



# El Colegio de la Frontera Sur

Identificación y Selección de Árboles plus de las especies *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Tabebuia rosea* Bertol en el Soconusco, Chiapas, México

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de Maestría en Ciencias  
en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

por

**Brenda Elizabeth Meza Sandoval**

201

## INDICE

RESUMEN .....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. ANTECEDENTES .....	7
1. RECURSOS GENÉTICOS DE MÉXICO.....	7
1.1. Tipos de vegetación en México.....	7
1.3. Diversidad genética en especies forestales .....	8
1.4. Especies prioritarias en México .....	10
1.5. Beneficios de ecosistemas y especies forestales .....	11
2. ESTADO DE LA CONSERVACIÓN GENÉTICA.....	12
2.1. Conservación genética <i>in situ</i> .....	12
2.2. Conservación genética <i>ex situ e in situ</i> .....	15
2.3. Análisis Geográfico en el Manejo de los Recursos Naturales .....	20
III. OBJETIVO.....	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos.....	22
IV. HIPÓTESIS .....	22
V. METODOLOGÍA.....	23
5.1. Zona de estudio.....	23
5.3. Selección de árboles.....	24
5.4. Selección inicial de árboles potenciales y preselección de los mejores candidatos.....	25
5.5. Evaluación y asignación de árboles candidatos. ....	25
5.6. Evaluación mediante características cuantitativas y cualitativas para la asignación de árboles plus. ....	26
5.7. Diferenciación de árboles seleccionador por volumen y calidad: Lista A y Lista B. ....	26
5.8. Intensidad de selección ‘i’ y diferencial de selección “s” .....	27
5.9. Reconocimiento del medio con el uso de Sistemas de Información Geográfica .....	27
5.10. Cartografía digital.....	28
VI. RESULTADOS .....	30
VII. DISCUSIÓN.....	45
VIII. CONCLUSIÓN.....	53
IX. BIBLIOGRAFIA.....	55

X.	ANEXOS.....	64
	ANEXO A. GLOSARIO .....	64
	ANEXO B. FICHAS DE ESPECIES.....	66
	ANEXO C. PROYECTOS EN MÉXICO .....	73
	ANEXO D. CRITERIOS PARA EVALUAR INDIVIDUOS DE UPGF Y FICHA TÉCNICA.....	74
	ANEXO E. ARTÍCULO ENVIADO.....	76
XI.	GALERIA FOTOGRAFICA .....	94

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Promedios y desviaciones estándar de <i>T. donnell-smithii</i> para variables evaluadas y los diferenciales obtenidos. ....	30
<b>Cuadro 2.</b> Promedios y desviaciones estándar de <i>T. rosea</i> para variables evaluadas y los diferenciales obtenidos. ....	31
<b>Cuadro 4.</b> Individuos seleccionados como árboles plus de la especie <i>T. rosea</i> ...	34
<b>Cuadro 5.</b> Distribución de individuos de <i>T. donnell-smithii</i> en seis municipios del Soconusco.....	51
<b>Cuadro 6.</b> Distribución de individuos de <i>T. rosea</i> en cinco municipios del Soconusco.....	52

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Municipios donde se distribuyen los ejemplares utilizados de <i>T. donnell-smithii</i> y <i>T. rosea</i> en la región Soconusco Chiapas, México. ....	24
<b>Figura 2.</b> Mapa de distribución de población de árboles candidatos de <i>T. donnell-smithii</i> y <i>T. rosea</i> en algunos municipios de la región Soconusco, Chiapas, México. ....	37
<b>Figura 3.</b> Mapa de distribución de árboles plus de <i>T. donnell-smithii</i> y <i>T. rosea</i> en algunos municipios de la región Soconusco, Chiapas, México. ....	38
<b>Figura 4.</b> El modelo digital de elevación de la distribución de las especies <i>T. donnell-smithii</i> y <i>T. rosea</i> en el Soconusco, Chiapas, México. ....	39
<b>Figura 5.</b> El modelo digital de elevación de la distribución de las especies <i>T. donnell-smithii</i> y <i>T. rosea</i> en el Soconusco, Chiapas, México. ....	40
<b>Figura 6.</b> Distribución en tipos de clima de árboles candidatos de las especies <i>T. donnell-smithii</i> y <i>T. rosea</i> en el Soconusco, Chiapas, México. ....	41
<b>Figura 7.</b> Distribución en tipos de cobertura vegetal de árboles plus de las especies <i>T. donnell-smithii</i> y <i>T. rosea</i> en el Soconusco, Chiapas, México. ....	42
<b>Figura 8.</b> Distribución en tipos de suelo de árboles candidatos de las especies <i>T. donnell-smithii</i> y <i>T. rosea</i> en el Soconusco, Chiapas, México. ....	43
<b>Figura 9.</b> Presencia de <i>T. rosea</i> en diferentes tipos de suelo en la región Soconusco, Chiapas, México. ....	44
<b>Figura 10.</b> Presencia de <i>T. donnell-smithii</i> en diferentes tipos de suelo en la región Soconusco, Chiapas, México. ....	44

## RESUMEN

Las actividades fundamentales de un programa de mejoramiento genético forestal incluyen la selección, propagación masiva del material mejorado y la conservación de los recursos genéticos forestales. La selección y el mejoramiento son la actividad central: este trabajo atiende y desarrolla la elección de individuos con superioridad fenotípica mediante la aplicación de metodologías de comparación y valoración individual, evaluando marcadores morfométricos relacionados a volumen y calidad de la madera. Se lograron identificar 18 árboles plus; 155 candidatos de la especie *T.donnell-smithii* y 16 árboles plus; 140 candidatos de la especie *T. rosea*. Los 34 árboles plus pertenecen automáticamente a la Lista A que integran la población comercial de uso inmediato ya que podrán ser utilizados como árboles plus con origen y procedencia conocidos y además forman parte de la población base para el programa de mejoramiento genético en la región Soconusco, mientras que los 295 árboles candidatos que mostraron al menos un carácter superior (volumen o calidad) conforman la población de mejora clasificados en la Lista B. La cantidad de árboles seleccionados y la diversidad geográfica de los sitios donde se ubicaron, suponen alta variabilidad genética en la selección final. Es así como se aportan bases analíticas al programa de mejoramiento forestal de la región, permitiendo definir la población comercial de uso inmediato y la población base de mejoramiento a mediano y largo plazo.

Palabras clave: Bignoniácea, germoplasma forestal, marcadores morfométricos, árboles plus, mejoramiento genético.

## I. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha recomendado e impulsado ampliamente la investigación en especies forestales de interés ecológico y económico, particularmente los recursos genéticos forestales (RGF) que son el material hereditario que se encuentra dentro de y entre las especies de plantas leñosas y árboles, que tienen un valor social, científico, ambiental o económico real o potencial. Los RGF son esenciales para los procesos de adaptación y evolución de los bosques y los árboles, así como para mejorar su productividad (FAO, 2014). La mayoría de los países que desarrollan programas de plantaciones forestales han iniciado acciones de mejoramiento genético, no solo a nivel de procedencias sino también a nivel de familia e individuo (Roulund y Olesen, 1992), con la finalidad de preservar, promover y mejorar la calidad genética de las especies forestales.

En este sentido, actualmente México se enfrenta a un proceso de deforestación y fragmentación de sus comunidades vegetales, entre ellas los bosques y selvas, la deforestación es una problemática que ha enfrentado de manera constante el país. Tan sólo del 2005 al 2010 se perdieron 775 mil hectáreas de bosques y selvas a lo largo del territorio nacional, de acuerdo a la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA, 2010) sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), hizo un cálculo de los recursos forestales de México hasta el 2050, el cual establece que la superficie forestal de la República Mexicana será estable, es decir, no tendrá grandes pérdidas en comparación de otros países, de tal manera

que se estiman deforestaciones menores a los 155 mil hectáreas anualmente en los siguientes años (CONAFOR, 2013), los pronósticos aparentemente no son desesperantes sin embargo al abordar el tema en perspectiva de los recursos genéticos forestales, es distinto, ya se sabe que las demanda por madera siguen en aumento, promoviendo la deforestación dirigida a especies maderables y particularmente a los mejores individuos con alta superioridad fenotípica, lo que causa empobrecimiento de los recursos genéticos forestales. Por lo anterior, la reforestación de los bosques y el establecimiento de plantaciones comerciales son actividades esenciales para satisfacer esta demanda y aliviar la presión sobre los bosques naturales y por efecto sobre los recursos genéticos forestales que va en decadencia. Hasta ahora se ha tratado de coadyuvar estos problemas con actividades como reforestación de áreas fragmentadas, que se han enfocado fundamentalmente a la protección y restauración de cuencas. Sin embargo, estos programas de reforestación que tienen como objetivo hacer restauración ecológica han tenido índices de supervivencia relativamente bajos, aproximadamente 50% para el primer año, debido a factores de diversa índole. Un problema importante ha sido el manejo y la producción deficiente de semillas forestales, condición primordial para un programa de reforestación exitoso, y el abastecimiento insuficiente de semillas de calidad genética adecuada a menudo crea un cuello de botella para el desarrollo de programas de reforestación (SEMARNAT-CONAFOR, 2010). De la misma manera, si la semilla no proviene de la mejor fuente disponible, se perderá una proporción importante de la productividad potencial de las plantaciones. Los pobres resultados obtenidos como consecuencia de la mala calidad genética del material utilizado, desmotivan gravemente la reforestación. Al



contrario, la provisión y utilización de material de buena calidad genética estimulan y promueven la reforestación (Cornelius, 1994).

Con base en lo anterior, como una estrategia de rescate, conservación, restauración y manejo forestal de los fragmentos de vegetación nativa del país se propone el establecimiento de fuentes semilleras formales conocidas como unidades productoras de germoplasma forestal (UPGF) como medio para garantizar la producción masiva de material mejorado, con origen y procedencia conocidos (SEMARNAT-CONAFOR, 2010). De esta manera se obtienen plantas de mejor calidad que pueden plantarse en lugares aptos ecológicamente para su adecuado desarrollo, teniendo un mejor control del movimiento de germoplasma. En este sentido la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) cuenta con el Programa de Germoplasma Forestal, que fomenta la identificación y el establecimiento de UPGF seleccionadas, con énfasis en establecimiento de ensayos de procedencias y de progenies, así como el de áreas y huertos semilleros a fin de obtener germoplasma certificado y mejorado genéticamente, promoviendo de esta forma la planificación de programas de mejoramiento genético forestal.

La identificación de estas áreas con poblaciones o individuos genéticamente superiores se refiere al reconocimiento de rodales o zonas que cuenten con árboles con fenotipos superiores al resto del rodal (árbol plus), como resultado de la acción conjunta de su constitución genética (genotipo) y del ambiente (variables geoclimáticas) en donde se ha establecido y desarrollado. Estas diferencias entre los árboles de una especie (variación fenotípica) tiene dos

orígenes: la variación causada por diferencias geoclimáticas (variación ambiental) y la variación causada por diferencias genéticas (variación genética). La existencia de variación genética es indispensable para el mejoramiento genético forestal. Si no hay variación genética no se puede hacer mejoramiento genético (Cornelius, 1994).

La identificación de la población inicial de árboles superiores de acuerdo a superioridad fenotípica, es el inicio y la base fundamental de un programa de mejoramiento genético forestal, en esta primera etapa recae el éxito que pueda esperarse en el programa de mejora en relación a la calidad, rigurosidad e intensidad con que se realice la selección de los árboles candidatos y árboles plus, que tendrá concordancia con la ganancia genética que se alcanzará (Vallejos, et al., 2010). La rigurosidad en 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 “ $S$ ”, que se define de manera clásica como la diferencia entre el promedio del conjunto de los individuos seleccionados y el promedio de la población original para un carácter determinado (Zobel y Talbert, 1984). Sin embargo, aun cuando se logre una selección estricta del material, poco se avanzará en el trabajo de mejoramiento si no hay una alta variabilidad genética en la población para el o los caracteres a mejorar (Resende, Murillo y Badilla, 2013).

Con el objetivo de mantener y mejorar los recursos genéticos forestales en la región Soconusco del estado de Chiapas, el presente trabajo propone y desarrolla metodologías integrales que permitieron identificar y seleccionar

rigurosamente árboles plus que podrán funcionar como unidades UPGF de las especies *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *T. rosea* Bertol que también conforman la población base de mejora para el programa de mejoramiento genético forestal para la región Soconusco, promovido por la Red de Recursos Genéticos de México AC. (REDGENMEX AC) para trabajos genéticos inmediatos y futuros. Esta selección de árboles plus podrá ser utilizada de manera inmediata para la recolección de semilla y material vegetativo, para producción de plantas con fines de investigación, experimentación y para el establecimiento de huertos semilleros sexuales, asexuales y en plantaciones forestales comerciales.

## II. ANTECEDENTES

### 1. RECURSOS GENÉTICOS DE MÉXICO

#### 1.1. Tipos de vegetación en México

México se encuentra en el cuarto lugar en biodiversidad y endemismo a nivel mundial (Mittermeier, et al., 1998). Las selvas y pastizal registraron la mayor disminución relativa en superficie, en comparación con la superficie forestal existente para este tipo de vegetación (FAO, 2010).

Las selvas contienen alta riqueza de especies de las cuales pocas están en aprovechamiento. Las especies más utilizadas con fines comerciales son *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*. Otras especies tienen usos para leña y como cercos vivos, como *Gliricidia sepium*, crece en las selvas medianas perennifolias y subperennifolias, como en selvas bajas caducifolias (FAO, 2011).

#### 1.2. Recursos genéticos forestales

La diversidad genética proporciona la base fundamental para la evaluación de las especies arbóreas. Esta característica ha permitido que los árboles se adapten a condiciones cambiantes y adversas, ha traído como resultado una variedad única e insustituible de recursos genéticos. Sin embargo, la diversidad genética de un gran número de especies permanece desconocida, especialmente en los bosques tropicales. Hasta hace poco, los estudios de los recursos genéticos de los árboles forestales se han concentrado en domesticar aquellos considerados de mayor

utilidad para la producción de madera, fibra y combustible a partir de sistemas de plantaciones y agroforestería.

Las presiones sobre terrenos forestales y los efectos de la extracción desmedida de los recursos forestales pone en riesgo los recursos genéticos al grado de la posibilidad de perderlos totalmente, antes de poder identificarlos y utilizarlos (FAO, 2011). Pronósticos que deberán atenderse con actividades cruciales de conservación genética con programas multiobjetivos, que pueden ser enfocados a la conservación prioritariamente, o también encaminados al aumento de la productividad como lo enfocan los programas de mejoramiento genético forestal; que tiene como principales objetivos el mejoramiento de los árboles y suministro de semillas.

### 1.3. Diversidad genética en especies forestales

En México no existe una política nacional para realizar estudios y elaborar un inventario de variación genética en especies arbóreas y arbustivas, y tampoco se han establecido mecanismos para dar seguimiento a la degradación genética y vulnerabilidad de las especies (FAO, 2011). Sin embargo, a través de instituciones como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) se han financiado 47 proyectos de investigación relacionados con inventarios florísticos, análisis de especies con potencial económico y especies útiles para la reforestación (CONABIO, 2012). En su mayoría estos trabajos están enfocados

principalmente a especies forestales en categoría de riesgo y con distribución restringida.

En pocas especies con importancia económica y con distribución amplia se ha cuantificado la diversidad genética y algunas de ellas son, *Abies religiosa*, *Pinus patula*, *Pinus oocarpa*, *Pinus greggii*, *Pinus pinceana*, *Pinus leiophylla*, *Pseudotsuga menziesii* y *Cedrela odorata* (Rodríguez-Banderas, et al., 2009).

Algunas instituciones internacionales como el Programa Internacional para el Mejoramiento Genético y Conservación de Especies Forestales (CAMCORE) y el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América (USDA-FS por sus siglas en inglés) han publicado estudios sobre variación interespecíficas de especies mexicanas (Dvorak, et al., 2009). En estos estudios los métodos que se han utilizado para estimar diversidad genética han sido a través de la heterocigosidad esperada, heterocigosidad observada, número de alelos por *locus* y porcentaje de *loci* polimórficos, pero los marcadores moleculares han sido los más comunes para las especies forestales en los últimos tiempos (SEMARNAT, 2012).

Los estudios para la cuantificación de la variación genética en especies mexicanas, al igual que los estudios de la diversidad genética utilizando marcadores moleculares son relativamente pocos. En México se han realizado 12 estudios de seis especies y tres géneros para estimar la variación genética en características cuantitativas en especies forestales, durante el periodo comprendido entre el 2001 al 2011 (Anexo C). Además, se consideran características adaptativas: supervivencia, longitud de entre nudos, composición de resina y contenido de cera de acículas. En las características estudiadas la mayoría de la variación genética se encontró entre regiones, lo que puede reflejar

una adaptación a condiciones ambientales disímiles. Para conocer si está cambiando la diversidad genética deben realizarse evaluaciones con la misma metodología por segunda ocasión. Hasta ahora no se ha hecho ningún caso en el país (FAO, 2011).

#### 1.4. Especies prioritarias en México

Se reconoce a 240 especies con potencial para restauración ecológica y reforestación, 233 son nativas y siete exóticas (CONABIO, 2011). CONAFOR identifica 85 especies importantes por potencial económico, ecológico y social. Por lo que entre ambas instituciones se tienen 294 especies forestales que pueden considerarse como prioritarias para conservación, reforestación y restauración (CONABIO, 2011; CONAFOR, 2011).

La FAO considera más importante enfocarse en un número menor de especies para su conservación, considerando que sean de amplia distribución, representativas, con valor económico, social y ecológico en México. Así podrá caracterizarse la diversidad genética y desarrollar paquetes tecnológicos, que permitan el uso eficiente de estas especies y acercarse a la conservación. Los esfuerzos se han canalizado principalmente en las especies amenazadas incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Sin embargo las especies de *T. donnell-smithii* y *T. rosea* están listadas dentro de las especies prioritarias en las selvas de México, sin programas de conservación *ex situ* e *in situ* (FAO, 2011).

### 1.5. Beneficios de ecosistemas y especies forestales

La CONAFOR (2009) ha reportado que existen alrededor de 13 millones de personas que viven en 23 mil ejidos y comunidades establecidas dentro de los ecosistemas forestales, muchas de estas familias han creado y establecido empresas comunitarias que se dedican a aprovechar los recursos naturales de manera tradicional. Por ejemplo la extracción de madera es un empleo formal y cotidiano para estos habitantes de las áreas forestales, la leña es su principal fuente de energía para fines domésticos. Se tienen registradas 420 especies forestales maderables y 188 especies forestales no maderables bajo aprovechamiento y la gran mayoría son especies nativas.

El género *Pinus* contribuye con 77.8% de la producción de madera, seguido el género *Quercus* con 10.2%. Las especies tropicales preciosas aportan 0.4% y 5.8% las tropicales. De esta producción el mayor volumen se destina para madera aserrada y una minoría para celulosa y combustible. Es importante resaltar que la producción de maderera en el país se redujo 35% en el periodo comprendido entre 2000 y 2010 (SEMARNAT, 2012). También es importante destacar que los ecosistemas forestales proporcionan servicios ambientales, entre los más importantes están: protección a la biodiversidad, paisajes, amortiguamiento del efecto de huracanes en la costa, estabilidad de ciclos hidrológicos y químicos, así como conservación de hábitat (Hunter, 2002). Estos ecosistemas además funcionan como trampas de CO<sub>2</sub>.



## 1.6. *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Tabebuia rosea* Bertol

Los árboles del género *Tabebuia* resultan de gran interés dado que cuentan con un mercado bien identificado siendo *Tabebuia rosea* y *Tabebuia donnell-smithii* las más importantes. En el pasado estas especies han sido identificadas por el colectivo de productores, por la CONAFOR y la CONABIO como maderas de buena calidad, rápido crecimiento, y con buena adaptación a las condiciones regionales. Ambas son especies de alto interés con fines de producción, restauración y conservación, sin embargo presentan la limitante de no contar con materiales que hayan partido de algún programa de mejora genética. Actualmente los materiales disponibles provienen de árboles dispersos o localizados de acahuales de fácil acceso que han sido empleados como fuente de semilla para producciones discretas.

## 2. ESTADO DE LA CONSERVACIÓN GENÉTICA

### 2.1. Conservación genética *in situ*

#### 2.1.1. Áreas Naturales Protegidas (ANP) en México

Las áreas naturales protegidas tienen como propósito conservar y preservar los hábitats como un mínimo de cambios por intervención humana, con la finalidad de aceptar la evolución de las especies dentro de estos ecosistemas conservados. Actualmente en México se han decretado 174 ANP por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), mismas que cubren una superficie terrestre y marítima de 25,386,748 ha (CONANP, 2011). En la revisión de los planes de manejo y de la información que existe se registraron 2,406 especies

arbóreas y arbustivas de interés forestal, las cuales representan 56.5 % de las 4,257 especies forestales que se estima existen en México (CONABIO, 2011).

### *2.1.2. Áreas forestales con programa de manejo*

Bajo los lineamientos de un plan de manejo forestal se da autorización para aprovechamiento de productos forestales maderables y no maderables, para realizar aprovechamientos sustentables de los ecosistemas bajo manejo. Esto permite que los dueños obtengan ingresos para satisfacer necesidades básicas, convirtiéndose al mismo tiempo protectores de sus propios recursos; además buscan mejorar las condiciones actuales de sus masas forestales (FAO, 2011). En el año 2009, 24.2% de la superficie arbolada y arbustiva estuvo bajo un plan de manejo forestal (SEMARNAT, 2009). Las masas forestales por si mismas promueven la conservación de los recursos forestales que pueden enfocarse específicamente a restauración, protección, recuperación y aprovechamiento sustentable.

### *2.1.3. Programas de conservación y fomento*

#### Pago por servicios ambientales

El gobierno federal y gobiernos estatales actualmente fomentan la conservación de la vegetación con iniciativas como programas de apoyo por el pago por servicios ambientales. En estos programas los dueños y poseedores de tierras reciben una compensación económica como una forma de evitar o reducir el aprovechamiento maderable y de esta manera conservar sus recursos, a partir del 2010 se otorgan apoyos económicos a predios bajo aprovechamiento con

certificado de buen manejo forestal (CONAFOR, 2011) donde principalmente se promueven las decisiones y actividades productivas de manera planificada y ordenada procurando conservar los recursos: suelo, agua, diversidad de flora y fauna que se encuentran dentro de estas superficies. También, se debe promover estrategias operativas de conservación de la diversidad genética de las especies forestales, donde los dueños se involucren en tareas de conservación (FAO, 2011) esto podrá lograrse, cuando los campesinos y silvicultores reconozcan la importancia económica, social y ecológica que mantiene en su propiedad y poder consensuar la importancia de mantener árboles que mantengan características sobresalientes para reproducirse y generar poblaciones productivas.

#### *2.1.4. Unidades Productoras de Germoplasma Forestal-CONAFOR*

Mediante políticas de gobierno articuladas por la SEMARNAT y la CONAFOR (Manual de Establecimiento de Unidades Productoras de Germoplasma Forestal y Norma NMX-169), se ha promovido positivamente la selección y establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal como pueden ser según la disposición y objetividad del trabajo, áreas semilleras, rodales semilleros y rodales con categoría de riesgo. En la actualidad existe un registro de 210 unidades productoras de germoplasma en una superficie de 6,275 ha. En 28 rodales semilleros se tienen especies en categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010. En estas unidades se conservan individuos fenotípicamente superiores para obtener y abastecer germoplasma de calidad, en los programas de plantaciones forestales comerciales, reforestación, etc. Las UPGF, fueron concebidas con fines de reforestación y restauración de ecosistemas forestales donde se busca

primordialmente la conservación, ante esta necesidad se puede participar proponiendo como UPGF los resultados del programa de mejoramiento genético forestal desarrollado en el presente trabajo, al obtener en tiempos relativamente rápidos una selección de material fenotípicamente superior de las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea*, se cuenta con información ambiental, geográfica y fenotípica de cada individuo para poder certificarla; en el Anexo D, se muestra la definición de criterios para evaluación de individuos como UPGF y la ficha técnica con datos básicos para certificación por CONAFOR.

## 2.2. Conservación genética *ex situ* e *in situ*

Los ecosistemas naturales y los programas de mejora genética forestal son cambiantes. La conservación genética no debe pretender promover el mantenimiento del estado de los recursos de manera permanente, sino garantizar la mejora a largo plazo de la diversidad genética actualmente disponible para atender las futuras necesidades humanas. Identificar los valores asignados a los recursos genéticos forestales por las diversas partes interesadas es sumamente importante, definir las opciones técnicas y científicas para conservarlos es lo que asigna la viabilidad de las propuestas.

Las opciones técnicas principales para la conservación de los recursos genéticos, comprenden la conservación *in situ* y la conservación *ex situ*. Los dos métodos se complementan, *in situ* (en el sitio) implica el mantenimiento continuado de una población dentro de la comunidad de la que forma parte y en el ambiente en el que está adaptada. La conservación *ex situ* incluye la conservación fuera del sitio

original en bancos de semillas, polen, tejido y colecciones vivas como arboretum, bancos clonales, banco de germoplasma, UPGF. Es importante mantener en la conservación amplitud de áreas de conservación, suficientes para evitar los efectos negativos de la endogamia y la deriva genética. Este tipo de conservación es muy útil para especies amenazadas o que su hábitat natural está amenazado. Generalmente en especies y procedencias de alto valor económico y social, sus costos de selección, establecimiento y mantenimiento son elevados (FAO, 1993).

Debido a que en México no existe una política nacional para realizar estudios y elaboración de inventarios de variación genética de especies arbóreas tampoco no se han establecido mecanismos para dar seguimiento a la pérdida genética y vulnerabilidad de las especies. Sin embargo a través de instituciones como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) se han apoyado 47 proyectos encaminados a la diversidad y conservación genética (CONABIO, 2012) las especies estudiadas son ocho principalmente: *Abies religiosa*, *Pinus patula*, *Pinus oocarpa*, *Pinus greggii*, *Pinus pincheana*, *Pinus leiophylla*, *Pseudotsuga menziesii* y *Cedrela odorata*, las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea* no han sido estudiadas, a pesar de su importancia económica, ecológica y del riesgo que implica que estén establecidas en el selvas, siendo el tipo de vegetación que ha presentado mayor pérdida de superficie forestal (FAO, 2010). En México 21 instancias desarrollan proyectos de conservación y mejoramiento genético *ex situ*; 180 ensayos; 21 huertos semilleros sexuales; cinco huertos semilleros asexuales; cinco bancos clonales y cuatro áreas semilleras (CONABIO Y SEMARNAT, 2009).

### *2.2.1. Rodales semilleros*

Las fuentes de semillas son de gran importancia. Se ha determinado que los programas de mejoramiento genético forestal que han logrado el éxito son aquellos que han utilizado procedencias y fuentes de semillas adecuadas.

Los rodales o áreas semilleras son sitios seleccionados por sus características superiores en rodales naturales o zonas de plantación con el propósito de asegurar el abastecimiento de semillas de origen geográfico y condición parental conocidos. Una de las características es que un alto porcentaje de árboles sanos y con buen fenotipo, constituyen una etapa previa para diseñar huertos semilleros y generalmente no se someten a ensayos de progenie, es decir, su valor genético no es bien conocido (Niembro, 1985).

La utilización de rodales semilleros constituye una técnica intermedia de la mayoría de los programas de mejoramiento forestal que permite obtener semillas mejoradas a largo plazo (Barret, 1980). Las características del germoplasma de estos rodales permiten garantizar calidad y cantidad necesaria para eliminar o minimizar la dependencia de material de fuentes externas, este material conocido deben ser utilizados en los programas de mejoramiento genético (Quijada, 1980). Cuando se trata de especies con amplia distribución geográfica, la ganancia genética depende de la presión de selección de la población base, la presión debe ser dirigida únicamente a individuos sobresalientes fenotípicamente respecto a árboles vecinos de su misma especie o a toda la población que está siendo estudiada, esta presión selectiva ha sido asociada a las ganancias genéticas que

podrán obtenerse en trabajos futuros, donde los resultados experimentales permitan seleccionar a los mejores genotipos (Barret, 1980).

Los criterios importantes de selección para especies latifoliadas son la salud, el rendimiento y el fenotipo de los árboles, también se aplican otros propios de cada especie, como ausencia de brotes epicórnicos con vestigios de yemas (Palmerg, 1980).

Las fuentes de semilla seleccionadas permiten obtener semillas mejoradas a corto plazo y bajo costo, producen semillas provistas de fenotipos de calidad superior a la media poblacional estudiada, conociendo el origen y permitiendo optimizar las labores de colecta centrado en producción de semillas en zonas específicas bien conocidas y referenciadas (Niembro, 1985).

### *2.2.2. Huerto semillero*

Se define como huerto semillero al área donde se establecen y manejan fenotipos o genotipos superiores en forma extensiva y con el fin de obtener semillas mejoradas en las que se tenga un control de las procedencias y paternidades (Zobel y Talbert, 1988). La diferencia de estos con los rodales, es que las áreas para huerto semillero son establecidas exclusivamente para obtener semillas (Quijada, 1980).

La clasificación o tipo de huerto semillero será dependiendo del material plantado, el objetivo del huerto, con base a esto se dividen en tres grupos; 1) huertos semilleros clonales, que se establecen en áreas aisladas y favorables dando mayor importancia al desarrollo de copas, usando material bien seleccionado

buscando siempre la floración y producción de semilla, los individuos que conforman este tipo de huertos provienen de un sistema reproductivo que mantiene toda su carga genética; 2) huertos semilleros de plántulas, en estos se usa progenies de polinización controlada o abierta de fenotipos seleccionados; frecuentemente son huertos semilleros de plántulas extensivos, rodales establecidos bajo una mezcla de semillas de al menos 60 progenitores deseables manteniendo la identidad de cada familia durante la recolección y vivero, para establecer los lotes de plántulas equilibrados en representación de todas las procedencias progenitoras (Granhof, 1991), este tipo de huertos lo conforman plantas provenientes de reproducción sexual, que solo mantienen al menos la mitad de la carga genética del progenitor.

Los huertos semilleros también podrán ser funcionales para el mejoramiento genético forestal a largo plazo, además de ser productivos a corto plazo, la ganancia genética dependerá de la intensidad de selección que se aplique en relación a calidad y conformidad original de la población que se esté seleccionando (Quijada, 1980) y permita seleccionar individuos verdaderamente dominantes, la intensidad de selección puede interpretarse también como rigurosidad de selección que se define como la distancia entre el promedio del conjunto de los individuos seleccionados y el promedio de la población original, para un carácter determinado (Zobel y Talbert, 1984) cuanto mayor sea esta distancia mayor será el nivel de superioridad de un individuo y de ser un individuo genéticamente superior, esto será comprobable hasta que se realicen pruebas genéticas y seleccionar entonces individuos dominantes en fenotipo y genotipo



que mantendrán el éxito del programa de mejoramiento genético forestal a largo plazo. El establecimiento de la selección de individuos fenotípicamente superiores debe ser multiobjetiva, establecer huertos semilleros que aporten germoplasma forestal para que los silvicultores y dependencias de gobierno utilicen en programas de reforestación, restauración y plantaciones comerciales. Además de establecer pruebas de progenie para continuar las evaluaciones genética con el objetivo a largo plazo de preservar genotipos mediante bancos clonales, evaluación de los genotipos y su interacción con el ambiente, multiplicación de genotipos convenientes para uso comercial y en programas operativos de plantación para obtener máximas ganancias genéticas y uniformidad productiva.

### 2.3. Análisis Geográfico en el Manejo de los Recursos Naturales

Los Sistemas de Información Geográfica-SIG se pueden definir como un avance tecnológico integrador de varias disciplinas con un objetivo en común de análisis y creación, adquisición, almacenamiento, edición, transformación, visualización, distribución, etc. (Goodchild, 1993). También se pueden definir como la integración organizada de equipo de cómputo, programas, datos geográficos y personal diseñado para el análisis de información geográficamente referenciada, que en la actualidad se utiliza para desarrollar propuestas en planificación y gestión de recursos naturales (Trucíos, et al., 2013). Son un conjunto de procedimientos y métodos que se ejecutan sobre un conjunto de atributos del mundo real que son representados gráficamente, que pueden medirse y presentan una dimensión. Además se relacionan con una base de datos gráfica que incluye información georreferenciada y que ha sido relacionada con la base de datos descriptiva.

A partir de los 90's, los SIG se convierten en un campo de estudio multidisciplinario que contribuye en la planificación del desarrollo territorial con base en estudios geológicos, geohidrológicos, de uso del suelo y condiciones climáticas, entre otros (Clarke, et al., 1996). Los SIG orientados al aprovechamiento integral de los recursos naturales deben integrar capas temáticas de información en el área de estudio (Thiruvengadachari, 2004). Esto permite generar mapas sobre temas específicos, consulta de base de datos y desarrollo de modelos dinámicos con información ambiental real.

La aplicación y utilidad de los SIG en el presente trabajo fortalece uno de los fundamentos de la metodología clásica en mejoramiento forestal, al caracterizar de manera clara y precisa el área geográfica original donde han sido seleccionados los individuos superiores que conforman la selección, esta herramienta presenta virtualmente las características climáticas que posee cada sitio en particular donde los individuos seleccionados se han adaptado por selección natural. La información climática por cada individuo es importante mantenerla para identificar, zonificar sitios o regiones aptas para el establecimiento y desarrollo de cada individuo y su descendencia. Además de ilustrar los límites espaciales, concentraciones y ubicación georreferenciada de cada individuo, haciendo practica la interpretación geográfica y climática.

### III. OBJETIVO

#### Objetivo general

- ❖ Identificar y seleccionar árboles plus de las especies *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Tabebuia rosea* Bertol en el Soconusco, Chiapas, México.

#### Objetivos específicos

- ❖ Identificar fenotípicamente árboles plus de las poblaciones naturales de *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Tabebuia rosea* Bertol.
- ❖ Ubicar áreas geográficas en donde se encuentre mayor prevalencia de árboles superiores de cada especie.

### IV. HIPÓTESIS

1. Se encontrarán diferencias entre los marcadores morfométricos de los árboles candidatos y los árboles plus de las poblaciones de *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Tabebuia rosea* Bertol en el Soconusco, Chiapas, México.
2. De acuerdo a los marcadores morfométricos y el análisis espacial podrán encontrarse evidencias que sugieran una relación entre la respuesta de los marcadores morfométricos y las variables bioclimáticas.

## V. METODOLOGÍA

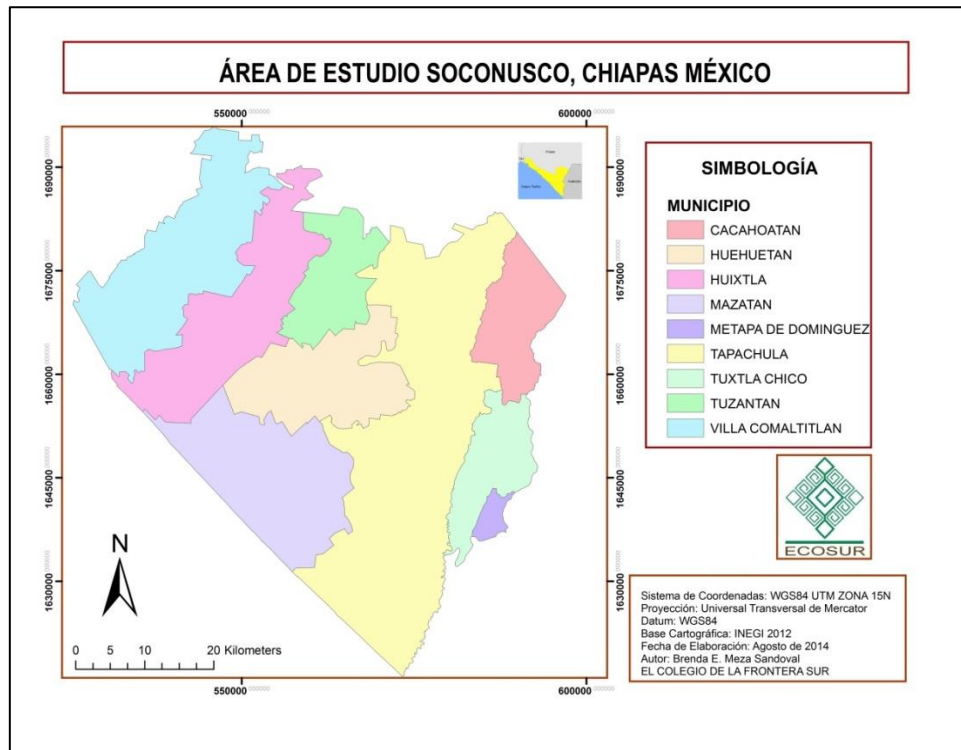
### 5.1. Zona de estudio

Los municipios en donde se realizó la colecta de material biológico fueron Huixtla, Tuzantán, Huehuetán, Mazatán, Tapachula, Tuxtla Chico y Metapa de Domínguez todos ellos ubicados al sureste del Estado de Chiapas (Figura 1) y donde las especies se distribuyen de cero a 600 msnm. La parte baja se caracteriza por ser una planicie costera de 20 a 30 km de ancho, cuyo margen es delimitado por el Océano Pacífico y la Sierra Madre de Chiapas.

El suelo de la Llanura Costera se caracteriza por ser profundo y salitroso conforme su cercanía al mar. El suelo de la Sierra Madre está constituido en su mayoría por rocas de origen volcánico, el núcleo de la sierra lo conforma un complejo metamórfico. La altura del relieve varía entre los cero msnm y 4,080 msnm. La región presenta diez unidades de suelo, siendo los principales suelos de tipo Cambisol, Acrisol y Feozem (PRD, 2011).

El clima es cálido húmedo con lluvias en verano y cálido sub húmedo con lluvias abundantes en verano. En los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va de 18 °C a 22.5 °C, mientras que la máxima promedio oscila entre 30 y 34.5 °C. En los meses de mayo a octubre la precipitación media va desde 1500 mm hasta más de 3000 mm (INEGI, 2000). Debido a su latitud (13 a 17° N), la región tiene un clima tropical con pocas variaciones durante todo el año. El mes más frío registra 27 °C, mientras que la media del mes más cálido no es mayor a 30°C. El calor, por lo tanto, es a la vez constante y esencialmente invariable a

diferencia de las partes del Este de México. La región presenta una combinación adecuada de lluvias y desniveles geológicos.



**Figura 1.** Municipios donde se distribuyen los ejemplares utilizados de *T. donell-smithii* y *T. rosea* en la región Soconusco Chiapas, México.

### 5.3. Selección de árboles

El principio del método clásico de selección de árboles plus es la comparación con sus vecinos, donde el árbol candidato se compara con sus mejores cuatro a cinco vecinos de su misma especie en un radio entre 15 y 20 m de distancia (Zobel y Talbert, 1984). Para este trabajo, este método se aplicó en aquellos individuos que se encontraron acompañados de individuos de otros de su misma especie. Para

aquellos individuos aislados se utilizó el método de valoración individual y su comparación fue con el promedio de la población de preseleccionados (Corea, 1994; Ipinza, 1998) en ambas metodologías se realizaron las siguientes evaluaciones:

#### **5.4. Selección inicial de árboles potencialmente superiores en fenotipo**

El estudio se realizó durante los años 2013 y 2014. El proceso de selección partió de una población de 800 individuos preseleccionados por investigadores de la Red de Recursos Genéticos de México AC (REDGENMEX) basándose en árboles con superioridad fenotípica aparente con diámetros de 30 a 50 cm.

#### **5.5. Evaluación y asignación de árboles candidatos.**

La evaluación de los árboles preseleccionados para ser seleccionados como árboles candidatos fue básicamente una evaluación de características cualitativas relacionadas a calidad, asignándoles un número de acuerdo a las siguientes clases: 1) árboles inaceptables: enfermos y/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 la Clase 2 y 3.

## **5.6. 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 caracter que se le asigne mayor peso debe tener: alto control genético (porcentaje de heredabilidad), alta variación genética, y preferiblemente de fácil medición (Zobel & Talbert, 1984) por lo que se aplicaron marcadores morfométricos a los caracteres cuantitativos relacionados con volumen y a las características cualitativas relacionadas con calidad: *T. donnell-smithii* alturas totales > 20 m, alturas comerciales >15 m, diámetros >40 cm, volumen >1.50 m<sup>3</sup> y no mayor a seis ramas principales, en *T. rosea* altura totales > 20 m, alturas comerciales >10 m, diámetros >40 cm, volumen >1 m<sup>3</sup> y no mayor a 10 ramas principales, los valores asignados a cada características que funcionaron como filtros evaluadores se encuentran por arriba del promedio de las características fenotípicas de los árboles candidatos.

## **5.7. Diferenciación de árboles seleccionador por volumen y calidad: Lista A y Lista B.**

Se establecieron diferencias entre los árboles seleccionados como superiores basadas en los caracteres relacionados a volumen y calidad, con lo que se generaron la Lista A en donde se incluyeron aquellos árboles que mostraron ser superiores en volumen y calidad y la Lista B con los que sólo fueron superiores en uno de los caracteres evaluados. La Lista A son los seleccionados como árboles plus que forman parte de la población comercial inmediata y la población base

para el mejoramiento. Mientras que los de la Lista B que mostraron ser superiores en algún carácter evaluado, podrán formar parte de la población de mejoramiento sometiéndose a cruzas de mejora tanto los ensayos genéticos de comprobación determinen su permanencia dentro del programa.

### **5.8. Intensidad de selección ‘i’ y diferencial de selección ‘s’**

Se evaluó la intensidad de selección, misma que depende de la superficie muestreada o explorada y la cantidad de individuos que se identifiquen por sus características fenotípicas (ejemplo, un individuo por cada 10 hectáreas) y el diferencial de selección que está dado por la distancia del promedio de la Lista A (árboles plus) y la media de la Lista B (árboles candidatos). Ambos datos refieren a la rigurosidad aplicada en la selección y permite al mejorador forestal conocer potencialmente que individuos deben componer la población comercial y la población de mejoramiento.

### **5.9. Reconocimiento del medio con el uso de Sistemas de Información**

#### **Geográfica**

En Chiapas, se cuenta con cartografía a escala 1:250,000 realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y cartografía 1:50,000 realizados por el Laboratorio de Información Geográfica de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) para el proyecto “Agricultura integrada, ganadería y desarrollo rural de la Región del Soconusco, Chiapas”, que constituyeron la principal fuente de información geográfica en este trabajo. Se clasificó la información generada a partir de capas temáticas para insumos de este trabajo en



el SIG: uso de suelo, tipos de vegetación, texturas, precipitación, altitud y clima que representan información funcional para describir variables bioclimáticas de las zonas y sitios donde se ubican y concentran los individuos seleccionados como candidatos/plus, esto es importante pues se sabe que la expresión del fenotipo es la expresión de caracteres visibles de un individuo resultado de la influencia del genotipo, del ambiente, de la interacción del genotipo ambiente y de la edad, al conocer las características ambientales podría analizarse con mayor certidumbre el efecto del genotipo y tomar mayor dominancia en la expresión del fenotipo. Así podría reconocerse si los individuos seleccionados son genotipos sobresalientes o están siendo favorecidos por el ambiente, o de manera contraria ubicar individuos que pudieron desarrollarse con éxito en condiciones adversas, esto resultan más interesantes pues puede tratarse en realidad de individuos con buen genotipo. Para responder a estos cuestionamientos se realizaron consultas biogeográficas por sitio, por árbol candidato y árbol plus, y se agregaron los resultados a la tabla de atributos en el SIG y a la base de datos general. La representación de la información se realizó en mapas temáticos de vegetación, uso de suelo, textura, precipitación media anual y clima, mapas de distribución y un Modelo Digital de elevación (MDE) generado a partir de las curvas de nivel la carta topográfica 1:50,000.

#### **5.10. Cartografía digital**

Se proyectaron los puntos geográficos de cada individuo candidato/plus obtenidos mediante el uso de un navegador GPS (*Global Positioning System*) teniendo como base las diferentes capas temáticas previamente cortadas y editadas, la

proyección utilizada para este estudio fue Universal Transversal de Mercator, Datum WGS 84 UTM Zona 15. En el programa ArcGis ESRI versión 10 se realizaron diseños de mapas temáticos electrónicos: mapa de cobertura vegetal, mapa de vegetación y uso de suelo, mapa de climas, modelo digital de elevación DEM y mapa general de distribución. También se obtuvieron salidas graficas como información complementaria de los mapas digitales.

## VI. RESULTADOS

En el proceso de pre-selección se identificaron 800 individuos como árboles superiores, al realizar los primeros filtros de clasificación basándose en la clase diamétrica definida de 30-50 cm de Diámetro a la altura del pecho (DAP), 300 individuos cumplieron con este primer criterio, denominados ya como árboles candidatos, además cumplieron con criterios relacionados a volumen y/o calidad de la madera. De las variables morfométricas que fueron evaluadas la altura comercial presento mayor diferencia entre las clasificaciones principales: 11.5 m en árboles candidatos a 17.31 m en árboles plus de *T. donnell-smithii* y en *T. rosea* 8.3 m de altura comercial en árboles candidatos a 11.2 m en árboles plus. Los variables altura total, volumen y diámetro presentaron diferenciales menores, presentadas en los cuadros 1 y 2.

**Cuadro 1.** Variables morfométricas evaluadas para los grupos de árboles preseleccionados, candidatos y plus de la población de *T. donnell-smithii* en la región del Soconusco, Chiapas. (Se muestra el valor promedio y la desviación estándar).

	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)	/	$\bar{X} 22.2 \pm 4.15$	$\bar{X} 24.9 \pm 2.81$	2.7 m
Altura Comercial (m)	/	$\bar{X} 11.5 \pm 3.49$	$\bar{X} 17.31 \pm 1.72$	5.81 m
Diámetro (cm)	/	$\bar{X} 42 \pm 6.32$	$\bar{X} 47.07 \pm 2.79$	5.07 cm
Volumen (m <sup>3</sup> )	/	$\bar{X} 1.04 \pm 0.56$	$\bar{X} 2.22 \pm 0.52$	1.18 m <sup>3</sup>
Ramificación (ramas)	/	$\bar{X} 4 \pm 6.82$	$\bar{X} 2.72 \pm 0.66$	1.28 ramas

**Cuadro 2.** Variables morfométricas evaluadas para los grupos de árboles preseleccionados, candidatos y plus de la población de *T. rosea* en la región del Soconusco, Chiapas. (Se muestra el valor promedio y la desviación estándar).

	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 $\pm$ 4.11	$\bar{X}$ 22.8 $\pm$ 2.71	2.1 m
Altura Comercial (m)	/	$\bar{X}$ 8.3 $\pm$ 3.01	$\bar{X}$ 11.2 $\pm$ 1.45	2.9 m
Diámetro (cm)	/	$\bar{X}$ 40 $\pm$ 6.24	$\bar{X}$ 44 $\pm$ 4.38	4 cm
Volumen (m <sup>3</sup> )	/	$\bar{X}$ 0.66 $\pm$ 0.36	$\bar{X}$ 1.32 $\pm$ 0.30	0.66 m <sup>3</sup>
Ramificación (ramas)	/	$\bar{X}$ 9 $\pm$ 7.16	$\bar{X}$ 4.5 $\pm$ 2.63	4.5 ramas

En la última etapa de evaluación para clasificar los árboles plus, 34 individuos cumplieron con ambos criterios; superiores en volumen y calidad: 18 individuos son de la especie *T. donnell-smithii* Rose y 16 de *T. rosea*. El 5 % de la población preseleccionada fueron clasificados como árboles plus de *T. donnell-smithii* Rose los cuales presentaron alturas totales de 20 a 32 m, alturas comerciales de 15 a 20.5, diámetros de 40 a 50 cm, con producciones en volumen de 1.17 a 3.5 m<sup>3</sup>. El 4 % de los árboles preseleccionados de *T. rosea* fueron clasificados como árboles plus, registraron alturas totales de 20 a 32 m; 10 a 18 m en alturas comerciales, con diámetros de 40 a 50 cm y con volúmenes de uno a 2 m<sup>3</sup>. Los árboles plus de ambas especies mantienen fustes rectos con hábitos moderados de ramificación:  $\geq 10$  ramas para *T. rosea* y  $\geq 6$  ramas de *T. donnell-smithii*, los 34 árboles plus se encuentran listados en la cuadro 3 y 4.

Mediante el análisis de la diferencia de los datos registrados mediante marcadores morfométricos se obtuvo el diferencial de selección de los árboles plus y los árboles de la población preseleccionada. El diferencial de selección en la especie

*T. donell-smithii* para la variable altura total fue de 3 m y alturas comerciales (fuste limpio) de 5 m, en la variable diámetro fue de 7 cm y 1.2 m<sup>3</sup> en volumen, en aspectos cualitativos los diferenciales fueron dirigidos únicamente para los árboles con fustes más rectos y con ramificaciones en promedio de 5 ramas principales. Mientras que en la especie *T. rosea* el diferencial de selección en altura total fue de 3 m y en alturas comerciales de 1.46 m, en diámetro el diferencial fue de 6 cm, mientras que en volumen fue 0.69 m<sup>3</sup>, de igual forma la selección dirigida a fustes rectos con ramificaciones en promedio de 5 ramas principales.

La intensidad de selección oscilo en un árbol plus por cada nueve árboles candidatos o un árbol plus por cada 50 árboles de la población preseleccionada. Si se evalúa la intensidad de selección por superficie explorada, la intensidad de selección es un árbol candidato por cada 8 ha y 1 árbol plus por cada 70 ha: debe tomarse en cuenta que la población inicial fueron árboles pre-seleccionados en base a una clase diamétrica en ambientes naturales, diferente será cuando la selección sea dirigida a plantaciones comerciales donde la población es homogénea y con densidades diferentes.

Los árboles plus que superaron a sus mejores vecinos y al promedio de la población preseleccionada en volumen y calidad, fueron 34 árboles (16 de *T. rosea* y 18 de *T. donell-smithii*) que son clasificados en la lista A (Cuadros 3 y 4), que en automático pertenecen a la población comercial para uso inmediato y siendo los individuos que han sido seleccionados por superioridad fenotípica para formar parte del programa de mejoramiento genético forestal de la región. Los árboles que no superaron ambos criterios para ser seleccionados como árboles

plus fueron 124 de *T. rosea* y 137 de *T. donnell-smithii* Rose fueron clasificados en la Lista B, que podrán funcionar como árboles semilleros y que quedan como árboles candidatos en el programa de mejoramiento sin ser excluidos en definitivo.

**Cuadro 3.** Individuos seleccionados como árboles plus de la especie *T. donnell-smithii*.

ID	MUNICIPIO	SUELO	TEXTURA	USO DE SUELO	CLIMA	PRECIPITACIÓN ANUAL
13	HUEHUETAN	Luvisol	Fina	Past.cul	C. subhúmedo	DE 2000 A 2500
31	HUEHUETAN	Luvisol	Fina	Past.cul	C. subhúmedo	DE 2000 A 2500
34	TUZANTAN	Cambisol	Media	Past.cul	C. húmedo	DE 2500 A 3000
37	TUZANTAN	Cambisol	Media	Past.cul	C. húmedo	DE 2500 A 3000
39	TUZANTAN	Cambisol	Media	Past.cul	C. húmedo	DE 2500 A 3000
41	TUZANTAN	Cambisol	Media	Past.cul	C. húmedo	DE 2500 A 3000
44	HUEHUETAN	Luvisol	Fina	Past.cul	C. subhúmedo	DE 2000 A 2500
73	HUEHUETAN	Litosol	Media	Past.cul	C. húmedo	DE 2500 A 3000
80	TAPACHULA	Luvisol	Fina	A.Tem	C. subhúmedo	DE 2500 A 3000
81	TAPACHULA	Luvisol	Fina	A.Tem	C. subhúmedo	DE 2500 A 3000
82	TAPACHULA	Luvisol	Fina	A.Tem	C. subhúmedo	DE 2500 A 3000
83	TAPACHULA	Luvisol	Fina	A.Tem	C. subhúmedo	DE 2500 A 3000
85	TAPACHULA	Luvisol	Fina	A.Tem	C. subhúmedo	DE 2500 A 3000
86	TAPACHULA	Luvisol	Fina	A.Tem	C. subhúmedo	DE 2000 A 2500
87	TAPACHULA	Luvisol	Fina	A.Tem	C. subhúmedo	DE 2500 A 3000
88	TAPACHULA	Luvisol	Fina	A.Tem	C. subhúmedo	DE 2500 A 3000
102	TAPACHULA	Luvisol	Fina	A.Tem	C. subhúmedo	DE 2000 A 2500
153	TAPACHULA	Litosol	Media	A.Tem	C. húmedo	DE 3000 A 3500

**Cuadro 4.** Individuos seleccionados como árboles plus de la especie *T. rosea*

ID	MUNICIPIO	SUELO	TEXTURA	USO DE SUELO	CLIMA	PRECIPITACION ANUAL
35	Huixtla	Cambisol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	2000-2500
6	Huixtla	Cambisol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	2000-2500
24	Huixtla	Cambisol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	2000-2500
45	Huixtla	Cambisol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	2000-2500
1	Huehuetán	Cambisol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	2000-2500
134	Tuzantán	Cambisol	Media	Past.Cul	C. Húmedo	2500-3000
105	Tuzantán	Cambisol	Media	Past.Cul	C. Húmedo	2500-3000
92	Tuzantán	Cambisol	Media	Past.Cul	C. Húmedo	2500-3000
10	Mazatán	Planosol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	1800-2000
83	Mazatán	Planosol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	1800-2000
80	Mazatán	Planosol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	1800-2000
25	Mazatán	Planosol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	1800-2000
36	Mazatán	Planosol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	1800-2000
137	Mazatán	Planosol	Media	A.Tem	C. Subhúmedo	1800-2000
121	Tuxtla Chico	Andosol	Media	A.Tem	C. Húmedo	2500-3000
128	Tuxtla Chico	Nitosol	Fina	A.Tem	C. Húmedo	2500-3000

## **Análisis geográfico**

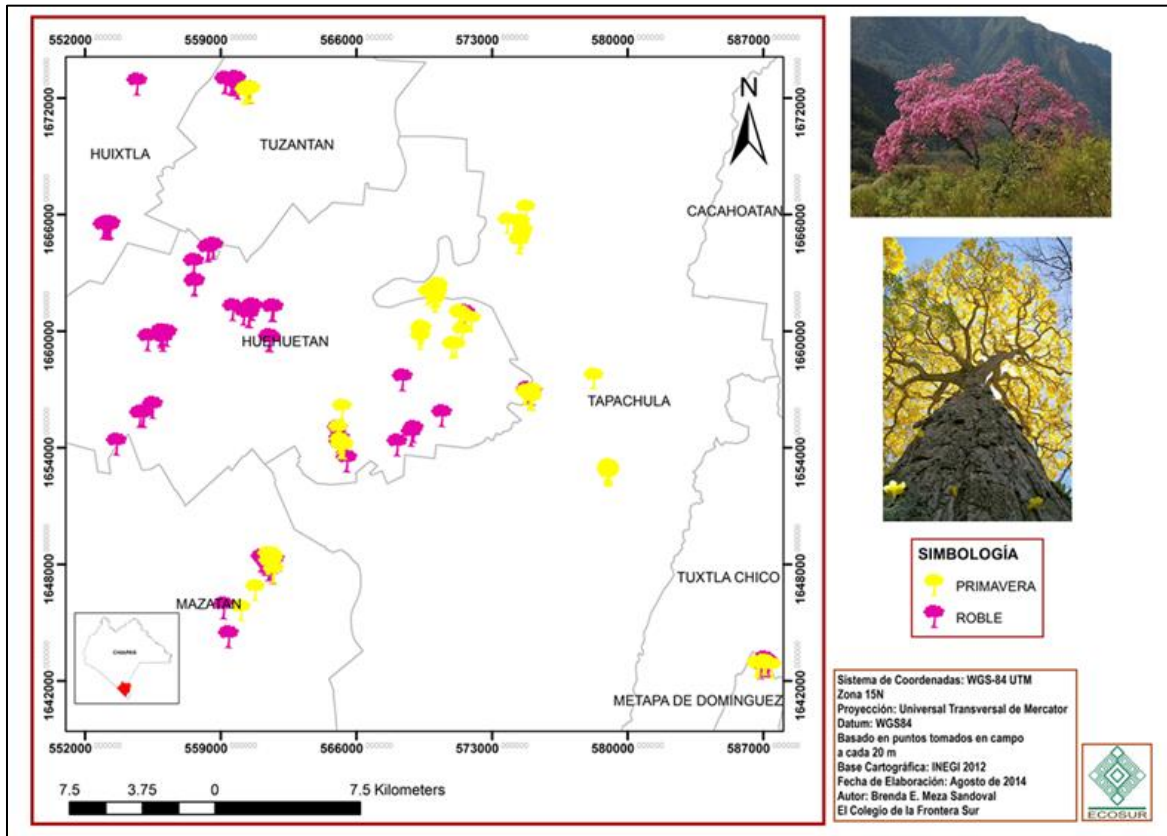
Las características bioclimáticas de la región Soconusco mostraron diferencias en tipos y uso de suelo, clima, precipitación media anual y altitud. Esto permite ubicar y caracterizar los sitios donde fueron identificados y seleccionados los árboles candidatos y plus, la caracterización está sujeta a la interpretación dada por la escala de capas temáticas utilizadas (1:50,000). Los árboles candidatos de la especie *T. donnell-smithii* se encuentran distribuidos principalmente en el municipio de Huehuetán con 75 de los 155 árboles candidatos, los 80 individuos restantes se encuentran distribuidos en los municipios de Huixtla, Tuzantán, Mazatán, Tapachula, Tuxtla Chico y Metapa de Domínguez que son representados en la Figura 2; la ubicación de los árboles plus se muestra en la Figura 3. En la región predominan principalmente dos tipos de clima; cálido húmedo (Am) con precipitaciones de 2000 a 2500 mm anuales, condición donde se ubican 97 árboles candidatos de la especie *T. rosea* y, cálido subhúmedo (Aw) con precipitaciones de 2500 a 3000 mm anuales donde se ubicaron 105 árboles candidatos de la especie *T. donnell-smithii*, el resto de los candidatos se encuentran dispersos en ambos tipos de clima, los árboles plus de ambas especies mostraron estas mismas preferencias (Figura 6). En el mapa de cobertura vegetal (Figura 7), se describe la distribución de las poblaciones de árboles candidatos y plus de ambas especies que fueron encontrados principalmente en tres tipos de uso de suelo: pastizal cultivado, agricultura de temporal y agricultura de riego donde los suelos preferentes para *T. donnell-smithii* con el 32 % es para el suelo de tipo Cambisol y el 37 % de tipo Luvisol (Figura 8)



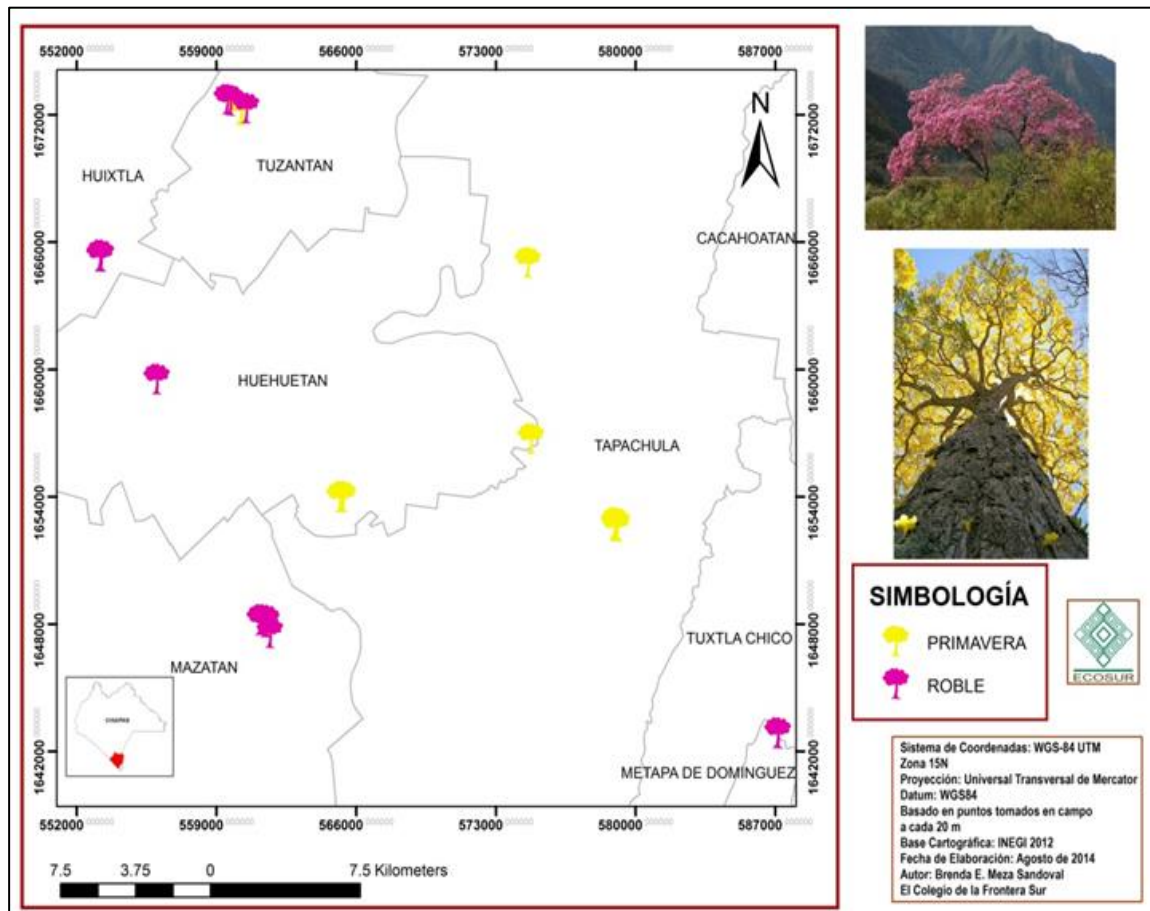
mientras que el 63 % de la población de *T.rosea* se encuentran en suelo de tipo Cambisol y el resto en diferentes tipos de suelo (Figura 9).

El Modelo Digital de Elevación (MDE) que se representa en las Figuras 3 y 4 muestran información elemental como la altitud donde se encuentran los individuos seleccionados como árboles candidatos y árboles plus que definen características ambientales, la distribución de la especie *T. donnell-smithii* se encuentra distribuida en un rango altitudinal de 0 a 550 msnm, identificándose dos segmentos altitudinales: 0-50 y 250-300 msnm con 128 individuos. La especie *T. rosea* se encuentra concentrada en un rango altitudinal de 0-50 msnm con 116 individuos.

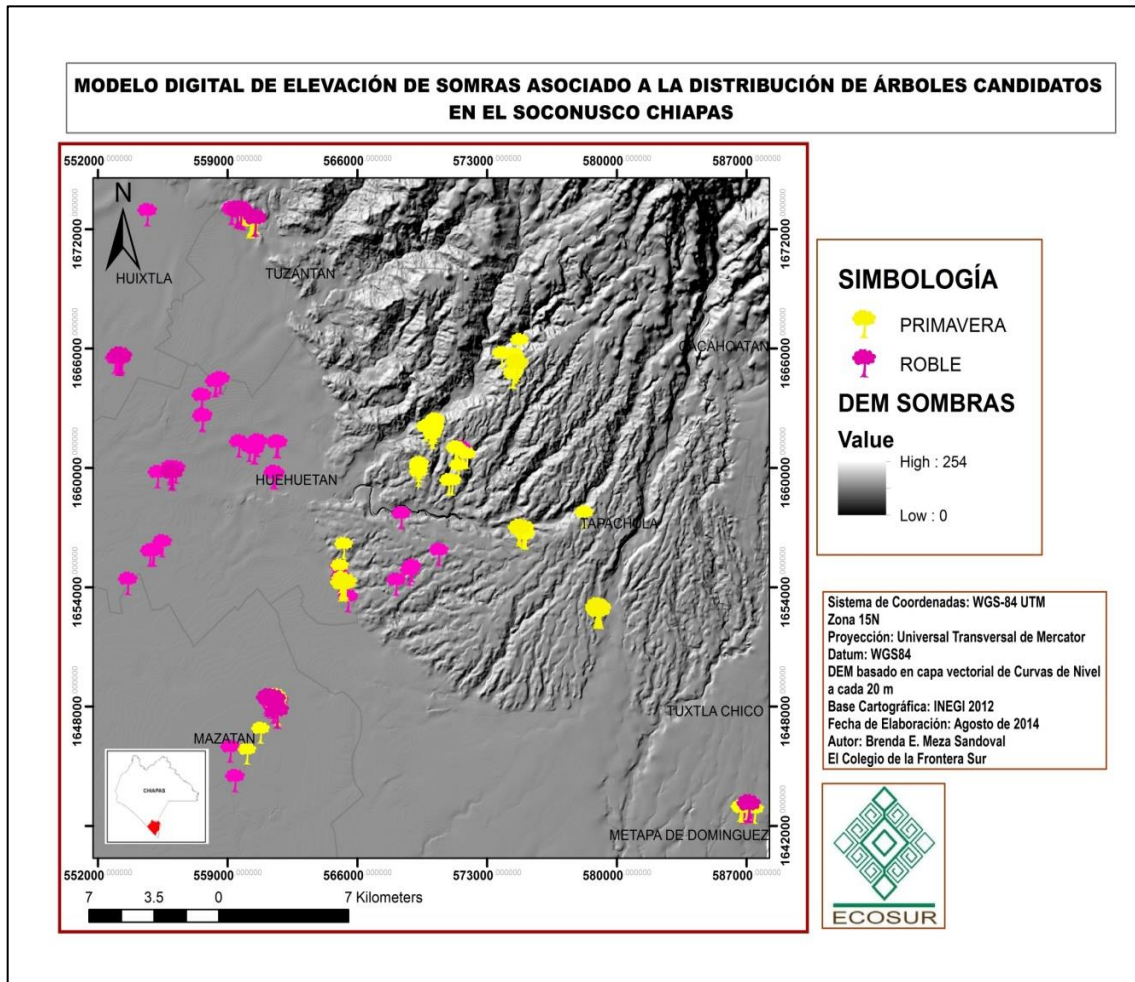
La información cartográfica digital es uno de los principales resultados espaciales de este trabajo, estos datos fueron generados en formato vectorial (puntos, líneas o polígonos) que representa información elemental de todas las características ambientales de los sitios donde se encuentran los individuos seleccionados.



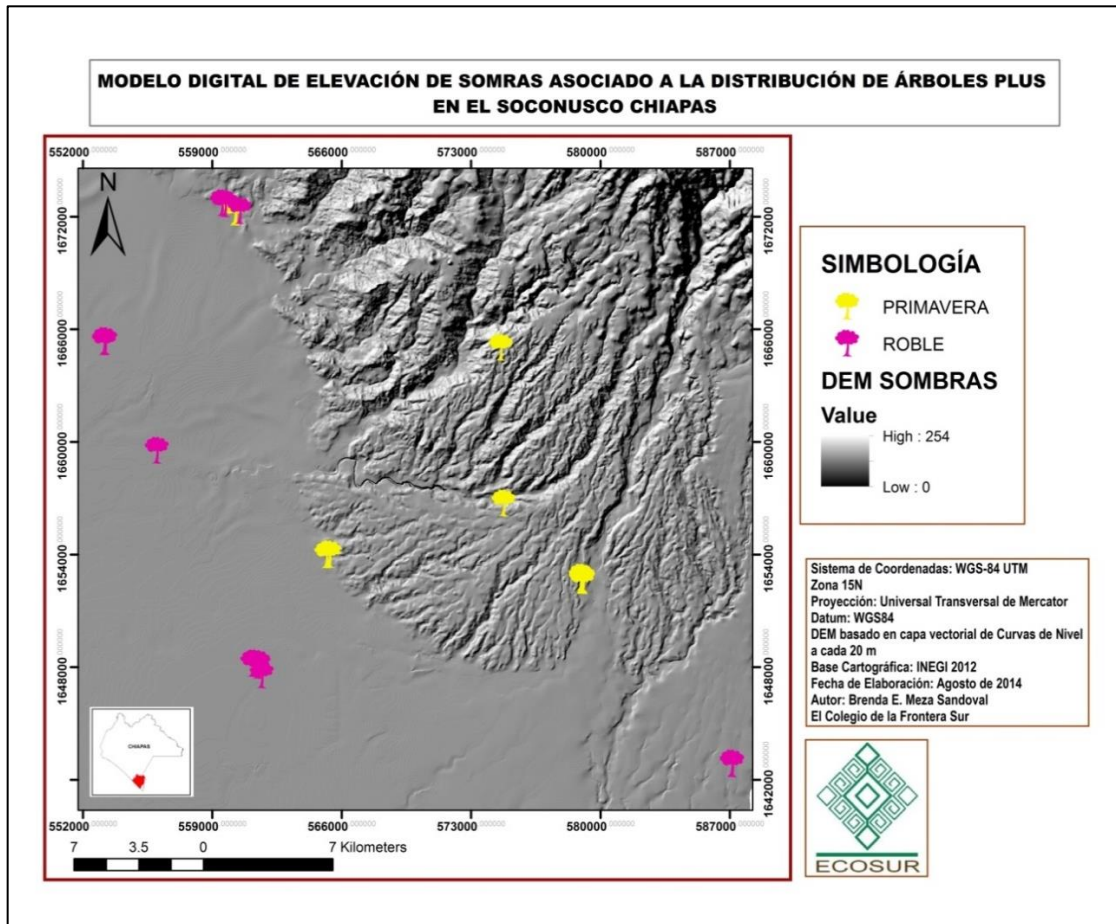
**Figura 2.** Mapa de distribución de población de árboles candidatos de *T. donell-smithii* y *T. rosea* en algunos municipios de la región Soconusco, Chiapas, México.



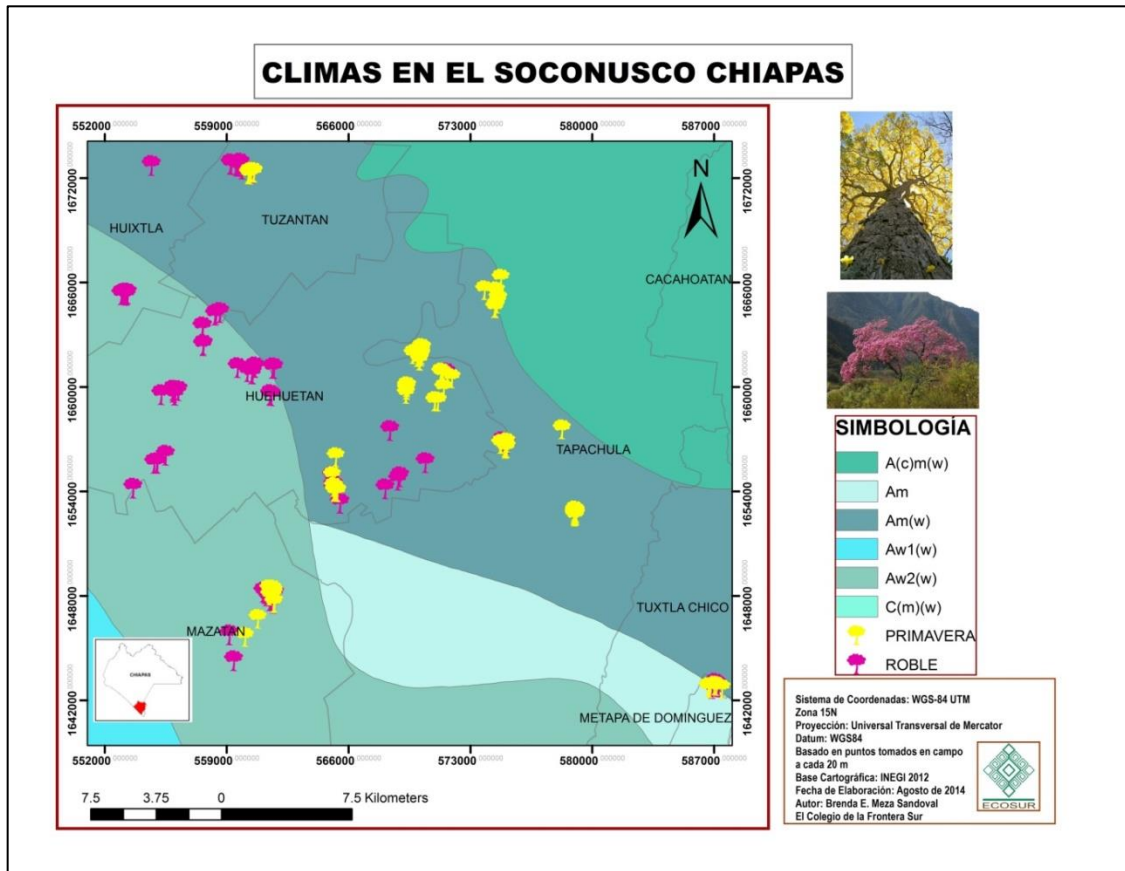
**Figura 3.** Mapa de distribución de árboles plus de *T. donell-smithii* y *T. rosea* en algunos municipios de la región Soconusco, Chiapas, México.



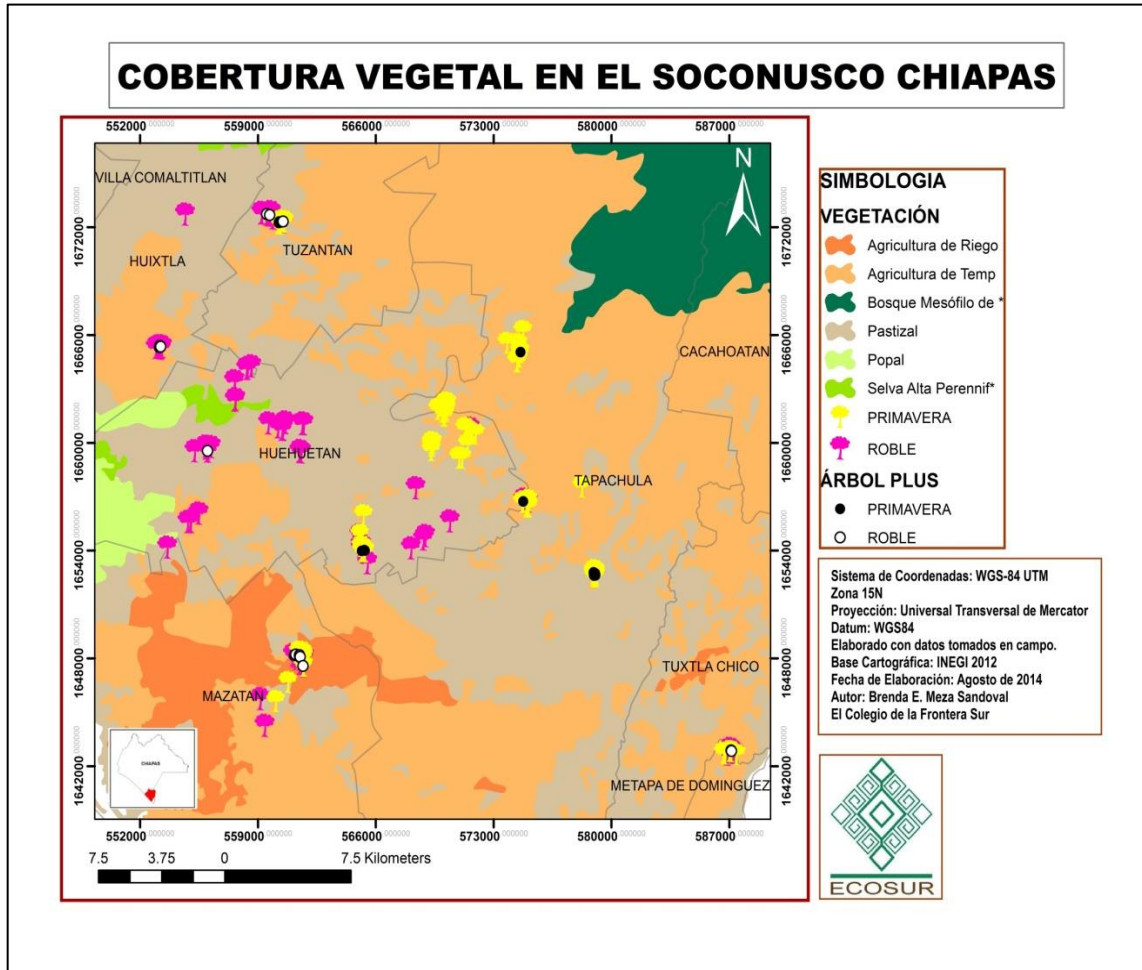
**Figura 4.** El modelo digital de elevación de la distribución de las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea* en el Soconusco, Chiapas, México.



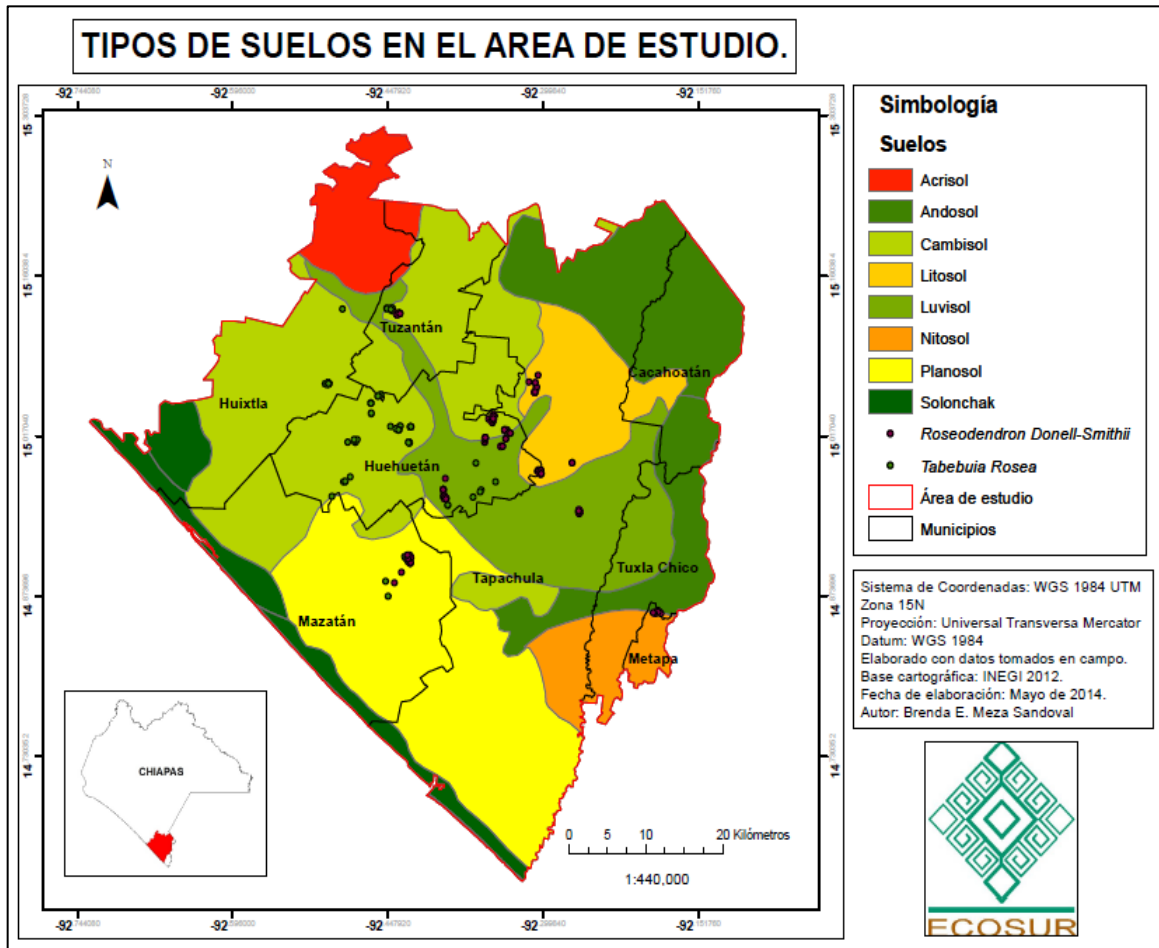
**Figura 5.** El modelo digital de elevación de la distribución de las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea* en el Soconusco, Chiapas, México.



**Figura 6.** Distribución en tipos de clima de árboles candidatos de las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea* en el Soconusco, Chiapas, México.

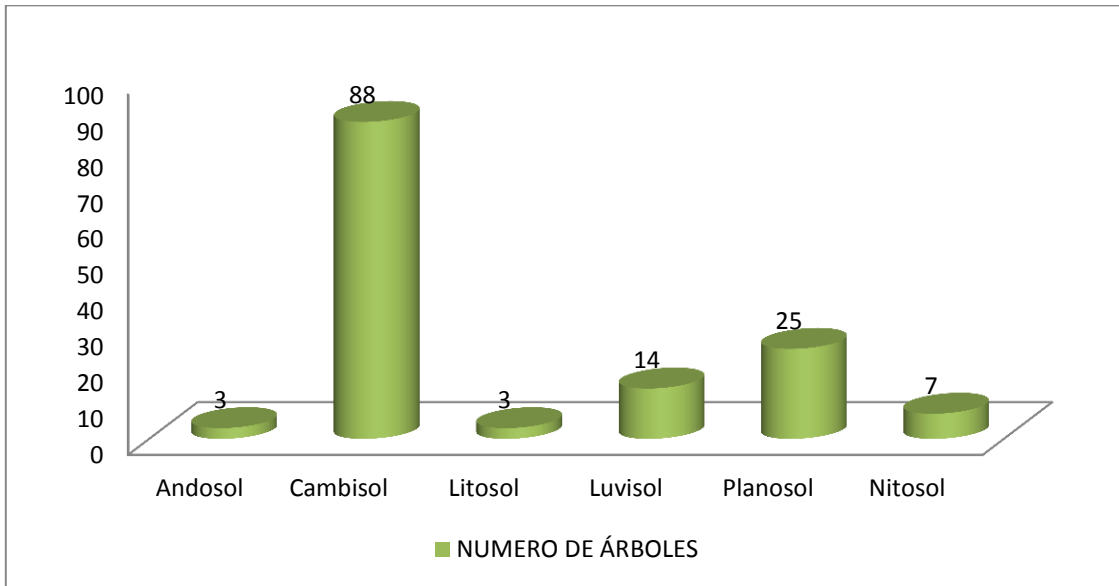


**Figura 7.** Distribución en tipos de cobertura vegetal de árboles plus de las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea* en el Soconusco, Chiapas, México.

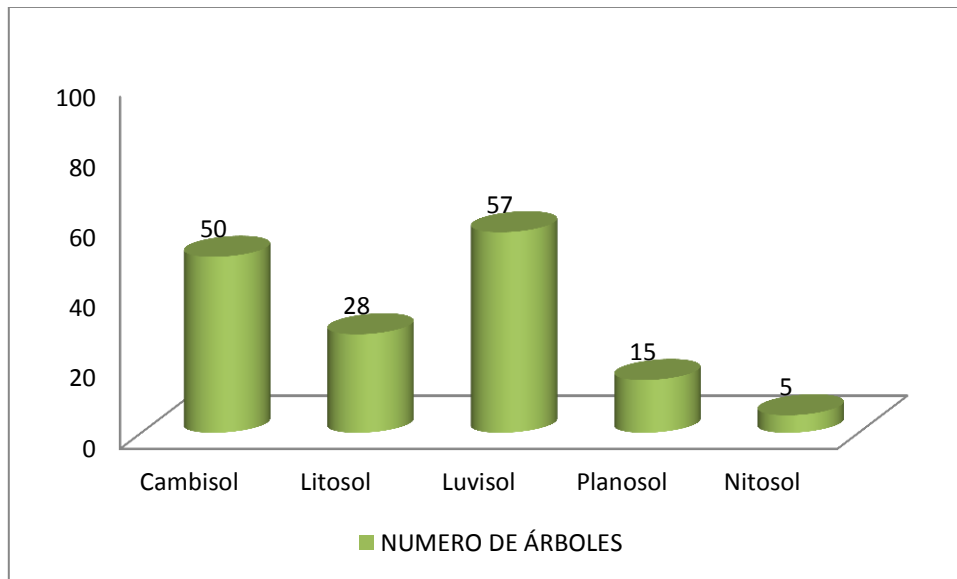


**Figura 8.** Distribución en tipos de suelo de árboles candidatos de las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea* en el Soconusco, Chiapas, México.





**Figura 9.** Presencia de *T. rosea* en diferentes tipos de suelo en la región Soconusco, Chiapas, México.



**Figura 10.** Presencia de *T. donell-smithii* en diferentes tipos de suelo en la región Soconusco, Chiapas, México.

## VII. DISCUSIÓN

### ***Selección fenotípica de árboles plus***

La selección de las especies forestales *T. donnell-smithii* y *T. rosea* en la región Soconusco es necesaria por la importancia económica, ecológica y social que estas poseen, además del riesgo que conlleva al estar establecidas de manera natural en selvas tropicales, siendo el tipo de vegetación que ha sufrido mayores pérdidas en superficie (FAO, 2011). Las poblaciones de ellas se han establecido en sistemas asociados con cultivos agrícolas o como pequeñas parcelas comerciales y pocos son los casos donde se ha adoptado como plantación comercial. El tipo de mejoramiento al que se inclinó este trabajo es de selección tipo individual (Falconer y Mackay, 1998) donde se permite escoger los individuos con base al fenotipo, sin evaluar el desempeño de sus ancestros u otro tipo de parientes. Este mejoramiento es usado en bosques disetáneos o heterogéneos donde los árboles se encuentran generalmente dispersos, con de edades distintas y desconocidas, así como cuando la población está formada por árboles aislados (Cornelius, 1994). Este tipo de selección ha funcionado bien cuando la selección se basa en la evaluación de caracteres altamente heredables (Zamudio y Guerra, 2002) como altura total, ramificación, fitosanidad y rectitud de fuste. (Cornelius, 1994). Los caracteres asociados al volumen del fuste han registrado comúnmente baja heredabilidad (control genético), lo que se estima está controlado por una gran cantidad de *loci* que involucra mayor cantidad del genoma, por lo que raramente superan 40 % de heredabilidad considerándose sumamente baja (Cornelius, 1994) mayormente cuando la selección se realiza en plantaciones

donde los individuos se ven afectados por la competencia en espacios. Características como la altura total del árbol y características cualitativas como: calidad de fuste, hábitos de ramificación y fitosanidad se han registrado con mayor heredabilidad (Murillo y Badilla, 2003), para este trabajo estas características cualitativas fundamentadas por su grado de heredabilidad fueron determinantes en las evaluaciones realizadas. Aparentemente se deja fuera características cuantitativas que reflejan en su totalidad la productividad potencial como es el carácter volumen por presentar bajos porcentajes de heredabilidad, sin embargo son tomadas en cuenta indirectamente al evaluar altura total y diámetro permitiendo así incluir individuos superiores en volumen. Se han reportado programas jóvenes de mejoramiento genético forestal que muestran ganancias hasta del 35 % en volumen por unidad de área al realizar selección fenotípica dando mayores pesos en características cualitativas al seleccionar árboles plus para la base genética del mejoramiento (Cornelius, 1994; Balcorta y Vargas, 2004; Cruz, 2005).

En el proceso inicial de pre-selección se identificaron 800 individuos preseleccionados con diámetros de 30 a 50 cm. Para definir los árboles candidatos se realizaron evaluaciones dirigidas a individuos al grupo de los preseleccionados, sin bifurcaciones bajas, libres de plagas y enfermedades, con defectos leves en el fuste y copa, en esta etapa la población de individuos se redujo a 300 árboles que fueron clasificados como candidatos, cumpliendo al menos uno o ambos criterios de selección relacionados con volumen y calidad de la madera, pocos individuos cumplieron con ambos criterios.

Los promedios de las características fenotípicas evaluadas mediante marcadores morfométricos de los 300 árboles candidatos fueron asignados como parámetros mínimos a superar en la evaluación para seleccionar los árboles plus, los individuos que se ubicaron por arriba del promedio de los candidatos fueron 34 árboles; 18 individuos de la especie *T. donnell-smithii* y 16 *T. rosea*, esto han sido ilustrados espacialmente en la cartografía correspondiente a los resultados con ubicaciones geográficas. Los árboles plus superaron a sus mejores vecinos y al promedio de la población total en los dos criterios volumen y calidad. En las características cualitativas los árboles plus de ambas especies presentaron fustes rectos, ramificaciones en promedio de cuatro ramas principales, ninguno de los árboles plus tienen más de 10 ramas y son totalmente sanos. Los diferenciales de selección están relacionados con las ganancias genéticas (Balcorta y Vargas, 2004) y se esperaría que los diferenciales registrados en el grupo final de árboles plus respecto a los candidatos y preseleccionados se presenten en la descendencia de los árboles plus (f1): los árboles plus de ambas especies tienen fustes rectos con ramificaciones menores a 10 ramas en *T. rosea* y menores a 6 ramas en *T. donnell-smithii*, esta especie registro diferenciales de selección más altos que *T. rosea*, esto puede deberse a los diferentes hábitos naturales de crecimiento: *T. donnell-smithii* llega alcanzar alturas totales de 35 m, mientras que *T. rosea* puede alcanzar los 25 m y tiende a desarrollar copas anchas, estratificadas e irregulares (Navarrete-Tindall y Orellana, 2002; Flores y Marín, 2002) que se ven reflejados en el promedio de ramas para árboles candidatos de 9 ramas principales, 5 más que los candidatos de *T. donnell-smithii*. Al seleccionar en ambientes naturales los diferenciales de selección pueden ser equivalentes a

los obtenidos en los primeros descendientes (f1) ya que se ha reportado que los diferenciales de selección en plantaciones comerciales suelen ser menores a los obtenidos en las pruebas de progenie esto puede deberse a que los individuos son únicamente comparados con sus mejores 4 vecinos, que crecen en competencia de luz y nutrimentos, además de no ser representativos del árboles ordinarios sin ningún tipo de selección o mejoramiento ya que usualmente son obtenidos de viveros forestales(Vallejos, et al. 2010).

La rigurosidad de selección es un elemento principal como estrategia de trabajo, donde se priorizaron esfuerzos para realizar la selección basándose en las características que se sabe están bajo un mayor control genético aditivo y que están relacionadas directamente con la calidad de la madera e indirectamente con el volumen (Zobel y Talbert, 1984). La naturaleza de este trabajo al seleccionar en poblaciones naturales muestra valores distintos de intensidad de selección que han sido reportadas por Vallejos, Badilla, Picado y Murillo (2010) en plantaciones comerciales en Costa Rica de un árbol plus por cada 15,000 individuos, mientras que Murillo y Badilla (2009) reportaron intensidades de selección de un árbol por cada 20,000 individuos, ambas selecciones fueron dirigidas en plantaciones comerciales donde la densidad de población de las especies es mucho mayor que en ambientes naturales. Por otro lado, Espitia, Murillo, Castillo, Araméndiz y Paternia (2010) reportan para la selección de *Acacia (Acacia mangium WILLD)* en Colombia, una intensidad de selección de un árbol por cada 3,459 árboles en una superficie de 3,626 hectáreas de plantaciones comerciales, obteniendo una selección de 89 árboles plus, equivalente a un árbol plus en cada 40 hectáreas,

así mismo la intensidad de selección que reportó Espitia, Murillo y Castillo (2011) en Teca (*Tectona grandis* L.f) en Colombia fue de un árbol por cada 30.5 hectáreas, en esta investigación la selección se realizó en una superficie de 2,399 hectáreas, donde se lograron identificar 34 árboles plus: 16 de *T.rosea* y 14 de *T. donnell-smithii* obteniendo una intensidad de selección de un árbol plus en cada 70 hectáreas en ambientes naturales, existieron limitaciones de acceso y en general pocas poblaciones con individuos superiores que pudieran cumplir con las características fenotípicas mínimas requeridas para incluirse al grupo de árboles preseleccionados, esto puede deberse al aprovechamiento maderable que se ha dado durante años en la región y por la apertura de nuevas áreas para establecer cultivos agrícolas.

Los 34 árboles plus fueron clasificados en la lista A que en automático pertenecen a la población comercial como productores de semilla y como fuente de material vegetativo con superioridad fenotípica y representan la población base para el programa mejoramiento genético forestal de la región. Los árboles que no superaron ambos criterios, se clasificaron en una lista B que serán incluidos y forman parte del programa de mejora en tanto no se defina su status en ensayos genéticos posteriores, evitando con ello, que se cometa el Error Tipo II al dejar fuera individuos genéticamente superiores. Finalmente la ganancia genética de los árboles plus podrá conocerse y demostrarse cuando las pruebas de procedencias sean evaluadas, esperando obtener ganancias genéticas que sean dirigidas a la mejora en volumen y calidad, se dará continuidad a esta investigación con evaluaciones genéticas para corroborar que los árboles plus no estén

emparentados y se cometa un grave error al integrarlos al programa de mejora y provocar endogamia, causando así el fracaso del programa, también serán establecidas pruebas de migración asistida para poner a prueba su capacidad de adaptación a nuevas condiciones de los 34 árboles plus.

### ***Análisis del ambiente***

El fenotipo es la respuesta del genotipo más la interacción con el ambiente (Zobel y Talbert, 1984), por ello caracterizar las condiciones ambientales de los sitios donde fueron ubicados los individuos representa información importante, aún más cuando la selección se encuentra dentro de ambientes diferentes como es el caso de este trabajo, conocer el tipo de suelo, precipitación media anual, altitud, uso de suelo y clima de cada lugar es información fundamental en un programa de mejora con planes a largo plazo. Con estas variables podría reconocerse los sitios que posiblemente favorecieron el desarrollo de los árboles plus y además identificar posibles adversidades ambientales y topográficas que debieron enfrentar.

Se identificaron los municipios donde existe mayor prevalencia de árboles candidatos y plus de *T. rosea* y *T. donnell-smithii*, el municipio de Huehuetán mantiene la mayor concentración de individuos candidatos: 75 de *T. donnell-smithii* y 57 de *T. rosea*, Huehuetán brinda condiciones ambientales variables para permitir el buen desarrollo en ambas especies, conservando aún individuos fenotípicamente superiores. La distribución de los demás individuos se encuentra dispersa dentro de los demás municipios, ilustrado en los Cuadros 5 y 6.

**Cuadro 5.** Distribución de individuos de *T. donnell-smithii* en seis municipios del Soconusco

Municipios	Árbol candidato	Árbol plus
Tuzantán	11	4
Huehuetán	75	4
Mazatán	15	0
Tapachula	49	10
Metapa	2	0
T. Chico	3	0

Se reconocen las características ambientales que favorecieron y posiblemente favorecerán el desarrollo de la primera descendencia de los árboles plus (f1) y se identifican los sitios donde podrían establecerse experimentos futuros para las pruebas genéticas. Los suelos de tipo Cambisol y Luvisol con texturas medias concentraron a 107 árboles candidatos y 16 de los 18 árboles plus de la especie *T. donnell-smithii*, se mantuvieron concentraciones de los árboles candidatos en clima cálido húmedo (Am) con precipitaciones de 2500 a 3000 mm en promedio anual y se encuentran distribuidos dentro de un rango altitudinal de 0 a 300 msnm, el rango altitudinal en que se ubicaron difieren con los reportados por Flores y Marín (2002) que reportan que su crecimiento natural se da desde los 800 a 2000 msnm, el no ubicar individuos superiores en esa altitud puede deberse a la constante extracción de árboles para el aprovechamiento de madera, un problema que ha reducido las poblaciones superiores.

Los individuos de la especie *T. rosea* se encontraron distribuidos en un rango altitudinal de 0-311 msnm, en suelos de tipo Cambisol con texturas medias y en



clima cálido subhúmedo con precipitaciones de 1500 hasta 2500 mm en promedio anual, dentro del rango que ha sido reportado por Navarrete-Tindall y Orellana (2002), donde presenta amplia distribución natural hasta los 850 msnm, ningún individuo de ninguna clasificación se encontró por arriba de los 350 msnm, puede deberse a dos posibles situaciones: 1) a el exceso de precipitación a esas altitudes que rebasan 3500 mm anuales o 2) en altitudes máximas los suelos son generalmente Litosol, características no preferentes para los individuos de *T. rosea* en este trabajo. Esta información permitirá a los trabajos futuros delimitar geográficamente áreas con las condiciones ambientales que favorecerán el desarrollo de los árboles plus, de cada especie en esta zona. Los individuos candidatos fueron ubicados principalmente en el municipio de Huehuetán con 57 árboles y los árboles plus estuvieron distribuidos de manera dispersa en los demás municipios estudiados (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Distribución de individuos de *T. rosea* en cinco municipios del Soconusco.

Municipios	Árbol candidato	Árbol plus
Huixtla	27	4
Tuzantán	22	3
Huehuetán	57	1
Mazatán	24	6
T. Chico	10	2

## VIII. CONCLUSIÓN

Las metodologías de comparación y valoración individual empleadas conjuntamente en este trabajo aportan bases analíticas al programa de mejoramiento genético forestal de la región. Permite definir la población comercial de uso inmediato y la población base de mejoramiento a mediano y largo plazo. También se identifican individuos como árboles candidatos en observación; sobresalientes que podrán ser incorporados a los programas de cruzas controladas en un futuro. El procedimiento permite generar registros de la masa poblacional y acreditación del fenotipo del árbol plus, así como información complementaria de variables bioclimáticas de los sitios evaluados.

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. La estrategia metodológica de esta investigación además de atender la problemática silvicultural, reduce la erosión de la diversidad genética en las especies *T. donnell-smithii* y *T. rosea* al reproducir una población con variabilidad genética que poseen caracteres productivos heredables. Estas estrategias para que sean efectivas y promuevan la productividad financiera y adaptativa deberán proponerse mecanismos de selección avanzada (genotipo) que permitirán caracterizar genotípicamente esta selección y sentar las bases para un programa de mejoramiento genético a largo plazo.

La información geográfica presentada en este trabajo permite tener dinámica espacial de la información bioclimática que existe en la región Soconusco, a fin de proponerse como una herramienta para la gestión y manejo de la selección de árboles candidatos y plus como principal resultado de este trabajo. Ya que virtualmente puede manipularse y editar capas temáticas simulando acciones encaminadas al manejo de este recurso, ubicando y caracterizando los sitios donde se encuentran estos individuos sobresalientes. Dejando abierta la posibilidad de seguir ampliando de información de las bases de datos construidas y agregadas al sistema geográfico como atributos.

La selección de 34 árboles plus podrán ser propuestos ante la Comisión Nacional Forestal CONAFOR, CHIAPAS como Unidades Productoras de Germoplasma Forestal ya que en esta trabajo se han cumplido las condiciones que han propuesto para la selección de dichas unidades.

Los resultados del presente trabajo mantienen la base informativa y la selección base para posteriormente caracterizar genéticamente los individuos clasificados como árboles plus que conforman la base genética a mejorar, que establece como meta a largo plazo generar productores de germoplasma genéticamente superiores a partir de la selección de este trabajo. Para ello se ha realizado la propuesta de seguimiento del programa, que continua con la determinación de la calidad de semilla de los árboles plus, aplicación de descriptores morfométricos en plántulas de ambas especies en etapa de vivero, establecimiento y evaluación de ensayos de procedencias, y ensayos de migración asistida.

## IX. BIBLIOGRAFIA

- Balcorta, H. y Vargas, J., 2004. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea*) de tres años de edad. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. (10). pp. 13-19.
- Barrett, W.H., 1980. *Elementos y principios de la genética*. Mejora Genética de Árboles Forestales. Informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales celebrado en Mérida, Venezuela. FAO. Roma, Italia. pp. 18-26.
- Barrett, W.H., 1980. *Selección y manejo de rodales semilleros con especial referencia a coníferas*. Mejora Genética de Árboles Forestales. Informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales celebrado en Mérida, Venezuela. FAO. Roma, Italia. pp.158-165.
- Clarke, K. C., Mc.Lafferty, L.S. y Tempalski, B.J., 1996. *Epidemiology and Geographic Information Systems: a review and discussion of future directions*. *EmergInfectDis*. 2, (2). pp. 85-92.
- CONABIO, 2011. Índice de especies. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado en línea:  
[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespecies/arboles/doctos/indice\\_especies.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/infoespecies/arboles/doctos/indice_especies.html).
- CONABIO, 2012. *Proyectos financiados*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado en línea:  
<http://www.conabio.gob.mx/web/proyectos/proyectosfinanciados.html>.

CONABIO y SEMARNAT. 2009. Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.

[http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion\\_internacional/doctos/4oInforme\\_CONABIO.pdf](http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/4oInforme_CONABIO.pdf)

CONAFOR, 2009. Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México: Una herramienta de certeza a la planeación, evaluación y desarrollo forestal de México. Comisión Nacional Forestal. Disponible en línea:

<http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Inventario-Nacional-Forestal-y-de-Suelos.pdf>

CONAFOR, 2011. Zonificación forestal. Comisión Nacional Forestal. Consultado en línea:

[http://148.223.105.188:2222/gif/snifportal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=14&Itemid=11](http://148.223.105.188:2222/gif/snifportal/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=11).

CONAFOR, 2013. Boletín 39. Deforestación en México. Comisión Nacional Forestal. Disponible en:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4517Pierde%20M%C3%A9xico%20155%20mil%20ha%20por%20deforestaci%C3%B3n%20cada%20a%C3%B1o.pdf>

CONANP, 2011. Áreas Naturales Protegidas. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en: <http://conanp.gob.mx>

Cornelius, J., 1994. The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management*. (67). pp. 23-34.

- Cruz, C.D., 2005. *Principios de Genética Cuantitativa*. Universidade Federal de Vicosa. Editora UFV. Vicosa Minas Gerais, Brasil. pp. 394.
- DOF-Diario Oficial de la Federación, 1997. NOM-007-SEMARNAT-1997. Consultado en línea: (<http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3306/1/nom-007-semarnat-1997.pdf>).
- Dvorak, W.S., Potter, K.M., Hipkins, V.D., y Hodge, G.R., 2009. Genetic diversity and gene exchange in *Pinus oocarpa*, a Mesoamerican pines with resistance to Pitch canker fungus (*Fusarium circinatum*). *International Journal of Plant Sciences*, 170, pp. 609-626.
- Espitia, M., O. G. Murillo., Castillo, C.P., 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 & Divulgación Científica*. (13). pp. 99-107.
- Espitia, M., O. G. Murillo., Castillo, C.P., 2011. Ganancia genética esperada en Teca (*Tectona grandis* L.f.) en Córdoba. Colombia. *Colombia forestal*. 14 (1). pp 81-93.
- Falconer, D.S. y Mackay, T.F.C., 1998. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4ta. ed. Longman Sci. And Tech Harlow, UK. pp. 464
- FAO, 1993. *Conservation of genetic resources in tropical forest management*. Principles and concepts. FAO Tropical Forestry Paper 107. Rome. p. 105.
- FAO, 2001. Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/CGRFA/Spanish/itpgr.htm> .

- FAO, 2002. *Evaluación de los recursos genéticos forestales mundiales 2000*. Informe Principal. Estudio FAO Montes 140. Roma. p. 468.
- FAO, 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: informe nacional México*. Organización mundial para la Alimentación de la agricultura- Departamento Forestal-FAO. Roma, Italia. Consultado en línea: <http://www.fao.org/docrep/013/al567S/al567S.pdf>
- FAO, 2011. *Situación de los Recursos Genéticos Forestales en México*. Informe final del proyecto TPC/MEX/3301/MEX (4). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. México. Disponible en: [http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/11/13310714832850/informe\\_rgf.pdf](http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/11/13310714832850/informe_rgf.pdf)
- FAO, 2014. The estate of the world's forest genetic resources. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Disponible en línea: <http://www.fao.org/3/a-i3825e.pdf>
- Flores, E.M. y Marín, 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. pp. 719-721.
- FRA, 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Informe principal. Estudio FAO: Montes. Roma. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/013/i1757s/i1757s.pdf>
- Goodchild, M. J., 1993. The state of GIS for Environmental Problem-Solving en Goodchild, B.O. Parks & L.T. Steyaert Environmental Modeling with GIS Oxford. University Press. New York, Oxford. pp. 8-15.

- Granhof, J., 1991. *Propagación masiva de material mejorado (2) huertos semilleros: conceptos, diseños y papel en el mejoramiento forestal*. Nota de clase No. D. 8. CATIE-MIREN-PROSEFOR. Humlebaek, Dinamarca.
- Hunter, M. L., 2002. *Fundamentals of Conservation Biology*. 2<sup>nd</sup> edition. *BlackWell Science*. Massachusetts USA. p. 547.
- INEGI, 2000. Capas temáticas 1:250,000-1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática Chiapas, México. Disponible en línea: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/default.aspx>
- Ipinza, R., 1998. *Mejora Genética Forestal Operativa*. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. pp. 422.
- 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). pp. 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. pp. 63-73.
- Jara, N.L.F., 1995. *Mejoramiento Forestal y Conservación de Recursos Genéticos Forestales*. CATIE-MIREN-PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica. pp. 19-54.
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), 2013. Disponible en línea: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/259.pdf>.
- Murillo, O. y Badilla. Y., 2003. *Potencial de mejoramiento genético de la Teca en Costa Rica*. Simposio sobre la teca. 26-28 de noviembre del 2003. Universidad Nacional. Heredia. CD.



- Murillo, O., 1991. *Estrategias de Mejoramiento Genético Forestal*. Manual sobre Mejoramiento Genético Forestal. CATIE. Costa Rica. pp. 153-175.
- 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. pp. 715.
- Niembro, R.A., 1985. Preguntas y respuestas más comunes relacionadas con el establecimiento y manejo de áreas semilleras. Boletín Técnico No. 22. *Serie Técnica. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo*. Texcoco, México. p.15.
- Palmberg, C., 1980. *Principios y estrategias para el mejor aprovechamiento de los recursos genéticos forestales*. Mejora Genética de Árboles Forestales. Informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales celebrado en Mérida, Venezuela. FAO. Roma, Italia. pp. 27-50.
- Palmberg, C., 1980. *Selección y manejo de rodales semilleros: latifoliadas*. Mejora Genética de Árboles Forestales. Informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales celebrado en Mérida, Venezuela. FAO. Roma, Italia. pp. 166-168.
- PRD, 2011. *Programa Regional de Desarrollo Región X Soconusco*, Chiapas, México. Chiapas. Disponible en línea:  
<http://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informacion/Desarrollo-Regional/prog-regionales/SOCONUSCO.pdf>

- Quijada, R. M., 1980. *Métodos de propagación vegetativa*. Mejora Genética de Árboles Forestales. Informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales celebrado en Mérida, Venezuela. FAO. Roma, Italia. pp. 189-196.
- Quijada, R.M., 1980. *Rodales semilleros*. Mejora Genética de Árboles Forestales. Informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales celebrado en Mérida, Venezuela. FAO. Roma, Italia. pp. 154-157.
- Resende, M.D.V., Murillo, O. y Badilla, Y., 2013. *Genética Cuantitativa y Selección en el Mejoramiento Genético Forestal*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Rodríguez-Banderas, A., Vargas-Mendoza, C.F., Buonamici, A., y Vendramin, G.G., 2009. Genetic diversity and phylogeographic analysis of *Pinus leiophylla*: a post-glacial range expansion. *Journal of biogeography*. (36). pp, 1807-1820.
- Roulund, H., y Olesen, K., 1992. Mejoramiento forestal a nivel de familia y de individuo. Nota de clase No. D. 4. Humlebaek, Dinamarca. Septiembre. Disponible en línea: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0023S/A0023s07.pdf>
- SEMARNAT, 2012. Base de datos estadísticos, módulo de consulta temática: dimensión ambiental, recursos forestales. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, DGGFS. Disponible en línea: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia\\_mce/html/mce\\_index.html#](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html#) .

SEMARNAT. 2009. Base de datos estadísticos, módulo de consulta temática: dimensión ambiental, recursos forestales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en línea:

[http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia\\_mce/html/mce\\_index.html#](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html#)

SEMARNAT-CONAFOR, 2010. Manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Comisión Nacional Forestal. Disponible en línea:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1290Manual%20para%20la%20identificaci%C3%B3n%20y%20establecimiento%20de%20Unidades%20productoras%20de%20Germoplasma%20Forestal.pdf>

Thiruvengadachari, S., 2004. *Spatial data sets in hydrology project*. Hydrology Project, World Bank.

Trucíos, C. R., Estrada, A.J., Delgado, G.R., Rivera, M.G. y Cerano, P.J., 2013. SIG para el manejo de recursos naturales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-INIFAP. México. pp. 133-146.

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). pp. 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. pp. 13-43.

Zobel, B. y Talbert, J., 1988. *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. Editorial Limusa. México, México. p. 545.

Zobel, B.J., Talbert, Y.J., 1984. *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. LIMUSA. México. p. 545.

## X. ANEXOS

### ANEXO A. GLOSARIO

**Árbol candidato.** Árbol seleccionado tentativamente como árbol plus, que se encuentra a la espera de una prueba de superioridad fenotípica.

**Árbol plus.** Árbol fenotípicamente sobresaliente en una o varias características de interés económico y ecológico dentro de una población de la misma especie.

**Árbol elite.** Árbol con superioridad genética significativa para uno o varios caracteres de importancia económica en uno o varios ambientes.

**Árbol semillero.** Árbol con características fenotípicas deseables que se usa como fuente de semilla.

**Semilla.** Cualquier parte vegetal que se utilice para reproducir una especie.

**Estado fitosanitario.** Condición de salud de una planta que puede ser afectada por daños físicos, ambientales o por el ataque de agentes patógenos (insectos, hongos y otros).

**Fenotipo.** Conjunto de caracteres visibles o medibles de un individuo resultado de la influencia del genotipo, del ambiente, de la interacción del genotipo con el ambiente y de la edad (por ejemplo, forma del fuste, altura, forma de copa, grosor de ramas, entre otros).

**Genotipo.** Es la proporción de la variación total controlada por los genes de un individuo.

**Germoplasma.** Representa a la variación genética de una especie, raza o varias de ellas, expresada a través de su material genético (semilla, cultivo de tejido o plantas en campo).

**Heredabilidad.** Grado en que los progenitores transmiten sus características a su descendencia, que es primordial para estimar la ganancia genética en programas de selección.

**Huerto semillero.** Plantación de árboles genéticamente superiores establecida para la producción de semillas, aislada para prevenir la polinización proveniente de fuentes externas genéticamente inferiores e intensamente manejada para producir cosechas de semillas frecuentes, abundantes y fácilmente recolectables. Se establece mediante clones (injertos, estacas o cultivo de tejidos) o mediante progenie de propagación sexual a partir de los árboles plus.

**Mejoramiento genético forestal.** Aplicación de principios genéticos para aumentar el rendimiento y la productividad de una plantación forestal a través del uso de semillas con superioridad genética.

**Unidades Productoras de Germoplasma Forestal (UPGF).** Área o unidad donde existe una especie forestal con características sobresalientes, de la cual se puede coleccionar germoplasma para producir plantas con fines de reforestación o restauración de ecosistemas forestales.

## **ANEXO B. FICHAS DE ESPECIES**

❖ ESPECIE: *Tabebuia donnell-smithii* Rose

Nadia Navarrete-Tindall y

Mario A. Orellana Nómez

**Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos**

**(Departamento de Biología de la Universidad Estatal de Nuevo México)**

**Facultad de Agronomía, Universidad de El Salvador**

**Familia: Bignoniaceae**

**NOMBRE COMÚN:** Cacho de venado, comida de culebra, copal, cortez, cortez blanco, duranza, flor de zope, gold tree, palo blanco, primavera, white mahogany (Andrino *et al.*, 1991; Gentry, 1992; Standley, 1926; Witsberger *et al.*, 1982).

Se distribuye naturalmente desde México a El Salvador, Honduras, Colombia y Venezuela (Gentry, 1992). Se ha plantado como una especie ornamental en Hawaii (Carr, 1998; Kuck y Tongg, 1960). Hay aproximadamente 100 especies en el género *Tabebuia* (Gentry, 1992). *Tabebuia chrysea* S. F. Blake o roble amarillo, es endémico de los bosques secos del norte de California y del noroeste de Venezuela. *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., uno de los árboles nacionales de El Salvador, es apreciado por la alta calidad de su madera y la belleza de sus flores (Rojas, 1993).

Es un árbol con tronco recto que alcanza hasta 35 m en altura (Standley, 1926). Este árbol puede ser cosechado para madera a los 35 años (Andrino et al., 1991). Es un árbol desciduo con hojas desde mayo hasta enero. Las hojas son palmadas compuestas, con cinco a siete folíolos. Las hojas carecen de pelos estrellados presentes en otras especies de *Tabebuia*. Acorde con Gentry (1992), este árbol crece desde el nivel del mar hasta los 900 m. Andrino et al. (1991) reportaron que crece desde los 800 hasta los 2000 m en altitud, y en áreas con precipitación anual desde los 1500 a los 4000 mm.

Conocida comercialmente como Caoba Blanca (Standley, 1926), la madera fina de *T. donnell-smithii* tiene textura media. De acuerdo con Gentry (1983), la madera es una de las más duras y pesadas de los neotrópicos. Se usa mundialmente para enchapado, muebles, utensilios caseros, pisos y gabinetes (Andrino et al., 1991; Carr, 1998). Se planta como una especie ornamental debido a sus flores amarillas y llamativas, que aparecen cuando el árbol ha perdido sus hojas (Navarrete-Tindall, 1997). Las flores duran menos de una semana. Florece brevemente en diciembre y abril, y fructifica en mayo y junio (Witsberger et al., 1982). Las flores amarillas y tubulares se producen en panículas; los frutos son cápsulas cilíndricas, elongadas y dehiscentes, que contienen muchas semillas aladas que se dispersan con el viento.

Los frutos se recolectan antes de que se abran y maduran antes de que las semillas sean extraídas. Las semillas se separan de los frutos en forma manual. Se propaga por semillas y vegetativamente. Una o dos semillas se siembran en bolsas de polietileno con sustrato a base de tierra, con buen drenaje y riego



frecuente. Las semillas germinan en 12 a 18 días y el porcentaje de germinación es de 46 a 47 % en El Salvador (Jara, 1996). Las plántulas pueden ser trasplantadas en mayo, al comienzo de la estación lluviosa, cuando tienen de 2.5 a 5 cm de altura y más de dos hojas verdaderas. Mediante propagación vegetativa, los cortes de 25 a 199 cm de alto se establecen en bolsas de polietileno, y se riegan frecuentemente (Andrino et al., 1991), o pueden enraizarse directamente en el campo sin adición de reguladores del crecimiento.

❖ ESPECIE: *Tabebuia rosea* (Bertol.)DC.

E. M. Flores y W. A. Marín

**Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica y Escuela Nacional de Biología,**

**Universidad de Costa Rica, Costa Rica**

**Familia: Bignoniácea**

**NOMBRE COMÚN:** Amapa, amapa rosa, amapola, apamate, cachahua, cul, hokab, ícotl, kokab, li-ma-ña, macuelis de bajo, macuelizo, macuil, macuilís, macuilixuatl, maculigua, maculís, maculishuate, maculiz, maculiz prieto, mano de león, maqueliz, maquile, maquilicua, maquilis, matilisquate, mayflower, orumo, palo blanco, palo de rosa, palo yugo, primavera, roble, roble blanco, roble colorado, roble de sabana, roble de San Luis, roble de yugo, roble de río, roble macuelizo, roble morado, roble prieto, roble sabanero, rosa morada, satanicua,

tural, yaxté (Gentry 1992, Pennington y Saruhkán, 1968; Pittier, 1957, Record y Hess, 1949, Standley, 1938).

Es nativa de América continental y común desde las tierras bajas húmedas a las tierras secas altas, desde el sur de México hasta Venezuela y costa de Ecuador (Gentry, 1992). La especie se puede encontrar en rodales puros, árboles aislados o en bosques mixtos (Longwood, 1971). Es un árbol alto, de rápido crecimiento que alcanza desde 25 a 30 m de altura y 1 m de DN. La copa es ancha, estratificada e irregular, con pocas ramas horizontales; el tronco es recto, a veces acanalado en la base. La ramificación es simpodial; los foliolos son subtetrales (Gentry, 1992). La corteza es gris, negruzca o gris-parda, áspera, con fisuras angostas verticalmente y márgenes suberosos (Gentry, 1992); la corteza interna es de color crema o rosácea, fibrosa, amarga, con olor a menta, de 20 a 30 cm de grosor (Pennington y Saruhkán, 1968; Salas, 1993). Las hojas son decusadas, compuestas, digitadas, de peciolo largo y deciduas. Cada hoja tiene cinco foliolos de tamaño diferente; el foliolo central es más largo. Los peciolo y peciólulo son pulvinados. Éstos son elípticos y oblongos, obovados u oblongo ovados, con ápice agudo o acuminado, margen entero y base obtusa. La superficie de los foliolos es lepidotada adaxialmente y abaxialmente, aunque algunas veces puede ser glabra (Salas-Estrada, 1993; Whitmore y Hartshorn, 1969). Las hojas se caen de marzo hasta junio. Se encuentra en suelos profundos y superficiales, pero crece mejor en suelos con buen drenaje y textura fina. El pH del suelo es variable. A pesar de que la especie crece en una gran variedad de hábitats, es frecuente en los bosques que periódicamente están inundados, y

suelos con drenaje moderado a bajo. El rango de elevación varía desde el nivel del mar hasta los 1200 m, temperatura de 20 a 30 °C y precipitación media anual sobre los 500 mm. La albura es de color crema, amarillenta o parduzca, y el duramen es pardo claro con tonos grises y dorados (Longwood, 1971). La madera es fuerte y bastante pesada; la gravedad específica básica es de 0.48 a 0.60. Líneas finas de parénquima dan a esta madera un veteado distintivo en la superficie radial, y un patrón similar a plumas en la superficie tangencial (Longwood, 1971). Tiene una textura media a gruesa, grano recto o entrecruzado, lustre medio, y en condiciones secas, es insaboro e inodoro. El secado al aire libre es rápido y provoca pequeñas fisuras en la superficie y torceduras (Longwood, 1971). La madera es fácil de trabajar excepto el cepillado, y tiene una tasa de contracción moderada (intermedia: entre Caoba y Nogal) (Longwood, 1971). La madera puede ser aserrada, moldeada, perforada y torneada con excelentes resultados; el cepillado requiere algo de cuidado para evitar que el grano se rompa o astille (Longwood, 1971). La durabilidad natural es media. La madera es moderadamente resistente a los hongos blanco y pardo de la pudrición, y susceptible al ataque de termitas y perforadores marinos (Herrera y Morales, 1993; Longwood, 1971). La preservación de la madera es fácil. La madera se usa en construcción en general, muebles, arreglos de interior, paneles, gabinetes, pisos, muelles para botes, mangos de artículos deportivos, implementos agrícolas, remos, palas, enchapado, carretas, cajas y cajones (Herrera y Morales, 1993; Longwood, 1971). La especie se clasifica como estructural tipo B (Herrera y Morales, 1993). La especie se ha usado como ornamental y para sombra, pero se puede usar con éxito en plantaciones comerciales (Pennington y Saruhkán, 1968).

La floración se presenta en enero y febrero y la polinización es entomófila. Las flores son hermafroditas, zigomórficas y solitarias o agrupadas en una inflorescencia pequeña y terminal, con un par de brácteas subtendiendo cada dicotomía (Gentry, 1992). Las flores son grandes y vistosas. El cáliz es verdoso y verde-pardo, tubular y bilabial. La corola es basal funeliforme campanulada, pentalobulada y membranácea, con el limbo abierto; es bluncuzca en la base, y rosada, magenta o casi blanca distalmente, con la apertura de la garganta rosácea (Gentry, 1992). El androceo tiene cuatro estambres, didínamo, divaricado, alternando con los lóbulos de la corola e insertos en el tubo corolar. Se presenta un estaminodio. La antera es dehiscente longitudinalmente. El gineceo está rodeado de un nectario grueso. El ovario es lineal y bilocular, con muchos óvulos biseriados en cada lóculo; el estilo es largo y el estigma es bífido. Los frutos maduran de febrero hasta abril. El fruto es una cápsula larga, loculicida, lineal-cilíndrica, delgada, parda y bivalvar; de 18 a 35 cm de largo, 15 mm en diámetro y atenuada en ambos extremos; el cáliz es persistente (Flores, 1999; Gentry, 1992; Salas, 1993). Las semillas son blancuzcas, delgadas, con alas anchas, hialinomembranosa; la dispersión de las semillas es anemócora. Los frutos se recolectan del árbol antes de que se abran. Las semillas se remueven de las vainas y se pueden almacenar a temperatura y humedad ambiental por varios meses. El promedio de semillas es de 40,000 a 45,000 por Kg; el contenido de agua en las semillas frescas es de 12 a 13 %. La conducta de las semillas es ortodoxa y el porcentaje de germinación varía de 75 a casi 100 %. Las semillas no requieren tratamiento especial. La germinación se presenta bajo sombra o a pleno

sol, buscando siempre que la humedad se mantenga estable. La germinación es epigea y las plántulas son fanerocotilares. La imbibición de las semillas dura 24 horas; la raíz emerge de 3 a 4 días después de sembradas. Las semillas pueden sembrarse bajo sombra parcial en camas o bolsas plásticas, llenas con arena húmeda o mezcla de suelo y arena. El desarrollo de las plántulas es rápido y las plántulas pequeñas pueden ser trasplantadas a bolsas de plástico 8 días después de emerger. El establecimiento en campo se puede realizar cuando las plantas alcanzan los 3 a 5 meses de edad. La distancia de plantación usada en plantaciones monoespecíficas es de 3 por 3 m (González *et al.*, 1990), y la supervivencia resultante ronda el 80 %. Esta especie también se puede plantar con propágulos (Nichols y González, 1991b). Los árboles no requieren poda y no han sido reportados daños provocados por parásitos o depredadores. La tendencia del tallo a bifurcarse observada en plantaciones jóvenes debe ser controlada con apropiadas prácticas de silvícolas (Nichols y González, 1991b) La supervivencia en Costa Rica se ha reportado en un 98%, en plantaciones en Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. El incremento promedio anual en diámetro es de 1.7 cm, y el promedio de incremento en altura de 1.5 m (González *et al.*, 1990). Las plantas jóvenes de 10 años alcanzaron 9.4 cm de DN y 8.7 m de altura en plantaciones monoespecíficas localizadas en Pejibaye, Pérez Zeledón, Costa Rica.

## ANEXO C. PROYECTOS EN MÉXICO

Proyectos enfocados a seis especies forestales, para la estimación de la variación genética en México en el periodo 2001 al 2011. FAO, 2011.

Género/Especie	Característica	$\sigma^2_r$	$\sigma^2_p$	$\sigma^2_{wp}$	$Q_{STR}$	$Q_{ST}$	Referencia
<i>Abies</i>	Composición química de resina en hojas	1.71	39.4	58.1	-	-	Nava cruz et al., 2006
<i>Cedrela odorata</i>	Altura (60 días)	-	42.3	13.4	-	0.28	Navarro-Pereira et al., 2005
	Altura (252 días)	-	57.6	16.6	-	0.3	
	Diámetro en la base	-	53.3	13.3	-	0.32	
	Longitud entre nudos	-	63.5	6.8	-	0.54	
	Altura (5 años)	-	-	21.5	-	-	Sánchez-Monsalvo et al., 2003
	Diámetro (5 años)	-	-	12.6	-	-	
<i>Pinus oocarpa</i>	Altura (180 días)	-	-	9	-	-	Viveros-Viveros et al., 2005
	Diámetro (150 días)	-	-	7	-	-	
<i>Pinus patula</i>	Altura (8 meses)	-	-	4.3	-	-	Sáenz-Romero et al., 2011a
	Peso seco aéreo (8 meses)	-	-	5	-	-	
	Altura (6 meses)	-	5.76	-	-	-	Sáenz-Romero et al., 2011b
<i>Pinus greggii</i>	Altura (8 meses)	-	35.5	7.7	-	-	López-Upton et al., 2000
	Altura (16 meses)	-	-	58	-	-	
	Densidad de la madera	-	13	24	-	-	López-Locía y Valencia-Marzo, 2001
	Supervivencia	15.2	0	2.2	-	-	López-Upton et al., 2004
	Altura	87.8	0.7	0.2	-	-	
	Diámetro	84.1	0.6	0.2	-	-	
	Volumen	76	0.8	0.4	-	-	
	Altura	81.2	11.2	-	-	-	Hernández-Pérez et al., 2001
	Peso seco de raíz (PSR)	72.7	8.3	-	-	-	
	Peso seco aéreo (PSA)	37.9	26.2	-	-	-	
	Relación PSR/PSA	75.4	6.5	-	-	-	
<i>Pinus leiophylla</i>	Capacidad germinativa	-	-	41.3	-	-	Gómez-Jiménez et al., 2010
	Valor p100	-	-	29.3	-	-	
	Valor germinativo	-	-	36.9	-	-	
<i>Pinus pincoyana</i>	Contenido de cera	38.2	10.5	3.4	0.57	0.38	Ramírez-Herrera et al., 2011

## ANEXO D. CRITERIOS PARA EVALUAR INDIVIDUOS DE UPGF Y FICHA TÉCNICA

- ❖ Criterios definidos con base a los objetivos para evaluación de individuos.

<b>Criterios a considerar dependiendo del objetivo de la especie forestal.</b>					
<b>1. Conservación y/o restauración (ecológico)</b>					
<b>Especie</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>	<b>Criterio 4</b>	<b>Criterio 5</b>
	En edad productiva	Vigorosos	Ubicación	Sin presencia o indicios de plagas	Resistente a condiciones ecológicas extremas para su desarrollo
<b>2 Conservación y/o restauración (Recursos Genéticos Forestales)</b>					
<b>Especie</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>	<b>Criterio 4</b>	<b>Criterio 5</b>
	En edad productiva	Vigorosos	Resistentes a plagas	Población núcleo o de distribución restringida	Diversidad de fenotipos
<b>3 Económico-Maderable</b>					
<b>Especie</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>	<b>Criterio 4</b>	<b>Criterio 5</b>
	Dominantes y en inicio o plena edad reproductiva	Fustes anchos y rectos, sin bifurcaciones, y espiralamientos	Buena poda natural y sin ramas epicórnicas	Pocas ramas por verticilo, delgadas y ángulo de inserción (70°-90°)	Copas bien conformadas y equilibradas
<b>4. Medicinal y/o Social</b>					
<b>Especie</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>	<b>Criterio 4</b>	<b>Criterio 5</b>
	En edad productiva	Vigorosos	Que tenga las características físicas y/o químicas necesarias de la sustancia a extraer	Copa o follaje abundante para dar buena sombra	Características ornamentales
<b>5 Cultural</b>					
<b>Especie</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>	<b>Criterio 4</b>	<b>Criterio 5</b>
	En edad productiva o para obtener propágulos	Vigorosos	Con altas concentraciones de algún elemento requerido en un ritual	Sin presencia o indicios de plagas	Copa o follaje abundante

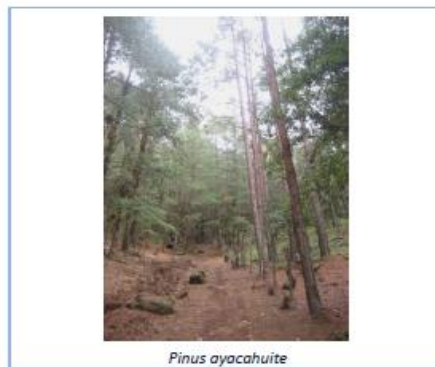
❖ Ficha técnica de Unidades Productoras de Germoplasma Forestal

<b>COMISIÓN NACIONAL FORESTAL</b> COORDINACIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN GERENCIA DE REFORESTACIÓN RED MEXICANA DE GERMOPLASMA FORESTAL	<b>FICHA TÉCNICA DE          UNIDADES PRODUCTORAS          DE GERMOPLASMA          FORESTAL</b>			
---	---	--	---	---

<b>NOMBRE:</b>	"Mitziton (Camino al Chivero)"
<b>TIPO DE FUENTE:</b>	Fuente identificada-Rodal Natural
<b>ESPECIE:</b>	<i>Pinus ayacahuite</i> (Pinabeto)

**INFORMACIÓN GENERAL**

<b>GERENCIA REGIONAL</b>	XI
<b>ESTADO</b>	CHIAPAS
<b>MUNICIPIO</b>	SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS
<b>DEPENDENCIA</b>	CONAFOR
<b>PROPIETARIO</b>	Ejido Mitziton
<b>SUPERFICIE TOTAL</b>	9 Ha
<b>INICIO DE ACTIVIDADES</b>	Año 2008
<b>CLAVE DE LA UPGF</b>	Fi-m 001



**CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES**

<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA</b>	LN 16° 37' 53.3"; LW 92° 32' 37.0"
<b>ALTITUD</b>	2,310 msnm
<b>CLIMA</b>	Templado subhúmedo
<b>TEMPERATURA MEDIA ANUAL</b>	15 °C
<b>PERIODO DE LLUVIAS</b>	Mayo-Octubre
<b>TIPO DE VEGETACIÓN</b>	Bosque de Pino



**CARACTERÍSTICAS DE LA UPGF**

<b>SUPERFICIE DE APROVECHAMIENTO</b>		9 hectáreas	
<b>EDAD PROMEDIO</b>		40 años	
<b>CILO SEMILLERO</b>		3 años	
<b>ESPECIE:</b>	<b>NOMBRE COMÚN:</b>	<b>DENSIDAD:</b>	<b>RENDIMIENTO:</b>
<i>Pinus ayacahuite</i>	Pinabeto	400 individuos	30 kg/año
<b>FECHA DE RECOLECCIÓN</b>		Octubre-Diciembre	

**INFORMACIÓN PARTICULAR**

<b>DOMICILIO:</b>	Domicilio Conocido S/N, Ejido Mitziton, San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
<b>TELÉFONO:</b>	043 86710345 89
<b>CORREO ELECTRÓNICO:</b>	Ejido_mitziton@hotmail.com



## **ANEXO E. ARTÍCULO ENVIADO**

**Identificación y selección de árboles plus de Primavera (*Tabebuia donell-smithii* Rose) y Roble (*Tabebuia rosea* Bertol) en el Soconusco, Chiapas, México**

**Selección de árboles del género *Tabebuia***

### **Highlights**

- *T. donell smithii* plus trees are distributed from 200 to 550 m, whereas the *T. rosea* prefer altitudes below 50 m
- *T. donell-smithii* and *T. rosea* trees in Soconusco region, in Chiapas, México, are suitable for establishing plantations
- The difference in commercial height of the population of candidate versus plus trees is more than five meters.

## RESUMEN

Las actividades fundamentales de un programa de mejoramiento genético forestal incluyen la selección, propagación masiva del material mejorado y la conservación de los recursos genéticos forestales. La selección y el mejoramiento son la actividad central. Primero, la meta a corto plazo que es la producción de semilla mejorada, con origen y procedencia conocidos. Después, a largo plazo, el programa de mejoramiento genético estará orientado a mantener una base genética amplia que permita un avance en las siguientes generaciones del mejoramiento. Aplicando metodologías para calificar marcadores morfométricos que permiten distinguir superioridad fenotípica con intensidades de selección que puedan inferirse como ganancias genéticas futuras, se lograron identificar 18 árboles plus y 155 árboles candidatos de *T.donnell-smithii* y 16 árboles plus y 140 árboles candidatos de *T. rosea*. Los 34 árboles plus pertenecen automáticamente a la Lista A que es la población comercial de uso inmediato ya que podrán ser utilizados como Unidades Productoras de Germoplasma Forestal con origen y procedencia conocidos, además forman parte de la población base para el programa de mejoramiento en la región Soconusco. Mientras que los 295 árboles candidatos que mantienen al menos un carácter superior (volumen o calidad) formarán parte de la población de mejora ubicados en la Lista B.

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

## ABSTRACT

The fundamental activities of a program of tree breeding include selection, mass propagation of improved material and conservation of forest genetic resources. The selection and breeding are the central activity. First, the short-term goal is the production of improved seed with known origin and provenance. After the long term, the breeding program will aim to maintain a broad genetic basis for progress in the next generations of improvement. By applying methodologies to qualify morphometric phenotypic markers that distinguish superiority selection intensities that can be inferred as future genetic gains were able to identify 18 trees and 155 trees plus candidates *T.donnell-smithii* and 16 trees and 140 trees plus candidates *T. rosea*. The 34 trees plus automatically belong to Schedule A is the market town of immediate use as they can be used as Production Forest Units Germplasm with known origin and provenance, also part of the base population for the breeding program in the region Soconusco. While trees 295 candidates who maintain at least a higher character (volume or quality) will be part of the breeding population located in Schedule B.

Keywords: Bignoniaceae, forestry germplasm morphometric markers, plus trees, breeding.

## INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético forestal es la aplicación de principios de heredabilidad de caracteres en la silvicultura para aumentar el rendimiento y la productividad de los bosques. Esto se puede lograr mediante la selección dentro de la especie, de aquellas poblaciones e individuos con características sobresalientes para controlar selectivamente su reproducción y obtener fuentes de semillas con superioridad genética (Mesén, 1995). Una fuente semillera es un grupo de árboles de la misma especie o grupo de especies donde predominan individuos fenotípicamente sobresalientes en cuanto a forma, vigor y sanidad, que debe ser manejada para sostener y aumentar la producción de semillas en calidad y cantidad adecuada (Jara, 1995). Por tanto, la selección de los individuos fenotípicamente sobresalientes, llamados árboles plus (árboles superiores) es el inicio y la base fundamental de un programa de mejoramiento genético forestal (White, Adams & Neale, 2007). Un árbol plus, es un árbol fenotípicamente sobresaliente en una o varias características de interés económico-productivo. El objetivo de la selección de árboles plus es usarlos como progenitores en las poblaciones de mejoramiento a largo plazo y de producción a corto plazo. El primer paso para la selección comienza con establecer las características que ayudarán a definir el árbol plus, estas deben cumplir con las siguientes condiciones: a) presentar variación genética, b) poseer características morfológicas que le brinden importancia económica y c) presentar caracteres bajo control genético aditivo para lograr avances significativos (Resende, Murillo & Badilla, 2013). Las ganancias genéticas esperadas en caracteres relacionados con volumen y calidad dependen del control

genético y la intensidad de selección en las características de alta heredabilidad y de la variabilidad existente en la población (Zobel & Talbert, 1988; Balcorta & Vargas, 2004). La heredabilidad y el diferencial de selección son útiles para predecir la respuesta de la selección en especies forestales (Zobel & Talbert, 1988), en este sentido el diferencial de la selección está íntimamente ligado con la ganancia genética que pueda obtenerse en un programa de mejoramiento genético (Balcorta & Vargas, 2004). Generalmente es recomendable seleccionar en base a un máximo de dos o tres características a la vez, ya que a medida que se consideran más variables, menores serán las ganancias genéticas (Zobel & Talbert, 1988). En el presente caso de estudio los caracteres a mejorar están relacionados con volumen y calidad de la madera: altura total y altura comercial, rectitud de fuste y número de ramas. La metodología aplicada se basa en la evaluación fenotípica de los árboles candidatos considerando de inicio árboles de una clase diamétrica de 30 a 50 cm (18-25 años de edad), edad en la que los caracteres se encuentran en su máxima expresión. La ganancia genética depende de la calidad, rigurosidad y presión en que se realice la selección de los árboles plus (Zobel & Talbert, 1988) en árboles de especies tropicales, se ha reportado que solo el proceso de selección, en su primera generación produce una ganancia genética mayor al 15% en los caracteres de crecimiento en altura y diámetro del fuste, y hasta un 35% en volumen por unidad de área (Cornelius, 1994; Balcorta & Vargas, 2004; Cruz, 2005). Sin embargo aun cuando se logre una selección adecuada de los individuos, poco será el avance del mejoramiento si no existe alta variabilidad genética, para el o los caracteres de interés (Zobel & Talbert, 1988; Murillo, Obando, Badilla & Araya, 2001). La rigurosidad en 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, Badilla, Picado & Murillo, 2010), como fue definida por Zobel y Talbert (1984) como la distancia entre el promedio del conjunto de árboles plus y el promedio de árboles candidatos para un carácter determinado evaluar el diferencial de selección es importante, porque está altamente correlacionado con la ganancia genética, que es el fin de un programa de mejoramiento genético (Balcorta & Vargas, 2004).

La selección de las especies forestales *T. donnell-smithii* (Rose) y *T. rosea* (Bertol) ha sido bien justificada mediante el análisis de su importancia económica, ecológica y social que representan en la región del Soconusco (FAO, 2011); en la costa del Estado Mexicano de Chiapas. Ambas especies se encuentran distribuidas de manera natural; 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 & Orellana, 2002; Flores & Marín, 2002).

En este trabajo se integran dos tipos de metodologías de selección dependiendo de las condiciones de localización de los individuos sobresalientes: 1) método de árboles comparadores que consiste en la comparación del árbol candidato con los árboles vecinos para las características objeto de mejoramiento (Zobel & Talbert, 1984); 2) método de valoración individual que se usa cuando se selecciona cuando los árboles se encuentran generalmente dispersos o aislados (Ipinza, 1998). Para la aplicación de ambos métodos es importante que el mejorador tome

en cuenta la variabilidad de las especies para reconocer individuos superiores evitando que se cometan los errores tipo I y II (Flores & Chávarry, 2005), el objetivo de este trabajo fue realizar un proceso de selección de árboles superiores en ambientes naturales y estimar su diferencial de selección con el propósito de fomentar el abastecimiento de la demanda actual de germoplasma en cantidad y calidad con la mayor ganancia genética posible en función de las necesidades del sector forestal de la región.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Zona de estudio.** Los municipios en donde se realizó la colecta de material fueron Huixtla, Tuzantán, Huehuetán, Mazatán, Tapachula y Tuxtla Chico, todos ubicados al Sureste del Estado de Chiapas, donde las especies se distribuyen de 0 a 600 msnm. 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.

El clima es cálido húmedo y sub húmedo con lluvias abundantes en verano. En los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va de los 18 °C a los 22.5 °C, mientras que la máxima promedio oscila entre 30 y 34.5 °C. En los meses de mayo a octubre la precipitación media va desde los 1500 mm y hasta más de 3000 mm (Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática [INEGI], 2000).

**Selección de árboles.** El principio del método clásico de selección es la comparación con sus vecinos, donde el árbol candidato se compara con sus

mejores 4 a 5 vecinos en un radio entre 15 y 20 m de distancia (Zobel & Talbert, 1984), este método fue aplicado en aquellos individuos que se encontraron acompañados de individuos de su misma especie. Para aquellos individuos aislados se utilizó el método de valoración individual y su comparación fue con el promedio de la población de preseleccionados (Corea, 1994; Ipinza, 1998) en ambas metodologías se realizaron las siguientes evaluaciones:

**Selección inicial de árboles potenciales y preselección de los mejores candidatos.** El estudio se realizó durante los años 2013 y 2014. El proceso de selección partió de una población de 800 individuos preseleccionados por investigadores de la Red de Recursos Genéticos de México AC (REDGENMEX) basándose en árboles dominantes o codominantes con diámetros de 30 a 50 cm.

**Evaluación y asignación de árboles candidatos.** La evaluación de los árboles preseleccionados para ser seleccionados como árboles candidatos fue básicamente una evaluación de características cualitativas relacionadas a calidad, asignándoles un número de acuerdo a las siguientes clases: Clase 1) árboles inaceptables: enfermos y/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 la clase 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 caracter que se le asigne mayor peso debe tener: alto control genético (% de heredabilidad), alta variación genética, y preferiblemente de fácil medición (Zobel & Talbert, 1984). Se aplicaron marcadores morfométricos a los caracteres cuantitativos relacionados con volumen y a las características cualitativas relacionadas con calidad: en la especie *T. donnell-smithii* alturas totales > 20 m, alturas comerciales >15 m, diámetros >40 cm, volumen >1.50 m<sup>3</sup> y no mayor a 6 ramas principales, en *T. rosea* altura totales > 20 m, alturas comerciales >10 m, diámetros >40 cm, volumen >1 m<sup>3</sup> y no mayor a 10 ramas principales, los valores asignados a cada características que funcionaron como filtros evaluadores se encuentran por arriba del promedio de las características fenotípicas de los árboles candidatos.

**Lista A y Lista B.** Se establecieron diferencias entre los árboles seleccionados como superiores en los caracteres relacionados a volumen y los superiores relacionados a calidad, en la lista A se incluyeron aquellos árboles que mostraron ser superiores en volumen y calidad y en la lista B los que sólo fueron superiores en uno de los caracteres evaluados. La Lista A son los seleccionados como árboles plus que forman parte de la población comercial inmediata y la población base para el mejoramiento. Mientras que los de la Lista B que mostraron ser superiores en algún carácter evaluado, podrán formar parte de la población de mejoramiento sometándose a cruza de mejora tanto los ensayos genéticos de comprobación determinen su permanencia dentro del programa.

**Intensidad de selección ‘i’ y diferencial de selección ‘s’.** Se evaluó la intensidad de selección: depende de la superficie muestreada o explorada y la cantidad de individuos que se identificaron por sus características fenotípicas (Ejemplo. Un individuo por cada 10 hectáreas) y el diferencial de selección que está dado por la distancia del promedio de la Lista A (árboles plus) y la media de la Lista B (árboles candidatos). Ambos datos refieren a la rigurosidad aplicada en la selección y permite al mejorador forestal conocer potencialmente que individuos deben componer la población comercial y la población de mejoramiento.

**Georreferenciación.** Los árboles candidatos y plus fueron georreferenciados usando un GPS-Garmin eTrex® para ser ubicados geográficamente y poder coleccionar su semilla para trabajos posteriores.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El tipo de mejoramiento al que se enfoca este trabajo es el de selección de tipo individual (Falconer & Mackay, 1996) donde se permite escoger los individuos con base al fenotipo, sin 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 (Zamudio & Guerra, 2002) como altura total, ramificación, fitosanidad y rectitud de fuste (Cornelius, 1994; Vallejos et al., 2010). Los caracteres asociados al volumen del fuste han registrado comúnmente baja heredabilidad (control genético), se estima que está controlado por una gran cantidad de *loci* que involucra mayor cantidad del genoma por lo que

raramente superan el 40% de heredabilidad considerándose sumamente baja (Cornelius, 1994) mayormente cuando la selección se realiza en plantaciones donde los individuos se ven afectados por la competencia en espacios. Características como la altura total del árbol y las características cualitativas como calidad de fuste, hábitos de ramificación, fitosanidad se han registrado con mayor heredabilidad (Murillo & Badilla, 2003) y en este trabajo fueron determinantes para las evaluaciones realizadas. En el proceso inicial de pre-selección se identificaron 800 individuos dominantes o codominantes, con diámetros de 30 a 50 cm. Para definir los árboles candidatos se realizaron evaluaciones dirigidas a individuos dominantes, sin bifurcaciones bajas, libres de plagas y enfermedades, con defectos leves en el fuste y copa, en esta etapa la población de individuos se redujo a 300 árboles que fueron clasificados como árboles candidatos, cumpliendo al menos uno o ambos criterios de selección relacionados con volumen y calidad de la madera, pocos individuos cumplieron con ambos criterios. Los promedios de las características fenotípicas de los 300 árboles candidatos fueron asignados como parámetros mínimos a superar en la evaluación para seleccionar los árboles plus, los individuos que se ubicaron por arriba del promedio de los candidatos fueron 34 árboles; 18 individuos de la especie *T. donnell-smithii* y 16 de *T. rosea*, 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*.

<AQUÍ VA EL CUADRO 1>

<AQUÍ VA EL CUADRO 2>

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 tiene más de 10 ramas y son totalmente sanos. Los diferenciales de selección están relacionados con las ganancias genéticas (Balcorta & Vargas, 2004) se espera que se presenten en la descendencia de los árboles plus (F1). Al seleccionar en ambientes naturales los diferenciales de selección pueden ser equivalentes a los obtenidos en los primeros descendientes (F1) ya que se ha reportado que los diferenciales de selección en plantaciones comerciales suele ser menor a los obtenidos en las pruebas de progenie esto puede deberse a que los individuos son únicamente comparados con sus mejores cuatro vecinos, y el argumento es que estos son competidores muy fuertes por espacio y recursos nutricionales y por tanto no son representativos del árboles ordinarios sin ningún tipo de selección o mejoramiento ya que usualmente fueron obtenidos de viveros (Vallejos et al., 2010).

La intensidad de selección fue de un árbol plus por cada 9 árboles candidatos. Si se considera la intensidad de selección por superficie explorada, esta corresponde a un árbol candidato en ocho hectáreas y un árbol plus en cada 70 hectáreas. La rigurosidad de selección es un elemento principal como estrategia de trabajo, donde se priorizaron esfuerzos para realizar la selección basándose en las características que se sabe están bajo un mayor control genético aditivo y que están relacionadas directamente con la calidad de la madera e indirectamente con el volumen (Zobel & Talbert, 1984). La naturaleza de este trabajo al seleccionar en

poblaciones naturales muestra valores distintos de intensidad de selección que han sido reportadas por Vallejos et al. (2010) en plantaciones comerciales en Costa Rica de un árbol plus por cada 15,000 individuos, mientras que Murillo y Badilla (2009) reportaron intensidades de selección de un árbol por cada 20,000 individuos, ambas selecciones fueron dirigidas en plantaciones comerciales donde la densidad de población de las especies es mucho mayor que en ambientes naturales. Por otro lado, Espitia, Murillo, Castillo, Araméndiz y Paternia (2010) reportan para la selección de Acacia (*Acacia mangium* WILLD) en Colombia, una intensidad de selección de un árbol por cada 3,459 árboles en una superficie de 3,626 hectáreas de plantaciones comerciales, obteniendo una selección de 89 árboles plus, equivalente a un árbol plus en cada 40 hectáreas, así mismo la intensidad de selección que reportó Espitia, Murillo y Castillo (2011) en Teca (*Tectona grandis* L.f) en Colombia fue de un árbol por cada 30.5 hectáreas, en esta investigación la selección se realizó en una superficie de 2,399 hectáreas, donde se lograron identificar 34 árboles plus: 16 de *T. rosea* y 14 de *T. donnell-smithii* obteniendo una intensidad de selección de un árbol plus en cada 70 hectáreas en ambientes naturales donde también existen limitaciones de acceso y disponibilidad de material superior que cumpla con las características fenotípicas mínimas que permitan incluirse al grupo de individuos a evaluar esto puede deberse al aprovechamiento maderable que se da en la región o por la apertura de nuevas áreas para cultivos agrícolas.

Los 34 árboles plus fueron clasificados en la Lista A que en automático pertenecen a la población comercial como productores de semilla y como fuente de material

vegetativo con superioridad fenotípica y representan la población base para el programa mejoramiento genético forestal de la región. Los árboles que no superaron ambos criterios, se clasificaron en una Lista B que serán incluidos y forman parte del programa de mejoramiento en tanto no se defina su status en ensayos genéticos posteriores, evitando con ello, que se cometa el Error Tipo II al dejar fuera individuos genéticamente superiores. Finalmente la ganancia genética de los árboles plus podrá conocerse cuando se evalúen las procedencias mediante propagación clonal o por semilla donde se esperan ganancias genéticas como uno de los resultados de este trabajo. La distribución y ubicación geográfica de los árboles candidatos y plus se muestra en la Figura 1.

<AQUÍ VA LA FIGURA 1>

## **CONCLUSIÓN**

Las metodologías de comparación y valoración individual empleadas conjuntamente en este trabajo aportan bases analíticas al programa de mejoramiento genético forestal de la región. Permite definir la población comercial de uso inmediato y la población base de mejoramiento. También se identifican individuos como candidatos en observación, individuos sobresalientes que podrán ser incorporados a los programas de cruzas 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.

## BIBLIOGRAFIA

- Balcorta, H., & 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.
- 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.
- Cornelius, J., & Hernández, M. (1994). Variación genética en crecimiento y rectitud del fuste en *Gmelina arborea* en Costa Rica. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*, 10, 9-12.
- Cruz, C.D. (2005). *Principios de Genética Cuantitativa*. Universidade Federal de Vicosa. Editora UFV. Vicosa, Minas Gerais, Brasil. 394

- Espitia, C.M., Murillo, G.O. & Castillo, P. C. (2011). Ganancia genética esperada en Teca (*Tectona grandis* L.f.) en Córdoba (Colombia). *Colombia Forestal* 14(1): 81-93.
- Espitia, M., O. Murillo., Castillo, C., Araméndiz, H., & Paternina, N. (2010). Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* WILLD) en Córdoba (Colombia). *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. 13, 99-107.
- Falconer, D.S., & Mackay, T.F.C. (1996) *Introduction to Quantitative Genetics*. 4ta. ed. Longman Sci. And Tech Harlow, UK. 464.
- FAO-Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y Agricultura. (2011) *Situación de los Recursos Genéticos Forestales. Informe final del proyecto TPC/MEX/3301/MEX*. 4.
- Flores, E.M., & Marín, 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.
- Flores, F., & Chávarry, L. (2005). *Guía para la selección de árboles plus para tres especies forestales nativas de la región andina - Consideraciones generales*. ADEFOR / FOSEFOR / COSUDE / INTERCOOPERACIÓN / SAMIR.



- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2000). Capas temáticas 1:250,000-1:50,000. Chiapas, México.
- Ipinza, R. (1998). Mejora Genética Forestal Operativa. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 422.
- 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., & Badilla, Y. (2009). Reproducción clonal de árboles. Taller de Publicaciones. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. 36.
- Murillo, O., Obando, G., Badilla, 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., & 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.
- Resende, M.D.V., Murillo, O., & Badilla, Y. (2013). *Genética Cuantitativa y Selección en el Mejoramiento Genético Forestal*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Vallejos, J., Badilla, Y., Picado, F., & 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
- White, T.L., Adams, W.T., & Neale, D.B. (2007). *Forest Genetics*. CABI publishing International, Oxford (UK). 682. *Forest genetics*. 593-659.
- Zamudio, A.F., & 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., & Talbert, J. (1984). *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley & Sons. New York. 510.

## XI. GALERÍA FOTOGRÁFICA



Figura 1A. Árbol de primavera (*Tabebuia donell-smithii*) seleccionado por sus características dasométricas. Árbol ubicado en el municipio de Tapachula.

Figura 2A. Árbol de primavera (*Tabebuia donell-smithii*) seleccionado por sus características dasométricas. Árbol ubicado en el municipio de Tuzantán.





Figura 3A. Árbol de roble (*Tabebuia rosea*) seleccionado por sus características dasométricas. Árbol ubicado en el municipio de Metapa de Domínguez.

Figura 4A. Árbol de roble (*Tabebuia rosea*) seleccionado por sus características dasométricas. Árbol ubicado en el municipio de Huixtla.

