

Informe Final

**“Mejoramiento del sistema de producción de árboles de navidad
en Costa Rica”**

Código del proyecto 5401-1401-1026

1

Investigadores:

Ing. Gustavo Torres, M.Sc. (investigador responsable)

Dr. Olman Murillo

Ing. Dorian Carvajal

Ing. Yorleny Badilla, M.Sc.

Fecha de inicio: Enero 2013

Fecha de finalización: Diciembre 2015

Junio, 2016

Tabla de Contenido

3.	Código y Título del proyecto	7
4.	Autores y direcciones	7
5.	Resumen.....	7
6.	Palabras clave	8
7.	Introducción	8
8.	Marco Teórico	9
9.	Metodología	11
10.	Resultados	28
11.	Discusión y conclusiones.....	53
12.	Recomendaciones	61
13.	Agradecimientos	62
14.	Referencias	62
15.	Apéndices (opcional)	64

Tabla de Figuras

Figura 1. Ubicación de plantaciones de árboles de navidad en Costa Rica.	10
Figura 2. Distribución espacial del ensayo de espaciamientos de árboles de navidad.....	13
Figura 3. Establecimiento del ensayo de espaciamientos de árboles de navidad, San Cristóbal Norte, Desamparados	13
Figura 4. Ensayo de fertilización en árboles de navidad establecido en el vivero forestal a los dos años de edad. ITCR, Cartago.	15
Figura 5: Establecimiento del ensayo de procedencias de ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i>) en Llano Bonito, Distrito Cirrí, del cantón de Naranjo, para la producción de árboles de navidad.	21
Figura 6: Localización del ensayo de procedencias de ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i>) establecido en Llano Bonito, distrito Cirrí del cantón de Naranjo.	22
Figura 7: Ensayo de enraizamiento de estaquillas de ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i>) bajo 3 dosis de ALB, en ambiente de minitúnel dentro de ambiente protegido (invernadero).	24
Figura 8: Muestra del tipo de injerto de cuña practicado en el programa de mejoramiento genético de árboles de navidad de ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i>) en Costa Rica.	25
Figura 9: Primera actividad con productores de árboles de navidad en Llano Bonito de Naranjo. .	26
Figura 10: 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.	34
Figura 11: Árboles de navidad en un período aproximada de un año de edad. San Cristóbal Sur, Desamparados.....	40
Figura 12: Árboles de navidad en un período aproximada a los 1,5 años de edad. ITCR, Cartago...	40
Figura 13: Muestra de los variantes de árboles de navidad en relación con su TIPO de hoja.....	42
Figura 14: Evaluación del ensayo de procedencias de ciprés de árboles de navidad en Llano Bonito, distrito Cirrí, del cantón de Naranjo.....	44
Figura 15: Productores comercializando árboles de navidad durante la primera Feria Nacional del Árbol de Navidad, Llano Bonito de Naranjo, diciembre 2014.....	47
Figura 16: Participantes del curso sobre mercadeo de árboles de navidad, desarrollado en Llano Bonito de Naranjo, 2015	48
Figura 17: Venta de árboles de navidad en la segunda Feria Nacional del Árbol de Navidad, Llano Bonito de Naranjo, diciembre 2015.	49
Figura 18: Principales criterios que utilizan los consumidores al elegir un árbol de navidad natural.	50
Figura 19: Criterios generales de elección de un árbol de navidad por parte de los consumidores.	50
Figura 20: Altura preferida por los consumidores de árboles de navidad.....	51
Figura 21: Preferencia en los consumidores entre un árbol de navidad natural o artificial.....	51
Figura 22: Curso a productores sobre costos de producción de árboles de navidad. ITCR, Cartago. 2016.....	52

Figura 23. Detalle de un árbol joven (menos de 2 años de edad) de ciprés (*Cupressus lusitánica*) con flores y frutos. 59

Figura 24: Esquema de la estrategia de mejoramiento genético de árboles de navidad de ciprés en Costa Rica 60

Tabla de cuadros

Cuadro 1: Diseño del ensayo de espaciamientos para la producción de árboles de navidad.....	12
Cuadro 2: Distribución espacial del ensayo de fertilización en una plantación de árboles de navidad. Vivero forestal del ITCR en Cartago.....	14
Cuadro 3: Programación de la dosificación del ensayo de fertilización en árboles de navidad establecido en el vivero forestal del ITCR en Cartago.....	15
Cuadro 4: Muestra de la base de datos de costos de mantenimiento y manejo de un proyecto de reforestación en Costa Rica (año 1), basado en un paquete tecnológico donde se aplican las mejores prácticas silviculturales (Murillo et al, 2015).	17
Cuadro 5: Descripción de origen de las tres fuentes semilleras de ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i>) introducidas para el programa de mejoramiento genético de árboles de navidad.	20
Cuadro 6: Resultados en crecimiento del diámetro basal (mm) a los 28 meses, según espaciamiento inicial en árboles de navidad (San Cristóbal Norte, Desamparados).....	28
Cuadro 7: 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).	29
Cuadro 9: Efecto de la aplicación de la fertilización en el crecimiento del diámetro basal (mm) en árboles de navidad (Cartago, Costa Rica).....	30
Cuadro 10: Análisis de suelos del terreno en el vivero forestal del ITCR donde se estableció la plantación de árboles de navidad.	31
Cuadro 11: Análisis de varianza para el ensayo de fertilización en árboles de navidad establecido en el vivero forestal, campus del ITCR en Cartago.....	32
Cuadro 12: Correlaciones entre las variables altura total, diámetro en la base y circunferencia máxima en árboles de navidad tipo o ideales para el mercado.	32
Cuadro 13: Relaciones alométricas (cocientes) entre variables de los árboles de navidad.	33
Cuadro 14: Detalle de cantidad de Mano de Obra, costos de insumos y costo de mano de obra para la producción de 4444 árboles de navidad (plantados a 1,5 x 1,5m) en una hectárea de terreno, detallados desde el año 0 hasta el año 3 (US \$ = ₡540, mayo 2016).	35
Cuadro 15: Resumen de costos y demanda de mano de obra para la producción de 4444 árboles de navidad (plantados a 1,5 x 1,5m) en una hectárea de terreno.....	39
Cuadro 16: Costo de producción por árbol de navidad (unidad) en un modelo basado en una hectárea, con 4444 unidades y desarrollados en un ciclo de 3 años (US \$ = ₡540, mayo 2016).	39
Cuadro 17: Mortalidad por procedencia en un ensayo de <i>Cupressus lusitanica</i> (Ciprés) establecido en Llano Bonito, Distrito Cirrú, cantón de Naranjo.	42
Cuadro 18: Mortalidad por bloque y procedencia en un ensayo de <i>Cupressus lusitanica</i> (Ciprés) establecido en Llano Bonito, distrito Cirrú, cantón de Naranjo.....	43
Cuadro 19: Porcentaje de árboles sanos y árboles doblados por procedencia en un ensayo de <i>Cupressus lusitanica</i> (Ciprés) establecido en Llano Bonito ubicado en el distrito de Cirrú en el cantón de Naranjo.....	43

Cuadro 20: Porcentaje de árboles sanos y árboles enfermos por *Cercospora* por procedencia en un ensayo de *Cupressus lusitanica* (ciprés) establecido en Llano Bonito ubicado en el distrito de Cirrí en el cantón de Naranjo. 44

Cuadro 21: Porcentaje de árboles sanos y árboles con enfermedad aparente por procedencia en un ensayo de *Cupressus lusitanica* (Ciprés) establecido en Llano Bonito ubicado en el distrito de Cirrí en el cantón de Naranjo. 45

3. Código y Título del proyecto

Código del Proyecto 5401-1401-1026

Título del Proyecto Mejoramiento del sistema de producción de árboles de navidad en Costa Rica

4. Autores y direcciones

Nombre	Grado	email
Gustavo Torres Córdoba (coord.)	M.Sc.	gtorres@itcr.ac.cr
Olman Murillo Gamboa	P.hD.	olmuga@yahoo.es
Yorleny Badilla Valverde	M.Sc.	yorlenybadilla@yahoo.es
Dorian Carvajal Vanegas	Lic.	dcarvajal@itcr.ac.cr

5. Resumen

El cultivo del ciprés (*Cupressus lusitanica*) como árbol de navidad en Costa Rica data de aproximadamente 40 años y produce hoy aproximadamente 500 mil árboles/año en pequeños productores que mantienen limitaciones técnicas importantes. El objetivo general consistió en desarrollar actividades silviculturales para su mejoramiento. Se evaluaron cuatro espaciamientos, el efecto de fertilización, la demanda de nutrimentos durante 18 meses, todas actividades concatenadas para buscar producir un árbol de navidad en 1,5 años. El mejor espaciamiento fue 1,5 x 1,5m, sin embargo, a 1,25 x 1,25m se aumenta en 2000 plantas/ha. La fertilización completa y el encalado lograron un efecto significativo en crecimiento. Se inició un programa de mejoramiento genético, que buscó individuos de mayor crecimiento y tolerancia a enfermedades del follaje. Se identificaron 6 Tipos o potenciales variedades, diferenciados por el color del follaje (verde-amarillo y verde-azulado), fragancia (limón y ciprés tradicional) y tipo de follaje (liso, crespo y aplanchado). No se logró aún obtener estaquillas enraizadas en ambiente controlado, ni tampoco el prendimiento de injertos. La precocidad de la especie permitirá trabajar en polinización controlada. Como parte del proyecto se logró organizar una comunidad de productores de Llano Bonito de Naranjo, con quienes se realizaron dos ferias nacionales de árboles de navidad y se capacitaron en mercadeo. Se propone la continuidad del mejoramiento genético basado en el desarrollo de variedades, así como en aspectos silviculturales que permitan producir árboles en un periodo menor de tiempo, mayor calidad de forma, densidad de follaje y mayor sanidad.

6. Palabras clave

Árboles de navidad, silvicultura, mejoramiento genético, enfermedades, *Cupressus lusitanica*

7. Introducción

El cultivo de árboles de navidad data de hace aproximadamente 40 años en Costa Rica. Ésta modalidad de reforestación tiene la particularidad de que los árboles reciben un especial cuidado desde el momento de su plantación hasta la cosecha, haciéndola de carácter intensivo. Ha sido ejercida por parte del productor costarricense con procedimientos empíricos siguiendo una lógica similar a los cultivos tradicionales a los que está acostumbrado a producir, y no basado en buenas prácticas culturales. El productor o comerciante (generalmente el mismo dentro del esquema) deja sus labores formales – generalmente de agricultura o ganadería- para dedicarse casi de lleno a la cosecha y venta del producto durante la época navideña.

Se ha logrado determinar recientemente, por medio del estudio de Torres y Carvajal (2012) que esta es una actividad en desarrollo, con factibilidad financiera inclusive a pequeña escala, por permitir la utilización de terrenos agrícolas y urbanos desocupados temporalmente y por la posibilidad de lograr un mejor producto final mediante innovaciones tecnológicas locales. La misma tiene un potencial cercano a un sistema de silvicultura intensiva, cuando se superan aspectos en la línea de asistencia técnica tendientes a garantizar un mejor manejo forestal. La experiencia del productor, la existencia de un paquete tecnológico y una tradición por parte del usuario son oportunidades que favorecen lo anterior. Si la industria de árboles de navidad se organizara debidamente en el país, traería como resultado importantes beneficios económicos, ambientales y sociales; y se evitaría la salida de divisas por conceptos de importación de árboles artificiales, como ocurre actualmente. Además los altos índices de problemas sanitarios en el ciprés son un llamado de atención a la búsqueda de su solución, motivo por el cual se deben intensificar prácticas preventivas y propiciar el uso de nuevas procedencias genéticamente superiores y con alto nivel de resistencia.

El presente proyecto de investigación ha pretendido como objetivo general fortalecer el sistema de producción de árboles de navidad en Costa Rica por medio de una mejora de su paquete silvicultural de producción, incluyendo aspectos importantes para el mejoramiento genético y gestionando un modelo organizacional de árboles de navidad en el país.

8. Marco Teórico

La incorporación de componentes vegetales en los hogares es un fiel reflejo de la necesidad misma del género humano de interactuar con la naturaleza.

Los árboles de navidad constituyen un ejemplo de esta relación, que paulatinamente y desde épocas medievales ha complementado el ambiente hogareño en una época de gran armonía en la mayoría de los países del mundo, como es la navidad.

Esta costumbre tuvo su origen en el Oeste de Alemania, cerca del año de 1500 D. C., generalizándose su uso en Europa. Posteriormente en el año 1804, fue adoptada en Norteamérica y años más tarde la tradición se popularizó en los Estados Unidos (Chapa, 1976), ya para 1950, era popular dentro del territorio Mexicano (Magaña, 1996).

En Costa Rica el uso de ramas de ciprés (*Cupressus lusitanica*) para decoración en los hogares en la época navideña, antecede a su reforestación especial como árbol de navidad la cual se inició a principios de la década de los años 80s. Esta actividad ha permanecido como una industria discreta, no obstante, una serie de circunstancias de índole socioeconómicas, culturales y legales, la convierten en una actividad silvicultural de carácter intensivo.

La producción de árboles de navidad plantados, ha llegado a ser hoy día en muchos países, una industria forestal generadora de gran cantidad de empleos y divisas. En la actualidad costarricense esta es una actividad con factibilidad financiera aún en pequeña escala.

El cultivo de árboles de navidad practicada en Costa Rica probablemente es único en su estilo en América Tropical, esto porque se ha basado en el uso exclusivo del ciprés en una relación de oferta y demanda positiva y nada despreciable para el productor.

Esta modalidad de reforestación tiene la particularidad de que los árboles reciben un especial cuidado desde el momento de su plantación hasta la cosecha, haciéndola de carácter intensivo. Ha sido ejercida por parte del productor costarricense con procedimientos empíricos siguiendo una lógica similar a los cultivos tradicionales a los que está acostumbrado a producir, y no basado en buenas prácticas culturales. El productor o comerciante (generalmente el mismo dentro del esquema) deja sus labores formales para dedicarse casi de lleno a la cosecha y venta del producto durante la época navideña.

Se sabe que algunos pocos productores han utilizado información escrita como el Manual Técnico: Árboles de navidad: Establecimiento y manejo, disponible como serie informativa de Tecnología Apropriada del ITCR (Rojas y Torres, 1989). Una menor cantidad de estos han efectuado una capacitación práctica a través

del curso libre: Producción a árboles de navidad impartido por la Escuela de Ingeniería Forestal de esta misma institución en el período de los años 90.

El sector forestal no ha contado con documentación real y precisa de la ubicación geográfica de estas plantaciones forestales, así como de las técnicas o prácticas utilizadas por los productores en su reforestación, y tampoco sobre aspectos relacionados a su mercadeo y comercialización.

Ante este faltante la Escuela de Ingeniería Forestal generó para el año 2011, una iniciativa de fortalecimiento a la investigación denominada Árboles de navidad: Estado de la reforestación en Costa Rica (Torres y Carvajal, 2012). Este trabajo tuvo como objetivo principal valorar el estado de la reforestación de árboles de navidad en Costa Rica.

De acuerdo al estudio de Torres y Carvajal (2012), se encontró, a nivel de territorio nacional un total de 145 proyectos de árboles de navidad, ubicados respectivamente por densidad en las provincias en San José, Alajuela, Heredia y Cartago respectivamente.

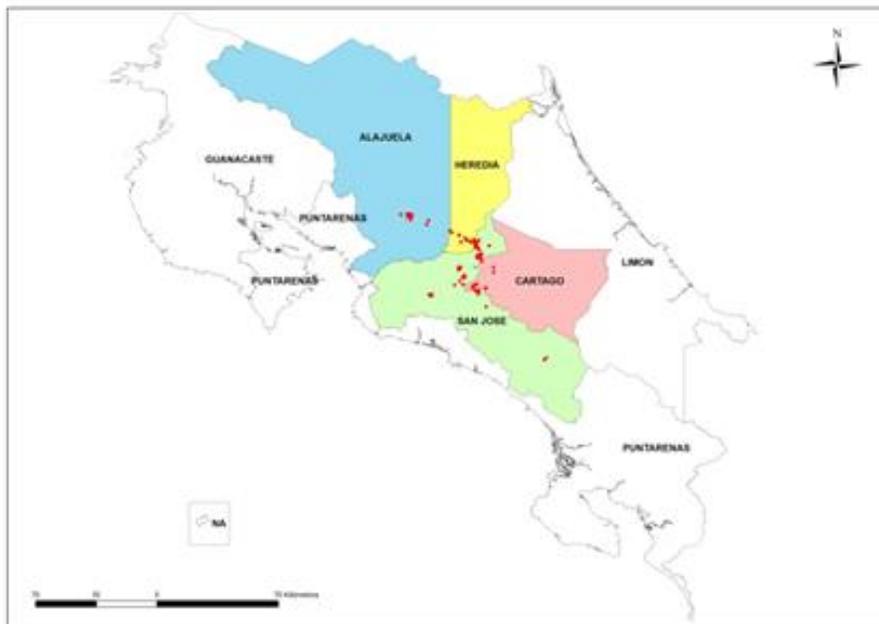


Figura 1. Ubicación de plantaciones de árboles de navidad en Costa Rica.

Se encontró también que esta actividad es en un 100% de carácter extra o adicional respecto a su verdadera actividad económica. En un 100% el productor(a) nunca ha recibido capacitación técnica ni comercial; todo lo ha hecho de manera empírica.

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, los productores no han 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. Se puede mencionar en relación con los problemas fitosanitarios, que se ha registrado la presencia de herrumbres y pérdida de follaje causados por hongos de los géneros *Pestalotia* sp, *Cercospora* sp y *Seiridium* sp (Arguedas y Chaverri, 1993). Finalmente, en cuanto al impacto de la actividad, para el año 2011 los productores censados en estudio de Torres y Carvajal, determinaron que se generarían hasta 1740 empleos durante la época comercial navideña.

9. Metodología

Para efectos de una mejor presentación y análisis de cumplimiento de objetivos, metas y productos, se presenta a continuación la información desglosada para cada uno de los objetivos específicos.

9.1 Objetivo Específico 1: Mejorar el paquete silvicultural de producción de árboles de navidad.

Como parte de este objetivo se propuso el desarrollo de las siguientes actividades:

1. Investigar el efecto de espaciamientos en el crecimiento y desarrollo.
2. Evaluar el efecto de un régimen de fertilización.
3. Determinar la concentración de nutrimentos o demanda nutricional de las plantas.
4. Determinar el costo de producción de árboles de navidad, desarrollar un modelo de costos.
5. Estudiar aspectos de la poda y conformación de la forma del árbol ideal para el mercado.
6. Analizar posibilidades de producción de árboles en un periodo de tiempo menor.

Estudio 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. 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 ITCR en Cartago. El ensayo se estableció en junio del 2013 y evaluó cuatro tratamientos bajo un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. La Unidad Experimental fue una parcela de 32 árboles (4 x 8). 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. Por tanto, todos los 32 árboles formaron parte de la parcela útil. En el cuadro 1 se muestra detalles del ensayo de espaciamientos.

Cuadro 1. Diseño del ensayo de espaciamientos para la producción de árboles de navidad.

Espaciamiento (m)	No. árboles/ha	Área de la parcela (m²) 4 x 8 árboles
1,8 x 1,8	3085	7,2 x 14,4 m = 100m ²
1,25 x 1,25 (tresbolillo sin modificar espaciamiento)	6400	5 x 10 m = 50m ²
1,5 x 1,5 (tresbolillo sin modificar espaciamiento)	4444	6 x 12 m = 72m ²
1,5 x 1,5	4444	6 x 12 m = 72m ²
Área máxima por bloque = 7,2 x 48,4m = 350 m²		
Área máxima del ensayo = 21,6 x 48,4m = 1050 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:

$$Y = B_i + T_j + B \times T + e$$

Donde,

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)*(T-1) G.L.

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

Como variables de respuesta del ensayo se midió únicamente el diámetro basal (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 2 se muestra la distribución espacial del ensayo de espaciamientos.

	1,8 x 18,8 m	1,5 x 1,5 m	1,5 x 1,5 m tresbolillo	1,25 x 1,25 m tresbolillo	
Bloque I	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	21,6 m
	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
Bloque II	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
Bloque III	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	X X X X X X X X X	
	48,4 m				

Figura 2. Distribución espacial del ensayo de espaciamientos de árboles de navidad.

Los datos fueron organizados en una hoja en 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 suelos y se les realizó un análisis químico completo en los laboratorios de suelos del Centro de Inv. Agronómicas (Univ. de CR).



Figura 3. Establecimiento del ensayo de espaciamientos de árboles de navidad, San Cristóbal Norte, Desamparados

Ensayo de fertilización

Como parte de las investigaciones sobre cómo mejorar el paquete tecnológico, se estableció un ensayo de fertilización en una pequeña plantación de árboles de navidad, en terrenos del vivero forestal del ITCR. El ensayo se estableció en octubre del 2013 y evaluó cuatro tratamientos bajo un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. Este tipo de ensayos requiere establecer una hilera de árboles alrededor de la Unidad Experimental (definida en 6 árboles) con el fin de reducir el posible efecto del tratamiento vecino, como puede apreciarse en el cuadro 2. El modelo estadístico es exactamente igual al descrito anteriormente para el ensayo de espaciamientos.

En un terreno de aproximadamente 700 m² se preparó el suelo con el paso de un arado (30 cm de profundidad) y se aplicó cal al voleo en una concentración de aproximadamente 2 Ton/ha, procurando que se esparciera de manera uniforme por toda el área. A pesar de que el suelo contenía baja saturación por aluminio y un pH superior a 5,5, se consideró la aplicación de la cal como elemento de enmienda leve para mejorar ligeramente el pH, así como aporte de calcio. Los árboles se plantaron con el paquete tecnológico usual, es decir, a un espaciamiento de 1,5 x 1,5m (N = 4444). Las plantas fueron producidas en bolsa plástica en el vivero forestal del ITCR en Cartago, utilizando semilla no seleccionada.

Cuadro 2: Distribución espacial del ensayo de fertilización en una plantación de árboles de navidad. Vivero forestal del ITCR en Cartago.

Repetición/ Tratamiento	Testigo	Fertilizante (10-30-10)	Abono Orgánico	Fertilizante + Abono Orgánico
I	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
II	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
III	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X
	X X X X X	X X X X X	X X X X X	X X X X X

x: Árboles efectivos, parcela efectiva de 6 plantas por repetición, tamaño del bloque 180 m² (30m*6m), área total del ensayo 540 m² (30*18m).

Como parte de la investigación se tomaron muestras de suelos y se les realizó un análisis químico completo en los laboratorios de suelos del Centro de Inv. Agronómicas (Univ. de CR).

Cuadro 3: Programación de la dosificación del ensayo de fertilización en árboles de navidad establecido en el vivero forestal del ITCR en Cartago.

DOSIFICACIÓN	PERÍODO DE APLICACIÓN (MES)
Corrección de acidez del suelo con carbonato de calcio (2 Ton/ha)	1 mes antes del establecimiento
20 grs/árbol de abono 10-30-10 (octubre 2013)	En el establecimiento
40 grs/árbol	3
60 grs/árbol	6
60 grs/árbol	9
60 grs/árbol	12
60 grs/árbol	15



Figura 4. Ensayo de fertilización en árboles de navidad establecido en el vivero forestal a los dos años de edad. ITCR, Cartago.

Determinación de la dinámica nutricional en el sistema de árbol de navidad

La determinación nutricional se realizó en una plantación de árboles establecida en alta densidad para estos fines, que fue sembrada en el vivero forestal del campus del ITCR en Cartago. Se colectaron muestras destructivas cada 3 meses. Al inicio se colectó de un conjunto de 10 a 15 árboles plantados, de los cuales

se separó la muestra foliar de la de raíces (200 g en peso verde para obtener al menos 50 g en peso seco). Las muestras se pesaron en verde y se secaron hasta peso constante en laboratorio. De cada fracción de follaje y raíz se rotuló y se envió al Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, donde se determinó el contenido (consumo) de cada uno de los principales 13 nutrimentos.

Con la determinación del contenido de humedad de cada fracción, se calculó su biomasa seca a partir de la siguiente relación:

$$\text{Biomasa seca} = \text{Peso fresco} * (1 - \text{Contenido de Humedad} / 100)$$

La extracción total de nutrimentos de la muestra se estimó a partir de la multiplicación de la concentración de cada elemento por su peso seco (biomasa). Con base en la información se elaboró una curva del comportamiento de la demanda nutricional del árbol de navidad de ciprés durante los primeros 15 meses.

Determinación de proporciones alométricas del árbol de navidad ideal.

A pesar de que los 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 buenas características de un productor experimentado en San Cristóbal Norte de Desamparados, se seleccionaron 10 árboles de navidad ideales por su forma y relaciones visuales, definido 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. Con los datos 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.

Determinación del costo de producción de árboles de navidad

Se trabajó con una base de datos creada en EXCEL sobre costos de producción de reforestación en Costa Rica, desarrollada por el grupo de investigación en plantaciones forestales de la Escuela de Ing. Forestal del ITCR (Murillo et al, 2015, ver cuadro 4). La base de datos de costos de plantaciones se utilizó solamente en sus primeros tres años, que corresponde con un ciclo de producción de árboles de navidad.

Una vez establecida la base de datos, se procedió a su validación. Para esto se trabajó con dos productores experimentados de dos regiones diferentes (San Cristóbal Sur de Desamparados de San José y Llano Bonito de Naranjo de Alajuela). Mediante revisión detallada de cada actividad, se fue eliminando todas aquellas labores no presentes en la actividad de producción de árboles de navidad. Así también se agregaron actividades propias de la actividad señaladas por los productores, como poda de formación, fertilización foliar y venta de árboles. Esta última labor debió incorporarse al modelo y en una alta proporción al final de ciclo de producción (año 3). Esta actividad es crucial y exige una alta demanda de jornales.

Cuadro 4: Muestra de la base de datos de costos de mantenimiento y manejo de un proyecto de reforestación en Costa Rica (año 1), basado en un paquete tecnológico donde se aplican las mejores prácticas silviculturales (Murillo et al, 2015).

Año 1, Mantenimiento y manejo	Promedio Jornales/ha	Frecuencia	Porcentaje de la ha
Chapea con Motoguadaña (100% del área)	2,25	2	1,00
Combustibles y lubricantes motoguadaña	4375,00	2	1,00
Chapea Manual general del área (100% del área)	5,38	2	1,00
Chapea en la línea de plantación (33% del área)	2,33	1	0,33
Control químico de malezas (100% del área). 1 L. Glifosato > 3 meses	1,75	2	1,00
Herbicidas, adherentes y otros	14430,00	2	1,00
Repaso control químico de maelzs (15% del área)	1,75	1	0,15
Herbicidas, adherentes y otros	14430,00	1	0,15
Rodajea manual	3,00	2	1,00
Rodajea química >6 meses	1,58	2	1,00
Herbicidas, adherentes y otros	14430,00	2	1,00
Control químico de malezas (100% del área). 1 L. Glifosato > 3 meses	1,75	3	0,33
Herbicidas, adherentes y otros	14430,00	3	0,33
Deshija o eliminación brote basa (4-6 meses)	1,16	1	0,90
Poda de formación (3-6 meses, 100% árboles)	1,58	1	1,00
Primera poda (h=1,5 m, 100% árboles)	1,73	1	1,00
Amarre de árboles volcados por viento en teca	3,83	1	0,50
Fertilización (2 y 6 meses después de plantado). 50 g/planta = 40 k/ha	1,61	2	1,00
Fertilizante	15140,00	2	1,00
Eliminación de bejuco	0,98	3	1,00
Control de plagas (hormiga, joboto, otros)	0,51	3	1,00
Insecticida hormiga	3000,00	3	1,00
Rondas cortafuego (25 m/ha)	0,50	1	1,00
Otras labores no planificadas (5%)	2,00	1	1,00
Total Mano de Obra, gastos generales año 1	31,69		

Análisis de la posibilidad de producción de árboles de navidad en un periodo más corto de tiempo

Como una de las posibilidades de aumentar la productividad en esta actividad, se discutió sobre posibles modificaciones en el paquete tecnológico que permitieran reducir el ciclo de producción. En realidad, esta actividad corresponde con la sumatoria de los mejores resultados de todas las acciones anteriores con ligeros aspectos de mejora en el paquete tecnológico, como se discutirá.

Hoy día los productores de árboles de navidad requieren de aproximadamente 2,5 años para lograr obtener un árbol con las dimensiones y características requeridas por el mercado. La premisa de trabajo es intentar lograr producir los árboles en 1,5 años de edad.

En conversación con varios productores de mayor experiencia, llegamos a la conclusión (**como primer elemento a evaluar**) de que se podría experimentar establecer la plantación en el mes de junio, como es lo usual y, someterla a un régimen fuerte de fertilización. Con esto se logra su establecimiento y adaptación inicial en un periodo de aproximadamente 6 a 7 meses (junio a diciembre/enero), dado que en estas zonas altas (> 1500 msnm), el periodo lluvioso se extiende alrededor de un mes y se extiende el periodo lluvioso por lo general durante inicios del mes de enero. **Como un segundo elemento** se discutió sobre la posibilidad de aplicar un régimen de control de malezas adecuado (labor que en su mayoría si realizan), sumado a un mejor programa de fertilización granular y fertilización foliar (actividad débilmente incorporada). **Como tercer elemento** se discutió sobre la posibilidad de encontrar materiales genéticos que tuvieran una mayor tasa de crecimiento, de modo que logren alcanzar la talla ideal de mercado (aproximadamente 1,75m). Sin embargo, este elemento depende de los avances de un programa de mejoramiento genético, que se extienden más allá del horizonte de dos años de este proyecto. Se discutió con los productores que el crecimiento del árbol de navidad no es el único elemento, sino más bien, su capacidad de rebrote y de respuesta a la poda de formación, de manera que el árbol logre rápidamente conformar y aumentar su densidad de follaje. Tema que queda también relegado para una etapa posterior asociada al programa de mejoramiento genético.

De manera práctica, se procedió a establecer una plantación experimental de árboles de navidad en terrenos del vivero forestal campus del ITCR en el mes de octubre del 2014. La plantación tuvo todos los cuidados básicos de control de malezas, fertilización y podas. Como elemento innovador, se preparó el suelo con el paso de una rastra a 30-40 cm de profundidad, se le aplicó cal para neutralizar la acidez del suelo (2 Ton/ha). Los árboles se plantaron a 1,5 x 1,5m y se les sometió a un régimen de fertilización intensa (cada 3-4 meses) durante los primeros 18 meses.

Objetivo específico 2: Aislar e identificar agentes causales de enfermedades en árboles de ciprés.

El proyecto estableció como uno de sus objetivos importantes la revisión de los agentes causales de las enfermedades, principalmente foliares, que aquejan la actividad de producción de árboles de navidad.

En plantaciones de la zona alta de Naranjo se colectaron muestras foliares con síntomas visibles y lesiones importantes, causadas presumiblemente por algunos de los hongos reportados por Arguedas (2008). Estas muestras se guardaron en bolsas plásticas secas y se llevaron al Laboratorio de Biocontroladores de la Escuela de Agronomía del ITCR en su sede en Santa Clara, San Carlos. Las muestras se volvieron a colectar en una segunda oportunidad en fincas de producción de la misma zona de Naranjo y se llevaron al laboratorio de biocontroladores mencionado, en Santa Clara.

Objetivo específico 3: Evaluar el uso de biocontroladores dentro de un sistema de producción integrado para los agentes causales de enfermedades en los árboles de ciprés.

Con apoyo del Laboratorio de Biocontroladores de la Escuela de Agronomía del ITCR en su sede en Santa Clara, San Carlos, se obtuvo *Trichoderma* sp en bolsas plásticas con arroz como medio de propagación, que fue aplicada en una de las plantaciones de árboles de navidad más importante en Llano Bonito de Naranjo. Se utilizaron 4k de *Trichoderma* fresca que se diluyeron en un estañón de agua (200 L). De manera experimental, se dividió la plantación comercial en dos sectores de aproximadamente 4000 m² cada uno. En uno de ellos se aplicó el producto a todos los árboles en la base, se mojó una superficie de una rodaja de al menos 0,5m de radio alrededor del árbol y también, se mojó en el follaje del árbol.

La otra mitad de la plantación se dejó como testigo y no recibió la *Trichoderma*. En ambos sectores se establecieron aleatoriamente 4 parcelas circulares de medición de radio 10m (314 m²). A todos los árboles dentro de cada parcela se les midió el diámetro basal y se registró presencia/ausencia de patógenos foliares visibles. Se planeó aplicar un refuerzo de la *Trichoderma* a los 4 meses, **sin embargo no se logró obtener el producto de nuevo en el Laboratorio.**

Se planeó evaluar las parcelas de medición a los 4 y 8 meses posterior a la primera aplicación, utilizando como variables de respuesta presencia/ausencia de patógenos foliares.

Objetivo específico 4: Iniciar un programa de mejoramiento genético de árboles de navidad.

Se inició un programa de mejoramiento genético basado en dos frentes de acción. 1) Introducción de procedencias de ciprés, bajo el supuesto de que la base genética nacional debe ser muy estrecha, como resultado de que el ciprés fue introducido al país, presumiblemente, a partir de muy pocos individuos; 2) selección de árboles “superiores” genéticamente para establecer una base de trabajo de mejoramiento.

Ensayo de procedencias:

Se adquirieron tres lotes mixtos de semilla de ciprés (*Cupressus lusitanica*) a través del Banco de Semillas del CATIE, procedentes de Colombia (procedencia derivada) y Honduras (procedencia de origen) como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5: Descripción de origen de las tres fuentes semilleras de ciprés (*Cupressus lusitanica*) introducidas para el programa de mejoramiento genético de árboles de navidad.

CÓDIGO DE FUENTE	107	222	270
País	Colombia	Honduras	Honduras
Dpto. o Municipio	La Arcadia	Yamaranguila	Siguatepeque
Departamento	Cauca	Intibuca	Siguatepeque
Latitud	05º 20´ N	14º 13´ N	14º 29´ N
Longitud	73º 40´ O	88º 21´ O	87º 45´ O
Altitud	2550	1500-1800	1800
Precipitación media anual (mm)	2087	1274	1101
Temperatura media anual (°C)	18	22,4	22,4
Tipo de fuente	Huerto semillero comprobado	Fuente identificada	Fuente identificada
Año de establecimiento	Mayo 1977	Bosque natural manejado	Bosque natural manejado

Se adquirieron 100 gramos de cada fuente semillera donadas por el Banco de Semillas Forestales del CATIE. La semilla fue germinada y reproducida en el Vivero Forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal del Tecnológico de Costa Rica en Cartago (1500 msnm). Se siguió el protocolo de viverización propio del ciprés, las plantas se produjeron en bolsa plástica negra y se llevaron a campo el 3 de octubre del 2015 y se plantaron en Llano Bonito de Naranjo, en una finca de uno de los productores de la zona.

El ensayo de procedencias se estableció bajo un diseño de Bloques Completos al Azar, con 3 Bloques y 3 tratamientos. La Unidad Experimental consistió en 20 árboles en línea/procedencia en cada bloque (Figura 5). A los 6 meses de edad se evaluó la mortalidad, presencia/ausencia de enfermedades foliares y, presencia de árboles dañados por el viento o con torceduras.



Figura 5: Establecimiento del ensayo de procedencias de ciprés (*Cupressus lusitanica*) en Llano Bonito, Distrito Cirrú, del cantón de Naranjo, para la producción de árboles de navidad.

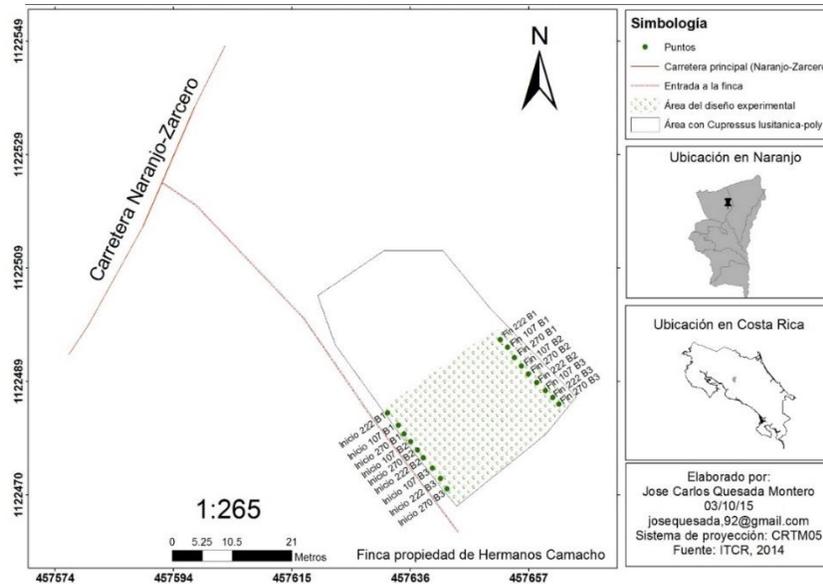


Figura 6: Localización del ensayo de procedencias de ciprés (*Cupressus lusitanica*) establecido en Llano Bonito, distrito Cirrú del cantón de Naranjo.

Selección de árboles de navidad para mejoramiento genético

El concepto de árbol plus para un árbol de navidad requiere ser reformulado, debido a que el árbol ideal está más en función de aspectos cualitativos que cuantitativos. Para definir el árbol ideal se le consultó a varios productores experimentados, ¿cuál es el árbol más buscado por el mercado?. Con base en su experiencia se definió que el árbol plus debía reunir los siguientes criterios:

- 1) El aspecto fitosanitario (ausencia visible de enfermedades).
- 2) Hábitos de ramificación que afecten su respuesta a la poda de formación. Hay árboles con mayor densidad de ramificación y varían en cuanto a su “arquitectura” o patrón angular de ramificación.
- 3) Color del follaje. Hay al menos dos tipos de color de follaje; verde-amarillento (clásico) y verde-azulado.
- 4) Olor del follaje. Hay individuos con fragancias diferentes (limón por ejemplo) y algunos con una fragancia de mayor intensidad.
- 5) Tipo de hoja. Se observa al menos 3 tipos de follaje, desde el ciprés Thuja o planchado, hasta dos variantes adicionales.

Con base en estos criterios, se propuso como estrategia de trabajo definir bien los Tipos de árboles de navidad, asignarles una descripción propia y establecer un Nombre comercial, semejante a un concepto comercial de Variedad. A partir de este trabajo se seleccionaron árboles de navidad bien representativos

de estos tipos, tanto en la zona de Llano Bonito de Naranjo, como en la zona de San Cristóbal Norte de Desamparados.

Los árboles TIPO definidos fueron:

1. Verde-Amarillo + hoja “crespa”
2. Verde-Amarillo + hoja lisa
3. Verde-Amarillo + hoja planchada (Thuja)
4. Verde-Azulado + hoja lisa
5. Verde-Azulado + hoja “crespa”
6. Verde-Amarillo + fragancia a limón

Propagación vegetativa de los árboles plus o árboles Tipo

De todos los árboles plus identificados y seleccionados se procedió a intentar su reproducción clonal, con el fin de establecer una colección en los terrenos del vivero forestal en el campus del Tec en Cartago. Para poder realizar este trabajo se establecieron dos invernaderos pequeños en las inmediaciones del vivero forestal, donde se realizaron los trabajos de propagación.

1) Ensayos de enraizamiento de estaquillas. Este trabajo se realizó al inicio en el invernadero de propagación forestal del Tec localizado en su sede en Santa Clara, San Carlos. Las muestras se colectaron en Naranjo y se llevaron el mismo día hasta Santa Clara. Para cada ensayo se colectaron más de 250 yemas o ápices de ramas recién brotadas (15 ó 22 días después de una poda) y se sembraron en bandejas plásticas dentro de un minitúnel plástico, localizado dentro del invernadero. Estos materiales se sembraron en un ensayo de dosis de AIB (0, 1000, 2000, 3000 y 4000 ppm), con 3 repeticiones y 10 miniestaquillas por parcela (Figura 7). Las disoluciones de AIB fueron preparadas con alcohol en laboratorio. El ensayo se repitió dos veces en Santa Clara y 2 veces en Cartago.



Figura 7: Ensayo de enraizamiento de estaquillas de ciprés (*Cupressus lusitanica*) bajo 3 dosis de AIB, en ambiente de minitúnel dentro de ambiente protegido (invernadero).

2) Injertado de todos los Tipos de árboles plus. De todos y cada uno de los Tipos de Árbol de Navidad, se procedió a colectar yemas para su injertado en patrones establecidos en el vivero forestal en Cartago. Los patrones se produjeron a partir de semilla ordinaria y las plantas se desarrollaron en bolsas plásticas negras durante aproximadamente 6 meses.

El mismo día que se colectaron las yemas se procedió a injertarlas en el vivero forestal del Tec en Cartago. Se utilizó un injerto de púa o de incisión en la parte superior y se sujetó la yema con ayuda de plástico adhesivo, de modo que dejara bien firme la zona de contacto (Figura 8).



Figura 8: Muestra del tipo de injerto de cuña practicado en el programa de mejoramiento genético de árboles de navidad de ciprés (*Cupressus lusitanica*) en Costa Rica.

Todos los injertos se colocaron dentro del invernadero de propagación del vivero forestal en el Tec en Cartago. Este invernadero se mantiene casi completamente cerrado y tiene un sarán negro que brinda una cobertura de un 60% de luminosidad.

Objetivo específico 5: Gestionar un modelo organizacional de árboles de navidad en Costa Rica.

Se estableció en un inicio el objetivo de gestionar un modelo organizacional a productores de árboles de navidad, al respecto se hizo un análisis de cuál zona dentro del país contaba con mayor tendencia para la formación de un grupo de productores activos, con el requisito fundamental que tuvieran de previo la experiencia de algún tipo de conformación o gremio laboral.

Se definió a la zona de Llano Bonito de Naranjo de Alajuela como la ideal para el cumplimiento de este objetivo. Lo anterior porque los productores cafetaleros de esta zona se han dedicado a la producción de árboles de navidad desde hace más de 30 años, siendo que esta actividad forestal ha implicado muy buenos ingresos, la cual desarrollan en asocio o de forma intercalada con dicha actividad agrícola.

Conformación de grupo organizado

El 17 de marzo del 2014 se efectuó la primera reunión con representantes de los productores en la que se detectó la anuencia de iniciar de forma coordinada actividades de apoyo con la Escuela de Ingeniería Forestal.



Figura 9: Primera actividad con productores de árboles de navidad en Llano Bonito de Naranjo.

En reuniones posteriores del 2014 (Figura 9), se obtuvo la anuencia de los miembros para continuar participando en este tipo de actividades, así como de posibles capacitaciones y estrategias por parte de la Escuela de Ingeniería Forestal (EIFO) que podrían mejorar su actividad agroforestal.

Producto de las primeras reuniones los productores consideraron que por cumplir con su propia estructura organizacional desde hace varios años, lo más conveniente era conformar un comité específico que tuviera que encargarse con lo referente a las estrategias integradas en materia de árboles de navidad bajo un concepto o interés voluntario por parte de sus miembros.

Fue así que se definió el 8 de setiembre del 2014 el Comité de Productores de Árboles de Navidad de Llano Bonito de Naranjo de Alajuela. Dicho comité, como varios en la comunidad, estaría funcionando dentro del marco de la Asociación de Desarrollo Comunal de Llano Bonito ya existente desde hace varios años.

Este comité está, desde su creación, conformado por los siguientes miembros activos:

Alberto Camacho. Presidente,

Greivin Salazar, Vicepresidente

Roxana Arce, Secretaria

Miguel Arce, Tesorero.

Eliomar Alpizar Vocal

Eliomar López, Vocal

Reyman López, Vocal

A partir de esta fecha se da inicio a la definición de la mejor estrategia para fortalecer el mercadeo y la comercialización de árboles de navidad en la zona, tanto a través del desarrollo de actividades específicas en integración Universidad-Comunidad, como la impartición de capacitaciones por parte de la EIFO en temáticas relacionadas a sus necesidades de mercadear y comercializar su producto forestal. Lo anterior nace como una necesidad de los asistentes a las actividades convocadas por la EIFO. Los temas a tratar serían una prioridad para fortalecer la generación de ingresos económicos a partir de la venta de árboles de navidad. Se detectó, a través de visitas de campo, que no están tan urgidos de apoyo en aspectos técnicos de silvicultura dado que sus plantaciones en general se encuentran muy bien en cuanto a aspectos de establecimiento, mantenimiento y manejo forestal.

10. Resultados

Objetivo Específico 1: Mejorar el paquete silvicultural de producción de árboles de navidad.

Estudio de espaciamientos:

El experimento tuvo una sobrevivencia sumamente alta (superior al 98%) que dan sustento a los resultados del estudio.

En el cuadro 6 se puede observar los resultados del estudio de espaciamientos. Puede notarse que el espaciamiento 1,5 x 1,5m 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 1,25m. El resultado del espaciamiento 1,8 x 1,8m no es esperado, porque se espera que a menor densidad (mayor espaciamiento), ocurrirá una menor competencia y por tanto, mayor crecimiento diamétrico.

Entre los dos espaciamientos de 1,5 x 1,5m 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 6: Resultados en crecimiento del diámetro basal (mm) a los 28 meses, según espaciamiento inicial en árboles de navidad (San Cristóbal Norte, Desamparados).

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

Letras diferentes indican que hay diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los espaciamientos.

El análisis de varianza del ensayo se muestra en el cuadro 7, donde se determinó la existencia de diferencias significativas entre los espaciamientos evaluados, así como entre los bloques.

Cuadro 7: 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	2159,774	3	719,925	6,518	0,00026	2,628
Bloque	10958,742	2	5479,371	49,613	9506538-E2	3,019
Interacción	2924,32	6	487,385	4,413	0,00025	2,123
Error	41084,648	372	110,443			
Total	57127,477	383				

La diferencia mínima significativa entre tratamientos (DMS, Ecuación 1) **fue de 3,05 mm** de diámetro basal.

Por tanto, claramente establece diferencias significativas entre los dos espaciamientos 1,5 x 1,5m y los restantes dos. Pero implica que no hubo diferencias significativas entre los espaciamientos 1,25 x 1,25m y 1,8 x 1,8m.

Debe recordarse que el diseño experimental fue basado en 32 árboles (unidad experimental) x 3 repeticiones x 4 espaciamientos, para un total de 384 plantas.

Con base en los resultados de los análisis de suelos (cuadro 8), puede observarse que el sitio presenta algunas condiciones marginales, es ácido (pH de 5,0) sin embargo el porcentaje de saturación de acidez de 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 8: 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				
H2O	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

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

Ensayo de fertilización y análisis de la concentración de nutrientes (consumo)

Los resultados del estudio del efecto de la fertilización en los árboles de navidad se muestran en el cuadro 9. Puede observarse que el mejor tratamiento fue la aplicación conjunta del fertilizante (10-30-10) con el abono orgánico. Mientras que curiosamente, el tratamiento con la aplicación del abono orgánico resultó significativamente en un menor crecimiento de los árboles. Debe señalarse que estos resultados reflejan la aplicación de los tratamientos cada 3 meses durante los primeros 15 meses de la plantación.

Cuadro 9: Efecto de la aplicación de la fertilización en el crecimiento del diámetro basal (mm) en árboles de navidad (Cartago, Costa Rica).

Tratamiento	1	2	3	Promedio del Tratamiento (mm)
Fertilizante + Abono Orgánico	71,37	64,64	36,56	60,14 (A)
Fertilizante	72,07	51,27	44,77	58,95 (A)
Testigo	64,31	51,52	42,08	51,97 (B)
Abono Orgánico	47,88	40,65	45,25	44,81 (C)
Promedio de la repetición	64,26	53,43	41,80	54,18
Sobrevivencia (%)	87,5	75,0	67,0	76,3

Letras diferentes indican que hay diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los espaciamientos.

Los resultados del análisis químico del suelo se muestran en el cuadro 10. Se observa que los suelos del sitio del experimento presentan buenas condiciones generales, con un pH > 6, baja acidez o casi nula y una fertilidad (CICE > 5) aceptable. Con excepción del fósforo, prácticamente ninguno de los demás elementos está por debajo del nivel crítico.

En el cuadro 9 se observa el registro de diferencias muy fuertes entre el promedio de las repeticiones, con un gradiente evidente. El ANDEVA determinó que estas diferencias fueron muy significativas (Cuadro 11). Debe mencionarse que el sitio sufrió ataque severo de hormiga durante los primeros meses, lo que obligó a la resiembra de algunos de los árboles. La repetición 3 fue la que sufrió la mayor mortalidad como puede observarse.

Cuadro 10: Análisis de suelos del terreno en el vivero forestal del ITCR donde se estableció la plantación de árboles de navidad.

pH		cmol(+) L ⁻¹			%			mg L ⁻¹			
H2O	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
6,00	0,33	11,73	3,18	0,24	15,48	2,00	7,00	3,4	20,00	145,00	64,00

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

Vivero Forestal	ID-Lab	C	N	C/N
ITCR	S-13-05639	3,03	0,30	10,10

El % C y N totales se determinaron con el Autoanalizador de C/N por combustión seca. Los valores de % C total correlacionan muy bien ($R^2 \geq 0,95$) con el % de MO.

Si quiere estimar el valor del % MO a partir del dato de % C total determinado con esta metodología, multiplique el % C total por 1,43.

Los resultados del análisis de varianza del experimento se muestran en el cuadro 10. Se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos y muy fuertes entre las repeticiones, en concordancia con los resultados que se muestran en el cuadro 9. La diferencia mínima significativa entre tratamientos (DMS, Ecuación 1) **fue de 8,5 mm** de diámetro basal. Por tanto, claramente establece diferencias significativas entre la aplicación de fertilizantes vs el testigo (no fertilización) y vs el uso de abono orgánico.

De manera no esperada, las plantas testigo crecieron más en diámetro basal que las que recibieron el tratamiento de materia orgánica (M.O.). Inclusive registran un crecimiento claramente inferior con respecto al testigo. El mejor tratamiento fue sin duda el que aplicó el fertilizante a las plantas, con crecimientos claramente superiores al testigo. La aplicación de fertilizante más M.O. no resultó significativamente diferente al que solo aplicó el fertilizante.

Cuadro 11: Análisis de varianza para el ensayo de fertilización en árboles de navidad establecido en el vivero forestal, campus del ITCR en Cartago.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamiento	1571,3497	3	523,7832	3,0954	0,0334	2,7581
Repetición	4628,1132	2	2314,0566	13,6754	0,000013	3,1504
Interacción	2220,1664	6	370,0277	2,1867	0,0566	2,2541
Error	10152,7553	60	169,2126			
Total	18572,3846	71				

Entre bloques si se registró una diferencia significativa, explicado por gradientes de pendiente en el terreno. La interacción Bloque x Tratamiento resultó ligeramente no significativa, o más bien, significativa a un valor de $\alpha > 0,944$.

Determinación de proporciones alométricas del árbol de navidad ideal.

Se encontró una fuerte relación alométrica entre el diámetro de la base y la altura total, así como con la circunferencia del árbol promedio, como es usual entre estas variables en árboles. La correlación entre estas variables fue siempre positiva y significativa, con valores que superaron el $r = 0,81$ (Cuadro 12).

Cuadro 12: Correlaciones entre las variables altura total, diámetro en la base y circunferencia máxima en árboles de navidad tipo o ideales para el mercado.

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

Una correlación tan fuerte como la del diámetro basal y la circunferencia es de suma utilidad práctica. Ya que permitirá basar decisiones silviculturales de manejo en esta variable de fácil medición. La circunferencia mayor del árbol de navidad guarda una relación visual importante, agradable y decisiva en los compradores. Por tanto, se puede buscar una relación entre estas dos variables, para utilizar el cociente como posible criterio de control de calidad, como se muestra en el cuadro 13.

Cuadro 13: 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

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

Los cocientes entre las tres variables muestran valores interesantes. Puede observarse primero que la circunferencia promedio de un árbol de Navidad en esta empresa, tiene aproximadamente 3,5 m, o también, 1,11 metros de diámetro. La altura total promedio de los árboles más vendidos en esta empresa, oscila alrededor de los 2,2 m, con un diámetro basal de 8 cm. El otro resultado interesante es la relación entre la altura total y la circunferencia, que es de aproximadamente 0,64, cercano a 0,67. 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, que podría ser un criterio sumamente práctico para control de calidad en campo.

Si se expresa esta misma información en forma de ecuación, puede entonces predecirse cualquier otra circunferencia máxima del árbol de Navidad en relación con el diámetro en la base o en su altura total. Las demás relaciones alométricas posibles no tienen mayor interés práctico.

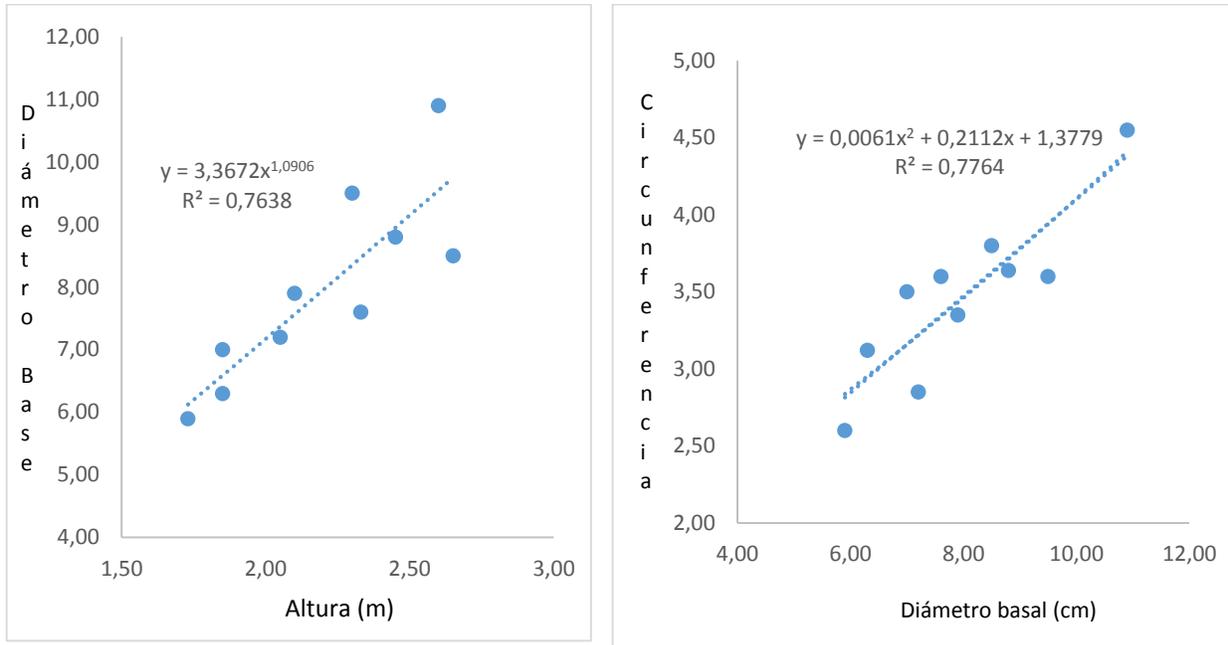


Figura 10: Funciones de predicción de la altura total (izquierda) y de la circunferencia máxima (derecha) a partir del diámetro en la base en árboles de navidad.

Como puede apreciarse en la figura 10, ambas funciones de predicción tuvieron un aceptable ajuste ($R^2 > 0,76$ en ambos casos). La altura total guarda una relación muy estrecha con el diámetro basal, la circunferencia también la tiene con el mismo diámetro basal.

Determinación del costo de producción de árboles de navidad

Los resultados del análisis de costos se muestran en el cuadro 14, que incluye desde el año “0” hasta el año 3 completo. Los resultados muestran en detalle y por separado, la cantidad de mano de obra por actividad, así como los insumos utilizados en la actividad.

Cuadro 14: Detalle de cantidad de Mano de Obra, costos de insumos y costo de mano de obra para la producción de 4444 árboles de navidad (plantados a 1,5 x 1,5m) en una hectárea de terreno, detallados desde el año 0 hasta el año 3 (US \$ = ¢540, mayo 2016).

Preparación y Establecimiento de la plantación (Año 0)	Jornales/ ha	Frecuencia	% de la Ha	Total insumos	TOTAL Costo M.O.
Acumulación y Quema de Residuos (33% del área)	0,46	1	0	0,00	1 571
Eliminación árboles remanentes, repique con motosierra, 10% del área	1,06	1	0	0,00	1 104
Repique y limpieza manual de terreno (10% del área)	1,25	1	0	0,00	1 299
Chapea Manual general del área (100% del área)	3,10	1	1	0,00	32 209
Control químico de malezas (pre-emergente) (100% del área). 1 L. Oxiflurofén/ha.	0,71	1	1	0,00	7 360
Repaso control químico de malezas (20% del área)	0,38	1	0	0,00	779
Herbicida pre-emergente + adherente		1	1	11 070	0,00
Combustibles y lubricantes		1	1	5 675	0,00
Herbicida sistémico + adherentes + Herbicida contra gramínea		1	1	19 430	0,00
Establecimiento y reparación de cercas (200m/ha), Mano de Obra	5,50	1	1	0,00	62 005
Postes, alambre, grapas y demás materiales de cercas		1	1	252 650	0,00
Trazado-marcación	8,31	1	1	0,00	86 313
Preparado y acarreo de estacas guía para plantar	2,67	1	1	0,00	27 715
Rodajea pre-plantación	22,67	1	1	0,00	235 578
Hoyado	12,09	1	1	0,00	125 641
Plantas	200	4 444	1	88 8800	0,00
Descarga y Distribución de plantas	5,05	1	1	0,00	52474
Encalado manual toda el área (1-2 meses antes de plantación). 2 a 4 Ton/ha	6,34	1	1	0,00	65 823
Cal		1	1	20 000	0,00
Fertilización a la siembra. 30 a 50 g/planta = 40 k/ha (1 saco)	8,30	1	1	0,00	86 269
Fertilizante		1	1	80 771	0,00
Plantación de árboles (1,5 x 1,5m = 4444/ha)	15,24	1	1	0,00	158 371
Resiembra 8-10% (a los 30 días de plantado)	4,15	1	1	0,00	43 097
Total Mano de Obra año 0	92,22			1 278 396	1 066 337

Año 1, Mantenimiento y manejo	Jornales/ha	Frecuencia	% de la Ha	Total insumos	TOTAL Costo M.O.
Chapea con Motoguadaña (100% del área)	1,13	4	1,00	0	50 732
Combustibles y lubricantes motoguadaña	0,00	4	1,00	17 500	0,00
Control químico de malezas (100% del área). 1 L. Glifosato > 3 meses	2,20	2	1,00	0	49 604
Herbicidas, adherentes y otros	0,00	1	1,00	14 430	0,00
Rodajea y aporcado manual	22,15	2	1,00	0	499 442
Poda de formación (1 vez, eliminando el ápice)	8,43	3	1,00	0	285 086
Fertilización (2 y 6 meses después de plantado). 50 g/planta = 40 k/ha	8,26	2	1,00	0	186 328
Fertilizante	0,00	2	1,00	323 084	0,00
Control de plagas (hormiga, joboto, otros)	0,63	3	1,00	0	21 307
Insecticida hormiga	0,00	3	0,25	4 500	0,00
Otras labores no planificadas (5%)	2,00	1	1,00	0	22 547
Total Mano de Obra, gastos generales año 1	44,80			359 514	1 115 047
Total de Mano de Obra + Insumos Año 1 = ¢ 1 474 561					

Año 2	Jornales/ha	Frecuencia	% de la Ha	Total insumos	TOTAL Costo M.O.
Chapea con Motoguadaña (50% del área)	1,58	3	0,75	0	40 163
Combustibles y lubricantes motoguadaña	0,00	3	0,75	9 844	0,00
Control químico total de malezas (75% del área)	2,40	3	0,75	0	60 878
Herbicidas, adherentes y otros	0,00	3	0,75	32 467	0,00
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0,64	1	0,50	0	3 593
Poda de formación (1 vez, eliminando el ápice)	8,43	5	1,00	0	47 5143
Fertilización foliar + fungicida	4,00	3	1,00	0	0,00
Fertilizante foliar (Bayfolán)	0,00	4	1,00	341 436	0,00
Fungicida	0,00	3	1,00	36000	0,00
Fertilización (mayo y set). 100 g/planta = 100 k = 5 quintal/ha	3,00	2	1,00	0	67 642
Fertilizante	0,00	2	1,00	484 625	0,00
Control de plagas (hormiga, joboto, otros)	1,00	2	1,00	0	22 547
Producto contra hormigas	0,00	2	0,25	3000	0,00
Otras labores no planificadas (5%)	1,30	1	1,00	0	14 656
Total Mano de Obra, gastos generales AÑO 2	22,35			¢907 372	¢84 624
Total de Mano de Obra + Insumos AÑO 2 = ¢1 517 550					

Año 3	Jornales/ha	Frecuencia	% de la Ha	Total insumos	TOTAL Costo M.O.
Chapea con Motoguadaña (50% del área)	0,83	1	0,50	0,00	4 697
Combustibles y lubricantes motoguadaña	0,00	1	0,50	2 187	0,00
Control químico de malezas (50% del área)	0,67	2	0,50	0,00	7 516
Herbicidas, adherentes y otros	0,00	1	0,50	7 215	0,00
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0,51	1	0,50	0,00	2 889
Aplicación de insecticidas y otros	1,00	1	0,50	0,00	5 637
Producto contra hormigas	0,00	2	0,25	3000	0,00
Poda de formación	8,43	4	1,00	0,00	380 151
Fertilización foliar + fungicida	4,00	4	1,00	0,00	180 380
Fertilizante foliar (Bayfolán)	0,00	4	1,00	341 436	0,00
Fungicida	0,00	3	1,00	36 000	0,00
Fertilización (mayo y set). 100 g/planta = 100 k = 5 quintal/ha	3,00	2	1,00	0,00	67 642
Fertilizante	0,00	2	1,00	484 625	0,00
Vigilancia	40,00	1	1,00	0,00	450 950
Ventas (marcaje, atención a clientes)	60,00	1	1,00	0,00	676 425
Otras labores no planificadas (5%)	1,40	1	1,00	0,00	15 783
Total Mano de Obra año 3	120			¢874 464	¢ 1 792 071
Total de Mano de Obra + Insumos AÑO 3 = ¢ 2 666 535					

En el cuadro 15 se resume el cuadro general de costos y demandad de mano de obra en la actividad de producción de árboles de navidad. En términos de costos por año, no hay grandes diferencias en los costos entre los 3 años de producción. La mano de obra representa más del 57% de los costos totales y genera poco más de 400 jornales/ha en un ciclo de 3 años de producción, que podría también expresarse como en **140 jornales/ha/año**. Este valor equivale aproximadamente a un **½ tiempo de un trabajador de campo/ha/año**.

Cuadro 15: Resumen de costos y demanda de mano de obra para la producción de 4444 árboles de navidad (plantados a 1,5 x 1,5m) en una hectárea de terreno.

Año	Jornales	TOTAL Costo M.O.	Insumos	Total (¢)	%
0	89,99	934953,05	1043305,90	1978258,95	26,70
1	98,91	1027638,58	359513,60	1387152,18	18,72
2	72,73	610177,90	907372,43	1517550,33	20,48
3	158,96	1651590,07	874463,68	2526053,75	34,09
TOTAL	420,58	4224359,60	3184655,60	7409015,20	
TOTAL en US \$		7681	5790	13470,94	
	Proporción (%)	57,02	42,98		

Finalmente, el modelo de costos para una hectárea, con 4444 unidades iniciales, estima que cada árbol de navidad cuesta poco menos de ¢ 2400/unidad (Cuadro 16), en un ciclo de producción de 3 años. Si se compara con los precios de venta superiores a los ¢7 500/árbol, resulta evidente el margen de utilidad de la actividad, reportada ya en un ejercicio anterior realizado por Rojas y Torres (1989).

Cuadro 16: Costo de producción por árbol de navidad (unidad) en un modelo basado en una hectárea, con 4444 unidades y desarrollados en un ciclo de 3 años (US \$ = ¢540, mayo 2016).

Árboles efectivos a vender (70%)	3111
Costo/árbol	2381.71

Análisis de la posibilidad de producción de árboles de navidad en un periodo más corto de tiempo

Como resultado principal debe mencionarse que la plantación, a pesar de haber recibido un manejo muy bueno, no logró alcanzar en 1,5 años el tamaño y la forma deseada o más aceptada por el mercado. El problema principal no es solo el crecimiento, sino la conformación de la forma del árbol, que recibe podas cada 3 meses aproximadamente, y debe irse rellenando hasta alcanzar la talla deseada por el mercado.



Figura 11: Árboles de navidad en un período aproximada de un año de edad. San Cristóbal Sur, Desamparados.



Figura 12: Árboles de navidad en un período aproximada a los 1,5 años de edad. ITCR, Cartago.

Objetivo específico 2: Aislar e identificar agentes causales de enfermedades en árboles de ciprés

A pesar de que se colectaron las muestras y se llevaron en dos oportunidades al laboratorio de Biocontroladores de la Escuela de Agronomía en la sede de San Carlos, de parte de la investigadora responsable (X. Mata) no se logró que aportara ningún reporte de la información. **Por lo que el proyecto no logró cumplir con este objetivo de la investigación.**

Objetivo específico 3: Evaluar el uso de biocontroladores dentro de un sistema de producción integrado para los agentes causales de enfermedades en los árboles de ciprés

La evaluación del ensayo establecido en Llano Bonito de Naranjo, con aplicación de *Trichoderma* para prevenir el ataque de hongos en el follaje, a los 4 meses dio como resultado información de poca utilidad. Tanto en el sector sin *Trichoderma* como en el que si se aplicó, se registró visualmente la presencia de hongos en proporciones similares. Al parecer, este tipo de experimentos requiere de aplicaciones continuas (cada 3 meses al inicio) de *Trichoderma* para que logre dar resultados preventivos significativos. Este experimento claramente no produjo la información esperada y se decidió no utilizar sus resultados. Se gestionó volver a establecer el experimento al año siguiente (inicio del periodo lluvioso), pero no se obtuvo apoyo del laboratorio de Biocontroladores, que tenían como responsabilidad producir y entregar este recurso biológico. **Por lo que el proyecto no logró cumplir con este objetivo de la investigación.**

Objetivo específico 4: Iniciar un programa de mejoramiento genético de árboles de navidad.

a) Selección y propagación de árboles plus. Como parte del trabajo realizado y utilizando los criterios de selección expuestos anteriormente, se seleccionaron árboles plus en varias plantaciones de productores, tanto en la zona de Naranjo como en la de San Cristóbal Norte de Desamparados. La meta de selección que fue alcanzada, consistió en lograr seleccionar al menos un individuo de cada TIPO en cada una de las dos regiones de trabajo. Con los individuos seleccionados, se procedió a la colecta de brotes tiernos para enraizar y de yemas para injerto. De cada individuo se colectó no menos de 10 yemas y no menos de 10 brotes. Lamentablemente, tanto los ensayos de enraizamiento como el trabajo de injertos (más de 120 injertos efectivos) se perdieron en el invernadero del Tec en Cartago, debido a que la infraestructura con que se cuenta (invernadero), no cuenta con una sombra adecuada (sarán es de 50% de sombra), ya que debe de ser de al menos un 60% y el sistema de riego no fue eficiente debido a múltiples fallas eléctricas.

Los trabajos de enraizamiento de estacas se repitieron 4 veces, se establecieron 2 veces en el invernadero de San Carlos y otras dos veces en el invernadero en Cartago. Pero aun así, no se logró enraizar las estacas, debido también a la falta de una sombra adecuada en el invernadero y que el sistema de riego falló debido a fallas eléctricas.



Figura 13: Muestra de los variantes de árboles de navidad en relación con su TIPO de hoja.

b) Ensayo de procedencias. En el ensayo de procedencias se procedió a analizar la mortalidad, donde se encontró que la procedencia 270 fue la que presentó el mayor registro con un 22% (cuadro 17).

Cuadro 17: Mortalidad por procedencia en un ensayo de *Cupressus lusitanica* (Ciprés) establecido en Llano Bonito, Distrito Cirrí, cantón de Naranjo.

Procedencia	% árboles vivos	% árboles muertos
107	89.06%	10.94%
222	90.32%	9.68%
270	77.97%	22.03%

Se puede observar que solo la procedencia 222 en el bloque I fue la única con sobrevivencia de un 100%.

Cuadro 18: Mortalidad por bloque y procedencia en un ensayo de *Cupressus lusitanica* (Ciprés) establecido en Llano Bonito, distrito Cirrú, cantón de Naranjo.

Bloque	Procedencia	% árboles vivos	% árboles muertos
	107	95,24%	4,76%
1	222	100,00%	0,00%
	270	85,00%	15,00%
	107	90,91%	9,09%
2	222	95,00%	5,00%
	270	73,68%	26,32%
	107	80,95%	19,05%
3	222	76,19%	23,81%
	270	75,00%	25,00%

Árboles doblados

En cuanto a los árboles que se encuentran doblados se encontró que la procedencia más afectada con esta variable fue la 222 que cuenta con el 6,45% de los árboles con este daño siendo que la procedencia 270 es la que presenta el menor porcentaje de árboles doblados (cuadro 19).

Cuadro 19. Porcentaje de árboles sanos y árboles doblados por procedencia en un ensayo de *Cupressus lusitanica* (Ciprés) establecido en Llano Bonito ubicado en el distrito de Cirrú en el cantón de Naranjo.

Procedencia	N° árboles rectos	N° árboles doblados
107	95,31%	4,69%
222	93,55%	6,45%
270	96,61%	3,39%



Figura 14: Evaluación del ensayo de procedencias de ciprés de árboles de navidad en Llano Bonito, distrito Cirrú, del cantón de Naranjo.

Enfermedad aparente

La procedencia que más porcentaje de individuos contagiados con una enfermedad aparente en su follaje fue la procedencia 270 con el 67,80% de los individuos enfermos (cuadro 20).

Cuadro 20: Porcentaje de árboles sanos y árboles enfermos por *Cercospora* por procedencia en un ensayo de *Cupressus lusitanica* (ciprés) establecido en Llano Bonito ubicado en el distrito de Cirrú en el cantón de Naranjo.

Procedencia	N° árboles sanos	N° árboles enfermos
107	59,38%	40,63%
222	70,97%	29,03%
270	32,20%	67,80%

También se quiso analizar los individuos que se encontraban doblados y al mismo tiempo presentaban contagio por alguna enfermedad aparente en su follaje, lo anterior con el fin determinar que si al estar doblados los hacía más susceptibles a una posible enfermedad aparente; se encontró que tan solo el 3,39%

(cuadro 21) presentaban enfermedad aparente, por lo que no se puede decir que el árbol doblado es más propenso a presentar *Cercospora* sp.

Cuadro 21: Porcentaje de árboles sanos y árboles con enfermedad aparente por procedencia en un ensayo de *Cupressus lusitanica* (Ciprés) establecido en Llano Bonito ubicado en el distrito de Cirrí en el cantón de Naranjo.

Procedencia	N° árboles sanos	N° árboles enfermos y doblados
107	96,88%	3,13%
222	98,39%	1,61%
270	96,61%	3,39%

No se encontró una relación directa entre árboles doblados y con enfermedad aparente ya que tan solo 3,13% y 3,39% de individuos de las procedencias 107 y 270 respectivamente presentaron dos aparentes enfermedades al mismo tiempo y solo 1,61% de los individuos de la procedencia 222 presentó las dos enfermedades simultáneamente (Cuadro 21).

Objetivos específicos 5: Gestionar un modelo organizacional, de mercadeo y comercialización, de árboles de navidad en Costa Rica.

Conformación de grupo organizado

Una vez lograda la conformación de un grupo organizado de productores y denominado Comité de Productores de Árboles de Navidad de Llano Bonito de Naranjo de Alajuela, se discutió sobre las necesidades inmediatas en fortalecer o mejorar aspectos técnicos o estratégicos de sus reforestaciones. A inicios del 2014 se detecta y se llega al acuerdo con el grupo de efectuar una estrategia específica de comercialización de los árboles naturales de ciprés, sin dejar de lado temas específicos en esa misma línea en los que pueden llegar a ser capacitados por la EIFO.

Primera Feria Nacional de Árboles de Navidad

Se definió por consenso tanto por parte del Comité establecido como con algunos de los representantes de la Asociación de Desarrollo de Llano Bonito de Naranjo, el efectuar una feria sobre árboles de navidad.

Dado que a nivel del país no se había efectuado una actividad similar, a la misma se le dio un carácter nacional definiéndose esta como la I Feria Nacional del Árbol de Navidad.

Se efectuó durante dos fines de semana correspondientes al período del 27 al 29 de noviembre y del 4 al 6 de diciembre del 2014. Su objetivo fue divulgar y comercializar el árbol natural de navidad proveniente de forma exclusiva de productores de la zona. Participaron 7 productores de la zona y el evento tuvo su ubicación en la plaza de deportes de Llano Bonito bajo la modalidad de chinamos. Se incluyeron una serie de actividades colaterales para darles servicio a los visitantes y/o potenciales clientes. Las actividades adicionales consistieron en ventas de comidas típicas de la zona, artesanías, juegos infantiles, desfiles de bandas y autos antiguos, música popular, cuenta-cuentos, etc.

Al final de la actividad se detectaron los siguientes aspectos:

- La organización implicó muchos aspectos logísticos y la falta de más colaboradores.
- La divulgación del evento tanto en la radio, televisión fue estratégica e implicó mucho esfuerzo en tiempo previo al evento, tanto como desplazamiento por parte de los organizadores.
- Los visitantes adquirieron tanto arbolitos de navidad como productos y servicios ofrecidos.
- La afluencia de visitantes fue importante y la adquisición de árboles fue significativa tanto en el lugar de la Feria como en las plantaciones cercanas establecidas por los productores.
- Los productores no llevaron un control adecuado de egresos e ingresos por concepto de las ventas de árboles de navidad. Esto porque no poseen la formación básica para efectuarlo.

En término generales los productores quedaron satisfechos por el impacto de la feria tanto a un nivel de su economía personal como en la economía local.



Figura 15: Productores comercializando árboles de navidad durante la primera Feria Nacional del Árbol de Navidad, Llano Bonito de Naranjo, diciembre 2014.

Curso de capacitación sobre mercadeo de árboles de navidad

Detectada la necesidad inmediata de que los productores adquieran conocimientos en materia de mercadeo de árboles de navidad, se consultó e iniciaron gestiones para que la Unidad de Vinculación de la EIFO ofreciera una capacitación en esa materia.

Por medio de esta Unida de Vinculación y el Programa de Aula móvil de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Tec, se organizó y efectuó dicho curso bajo la instrucción del Ing. Diego Camacho C. Este consistió en 4 sesiones de trabajo y el grupo fue de 15 participantes todos productores de árboles de navidad de la zona. La técnica del curso consistió en charlas, conversatorios de procesos, exposiciones de participantes y visita de campo a plantaciones de la zona. Las fechas de impartición fueron los días 1 y 29 de setiembre y 13 y 27 de octubre del 2015 con una duración total de 12 horas.

La temática según sesión fue la siguiente:

Sesión 1: Diagnóstico y mercados internacionales de árboles de navidad naturales.

Sesión 2: Las cuatro Ps, la segmentación y el producto.

Sesión 3: Precio y desglose de costos y rendimientos para producir árboles naturales de navidad.

Sesión 4: Plaza, promoción, ventajas, desventajas y servicio al cliente.



Figura 16: Participantes del curso sobre mercadeo de árboles de navidad, desarrollado en Llano Bonito de Naranjo, 2015

Segunda Feria Nacional de Árboles de Navidad

Aprovechando la experiencia del 2014, el comité de productores organizó la Segunda Feria del Árbol de Navidad. Esta se efectuó los días 28 y 29 de noviembre y 5 y 6 de diciembre del 2015, en la plaza de deportes y en el salón comunal de Llano Bonito de Naranjo. En esta ocasión también, aparte de la venta de árboles naturales (objetivo de la actividad), se ofrecieron ventas de comidas típicas de la zona, artesanías, exposición de autos antiguos, música popular, etc.



Figura 17: Venta de árboles de navidad en la segunda Feria Nacional del Árbol de Navidad, Llano Bonito de Naranjo, diciembre 2015.

Como productos finales es importante recalcar que::

- De nuevo la organización del evento implicó muchos aspectos logísticos y la falta de más colaboradores.
- La divulgación general del evento no fue tan intensa como la anterior debido a la falta de tiempo de los pocos colaboradores identificados.
- Los visitantes adquirieron tanto arbolitos naturales como productos y servicios ofrecidos.
- La afluencia de visitantes fue importante y la adquisición de árboles fue tan buena como el año anterior, tanto en el lugar de la Feria como en las plantaciones cercanas de los productores.

Tampoco en esta oportunidad los productores llevaron un control adecuado de egresos e ingresos por concepto de las ventas de árboles de navidad. Esto porque no poseen la formación básica para efectuarlo. Sin embargo por parte del presente proyecto se les brindó apoyo en materia de comercialización y características de los clientes por medio de una encuesta sobre el tipo de producto (arbolito) a ser comprado por los clientes. (Sección resultados de encuesta Segunda Feria Nacional de Árboles de Navidad)

De nuevo los productores quedaron satisfechos por el impacto de la feria tanto en la economía particular como en la economía local, en especial porque ya se cuenta con datos que se podrán utilizar para futuras ferias.

Resultados de la encuesta de la segunda Feria Nacional de Árboles de Navidad

En la encuesta aplicada se evaluaron 18 participantes o clientes al azar para poder determinar diferentes variables sobre los árboles de navidad adquiridos en el marco de este evento.

El olor de follaje es el primer motivo por el que las personas adquieren un árbol natural con un 72% (figura 18), seguido del precio comparado con el árbol plástico, ya que los mismos encuestados mencionan que a pesar de que un árbol plástico se compra para ser reutilizado son pocos los casos en los que ese árbol dura más de dos años.

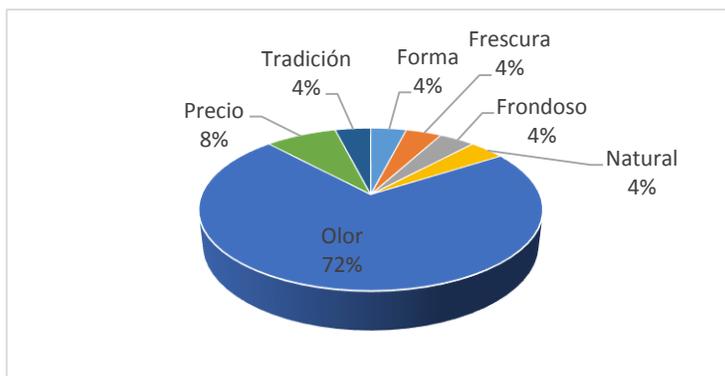


Figura 18: Principales criterios que utilizan los consumidores al elegir un árbol de navidad natural.

La principal característica buscada por los compradores de un árbol de navidad natural es la altura (figura 19), es decir, que el 44% de los compradores eligen sus árboles por la altura antes de su forma o grosor, seguido del 37% de los compradores que eligen sus árboles por el diámetro más que por su tamaño o forma y tan solo el 19% de los compradores eligen sus árboles por su forma, es decir, que es más relevante que un árbol sea grande antes de que sea grueso o cónico.

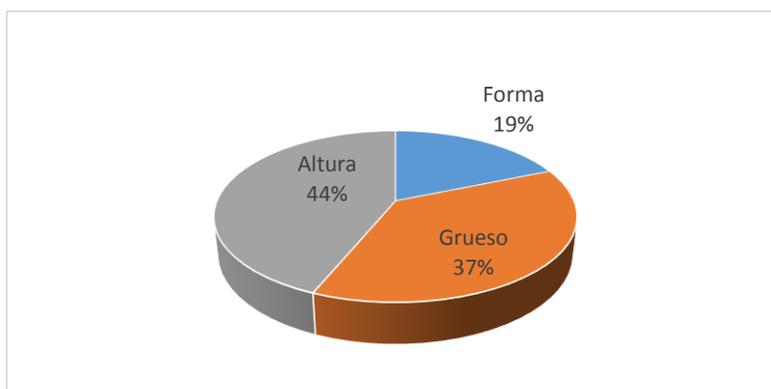


Figura 19: Criterios generales de elección de un árbol de navidad por parte de los consumidores.

Los compradores definen un árbol pequeño al que mide menos de 1,7 m, un árbol mediano entre 1,7 m -2 m y un árbol grande mayor a 2 m de altura. El promedio de la altura de los árboles buscados por los compradores de 1,9 m, por lo que el árbol más gustado es el de una altura mediana, lo cual se observa en la figura 20, en donde se confirma que el árbol más buscado con 43% es el árbol de altura mediana, seguido de un 29% tanto para los árboles grandes como pequeños (Figura 20).

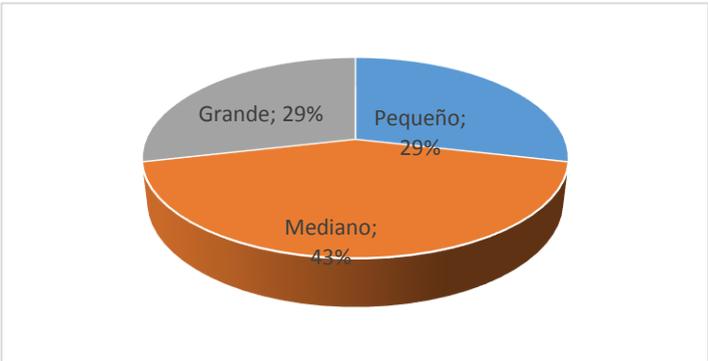


Figura 20: Altura preferida por los consumidores de árboles de navidad.

El 100% de los encuestados comprarían un árbol natural a un promedio de ¢ 12388, pero tan solo el 22% compraría un árbol plástico (Figura 21) a un promedio de ¢ 15250.

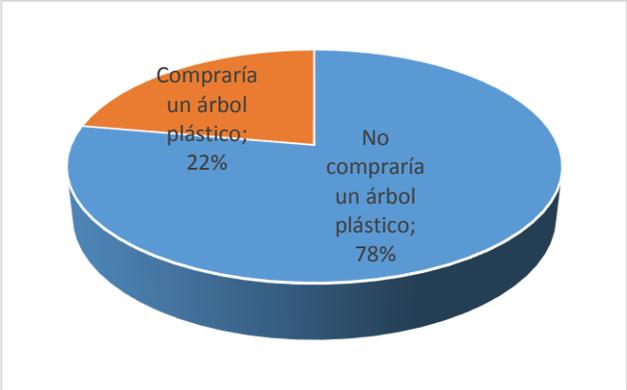


Figura 21: Preferencia en los consumidores entre un árbol de navidad natural o artificial.

Curso de capacitación sobre costos de producción de árboles de navidad.

En ambas Ferias efectuadas también fue detectada la necesidad que los productores se capaciten en materia de costos de producción de árboles de navidad.

Esta necesidad es debida a que los productores no tienen la mínima certeza de los insumos y costos que implica todo el proceso de producción y comercialización de la reforestación de árboles de navidad. Este tema incluso se complica ya que son muchos los casos en que la reforestación está asociada al cultivo del café el cual es su principal actividad de sustento. Esta capacitación se realizó a inicios del 2016 en el Vivero Forestal del TEC en Cartago, con una duración de 12 horas, organizada por la Unidad de Vinculación de la EIFO y la VIE bajo la modalidad de Aula Móvil. El instructor fue el Ing. Diego Camacho especialista en comercialización y mercadeo de productos forestales siendo la temática la siguiente:

Sesión 1: Proceso, costos e insumos de la producción de árboles. Proceso de reproducción de plántulas en vivero forestal. Estudio de caso sobre reproducción de ciprés a nivel de vivero forestal (figura 22).

Sesión 2: Costos, tiempo de producción, rendimientos e insumos de la reforestación de árboles de navidad. Estudio de caso de la reforestación en Llano Bonito de Naranjo.



Figura 22: Curso a productores sobre costos de producción de árboles de navidad. ITCR, Cartago.

2016.

11. Discusión y conclusiones

Objetivo Específico 1: Mejorar el paquete silvicultural de producción de árboles de navidad.

Estudio de espaciamientos:

Como puede observarse del cuadro 6, entre los cuatro espaciamientos se obtuvo una diferencia altamente significativa ($p > 0,999$). Entre los bloques hubo también diferencias significativas producto de la fuerte variación en el terreno, que gracias a su correcta disposición en el terreno irregular, logró disminuir el efecto de la variación del sitio en los tratamientos. Aún así, la interacción Bloque x Espaciamiento fue también altamente significativa, lo que implica que el mejor espaciamiento fue diferente en alguno de los bloques. Como se muestra claramente en el cuadro 5, donde el espaciamiento 1,25 x 1,25m 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.

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 5).

Puede concluirse 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 es el 1,5 x 1,5m en tresbolillo, con un potencial de plantar 4444 árboles/ha. Sin embargo, a pesar de que se obtuvieron diferencias significativas entre los diámetros, entre el espaciamiento de menor (1,8 x 1,8m) y mayor densidad (1,25 x 1,25m) hubo en promedio menos de 5 mm de diferencia en diámetro a los 28 meses. 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 1,25m en distribución tresbolillo y lograr así aumentar en casi 2000 árboles/ha la capacidad de producción de árboles de navidad, si se compara con el espaciamiento de 1,5 x 1,5m como el más utilizado hoy día. Si se revisa los resultados obtenidos del análisis de la alometría de los árboles de navidad, se determinó que el diámetro promedio del follaje de un árbol maduro es de 1,1m. Por tanto, 1,25m 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 ejes aumentará.

Con un aumento tan significativo en el número 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. Otros espaciamientos entre 1,5m y 1,25 metros pueden a futuro ser evaluados, junto con otra distribución espacial como la doble hilera.

Ensayo de fertilización y análisis de la concentración de nutrimentos (consumo)

El resultado más inesperado fue el tratamiento de aplicación de solo materia orgánica, que registró un crecimiento significativamente menor que el testigo (Cuadros 8 y 10). Podría pensarse como si su efecto fuese negativo para el crecimiento de las plantas. Mientras que las plantas que recibieron el tratamiento del fertilizante + materia orgánica si registraron el mayor crecimiento de todos, aunque las diferencias con el tratamiento de solo fertilización no fue significativa. Esto podría explicar parcialmente el resultado de que el tratamiento de solo materia orgánica no lograra estimular el crecimiento de las plantas. Para este resultado con la materia orgánica no hay mayor explicación que deducir que en su composición había algún elemento definitivamente negativo para el crecimiento del ciprés. Mientras que el resultado del testigo si es coherente y esperado, en relación con su menor efecto en crecimiento vs las plantas que recibieron la aplicación de fertilizante.

La interacción Bloque x Tratamiento resultó ligeramente significativa producida por un cambio en la posición de los mejores o peores tratamientos en alguna de los bloques (cuadro 8). Tal y como ocurrió en el bloque 3, donde el mejor tratamiento en todo el ensayo (fertilizante + materia orgánica) fue el peor de todos. Sin embargo, este resultado pudo ser un efecto confundido provocado por una alta mortalidad en este tratamiento, producto de un severo ataque de hormiga que afectó en forma diferenciada en el bloque 3. Este tipo de resultados explican el valor débil de F para el efecto de los tratamientos, mientras que de forma esperada, el valor de F para el efecto de Bloques fue sumamente elevado. Se concluye de este experimento, que es deseable la aplicación de fertilizante granular 10-30-10 en la producción de árboles de navidad. Futuras investigaciones podrán continuar a mayor detalle, donde se evalúe el efecto de los elementos mayores por separado en primera instancia.

Proporciones alométricas del árbol de navidad

Los cocientes entre las tres variables muestran valores interesantes. Puede observarse primero que la circunferencia promedio de un árbol de navidad en esta empresa, tiene aproximadamente 3,5 m, o también, 1,11 metros 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 2,65m), con un diámetro basal promedio de 8 cm. En investigaciones con árboles de navidad de ciprés en Venezuela (Petit–Aldana, J., Uribe–Valle, G., Muchacho Briceño, R. 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, 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, que podría ser un criterio sumamente práctico para control de calidad en campo.

Si se expresa esta misma información en forma de ecuación (Figura 10), puede entonces predecirse cualquier otra circunferencia máxima del árbol de navidad en relación con el diámetro basal o con su altura total, a edades diferentes. Las demás relaciones alométricas posibles no tienen mayor interés práctico.

Como puede observarse del Cuadro 7, entre los cuatro espaciamientos evaluados se obtuvo una diferencia altamente significativa ($p > 0,999$). Entre los bloques hubo también diferencias significativas producto de la fuerte variación en el terreno, que gracias a su correcta disposición en el terreno irregular, logró disminuir el efecto de la variación del sitio en los tratamientos. Aún así, la interacción Bloque x Espaciamiento 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 6, donde el espaciamiento 1,25 x 1,25m 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 1,5m, hubo diferencias significativas tanto con el espaciamiento de 1,25 x 1,25m, como con el de 1,8 x 1,8m. 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 6).

Determinación del costo de producción de árboles de navidad

El modelo de costos fue parcialmente construido mediante entrevista con productores líder de la región de Zarceros y de San Cristóbal Norte de Desamparados. Sin embargo, los productores no tienen una tradición de registros ni mantienen el detalle de todos los gastos y actividades que realmente realizan en su plantación. Por lo que en esta construcción, se procedió a ir discutiendo labor por labor con ellos, para determinar cuáles si realizan, la frecuencia y los jornales empleados en cada actividad. Los resultados del estudio de costos de producción deben continuar por tanto, siendo refinados con base en una mayor consulta con los productores. Durante el proyecto se realizó un primer taller de identificación de

parámetros del negocio de la producción de árboles de navidad. Aun así, se considera que esta base de datos que fue construida es suficientemente completa y comprende prácticamente todas las labores en que se incurren en la producción de árboles de navidad. Como principales hallazgos está la gran cantidad de mano de obra que genera la actividad (un 58% del total de costos) con 420 jornales en casi 3 años, que equivalen a 140 jornales/ha/año o prácticamente un medio tiempo. El otro hallazgo es el del costo aproximado de \$2400/árbol de navidad en un ciclo de casi 3 años. Si se mejora la eficiencia en la producción de los árboles, donde principalmente se logre reducir las pérdidas por la presencia de hongos que afectan el follaje, una buena plantación podría subir a producir y vender unos 4000 árboles/ha. En este caso, el costo por árbol podría reducirse a menos de \$2000/unidad. Así también, el cambio en el distanciamiento de siembra a 1,25 x 1,25m en tresbolillo, podría aumentar la producción por ha en 6400 árboles y por tanto, aumentar su rentabilidad. Estos valores con seguridad podrán ser refinados en futuras investigaciones.

Se concluye que la base de datos y el modelo de costos del cultivo de árboles de navidad es apropiado y realista de la actividad. Su utilización y adopción dependerá de la dinámica de la organización de productores y de los investigadores. Esta base de datos será de enorme utilidad para los siguientes estudios sobre rentabilidad y análisis de mercado de esta importante industria forestal.

Análisis de la posibilidad de producción de árboles de navidad en un periodo más corto de tiempo

Como se ha mencionado anteriormente, la integración de todos los elementos de mejora en el paquete tecnológico, será lo que posibilite continuar avanzando hacia una reducción del ciclo de producción a 1,5 años, así como a disminuir costos y mejorar productividad de la actividad. Los experimentos efectuados aún no lograron contestar todas las preguntas ni resolver todos los vacíos de información. Por ejemplo, el ensayo de fertilización no evaluó el efecto de la preparación mecanizada del terreno, que se asume fue positivo aunque no fue determinado. El otro elemento es el del impacto de la aplicación de fertilizantes foliares altos en nitrógeno después de cada poda, como estrategia para acelerar la respuesta a la poda y mejorar la formación del árbol de navidad. Otro aspecto medular y de alto impacto está relacionado con la aplicación de fungicidas preventivos y/o curativos ante la presencia de patógenos que afectan el follaje de los árboles. De modo que se pueda reducir el impacto de los patógenos en la cantidad de árboles a eliminar por control de calidad. Finalmente, el uso de material genético que registre una mayor tasa de crecimiento, una mayor velocidad de rebrote, sin duda contribuirá significativamente en este objetivo.

Se analizó también durante el proyecto, que el mercado realmente viene definiendo al menos tres tipos de árboles de navidad:

1. Árbol pequeño, de aproximadamente 1,4 a 1,5m de altura como máximo, ideal para oficinas y apartamentos pequeños. Este nicho de mercado está en desarrollo, no representa en la actualidad más de un 10-15% del mercado, pero tiene un gran potencial, en especial si se ofrece en macetero. Con esto se lograría que el árbol mantenga su fragancia y follaje por más tiempo. Para este tipo de árbol si podría pensarse en toda una tecnología de producción diferente, inclusive en la posible producción completamente en invernadero y la posibilidad de producirlo en un ciclo de 1,5 a máximo 2 años.
2. Árbol mediano, de aproximadamente 1,8 a 2,2 m de altura. Es el tipo de árbol más buscado por el cliente, con más del 70% del mercado actual. A este árbol fue al que se le dirigió el mayor esfuerzo de investigación en cómo mejorar su paquete tecnológico.
3. Árbol grande, de más de 2,5m de altura. Este árbol tiene el precio mayor, requiere de 3 a 5 años de producción y tiene un nicho de mercado más para corporaciones, centros comerciales, lugares amplios, etc, cuyo mercado se estima que no supera el 10-15%.

Como puede entonces apreciarse, el tema del paquete tecnológico debe ser enfocado para los distintos productos de mercado de árboles de navidad.

Objetivo Específico 4: Iniciar un programa de mejoramiento genético de árboles de navidad.

Durante el proyecto no se logró el enraizamiento de ninguna estaquilla. En un principio se pensó en que el tipo de estaquilla pudo ser la causa, por lo que se volvieron a coleccionar brotes tiernos 15 días después de la poda de formación del árbol. Sin embargo, los resultados volvieron a ser negativos. En el caso del invernadero en Santa Clara, San Carlos, las condiciones ambientales pudieron haber influido en el resultado negativo. Las estaquillas se mantuvieron verdes y vivas por más de 45 días, pero no lograron enraizar. En el caso del invernadero en Cartago, el problema principal fue el invernadero nuevo. En este no se logró aún poner a punto su sistema de riego automatizado vs el control interno de la temperatura/humedad relativa. Esto provocó varias veces la marchitez de las miniestaquillas, inclusive en un periodo de tiempo más corto que en el invernadero en Santa Clara. En los trabajos realizados por Sánchez y Murillo (2000), se reportó un enraizamiento cercano a un 30%, en condiciones de invernadero con menor control ambiental que los invernaderos actuales. Este tema deberá ser abordado de nuevo

minuciosamente en aras de lograr la reproducción clonal de los mejores genotipos a una escala comercial, para abastecer al sector de productores de árboles de navidad.

El injertado fallido debe también ser retomado. La técnica empleada fue la correcta y con resultados anteriormente reportados (Acebedo, B. 1997). Los resultados negativos fueron producto del mal uso de las instalaciones del nuevo invernadero en Cartago, donde no se tuvo un control adecuado del riego. Por tanto, no se espera que el injertado de la colección de árboles plus sea un problema mayor y que fácilmente se podrá retomar en los trabajos que continuarán.

De los ensayos de procedencias resta esperar al menos un año para elegir nuevos individuos al programa de mejoramiento genético. Este tipo de ensayos se establecen con el objetivo de poder encontrar nuevos materiales que permitan ampliar la base genética de un programa. Se estima que la base genética del ciprés en Costa Rica es sumamente estrecha y para un futuro de mayor sostenibilidad, será necesario contar con nuevos genotipos y aumentar la diversidad genética local. Temas como las enfermedades del follaje podrían reducir rápidamente aún más la diversidad de la población de mejoramiento. Por tanto, el tema de la introducción de nuevas procedencias, deberá continuar como una de las prioridades del programa de mejoramiento genético.

La selección de árboles plus deberá continuar con el fin de aumentar la población de mejoramiento. Como estrategia, deberá seleccionarse no menos de 15 individuos de cada uno de los 6 Tipos identificados. Preferiblemente, los árboles plus deberán ser seleccionados en distintas regiones geográficas, con el fin de ampliar la base genética y potenciar la posibilidad de encontrar genotipos tolerantes o resistentes a los hongos que atacan el follaje del árbol de ciprés.

Como estrategia de mejoramiento genético debe pensarse en un plan B complementario a la propuesta actual basada exclusivamente en la clonación. Dado que el ciprés es sumamente precoz en desarrollar su sistema reproductivo (estróbilos masculinos y femeninos) y fructificar (conos), puede perfectamente desarrollarse la opción de coleccionar semilla de los árboles plus, establecer con ello ensayos de progenie y posteriormente, realizar cruzamientos controlados entre los individuos dentro de cada uno de los 6 Tipos. No se ha determinado con exactitud la viabilidad de esta semilla tan precoz. Deberá investigarse también, la duración de un ciclo completo reproductivo (estróbilo – cono – semilla).

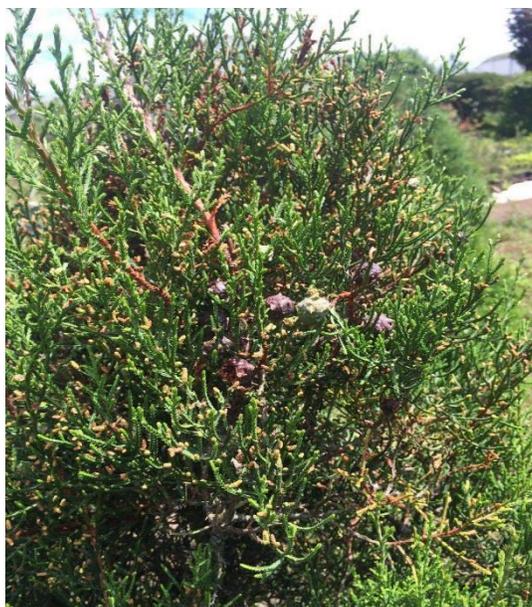


Figura 23. Detalle de un árbol joven (menos de 2 años de edad) de ciprés (*Cupressus lusitánica*) con flores y frutos.

La figura 24 muestra el esquema de la estrategia propuesta de mejoramiento genético a largo plazo. Para cada uno de los 6 TIPOS de árboles hasta ahora definidos, se trabajará en un proceso basado en los principios de Selección Recurrente Intrapoblacional (SRI), donde se espera en un número de generaciones ir avanzando hacia la conformación de líneas puras. En paralelo, se irá trabajando en la formación de líneas puras con alto grado de resistencia a las tres enfermedades que afectan el follaje. Sin esperar a que el fenómeno de la pureza genética se alcance, en cada generación de mejoramiento se realizarán cruces controlados entre ambas Líneas de mejoramiento. Se estima que los ciclos de mejoramiento requerirán entre cruce y evaluación en campo, aproximadamente 4 a 5 años en tiempo.

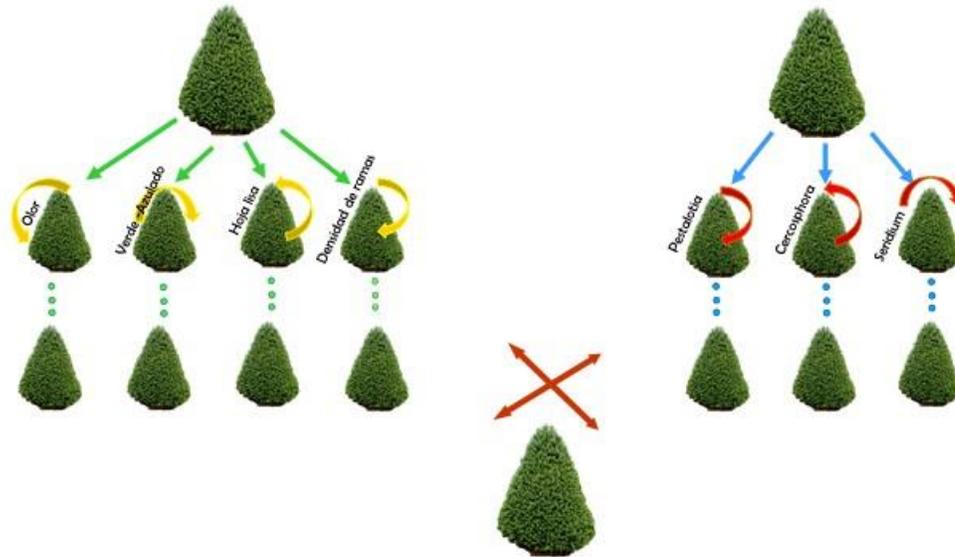


Figura 24: Esquema de la estrategia de mejoramiento genético de árboles de Navidad de ciprés en Costa Rica

Objetivo Específico 5: Gestionar un modelo organizacional, de mercadeo y comercialización, de árboles de Navidad en Costa Rica.

La opción de que los productores de árboles de Navidad de alguna región del país se vieran interesados en organizarse y crecer como un gremio sólido a futuro, se vio reflejada desde un inicio del proyecto con los productores de café de Llano Bonito de Naranjo de Alajuela. Su interés en aprender, asistencia en las convocatorias de actividades varias, trabajo en equipo tanto a nivel familiar como entre vecinos, compartir entre ellos experiencias en el trabajo de campo, poseer experiencia práctica en realizar actividades para el desarrollo comunitario fueron, entre otras, las cualidades más importantes por las que se escogieron para gestionar con ellos un modelo organizacional de productores de árboles de Navidad.

La respuesta ha sido positiva y aunque el grupo no supera los 8 productores (sin incluir en estos a sus familiares como colaboradores en todo el proceso), se logró desarrollar dos ferias -únicas a nivel nacional- de árboles de Navidad, las cuales consecuentemente están ayudando de manera directa al mercadeo y comercialización de sus productos de momento a nivel local. El impacto de estas dos actividades ha implicado mayor unión de grupo, buenas expectativas para mejorar el proceso de producción tendiente a una mejor calidad de los árboles, así como mejor disposición en mejorar o establecer nuevas estrategias para la comercialización y mercadeo de sus productos.

En este último aspecto y con la anuencia en mejorar es que a lo interno de la Unidad de Vinculación de la EIFO se ha podido montar una estrategia para capacitar a este grupo de productores. Las temáticas en materia de mercadeo de árboles tanto a clientes de la zona como a visitantes del Valle Central está induciéndolos a producir más cantidad de árboles y de mejor calidad, sin antes tener el conocimiento (a ser obtenido vía capacitación) de cuál es el costo real de producción de cada árbol en su condición de finca (sea en plantación pura o en asocio con café).

Como grupo organizado en gestión, se prevé que estos productores llegarán a mejorar su proceso de producción, mercadeo, comercialización y calidad del producto final a aras de una mejor calidad de vida con impacto en el desarrollo local.

12. Recomendaciones

El mejor paquete tecnológico a la fecha que podría establecerse se resume con los siguientes elementos: **a)** el uso del espaciamiento de 1,25 x 1,25m en distribución tresbolillo; **b)** la preparación mecanizada previa del terreno (preferiblemente arado + rastrea + subsolado en casos extremos). En caso de no poderse introducir maquinaria en el sitio, se puede utilizar un hoyador; **c)** la corrección de la acidez cuando aplique; **d)** la aplicación de un régimen importante de fertilización granular y foliar (alto en nitrógeno) durante todo el ciclo de producción; **e)** el uso de materiales seleccionados de más rápido crecimiento y de rápida respuesta a la poda de formación; **f)** el uso de fungicidas de manera preventiva y curativa para reducir el efecto del ataque de hongos al follaje, son los elementos esenciales.

Futuras investigaciones deberán abordar los siguientes elementos silviculturales: **a)** analizar el potencial del uso de fertilizantes foliares con énfasis en nitrógeno, asociados a las podas de formación; **b)** investigar el uso de fungicidas y biocontroladores a nivel preventivo y a nivel curativo, con el fin de lograr reducir el impacto de los patógenos; **c)** de manera prioritaria se deberá dar continuidad al programa de mejoramiento genético, basado en la estrategia de desarrollo de variedades. Importante también será la búsqueda de materiales con resistencia o tolerancia a los patógenos que afectan al ciprés en el país.

De importancia medular está la continuidad de trabajo organizacional con el primer grupo de productores conformado en la zona alta de Naranjo. El desafío principal será, no solo los elementos silviculturales ya mencionados, sino aspectos de mejora en el mercadeo y estrategia de comercialización del árbol de navidad como producto forestal.

13. Agradecimientos

El grupo de investigadores desean agradecer a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Tec por el apoyo y aportes económicos de operación del proyecto. Un agradecimiento especial para todos los productores de árboles de navidad que nos acompañaron, apoyaron y permitieron el establecimiento de ensayos en sus propiedades. En particular, queremos agradecer a don Didier Monge productor de San Cristóbal Sur de Desamparados y al grupo de productores del Comité de Árboles de Navidad de la Asociación de Desarrollo de Llano Bonito de Naranjo, con quienes disfrutamos mucho la realización de las dos Ferias Nacionales del árbol de navidad.

14. Referencias

Acevedo, B. 1997. **Evaluación del potencial de propagación vegetativa de material juvenil de *Anacardium excelsum* (Berb-Ballos) Skeels, *Copaifera aromática* y *Tabebuia rosea* (Bertol) DC, especies maderables nativas de la Zona Central de Panamá.** Tesis de Bachillerato para optar el título de Ing Forestal. Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Arguedas, M. 2008. **Problemas fitosanitarios del ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill) en Costa Rica.** Revista Kurú (Instituto Tecnológico de Costa Rica) Vol 5 (13)

Arguedas, M y Chaverri, P. 1993. **Enfermedades del follaje del ciprés.** Serie Plagas y enfermedades forestales N° 4. ITCR-CIT. Cartago. 8 p.

Chapa, B. M. C. 1976. Principales técnicas de cultivo "árboles de navidad". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín divulgativo No 41. México. 54 p.

Magaña, G. E. 1996. Evolución del mercado de los árboles de navidad en el periodo 1980-1995. Tesis de Licenciatura. Chapingo, México. 66 p.

Murillo, O., Badilla, Y., Rojas, F., Torres, G., Carvajal, D., Canessa, R. 2015. Informe Final Proyecto de Investigación. **Cultivo de especies maderables nativas de alto valor para pequeños y medianos productores.** Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 78 p.

Petit-Aldana, J., Uribe-Valle, G., 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 vol.16 no.1 Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. ene./jun. 2010.

Rojas R. F. y Torres C. 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. 47 p.

Sánchez, S. & Murillo, O. 2000. **Potencial de reforestación clonal con ciprés.** Rev. Forestal Centroamericana. N° 32:30-33.

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. 61 p.

15. Apéndices (opcional)

15.1 Acuso de recibo del artículo “Estudio de espaciamientos y de relaciones alométricas en árboles de navidad de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.)” y manuscrito completo, enviado a la Revista Ciencias Ambientales.



Revista Ciencias Ambientales
Escuela de Ciencias Ambientales
Universidad Nacional de Costa Rica



Viernes, 20 de agosto de 2016
UNA-EDECA-REV-OFIC-066-2016

Sr. Olman Murillo-Gamboa
Sra. Yorleny Badilla-Valverde
Sr. Gustavo Torres-Córdoba
Sr. Dorian Carvajal-Vanegas
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Estimados señores:

La *Revista de Ciencias Ambientales* les agradece el interés de publicar su artículo: *Estudio de espaciamientos y de relaciones alométricas en árboles de navidad de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.)*.

En este sentido, les indicamos que procederemos a iniciar el trámite correspondiente para concretar la publicación.

Saludos cordiales,

Sergio A. Molina Murillo, Ph.D.
Director

Apartado: 85-3000 Costa Rica.
Teléfono: + (506) 2277-3588
Fax: + (506) 2277-3289
Correo: revista.ambientales@una.cr

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

Spacing study and allometric relationships in cipres (*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, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal; dcarvajal@itcr.ac.cr, ^b Máster en Ciencias Forestales; Investigador y académico, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal; dtorres@itcr.ac.cr, ^c Máster en Ciencias Forestales; Investigadora y académica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal; yorlennybadilla@yahoo.es, ^d Doctor especialista en genética forestal; Investigador y académico, Instituto Tecnológico de Costa Rica; Escuela de Ingeniería Forestal, olmuga@yahoo.es

Resumen

El árbol de navidad se ha convertido en parte importante de la cultura del 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 1,5m en distribución regular, 1,5 x 1,5m en distribución tresbolillo, 1,25 x 1,25m en tresbolillo y 1,8 x 1,8m en distribución regular. El mejor espaciamiento en términos de crecimiento del diámetro basal fueron los dos de 1,5 x 1,5m, sin embargo, al plantar a 1,25 x 1,25m se aumentaría en 2000 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, 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: árboles de navidad, ciprés, *Cupressus lusitanica*, espaciamientos, silvicultura

Abstract

Christmas trees have become an important part of culture in Costa Rica and most countries in Latin America. This research was developed aimed to improve the technological package of this important industry, which occurs totally in small scale farmers. The study evaluated four initial spacings, with the scope of finding the optimal initial distance of planting in terms of productivity and, trying to achieve a christmas tree size at the age of 1.5 years-old. Four spacings 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 spacings, in terms of diameter growth, were the both 1.5 x 1.5m. However, planting at 1.25 x 1.25m in diagonal distribution, would increase in 2000 the number 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 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. A first regression model reached an $r = 0.77$ which allows us for circumference estimations at any basal diameter.

Key words: Christmas trees, cipres, *Cupressus lusitanica*, silviculture, spacing

1. Introducción

El árbol de navidad se ha convertido en parte importante de la cultura del costarricense de hoy día. 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., generalizándose su uso en Europa. Posteriormente en el año 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 Ramírez, Orozco Díaz, 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 (4444/ha), que pudieran ser raleadas a los 3-4 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 estimuló el establecimiento de plantaciones como un cultivo en la década de los años 80 (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 hoy día en muchos países, una industria forestal generadora de gran cantidad de empleo y divisas (Orozco Ramírez, Orozco Díaz, Patiño 2009). En la actualidad costarricense 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 2009).

Esta modalidad de plantación tiene la particularidad de que los árboles reciben un especial cuidado desde el momento de su plantación hasta la cosecha, haciéndola de carácter intensivo. Ha sido ejercida por parte del productor costarricense con procedimientos empíricos siguiendo una lógica similar al cultivo del café a los que está acostumbrado, y no basado en buenas prácticas culturales adecuadas. Sin embargo, el productor de árboles de navidad tiene esta actividad como complementaria de otras de mayor relevancia, a pesar de que les 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, los productores no han 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 productores ubicados en las provincias de Heredia, Alajuela, San José y Cartago. El otro hallazgo importante, es que absolutamente todos los actores son micro y pequeño productores, en áreas que oscilan desde unos cuantos metros cuadrados hasta una hectárea.

En términos de silvicultura básica, una de las primeras preguntas debe ser en relación con el espaciamiento inicial. Esta actividad es sumamente 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 1,5m como el más recomendado, aunque se ha utilizado desde 1,2 x 1,2m (Orozco Ramírez, Orozco Díaz, Patiño 2009). Espinosa-Urango (2006) propone que para producir árboles de 1,7 a 2,2 m de altura, los espaciamientos deben ser entre 1,5m hasta un máximo de 1,8m. 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 1,8m, con un ámbito que varía desde 1,5 a 2,2m (Espinosa-Uranga 2006; Jiménez-Martínez, Rodríguez-Hernández y Pérez-Torres 2009; Orozco Ramírez, Orozco Díaz, Patiño 2009). Otros autores mexicanos mencionan que es posible plantar hasta 7 000 árboles/ha (1,2 x 1,2m) en condiciones óptimas de producción con especies coníferas diferentes a ciprés (Álvarez Moctezuma et al. 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. Si se analiza, una pequeña diferencia de tan solo unos centímetros podría significar un aumento considerable en el número de árboles/ha en esta actividad. Por lo que 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 1700 msnm y precipitaciones de aproximadamente 2500 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 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. El ensayo se estableció en junio del 2013 y evaluó cuatro tratamientos bajo un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. La Unidad Experimental fue una parcela de 32 árboles (4 x 8).

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. Por tanto, todos los 32 árboles formaron parte de la parcela útil. En el **Cuadro 1** se muestra detalles del ensayo de espaciamientos.

Cuadro 1. Diseño del ensayo de espaciamientos para la producción de árboles de navidad.

Espaciamiento (m)	No. árboles/ha	Área de la parcela (m ²) 4 x 8 árboles
1,8 x 1,8	3085	7,2 x 14,4 m = 100m ²
1,25 x 1,25 (tresbolillo sin modificar espaciamiento)	6400	5 x 10 m = 50m ²
1,5 x 1,5 (tresbolillo sin modificar espaciamiento)	4444	6 x 12 m = 72m ²
1,5 x 1,5	4444	6 x 12 m = 72m ²
Área máxima por bloque = 7,2 x 48,4m = 350 m²		
Área máxima del ensayo = 21,6 x 48,4m = 1050 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:

$$Y = B_i + T_j + B \times T + e$$

Donde,

$B_i = i$ - 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)*(T-1) grados de libertad.

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

Como variables de respuesta del ensayo se midió únicamente el diámetro basal (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.

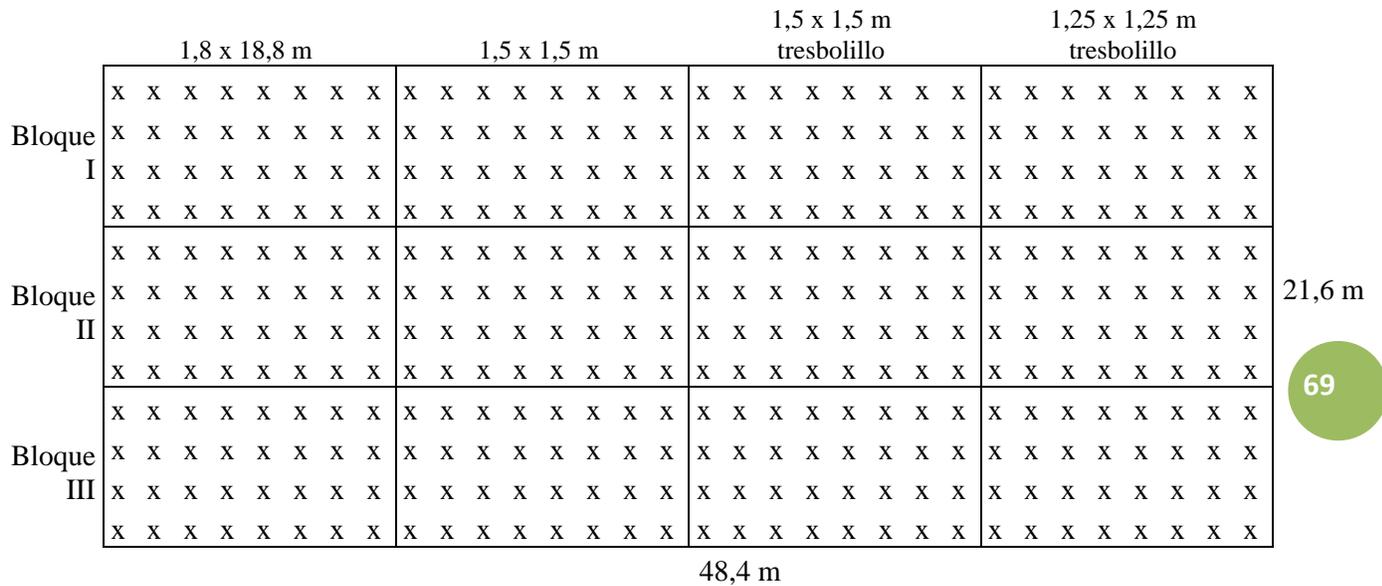


Figura 1. Distribución espacial del ensayo de espaciamientos de árboles de navidad.

Los datos fueron organizados en una hoja en 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 suelos 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 1 (Steel y Torrie, 1982)

$$DMS = t * \sqrt{\left(\frac{CMR}{n1} + \frac{CMR}{n2}\right)} \tag{1}$$

donde:

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

n₁ = No. de observaciones utilizadas para obtener la primera media a comparar

n₂ = 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 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, definido 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. Así también 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 dan sustento a los resultados del estudio.

En el **Cuadro 2** se puede observar los resultados del estudio de espaciamientos. Puede notarse que el espaciamiento 1,5 x 1,5m 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 1,25m. El resultado del espaciamiento 1,8 x 1,8m 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 1,5m 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	1	2	3	Promedio del Espaciamiento (28 meses)
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	2159,774	3	719,925	6,518	0,00026	2,628
Bloque	10958,742	2	5479,371	49,613	9506538-E2	3,019
Interacción	2924,32	6	487,385	4,413	0,00025	2,123
Error	41084,648	372	110,443			
Total	57127,477	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 plantas.

La diferencia mínima significativa entre tratamientos (DMS, **Ecuación 1**) fue de 3,05 mm de diámetro basal. Por tanto, claramente establece diferencias significativas entre los dos espaciamientos 1,5 x 1,5m y los restantes dos. Pero implica que no hubo diferencias significativas entre los espaciamientos 1,25 x 1,25m y 1,8 x 1,8m.

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

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 y la altura total, así como con la circunferencia del árbol promedio, como es usual entre estas variables en árboles. 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 productores experimentados.

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

Una correlación tan fuerte como la del diámetro basal y la circunferencia es de suma utilidad práctica. Ya que permitirá basar decisiones silviculturales de manejo en esta variable de fácil medición. La circunferencia mayor del árbol de navidad guarda una relación visual importante, agradable y decisiva en los compradores. Por tanto, se puede buscar una relación entre estas dos variables, para utilizar 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

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

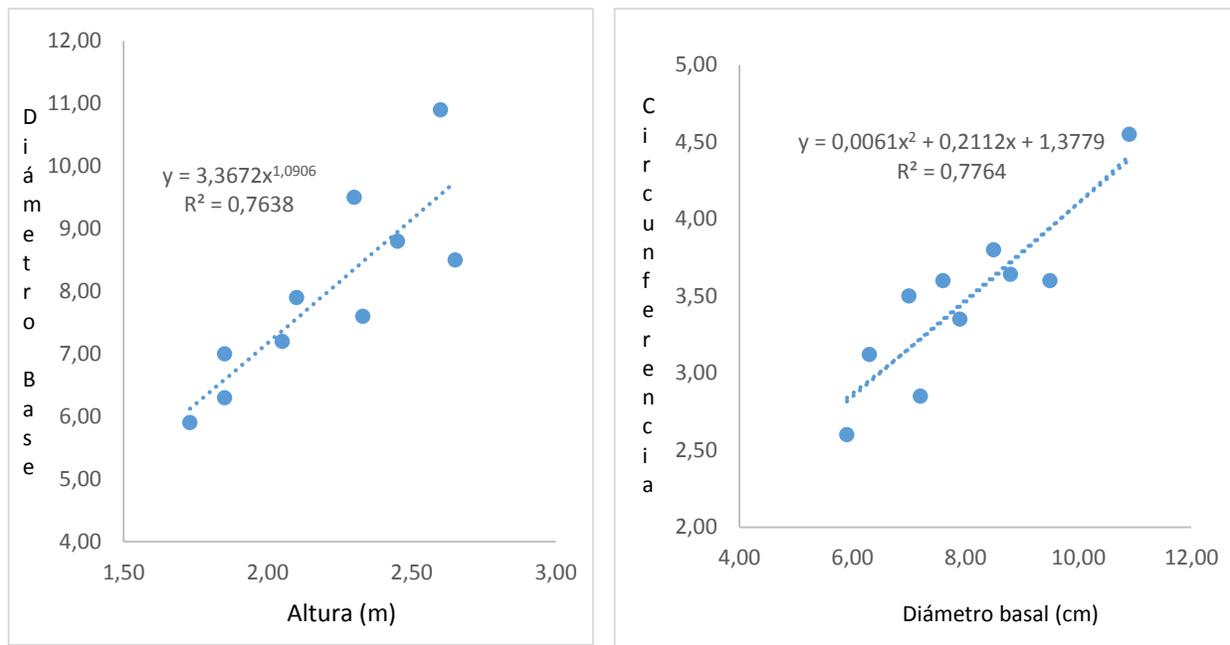


Figura 2. Funciones de predicción de la altura total (izquierda) y de la circunferencia máxima (derecha) a partir del diámetro en la base en árboles de navidad.

Como puede apreciarse en la **Figura 2**, ambas funciones de predicción tuvieron un aceptable ajuste ($R^2 > 0,76$ en ambos casos. La altura total guarda una relación muy estrecha con el diámetro basal, la circunferencia también la tiene con el diámetro basal.

4. Discusión y conclusiones

Los cocientes entre las tres variables muestran valores interesantes. Puede observarse primero que la circunferencia promedio de un árbol de navidad en esta empresa, tiene aproximadamente 3,5 m, o también, 1,11 metros 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 2,65m), con un diámetro basal promedio de 8 cm. En investigaciones con árboles de navidad de ciprés en Venezuela (Petit–Aldana, J., Uribe–Valle, G., Muchacho Briceño, R. 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 sumamente práctico para control de calidad en campo.

Si se expresa esta misma información en forma de ecuación (**Figura 2**), puede entonces predecirse cualquier otra circunferencia máxima del árbol de navidad en relación con el diámetro basal o con su altura total, a edades diferentes. Las demás relaciones alométricas posibles no tienen mayor interés práctico. Se observa por tanto, que las relaciones alométricas en árboles de navidad

producen información de suma utilidad para el manejo de los árboles y en particular, como control de calidad en la forma del árbol producto de las podas.

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 la fuerte variación en el terreno, que gracias a su correcta disposición en el terreno irregular, logró disminuir el efecto de la variación del sitio en los tratamientos. Aún así, la interacción Bloque x Espaciamiento 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 1,25m 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 1,5m, hubo diferencias significativas tanto con el espaciamiento de 1,25 x 1,25m, como con el de 1,8 x 1,8m. 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**).

Puede afirmarse 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 1,5 x 1,5m en distribución tresbolillo, con un potencial de plantar 4444 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 1,5m) y el de mayor densidad (1,25 x 1,25m), hubo en realidad una diferencia de aproximadamente 4 mm en diámetro a los 28 meses (**Cuadro 2**). Esta diferencia en magnitud es en realidad 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 1,25m en distribución tresbolillo y lograr así aumentar en casi 2000 árboles/ha la capacidad de producción de árboles de navidad, si se compara con el espaciamiento de 1,5 x 1,5m, que es el más utilizado hoy día. Si se revisa los resultados obtenidos del análisis de la alometría de los árboles de navidad, se determinó que el diámetro promedio del follaje máximo de un árbol maduro es de 1,1m (**Cuadro 6**). Por tanto, 1,25m 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 ejes aumentará.

Con un aumento tan significativo en el número 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. Claramente, estos resultados sugieren continuar investigando con otros espaciamientos y distribuciones espaciales.

5. Conclusiones

Se concluye que el espaciamiento de 1,25 x 1,25m en distribución tresbolillo, es el más apropiado y de mayor productividad para el cultivo de árboles de navidad. El espaciamiento de 1,5 x 1,5m es el que mejor crecimiento del diámetro basal produce.

Las relaciones alométricas ideales de los árboles de navidad, basadas en las preferencias de los consumidores, guardan una relación de 0,67 o $2/3$ entre la altura total y la circunferencia (h/circunferencia), que corresponde a una relación de 0,5 si se expresa la circunferencia en diámetro (h/diámetro de circunferencia). Las relaciones alométricas pueden ser utilizadas como base para el control de calidad y de guía en la formación del árbol de navidad.

5. Recomendaciones

Del estudio se determinó la necesidad de continuar investigando otros distanciamientos en la región de 1,25 a 1,5m, 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 fincas de distintos productores, con el fin de incluir árboles con otras proporciones de circunferencia/altura, según lo defina la aceptación de mercado.

6. 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. 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.

7. Referencias

- Alvarado Blanco, Manolo. (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). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica
- Álvarez Moctezuma, J.G., Colinas León, M.T., Sahagún Castellanos, J., Peña Lomelí, A. y Rodríguez De la O, J.L. (2009). Tratamientos de poscosecha en árboles de navidad de *Pinus ayacahuite* Ehren y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Rev. Cien. For. en Méx. vol 34 no. 106 México jul./dic.
- Arguedas, Marcela. (2008). Problemas fitosanitarios del ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill) en Costa Rica. Revista Kurú (Instituto Tecnológico de Costa Rica), Escuela de Ingeniería Forestal Vol 5 (13).
- Arguedas, M. y Chaverri, P. (1993). Enfermedades del follaje del ciprés. Serie Plagas y enfermedades forestales N° 4. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica-Centro de Información Tecnológica.

Bucarey, Jose R. (1967). El ciprés (*Cupressus lusitanica*) como base de las reforestaciones planificadas en el Valle Central de Costa Rica. (Tesis inédita de maestría). IICA. Turrialba, Costa Rica.

Espinosa-Urango, M.A. (2006). Evaluación del crecimiento de tres especies de árboles de navidad y análisis de sus costos de producción. (Tesis inédita de maestría). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias. Área Académica de Ingeniería Forestal. Hidalgo, México.

Jiménez-Martínez G., Rodríguez-Hernández, R. y Pérez-Torres, M.A. (2009). El mercado potencial de árboles de navidad naturales. *Naturaleza y Desarrollo* 7(2): 23-32.

Murillo-Gamboa, O., Badilla-Valverde, Y., Torres-Córdoba, G., Carvajal-Vanegas, D. y Canessa-Mora, R. (2015). Informe Final Proyecto de Investigación. Cultivo de especies maderables nativas de alto valor para pequeños y medianos productores. Cartago, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Orozco-Ramírez, N.J., Orozco-Díaz, A., Patiño, E.A. (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* vol.16 no.1 Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. ene./jun. 2010.

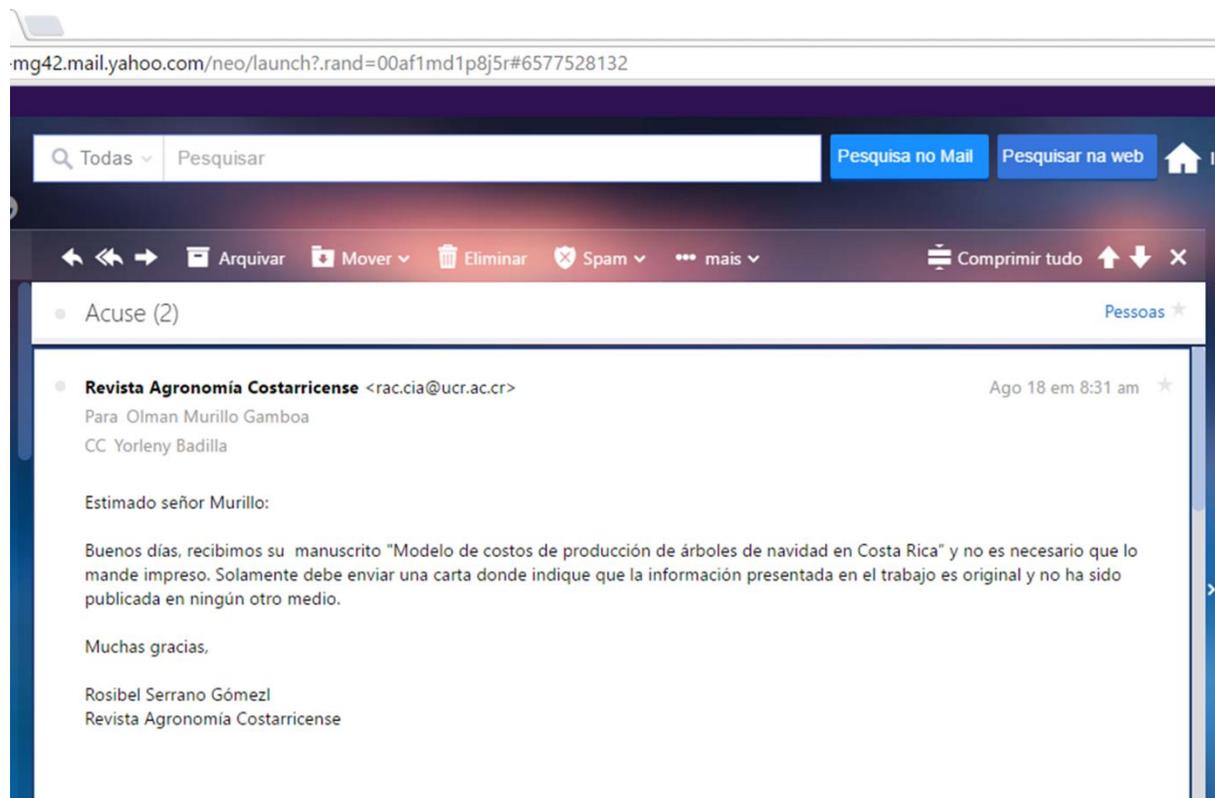
Rojas-Rodríguez, F. y Torres-Córdoba, G. (1989). Árboles de Navidad: Establecimiento y Manejo. Serie Informativa Tecnología Apropiaada N° 19. Cartago, Costa Rica: Centro de Información Tecnológica, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Sánchez-Granados, S. y Murillo-Gamboa, O. (2000). Potencial de reforestación clonal con ciprés. *Rev. Forestal Centroamericana*. N° 32:30-33.

Steel, R. G. D. y Torrie, J. H. (1988). Bioestadística: principios y procedimientos. México: McGraw-Hill Interamericana.

Torres-Torres, G. y Carvajal-Vanegas, D. (2012). Árboles de navidad: Estado de la reforestación en Costa Rica. Informe final de actividad de fortalecimiento a la investigación. Cartago, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

15.2 Acuso de recibo del artículo “Modelo de costos de producción de árboles de navidad en Costa Rica” y manuscrito completo, enviado a la Revista Agronomía Costarricense.



Modelo de costos de producción de árboles de navidad en Costa Rica

Murillo, Olman^{12*}; Torres, Gustavo*; Carvajal, Dorian*; Badilla, Yorlenny*

Resumen

La actividad de producción de árboles de navidad es una industria forestal basada en ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) que data desde los años 60 en el país. Se construyó un modelo de costos exhaustivo sobre el cultivo de árboles de navidad en Costa Rica, basado en un paquete tecnológico de un ciclo de producción de 2,5 años, que planta 4444 árboles/ha (1,5 x 1,5m de distanciamiento) y logra vender efectivamente 3111 árboles (70%). La totalidad de los

¹ Autor por correspondencia olmuga@yahoo.es

* Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica

productores del país son micro y pequeños empresarios, cuya área de producción rara vez supera la hectárea. El modelo incluye el costo de establecimiento de 200 m de cercas/ha y realiza una estimación del costo de mano de obra que incluye la seguridad social voluntaria. El costo del jornal se establece en ₡11 273,75 (\$20,3, a una tasa de cambio de 1 US \$ = ₡555). El ciclo completo de producción requiere de aproximadamente 425 jornales en 2,5 años, que corresponde a 120 jornales/año o ligeramente inferior a un medio tiempo de un trabajador agrícola. El costo total de producción se determinó en ₡8 077 825 para una hectárea (\$ 14 554,6), donde el 57,7% corresponde a mano de obra y el restante 42,3% a los insumos agrícolas. El costo total de producción por árbol es de ₡2 600 que equivale a \$4,68, mientras que el precio de venta es siempre superior a los ₡7 500 o tres veces el costo de su cultivo. Se concluye que la base de datos es robusta y realista de la actividad en Costa Rica. Toda mejora en el paquete tecnológico se verá reflejada en los indicadores de productividad y en una disminución de los costos de producción. Se recomienda continuar con la utilización de este modelo de costos para futuras investigaciones y para análisis financieros.

Palabras clave: árboles de navidad, costos, silvicultura, ciprés, *Cupressus lusitanica*

Abstract

Christmas trees production is a local industry based on cypress (*Cupressus lusitanica* Mill.) and initiated in the early 60's in the country. An exhaustive costs model was builded up on christmas trees production in Costa Rica, based on a technological package of a production cycle of 2.5 years, planting 4444 trees/ha (1.5 x 1.5m distance) and selling 3111 trees (70%) at the end of the period. All producers in the country are micro and small entrepreneurs, whose production area rarely exceeds one hectare. The model includes costs of setting up 200 m fences/ha and estimates the cost of labor which includes voluntary social security. The wages costs is established in ₡11273.75 (\$20.3 at an exchange rate of 1 US \$ = ₡555). A complete production cycle requires approximately 425 wages in 2.5 years, which corresponds to 120wages/year or slightly below than an average half time farmworker. The total costs of planting one hectare was estimated in ₡8077825 (\$ 14554.6), where 57.7% corresponds to labor work and the remaining 42.3% to agricultural supplies. Total costs of producing a single christmas tree is ₡2600 (\$4.68), meanwhile selling prices are above ₡7500 or three times production costs. It is concluded that the database is robust and realistic in relation to this activity in Costa Rica. Any improvement in the technological package will be reflected in productivity indicators and in a costs production

diminution. It is recommended the usage of this costs model for future investigations and financial analysis.

Key words: Christmas trees, costs, silviculture, cypress, *Cupressus lusitanica*

Introducción

La actividad de producción de árboles de navidad es una industria forestal basada en ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) que data desde los años 60 o quizá un poco antes (Bucarey 1967). Aunque en esos años era un subproducto (raleos) de las plantaciones de ciprés y, no fue hasta los años 80's que se conoce de la existencia de plantaciones exclusivamente establecidas para tales fines (Rojas y Torres 1989). Como parte de la evolución de la actividad, hoy día se habla del cultivo de árboles de navidad, donde se incorporan aspectos de preparación del suelo, fertilización y enmiendas, control fitosanitario, mejoramiento genético, entre otros elementos técnicos en el paquete silvicultural (Arguedas y Chaverri 1993; Sánchez y Murillo 2000; Arguedas 2008; Torres et al 2016).

Hoy día prácticamente el 100% de la producción ocurre en pequeños predios, que rara vez sobrepasan los 10 000 m², dado lo intenso de la actividad y la posibilidad de plantar más de 4000 árboles/ha (Torres y Carvajal 2012). Estos autores encontraron que los problemas en la comercialización y la ausencia de organizaciones de productores, posiblemente constituyan la limitación más importante para el desarrollo de su cultivo en el país.

La producción de árboles de navidad continúa siendo una actividad complementaria para los productores, en muy pocos casos constituye su ingreso o sustento principal. Los costos reales de producción es hasta ahora información desconocida, lo cual es una limitante para un mayor desarrollo de la industria. Torres y Carvajal (2012) estimaron que la demanda anual sobrepasa las 30 000 unidades. Si se estima que el valor promedio de venta en el mercado del 2015 fue de poco más de ¢ 9 000/árbol (\$16,3), esta actividad representó un movimiento económico superior a los ¢ 275 millones (\$ 500 000) en el 2015.

Sin embargo, la información disponible sobre los costos de producción es de difícil comparación debido a la variación en el paquete tecnológico empleado por los productores. Países como México, con una amplia tradición y un gran mercado de árboles de navidad, sus especies requieren de 5 a 8 años para completar un ciclo de producción (Espinosa-Urango, 2006; Jiménez-Martínez et al 2009; Orozco et al 2009). En ese país, los costos de producción oscilan entre los

US \$12 y \$15 por unidad en 8 años de producción. Mientras que en Costa Rica, un ciclo de producción es de aproximadamente 2,5 años para obtener un árbol de 1,8m de altura (Torres y Carvajal, 2012). Por lo que este estudio realizó una investigación comprensiva y exhaustiva para establecer un modelo de costos de cultivo de árboles de navidad para las condiciones y especie utilizadas en Costa Rica.

Metodología

Se trabajó con una base de datos creada en EXCEL sobre costos de producción de reforestación en Costa Rica, desarrollada por el grupo de investigación en plantaciones forestales de la Escuela de Ing. Forestal del ITCR (Murillo et al, 2015). El segundo insumo fue la realización de entrevistas a varios productores líder, donde paso a paso, actividad por actividad, año con año, se adaptó esta base de datos a la realidad de la actividad de producción de árboles de navidad. Se revisó en detalle no solo las actividades realizadas en este cultivo para cada uno de los tres años, sino también su frecuencia, el rendimiento de la labor y en qué proporción de una hectárea se realiza la actividad. Con base en este valioso insumo, se construyó el modelo de costos al detalle.

La base de datos de costos de plantaciones se utilizó solamente en sus primeros tres años, que corresponde con un ciclo de producción de árboles de navidad. Como parte del proceso de revisión de cada actividad, se fue eliminando todas aquellas labores no presentes en el cultivo de árboles de navidad. Así también se agregaron actividades propias de la actividad señaladas por los productores, como la poda de formación que ocurre cada 2 a 3 meses, la fertilización foliar que se acostumbra aplicar después de cada poda y, la venta de árboles, que es una actividad muy intensiva al final del ciclo de producción y exige una importante cantidad de jornales.

La actividad del cultivo de árboles de navidad es realizada en el país exclusivamente por pequeños productores, cuya extensión en producción, rara vez supera la hectárea (Torres y Carvajal, 2012). Esto implica que todas las labores son realizadas directamente por los mismos productores, apoyado ocasionalmente con la participación de peones contratados por el día o la labor. Dado que no es razonable incluir un modelo de costos sin incluir el pago de la seguridad social, al costo del jornal se le agregó el pago del seguro voluntario a la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), determinado para el I semestre 2016 en Costa Rica en ₡ 25 647 (US \$ 46,21, a una tasa de ₡555/1 \$). Para su estimación en el jornal, se asumió que un trabajador ocasional logra ocuparse en promedio 20 días/mes, que resultó en un valor diario de ₡ 1282,35. Por tanto, el costo del jornal se determinó mediante el valor oficial (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, I semestre 2016) actual ₡ 9 663,04 + ₡ 1 282,35 de la CCSS = ₡ 10 945,4,

que asume entonces que el trabajador con ese dinero podrá pagar en forma voluntaria el costo de su seguridad social. Finalmente, a este valor hay que agregarle el pago de una póliza de riesgos laborales, que es obligatoria en la legislación nacional y corresponde a un 3% del salario. De tal manera que el costo utilizado del jornal del peón agrícola con cargas sociales para el modelo fue de ₡ 11 273,75, que corresponde a US \$20,3.

Como parte del modelo de costos debe incluirse el establecimiento o mejoramiento de la cerca, que corresponde a un costo fijo que ocurre al inicio del cultivo de los árboles de navidad. Por lo general no se cerca toda el área plantada, la prioridad está en las secciones de la plantación que colinden con caminos públicos para evitar que ingresen animales o vandalismo. Por lo tanto, el costo de cercas no corresponde a un 100% de la periferia del área plantada sino a una proporción, que se podría estimar en un 50% como máximo. Dado que el plazo de producción de los árboles es de tan solo 3 años, no se incluyó en el modelo los costos de mantenimiento y reparación de las cercas. El detalle de los costos e insumos para el establecimiento de la cerca se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1: Costos de establecimiento de cercas de protección de árboles de navidad.

Costos de establecimiento de 200m de cerca				
Mano de Obra	Unidad	Cantidad	₡	₡
Hoyado	Jornal	2,00	₡11 274	₡22 548
Distribución y sembrado de postes	Jornal	3,00	11274	33 821
Templado y grapado del alambre	Jornal	0,50	11274	5 637
Subtotal Mano de Obra		5,5	33 821.26	₡62 006
INSUMOS, Cerca Mixta (Poste muerto cada 5m y poste vivo cada 2m)			Costo Unitario	Costo
Poste vivo	Poste	60	1 200	72 000
Postes en madera	Poste	40	3 000	120 000
Postes madre (esquinero o Pie de amigo)	Poste	4	5 000	20 000
Alambres de 330 metros/ 3 hilos en 200m lineales	Rollo	1,82	22 000	40 000
Grapas	Kg	0,50	1 300	650
Subtotal Insumos				₡252 650
TOTAL COSTOS				₡314 656
Total costo en US \$				\$566,9

Para estimar el costo total de producción de un árbol de navidad individual, se asumió un modelo basado en 4444 árboles/ha, que corresponde al espaciamiento inicial de 1,5 x 1,5m como el más utilizado en el país. Se asumió que de este total, un 30% de los árboles no se llegan a vender por causa de mortalidad en campo (10 a 15%), daños al follaje por enfermedades y por pobre desarrollo en tamaño (Torres y Carvajal, 2012). Por lo tanto, los costos totales se relacionaron con un total estimado de 70% de árboles efectivos, que corresponde a 3111 individuos/ha.

Resultados

Los resultados del análisis de costos se muestran en el cuadro 2, que incluye desde el año “0” hasta el año 3 completo. Los resultados muestran en detalle y por separado, la cantidad de mano de obra para cada actividad, así como los insumos respectivos utilizados.

Cuadro 2: Detalle de cantidad de Mano de Obra, costos de insumos y costo de mano de obra para la producción de 4444 árboles de navidad/ha (plantados a 1,5 x 1,5m), detallados desde el año 0 hasta el año 3 (US \$ = ¢555, julio 2016).

Preparación y Establecimiento de la plantación (Año 0)	Jornales/ha	Frecuencia	% de la Ha	Total insumos	TOTAL Costo M.O.
Acumulación y Quema de Residuos (33% del área)	0,46	1	0	0,00	1 571
Eliminación árboles remanentes, repique con motosierra, 10% del área	1,06	1	0	0,00	1 104
Repique y limpieza manual de terreno (10% del área)	1,25	1	0	0,00	1 299
Chapea Manual general del área (100% del área)	3,10	1	1	0,00	32 209
Control químico de malezas (pre-emergente) (100% del área). 1 L. Oxiflurofén/ha.	0,71	1	1	0,00	7 360
Repaso control químico de malezas (20% del área)	0,38	1	0	0,00	779
Herbicida pre-emergente + adherente		1	1	11 070	0,00
Combustibles y lubricantes		1	1	5 675	0,00
Herbicida sistémico + adherentes + Herbicida contra gramínea		1	1	19 430	0,00
Establecimiento y reparación de cercas (200m/ha), Mano de Obra	5,50	1	1	0,00	62 005

Postes, alambre, grapas y demás materiales de cercas		1	1	252 650	0,00
Trazado-marcación	8,31	1	1	0,00	86 313
Preparado y acarreo de estacas guía para plantar	2,67	1	1	0,00	27 715
Rodajea pre-plantación	22,67	1	1	0,00	235 578
Hoyado	12,09	1	1	0,00	125 641
Plantas	200	4 444	1	88 8800	0,00
Descarga y Distribución de plantas	5,05	1	1	0,00	52474
Encalado manual toda el área (1-2 meses antes de plantación). 2 a 4 Ton/ha	6,34	1	1	0,00	65 823
Cal		1	1	20 000	0,00
Fertilización al momento de plantación. 30 a 50 g/planta = 40 k/ha (1 saco)	8,30	1	1	0,00	86 269
Fertilizante		1	1	80 771	0,00
Plantación de árboles (1,5 x 1,5m = 4444/ha)	15,24	1	1	0,00	158 371
Resiembra 8-10% (a los 30 días después de plantado)	4,15	1	1	0,00	43 097
Total Mano de Obra año 0	92,22			1 278 396	1 066 337

Total de Mano de Obra + Insumos Año 0 = ¢ 2 344 733

Año 1, Mantenimiento y manejo	Jornales/ha	Frecuencia	% de la Ha	Total insumos	TOTAL Costo M.O.
Chapea con Motoguadaña (100% del área)	1,13	4	1,00	0	50 732
Combustibles y lubricantes motoguadaña	0,00	4	1,00	17 500	0,00
Control químico de malezas (100% del área). 1 L. Glifosato > 3 meses	2,20	2	1,00	0	49 604
Herbicidas, adherentes y otros	0,00	1	1,00	14 430	0,00
Rodajea y aporcado manual	22,15	2	1,00	0	499 442
Poda de formación (1 vez, eliminando el ápice)	8,43	3	1,00	0	285 086

Fertilización (2 y 6 meses después de plantado). 50 g/planta = 40 k/ha	8,26	2	1,00	0	186 328
Fertilizante	0,00	2	1,00	323 084	0,00
Control de plagas (hormiga, joboto, otros)	0,63	3	1,00	0	21 307
Insecticida hormiga	0,00	3	0,25	4 500	0,00
Otras labores no planificadas (5%)	2,00	1	1,00	0	22 547
Total Mano de Obra, gastos generales año 1	44,80			359 514	1 115 047

Total de Mano de Obra + Insumos Año 1 = ¢ 1 474 561

Año 2	Jornales/ha	Frecuencia	% de la Ha	Total insumos	TOTAL Costo M.O.
Chapea con Motoguadaña (50% del área)	1,58	3	0,75	0	40 163
Combustibles y lubricantes motoguadaña	0,00	3	0,75	9 844	0,00
Control químico total de malezas (75% del área)	2,40	3	0,75	0	60 878
Herbicidas, adherentes y otros	0,00	3	0,75	32 467	0,00
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0,64	1	0,50	0	3 593
Poda de formación (1 vez, eliminando el ápice)	8,43	5	1,00	0	47 5143
Fertilización foliar + fungicida	4,00	3	1,00	0	0,00
Fertilizante foliar (Bayfolán)	0,00	4	1,00	341 436	0,00
Fungicida	0,00	3	1,00	36000	0,00
Fertilización (mayo y set). 100 g/planta = 100 k = 5 quintal/ha	3,00	2	1,00	0	67 642
Fertilizante	0,00	2	1,00	484 625	0,00
Control de plagas (hormiga, joboto, otros)	1,00	2	1,00	0	22 547
Producto contra hormigas	0,00	2	0,25	3000	0,00
Otras labores no planificadas (5%)	1,30	1	1,00	0	14 656
Total Mano de Obra, gastos generales AÑO 2	22,35			¢907 372	¢84 624

Total de Mano de Obra + Insumos AÑO 2 = ¢1 517 550

Año 3	Jornales/ha	Frecuencia	% de la Ha	Total insumos	TOTAL Costo M.O.
Chapea con Motoguadaña (50% del área)	0,83	1	0,50	0,00	4 697
Combustibles y lubricantes motoguadaña	0,00	1	0,50	2 187	0,00
Control químico de malezas (50% del área)	0,67	2	0,50	0,00	7 516
Herbicidas, adherentes y otros	0,00	1	0,50	7 215	0,00
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0,51	1	0,50	0,00	2 889
Aplicación de insecticidas y otros	1,00	1	0,50	0,00	5 637
Producto contra hormigas	0,00	2	0,25	3000	0,00
Poda de formación	8,43	4	1,00	0,00	380 151
Fertilización foliar + fungicida	4,00	4	1,00	0,00	180 380
Fertilizante foliar (Bayfolán)	0,00	4	1,00	341 436	0,00
Fungicida	0,00	3	1,00	36 000	0,00
Fertilización (mayo y set). 100 g/planta = 100 k = 5 quintal/ha	3,00	2	1,00	0,00	67 642
Fertilizante	0,00	2	1,00	484 625	0,00
Vigilancia	40,00	1	1,00	0,00	450 950
Ventas (marcaje, atención a clientes)	60,00	1	1,00	0,00	676 425
Otras labores no planificadas (5%)	1,40	1	1,00	0,00	15 783
Total Mano de Obra año 3	120			¢874 464	¢ 1 792 071
Total de Mano de Obra + Insumos AÑO 3 = ¢ 2 666 535					

En el cuadro 3 se resume los costos y demanda de mano de obra en la actividad de producción de árboles de navidad en los 3 años de cultivo. En términos de costos por año, no hay grandes diferencias entre los 3 años de producción. La mano de obra representa el 57% de los costos totales y genera poco más de 425 jornales/ha en un ciclo de 3 años de producción, que podría también expresarse como en 140 jornales/ha/año. Este valor equivale aproximadamente a un ½ tiempo de un trabajador de campo/ha/año.

Cuadro 3: Resumen de costos y demanda de mano de obra para la producción de 4444 árboles de navidad (plantados a 1,5 x 1,5m) en una hectárea de terreno.

Año	Jornales	TOTAL Costo M.O.	Insumos	Total	%
0	94,59	1 066 337	1 283 196	2 344 733	29,03
1	98,91	1 115 047	359 514	1 474 561	18,25
2	72,73	684 624	907 372	1 591 996	19,71
3	158,96	1 792 071	874 464	2 666 534	33,01
TOTAL	425,18	¢4 658 079	¢3 419 745	¢8 077 825	
TOTAL en US \$		\$8 393	\$6 162	\$14 554,6	
	Proporción (%)	57,67	42,33		

Puede observarse que los costos de producción son relativamente parecidos en los años “1” y “2”. Mientras que el año “0” es significativamente más alto, explicado por el costo del establecimiento de la cerca. El año 3 es el más alto de todos los años, explicado por la dedicación de tiempo en la venta de árboles en los meses de noviembre y diciembre, como se detalla en la figura 1.

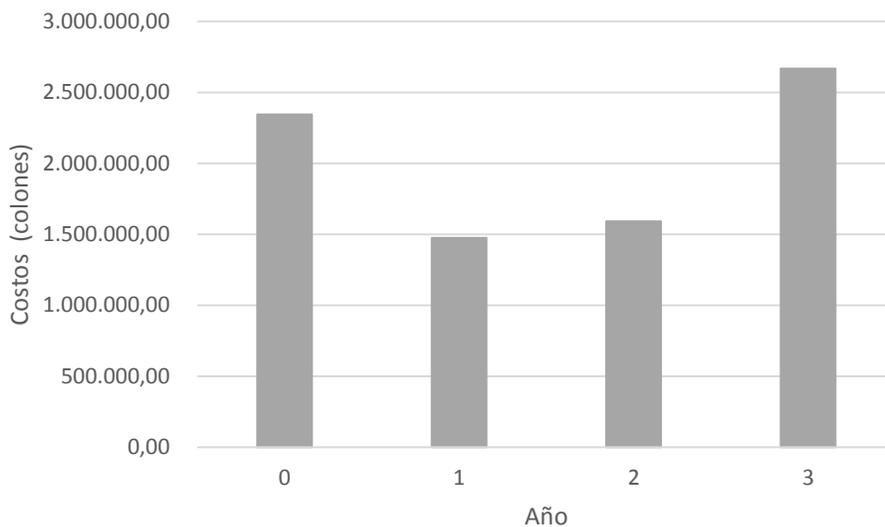


Figura 1. Costos anuales para la producción de 4444 árboles de navidad (plantados a 1,5 x 1,5m) en una hectárea de terreno.

Finalmente, el modelo de costos para una hectárea, con 4444 unidades iniciales (1,5 x 1,5m de distanciamiento de siembra), estima que cada árbol de navidad cuesta poco menos de ¢ 2600/unidad (Cuadro 4), en un ciclo de producción de 3 años. Si se compara con los precios de venta que fácilmente superan los ¢7 500/árbol, resulta evidente el margen de utilidad de la actividad, reportada ya en un ejercicio anterior realizado por Rojas y Torres (1989).

Cuadro 4: Costo de producción por árbol de navidad (unidad) en un modelo basado en una hectárea, con 4444 unidades y desarrollados en un ciclo de 3 años (US \$ = ¢555, agosto 2016).

Árboles efectivos a vender (70%)	3111
Costo/árbol	¢ 2 598 (US \$ 4,68)

Discusión

El modelo de costos fue parcialmente construido mediante entrevista con productores líder de la región de Zarceros y de San Cristóbal Norte de Desamparados. Sin embargo, los productores no tienen una tradición de registros ni mantienen el detalle de todos los gastos y actividades que realmente realizan en su plantación. Por lo que en esta construcción, se procedió a ir discutiendo labor por labor con ellos, para determinar cuáles si realizan, la frecuencia y los jornales empleados en cada actividad. Durante la investigación se realizó un primer taller de identificación de parámetros del negocio de la producción de árboles de navidad. Por lo tanto, se considera que esta base de datos es suficientemente completa y comprende prácticamente todas las labores en que se incurren en la producción de árboles de navidad. Como principales hallazgos está la gran cantidad de mano de obra que genera la actividad (un 58% del total de costos) con 425 jornales en casi 3 años, que equivalen a 142 jornales/ha/año o prácticamente un medio tiempo. El otro hallazgo es el del costo aproximado de ¢2600/árbol de navidad en un ciclo de casi 3 años. Si se mejora la eficiencia en la producción de los árboles, donde principalmente se logre reducir las pérdidas por la presencia de hongos que afectan el follaje, una buena plantación podría incrementar su producción y alcanzar vender unos 4000 árboles/ha. En este caso, el costo por árbol podría reducirse a menos de ¢2000/unidad. Así también, el cambio en el distanciamiento de siembra a 1,25 x 1,25m en tresbolillo, podría aumentar la producción y lograr plantar 6400 árboles/ha y aumentar su rentabilidad. Estos valores con seguridad podrán ser refinados en futuras investigaciones.

Conclusiones

Se concluye que la base de datos y el modelo de costos del cultivo de árboles de navidad es apropiado y realista de la actividad en Costa Rica. Su utilización y adopción dependerá de la dinámica de la organización de productores y de los investigadores. Esta base de datos será de enorme utilidad para los siguientes estudios sobre rentabilidad y análisis de mercado de esta importante industria forestal.

El costo total en los tres años de cultivo de un árbol de navidad, es de ₡2 600 por unidad. Este costo es realista y refleja la alta rentabilidad de la actividad en el país.

El modelo de costos está estrechamente ligado a los indicadores de productividad de la actividad. Por lo que toda mejora en el paquete tecnológico se verá reflejada en una disminución de los costos de producción.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con la utilización de este modelo de costos como base para futuras investigaciones puntuales, sobre temas específicos que afectan la productividad de la actividad. Entre varios temas se encuentra, a) el costo del uso de fungicidas y su efectividad para disminuir la afectación por enfermedades en el follaje; b) el uso de un mejor programa de fertilización y encalado cuando sea requerido; c) análisis basado en una plantación con 6500 árboles/ha (distanciamiento de 1,25 x 1,25m), como los elementos de mayor relevancia.

Agradecimientos

Esta investigación formó parte de un proyecto financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en el periodo 2013-2015.

Literatura

- ÁLVAREZ MOCTEZUMA J.G., COLINAS LEÓN M.T., SAHAGÚN CASTELLANOS J., PEÑA LOMELÍ A., RODRÍGUEZ DE LA O, J.L. 2009. Tratamientos de poscosecha en árboles de navidad de *Pinus ayacahuite* Ehren y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Rev. Cien. For. en Méx. vol 34 no. 106 México jul./dic.
- ARGUEDAS M. 2008. **Problemas fitosanitarios del ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill) en Costa Rica**. Revista Kurú (Instituto Tecnológico de Costa Rica), Escuela de Ingeniería Forestal Vol 5 (13).
- ARGUEDAS M., CHAVERRI P. 1993. Enfermedades del follaje del ciprés. Serie Plagas y enfermedades forestales N° 4. Instituto Tecnológico de Costa Rica-Centro de Información Tecnológica. Cartago. Costa Rica. 8 p.
- BUCAREY J. R. 1967. El ciprés (*Cupressus lusitanica*) como base de las reforestaciones planificadas en el Valle Central de Costa Rica. Tesis de maestría. IICA. Turrialba, Costa Rica.
- ESPINOSA-URANGO, M.A. 2006. Evaluación del crecimiento de tres especies de árboles de navidad y análisis de sus costos de producción. Tesis. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias. Área Académica de Ingeniería Forestal. Hidalgo, México. 123 p.
- JIMÉNEZ-MARTÍNEZ G., RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ R., PÉREZ-TORRES, M.A. 2009. El mercado potencial de árboles de navidad naturales. *Naturaleza y Desarrollo* 7(2): 23-32.
- MURILLO O., BADILLA Y., TORRES G., CARVAJAL D., CANESSA R. 2015. Informe Final Proyecto de Investigación. Cultivo de especies maderables nativas de alto valor para pequeños y medianos productores. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 78 p.
- OROZCO N.J., OROZCO A., PATIÑO E.A. 2009. Experiencias y manual para la producción de árboles de navidad en el estado de Jalisco, México. FIPRODEFO. Guadalajara, Jalisco, México. 59 p.
- ROJAS F., TORRES G. 1989. Árboles de Navidad: Establecimiento y Manejo. Serie Informativa Tecnología Apropiada N° 19. Centro de Información Tecnológica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 47 p.
- SÁNCHEZ S., MURILLO O. 2000. Potencial de reforestación clonal con ciprés. *Rev. Forestal Centroamericana*. N° 32: 30-33.
- TORRES G., 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. 61 p.
- TORRES G., MURILLO O., CARVAJAL D., BADILLA, Y. 2016. Mejoramiento del sistema de árboles de navidad en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Informe Final de Proyecto de Investigación. Cartago, Costa Rica. 54 p.