

Identification and selection of plus trees of *Roseodendron donnell-smithii* Miranda syn *Tabebuia donnell-smithii* Rose, and of *Tabebuia rosea* Bertol.

Identificación y selección de árboles plus de *Roseodendron donnell-smithii* Miranda syn *Tabebuia donnell-smithii* Rose, y de *Tabebuia rosea* Bertol.

Meza-Sandoval, Brenda E.¹; Infante-Mata, Dulce Ma.¹; Peña-Ramírez, Yuri J.J.²; Tovilla-Hernández, Cristian¹; Espinosa-Zaragoza, Saúl^{3*}; Wong-Villarreal, Arnoldo⁴

¹El Colegio de la Frontera Sur-ECOSUR, Unidad Tapachula. Carretera Antiguo Aeropuerto km 2.5, Tapachula, Chiapas, México. ²El Colegio de la Frontera Sur – ECOSUR. Unidad Campeche. Avenida Rancho Polígono 2-A Colonia Ciudad Industrial Lerma, Campeche, Campeche, México. CP 24500. ³Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas. Cuerpo Académico de Agricultura Tropical Ecológica. Carretera Costera entronque Huehuetán Pueblo, Huehuetán, Chiapas, México. CP 30660. ⁴Universidad Tecnológica de la Selva, División Agroalimentaria, Ocosingo, Chiapas, México.

*Autor para correspondencia: saulez1@gmail.com

ABSTRACT

Objective: Identify and select primavera plus trees (*Roseodendron donnell-smithii* Miranda syn *Tabebuia donnell-smithii* Rose) and roble (*Tabebuia rosea* Bertol) in Soconusco, Chiapas, Mexico.

Design/methodology/approach: Methods were applied to qualify morphometric markers such as height, normal diameter, total height and free stem height as main indicators. With selection intensities to identify future genetic gains, 155 candidate trees and 18 plus trees from *Tabebuia donnell-smithii* and 140 candidate trees and 16 plus trees from *T. rosea* were identified.

Results: The 34 plus trees showed superior characteristics in quality and volume, so they were grouped in List A, which is the population that is recommended for immediate use as Forest Germplasm Producing Units of known origin and provenance. These trees are part of the base population for the improvement program in the Soconusco region (Chiapas, Mexico). The 295 candidate trees maintain at least one superior character (volume or quality) can be considered in the improvement population, being located in List B.

Limitations on study/implications: This work allows defining the commercial population for immediate use and the base population for improvement. Candidate individuals with potential to be incorporated into future controlled crossing programs were also identified. The procedure allows generating records of the population mass and accreditation of the plus tree phenotype.

Findings/conclusions: This work allows defining the commercial population for immediate use and the base population for improvement. Candidate individuals with potential to be incorporated into future controlled crossing programs were also identified. The procedure allows generating records of the population mass and accreditation of the plus tree phenotype.

Keywords: Bignoniaceae, forest germplasm, morphometric markers, genetic improvement.

RESUMEN

Objetivo: Identificar y seleccionar árboles plus de Primavera (*Roseodendron donnell-smithii* Miranda syn *Tabebuia donnell-smithii* Rose) y Roble (*Tabebuia rosea* Bertol) en el Soconusco, Chiapas, México.

Diseño/metodología/aproximación: Se aplicaron métodos para calificar marcadores morfométricos como altura, diámetro normal, altura total y altura de fuste libre como indicadores principales. Con intensidades de selección para identificar ganancias genéticas futuras, se lograron identificar 155 árboles candidatos y 18 árboles plus de *Tabebuia donnell-smithii* y 140 árboles candidatos y 16 árboles plus de *T. rosea*.

Resultados: Los 34 árboles plus mostraron características superiores en calidad y volumen, por lo que fueron agrupados en una Lista A que es la población que se recomienda para uso inmediato como Unidades Productoras de Germoplasma Forestal con origen y procedencia conocidos. Estos árboles forman parte de la población base para el programa de mejoramiento en la región Soconusco (Chiapas, México). Los 295 árboles candidatos mantienen al menos un carácter superior (volumen o calidad) pueden ser considerados en la población de mejora ubicándose en una Lista B.

Hallazgos/conclusiones: Este trabajo permite definir la población comercial de uso inmediato y la población base de mejoramiento. También se identificaron individuos candidatos con potencial para ser incorporados a los programas de cruza controladas en un futuro. El procedimiento permite generar registros de la masa poblacional y acreditación del fenotipo del árbol plus.

Palabras clave: Bignoniaceae, germoplasma forestal, marcadores morfométricos, mejoramiento genético.

principal dentro de un programa de mejora genética es ser el progenitor de las poblaciones mejoradas en calidad a mediano y largo plazo (Jara, 1995). La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en México, ha desarrollado una metodología para la selección de árboles plus a las que ha llamado Unidades Productoras de Germoplasma Forestal (UPGF) y ubica árboles seleccionados fenotípicamente con superioridad en características morfológicas de importancia económica, tales como la altura, diámetro a la altura de pecho (DAP), volumen y arquitectura adecuada que pueden ser considerados en la categoría FS-ars (CONAFOR, 2014). Independientemente del método de selección empleado, la respuesta de una característica determinada depende básicamente de la heredabilidad o grado de control genético de las características, la intensidad de selección y la varianza fenotípica de la población (Zobel, 1964; Balcorta y Vargas, 2004).

La heredabilidad y el diferencial de selección son útiles para predecir la respuesta de la selección en especies forestales (Zobel y Talbert, 1988). El diferencial de la selección está íntimamente ligado con la ganancia genética que pueda obtenerse en un programa de mejoramiento genético (Balcorta y Vargas, 2004). El rigor de la selección se estima a través del concepto conocido como intensidad de selección "i" y se puede también expresar en términos de la magnitud del diferencial de selección "s" (Vallejos et al., 2010), como fue definido por Zobel y Talbert (1984). La selección debe realizarse con base en un máximo de dos o tres características a la vez, ya que a medida que se consideran más variables, menores serán las ganancias genéticas aun cuando se

INTRODUCCIÓN

La alta demanda de productos forestales hace necesario establecer plantaciones más productivas. Esto es posible si se seleccionan correctamente las especies desde el punto de vista ecológico y económico, y se proyectan en programas de mejora genética, que además de incrementar rendimientos a largo plazo, contribuyen a la conservación de la base genética de las especies (Mesén, 1995). Las especies forestales *Tabebuia donnell-smithii* (Rose) y *T. rosea* (Bertol.) son especies tropicales nativas en la Región del Soconusco en Chiapas, México. Son de importancia económica, ecológica y social (FAO, 2011). Por su aptitud maderable, han sido establecidas en sistemas asociados con cultivos agrícolas o en pequeñas parcelas comerciales y en muy pocos casos se han adoptado como plantación comercial (Navarrete-Tindall y Orellana, 2002; Flores y Marín, 2002). El mejoramiento de la productividad maderable de estas especies y su conservación, puede lograrse mediante una selección de poblaciones e individuos superiores, mismos que pueden usarse para generar fuentes de semilla de calidad y con procedencia conocida (Mesén, 1995). En la silvicultura estos individuos superiores son llamados árboles plus (Vallejos, 2010), cuyo objetivo y función

cumpla un diferencial de selección aceptable (Zobel y Talbert, 1988).

El tipo de mejoramiento al que se enfoca este trabajo es el de selección y mejora de tipo individual (Falconer y Mackay, 1996, SEMARNAT/CONAFOR, s/f) donde se permite escoger individuos superiores con base en su fenotipo, sin que sea necesario evaluar el desempeño de sus ancestros u otro tipo de parientes. Este tipo de selección ha funcionado bien cuando la selección se basa en la evaluación de caracteres altamente heredables como altura total, ramificación, fitosanidad y rectitud de fuste (Zamudio y Guerra, 2002; Cornelius, 1994; Vallejos et al., 2010). Los caracteres asociados al volumen han registrado comúnmente baja heredabilidad (control genético). Se estima que el volumen está controlado por una gran cantidad de loci que involucra una mayor cantidad del genoma por lo que raramente superan el 40% de heredabilidad (Cornelius, 1994). Las características cuantitativas como altura total y calidad de fuste, hábitos de ramificación, fitosanidad se han registrado en trabajos previos con mayores porcentajes de heredabilidad (Murillo y Badilla, 2003). Por lo que se tomaron como las características más determinantes en las evaluaciones realizadas. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un proceso de identificación y selección de árboles plus de *T. donnell-smithii* y *T. rosea* en la región del Soconusco.

MATERIALES Y MÉTODOS

La selección de los árboles superiores se realizó en los municipios de Huixtla, Tuzantán, Huehuetán, Mazatán, Tapachula y Tuxtla Chico. En el Sureste del Estado de Chiapas. Las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea* se distribuyen a partir de los 10 a 600 m de altitud. La parte baja se caracteriza por ser una planicie costera de 20 a 30 km de ancho y cuyo margen es delimitado por el Océano Pacífico y la Sierra Madre de Chiapas.

La selección fenotípica de árboles tuvo como base cuatro características relacionadas con volumen y calidad de la madera a saber: altura total del árbol, altura comercial del tronco, rectitud de fuste y número de ramas. Se utilizó el método clásico de comparación con vecinos más cercanos. Donde el árbol candidato se compara con sus mejores cuatro a cinco vecinos, en un radio de entre 15 y 20 m de distancia (Zobel y Talbert, 1984). En individuos aislados se utilizó el método de valoración individual (Corea, 1994; Ipinza, 1998). Para aplicar este método se debe fijar al menos una característica cuanti-

tativa que no se vea afectada por la edad como un valor mínimo. Para esta selección la altura mínima de fuste limpio se estableció a los 18 m. Para ambas metodologías se realizaron las siguientes evaluaciones:

Selección de árboles superiores y clasificación de candidatos. La selección partió de una población de $n=800$ individuos identificados por investigadores de la Universidad Autónoma de Chiapas en 2014. Se seleccionaron árboles codominantes con diámetros (DAP) de 30 a 50 cm, con una altura mínima de fuste limpio de 18 m.

Evaluación y asignación de árboles candidatos. La primera evaluación de los 800 árboles seleccionados se basó en el análisis de características cualitativas relacionadas a calidad. Se les asignó un número de acuerdo a las siguientes categorías: 1) árboles inaceptables: enfermos o con defectos en el fuste o copa, ramificaciones bajas. 2) árboles buenos: dominantes o codominantes, sin bifurcaciones bajas, con defectos leves en el fuste o en la copa. 3) árboles excelentes: dominantes o codominantes, fustes rectos, sin bifurcaciones, ramas delgadas, sin contrafuertes, copa pequeña y simétrica, sanos y vigorosos. Fueron calificados como árboles candidatos aquellos individuos que se ubicaron en las Categorías 2 y 3.

Evaluación mediante características cuantitativas y cualitativas para la asignación de árboles plus

Para la evaluar un árbol candidato y calificarlo como un árbol plus se debe recordar el principio de que todo carácter al que se le asigne mayor peso, debe tener un alto control genético (% de heredabilidad), alta variación genética, y preferiblemente, ser de fácil medición (Zobel y Talbert, 1984). Se aplicaron marcadores morfométricos a los caracteres cuantitativos relacionados con volumen y a las características cualitativas relacionadas con calidad. Para la especie *T. donnell-smithii* altura total >20 m, altura de fuste limpio >15 m, diámetro >40 cm, volumen $>1.50 \text{ m}^3$ y máximo ocho ramas principales. Para *T. rosea*; altura total >20 m, altura de fuste limpio >10 m, diámetro >40 cm, volumen $>1 \text{ m}^3$ y máximo ocho ramas principales. Los valores asignados para cada característica son superiores al promedio fenotípico que caracterizó a los árboles candidatos.

Lista A y Lista B

En la Lista A se integraron los árboles superiores en características relacionadas con volumen y calidad. En la Lista B los árboles que fueron superiores en los caracteres

evaluados para volumen o calidad. En la Lista A se integraron los árboles plus que forman parte de la población para producción comercial de semillas y como población base para el programa de mejoramiento genético. En la Lista B se integraron los árboles candidatos que podrán ser considerados para integrarse posteriormente al programa de mejora cuando sean evaluados mediante otros caracteres de selección, por ejemplo marcadores moleculares.

Intensidad de selección 'i' y diferencial de selección 's'. La intensidad de selección está en función del número de individuos superiores identificados por superficie muestreada. El diferencial de selección está dado como la distancia del promedio de la Lista A (árboles plus) a la media de la Lista B (árboles candidatos). Ambos datos refieren a la rigurosidad aplicada en la selección y permiten reconocer potencialmente a los individuos que deben componer la población superior apta para la producción comercial de semillas y la población de mejoramiento. Los árboles candidatos y plus fueron georreferenciados usando un GPS-Garmin eTrex® para ser ubicados geográficamente en una base de datos espacial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el proceso inicial de selección se identificaron 800 individuos superiores de las especies *T. rosea* y *T. donnell-smithii* con diámetros de 30 a 50 cm. Para definir los árboles candidatos se realizaron filtros de selección, para identificar individuos con fuste limpio mínimo de 15 m, libres de plagas y enfermedades, sin defectos o con defectos leves en el fuste y copa. Este primer filtro redujo la población de seleccionados a N=300 individuos, clasificados como árboles candidatos. Los promedios de los caracteres de volumen y calidad de los 300 árboles candidatos fueron asignados como parámetros mínimos a superar en el segundo filtro para la identificación de los árboles plus. Los individuos que se ubicaron como superiores a este promedio fueron 34 árboles; 18 de la especie *T. donnell-smithii* y 16 de *T. rosea* (Figura 1), la distancia del promedio de un individuo candidato y promedio de un individuo plus se refleja en el diferencial de selección. Los diferenciales

obtenidos en este trabajo se muestran en el Cuadro 1 para *T. donnell-smithii* y en el Cuadro 2 para *T. rosea*.

En las características cualitativas, los árboles plus de ambas especies se caracterizaron con fustes rectos, ramificaciones en promedio de cuatro ramas principales, ninguno de los árboles plus tuvo más de 10 ramas y se apreciaron totalmente sanos. Dado que los diferenciales de selección están relacionados con las ganancias genéticas (Balcorta y Vargas, 2004), se espera que estos se presenten en la descendencia de los árboles plus (F1). Al seleccionar en ambientes naturales los diferenciales

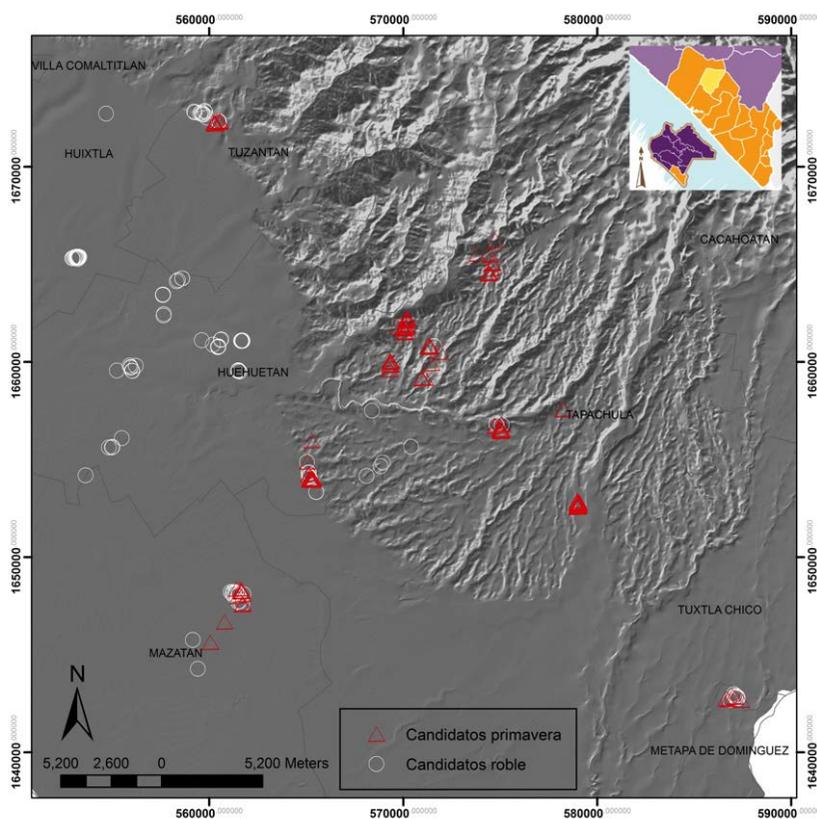


Figura 1. Distribución de árboles candidatos de primavera (*T. donnell-smithii*) y Roble (*T. rosea*) en el Soconusco, Chiapas, México.

de selección pueden ser equivalentes a los obtenidos en los primeros descendientes (F1). Se ha reportado que el diferencial de selección en plantaciones comerciales suele ser menor a los obtenidos en las pruebas de progenie, y puede deberse a que los individuos son únicamente comparados con sus mejores cuatro vecinos y no con una población más amplia. Los árboles vecinos, son competidores muy fuertes por espacio y recursos nutricionales; por tanto no son representativos de árboles ordinarios sin ningún tipo de selección o mejoramiento ya que usualmente fueron obtenidos de viveros (Vallejos et al., 2010).

Cuadro 1. Promedios y desviaciones estándar para cada variable evaluada y los diferenciales obtenidos en *T. donnell-smithii*.

	Pre-selección	Árboles candidatos	Árboles Plus	Diferencial de selección
N	400	155	18	/
%	100%	39%	5%	/
Criterio Máximo	Clase diamétrica 30-50 cm	Volumen y/o calidad	Volumen y calidad	/
Altura Total (m)	/	\bar{X} 22.2±4.15	\bar{X} 24.9±2.81	2.7 m
Altura Comercial (m)	/	\bar{X} 11.5±3.49	\bar{X} 17.31±1.72	5.81 m
Diámetro (cm)	/	\bar{X} 42±6.32	\bar{X} 47.07±2.79	5.07 cm
Volumen (m ³)	/	\bar{X} 1.04±0.56	\bar{X} 2.22±0.52	1.18 m ³
Ramificación (ramas)	/	\bar{X} 4±6.82	\bar{X} 2.72±0.66	1.28 ramas

Cuadro 2. Promedios y desviaciones estándar para cada variable evaluada y los diferenciales obtenidos en *T. rosea*.

	Pre-selección	Árboles candidatos	Árboles Plus	Diferencial de selección
N	400	140	16	/
%	100%	35%	4%	/
Criterio Máximo	Clase diamétrica 30 a 50 cm	Volumen y/o calidad	Volumen y calidad	/
Altura Total (m)	/	\bar{X} 20.7±4.11	\bar{X} 22.8±2.71	2.1 m
Altura Comercial (m)	/	\bar{X} 8.3±3.01	\bar{X} 11.2±1.45	2.9 m
Diámetro (cm)	/	\bar{X} 40±6.24	\bar{X} 44±4.38	4 cm
Volumen (m ³)	/	\bar{X} 0.66±0.36	\bar{X} 1.32±0.30	0.66 m ³
Ramificación (ramas)	/	\bar{X} 9±7.16	\bar{X} 4.5±2.63	4.5 ramas

De estos resultados se destaca que la intensidad de selección en ambas especies fue 1.1 árboles plus por cada 10 árboles candidatos. Si se considera la intensidad de selección por superficie explorada, y corresponde a un árbol candidato por cada ocho hectáreas exploradas y un árbol plus por cada 70 ha. Vallejos et al. (2010) han reportado intensidades de selección en condiciones de plantaciones en Costa Rica, un árbol plus por cada 15,000 individuos. Murillo y Badilla (2009) reportaron intensidades de selección de un árbol por cada 20,000 individuos. Ambas selecciones fueron realizadas en plantaciones comerciales donde la densidad de población de las especies es mucho mayor que en ambientes naturales. Otros autores como Espitia et al. (2010) reportan para la selección de *Acacia mangium* (Willd) en Colombia, una intensidad de selección de un árbol por cada 3,459 árboles en una superficie de 3,626 ha de plantaciones comerciales. Dichos autores seleccionaron 89 árboles plus, equivalente a un árbol plus por cada 40 ha. De la misma manera la intensidad de selección que reportaron Espitia, Murillo y Castillo (2011) en Teca (*Tectona grandis* L. F.) en Colombia fue de un árbol plus por cada 30.5 ha. En esta investigación la selección se realizó en una

superficie de 2,399 ha, donde se identificaron 34 árboles plus, lo que equivale a un árbol plus por cada 70 ha, para ambas especies, o bien, un árbol plus de *T. donnell-smithii* por cada 133 ha, y un árbol plus de *T. rosea* por cada 144 ha.

Se destaca que las características fenotípicas propias de *T. rosea* dan valores menores en el diferencial de selección de los componentes del rendimiento de madera (altura, diámetro y altura total). *T. rosea* presenta bifurcaciones a menor altura que *T. donnell-smithii* y por ello, ubicar árboles con alturas comerciales similares en ambas especies no fue posible. Los árboles asignados a la Lista B no deben desacreditarse con la finalidad de evitar que queden fuera individuos genéticamente superiores, un error común en programas de mejoramiento genético (Error tipo II). Finalmente la ganancia genética de los árboles plus podrá evaluarse cuando se desarrollen los ensayos de procedencias mediante propagación clonal o por semilla con lo que se podría a su vez identificar error de selección tipo I. Se esperaría tener ganancias genéticas como uno de los resultados a mediano plazo de este trabajo. La distribución y ubicación geográfica

de los árboles candidatos y plus se muestra en la Figura 1, en ella se puede observar que la distribución de *T. rosea* se da hacia la Planicie Costera Chiapaneca y que *T. donnell-smithii* se distribuye hacia la parte alta de la zona, es importante destacar que los señaladores corresponden únicamente a los árboles plus identificados.

CONCLUSIONES

Las metodologías de comparación y valoración individual empleadas conjuntamente en este trabajo aportan bases analíticas al programa de mejoramiento genético forestal de la Región del Soconusco en Chiapas, México. Este trabajo permite definir la población comercial de uso inmediato y la población base de mejoramiento. También se identificaron individuos candidatos con potencial para ser incorporados a los programas de cruza controladas en un futuro. El procedimiento permite generar registros de la masa poblacional y acreditación del fenotipo del árbol plus. El principio de selección de árboles plus, basado también en la utilización de caracteres cualitativos de alta heredabilidad, asegura la ganancia fenotípica del material de propagación en prácticamente cualquier ambiente. Sin embargo, no puede determinar con exactitud los niveles de ganancia genética que debe ser una operación cuya responsabilidad recaiga en ensayos y pruebas de validación genética posteriores.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Chiapas y a Mesoamericano Global Development SA de CV por su apoyo para la realización de la investigación.

LITERATURA CITADA

- Balcorta, H. y Vargas, J. 2004. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 10, 13-19. <http://www.redalyc.org/pdf/629/62910102.pdf>
- Corea, E. 1994. Selección de árboles plus. Proyecto Mejoramiento Genético Forestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 7, 97-98.
- Cornelius, J. 1994. The effectiveness of plus-tree selection for yield. Forest Ecology and Management (USA), 67, 23-34. Doi: 10.1016/0378-1127(94)90004-3
- Espitia, C.M.; Murillo, G.O. y Castillo, P. C. 2011. Ganancia genética esperada en Teca (*Tectona grandis* L.f.) en Córdoba (Colombia). Colombia Forestal 14(1): 81-93.
- Espitia, M.; Murillo, O., Castillo, C., Araméndiz, H. y Paternina, N. 2010. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* WILLD) en Córdoba (Colombia). Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica. 13, 99-107.
- Falconer, D.S. y Mackay, T.F.C. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. 4ta. ed. Longman Sci. And Tech Harlow, UK. 464. ISBN 0582243025
- FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2011) Situación de los Recursos Genéticos Forestales. Informe final del proyecto TPC/MEX/3301/MEX. 4.
- Flores, E.M. y Marin, W.A. 2002. Manual de semillas de árboles tropicales. *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica y Escuela Nacional de Biología, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.719-721.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2000). Capas temáticas 1:250,000-1:50,000. Chiapas, México.
- Ipinza, R. 1998. Mejoramiento genético forestal. Programa CONIF- Ministerio de Agricultura sobre investigaciones en semillas de especies forestales nativas. INSEFOR. Santafé de Bogotá. Serie Técnica. 42,162.
- Jara, L. F. 1995. Identificación y selección de fuentes semilleras. En Convenio CONIF - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Eds.). Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras. Bogotá, Colombia. 32, 63-73.
- Mesén, F. 1995. Introducción al mejoramiento genético forestal. En: Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras. Convenio CONIF, INSEFOR y MADR. Bogotá. Serie Técnica. 32, 46-118
- Murillo, O. y Badilla, Y. 2003. Potencial de mejoramiento genético de la Teca en Costa Rica. En: Simposio sobre la teca. 26-28 de noviembre del 2003. Universidad Nacional. Heredia. CD.
- Murillo, O., y Badilla, Y. 2009. Reproducción clonal de árboles. Taller de Publicaciones. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. 36.
- Murillo, O.; Obando, G.; Badilla, Y. y Araya, E. 2001. Estrategia de mejoramiento genético para el programa de conservación y mejoramiento genético de especies forestales del ITCR/ FUNDECOR, Costa Rica. Revista Forestal Latinoamericana, 16 (30),273-285.
- Navarrete-Tindall, N. y Orellana, N.M.A. 2002. Manual de semillas de árboles tropicales. *Tabebuia donnell-smithii* Rose. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA. Departamento de biología de la Universidad Estatal de Nuevo México. 715.
- SEMARNAT/CONAFOR. S/F. Manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. Secretaría del Medio Ambiente Recursos y Recursos Naturales/Comisión Nacional Forestal. 86 pp.
- Vallejos, J.; Badilla, Y.; Picado, F. y Murillo, O. 2010. Metodología para selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. Agronomía Costarricense. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 34(1),105-119
- Zamudio, A.F. y Guerra, G.F. 2002. Reproducción selectiva de Especies Forestales de Rápido Crecimiento. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestal. Genética y Mejoramiento forestal. Talca, Chile. 13-43.
- Zobel, B. y Talbert, J. 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley & Sons. New York. 510.
- Zobel, B. y Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa. México D.F. 545 p.