

ENSAYOS DE PROGENIES Y HUERTOS SEMILLEROS DE ESPECIES FORESTALES EN MÉXICO

[TRIALS OF PROGENIES AND SEED ORCHARDS OF FOREST SPECIES IN MEXICO]

Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz^{2§}, José Raymundo Enríquez-Del Valle², Gisela Virginia Campos-Ángeles², Vicente Arturo Velasco-Velasco², Adán Hernández-Hernández³

¹Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. ²Profesor-Investigador del Programa de Doctorado en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Tecnológico Nacional de México. Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71213. ³INIFAP, Campo Agrícola Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etna, Oaxaca. [§]Autor para correspondencia: (gerardo.rodriguez@voaxaca.tecnm.mx).

RESUMEN

Se ha comprobado que los árboles tienen la capacidad de transferir características a su descendencia; es por ello que el mejoramiento genético forestal se enfoca en el aumento y calidad de los árboles y su adaptabilidad a cambios ambientales, es decir, evaluar la calidad de la planta permite conocer la capacidad que tienen para adaptarse y desarrollar en condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, además, depende de las características genéticas del germoplasma. El objetivo es presentar la importancia y los avances en los programas de mejoramiento de especies maderables de *Pinus* en el estado y en el resto del país. Se realizó la búsqueda de artículos de divulgación en plataformas de información científica, posteriormente se revisó, analizó y redactó la información. México presenta un incipiente esfuerzo para desplegar el potencial productivo forestal nacional, se establecen en la categoría de primera generación, se cuenta con 21 instancias con proyectos de mejoramiento genético, además de 21 huertos semilleros sexuales, cinco huertos semilleros asexuales y cinco bancos clonales. Es necesaria la obtención de semillas para el establecimiento de plantaciones con ganancias genéticas a mediano plazo y que resulten de lo más rentables en términos de inversión y tiempo.

Palabras clave: Calidad genética, heredabilidad, *Pinus*.

ABSTRACT

Trees have been shown to have the ability to transfer characteristics to their offspring; that is why forest genetic improvement focuses on the increase and trees quality and their adaptability to environmental changes, that is, evaluating the quality of the plant allows knowing the capacity they have to adapt and develop in climatic and edaphic conditions of the planting site, also depends on the genetic characteristics of the germplasm. The objective is to present the importance and progress in the improvement programs for *Pinus* timber species in Oaxaca State and Mexico. A search for popular articles on scientific information platforms was carried out, subsequently the information was reviewed, analyzed and drafted. Mexico presents an incipient effort to deploy the national forestry productive potential, they are established in the first generation category, there are 21 instances with genetic improvement projects in addition to 21 sexual seed orchards, five asexual seed orchards and five clonal banks. It is necessary to obtain seeds for the establishment of plantations with genetic gains in the medium term and that are the most profitable in terms of investment and time.

Index words: genetic quality, heritability. *Pinus*

INTRODUCCIÓN

Las poblaciones naturales de árboles forestales están siendo deterioradas a gran velocidad, no sólo en tamaño sino también disgénicamente, esto obliga a la construcción de tecnologías que garanticen el aumento de variación en su descendencia, con el producto de un flujo genético inducido mezclando distintas poblaciones para que se produzca (mediante policruzados) una nueva descendencia con una alta heterogeneidad genética que conlleve, no sólo para la adaptación, sino para la permanencia de esta especie y que esta diversidad de genes sea utilizada para diferentes usos como protección de cuencas hidrológicas, captación de CO₂, retención de suelo, humedad ambiental y productos maderables (Alba-Landa *et al.*, 2016). Se ha comprobado que los árboles tienen la capacidad de transferir características a su descendencia. Razón fundamental que distinguirá a México en proporción con su gran diversidad de especies de árboles y que sustituirá la actividad actual fundada en el ordenamiento de montes y homogenización de masas, el cual dirige una tendencia reductiva en contra de la diversidad de poblaciones y especies (Alba-Landa *et al.*, 2008).

Las plantaciones comerciales inician con un plan de mejoramiento genético, que incluye la selección de las procedencias y las familias con adaptación y crecimiento mayor (Parra *et al.*, 2016; Salaya-Domínguez *et al.*, 2012). El mejoramiento genético forestal se enfoca en el aumento y calidad de los árboles y su adaptabilidad a cambios ambientales (White *et al.*, 2007). Evaluar la calidad de planta permite conocer la capacidad que tienen para adaptarse y desarrollar en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, y depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción en vivero (Prieto *et al.*, 2009); emplear planta de calidad, asegura en mayor medida el éxito de las plantaciones o reforestaciones (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2020).

Un programa de mejora genética tiene como objetivo principal la producción de germoplasma genéticamente mejorado para el establecimiento de plantaciones forestales (Cornejo *et al.*, 2009) e inicia con la selección de árboles superiores con base en su fenotipo (Gutiérrez *et al.*, 2010), según Torres (2000) es indispensable utilizar metodologías de evaluación más eficientes de la selección; por lo que es esencial determinar la calidad de estos árboles a través de la evaluación del crecimiento de su progenie en los terrenos donde se establecen las plantaciones (White *et al.*, 2007; Fuentes-Amaro *et al.*, 2020). Sin embargo, cuando los ensayos de evaluación se realizan en varias localidades se genera un comportamiento diferencial entre las progenies de diferentes árboles, según el ambiente particular, conocido como interacción genotipo/ambiente (White *et al.*, 2007). Debido a la longevidad y tasa de crecimiento de los árboles se requieren muchos años para la evaluación y para acelerar el proceso se usa la selección temprana (Farfán *et al.*, 2002; Salaya-Domínguez *et al.*, 2012), esto es, seleccionar genotipos con base en una característica manifestada a edad joven con el fin de mejorar otra en edades posteriores (Vargas-Hernández y Adams, 1992).

La selección de árboles de diferentes poblaciones puede mostrar variación en el grado de expresión de diversas características, esto debido a la calidad del sitio; esa variación representa una repuesta en el desarrollo de una determinada especie arbórea con respecto a la totalidad de las condiciones ambientales (edáficas, climáticas y bióticas) existentes en un lugar en particular (Kimmins, 2004). Esta selección a través de un gradiente altitudinal y diversos ambientes presentan patrones de variación genética diferencial; sin embargo, en Oaxaca no se conoce lo suficiente sobre el tipo de distribución para *Pinus*, por esto limita la creación de lineamientos para el movimiento de semillas y plántulas para reforestación y su adaptación al cambio climático (Castellanos *et al.*, 2013). Sin embargo, en México apenas existe un incipiente esfuerzo que no es suficiente para desplegar el potencial productivo forestal nacional, y llevar al establecimiento y determinación de fuentes semilleras capaces de generar una producción con calidad y con el tiempo, producto de sus evaluaciones y observaciones permanentes, conocimientos básicos que sustenten y apoyen una nueva visión silvícola relativa al uso, conservación y restauración de los recursos forestales (Márquez *et al.*, 2009; Morales, 2012). El buen uso del germoplasma forestal requiere del conocimiento de las

características morfológicas de conos y semillas de los árboles seleccionados (Quiroz-Vásquez *et al.*, 2017); también del potencial y eficiencia de producción de semilla para estimar la cantidad y calidad de germoplasma (Sáenz-Romero *et al.*, 2012); sin embargo, en Oaxaca aún se desconoce la capacidad de producción de semilla de los bosques naturales. Partiendo de los antecedentes anteriores, el objetivo de esta revisión es presentar la importancia y los avances en los programas de mejoramiento de especies maderables de *Pinus* en el estado de Oaxaca y en el resto del país.

METODOLOGÍA

La revisión bibliográfica fue realizada a través de la búsqueda de artículos de investigación en avances del mejoramiento genético de *Pinus* y de especies forestales utilizando la plataforma Science Direct, además se recurrió a revistas de divulgación científica enfocadas en el tema, en donde se encontraron trabajos realizados en diferentes estados del país. Una vez obtenida la información, posteriormente se realizó la revisión de esta y su redacción.

DESARROLLO

Mejoramiento genético forestal

El mejoramiento utiliza la evaluación fenotípica y las relaciones de parentesco como herramientas principales. La silvicultura familiar produce familias de medios hermanos o hermanos completos para el establecimiento de ensayos y evaluar su progenie en el tiempo. La silvicultura clonal se realiza con la selección intra-familiar para transferir la varianza genética total (aditiva y no aditiva) hacia los mejores individuos y así propagarlos para su posterior plantación (White *et al.*, 2007). Con la genética cuantitativa, se usan modelos lineales mixtos para descomponer la varianza fenotípica en sus dos componentes: genético y ambiental. Este objetivo es predecir valores genéticos aditivos (proporción de alelos favorables tras pasados desde los padres hacia su progenie). Estos son variables aleatorias en el cálculo de (co)varianzas, junto a variables fijas como el sitio o bloque. Este resultado es el mejor predictor lineal insesgado del valor genético para cada individuo (Lynch y Walsh, 1998).

La limitante es que la estimación del genotipo únicamente se sustenta en el fenotipo, es afectado por la variación ambiental y variación interna debida a efectos de dominancia y epistasia (White *et al.*, 2007). La selección fenotípica ha incrementado las ganancias volumétricas en diferentes especies de *Pinus* (Zapata-Valenzuela y Hasbun, 2011).

Antecedentes de ensayos de progenie y huertos semilleros

En el país los programas de mejoramiento genético son muy incipientes, y se establecen en la categoría de “primera generación” y son de tamaño pequeño. Se encuentran 21 Instancias con proyectos de mejoramiento genético y cuentan con 21 huertos semilleros sexuales (HSS), 5 huertos semilleros asexuales (HSA) y 5 bancos clonales (BC) (CONAFOR, 2012).

En gran parte del mundo, incluyendo México, el germoplasma utilizado para el establecimiento de plantaciones forestales es de colecta masiva de bosques naturales; en la mayoría de los casos con poca o ninguna integridad en términos de procedencia (localidad de la semilla) o nivel de mejoramiento genético (Márquez *et al.*, 2009). Razón por la cual, existe la necesidad de contar con el desarrollo y el establecimiento de fuentes propias de abastecimiento de germoplasma de especies y procedencias. En México, se han iniciado ya programas de ensayos con especies forestales importantes económicamente junto con sus respectivas procedencias y progenies (Alba-Landa *et al.*, 2005).

En 1994 se estableció un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *greggii* en Los Tarihuanes, Arteaga, Coahuila, México; con el objetivo de seleccionar y rescatar los genotipos valiosos los cuales se adaptarán a las condiciones semiáridas de la región y presentarán un mejor crecimiento y desarrollo (Gutiérrez *et al.*, 2010). En el estado de Veracruz se han realizado trabajos de selección de árboles. Para *Cedrela odorata* se seleccionaron 30 árboles en tres procedencias: La Antigua, Juchique y Catemaco (Rodríguez, 2007). De *Pinus teocote*, se han seleccionado 45 árboles para tres procedencias: Magueyes, Mixquiapan y Carbonero Jacales (Ramírez-García *et al.*, 1999), adicionalmente 10 árboles en el Ejido Los Molinos (Márquez *et al.*, 2008) estos últimos se han colectado en dos ocasiones con el objeto de monitorear la variación en la producción de semillas a través del tiempo. Para *Pinus oaxacana* del Ejido Los Molinos se tienen 10 árboles seleccionados los cuales se han cosechado en cinco ocasiones durante un periodo de 10 años, evaluándose las características de estas cosechas para monitorear la producción relacionada con la edad de los árboles y así considerarlos como un observatorio de la producción de semillas en dicha población (Márquez *et al.*, 2007).

Se seleccionaron 10 árboles de una población de *Pinus greggii* en Carrizal Chico municipio de Zacualpan (Morante *et al.*, 2005). 12 árboles de *Pinus hartwegii* fueron seleccionados en el Cofre de Perote (Rebolledo-Camacho *et al.*, 2002; Alba-Landa *et al.*, 2003). En la región de Huayacocotla se seleccionaron 52 árboles de *Pinus patula* en tres localidades: Canalejas-Otates, Potrero de Monroy y La Selva (Alba-Landa *et al.*, 1998). Se seleccionaron 20 árboles de *Pinus pseudostrobus* en la localidad de El Esquilón, municipio de Coacoatzintla (Márquez y Mendizábal-Hernández, 2004) y 15 en la localidad de El Paso, municipio de La Perla (Espinoza *et al.*, 2009).

Del total de 204 árboles, 7 especies y 14 procedencias, se han colectado semillas por lo menos una vez, con excepción de los árboles ubicados en el ejido Los Molinos que han sido colectados dos o más veces por la importancia de monitorear la producción de semilla relacionada con la edad de los árboles. Gran parte de éstos árboles ya no existen debido a que han sido aprovechados, legal o ilegalmente, por lo tanto, su disponibilidad en campo ya es dudosa; sin embargo, estos han sido la fuente para el establecimiento de pruebas de procedencias y progenies a partir de las cuales se pueden restaurar las fuentes semilleras desaparecidas (Márquez *et al.*, 2009).

Se ubicaron cinco rodales semilleros en Veracruz, uno de *Pinus greggii*, otro de *Pinus oocarpa*, dos de *Pinus teocote* y el restante en la localidad de Palo Bendito del municipio de Huayacocotla (Márquez *et al.*, 2009). Un área semillera ha sido establecida en el ejido Ingenio El Rosario, municipio de Xico para *Pinus patula*, El área se denomina Ing. Raúl Martínez, geográficamente se ubica en 19° 30' 17" N y 97° 05' 43" O, a una altitud de 2 800 m (Cruz, 2007), cuenta con 300 árboles productores, una franja de protección de 100 m de ancho circundando a la zona central y otra franja de 90 m de ancho alrededor de las dos anteriores. Actualmente el arbolado tiene una edad entre 55 y 60 años. Cruz (2007) evaluó el potencial de producción de semillas de 12 árboles de la zona central.

A partir del 2017 en el estado de Oaxaca se ha establecido un huerto semillero asexual de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov), el cual está dirigido por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), utilizando financiamiento del fondo sectorial CONACYT-CONAFOR; ya se tiene separados los individuos con características fenotípicas deseables (Leyva-Ovalle y Vargas-Hernández, 2018).

Importancia de los ensayos

Para que un programa de mejora genética tenga éxito debe estar asociado con la capacidad de acierto al seleccionar árboles superiores los cuales sean utilizados como progenitores de generaciones posteriores (Apiolaza *et al.*, 2000; Cruz y Carneiro, 2003; Barros *et al.*, 2006) que posteriormente permitan incrementar los beneficios a través del uso de materiales de mayor rendimiento en las diversas condiciones ambientales

(Pastrana-Vargas *et al.*, 2012). El estimar la estabilidad genética a través de distintas condiciones ambientales depende de la selección de los mejores genotipos (Hernández-Martínez *et al.*, 2007; Espitia *et al.*, 2010; Zapata-Valenzuela y Hasbun, 2011 y Soto-Correa *et al.*, 2012).

La productividad de un ensayo no solo depende del crecimiento rápido sino también en su supervivencia con respecto a su resistencia a factores ambientales desfavorables o plagas, al igual que la relación entre la calidad de la madera y producción de semilla todo esto con el fin de establecer rodales o plantaciones locales como fuentes parentales de distintas especies forestales para el establecimiento de plantaciones a nivel estatal o local (Alba-Landa *et al.*, 2005).

La adaptabilidad presente en una especie exótica o nativa en un lugar determinado e incluso su progenie con el fin de detectar la más productiva en la región y recomendarla para reforestación se considera el objetivo presente en los distintos tipos de ensayos (Acosta *et al.*, 2010), utilizando la selección, cruzamiento y pruebas de descendencia en árboles, para mejorar la calidad de los bosques (Alba-Landa *et al.*, 2002).

Las evaluaciones tempranas y ensayos de procedencias en *Pinus* son de gran utilidad para describir la variación genética de poblaciones y conocer la respuesta en diferentes ambientes y estratos altitudinales con micronichos; esto en función de las evaluaciones agroforestales (Naydenov *et al.*, 2005; Cambrón *et al.*, 2013).

Objetivo, beneficio y calidad genética del ensayo de progenie

La evaluación de ensayos genéticos permite determinar parámetros de mejoramiento de la población, a través de la separación eficiente de efectos genéticos y de los ambientales, sin dejar fuera la selección de manera eficiente de los mejores genotipos con base en su mérito (Espitia *et al.*, 2010). En ambientes uniformes se logra una evaluación y selección más eficiente de los árboles genéticamente superiores (Vallejos *et al.*, 2010). Es decir, los ensayos de progenie nos permiten conocer el potencial de un individuo a través de su descendencia (Alba-Landa, 2008). Esto tiene como resultado un mejoramiento de diferentes características a la vez (Valencia y Vargas, 2000), y por consecuencia obtener una plantación experimental de material genético, más eficiente y productiva (Zapata-Valenzuela y Hasbun, 2011).

Se ha demostrado que la fuente de germoplasma tiene un fuerte efecto en la sobrevivencia y en el subsecuente desarrollo de las especies cuando se basan en la aplicación correcta del mejoramiento genético (Morales *et al.*, 2016). Es decir, siguiendo los lineamientos para la selección de las mejores fuentes parentales con el objeto de reducir los riesgos de fracaso mediante la selección y establecimiento de material genético adaptado localmente, así como el evitar los riesgos de perturbación del balance genético dentro de las poblaciones nativas, donde el mejor indicador para un sitio en particular es una plantación sana y vigorosa, con una buena sobrevivencia y crecimiento (Weir, 1996).

La evaluación de procedencia y progenie nos da a conocer la información con respecto al tamaño de sitios, es decir, la distribución de pruebas genéticas en diferentes niveles altitudinales y exposiciones siempre que entre en el rango de distribución natural de la especie. Estas pruebas genéticas en cada sitio elegido deben contener las mismas familias, de esta manera, además de vislumbrar el movimiento de la especie también percibir su comportamiento o movimiento de sus características, por ejemplo, la relación inversa generada por el peso específico contra la longitud de traqueidas, el contenido calórico contra la densidad de la madera o las ventajas y desventajas del rápido y lento crecimiento (Alba-Landa *et al.*, 2002).

Los programas de reforestación y plantaciones dependen principalmente del abasto de semillas de alta calidad y de procedencias confiables. Con respecto al conocimiento de que las especies arbóreas transmiten características a su descendencia (Trujillo, 2005) utilizando parentalidad y rendimientos, es necesario plantearse el desarrollo conceptual y metodológico para una construcción y manejo de fuentes naturales y

artificiales que garanticen germoplasma con ganancias genéticas a corto, mediano y largo plazo (Márquez *et al.*, 2009).

La evaluación del crecimiento de la progenie nos ayuda a determinar su calidad genética (Clausen, 1990). La evaluación de los progenitores con base en la respuesta de su descendencia es determinada como ensayo de progenies, y determina el valor genético de los árboles seleccionados inicialmente al igual que otros parámetros genéticos (Morales *et al.*, 2013). Sin embargo, una desventaja de estos ensayos es el costo ya que aumenta conforme avanza la edad de los individuos, es por ello que se practica la selección temprana (White *et al.*, 2007), es decir, a edad temprana se evalúan características de manifestación precoz fuertemente correlacionadas con un interés económico a la edad madura (Vargas-Hernández y Adams, 1992).

Objetivo y fuentes semilleras de los huertos semilleros

Al establecer huertos semilleros es necesaria la inclusión de una superficie central (área de certificación) además de una franja de protección. Un método de mejoramiento genético simultáneo es el índice de selección que permite separar los genotipos con base en características fenotípicas como es la altura total, diámetro normal, ángulo de inserción de las ramas con respecto al fuste, rectitud del fuste, características de la copa, entre otras (Cerón y Sahagún, 2005).

En campo es necesario construir tablas de vida de la producción de semillas por especie, esto de ayuda para determinar la rotación no empírica de rodales, áreas y huertos semilleros (Márquez *et al.*, 2009). Para el establecimiento de huertos es necesario utilizar semilla de individuos superiores, es decir, seleccionados en base a características fenotípicas de importancia económica (White *et al.*, 2007), cuyas características sean atribuibles a su constitución genética, es por ello que es importante determinar la calidad genética de los individuos derivados de los árboles seleccionados.

El establecimiento de huertos puede ser a partir de plántulas, es decir por reproducción sexual, a partir de injertado o reproducción vegetativa. Además, se clasifican de acuerdo al avance de la generación de selección en la que se encuentren (Márquez *et al.*, 2007). El establecimiento de huertos semilleros, desde el punto de vista silvícola, tiene como objetivo la obtención de semillas para el establecimiento de plantaciones con ganancias genéticas a mediano plazo (Zobel y Talbert, 1988) y que resultan de lo más rentables en términos de inversión y tiempo (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2009).

Para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales y de restauración es necesario disponer de un abasto suficiente de semilla del germoplasma con la calidad genética superior (Ruiz-Farfán *et al.*, 2015); La opción más adecuada es tener huertos semilleros con árboles mejorados genéticamente (Morales *et al.*, 2013). Una fuente de semillas forestales, en términos generales, es importante el origen (procedencia, familia e individuo) de donde se obtiene el germoplasma para los programas de plantaciones de un sitio o región; sin embargo, la mayoría de los esfuerzos se han enfocado a la determinación de las especies adecuadas y en el mejor de los casos las procedencias más productivas (Márquez *et al.*, 2009), es necesario también, identificar a las mejores familias e incluso los mejores individuos de cada especie para un sitio específico (Márquez *et al.*, 2007).

Una fuente semillera mejorada es aquella que ha sido objeto de, al menos, una selección fenotípica relacionada con las características de producción forestal requeridas en una región y cuenta con un soporte de información geográfica y biológica para su manejo y distribución. Márquez *et al.* (2009), mencionan que las fuentes semilleras pueden considerarse desde: Árboles seleccionados, como aquellos elegidos en rodales naturales o plantaciones de acuerdo con criterios preestablecidos; rodal semillero, definido como un rodal natural o plantación completa donde la mayoría de los individuos presentan una apariencia fenotípica satisfactoria para la producción; área semillera, es un rodal natural donde se han eliminado los individuos que presentan características fenotípicas poco satisfactorias para la producción forestal, y los árboles

restantes se ubican con un espaciamiento suficiente para estimular la producción de semillas; huerto semillero, es una plantación establecida a partir de árboles seleccionados que tiene la finalidad de producir semillas para abastecer los programas de plantación de una región determinada.

Cada una de estas cuatro fuentes semilleras puede presentar a su vez diferentes status dependiendo de las evaluaciones de las progenies a las que dan origen, de tal manera que pueden ser fuentes establecidas o comprobadas.

CONCLUSIONES GENERALES

A pesar de que no toda la información está disponible, se puede lograr el incremento de la eficiencia de los programas de mejora genética de árboles en centros públicos de México; para ello es necesario unir esfuerzos a nivel local y regional, conociendo que en el país y el estado de Oaxaca presentan un incipiente esfuerzo en el mejoramiento genético forestal, mediante ensayos de progenies y huertos semilleros sexuales y asexuales en diversos estados de desarrollo; sin embargo, aún falta bastante trabajo por realizar.

LITERATURA CITADA

- Acosta, R.A., S. Sastre M. y F. Ramos M. 2010. Gestión forestal comunitaria en Ixtlán de Juárez Oaxaca, México. Universidad de la Sierra Juárez. Proyecto financiado por la CONAFOR. 1-18.
- Alba-Landa, J., A. Aparicio-Rentería., F.H. Zitácuaro C. y E.O. Ramírez-García. 2005. Establecimiento de un ensayo de progenie de *Pinus oaxacana* Mirov en los Molinos, municipio de Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana*. Xalapa México. 7(2): 33-36.
- Alba-Landa, J., A. Aparicio-Rentería y R.J. Márquez. 2003. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl de dos poblaciones de México. *Foresta Veracruzana* 5(1):23-26.
- Alba-Landa, J., L. del C. Mendizábal-Hernández y J. Márquez-Ramírez. 2008. El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. *Foresta Veracruzana* 10(1): 25-29.
- Alba-Landa, J., L. del C. Mendizábal-Hernández., E.O. Ramírez-García y M. de la P. Méndez-Guzmán. 2002. Establecimiento de tres ensayos de procedencia/progenie de *Pinus teocote* Schl. et Cham. en el estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 4(2): 17-22.
- Alba-Landa, J., L. del C. Mendizábal-Hernández., E O. Ramírez-García., J. Márquez-Ramírez y H. Cruz-Jiménez. 2016. Establecimiento y evaluación temprana de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus greggii* Engelm en el Progreso, Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*. 18(1): 45-54.
- Alba-Landa, J., V. Rebolledo-Camacho y A. Aparicio-Rentería. 1998. Variación morfológica en conos y semillas de *Pinus patula* Schlect et Cham de Huayacocotla, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 1(1): 37-42.
- Apiolaza, L.A., A.R. Gilmour y D.J. Garrick. 2000. Variance modelling of longitudinal height data from a *Pinus radiata* progeny test. *Canadian J. For. Res.* 30:645 - 654.
- Barros, M., I. Pires., R. Rocha., A. Xavier y D. Cruz. 2006. Avaliação genética de progênies de meio-irmãos de *Eucalyptus grandis* por meio dos procedimentos REML/BLUP e da ANOVA. *Scientia Forestalis* (71):99-107.
- Cambrón, V.H., H. Suzán, J.J. Vargas, N.M. Sánchez y C. Sáenz-Romero. 2013. Estrategias de crecimiento y distribución de biomasa en *Pinus pseudostrabus* bajo diferentes condiciones de competencia. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(1):71-79.
- Castellanos A., D., C. Sáenz R., R.A. Lindi C., N.M. Sánchez V., P. Lobbit y J.C. Montero. 2013. Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrabus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. Ensayo de vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(3): 399-411.
- Cerón, R.J.J. y J. Sahagún C. 2005. Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* 39:667-677.
- Clausen, K. 1990. Diseños genéticos y pruebas de progenie. En: Memoria Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Centro de Genética Forestal, A.C. Chapingo, México. 67-77.

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. Situación de los recursos Genéticos Forestales en México. Informe final del proyecto TCP/MEX/3301/MEX (4). México. 297 p.
- Cornejo-Oviedo, E.H., E. Bucio-Zamudio, B. Gutiérrez-Vásquez, S. Valencia-Manzo y C. Flores-López. 2009. Selección de árboles y conversión de un ensayo de procedencias a un rodal semillero. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(2): 87-92.
- Cruz, C. y P. Carneiro. 2003. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Universidade Federal do Viçosa Editorial UFV. Viçosa, MG. Brasil. 585 p.
- Cruz, J.H. 2007. Análisis de conos de tres fuentes productoras de semilla de *Pinus patula* Schl. et Cham. Tesis Maestro en Ecología Forestal. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 90 p.
- Espinoza, H.M., R.J. Márquez., R.J. Alejandro y J.H. Cruz. 2009. Estudio de conos de *Pinus pseudostrobus* Lindl en un relicto de la localidad El Paso, Municipio de La Perla, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 11(1): 33-38.
- Espitia, M., O. Murillo., C. Castillo., H. Arizmendi y N. Paternina. 2010. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd) en Córdoba (Colombia). *Revista U.D.C.A, Act. Div. Cient.* 13(2):99-107.
- Farfán, E.G., J. Jasso., U.J. López., J.J. Vargas H. y C. Ramírez. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* var. *ayacahuite* Ehren. *Rev. Fit. Mex.* 25: 239-246.
- Fuentes-Amaro, S.L., R. Rodríguez-Laguna., R. Razo-Zárate., J. Meza-Rangel., M. Jiménez-Casas y G.A. López-Zepeda. 2020. Energía germinativa en árboles selectos de *P. patula* Schl. et Cham. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 7(1): 69-78.
- Gutiérrez-Vásquez, B.N., E.H. Cornejo-Oviedo, A. Zermeño-González, S. Valencia-Manzo y R. Mendoza-Villarreal. 2010. Conversión de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *greggii* a huerto semillero mediante eigen-análisis. *Bosque*. 31 (1): 45-52.
- Hernández-Martínez, J., J. López-Upton, J.J. Vargas-Hernández y J. Jasso-Mata. 2007. Zonas semilleras de *Pinus greggii* var. *australis* en Hidalgo, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30:241-249.
- Kimmins, J.P. 2004. *Forest ecology. A foundation for sustainable management and environmental ethics in forestry*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ USA. 611 p.
- Leyva-Ovalle, Á. y J.J. Vargas-Hernández. 2018. Establecimiento de huertos semilleros asexuales regionales y ensayos de progenie de *Pinus pseudostrobus* para la evaluación genética de los progenitores. Informe final etapa 2. Proyecto 277784. Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT. México, D.F. 23 p.
- Lynch, M. y B. Walsh. 1998. *Genetics and analysis of quantitative traits*. Sunderland, USA. Simauer Associates. 980 p.
- Márquez, G.A.V. y L. del C. Mendizábal-Hernández. 2004. Variación en el tamaño de conos de *Pinus pseudostrobus* Lindl del Esquilón, Municipio de Coacoatzintla, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 6(1):33-36.
- Márquez, R.J., E.O. Ramírez-García y H. Cruz-Jiménez. 2008. Estudio de conos de *Pinus teocote* Schl. et Cham de diez progenitores en una población del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 10(1):47-52.
- Márquez, R.J., J. Alba-Landa., L. del C. Mendizábal-Hernández., E.O. Ramírez-García y H. Cruz-Jiménez. 2009. Fuentes semilleras mejoradas establecidas en el Estado de Veracruz. *Foresta Veracruzana*. Xalapa México. 11 (2): 37-42.
- Márquez, R.J., V. Rebolledo-Camacho y J.L. Contreras-Zayas. 2007. Variación de conos de *Pinus oaxacana* Mirov en una población de Los Molinos, Municipio de Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 9(2):45-50.
- Mendizábal-Hernández, L. del C., H. Cruz-Jiménez., J. Márquez-Ramírez y Y. Jácome-Álvarez. 2009. Potencial productivo de un huerto semillero de *Pinus patula* Schl. et Cham en Potrero de García, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 11(2): 21-26.

- Morales, G.E., J. López-Upton, J.J. Vargas-Hernández, C. Ramírez-Herrera y A. Gil-Muñoz. 2013. Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (2): 155-162.
- Morales, S.M.A. 2012. Establecimiento de un área semillera de *Pinus patula* var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl en Miahuatlan, Oaxaca. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 93 p.
- Morales, V., A. Mora., V. Garay y L. Valera. 2016. Análisis espacial de varianza como alternativa de evaluación de ensayos de progenies forestales. *Nota técnica. Agronomía Costarricense* 40(2): 87-105.
- Morante, C.J., J. Alba-Landa y L. del C. Mendizábal-Hernández. 2005. Estudio de conos, semillas y plántulas de *Pinus greggii* Engelm de una población del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 7(2):23-31.
- Naydenov, K.D., F.M. Tremblay, A. Alexandrov and N.J. Fento. 2005. Structure of *Pinus sylvestris* L. populations in Bulgaria revealed by chloroplast microsatellites and terpenes analysis: Provenance tests. *Biochemical Systematics and Ecology* 33:1226-1245.
- Parra, S.G., H. Cruz-Jiménez, J. Márquez-Ramírez, A. Aparicio-Rentería y R.A. Pedraza-Pérez. 2016. Producción de semillas de *Pinus patula* Schl et Cham en una prueba de progenie de nueve años en Tlacolulan, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 18(2): 11 p.
- Pastrana-Vargas, I.J., M. Espítia-Camacho y O. Murillo-Gamboa. 2012. Evaluación del potencial de mejoramiento genético en el crecimiento en altura de *Acacia mangium* Willd. *Acta Agronómica* 61(2): 143-150.
- Prieto, R.J.A., J.L. García-Rubio, J.M. Mejía B., A.S. Huchin y J.L. Aguilar V. 2009. Producción de plántula del género *Pinus* en vivero del clima templado frío. *Publicación Especial N° 28. Campo Experimental Valle del Guadiana, INIFAP-SAGARPA. México.* 48 p.
- Quiroz-Vásquez, R.I., J. López-Upton, V.M. Cetina-Alcalá y G. Ángeles-Pérez. 2017. Capacidad reproductiva de *Pinus pinceana* Gordon en el límite sur de su distribución natural. *Agrociencia* 51(1): 91-104.
- Ramírez-García, E.O., J. Alba-Landa y L. Mendizábal-Hernández. 1999. Variación de semillas de *Pinus teocote* Schl. et Cham de tres procedencias del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 1(3):7-10.
- Rebolledo-Camacho, V., A. Aparicio-Rentería y R.J. Márquez. 2002. Variación de conos y semillas de *Pinus hartwegii* Lindl de la Malinche, Tlaxcala y Cofre de Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 4(1):15-19.
- Rodríguez, R.G. 2007. Estudios de variación y frutos y plantas de *Cedrela odorata* L. de tres procedencias del estado de Veracruz, México. Tesis Maestro en Ecología Forestal. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 59 p.
- Rodríguez-Ortiz, G., R.D. Aragón-Peralta., J.R. Enríquez-Del Valle., A. Hernández-Hernández., W. Santiago-García y G.V. Campos-Ángeles. 2020. Calidad de plántula de progenies selectas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* del sur de México. *Interciencia* 45(2): 96-101.
- Ruiz-Farfán, D.G., J. López-Upton., C. Ramírez-Herrera y D.A. Rodríguez-Trejo. 2015. Fenología reproductiva en un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *australis*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(3): 285-296.
- Sáenz-Romero, C., S. Aguilar-Aguilar, M.Á. Silva-Farías, X. Madrigal-Sánchez, S. Lara-Cabrera y J. López-Upton. 2012. Variación morfológica altitudinal entre poblaciones de *Pinus devonian* Lindl. y la variedad putativa cornuta en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(13): 17-28.
- Salaya-Domínguez, J.M., J. López-Upton y J.J. Vargas-Hernández. 2012. Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenie de *Pinus patula*. *Agrociencia* 46:519-534.
- Soto-Correa, J.C., C. Sáenz-Romero., R. Linding-Cisneros., N. Sánchez-Vargas y J. Cruz-de-León. 2012. Variación genética entre procedencias de *Lupinus elegans* Kunth, zonificación altitudinal y migración asistida. *Agrociencia* 46: 593-608.

- Torres, J. 2000. Evaluación genética y económica de dos ensayos de progenie de *Pinus radiata* D. Don a base de un índice de selección multicriterio. Nota técnica. *Ciencias Forestales* 14:1-2.
- Trujillo, N.E. 2005. Semillas forestales mejoradas para reforestación en Colombia. *Revista Muebles & Madera*. 48:21-27.
- Valencia, M.S. y J.J. Vargas H. 2000. Correlaciones genéticas y correlación simultánea del crecimiento y densidad de la madera en *Pinus patula*. *Agrociencia* 35: 109-120.
- Vallejos, J., Y. Badilla., F. Picado y O. Murillo. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Rev. Agron. Cost.* 34(1):105 - 119.
- Vargas-Hernández, H., J.J. and W.T. Adams. 1992. Age-age correlation and early selection for wood density in young coastal Douglas. *Fir. For. Sci.* 38: 467-477.
- Weir, J.R. 1996. The impact of genetics on forest productivity. Cooperative Tree Improvement Program (From Alabama's Treasured Forest). pp. 19-21.
- White, T.L., W.T. Adams and D.B. Neale. 2007. Forest genetics. CABI. Oxfordshire. 682 p.
- Zapata-Valenzuela, J. y R. Hasbun Z. 2011. Mejoramiento genético forestal acelerado mediante selección genómica. *Bosque* 32(3): 209-213.
- Zobel, B. y J. Talbert J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Trad. Manuel Guzmán Ortiz. Editorial Limusa. México, D.F. 545 p.