



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

Tropical Journal of Environmental Sciences



Estudio de espaciamientos y de relaciones alométricas en árboles de ciprés
(*Cupressus lusitanica* Mill.) para Navidad

Spacing Study and Allometric Relationship in Cypress (*Cupressus lusitanica*
Mill.) Christmas Trees

Dorian Carvajal-Vanegas^a, Gustavo Torres-Córdoba^b, Yorlenny Badilla-Valverde^c,
Olman Murillo-Gamboa^d

^a Licenciado en Ingeniería Forestal, investigador y académico, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, dcarvajal@itcr.ac.cr

^b Máster en Ciencias Forestales, investigador y académico, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, dtorres@itcr.ac.cr

^c Máster en Ciencias Forestales, investigadora y académica, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, yorlennybadilla@yahoo.es

^d Doctor especialista en genética forestal, investigador y académico, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, olmuga@yahoo.es

Director y Editor:

Dr. Sergio A. Molina-Murillo

Consejo Editorial:

Dra. Mónica Araya, Costa Rica Limpia, Costa Rica

Dr. Gerardo Ávalos-Rodríguez. SFS y UCR, USA y Costa Rica

Dr. Manuel Guariguata. CIFOR-Perú

Dr. Luko Hilje, CATIE, Costa Rica

Dr. Arturo Sánchez Azofoifa. Universidad de Alberta-Canadá

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas

Editorial:

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)





Estudio de espaciamientos y de relaciones alométricas en árboles de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) para Navidad

Spacing Study and Allometric Relationship in Cypress (*Cupressus lusitanica* Mill.) Christmas Trees

Dorian Carvajal-Vanegas^a, Gustavo Torres-Córdoba^b, Yorleny Badilla-Valverde^c, Olman Murillo-Gamboa^d

[Recibido: 19 de agosto 2016; Aceptado: 07 de octubre 2016; Corregido: 12 de noviembre 2016; Publicado: 30 noviembre 2016]

Resumen

El árbol de navidad se ha convertido en parte importante de la cultura costarricense y de la mayoría de países de la región latinoamericana. La investigación se realizó como parte de un esfuerzo por mejorar el paquete tecnológico de esta importante industria, que en su totalidad ocurre en pequeñas granjas de producción. El estudio consistió en la evaluación de cuatro espaciamientos de plantación, con el fin de determinar la densidad óptima en términos de productividad y de lograr desarrollar un árbol de navidad en 1,5 años. Los espaciamientos evaluados fueron: 1,5 x 1,5 m en distribución regular, 1,5 x 1,5 m en distribución tresbolillo, 1,25 x 1,25 m en tresbolillo y 1,8 x 1,8 m en distribución regular. El mejor espaciamiento, en términos de crecimiento del diámetro basal, fueron los dos de 1,5 x 1,5 m; sin embargo, al plantar a 1,25 x 1,25 m se aumentaría en 2 000 árboles/ha, con tan solo una disminución en crecimiento de -5 mm en los 18 meses de tiempo de evaluación. El estudio comprendió el análisis de relaciones alométricas del diámetro, la altura y la circunferencia de la copa, que determinó que los usuarios prefieren árboles con una relación de h/circunferencia máxima de 0,67, o también, una relación 1:2 entre la circunferencia máxima expresada en diámetro y la altura. El modelo de regresión ajustado para predecir la circunferencia a partir del diámetro basal logró explicar más de un 77% de la variación observada.

Palabras clave: Alometría, Costa Rica, plantación, silvicultura, viveros forestales.

Abstract

Christmas trees have become an important part of Costa Rican culture and for most countries in Latin America. This research was developed to improve the technological package of this important industry, which occurs totally in small scale farmers. The study evaluated four initial spacing, with the scope of finding the optimal initial planting distance in terms of productivity and, trying to achieve a Christmas tree size at the age of 1.5 years-old. Four spacing were evaluated: 1.5 x 1.5m in regular distribution, 1.5 x 1.5m in diagonal distribution, 1.25 x 1.25m in diagonal distribution, and 1.8 x 1.8m in regular distribution. The two best initial spacing, in terms of diameter growth, were those of 1.5 x 1.5m. However, planting at 1.25 x 1.25m in diagonal distribution would increase in 2000 the number

^a Licenciado en Ingeniería Forestal, investigador y académico, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, dcarvajal@itcr.ac.cr

^b Máster en Ciencias Forestales, investigador y académico, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, dtorres@itcr.ac.cr

^c Máster en Ciencias Forestales, investigadora y académica, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, yorlenybadilla@yahoo.es

^d Doctor especialista en genética forestal, investigador y académico, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, olmuga@yahoo.es



of trees/ha, with a diminution of only 5mm in diameter growth after 18 months. The study included allometric relationships between diameter, total height, and crown circumference, which determined that people's preferences are on a 0.67 proportion h/circumference, as well as a 1:2 relationship between maximum circumference expressed in diameter and total height. The regression model adjusted explained over a 77% of total observed variation, which allows us for circumference estimations at any basal diameter.

Keywords: Allometry, Costa Rica, plantation, silviculture, tree nursery.

1. Introducción

El árbol de Navidad se ha convertido en parte importante de la cultura costarricense de hoy. No solo implica una relación agradable durante la época navideña, sino que tiene un elemento paisajístico de indudable aceptación. Esta tradición nos viene del continente europeo y, al parecer, se establece en épocas medievales. Esta costumbre tuvo su origen en el oeste de Alemania, cerca del año de 1500 D. C., y se generalizó su uso en Europa. Posteriormente, en 1804, fue adoptada en Norteamérica y años más tarde la tradición se popularizó y expandió por todo el territorio de los Estados Unidos (Chapa, 1976). Ya para 1950, era popular dentro del territorio mexicano (Magaña, 1996; Orozco, Orozco y Patiño, 2009).

En Costa Rica inicia la tradición con el uso de ramas y de coronas de ciprés (*Cupressus lusitanica*) para decoración en los hogares en la época navideña. Bucarey (1967) propuso establecer plantaciones regulares de ciprés en alta densidad (4 444/ha), que pudieran ser raleadas a los 3 o 4 años y aprovechar los árboles extraídos como árboles de Navidad en el país. Posteriormente, la tradición y el mercado de árboles de Navidad continuaron aumentando y se estimuló el establecimiento de plantaciones como un cultivo en la década de 1980 (Rojas y Torres, 1989). Esta actividad ha permanecido como una industria discreta, creciente, que ha venido constituyéndose en una actividad silvicultural de carácter intensivo que merece ser sujeto de investigación y mejoramiento.

La producción de árboles de Navidad ha llegado a ser, en muchos países, una industria forestal generadora de gran cantidad de empleo y divisas (Orozco et al., 2009). Esta es una actividad con una alta factibilidad financiera, a pesar de su pequeña escala (Rojas y Torres 1989). En Venezuela, trabajos recientes establecieron experimentos con ciprés para establecer el cultivo de árboles de Navidad en las zonas altas, con el fin de satisfacer la creciente demanda interna (Petit-Aldana, Uribe-Valle, Muchacho-Briceño, 2010).

Esta modalidad de plantación tiene la particularidad de que los árboles reciben un especial cuidado desde el momento de su plantación hasta la cosecha, que es de carácter intensivo. Ha sido ejercida por parte del sector productor costarricense con procedimientos empíricos, siguiendo una lógica similar al cultivo del café a la que está acostumbrado, y no basado en buenas prácticas culturales adecuadas para este cultivo, por ejemplo, un mejor programa de fertilización y un verdadero programa preventivo de la presencia de hongos en el follaje. Sin embargo, el sector productor de árboles de Navidad tiene esta actividad como complementaria de otras de mayor relevancia, a pesar de que le representa un ingreso económico importante en la época navideña (Torres y Carvajal, 2011).

Este dinámico sector no ha contado con apoyo técnico para mejorar su actividad. Salvo un primer manual sobre el cultivo (Rojas y Torres, 1989) y cursos libres ofrecidos en las



universidades públicas, no ha contado con ninguna fuente de información técnica. Sus desafíos principales están relacionados con problemas fitosanitarios, ausencia de fuentes semilleras apropiadas, desconocimiento de aspectos silviculturales básicos y, principalmente, limitaciones de mercadeo y comercialización de su producto.

Ante estos vacíos de conocimiento, se realizó un diagnóstico sobre el estado del cultivo de árboles de Navidad en el país (Torres y Carvajal, 2011), que entre sus principales hallazgos habla de la producción y consumo de más de 250 000 árboles/año en alrededor de 150 sujetos productores ubicados en las provincias de Heredia, Alajuela, San José y Cartago. El otro hallazgo importante es que todos los sujetos productores son micro y pequeños, en áreas que oscilan desde unos cuantos metros cuadrados hasta una hectárea.

En términos de silvicultura básica, un primer aspecto a decidir es el espaciamiento inicial. Esta actividad es muy intensiva y se establece tradicionalmente en densidades sumamente altas. De manera empírica, el espaciamiento más utilizado en los últimos años en Costa Rica ha sido el 1,5 x 1,5 m en distribución en tresbolillo o pata de gallo (Torres y Carvajal, 2011), que corresponde con el mejor espaciamiento propuesto por Bucarey (1967), quien fue el primer investigador sobre este cultivo en el país. En Jalisco, México, se menciona el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m como el más recomendado, aunque se ha utilizado desde 1,2 x 1,2m (Orozco et al., 2009). Espinosa (2006) propone que, para producir árboles de 1,7 a 2,2 m de altura, los espaciamientos deben ser entre 1,5 m hasta un máximo de 1,8 m. Sin embargo, podría preguntarse, ¿por qué no otro espaciamiento de mayor densidad con ciprés?, ¿cuál es el diámetro o circunferencia máxima de los árboles para que el espaciamiento inicial sea suficiente y permita su desarrollo pleno? Estudios de mercado en México encuentran que la relación ideal copa/altura en árboles de Navidad debe ser inferior a un 40%, mientras que la altura ideal es de 1,7 a 1,8 m, con un ámbito que varía desde 1,5 a 2,2 m (Espinosa, 2006; Jiménez, Rodríguez y Pérez, 2009; Orozco, Orozco y Patiño, 2009). Otros estudios mexicanos mencionan que es posible plantar hasta 7 000 árboles/ha (1,2 x 1,2 m) en condiciones óptimas de producción con especies coníferas diferentes a ciprés (Álvarez, Colinas, Sahagún, Peña y Rodríguez, 2009). Esto afecta directamente el espaciamiento mínimo posible entre árboles, de modo que se evite el roce entre sus copas y disminuya la quema del follaje. Por tanto, analizar el espaciamiento entre árboles es relevante, ya que una pequeña diferencia de tan solo centímetros podría significar un aumento considerable en el número de árboles/ha en esta actividad. Así pues, esta investigación se diseñó con el objetivo principal de generar conocimiento y aportes a la actividad de producción de árboles de Navidad.

2. Metodología

2.1 Ensayo de espaciamientos

El estudio de espaciamientos consistió en el establecimiento de un ensayo en la propiedad del productor Didier Monge en su finca en San Cristóbal Norte, Desamparados. El sitio se ubica dentro de la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo, a una altitud de 1 700 m.s.n.m. y precipitaciones de aproximadamente 2 500 mm/año con cuatro meses secos. Las plantas se obtuvieron a partir de semilla de colectas ordinarias y fueron producidas en bolsa plástica por aproximadamente 6 meses, en el vivero forestal de investigación y docencia de la Escuela de



Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) en Cartago. El terreno fue utilizado anteriormente como área de cultivo y de producción de pasto y no recibió ninguna preparación previa. El hoyado se realizó con pala y se fertilizó con 50 g/árbol con el producto 10-30-10 (relación nitrógeno, potasio, fósforo). El ensayo se estableció en junio del 2013 y evaluó cuatro tratamientos en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 32 árboles (4 x 8 individuos). El ensayo recibió la poda de formación tradicional y acostumbrada en la zona, que se realiza cada 3 meses a partir de los 6 meses de edad aproximadamente. El terreno presenta una única pendiente ligera e inferior a un 8%; sin embargo, los bloques se dispusieron en forma transversal al gradiente de pendiente, con el fin de reducir un posible efecto ambiental desigual en los tratamientos (espaciamentos).

Los ensayos de espaciamentos presentan la dificultad técnica en su establecimiento, ya que se requiere modificar las líneas de siembra en cada caso a evaluar. La dificultad aumenta cuando se establecen los espaciamentos en el siguiente bloque y, se procede a aleatorizar y distribuir los tratamientos nuevamente, tal y como lo establece el principio del diseño experimental. Para facilitar su establecimiento y lograr un mejor uso del espacio, se procedió a realizar la aleatorización de los tratamientos solamente en el primer bloque. Los restantes dos bloques siguieron la misma aleatorización, es decir, distribución de los espaciamentos. Esto podría inducir efectos ambientales en favor o detrimento de alguno de los espaciamentos, si y solo si, existiera un segundo gradiente adicional a la pendiente. Pero tal y como se mencionó, el terreno presenta una sola pendiente leve en una misma dirección, por tanto, el haber realizado una sola aleatorización para los tres bloques no debería afectar en forma desigual los tratamientos evaluados.

Dado que el sistema de producción de árboles de Navidad exige que las copas no tengan contacto, este ensayo no requirió de hileras de borde. Además, el periodo de desarrollo de árboles de Navidad es de tan solo 30 meses, por lo que no se considera que, en tan corto periodo de tiempo, se manifieste un efecto de borde significativo. Por tanto, todos los 32 árboles formaron parte de la parcela útil. En el **cuadro 1** se muestran detalles del ensayo de espaciamentos.

Cuadro 1. Diseño del ensayo de espaciamentos para la producción de árboles de Navidad

Espaciamiento (m)	Árboles/ha	Área de la parcela (m ²) 4 x 8 árboles
1,8 x 1,8	3 085	7,2 x 14,4 m = 100 m ²
1,25 x 1,25 (tresbolillo sin modificar espaciamiento)	6 400	5 x 10 m = 50 m ²
1,5 x 1,5 (tresbolillo sin modificar espaciamiento)	4 444	6 x 12 m = 72 m ²
1,5 x 1,5	4 444	6 x 12 m = 72 m ²
Área máxima por bloque = 7,2 x 48,4 m = 350 m²		
Área máxima del ensayo = 21,6 x 48,4 m = 1 050 m²		
Número de árboles = 32 plantas x 4 tratamientos x 3 repeticiones = 384		
N = 384 + 10% de mortalidad = 425 árboles		



El modelo estadístico utilizado fue el usual para este diseño experimental:

$$Y = \mu + B_i + T_j + B \times T + e \quad (1)$$

Donde:

μ = Valor medio del experimento

B_i = i - ésimo bloque, con B-1 grados de libertad

T_j = j - ésimo tratamiento, con T-1 grados de libertad

$B \times T$ = Interacción del i -ésimo Bloque x j -ésimo tratamiento, con $(B-1) \times (T-1)$ grados de libertad.

e = término del error del experimento, con $(n-1) \times B \times T$ grados de libertad.

Como variables de respuesta del ensayo, se midió con un vernier el diámetro basal (a 5 cm del suelo, expresado en mm) durante mayo 2014 (11 meses) y setiembre 2015 (28 meses), dado que la altura y otras variables de crecimiento sufren distorsiones producto de las podas de formación del árbol de Navidad. En la **figura 1** se muestra la distribución espacial del ensayo de espaciamientos.

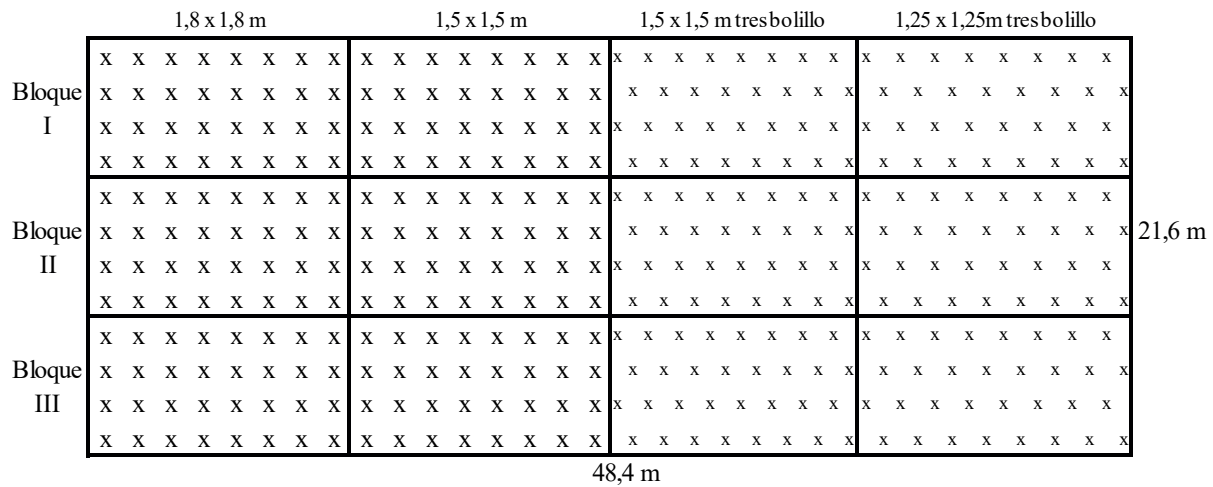


Figura 1. Distribución espacial del ensayo de espaciamientos de árboles de Navidad

Los datos fueron organizados en una hoja en Microsoft Excel y analizados como un análisis de varianza de dos factores (para los efectos del tratamiento y del bloque) con varias muestras por grupo. Como parte de la investigación se tomaron muestras de suelo y se les realizó un análisis químico completo en los laboratorios de suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas (Universidad de Costa Rica).

La diferencia mínima significativa de Fisher (DMS) entre espaciamientos fue determinada por la **ecuación 2** (Steel y Torrie, 1982)



$$DMS = t * \sqrt{\left(\frac{CMR}{n1} + \frac{CMR}{n2}\right)} \quad (2)$$

Donde:

t = valor tabular de t - student para los grados de libertad y nivel de significancia elegidos

n_1 = No. de observaciones utilizadas para obtener la primera media a comparar

n_2 = No. de observaciones utilizadas para obtener la segunda media a comparar

CMR = cuadrado medio del residuo (error).

2.2. Determinación de proporciones alométricas del árbol de Navidad ideal

A pesar de que los sectores productores de árboles de Navidad de Costa Rica aplican un tipo de poda muy parecido entre sí, con base en los requerimientos del mercado (Torres y Carvajal 2012), es importante determinar las posibles relaciones altura-diámetro, circunferencia, conicidad de copa, entre otras. Por tanto, se tomaron mediciones en campo para buscar posibles relaciones alométricas ideales del árbol de Navidad tipo, según la preferencia del mercado. De una plantación de 24 meses de edad de un productor experimentado en San Cristóbal Norte de Desamparados, se seleccionaron 10 árboles de Navidad ideales por su forma y relaciones visuales, definidos con base en la experiencia de preferencia de compra del mercado según el mismo productor. De este grupo de árboles tipo, a 10 de ellos se les midió el diámetro basal, la altura total y su circunferencia de copa en el punto más amplio. Con los datos se relacionó, mediante cocientes, el diámetro/altura, altura/circunferencia y diámetro/circunferencia. Se determinó, así, también una correlación entre estas tres variables. De la misma manera se generó en EXCEL una regresión de mejor ajuste entre el diámetro basal y la altura total, así como entre el diámetro basal y la circunferencia máxima.

3. Resultados

El ensayo de espaciamientos tuvo una sobrevivencia sumamente alta (superior al 98%) que da sustento a los resultados del estudio. En el **Cuadro 2** se pueden observar los resultados del estudio de espaciamientos. Puede notarse que el espaciamiento 1,5 x 1,5 m en tresbolillo generó los mejores diámetros en la base. Esto implica un buen desarrollo de la copa también. Mientras que el peor crecimiento en diámetro basal se registró en los espaciamientos de 1,8 x 1,8 m y en el de 1,25 x 1,25 m. El resultado del espaciamiento 1,8 x 1,8 m no es esperado, porque se ha determinado, de manera clásica en plantaciones forestales, que a menor densidad (mayor espaciamiento) ocurrirá una menor competencia y, por tanto, mayor crecimiento diamétrico (Alvarado, 2011).

Entre los dos espaciamientos de 1,5 x 1,5 m no se observan diferencias significativas, resultado que podría considerarse esperado. Es decir, la distribución en tresbolillo no aporta a esta edad un efecto importante en la competencia en este espaciamiento.



Cuadro 2. Resultados en crecimiento del diámetro basal (mm) a los 28 meses, según espaciamiento inicial en árboles de Navidad (San Cristóbal Norte, Desamparados)

Espaciamiento	Bloques			Promedio del Espaciamiento (28 meses)
	1	2	3	
1,5 x 1,5m en tresbolillo	60,10	58,68	47,92	55,53
1,5 x 1,5m	63,52	57,28	45,19	55,33
1,25 x 1,25m en tresbolillo	58,54	47,54	49,36	51,74
1,8 x 1,8m	53,54	54,61	41,75	49,89
Promedio del bloque	59,01	54,50	46,05	53,14
Sobrevivencia (%)	97,65	99,00	100	98,95

El análisis de varianza del ensayo se muestra en el **cuadro 3**, donde se determinó la existencia de diferencias significativas entre los espaciamientos evaluados, así como entre los bloques.

Cuadro 3. Análisis de varianza para el diámetro basal a los 28 meses, en un ensayo de espaciamientos de árboles de Navidad en San Cristóbal Norte (Desamparados)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Espaciamiento	2 159,77	3	719,92	6,52	0,0002	2,63
Bloque	10 958,74	2	5 479,37	49,61	7,95x10 ²⁰	3,02
Interacción	2 924,32	6	487,38	4,41	0,0002	2,12
Error	41 084,65	372	110,44			
Total	57 127,48	383				

Debe recordarse que el diseño experimental fue basado en 32 árboles (unidad experimental) x 3 repeticiones x 4 espaciamientos, para un total de 384 árboles. La diferencia mínima significativa entre tratamientos (DMS, **ecuación 2**) fue de 3,05 mm de diámetro basal. Por tanto, claramente establece diferencias significativas entre los dos espaciamientos 1,5 x 1,5 m y los restantes dos. Pero implica que no hubo diferencias significativas entre los espaciamientos 1,25 x 1,25 m y 1,8 x 1,8 m.

Con base en los resultados de los análisis de suelos (**Cuadro 4**), puede observarse que el sitio presenta algunas condiciones marginales, es ácido (pH de 5,0); sin embargo, el porcentaje de saturación de acidez es bajo (13%), con una muy baja fertilidad aparente (CICE de 5 < 9,41) como su principal limitante. Este sitio claramente debió haber sido complementado con un encalado (enmienda) al inicio y una fertilización general completa al menos una vez al año.



Cuadro 4. Resultados de los análisis químicos de suelo del sitio del experimento de espaciamientos en árboles de Navidad, San Cristóbal Norte, Desamparados

pH		cmol (+) L ⁻¹			%			mg L ⁻¹			
H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
5,00	1,26	6,02	1,28	0,85	9,41	13,00	10,00	4,60	8,00	195,00	85,00

Notas: Los valores debajo de cada elemento corresponden a los niveles críticos generales para la solución extractora (KCl-Olsen Modificado) usada.

CICE: Capacidad de intercambio de cationes efectiva-acidez-Ca-Mg-K

SA: Porcentaje de saturación de acidez = (ACIDEZ/CICE)*100

Se encontró una fuerte relación alométrica entre el diámetro de la base, la altura total y la circunferencia máxima del árbol tipo o ideal. La correlación entre estas mismas variables fue siempre positiva y significativa, con valores que superaron el $r = 0,81$ (**Cuadro 5**).

Cuadro 5. Correlaciones entre las variables altura total, diámetro en la base y circunferencia máxima en árboles de Navidad tipo o considerados como ideales para el mercado, según criterio de sujetos productores experimentados

Correlaciones	Altura	Diámetro basal
Diámetro basal	0,84	1,00
Circunferencia máxima	0,81	0,88

La fuerte correlación entre la circunferencia máxima con el diámetro basal y la altura total es de utilidad práctica. Ya que podría ser de utilidad en la orientación de la intensidad de poda a aplicar para lograr una adecuada relación visual en la forma del árbol. La circunferencia mayor del árbol de Navidad guarda una relación visual importante, agradable y decisiva en los individuos compradores. Por tanto, el sector productor podrá buscar una relación apropiada entre la circunferencia y la altura total con base en el cociente como posible criterio de control de calidad, como se muestra en el **cuadro 6**.



Cuadro 6. Relaciones alométricas (cocientes) entre variables de los árboles de Navidad.

árbol	h (m)	d (cm)	C (m)	C expresado en diámetro	h/d	h/C	d/C	C/d	C/h	d/h	C vs. d	C vs. h
1	1,85	6,30	3,12	0,99	0,29	0,59	2,02	0,50	1,69	3,41	0,16	0,54
2	2,45	8,80	3,64	1,16	0,28	0,67	2,42	0,41	1,49	3,59	0,13	0,47
3	1,85	7,00	3,50	1,11	0,26	0,53	2,00	0,50	1,89	3,78	0,16	0,60
4	2,60	10,90	4,55	1,45	0,24	0,57	2,40	0,42	1,75	4,19	0,13	0,56
5	1,73	5,90	2,60	0,83	0,29	0,67	2,27	0,44	1,50	3,41	0,14	0,48
6	2,33	7,60	3,60	1,15	0,31	0,65	2,11	0,47	1,55	3,26	0,15	0,49
7	2,65	8,50	3,80	1,21	0,31	0,70	2,24	0,45	1,43	3,21	0,14	0,46
8	2,10	7,90	3,35	1,07	0,27	0,63	2,36	0,42	1,60	3,76	0,13	0,51
9	2,05	7,20	2,85	0,91	0,28	0,72	2,53	0,40	1,39	3,51	0,13	0,44
10	2,30	9,50	3,60	1,15	0,24	0,64	2,64	0,38	1,57	4,13	0,12	0,50
Promedio	2,19	7,96	3,46	1,10	0,28	0,64	2,30	0,44	1,58	3,63	0,14	0,50

Notas: C = circunferencia máxima del árbol; h = altura total del árbol; d = diámetro en la base del árbol.

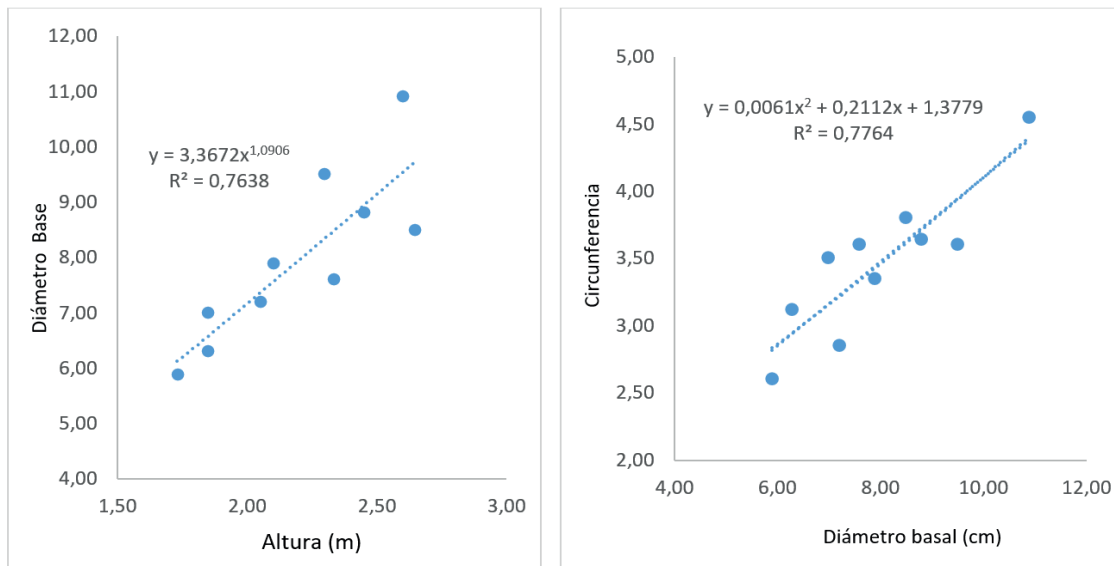


Figura 2. Funciones de predicción de la altura total (izquierda) y de la circunferencia máxima (derecha) a partir del diámetro en la base en árboles de Navidad.



Como puede apreciarse en la **figura 2**, ambas funciones de predicción tuvieron un aceptable ajuste ($R^2 > 0,76$) en ambos casos, en concordancia con la fuerte correlación entre estas variables (Cuadro 5). Es decir, los modelos logran explicar más de un 76% de la variación observada. A pesar de ser modelos preliminares, por su reducida base de datos, muestran claramente el potencial de predicción, tanto de la altura total como de la circunferencia máxima, a partir del diámetro basal.

4. Discusión

Del análisis de suelos puede observarse que el sitio no presenta una acidez severa (pH inferior o igual a 5 y un porcentaje de saturación de aluminio bajo o de 13%), tal y como lo orienta el mismo reporte (línea inferior con valores críticos). Los valores de bases intercambiables y de la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) sí están ligeramente bajos, lo que ameritaba la aplicación de una fertilización completa, tal y como se realizó al momento de la siembra del ensayo. Todos los elementos menores reportados, claramente, registran valores inferiores a lo deseado.

Los cocientes entre las tres variables muestran valores interesantes. Puede observarse primero que la circunferencia de copa promedio de un árbol de Navidad en esta empresa tiene aproximadamente 3,5 m, o también, 1,11 m de diámetro. La altura total promedio de los árboles más vendidos en esta empresa oscila alrededor de los 2,2 m (desde 1,73 hasta 2,65 m), con un diámetro basal promedio de 8 cm. En investigaciones con árboles de Navidad de ciprés en Venezuela (Petit-Aldana et al., 2010), se reporta un diámetro basal de 7,8 cm (a una tasa de 3,8 cm/año) a los 20 meses de edad, que es prácticamente el mismo al valor registrado en este estudio a los 24 meses. El otro resultado interesante es la relación entre la altura total y la circunferencia (h/circunferencia), que es de aproximadamente 0,64, cercano a 0,67 (Cuadro 6). Es decir, 2/3 de la altura total. Si la circunferencia se expresa en términos del diámetro, la relación con la altura total es de 0,5 o la mitad de la altura (h/diámetro de la circunferencia), que podría ser un criterio de utilidad práctica como criterio de control de calidad en campo. Si se expresa esta misma información en forma de ecuación (Figura 2), puede entonces establecerse la circunferencia máxima ideal del árbol de Navidad, en función de su diámetro basal, o también, la altura total en relación con su diámetro basal. Debe recordarse que estas relaciones alométricas se obtuvieron de un conjunto de árboles tipo o de máxima aceptación por la clientela, señalado así por varios sujetos productores experimentados. De forma tal que la intensidad de la poda fue aplicada, de acuerdo con su criterio experto, hasta alcanzar la alometría deseada. La relevancia de esta investigación está en convertir este conocimiento empírico, en un criterio con sustento técnico traducido a un criterio replicable, de forma que permita orientar en la conformación del árbol ideal que acepte el mercado.

La realización de las podas, claramente va a causar distorsiones en las relaciones alométricas de los árboles. El ente productor busca siempre alcanzar una cierta proporcionalidad mediante la poda de formación de los árboles. Esta poda se realiza en función de lograr la asimetría en el árbol que el mercado solicita. Esto implica que la alometría ideal del árbol de Navidad es lograda por la experiencia del productor o productora, mediante la poda de formación, a su criterio e intuición de lo que el mercado le solicita. Por esta razón, como método, se les consultó a varios productores experimentados que indicaran, cuál era el árbol ideal de acuerdo con la



clientela. El estudio de alometría se realizó, por tanto, solamente con los árboles señalados por los productores experimentados como ideales en forma. La relación alométrica en árboles de Navidad produce información de suma utilidad para su manejo. En particular como control de calidad potencial, que podrá orientar la forma que debe lograrse con la poda en el árbol ideal, para que tenga mayor aceptación de mercado.

Como puede observarse del **cuadro 3**, entre los cuatro espaciamientos evaluados se obtuvo una diferencia altamente significativa ($p > 0,999$). Entre los bloques hubo también diferencias significativas producto de un gradiente de pendiente presente en el terreno, que, gracias a la correcta disposición de los bloques en el terreno, se logró disminuir el efecto de la variación del sitio en los tratamientos. Aun así, la interacción bloque xEspaciamiento fue también altamente significativa, lo que implica que el mejor espaciamiento fue diferente en alguno de los bloques. Precisamente, este resultado se muestra claramente en el **cuadro 2**, donde el espaciamiento 1,25 x 1,25 m fue el mejor en el bloque 3. Se puede apreciar también un gradiente de mayor a menor crecimiento desde el bloque 1 al bloque 3, que es fiel a la variación observada en el terreno. Es decir, la asignación de los bloques fue positiva y ayudó a controlar el fuerte gradiente ambiental en su efecto en los tratamientos.

Del análisis de los datos, se determinó que entre los dos espaciamientos de 1,5 x 1,5 m, hubo diferencias significativas tanto con el espaciamiento de 1,25 x 1,25 m, como con el de 1,8 x 1,8 m. Pero entre estos dos últimos espaciamientos no hubo diferencias entre sí. La distribución espacial en tresbolillo produce un ligero beneficio en el crecimiento de los árboles, tal y como se espera. El tresbolillo o pata de gallo aumenta ligeramente la distancia entre copas y permite que cada individuo tenga más espacio de crecimiento, tal y como se registró en el experimento (**Cuadro 2**).

La aplicación de la poda evidentemente pudo distorsionar la alometría de los árboles. Sin embargo, el objetivo del estudio fue determinar si era posible plantar a mayor densidad. Esto implica que el sujeto productor aplicó su mejor técnica de poda a todo el ensayo, sin distinción del espaciamiento. Es decir, con su experiencia, aplicó las podas a cada árbol a su mejor criterio para lograr alcanzar la forma (alometría) deseada por el mercado. Los resultados finales logran el objetivo deseado, que es determinar si es posible producir más árboles de Navidad en la misma área.

Puede observarse, a partir de este ensayo, que con base en el criterio de mayor crecimiento diamétrico, el mejor espaciamiento para la producción de árboles de Navidad fue el de 1,5 x 1,5 m en distribución tresbolillo, con un potencial de plantar 4 444 árboles/ha. Sin embargo, a pesar de que se obtuvieron diferencias significativas en el crecimiento del diámetro basal, entre el mejor espaciamiento en crecimiento (1,5 x 1,5 m) y el de mayor densidad (1,25 x 1,25 m), hubo en realidad una diferencia de aproximadamente 4 mm en diámetro a los 28 meses (**Cuadro 2**). Esta diferencia en magnitud es de tan solo un 7%. Esto significa que, a pesar de que, en efecto, se afecta el crecimiento en diámetro ligeramente al plantarse más denso, es posible plantar a un distanciamiento de 1,25 x 1,25 m en distribución tresbolillo y lograr así aumentar en casi 2 000 árboles/ha la capacidad de producción de árboles de Navidad, si se compara con el espaciamiento de 1,5 x 1,5 m, que es el más utilizado hoy. Si se revisan los resultados obtenidos del análisis de la alometría de los árboles de Navidad, se determina que la circunferencia máxima de un árbol maduro es de 1,1 m (**Cuadro 6**). Por tanto, 1,25 m es un espacio suficiente para evitar el roce entre árboles, en particular si se planta con distribución tresbolillo, donde la distancia entre árboles en uno de los dos ejes aumentará.



Con un incremento tan significativo en el número de árboles/ha, en detrimento leve del crecimiento en el diámetro basal, se lograría un mejor uso de los terrenos y, sin duda, un alto impacto en la producción de esta actividad. Sin embargo, es conveniente en futuros trabajos, abordar temas como la incidencia de los problemas de hongos en el follaje, producto de un espaciamiento más estrecho. Así, también, si una mayor densidad afecta la calidad del árbol como causa del tránsito del productor o de facilidad para aplicar la poda sin afectar los árboles vecinos. Claramente, estos resultados sugieren continuar investigando con otros espaciamientos y distribuciones espaciales.

5. Conclusiones

Se concluye que el espaciamiento de 1,25 x 1,25 m en distribución tresbolillo es apropiado y de mayor productividad para el cultivo de árboles de Navidad. El espaciamiento de 1,5 x 1,5 m es el que mejor crecimiento del diámetro basal produce. Las relaciones alométricas ideales de los árboles de Navidad, basadas en las preferencias de consumo, guardan una relación de 0,67 o 2/3 entre la altura total y la circunferencia (h/circunferencia). Esta misma relación h/diámetro de circunferencia corresponde a un valor de 0,5, si se expresa la circunferencia en diámetro. Las relaciones alométricas pueden ser utilizadas como base para el control de calidad y de guía en la formación del árbol de Navidad.

6. Recomendaciones

Del estudio se determinó la necesidad de continuar investigando otros distanciamientos en la región de 1,25 a 1,5 m, así como otras posibles distribuciones espaciales, como la doble hilera en distribución tresbolillo. Con respecto a las relaciones alométricas, se recomienda aumentar la muestra en árboles de distintas fincas, con el fin de incluir árboles con otras proporciones de circunferencia/altura, según lo defina la aceptación de mercado.

7. Agradecimientos

Un agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el apoyo financiero. Así también un agradecimiento muy especial a don Didier Monge, por todo su apoyo y permiso para establecer ensayos en su propiedad en San Cristóbal Norte, Desamparados. Un agradecimiento muy especial al Comité de Árboles de Navidad de Llano Bonito de Naranjo, en particular a don Alberto Camacho, productor líder de esta zona. Finalmente, agradecemos a la Revista y las personas revisoras por sus oportunas observaciones.

8. Referencias

Alvarado, M. (2011). *Efecto del espaciamiento y descope en el crecimiento y calidad de plantaciones de Tectona grandis en la zona sur de Costa Rica* (Tesis de licenciatura inédita). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.



- Alvarado, M. (2011). *Efecto del espaciamiento y descope en el crecimiento y calidad de plantaciones de Tectona grandis en la zona sur de Costa Rica* (Tesis inédita de licenciatura). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Álvarez, J., Colinas, T., Sahagún, J., Peña, A. y Rodríguez, J. (2009). Tratamientos de poscosecha en árboles de navidad de *Pinus ayacahuite Ehren* y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Rev. Cien. For.*, 34(106), 171-190.
- Bucarey, J. (1967). *El ciprés (Cupressus lusitanica) como base de las reforestaciones planificadas en el Valle Central de Costa Rica* (Tesis inédita de maestría). Instituto Interamericano de Coordinación para la Agricultura (IICA). Turrialba, Costa Rica.
- Chapa B. (1976). Principales técnicas de cultivo para árboles de navidad. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. *Boletín Divulgativo N. 41*. Distrito Federal, México.
- Espinosa, M. (2006). *Evaluación del crecimiento de tres especies de árboles de navidad y análisis de sus costos de producción* (Tesis inédita de maestría). Instituto de Ciencias Agropecuarias, Área Académica de Ingeniería Forestal. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.
- Jiménez, G., Rodríguez, R. y Pérez, M. (2009). El mercado potencial de árboles de navidad naturales. *Naturaleza y Desarrollo* 7(2), 23-32.
- Magaña, G. E. (1996). *Evolución del mercado de los árboles de navidad en el periodo 1980-1995*. (Tesis de Licenciatura). Chapingo, México.
- Orozco, N., Orozco, A. y Patiño, E. (2009). Experiencias y manual para la producción de árboles de navidad en el Estado de Jalisco, México. Guadalajara, Jalisco, México: FIPRODEFO.
- Petit-Aldana, J., Uribe-Valle, G. y Muchacho-Briceño, R. (2010). Comportamiento del ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en la producción de árboles de navidad bajo condiciones de clima alto andino, Venezuela. *Rev. Chapingo* 16 (1). Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.
- Rojas, F. y Torres, G. (1989). Árboles de Navidad: Establecimiento y manejo. *Serie Informativa Tecnología Apropriada N° 19*. Centro de Información Tecnológica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Steel, R. G. D. y Torrie, J. H. (1988). *Bioestadística: Principios y procedimientos*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Torres, G. y Carvajal, D. (2012). *Árboles de Navidad: Estado de la reforestación en Costa Rica* (Informe final de actividad de fortalecimiento a la investigación). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.