand, although the heterogeneity of the forest suggests increasing the number of plots if greater precision is desired.

Keywords: forestry, trees, plots, estimation, calculation.

Citación sugerida: Tarazona Meza, N. L., Delgado Macias, G., Loor Alcívar, M. V., Pincay Sánchez, S. G., Magallan Rodríguez, M. Á. (2026). Optimización del tamaño de muestra para inventarios forestales mediante muestreo aleatorio en un bosque seco tropical de Manabí, Ecuador. *La Técnica*, 16(2), 88-97. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v16i2.8381>

Recibido: Mayo 26, 2026

Aceptado: Agosto 05, 2026

Publicado: Agosto 14, 2026



Introducción

Los bosques cumplen funciones ecológicas esenciales, entre ellas la conservación de la biodiversidad, la regulación climática y el suministro de bienes y servicios ecosistémicos de interés social y productivo (Hassan et al., 2021; Brück et al., 2023; Mansingh et al., 2025). En los bosques secos tropicales, estas funciones adquieren especial relevancia debido a que se trata de ecosistemas con alta singularidad florística y, al mismo tiempo, con fuerte presión antrópica y pérdida de cobertura, lo que incrementa la necesidad de generar información local confiable para su manejo y conservación (Rebolledo y Lores, 2021; Wu et al., 2023).

En este contexto, los inventarios forestales constituyen una herramienta básica para describir la composición, estructura y existencias maderables de los rodales, así como para sustentar decisiones de manejo, conservación y monitoreo (Rodríguez et al., 2021; Pohjankukka et al., 2022; Alberdi et al., 2023).

Además investigaciones recientes muestran de forma consistente que, a medida que aumenta el número de parcelas, mejora la precisión de las estimaciones y disminuye la variabilidad del error, aunque ese efecto no es uniforme entre atributos forestales ni entre tipos de bosque (Zhu et al., 2021; Li et al., 2023); de igual forma en los ambientes forestales más heterogéneos y estructuralmente complejos se requieren esquemas muestrales más cuidadosos, porque la variabilidad espacial influye directamente en la representatividad estadística y en el costo del inventario (Heberle et al., 2022; Goodbody et al., 2023; Kománek et al., 2024).

Dentro de este contexto en la comunidad Andil que se encuentra ubicada en el cantón Jipijapa de la provincia de Manabí, existe un ecosistema de bosque seco tropical y bosque secundario con plantaciones forestales y áreas agronómicas, además de señales de degradación asociadas a la presión antrópica (Indacochea y García, 2024); sin embargo, no cuenta con diversidad de investigaciones sobre diseño muestral y optimización de inventarios en bosques secos de Manabí, factor que dificulta establecimiento de criterios técnicos ajustados a las condiciones locales (Mosquera et al., 2023).

Es por ello que el problema científico debe centrarse en que el bosque seco tropical de Manabí, no dispone de suficiente evidencia local que permita determinar la intensidad y el tamaño de muestra en inventarios forestales; los cuales pueden producir estimaciones dasométricas y volumétricas con precisión estadística (Mosquera et al., 2023).

Frente a esta limitación relevante en ecosistemas heterogéneos y fragmentados, donde la selección del diseño de muestreo restringe el nivel de la información obtenida y el costo operativo

del inventario (Rodríguez et al., 2021; Mansingh et al., 2025); aunque en inventarios forestales se emplean con frecuencia diseños sistemáticos o estratificados, en este estudio se optó por el muestreo aleatorio simple porque el interés central no fue comparar estratos ni modelar gradientes espaciales, sino evaluar si un conjunto de parcelas distribuidas sin sesgo de selección permitía estimar con precisión aceptable variables básicas del rodal en un área relativamente acotada de 20 ha (Palma y Sánchez, 2023; Mexudhan et al., 2024).

En este contexto, la aleatorización se presenta como un factor que favorece la independencia entre las unidades muestrales, que a su vez permite valorar de manera directa la variabilidad observada, el error estándar, los límites de confianza y, la suficiencia del tamaño de muestra para el inventario; ante ello, esta elección debe entenderse como una decisión metodológica específica para las condiciones del área de estudio y no como una superioridad general del muestreo aleatorio simple frente a otros diseños usados en bosque seco tropical.

Con base en lo anterior, la hipótesis de trabajo plantea que un diseño de muestreo aleatorio simple, aplicado mediante parcelas de 500 m² en un bosque seco tropical de Manabí, permite optimizar el tamaño de muestra y obtener estimaciones dasométricas y volumétricas con precisión estadística suficiente para caracterizar la masa forestal.

En consecuencia, el objetivo general de este estudio fue optimizar el tamaño de muestra para inventarios forestales mediante muestreo aleatorio simple en un bosque seco tropical de Manabí, Ecuador. En donde se buscó: i) caracterizar la composición florística y reconocer las especies de mayor importancia ecológica; ii) cuantificar variables dasométricas como diámetro a la altura del pecho y altura total para estimar área basal y volumen maderable; y iii) evaluar la precisión estadística del inventario mediante varianza, error estándar, coeficiente de variación y límites de confianza, a fin de sustentar la suficiencia del tamaño de muestra empleado.

Materiales y métodos

Ubicación geográfica del estudio

La investigación se llevó a cabo en la comunidad Andil, un enclave estratégico para la transferencia tecnológica y experimentación agroforestal. El sitio de estudio se localizó en el recinto Andil, cantón Jipijapa (Manabí, Ecuador), específicamente en el km 4 de la vía Jipijapa-Noboa. El inventario forestal se ejecutó sobre una superficie efectiva de 20 ha de bosque principal, caracterizada por un ecosistema de bosque seco tropical (bs-T). La ubicación geográfica y la delimitación del área de muestreo se detallan en la figura 1.

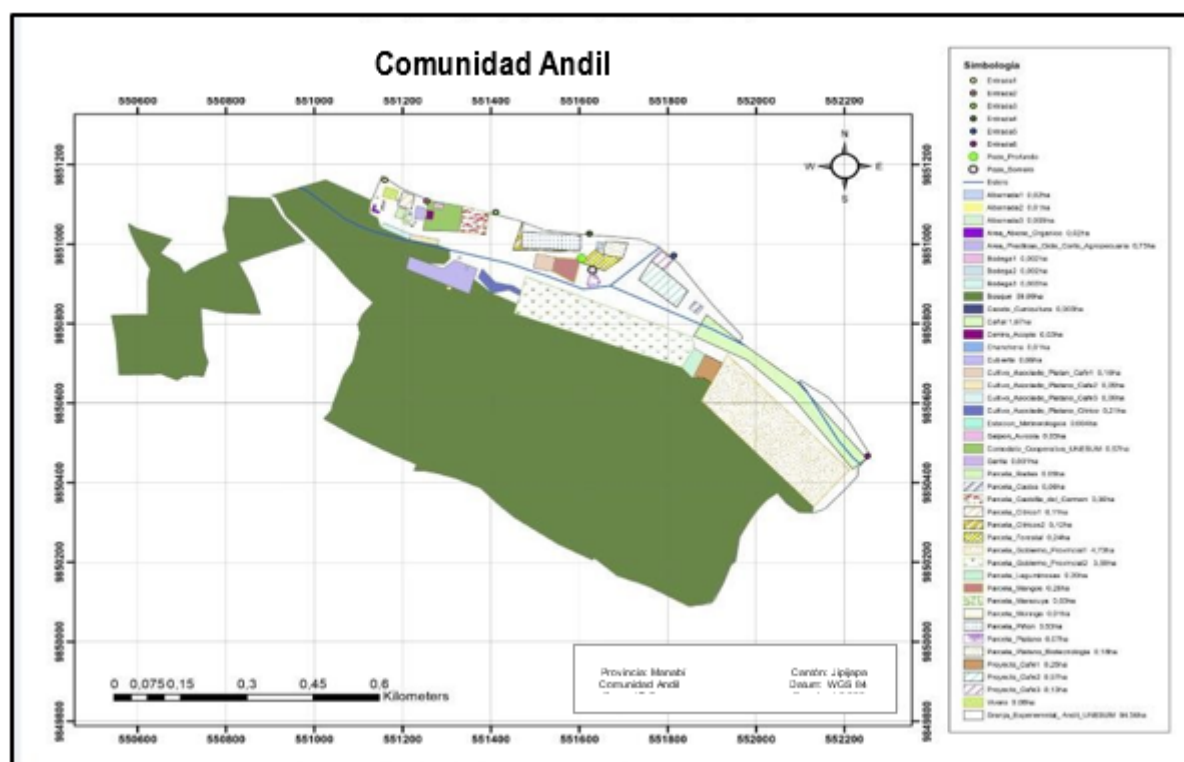


Figura 1. Zonificación del área de estudio.

Información climática

Clima

Las condiciones ambientales del área de estudio se definieron a partir de los registros históricos de la Estación Meteorológica Andil; el sitio presenta una temperatura media anual de 24 °C y un régimen pluviométrico caracterizado por una precipitación media anual de entre 500 y 1000 mm, con una humedad relativa promedio del 60%.

En cuanto a las características fisiográficas y edáficas, el terreno presenta una topografía ondulada; los suelos se clasifican texturalmente como arcillo-limosos, los cuales exhiben una porosidad adecuada que facilita un buen drenaje interno; químicamente, el sustrato presenta una reacción cercana a la neutralidad, con un pH de 6,7, condición óptima para el desarrollo de la mayoría de las especies forestales del bosque seco tropical (Cedeño, 2023).

Vegetación

La vegetación de la comunidad Andil se caracteriza por ser un ecosistema de bosque seco tropical con una composición mixta de bosque secundario, plantaciones forestales y áreas agronómicas; además, la identificación de las especies arbóreas fue realizada por un especialista en taxonomía de bosques secos (Indacochea y García, 2024; O'Brien y Cabrera, 2024).

Identificación de las especies más representativas en el bosque seco tropical de Andil

El inventario florístico registró 30 especies arbóreas y arbustivas, pertenecientes a 27 géneros y 15 familias botánicas, entre ellas: *Swietenia macrophylla*, *Guazuma ulmifolia* y *Triplaris cumingiana* por su elevado índice de valor de importancia ecológica (IVIE); no obstante, se evidencia una degradación del recurso forestal debido a la presión antrópica, manifestada en un descenso numérico de la diversidad florística histórica en la zona (Indacochea y García, 2024).

Determinación de los volúmenes de m³ de las especies forestales en parcelas del bosque seco tropical de Andil

En cada parcela se registraron todos los individuos arbóreos incluidos en el inventario, midiendo el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1,30 m sobre el nivel del suelo mediante cinta métrica, la altura total en metros y el volumen se estimó con altura total (h) en toda la sección (Lozano y Bonilla, 2022).

Para la evaluación del recurso forestal, se aplicó el diseño de inventario propuesto por Cabrera et al. (2020); la implementación de este instrumento permitió conocer indicadores biométricos y de diversidad biológica, asegurando la precisión necesaria para determinar la composición técnica del rodal estudiado.

Unidad de muestreo

Se empleó un muestreo aleatorio simple como diseño de inventario. La unidad de muestreo correspondió a parcelas rectangulares de 20 m × 25 m (500 m² o 0,05 ha). En las 20 ha evaluadas, el número total de unidades potenciales equivalentes fue de 400 parcelas. Se establecieron nueve parcelas, distribuidas aleatoriamente dentro del área de estudio, con una superficie muestreada acumulada de 0,45 ha. La unidad de muestreo se determinó con la fórmula de la intensidad propuesta por Bravo et al. (2024):

$$f = \frac{n * ap}{At}$$

Donde:

n= número de parcelas

ap= área de parcelas en hectáreas (0,05 ha)

At= área total

Reemplazando estos valores se obtuvo que: el volumen total muestreado fue de 62,37 m³ en 0,45 ha, lo que equivalió a un volumen promedio de 138,60 m³·ha⁻¹. Este valor se utilizó para la estimación del volumen total en las 20 ha, dando un total de 2.772,00 m³.

Se establecieron unidades de muestreo de 500 m² mediante un diseño de muestreo aleatorio simple (MAS). Este procedimiento garantizó la representatividad estadística de la muestra al asegurar el equilibrio e independencia en la selección de cada unidad dentro de la población de estudio, minimizando así el sesgo de selección en el inventario forestal (Morris et al., 2026), se registraron datos de las parcelas rectangulares, en ella se determinaron el volumen de madera existente en las 20 hectáreas del bosque seco tropical de la Finca Andil.

En total se obtuvieron nueve parcelas que se distribuyeron aleatoriamente, considerando los instrumentos propuestos por Scheeres et al. (2023), estas unidades de muestreo cuentan con parcelas de 20 m x 25 m (500 m²-0,05 ha)

Estimar la fiabilidad de las muestras tomadas con respecto a los ejemplares calculados

Se calcularon área basal, volumen, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, error estándar y límites de confianza al 95%. Los análisis se ejecutaron en R v4.3.0 con un nivel de significancia del 5%.

Altura

Se evaluó la altura total (h) de cada individuo, definida como la distancia vertical desde el nivel del suelo hasta el ápice del

árbol; la medición se realizó mediante estimación visual directa con vara de referencia, registrando los valores en metros (m) de manera simultánea al establecimiento de las unidades de muestreo (Hernández et al., 2020).

Diámetro

El diámetro a la altura del pecho (DAP) se midió a 1,30 m del suelo con cinta diamétrica, registrando valores en centímetros (cm). Se incluyeron todos los individuos con DAP ≥ 10 cm. La altura total se determinó con un clinómetro SUUNTO, midiendo la distancia horizontal y el ángulo de elevación hasta el ápice del árbol (Mena-Mosquera et al., 2021). Este parámetro es fundamental para la caracterización estructural de la masa forestal, permitiendo el cálculo posterior del área basal y la estimación del incremento en volumen (Zhao et al., 2021); el procesamiento de los datos recolectados se realizó mediante las siguientes expresiones matemáticas:

Área basal

El área basal se calculó en m², luego de inventariar las unidades de muestreo en el bosque seco tropical de la Finca Andil mediante la siguiente ecuación (Mena-Mosquera et al., 2021).

$$g = \frac{\pi}{4} * D^2$$

Dónde:

$$\pi \approx 3,1416$$

D= diámetro (m)

Volumen

El volumen de los árboles en pie se calculó con base a su altura total, área basal, diámetro y factor de forma mediante la ecuación (Pretzsch, 2020).

$$V = \frac{\pi}{4} * D^2 * h * f$$

Dónde:

$$\pi \approx 3,1416$$

D= diámetro

h= altura

f= factor de forma

Además, para el caso del factor de la forma en esta variable para bosques secos tropical se cuenta con un valor de 0,8 (Lozano y Bonilla, 2022).

Varianza y desviación estándar

Son las desviaciones de los elementos de la población con respecto a la media aritmética (Schillaci y Schillaci, 2022).

La fórmula correcta del cálculo de la desviación estándar de la muestra se hace por cuadrados mínimos, con la siguiente ecuación planteada por Schillaci y Schillaci (2022):

$$S^2 = \frac{\sum xi^2 - [(\sum xi)^2/n]}{n - 1}$$

Dónde:

S= desviación estándar

$\sum x^2$ = sumatoria de cuadrados de x

$\sum x$ = sumatoria de x (suma de los items)

n= número de lotes o unidades de muestreo

Coefficiente de variación

Es una medida que expresa la desviación estándar en porcentaje del promedio; es muy útil porque sirve para comparar el grado de variación en forma independiente de la unidad de medida; el coeficiente de variación se simboliza también con CV (%) y se calcula con la ecuación siguiente (Schillaci y Schillaci, 2022).

$$CV\% = \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) * 100$$

Dónde:

S= desviación estándar

$\bar{x}$ = promedio

Error estándar

Es una medida que indica la variación del promedio; estos promedios no serán iguales, por lo tanto, el $\bar{Sx}$ tendrá alguna variación; pues la desviación estándar de estos promedios se denomina error estándar; dentro de la práctica no es necesario extraer varios promedios mediante un muestreo porque el error estándar se calcula a base de la desviación estándar obtenida con un solo muestreo; esto se realizó con la ecuación de Schillaci y Schillaci (2022)

Límites de confianza

Con diferentes tamaños de muestras (n) y para diferentes porcentajes de confianza o probabilidad cuando se usó t 0,05 con una estimación de 95% de confianza; en la práctica “t” se busca con base del número de unidades de muestreo “n” si estas unidades de muestreo fueron mayores de 30; si fueron menos de 30 se utilizó (n-1), la expresión (n-1) recibe el nombre de “grados de libertad” (Schillaci y Schillaci, 2022).

1) promedio calculado + error de muestreo= L1

2) promedio calculado - error de muestreo= L2 16

Al valor 2 se le designó como L2 (límite inferior) y fue el valor que se denominó “volumen confiable” según Schillaci y Schillaci (2022) determinadó con la ecuación:

$$Lc = \bar{Sx} * t\alpha^2$$

Tamaño de la muestra

Finalmente, luego de realizar los anteriores cálculos se procedió a calcular el tamaño de la muestra donde se utilizó la ecuación:

$$nl = \frac{(ta)^2 * S^2}{E^2}$$

Resultados y discusión

Identificación de las especies más representativas en el bosque seco tropical Andil

La comunidad arbórea del bosque seco tropical Andil estuvo conformada por un total de 203 individuos distribuidos en 17 especies, lo que evidenció una riqueza moderada, pero con una distribución altamente desigual de la abundancia (figura 2). La especie *G. ulmofolia* (Guasmo) se eligió como la superdominante absoluta del sistema, alcanzando un valor de 82 individuos, valor que representó más del 40% del total de la comunidad. Esta especie, perteneciente a la familia Malvaceae, es reconocida como una pionera de rápido crecimiento, alta tolerancia a la radiación solar directa y capacidad de colonización en suelos perturbados, características que explicaron su masiva presencia en el área de estudio (Durán et al., 2025). En segundo y tercer lugar de importancia se ubicaron *Senna mollissima* (Vainilla) con 30 individuos (14,8%) y *Cochlospermum vitifolium* (Bototillo) con 20 individuos (9,9%), ambas también clasificadas como especies pioneras o secundarias tempranas. La suma de estas tres especies acumuló el 65,1% de la totalidad de los individuos muestreados, lo cual evidencia una comunidad con baja equitatividad y alta concentración de la abundancia en un reducido número de taxones.

El resto de la comunidad estuvo compuesta por especies poco frecuentes, entre las que destacaron *Cordia alliodora* (Laurel) con 18 individuos, *Spondias purpurea* (Ovo ciruela) con 17 individuos y *Leucaena trichodes* (Mijan) con 10 individuos. Especies de mayor valor maderable como *Cedrela odorata* (Cedrela) y *Pseudosamanea guachapele* (Guachapelí) presentaron registros esporádicos, con dos individuos para cada, respectivamente, lo que sugiere una extracción selectiva previa o una regeneración limitada de especies tardías debido a la competencia ejercida por las especies dominantes.

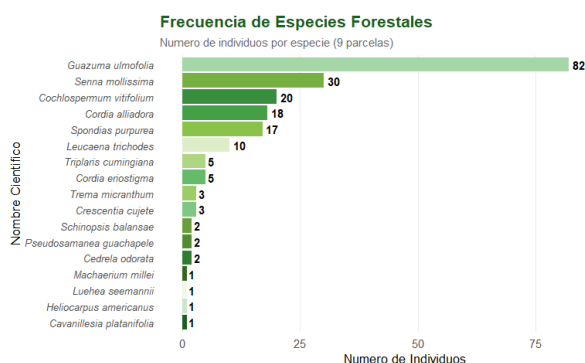


Figura 2. Individuos por especies forestales presentes en el sector Andil.

El análisis espacial reveló que hubo una marcada heterogeneidad en la composición y estructura de dominancia entre las nueve parcelas evaluadas (figura 3). La parcela 2 exhibió la dominancia especial única más extrema, donde *G. ulmifolia* concentró aproximadamente el 87% de los individuos presentes, con apenas cuatro especies en total. Este patrón ha sido característico de sitios con perturbación reciente, donde la ausencia de banco de semillas de especies secundarias y la alta disponibilidad de luz en el sotobosque favorecen la colonización masiva de pioneras de rápido crecimiento (Silva et al., 2024). De igual forma, la parcela 4 presentó la mayor riqueza de especies, con ocho taxones identificados y una ausencia casi total de la dominancia de *G. ulmifolia*. La presencia de *P. guachapele*, *Crescentia cujete* (Mate) y *Luehea seemannii* (Guasmo colorado) en esta parcela indicó condiciones de sucesión más avanzada, probablemente asociadas a un mayor tiempo de recuperación o a una perturbación menos intensa que en el resto del área.

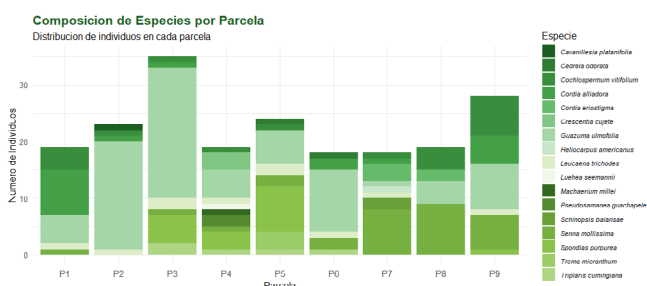


Figura 3. Comparación de la diversidad de especies presentadas en las parcelas de estudio.

La parcela 3 registró la mayor densidad absoluta con 35 individuos, manteniendo la dominancia de *G. ulmifolia* pero con una presencia significativa de *S. purpurea*, especie de uso múltiple con potencial maderable y frutícola. Esta parcela evidenció el estado de transición, donde la comunidad inició el proceso de diferenciación estructural pero aún se encontraba bajo el control funcional de las mismas; de igual forma, la parcela 5 evidenció un patrón de cooperación dominante entre *S. purpurea* y *G. ulmifolia*, con 13 y 6 individuos, demostrando que fue un sitio en recuperación intermedia; donde las especies secundarias tardías predominaron en el orden espacial frente a las especies pioneras puras.

Por otra parte en las parcelas 7 y 8, donde *S. mollissima* (Vainilla) destacó como la especie dominante, alcanzando ocho y nueve individuos en donde; *S. mollissima*, al ser una leguminosa fijadora de nitrógeno, se encontró asociada a suelos degradados o con deficiencia en nutrientes, incorporando una ventaja competitiva sobre otras especies. De igual forma, la dominancia de esta especie acompañada de una reducida presencia de Guasmo, indicó la existencia de condiciones edáficas específicas que limitaron la colonización de otras especies y favorecieron el establecimiento de aquellas con potencial como fijadoras de nitrógeno.

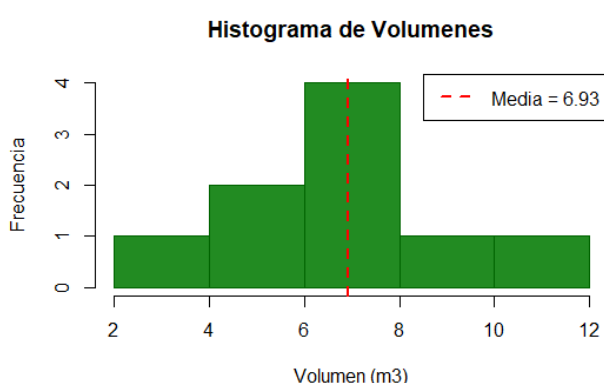
La parcela 1 presentó un patrón poco común en el contexto del estudio, con *C. alliodora* (Laurel) como especie dominante y una ausencia de *G. ulmifolia*. *Cordia alliodora* es una especie pionera de buen porte y alta demanda hídrica, cuya dominancia sugirió condiciones de mayor humedad edáfica o una historia de disturbio diferente a la del resto de las parcelas. Además, la parcela 9 mostró una co-dominancia entre *G. ulmifolia* y *C. vitifolium*, con ocho y siete individuos, respectivamente; configurando un escenario de competencia activa entre especies de gran porte.

Determinación de los volúmenes m³ de las especies forestales en parcelas del bosque seco tropical de Andil

En la tabla 2 se logra visualizar que el intervalo de confianza al 95% indicó que el volumen medio real por parcela se encontró entre 5,27 y 8,45 m³, un rango de incertidumbre de $\pm 24\%$ respecto a la media estimada (figura 4). Para un inventario forestal destinado a planificación silvícola o aprovechamiento, este nivel de incertidumbre fue inaceptable.

Tabla 1. Datos de los volúmenes m³ obtenidos en cada parcela objeto de estudio.

n	Parcela	Volúmenes (xi)
1	1	3,68
2	2	7,34
3	3	7,20
4	4	5,41
5	5	8,45
6	6	7,08
7	7	7,03
8	8	11,20
9	9	4,98
Total		62,37
Media		6,93

**Figura 4.** Histograma de análisis para el valor medio de las parcelas.

Estimación de la fiabilidad de las muestras tomadas con respecto a los ejemplares calculados

La tabla 3 indicó una varianza muestral de 4,68, una desviación estándar de 2,16, un coeficiente de variación de 31,22%, un error estándar de 0,72 y un tamaño de muestra estimado de 8,82, con límites de confianza de 8,56 y 5,30 m³. Resultados que se interpretaron como una base técnica para definir un muestreo aleatorio simple que logró una precisión aceptable sin sobredimensionar el esfuerzo de campo.

El CV de 31,22% mostró una variabilidad interna relativamente alta del atributo medido, probablemente volumen, dentro del bosque seco tropical evaluado (Papa et al., 2020). En inventarios forestales, una mayor variabilidad exige más unidades de muestreo para estabilizar las estimaciones, y por eso el tamaño calculado de 8,82 parcelas debe leerse como el mínimo aproximado necesario bajo las condiciones observadas (Li et al., 2023; Laly et al., 2025).

El error estándar de 0,72 sugirió que la media muestral tuvo una dispersión moderada, pero no completamente reducida, de modo que la precisión lograda sería útil para una caracterización general del rodal más que para estimaciones de alta exigencia

operativa (Angelis y Stamatellos, 2004; Wu et al., 2023). Esto guardó relación con la literatura, demostrando que al aumentar el tamaño de muestra se mejoró la exactitud, pero con el efecto de rendimientos bajos una vez que la curva de error comenzó a estabilizarse (Zhu et al., 2021; Bouasria et al., 2023; Li et al., 2023).

Tabla 2. Datos estadísticos del área de estudio.

Varianza Muestral (S ²)	Desviación estándar (S)	Coeficiente de variación (CV %)	Error estándar de la media	Tamaño de la muestra	Límites de confianza
4,68	2,16	31,22	0,72	8,82 ≈ 9	8,56 5,30 m ³

El tamaño de muestra de 98,82 o nueve unidades de muestreo, representaron una decisión metodológica razonable; aun ante ello, se debe de considerar que la literatura sobre inventarios forestales coincide en que el tamaño óptimo no debe maximizarse de forma indiscriminada, sino ajustarse al nivel aceptable y sobre todo ajustarse a los recursos disponibles (Angelis y Stamatellos, 2004; Pohjankukka et al., 2022; Wu et al., 2023;).

El CV también sugirió que el bosque seco tropical presentó heterogeneidad estructural suficiente como para que un muestreo aleatorio simple pueda requerir más parcelas si se desea reducir más el error relativo (West, 2017; Hetzer et al., 2019; Papa et al., 2020). Factor atribuido a bosques tropicales, debido a su nivel de captación de toda la variabilidad misma que, suele requerirse a más unidades cuando la estructura es compleja (Hetzer et al., 2019; Papa et al., 2020; Iheaturu et al., 2025).

En comparación con ello, el muestreo aleatorio simple ha mostrado errores menores por conglomerados en inventarios amazónicos (Kauai et al., 2019); sin embargo, se ha visto que la eficiencia depende del tamaño de parcela, atributo medido y tipo de bosque (Rodríguez et al., 2021; De Sousa et al., 2023). Además, varios estudios muestran que la ganancia en precisión se desacelera después de alcanzar un umbral mínimo, lo que indicó que incrementar mucho más allá de ese punto podría elevar costos con beneficios bajos (Li et al., 2023; Shu et al., 2022; Papa et al., 2020).

Conclusión

Los valores recolectados permitieron optimizar el tamaño de muestra para el inventario forestal del bosque seco tropical de Andil mediante muestreo aleatorio simple. Además, el diseño aplicado permitió obtener estimaciones dasométricas y volumétricas para caracterizar la masa forestal del área evaluada.

La muestra establecida fue coherente con la variabilidad observada en el bosque, pues el tamaño calculado de nueve parcelas, ofreció un equilibrio razonable entre precisión y esfuerzo de campo, permitiendo identificar que la información obtenida es adecuada para una caracterización general del rodal y para sustentar decisiones técnicas iniciales de manejo y monitoreo.

El inventario identificó una comunidad forestal con 17 especies y 203 individuos, dominada principalmente por *G. ulmifolia*,



S. mollissima y *C. vitifolium*, confirmando una composición florística moderada, distribución desigual y señales de perturbación antrópica.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Alberdi, I., Adame, P., Aulló, I., Hernández, L., Montes, F., Rubio, Á., Oliveira, N., Cañellas, I., Ramírez, C., Veloso, J. y Vergara, G. (2023). *Estimación e interpretación de indicadores de biodiversidad forestal considerando la información de los inventarios forestales nacionales*. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/32696>
- Angelis, L. and Stamatellos, G. (2004). Multiple objective optimization of sampling designs for forest inventories using random search algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 42(3), 129-148. [https://doi.org/10.1016/s0168-1699\(03\)00121-2](https://doi.org/10.1016/s0168-1699(03)00121-2)
- Bravo, D., Ganchozo, M., Mero, O., Pinargote, J. y Cabrera, C. (2024). Análisis estructural de la vegetación arbórea en la finca “El Despeño” de la Comunidad Balsa Tumbada Adentro, Junín, Manabí, Ecuador. *Revista de Investigación Talentos*, 11(1), 47-63. <https://doi.org/10.33789/talentos.11.1.196>
- Bouasria, A., Bouslihim, Y., Gupta, S., Taghizadeh, R. and Hengl, T. (2023). Predictive performance of machine learning model with varying sampling designs, sample sizes, and spatial extents. *Ecological Informatics*, 78, 102294. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102294>
- Brück, S., Medina, B. and Moraes, M. (2023). The Ecuadorian paramo in danger: What we know and what might be learned from northern wetlands. *Global Ecology and Conservation*, 47, e02639. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02639>
- Cabrera, C., Sornoza, L., Cantos, C., Pionce, G. y Ganchozo, M. (2020). Análisis de la regeneración natural de cinco especies forestales de la finca Ándil UNESUM. *Revista Perspectivas Rurales*, 18(36), 101-123. <http://doi.org/10.15359/prme.18-36.5>
- Cedeño, A. (2023). *Variabilidad climática en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí* [Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Estatal del Sur de Manabí] <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5876/1/Cede%C3%B1o%20Toala%20Alan%20Jair.pdf>
- De Sousa, C., Silva, J., Ferreira, R., Da Silva, D., Da Silva, E. and Lima, R. (2023). Size of sampling units appropriate for management level forest inventory in Eastern Amazon, Brazil. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 16(2), e10938. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n2e10938>
- Durán, N., González, D., Martínez, J. y Prado, M. (2025). Modelado espacial de *Guazuma ulmifolia* Lam. ante el cambio climático en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 16(87), 153-175. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i87.1510>
- Goodbody, T. R. H., Coops, N., Senf, C. and Seidl, R. (2023). Airborne laser scanning to optimize the sampling efficiency of a forest management inventory in South-Eastern Germany. *Ecological Indicators*, 157, 111281. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111281>
- Hassan, S., Irfan, M., Binte, A., Ahmad, I. y Ali, S. (2021). Evaluación de la deforestación en bosques subtropicales utilizando datos de terrenos espacio-temporales. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 9(2), 205-225. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692021000200205&lng=es&tlng=es
- Heberle, T., Denega, L., Stepka, T. F., Nicoletti, M. F., Galéski, G. and de Jesus, L. dos S. (2022). Effectiveness of sampling methods for thinned and non-thinned *Pinus taeda* L. plantations in the mountain region of Santa Catarina, Brazil. *Floresta*, 52(4), 541-551. <https://doi.org/10.5380/rf.v52i4.85374>
- Hernández, J., García, X., Pérez, R., González, A. y Martínez L. (2020). Inventario y mapeo de variables forestales mediante sensores remotos en el estado de Quintana Roo, México. *Madera y Bosques*, 26(1), e2611884. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611884>
- Hetzer, J., Huth, A., Wiegand, T., Dobner, H. and Fischer, R. (2019). An analysis of forest biomass sampling strategies across scales. *Biogeosciences*, 17, 1673-1683. <https://doi.org/10.5194/bg-17-1673-2020>
- Iheaturu, C., Wingate, V., Akinyemi, F. and Speranza, C. (2025). An integrated object-based sampling approach for validating non-contiguous forest cover maps in fragmented tropical landscapes. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*, 139, 104497. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104497>

- Indacochea, B. y García, R. (2024). Inventario forestal con enfoque bioético para la protección sostenible de recursos en la Finca Experimental Andil de Jipijapa. *Perfiles*, 31(1), 61-73. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i31.274>
- Kauai, F., Corte, A., Cysneiros, V., Pelissari, A. and Sanquetta, C. (2019). Evaluation of forest inventory processes in a forest under concession in the southwestern Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 49(2), 91-96. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201801331>
- Kománek, M., Knott, R., Kadavý, J. and Kneifl, M. (2024). Is the concentric plot design reliable for estimating structural parameters of forest stands?, *Forests*, 15(12), 2246. <https://doi.org/10.3390/f15122246>
- Laly, G., Atindogbé, G., Akpo, A. H., Dotchamou, T., Kassa, B. D. and Fonton, N. H. (2025). Optimal tree sampling for ecosystem-specific biomass allometry modeling in Congo Basin forests. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 18(6), 2205-2220. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v18i6.12>
- Li, C., Yu, Z., Dai, H., Zhou, X. and Zhou, M. (2023). Effect of sample size on the estimation of forest inventory attributes using airborne LiDAR data in large-scale subtropical areas. *Annals of Forest Science*, 80, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13595-023-01209-4>
- Lozano, L. y Bonilla, J. (2022). Factor de forma para árboles del Bosque Seco Tropical (bs-T) en el norte del Departamento del Tolima, Colombia. *Revista Temas Agrarios*, 27(2), 344-353. <https://doi.org/10.21897/rt.a.v27i2.3136>
- Mansingh, A., Pradhan, A., Sahoo, S., Cherwa, S., Mishra, B., Rath, L., Ekka, N. and Panda, B. (2025). Tree diversity, population structure, biomass accumulation, and carbon stock dynamics in tropical dry deciduous forests of Eastern India. *BMC Ecology and Evolution*, 25. <https://doi.org/10.1186/s12862-025-02385-9>
- Mexudhan, Lal, J. and Patil, G. (2024). Assessment of tree species diversity, biomass, C and N storage in two sites of dry tropical forest of Chhattisgarh, India. *International Journal of Economic Plants*, 11, 180-187. <https://doi.org/10.23910/2/2024.5263>
- Mena-Mosquera, V.E., Andrade C., H. J. y Torres-Torres, J. J. (2020). Composición florística, estructura y diversidad del bosque pluvial tropical de la subcuenca del río Munguidó, Quibdó, Chocó, Colombia. *Entramado*, 16(1), 204-215. DOI [10.18041/1900-3803/entramado.1.6109](https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6109).
- Morris, J., Fuente, F., Morris, S., Li, K., Benítez, M. and Perfecto, I. (2026). Agricultural intensification associated with significant reduction in epiphyte diversity on coffee plants. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 401, 110249. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2026.110249>
- Mosquera, J. V., Auguste, G., Wong, D., Turner, A. W., Hodonsky, C. J., Alvarez-Yela, A. C., Song, Y., Cheng, Q., Lino Cardenas, C. L., Theofilatos, K., Bos, M., Kavousi, M., Peyser, P. A., Mayr, M., Kovacic, J. C., Björkegren, J. L. M., Malhotra, R., Stukenberg, P. T., Finn, A. V., van der Laan, S. W., Zang, C., Sheffield, N. C. and Miller, C. L. (2023). Integrative single-cell meta-analysis reveals disease-relevant vascular cell states and markers in human atherosclerosis. *Cell Reports*, 42(11), 113380. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2023.113380>
- O'Brien, F. y Cabrera, R. (2024). Especies florísticas y actividades antrópicas en el bosque seco tropical en Cantagallo del cantón Jipijapa. *MQR Investigar*, 8(1), 5376-5387. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.1.2024.5376-5387>
- Palma, D. y Sánchez, R. (2023). *Uso y manejo del suelo*. Vol 3. En: Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo. Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo. https://www.smcsmx.org/files/2023/LIBRO_3_2023.pdf
- Papa, D., Almeida, D., Silva, C., Figueiredo, E., Stark, S., Valbuena, R., Rodríguez, L. and Oliveira, M. (2020). Evaluating tropical forest classification and field sampling stratification from lidar to reduce effort and enable landscape monitoring. *Forest Ecology and Management*, 457, 117634. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117634>
- Pohjankukka, J., Tuominen, S. and Heikkonen, J. (2022). Bayesian approach for optimizing forest inventory survey sampling with remote sensing data. *Forests*, 13(10), 1692. <https://doi.org/10.3390/f13101692>
- Pretzsch, H. (2020). The course of tree growth. Theory and reality. *Forest Ecology and Management*, 478, 118508. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118508>
- Rebolledo López, D. C., y Lores Ochoa, D. C. (2021). Evaluación espaciotemporal de la cobertura vegetal del parque nacional Henri Pittier, Venezuela. *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 28, 25-58. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.742>
- Rodríguez Pinto, L. O., Rodrigo de Souza, C., Terra, M., Mello, J., Calegário, N. and Acerbi, F. (2021). Optimal plot size for carbon-diversity sampling in tropical vegetation. *Forest Ecology and Management*, 482, 118778. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118778>
- Scheeres, J., De Jong, J., Brede, B., Brancalion, P., Noth, E., Almeyda, A., Bastos, E., Silva, C., Valbuena, R., Molin, P., Stark, S., Ribeiro, R., Brossi, G., Faria, A., Torres, C. and Alves, D. (2023). Distinguishing forest types in restored tropical landscapes with UAV-borne LIDAR. *Remote Sensing of Environment*, 290, 113533. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113533>



- Schillaci, M. A. and Schillaci, M. E. (2022). Estimating the population variance, standard deviation, and coefficient of variation: Sample size and accuracy. *Journal of Human Evolution*, 171, 103230. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2022.103230>
- Shu, Q., Xi, L., Wang, K., Xie, F., Pang, Y. and Song, H. (2022). Optimization of samples for remote sensing estimation of forest aboveground biomass at the regional scale. *Remote Sens.*, 14(17), 4187. <https://doi.org/10.3390/rs14174187>
- Silva, E., Guadalupe, J., Aguirre, O., Treviño, E., Corral, J. y Manzanilla, G. (2024). Diversidad y estructura de especies arbóreas en tres tipos de vegetación forestal al sur de Durango, México. *Polibotánica*, 58(29), 103-118. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.58.7>
- West, P. W. (2017). Population structure and correlation between auxiliary and target variables may affect precision of estimates in forest inventory. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 46(6), 4951-4965. <https://doi.org/10.1080/03610918.2016.1139128>
- Wu, H., Xu, H., Tian, X., Zhang, W. and Lu, C. (2023). Multistage sampling and optimization for forest volume inventory based on spatial autocorrelation analysis. *Forests*, 14(2), 250. <https://doi.org/10.3390/f14020250>
- Zhao, N., Prieur, J., Liu, Y., Kneeshaw, D., Morasse, E., Paquette, A., Zinszer, K., Dupras, J., Villeneuve, P., Rainham, D., Lavigne, E., Chen, H., Van, M., Viamo, T. and Smargiassi, A. (2021). Tree characteristics and environmental noise in complex urban settings – A case study from Montreal, Canada. *Environmental Research*, 202, 111887. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111887>
- Zhou, X., Hu, C., & Wang, Z. (2023). Distribution of biomass and carbon content in estimation of carbon density for typical forests. *Global Ecology and Conservation* 48, e02707. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02707>
- Zhu, Y., Xin, L., Cz, C., Mei, Z. and Lc, G. (2021). Effect of field sample size on large-scale subtropic forest inventory attribute estimation based on airborne laser scanner data. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202106.0530.v1>

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Néstor Leopoldo Tarazona Meza: metodología, investigación, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Gabriela Delgado Macias:** análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Marcos Vinicio Loor Alcívar:** conceptualización, análisis formal, metodología, investigación, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Sandra Grace Pincay Sánchez:** análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Maverick Ángel Magallan Rodríguez:** análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.