

DESARROLLO EN CAMPO DE INDIVIDUOS HÍBRIDOS DE *Pinus durangensis* MART., ESTABLECIDOS MEDIANTE PLANTACIÓN

[FIELD DEVELOPMENT OF *Pinus durangensis* MART. HYBRID INDIVIDUALS, ESTABLISHED BY PLANTATION]

Ricardo Silas Sánchez-Hernández¹, Carmen Zulema Quiñones-Pérez², José Ciro Hernández-Díaz³, José Ángel Prieto-Ruiz⁴, Christian Anton Wehenkel^{3§}

¹Maestría Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Constitución 404 sur, zona centro, Durango Dgo., México. C.P. 34000. Tel.: 6188271200. ²Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. Carretera México 45, Villa Montemorelos, Durango, Dgo., México, C.P. 34371. Tel.: 6185961823. ³Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Universidad Juárez del Estado de Durango. Del Guadiana 501, Durango, Dgo., C.P. 34104. Tel.: 6181301749. ⁴Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Ave. Papaloapan y Blv. Durango, Col. Valle del Sur, Durango, Dgo., México. C.P. 34125. Tel.: 6188271200.

[§]Autor para correspondencia: (wehenkel@ujed.mx).

RESUMEN

Pinus durangensis Martínez es una especie endémica mexicana de la subsección Ponderosa, que está amenazada debido a la creciente explotación de su madera. Esta especie puede cruzarse con otras de la misma subsección y generar híbridos, lo que puede influir en el éxito de la regeneración natural y las reforestaciones. En este estudio se comparó el desarrollo entre individuos híbridos y la especie pura de *P. durangensis* en dos ensayos de jardín común ubicados en el municipio de Santiago Papasquiaro, estado de Durango, México, a 2,610 y 2,710 m de elevación, con el fin de evaluar la capacidad de crecimiento y supervivencia de los individuos en condiciones de campo. Después de 27 meses de la plantación (octubre de 2020), se midió el diámetro en la base del cuello (diámetro basal), la altura a la yema apical, la altura máxima a la punta de las acículas extendidas y la supervivencia de los individuos. Se realizaron análisis de varianza de las medias. Se encontraron diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en la supervivencia de los individuos híbridos y de la especie pura en uno de los ensayos, así como en el diámetro basal de los híbridos entre los ensayos. Se concluye que, tras 27 meses de plantación en el campo, los híbridos de Mesa Seca muestran una mejor capacidad de adaptación al campo que las especies puras.

Palabras clave: Ensayo de jardín común, hibridación natural, Sierra Madre Occidental.

ABSTRACT

Pinus durangensis Martínez is a Mexican endemic species of the Ponderosa subsection, which is threatened due to the increasing exploitation of its timber. This species can cross with others of the same subsection and generate hybrids, which can influence the success of natural regeneration and reforestation. In this study, we compared the development between hybrid individuals and the pure species of *P. durangensis* in two common garden trials located in the municipality of Santiago Papasquiaro, state of Durango, Mexico, at 2,610 and 2,710 m elevation, in order to evaluate the ability of individuals to grow and survive under field conditions. After 27 months of planting (October, 2020), the diameter at the base of the collar (basal diameter), height to the apical bud, maximum height to the tip of the extended needles and the survival of the individuals were measured. Analyses of variance of the means were performed. Significant differences ($\alpha = 0.05$) were found in the survival of the hybrid individuals and the pure species in one of the trials, as well as in the basal diameter of the hybrids between trials. It is concluded that after 27 months of planting in the field, Mesa Seca hybrids show a better capacity to adapt to the field than the pure species.

Recibido: 20-enero-2021

Aceptado: 31-marzo-2021

Index words: common garden trial, natural hybridization, Sierra Madre Occidental.

INTRODUCCIÓN

Pinus durangensis Martínez es una especie endémica mexicana de la subsección *Ponderosa* (Jin *et al.*, 2021); se distribuye en alrededor de 143,000 km², es un componente clave para el hábitat de la biodiversidad mexicana (Gómez-Mendoza y Arriaga, 2007) y se encuentra en la lista roja de la IUCN como “Near Threatened”, debido a que el creciente aprovechamiento de su madera ha reducido su abundancia en la Sierra Madre Occidental (Simental-Rodríguez *et al.*, 2021). De esta madera se obtienen productos de alto valor comercial, como madera contrachapada y aserrada, principalmente (Pompa-García *et al.*, 2009). Recientemente se ha descubierto que esta especie puede cruzarse con otras de la misma subsección y generar híbridos (Hernández-Velasco *et al.*, 2021).

La hibridación es una fuerza evolutiva importante, ya que la transferencia interespecífica de genes puede introducir más material genético nuevo que el generado directamente por las mutaciones (Ávila-Flores *et al.*, 2016). Se estima que al menos 30%, y posiblemente hasta el 80% de las especies en el mundo pueden haberse originado por hibridación (Wendel *et al.*, 1991). Este fenómeno natural puede generarse por razones diferentes, como la introducción accidental o intencional de especies exóticas al ecosistema (Walters *et al.*, 2008), o por el cambio climático, que está modificando el medio ambiente, dando como resultado el aumento en las oportunidades de que surja la hibridación (Chunco, 2014). Se ha observado que la temperatura y la precipitación son factores importantes para el hábitat de cada especie (Knowlton y Graham, 2010).

Mientras las especies se adaptan mejor a un clima benéfico, es normal que surja una nueva zona de contacto y en ocasiones de hibridación (Chunco, 2014). Las zonas de hibridación son sitios activos de cambios evolutivos y altos niveles de variación genética (Tovar-Sánchez y Oyama, 2004); y, si esta zona de contacto se mantiene, el futuro de la especie dependerá del vigor de la descendencia híbrida (Chunco, 2014).

Generalmente, los híbridos se desarrollan de manera limitada en comparación con sus progenitores puros; sin embargo, algunos pueden igualar e incluso superar el vigor de sus progenitores puros (Ávila-Flores *et al.*, 2016). La presencia de híbridos en reforestaciones o plantaciones comerciales de *Pinus durangensis* puede influir en el éxito de las mismas (Arnold y Hedges, 1995; Rieseberg y Carney, 1998).

Los ensayos de jardín común, como el realizado en este estudio, son experimentos donde se busca desarrollar individuos de diferentes poblaciones y estructuras genéticas, bajo las mismas condiciones ambientales (de Villemereuil *et al.*, 2016). Mediante estos ensayos se ha comparado el crecimiento y producción de biomasa de individuos híbridos y puros de *Typha angustifolia* (Bunbury-Blanchette *et al.*, 2015), el potencial hídrico y eficiencia de uso de agua, entre individuos híbridos y de especies puras de *Penstemon newberryi* y *Penstemon davidsonii* (Kimball y Campbell, 2009), el flujo genético de los híbridos de *Picea sitchensis* y *P. glauca* (Hamilton *et al.*, 2013) y la supervivencia y crecimiento de individuos híbridos de diferentes especies de pino mexicanas bajo diferentes condiciones climáticas, en sitios experimentales en el sur de África (Hongwane *et al.*, 2018).

El objetivo del presente estudio fue comparar la supervivencia y el crecimiento de individuos híbridos y de la especie pura *P. durangensis* en dos ensayos de jardín común ubicados en dos sitios con diferente elevación, con el fin de evaluar la capacidad de ambos tipos de individuos para adaptarse a las condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En julio 2018 se establecieron dos ensayos en campo para evaluar el crecimiento de individuos híbridos (en su mayoría cruzas de *Pinus durangensis* x *Pinus engelmannii*, y en menor medida *P. durangensis* x *P. arizonica*) y de la especie pura.

Las zonas de los ensayos se limpiaron de vegetación ante de realizar la plantación, y se protegieron con una valla de alambre de 1.8 m de altura. Los individuos se plantaron a una distancia de 2 x 2 m, entre plántulas, una vez que habían alcanzado 5.5 mm de diámetro y 11.96 cm de altura en invernadero, el acomodo de las mismas fue completamente aleatorio sin importar si estas eran híbridos o puros.

Un ensayo se estableció en el ejido Ciénega de Salpica el Agua, en el sitio conocido como Mesa Alta (2,710 m de elevación) y el otro, en el ejido Laguna de La Chaparra, en el sitio conocido como Mesa Seca (2,610 m de elevación), ambos pertenecientes al municipio de Santiago Papasquiaro, estado de Durango, México (Figura 1).

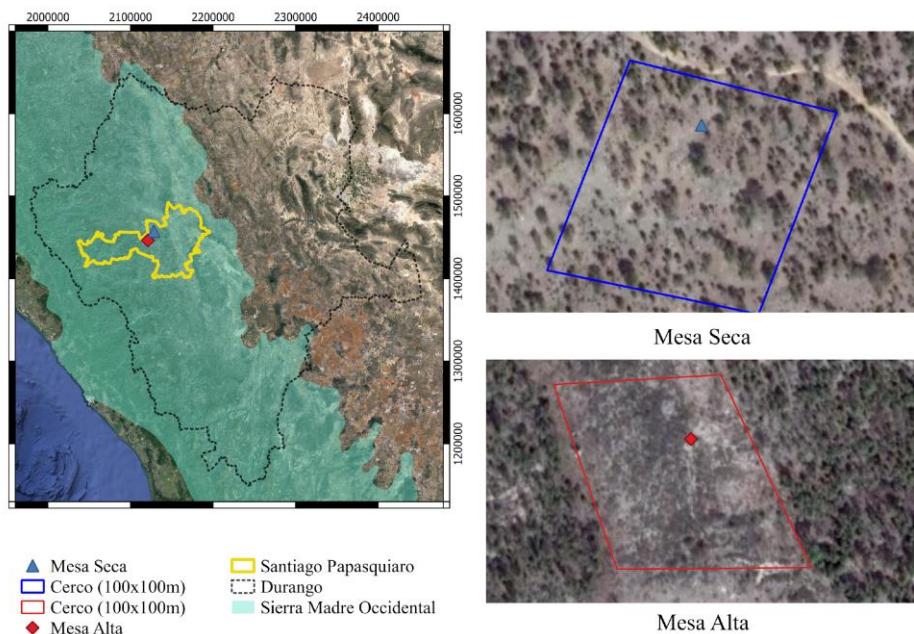


Figura 1. Ubicación de los ensayos de jardín común donde se desarrollan los individuos híbridos y de la especie pura de *P. durangensis*, en Santiago Papasquiaro, Durango, México.

En ambos sitios existen bosques de pino-encino; sin embargo, la cobertura vegetal en Mesa Seca es superior a la de Mesa Alta. La topografía está representada por sierras altas y bajas. Existen algunas diferencias entre las condiciones de ambos sitios (Cuadro1).

Los individuos experimentales se obtuvieron de la prueba de progenie de individuos híbridos putativos/individuos puros, realizada en el vivero de la Unidad de Administración Forestal “Santiago Papasquiaro”, Durango (Hernández-Velasco *et al.*, 2021).

En octubre del 2020, a los 15 meses de plantado, se midieron 76 individuos en Mesa Seca y 34 en Mesa Alta, haciendo un total de 110 individuos híbridos y de la especie pura *P. durangensis* en ambas parcelas. Para evaluar las diferencias en el crecimiento de ambos tipos de individuos para medir el diámetro basal (en el cuello de las plantas) se utilizó un vernier digital, con aproximación a décimas de mm, y para

registrar la altura de las plantas hasta la yema apical de crecimiento y hasta la altura máxima que alcanzan las acículas extendidas se usó un flexómetro con aproximación a mm.

Cuadro 1. Condiciones ambientales y de suelo de ambos ensayos.

Condición	Mesa Alta	Mesa Seca
Temperatura media anual	9.6 °C	10.5 °C
Precipitación anual	903 mm	803 mm
Elevación	2,710 m	2,610 m
pH del suelo	5.88 (moderadamente ácido)	5.25 (ácido)
Clasificación textural	Franco arcillo arenoso	Franco
Materia orgánica (%)	4.64 Alto	1.94 Medio
CIC (meq/100 g)	10.99	5.35

Se estimó la supervivencia de los individuos en términos de la proporción a la cantidad de los mismos plantados en campo. Se calcularon medidas de tendencia central y se realizaron pruebas múltiples de *posthoc kruskal nemenyi test* ($\alpha=0.05$) para verificar diferencias entre los individuos híbridos y de la especie pura y entre los dos sitios; dicha prueba pertenece al paquete PMCMR del software libre R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medidas registradas en campo de las variables: diámetro basal, altura a la yema apical y altura máxima alcanzada por las acículas, varían poco entre individuos híbridos y con respecto a la especie pura. Solamente en Mesa Seca se detectaron diferencias significativas en la supervivencia entre híbridos y puros. También, se detectaron diferencias significativas ($p=0.005$) en el diámetro basal entre los individuos híbridos de Mesa Alta (10.6 cm) y Mesa Seca (14.8 cm) (Figura 2), por lo que las condiciones de Mesa Seca aparentan ser más favorables para el crecimiento y supervivencia de individuos de esta especie. La supervivencia fue superior en Mesa Seca (Figura 2).

En este estudio, se encontraron diferencias entre la supervivencia de individuos híbridos y de la especie pura de *P. durangensis* en uno de los ensayos (Mesa Seca). Esto difiere con otros estudios en México, que han encontrado valores de vigor y robustez similares entre individuos híbridos y puros; por ejemplo, *P. oocarpa* x *P. princei* (López-Upton *et al.*, 2001) y *P. arizonica* x *P. engelmannii* (Ávila-Flores *et al.*, 2016). Sin embargo, también existen casos en los que la descendencia híbrida presenta mejores condiciones que los progenitores de especies puras, como es el caso de *P. herrerae* x *P. luzmariae* (Wehenkel *et al.*, 2020) y *P. patula* x *P. tecunumanii*, cuya hibridación ha sido intencionalmente realizada en el sur de África, ya que los híbridos presentan mayor resistencia a los efectos de climas gélidos y de hongos patógenos (Mabaso *et al.*, 2019). Hernández-Velasco *et al.* (2021), compararon el desarrollo de individuos híbridos y de la especie pura de *P. durangensis* en invernadero, encontrando cierto vigor híbrido en los individuos de *P. durangensis* x *P. engelmannii*.

Es de esperarse que la proporción de híbridos en los rodales semilleros aumente en los próximos años debido al cambio climático (Muñoz *et al.*, 2014; Gómez *et al.*, 2015). Además, la hibridación es favorecida por la relativamente alta diversidad y altos niveles de flujo genético en los árboles y la fecundación cruzada, así como por la dispersión de semillas a grandes distancias, todo lo cual aumenta la necesidad de estudiar este fenómeno (Petit y Hampe, 2006).

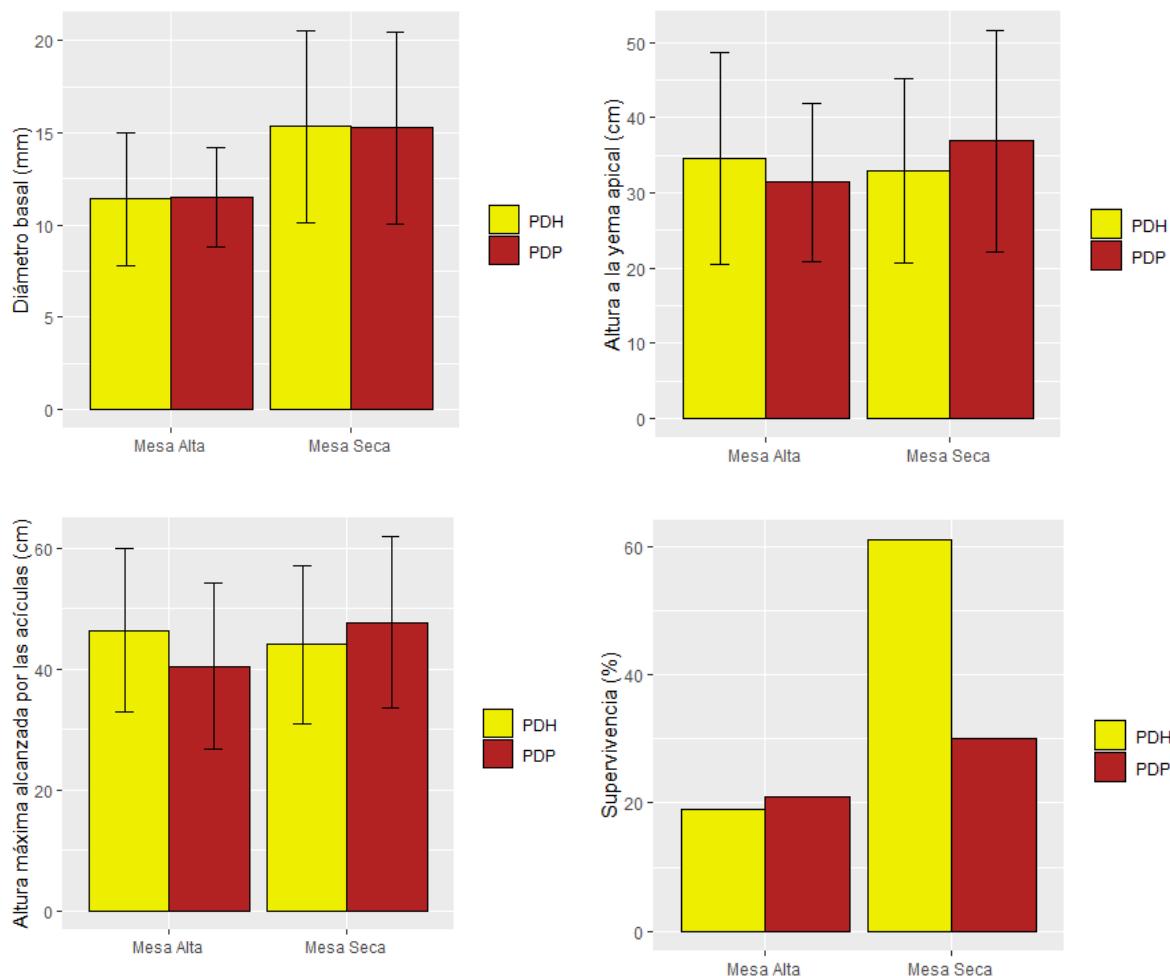


Figura 2. Promedio y desviación estándar de diámetro basal, altura a la yema apical, altura máxima alcanzada por las acículas y supervivencia de los individuos híbridos (PDH) e individuos de especies puros (PDP) de *P. durangensis* encontrados en ambos ensayos en el campo.

CONCLUSIONES

Tras 27 meses de plantación en el campo, los híbridos de Mesa Seca muestran una mejor capacidad de adaptación al campo que las especies puras. Se recomienda dar continuidad a estos ensayos para determinar la viabilidad final de los individuos híbridos y puros, así como replicar este tipo de ensayos con individuos híbridos de otras especies, ya que puede existir amplia variación en el vigor híbrido.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCYTED), por financiar este experimento.

LITERATURA CITADA

- Arnold, M.L. and S.A. Hedges. 1995. Are natural hybrids fit or unfit relative to their parents? Trends in Ecology and Evolution 10(2). [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88979-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88979-X).

- Ávila-Flores, I.J., J.C. Hernández-Díaz, M.S. González-Elizondo, J.A. Prieto-Ruiz y C. Wehenkel. 2016. Degree of hybridization in seed stands of *Pinus engelmannii* Carr. in the sierra madre occidental, Durango, Mexico. *PLoS ONE*, 11(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152651>.
- Bunbury-Blanchette, A.L., J.R. Freeland and M.E. Dorken. 2015. Hybrid *Typha* × *glauca* outperforms native *T. latifolia* under contrasting water depths in a common garden. *Basic and Applied Ecology*, 16(5). <https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.04.006>.
- Chunco, A.J. 2014. Hybridization in a warmer world. *Ecology and Evolution* 4(10). <https://doi.org/10.1002/ece3.1052>.
- de Villemereuil, P., O.E. Gaggiotti, M. Mouterde and I. Till-Bottraud. 2016. Common garden experiments in the genomic era: new perspectives and opportunities. *Heredity* 116(3). <https://doi.org/10.1038/hdy.2015.93>.
- Gómez, J.M., A. González-Megías, J. Lorite, M. Abdelaziz and F. Perfectti. 2015. The silent extinction: climate change and the potential hybridization-mediated extinction of endemic high-mountain plants. *Biodiversity and Conservation* 24(8). <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0909-5>.
- Gómez-Mendoza, L. and L. Arriaga. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation Biology* 21(6). <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00814.x>.
- Hamilton, J.A., C. Lexer and S.N. Aitken. 2013. Genomic and phenotypic architecture of a spruce hybrid zone (*Picea sitchensis* × *P. glauca*). *Molecular Ecology*, 22(3). <https://doi.org/10.1111/mec.12007>.
- Hernández-Velasco, J., J.C. Hernández-Díaz, J.J. Vargas-Hernández, V. Hipkins, J.Á. Prieto-Ruiz, A. Pérez-Luna and C. Wehenkel. 2021. Natural hybridization in seed stands of seven Mexican *Pinus* species. *New Forests*. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09868-9>.
- Hongwane, P., G. Mitchell, A. Kanzler, S. Verryn, J. Lopez and P. Chirwa. 2018. Alternative pine hybrids and species to *Pinus patula* and *P. radiata* in South Africa and Swaziland. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, 80(4). <https://doi.org/10.2989/20702620.2017.1393744>.
- Jin, W.T., D.S. Gernandt, C. Wehenkel, X.M. Xia, X.X. Wei and X.Q. Wang. 2021. Phylogenomic and ecological analyses reveal the spatiotemporal evolution of global pines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(20).z.
- Kimball, S. and D. Campbell. 2009. Physiological differences among two *Penstemon* species and their hybrids in field and common garden environments. *New Phytologist*, 181(2). <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02654.x>.
- Knowlton, J.L. and y C.H. Graham. 2010. Using behavioral landscape ecology to predict species' responses to land-use and climate change. *Biological Conservation*, 143(6). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.011>.
- López-Upton, J., V. Velasco-Fiscal, J. Jasso-Mata, C. Ramírez-Herrera y J. Vargas-Hernández. 2001. Hibradicación natural entre *Pinus oocarpa* y *P. Pringlei*. *Acta Botánica Mexicana*, 57, 51–66.
- Mabaso, F., H. Ham and A. Nel. 2019. Frost tolerance of various *Pinus* pure species and hybrids. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, 81(3). <https://doi.org/10.2989/20702620.2019.1615212>
- Muhlfeld, C.C., R.P. Kovach, L.A. Jones, R. Al-Chokhachy, M.C. Boyer, R.F. Leary, L.H. Lowe, G. Luikart and F.W. Allendorf. 2014. Invasive hybridization in a threatened species is accelerated by climate change. *Nature Climate Change*, 4(7). <https://doi.org/10.1038/nclimate2252>.
- Petit, R.J. and A. Hampe. 2006. Some evolutionary consequences of being a tree. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37(1). <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110215>.
- Pompa-García, M., C. Hernández, J.A. Prieto-Ruiz y R. Dávalos-Sotelo. 2009. Modelación del volumen fustal de *Pinus durangensis* en Guachochi, Chihuahua, México. In: 61 Madera y Bosques. Vol. (15), Issue (1).
- Rieseberg, L.H. and S.E. Carney. 1998. Plant hybridization. *New Phytologist*, 140(4). <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00315.x>.
- Simental-Rodríguez, S.L., A. Pérez-Luna, J.C. Hernández-Díaz, J.P. Jaramillo-Correa, C.A. López-Sánchez, L. Flores-Rentería, A. Carrillo-Parra and G. Wehenkel. 2021. Modelling shifts and

- contraction of seed zones in two Mexican pine species by using molecular markers. *Forests*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/f12050570>.
- Tovar-Sánchez, E. and K. Oyama. 2004. Natural hybridization and hybrid zones between *Quercus crassifolia* and *Quercus crassipes* (Fagaceae) in Mexico: morphological and molecular evidence. *American Journal of Botany*, 91(9). <https://doi.org/10.3732/ajb.91.9.1352>.
- Walters, D.M., M.J. Blum, B. Rashleigh, B.J. Freeman, B.A. Porter and N.M. Burkhead. 2008. Red shiner invasion and hybridization with blacktail shiner in the upper Coosa River, USA. *Biological Invasions*, 10(8). <https://doi.org/10.1007/s10530-007-9198-6>.
- Wehenkel, C., S.D.R. Mariscal-Lucero, M.S. González-Elizondo, V.A. Aguirre-Galindo, M. Fladung and C.A. López-Sánchez. 2020. Tall *Pinus luzmariae* trees with genes from *P. Herrerae*. *Peer J*. 2020(2). <https://doi.org/10.7717/peerj.8648>.
- Wendel, J.F., J. Stewart-McD. And J.H. Rettig. 1991. Molecular evidence for homoploid reticulate evolution among Australian species of *Gossypium*. *Evolution*, 45(3). <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1991.tb04339.x>.