

MONOGRAFÍAS DE LA ASOCIACIÓN CHELONIA

Volumen XV



Biología y silvicultura del cedro-nogal (*Juglans pyriformis*) para su conservación en México

C.C. Acosta-Hernández, E. Ortiz-Muñoz,
J.D. Cornú-García, J.S. Perusquía-Chávez y P. Linares-Márquez



Universidad Veracruzana

Biología y silvicultura del cedro-nogal
(*Juglans pyriformis*) para su
conservación en México

Edita: Asociación Chelonia, Madrid, (España)

© Asociación Chelonia, 2019

Los autores: Celia Cecilia Acosta-Hernández, Eunice Ortiz-Muñoz, Jorge Daniel Cornú-García, José Santos Perusquía-Chávez y Pascual Linares-Márquez.

Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, C.P. 91090, Tel. Fax (228)8421748/8421700 Ext. 11748, Xalapa, Veracruz, México.

Autor de correspondencia: Celia Cecilia Acosta-Hernández, ceacosta@uv.mx.

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Celia Cecilia Acosta-Hernández, *Docente, Universidad Veracruzana, México*

Dr. Pascual Linares-Márquez, *Docente, Universidad Veracruzana, México*

Dr. Manuel Merchán-Fornelino, *Docente, Universidad Alfonso X El Sabio, España*

Dra. Ana María Fidalgo-de Las Heras, *Docente, Universidad Autónoma de Madrid, España*

Dr. Miguel Andrés Cárdenas-Torres, *Director General en Colombia Asociación Chelonia*

M.C. Ángela Adriana Cárdenas-Torres, *Docente, Secretaría de Educación de Bogotá, Colombia*

M.C. Luis Enrique Flórez-Pinzón, *Consultor UPRA, Ministerio de Agricultura, Colombia*

- © Fotografía de portada: Mosaico de las diferentes fases de colecta, beneficio, germinación y vivero en la producción de *Juglans pyriformis* / Celia Cecilia Acosta-Hernández, Eunice Ortiz-Muñoz, Jorge Daniel Cornú-García y José Santos Perusquía-Chávez.
- © Fotografía de contraportada: Plántula de *J. pyriformis* producida en contenedor, con hojas verdaderas en desarrollo / Celia Cecilia Acosta-Hernández.
- © Fotografías interiores: Celia Cecilia Acosta-Hernández, Eunice Ortiz-Muñoz, Jorge Daniel Cornú-García y José Santos Perusquía-Chávez.
- © Maquetación, edición y diseño: Miguel Andrés Cárdenas-Torres.

Una parte del contenido de esta obra fue registrada bajo el título COLECTA Y BENEFICIADO DE LA SEMILLA DE Juglans pyriformis Liebm. (cedro-nogal), ante el Registro Público del Derecho de Autor de México bajo el número: 03-2014-070210545300-01.

Cita recomendada: Acosta-Hernández, C.C., E. Ortiz-Muñoz, J.D. Cornú-García, J.S. Perusquía-Chávez y P. Linares-Márquez. 2019. Biología y silvicultura del cedro-nogal (*Juglans pyriformis*) para su conservación en México. Monografías de la Asociación Chelonia, Volumen XV. Madrid: Asociación Chelonia. 76 p.

Primera edición, marzo de 2019

www.chelonia.es

www.chelonia.co

chelonia@chelonia.es

colombia@chelonia.es

ISBN: 978-84-09-05583-8

Depósito legal: M-4482-2019

Biología y silvicultura del cedro-nogal
(*Juglans pyriformis*) para su
conservación en México

C.C. Acosta-Hernández, E. Ortiz-Muñoz, J.D. Cornú-García,
J.S. Perusquía-Chávez y P. Linares-Márquez

PRÓLOGO

Las características privilegiadas de posición geográfica, condiciones climáticas y aspectos geológicos y geomorfológicos de México, en especial la del Estado de Veracruz (localizado en el extremo Este del país con influencia de los vientos húmedos provenientes del Golfo de México que descargan humedad sobre el sistema montañoso de la Sierra Madre Oriental), brindan los ambientes adecuados para el desarrollo de ecosistemas de alta diversidad biótica y en parte coadyuvan a configurar el bosque mesófilo de montaña propio de esta región del país; todo ello, junto con las Llanuras Boreales de la zona Centro-Norte, la Sierra Californiana, la Sierra Madre Occidental, la Cordillera Neovolcánica, la Sierra Madre del Sur y la Sierra Madre de Chiapas por el Océano Pacífico, posicionan a México como uno de los países megadiversos en esta parte del continente americano.

Los bosques mesófilos de montaña, también conocidos como bosques de niebla, son destacados a nivel mundial por su alta biodiversidad en términos de flora y fauna. En esta oportunidad, se presenta a la comunidad científica, la academia y la sociedad civil en general, un valioso material de investigación sobre una especie forestal amenazada, evolutivamente establecida en estos ecosistemas y que adicionalmente es endémica para el territorio mexicano: *Juglans pyriformis* Liebm. (cedro-nogal).

Ha sido un arduo trabajo de más de cinco años realizado con el apoyo de la Universidad Veracruzana con sede en Xalapa y el Programa de Mejoramiento al Profesorado (Proyecto PROMEP/103.5/12/4543), encabezado por la profesora Dra. Celia Cecilia Acosta-Hernández y las contribuciones de varias tesis de grado en Licenciatura emprendidas en el marco del programa de Biología de dicha universidad.

Se tratan con profundidad y buen método aspectos sobre la biología de *J. pyriformis*, su fenología, manejo del fruto y de las semillas, producción en vivero, silvicultura y recomendaciones para su conservación y manejo. Los resultados apuntan a contribuir al conocimiento y manipulación técnica de una especie de utilización frecuente por parte de las comunidades campesinas que desarrollan sus actividades productivas en el bosque mesófilo de montaña en el Estado de Veracruz, con metodologías replicables para ser implementadas sobre otras especies de alto valor ecológico, funcional y económico, de cara a mantener un equilibrio entre conservación y desarrollo sostenible en otros países de la región y que, en muchos casos, carecen de este tipo de investigaciones científicas. En tal sentido, celebramos la realización de esta obra como punto de referencia para futuros investigadores dedicados a la gestión de especies forestales amenazadas.

Dr. Miguel Andrés Cárdenas-Torres
Director General
Asociación Chelonia-Colombia



Plántula de *Juglans pyriformis* tratada en vivero

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Mejoramiento al Profesorado por el recurso financiero otorgado para la realización del proyecto (PROMEP/103.5/12/ 4543): BASES PARA LA CONSERVACIÓN *IN SITU* DE *Juglans pyriformis*: UNA ESPECIE EN PELIGRO DE EXTINCIÓN, a través de la convocatoria “Apoyo a la reincorporación de Exbecarios PROMEP 2012-2013”.

Agradecemos a la Dra. Ana Isabel Suárez Guerrero y al M.C. Joaquín Jiménez Huerta por sus observaciones y aportaciones al documento.

Nuestro agradecimiento a la Dra. Nadia Guadalupe Sánchez Coello por sus observaciones y su apoyo para el registro de esta obra en Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDIAUTOR).

Agradecemos a los alumnos de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana de Xalapa, México, hoy biólogos, por su colaboración en campo durante la recolección de los frutos y en el procesamiento de semillas en el vivero: biólogos Daniel Rodríguez Solís, Emmanuel Ismael Pantoja Aparicio, Edgar Abel Sánchez García, Alejandro Quirino Villarreal y Ricardo Aldair Aquino López.



Aspecto de las ramas y hojas de un ejemplar adulto de *Juglans pyriformis* en México



Vista de la población de Coacoatzintla, Veracruz, desde el Bosque Mesófilo de montaña que la rodea

ÍNDICE

Conservación de los recursos forestales. Apuntes éticos para <i>Juglans pyriformis</i>	17
1. INTRODUCCIÓN	21
2. BIOLOGÍA DE <i>Juglans pyriformis</i> (cedro-nogal)	23
2.1. Taxonomía	23
2.2. Descripción	24
2.3. Distribución	29
2.4. Importancia ecológica y económica	32
3. FENOLOGÍA	35
3.1. Calendario fenológico de <i>J. pyriformis</i>	37
3.2. Desarrollo de las fenofases de <i>J. pyriformis</i>	39
3.2.1. Foliación	39
3.2.2. Floración	40
3.2.3. Fructificación	43
4. MANEJO DEL FRUTO	45
4.1. Recolecta	45
4.2. Beneficiado	48
4.2.1. Beneficiado de las semillas de <i>J. pyriformis</i>	48
5. MANEJO DE LAS SEMILLAS	51
5.1. Características de las semillas del género <i>Juglans</i>	52
5.1.1. Características de las semillas de <i>J. pyriformis</i>	52
5.1.2. Dispersión de las semillas de <i>J. pyriformis</i>	55
5.2. Almacenamiento de las semillas	56
5.3. Germinación	58
5.3.1. Proceso de germinación de <i>J. pyriformis</i>	59
5.3.2. Latencia de las semillas	60
6. PRODUCCIÓN EN VIVERO	61
7. MANEJO SILVICULTURAL	63
7.1. Requerimientos ambientales	63
7.2. Manejo y establecimiento de plantaciones	65
8. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y MANEJO DE <i>J. pyriformis</i>	67
8.1. Selección de árboles semilleros	67
8.2. Gestión	68
8.3. Manejo silvicultural de fuentes semilleras	68
8.4. Manejo de las semillas	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69



Bosque mesófilo Coacoatzintla, Veracruz, México

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localidades y puntos de referencias por municipio donde se ha registrado <i>J. pyriformis</i>	32
Tabla 2. Fenofases y sus etapas de desarrollo modificadas de Rodríguez y Muñoz (2009) para el estudio de <i>J. pyriformis</i>	38
Tabla 3. Calendario fenológico de tres individuos de <i>J. pyriformis</i> localizados en Coatepec, Veracruz	39
Tabla 4. Tamaño y peso del fruto <i>J. pyriformis</i> procedentes de dos poblaciones	47
Tabla 5. Tamaño y peso de las semillas de <i>J. pyriformis</i> procedentes de ocho poblaciones	53
Tabla 6. Peso promedio y número de semillas/kilogramo de <i>J. pyriformis</i>	54
Tabla 7. Requerimientos ambientales de <i>J. pyriformis</i>	64
Tabla 8. Diseño de plantación con <i>J. pyriformis</i> en sistemas agroforestales	65



Estimación de la altura de un ejemplar adulto de *Juglans pyriformis* mediante clinómetro



Marcaje de un individuo adulto de *Juglans pyriformis* en el inventario forestal de bosque mesófilo, Veracruz, México

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Especies del género <i>Juglans</i> en América	23
Figura 2. Árboles maduros de <i>J. pyriformis</i> en San José Buenavista, Altotonga	24
Figura 3. Detalle de la corteza de <i>J. pyriformis</i>	25
Figura 4. Hojas de <i>J. pyriformis</i> : a) disposición de las hojas en el árbol; b) disposición de los folíolos en la hoja; c) detalle de los folíolos	26
Figura 5. Flor femenina de <i>J. pyriformis</i>	26
Figura 6. Flor masculina de <i>J. pyriformis</i>	27
Figura 7. Fruto de <i>J. pyriformis</i> : a) fruto inmaduro; b) fruto joven; c) disposición de los frutos en el árbol; d) frutos maduros recién caídos del árbol	28
Figura 8. Semilla de <i>J. pyriformis</i> : a) nuez beneficiada; b) detalle del embrión y del endospermo	28
Figura 9. Rodaja de madera de <i>J. pyriformis</i> en la que se aprecia su color	29
Figura 10. Distribución de <i>J. pyriformis</i> en México	30
Figura 11. Distribución de <i>J. pyriformis</i> en el estado de Veracruz	31
Figura 12. Fenofases del desarrollo foliar	40
Figura 13. Disposición de la inflorescencia masculina (a) y de la femenina (b) en <i>J. pyriformis</i>	41
Figura 14. Fenofases del desarrollo de las inflorescencias masculinas	41
Figura 15. Fenofases del desarrollo de las inflorescencias femeninas	42
Figura 16. Fenofases de la fructificación	43
Figura 17. Frutos de <i>J. pyriformis</i> con características aceptables para su recolecta en piso: a) frutos verde-amarillentos sin daños; b) frutos que han iniciado su etapa de pudrición; c) frutos en etapa de pudrición sin daños y firmes	45
Figura 18. Frutos de <i>J. pyriformis</i> no aptos para su recolecta	46
Figura 19. Individuos de <i>J. pyriformis</i> con características fenotípicas aceptables para la recolecta de semilla	46
Figura 20. Medición del tamaño y del peso de los frutos de <i>J. pyriformis</i>	47
Figura 21. Fruto carnoso, pseudodrupa y semilla de <i>J. pyriformis</i>	48
Figura 22. Beneficiado del fruto de <i>J. pyriformis</i>	49
Figura 23. Proceso de descomposición del fruto de <i>J. pyriformis</i>	49
Figura 24. Extracción de la semilla bajo agua corriente	50
Figura 25. Secado al aire libre de las semillas de <i>J. pyriformis</i>	50
Figura 26. Diagrama de la morfología del fruto del género <i>Juglans</i> : a) corte vertical del tejido del fruto; b) corte transversal del tejido del fruto; c) morfología de la testa	52

Figura 27. Principales formas de las semillas de <i>J. pyriformis</i>	53
Figura 28. Semillas malformadas y vanas	54
Figura 29. Depredación de semillas por fauna	55
Figura 30. Tratamientos aplicados a las semillas de <i>J. pyriformis</i> para establecer las condiciones de almacenamiento: a) cámara fría en bote hermético; b) cámara fría en bote hermético con aeración; c) estratificado en capas en arena; d) almacenamiento en sacos de rafia	56
Figura 31. Almacenamiento de la semilla de <i>J. pyriformis</i> en lonas bajo sombra	57
Figura 32. Proceso de germinación de las semillas de <i>J. pyriformis</i>	59
Figura 33. Proceso de viverización de <i>J. pyriformis</i>	61



Conservación de los recursos forestales. Apuntes éticos para *Juglans pyriformis*

Por el Dr. Pascual Linares-Márquez

La conservación de la diversidad biológica, desde su complejidad amerita una discusión amplia e integral, en la consideración de lo que significa para la sociedad la bioconservación, además de un recurso económico. Es pertinente en esta discusión atender a los fines y alcances bioéticos, toda vez que éstos son un punto de suma importancia que no se ha considerado y que contribuyen de manera importante a la permanencia de los ecosistemas y los beneficios de éstos hacia la población humana.

El manejo de los recursos naturales está limitado por aspectos económicos, ambientales, éticos y estéticos; sin embargo, cuando se trabaja para la conservación, algunos de estos aspectos quedan fuera del espectro del valor de los recursos y se pondera como el factor importante, el valor comercial. Así, la apreciación de los recursos forestales ha convertido a los bosques en un objeto de compra-venta dejando de lado sus características ecológicas y su importancia natural. Es en este sentido, la especie *Juglans pyriformis* se reduce a un producto comercial, toda vez que las poblaciones de la misma se han extraído de los bosques con fines maderables. Esta postura lucrativa de los recursos forestales ha generado otros problemas alternos como la pérdida de poblaciones naturales en los ecosistemas de bosque mesófilo de montaña, disminución de la variabilidad genética y pérdida de especies.

En México existe una problemática con el recurso forestal que involucra, entre otros, la extracción del recurso maderable sin un manejo adecuado, en este rubro podemos apuntar como ejemplo el desperdicio del producto al no incorporarlo a la producción. Es así que el manejo del recurso forestal en México representa un problema en la falta de competencia desde la oferta y demanda (en los últimos años se han tenido que importar recursos maderables a nuestro país por falta de competitividad). Esto puede apuntar al retroceso y estancamiento del sector forestal mexicano, donde podemos señalar una pérdida de 4000 millones de pesos anuales debido a la extracción ilegal del recurso (Balvanera y Cotler *et al.*, 2009).

En el manejo moderno de las especies arbóreas, y sobre todo aquellas que encuentran un uso en la industria, las implicaciones técnicas no consideran aspectos importantes desde una perspectiva de conjunto donde se brinde valor a los bosques mas allá de los individuos aptos para comercialización. Los bosques como sistemas biológicos generan servicios ambientales desde retención de la humedad, el amortiguamiento de contaminantes, la retención de agua y su distribución a través de mantos freáticos y la continuidad del proceso mismo de la vida para otras especies, por lo que, el manejo inadecuado del recurso forestal llevará a ocasionar daños irreversibles para la humanidad. El reconocimiento de la importancia de estos servicios ambientales es determinante debido a que la funcionalidad

de las poblaciones humanas en condiciones de equilibrio con el entorno natural depende de estos servicios ambientales, donde se integran en un equilibrio dinámico, los factores bióticos con los abióticos. Asimismo, las decisiones y políticas públicas para el manejo e intervención de los ecosistemas que proveen estos servicios están en relación de las apropiaciones, efectos y satisfactores que las comunidades aprecien de los bosques como sistemas necesarios.

Desde una perspectiva ética que impacte en el manejo de los recursos forestales, la información verídica juega un aspecto fundamental para el uso y manejo correcto de estos recursos. Desde las decisiones de facto y la formulación de las políticas públicas no siempre se cuenta con la información adecuada y ésta se ve reducida a una visión disminuida e incompleta donde las estrategias y posibilidades en el manejo hacia una conservación que posibilite la permanencia de las especies forestales es nula. Esta situación se vuelve aguda cuando se implica más de un problema en el planteamiento de alternativas integrales de conservación. Ciertamente, una herramienta importante son los sistemas de información geográfica, que hoy nos permiten en diferentes escalas apreciar las posibilidades en términos reales de los ecosistemas existentes; sin embargo, esto posibilita también entender que se debe tener un mayor cuidado en las decisiones, las fases del manejo de las especies y por supuesto del germoplasma, considerando como factor fundamental su permanencia en el tiempo (Kwiatkowska y Szatzschneider, 2012). Es así que la toma de decisiones necesita contar con información verídica y actualizada para generar criterios en la formulación de acciones de manejo, políticas públicas, legislación y criterios basados en la permanencia a futuro.

Las implicaciones sociales en las decisiones del impacto a los bosques debe ser considerada en cualquier medida que se genere en relación a la intervención de especies arbóreas, sobre todo aquellas que se llevan a cabo en ecosistemas naturales. La toma de decisiones al respecto no debe desdeñar los tiempos de regeneración de los bosques y la adecuada selección de la población a intervenir, ya que de no hacerlo con el cuidado que los impactos ameritan desde el aprovechamiento, las consecuencias negativas tendrían un efecto en el cambio de las condiciones ambientales y en las comunidades aledañas. Son las etnias y pueblos cercanos a los bosques, quienes se convierten en los guardianes del recurso debido a que, regularmente y en la tradición, hacen uso consciente del mismo, es su recurso de vida, más allá del sentido comercial.

En complemento con esta visión etno-forestal se hace necesario que en la conservación de los bosques, implícitos en éstos los recursos forestales y genéticos, se impliquen observaciones específicas en la promoción de investigaciones enfocadas a la preservación de las especies y un aprovechamiento que no ponga en riesgo los ecosistemas. En este rubro la participación de la industria en el fomento de la investigación debe ser clara en el pago de impuestos por impactos negativos al ambiente (Cárdenas, 2010). Así, los aspectos en el usufructo no se cubrirán sobre el producto a extraer, sino en la aplicación de recursos para investigar formalmente las mejores opciones de manejo.

Otro de los aspectos éticos importantes en el manejo y aprovechamiento de los recursos forestales es el libre acceso a los conocimientos y permanencia de las prácticas ancestrales, riqueza cultural de las etnias, concerniente en el libre acceso a estos recursos,

la obtención e intercambio de semillas, la permanencia de prácticas tradicionales y la regulación de patentes de recursos genéticos. Asimismo, la integración de medidas para evitar y regular, en cada caso, la producción de transgénicos que atenten contra la integridad de los recursos forestales y la permanencia de ecosistemas importantes en el ámbito local y global (Herrera y Rodríguez, 2014). En este mismo esquema es necesario considerar a las comunidades integradas a los bosques para solicitar un permiso o consentimiento informado, en el cual se considere la información para la intervención de estos ecosistemas, los cuales están ligados ancestralmente a las etnias y grupos culturales. El consentimiento informado no es una práctica que se lleve a cabo con las comunidades, mas bien es considerado en la intervención de estudios con personas, pero no existe otro mecanismo que considere a estos grupos, en su opinión, desde la apropiación de sus recursos (Herrera y Rodríguez, 2014).

Es desde una perspectiva de responsabilidad y pertinencia social que la especie *Juglans pyriformis* debe atender a un manejo integral en su intervención como recurso forestal, considerando pertinentemente las condiciones locales y globales que marcan los acuerdos y normas internacionales.

Para que los usos de la especie se amortigüen oportunamente es importante integrar estrategias de rescate de bosques fragmentados, que promuevan la regeneración de las poblaciones y posibiliten la mejora de las mismas, desde la variabilidad genética, sólo de esta forma podremos esperar un manejo sustentable de la especie.

Referencias bibliográficas

- Balvanera, P. y H. Cotler. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En: CONABIO. *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Cárdenas, C. 2010. Recursos genéticos de los bosques: rol de la Bioética y el Derecho. *Revista de Bioética y Derecho*. 18: 44-46.
- Herrera, V. y Y. Rodríguez. 2014. Etnoconocimiento en Latinoamérica. Apropiación de recursos genéticos y bioética. *Acta Bioethica*. X(2): 181-190.
- Kwiatkowska, T. y W. Szatzschneider. 2012. Incertidumbre y políticas ambientales. *Ludus Vitalis*. XX(37): 71-84.





Colecta de muestra dendrológica de *Juglans pyriformis*

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista biológico, México es uno de los cinco países que albergan entre el 60% y 70% de la biodiversidad del planeta, por lo que es llamado “megadiverso” (CONABIO, 1998). No obstante, esta riqueza biológica está amenazada principalmente por el constante cambio de uso de suelo para actividades humanas, como son el crecimiento urbano, industrial y agropecuario que llevan a la deforestación de extensas áreas, así como la extracción ilegal de madera para la construcción, la leña o carbón, y la extracción hormiga de productos forestales no maderables, entre otros.

Uno de los ecosistemas más amenazados del país por estas actividades es el Bosque Mesófilo de Montaña (BMM), el cual se caracteriza por tener la mayor diversidad de especies de flora y fauna, así como endemismos, en relación a su área (Challenger, 1998). Originalmente, este ecosistema ocupaba una superficie no mayor al 1% del territorio nacional (Rzedowski, 1996), misma que ha sido reemplazada en un 50% por otros tipos de cobertura (Challenger, 1998). En el estado de Veracruz, el BMM ha disminuido aproximadamente un 26%, quedando sólo fragmentos aislados por potreros, cultivos y asentamientos humanos, con la consecuente disminución de la biodiversidad y servicios ambientales que proporcionan (Williams-Linera, 2007).

Juglans pyriformis Liebm. es una especie endémica del BMM de los estados de Hidalgo, Oaxaca, Jalisco y Veracruz. Este árbol multipropósito, denominado comúnmente cedro-nogal, puede ser utilizado en la restauración de ecosistemas alterados, y es altamente valorado en la industria mueblera y de aserrío por la calidad de su madera (Narave, 1983; Pedraza y Williams-Linera, 2003; Benítez *et al.*, 2004). Sin embargo, la disminución y fragmentación del bosque mesófilo, así como, la sobreexplotación de esta especie, están impactado fuertemente a sus poblaciones, las cuales se observan reducidas y aisladas. Lo anterior está comprometiendo la variabilidad genética de la especie, tal que en dos poblaciones de *J. pyriformis* del centro del estado de Veracruz se detectó endogamia (Acosta-Hernández *et al.*, 2011; 2011a, 2011b). El estatus del cedro-nogal en la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) es “Amenazada”; la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (por sus siglas en inglés: IUCN) la reporta como “En peligro de extinción”, y la Lista Roja de plantas agrícolas y hortícolas, como “Especie nativa de importancia internacional para su conservación” (López-Gómez *et al.*, 2008; Hammer y Khoshbakht, 2005).

La acción que se emprendió, entre el 2001 y 2008, para la recuperación del cedro-nogal en el estado de Veracruz, fue el establecimiento de plantaciones puras y mixtas, con fines de conservación y comerciales, con apoyos del Programa de Plantaciones Forestales (PRODEFOR), hoy Programa Nacional Forestal (PRONAFOR). Estas plantaciones se establecieron con plantas producidas por vía sexual en el vivero de la CONAFOR José Ángel Navar Hernández y en otros viveros coordinados por esta institución, para alcanzar la meta de producción de aproximadamente 35,000 plantas de *J. pyriformis*. La semilla que se requirió para dicha producción, fue recolectada en las poblaciones naturales de cedro-nogal del centro del estado (CONAFOR, 2008).

En los viveros el manejo de las semillas y producción de planta del cedro-nogal, se hace de forma empírica, ya que el conocimiento que se tiene de la especie está limitado a su taxonomía, biología, algunos datos fenológicos y su comportamiento inicial en la restauración de áreas fragmentadas de bosque mesófilo de montaña (Narave, 1983; Pedraza y Williams-Linera, 2003; Benítez *et al.*, 2004; Luna-Vega, 2003; Luna-Vega *et al.*, 2006). Lo anterior motivó al desarrollo del proyecto “Bases para la conservación *in situ* de *Juglans pyriformis*: una especie en peligro de extinción” financiado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP/103.5/12/4543), en el cual participaron académicos y alumnos de la Facultad de Biología-Xalapa de la Universidad Veracruzana, con el objetivo de generar información sobre la fenología de la especie, estandarizar los criterios de recolección de frutos, las técnicas de beneficiado y almacenamiento de las semillas, así como, producción de las plantas en vivero.

Este proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Biología y en el vivero forestal del Campus para la Cultura, las Artes y el Deporte de la Universidad Veracruzana (USBI-Xalapa, Veracruz), donde se establecieron los ensayos experimentales con semilla que fue recolectada por árbol en 11 poblaciones naturales de cedro-nogal, ubicadas en los municipios de Altotonga, Chiconquiaco y Coatepec del estado de Veracruz. Asimismo se realizó una revisión bibliográfica sobre la biología, ecología y silvicultura del cedro-nogal, para complementar la información que se tiene de la especie.

Este documento está dirigido a todos aquellos interesados en la conservación de las especies forestales de nuestro país, y particularmente tiene como objetivo contribuir a la conservación de *Juglans pyriformis*.



Medición de un fruto de *Juglans pyriformis* mediante micrómetro digital

2. BIOLOGÍA DE *Juglans pyriformis* (CEDRO-NOGAL)

2.1. TAXONOMÍA

La taxonomía y aspectos sobre la biología y ecología de *Juglans pyriformis* que se describen a continuación fueron compilados de las investigaciones realizadas por Manning (1960); Rzedowsky (1996); Narave (1983); Benítez *et al.* (2004); Gutiérrez- Carvajal y Dorantes-López (2004); Niembro *et al.* (2004); Niembro *et al.* (2010); Luna-Vega (2003) y Luna-Vega *et al.* (2006).

El cedro-nogal pertenece a la familia Juglandaceae, la cual agrupa varias especies del género *Juglans* de importancia económica, tanto por su madera, como por la semilla (nuez) que producen. Este género se divide en cuatro secciones: la *Juglans*, la *Rhysocaryon*, la *Cardiocaryon* y la *Trachycaryon*. En la sección *Rhysocaryon* están agrupadas las 17 especies de nogal reportadas sólo para América (Figura 1), algunas de las cuales han permanecido endémicas a lo largo de su historia evolutiva (Brown, 1946; Aradhya *et al.*, 2007), como lo es *J. pyriformis* para México.

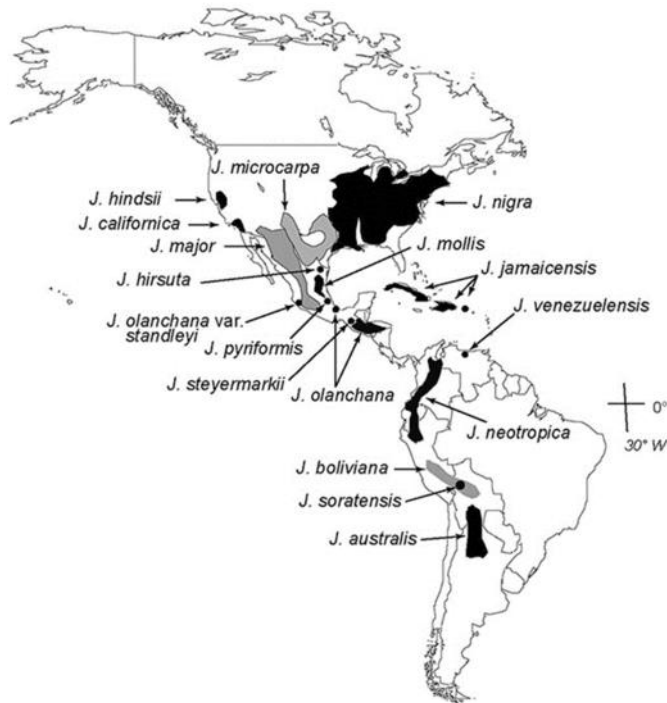


Figura 1. Especies del género *Juglans* en América

Fuente: Stone *et al.*, 2009

Clasificación taxonómica

Basado en el Sistema de Clasificación Jerárquica de Linneo:

Nombre común: Cedro-nogal o Nogal cimarrón

Reino: Plantae

Phylum: Tracheophyta

Subphylum: Spermatophytina

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fagales (Stevens, 2001)

Familia: Juglandaceae

Subfamilias: Juglandoideae

Tribu: Juglandae

Género: *Juglans*

Especie: *Juglans pyriformis* Liebm. (1851)

2.2. DESCRIPCIÓN

El cedro-nogal es un árbol caducifolio que forma parte del estrato medio y alto del bosque mesófilo de montaña, de copa amplia y dispersa, con ramas en la parte superior. Puede alcanzar alturas entre 10 a 25 m y en ocasiones hasta 40 m, con diámetros de hasta 1 m. En las poblaciones naturales de Veracruz se ha reportado la presencia de árboles de 30 a 40 años (Figura 2).



Figura 2. Árboles maduros de *Juglans pyriformis* en San José Buenavista, Altotonga y carretera Coatepec-Cinco Palos, Veracruz ©C.C. Acosta-Hernández, 2012

Su tronco es erguido y su corteza es corrugada-escamosa o con fisuras longitudinales irregulares, de color café-oscuro y con un espesor de 10 a 15 mm; presenta ramas con lenticelas abundantes y cicatrices foliares notorias (Figura 3).



Figura 3. Detalle de la corteza de *J. pyriformis*
©C.C. Acosta-Hernández, 2012

Tiene hojas alternas, imparipinnadas y dispuestas de forma casi espiralada con una o dos yemas axilares (Figura 4a). Miden de 27 a 58 cm de longitud y de 14 a 25 cm de ancho, compuestas por otras pequeñas hojas llamadas folíolos, dispuestos en forma opuesta y en número que va de 17 a 29 (Figura 4b), lanceolados, algunas veces oblongo lanceolados, con margen entero o ligeramente aserrado, con 30-89 dientes (Figura 4c). Los folíolos pegados al raquis, puberulentos, con pelos fasciculados o estrellados y escamas.



Figura 4. Hojas de *J. pyriformis*; a) disposición de las hojas en el árbol; b) disposición de los folíolos en la hoja; c) detalle de los folíolos en plántula de vivero

©C.C. Acosta-Hernández, 2012

Presentan flores de ambos sexos en un mismo árbol, por tanto es una especie monoica. Las flores femeninas son de color verde, alternas, dispuestas en una espiga terminal en grupos de dos a tres flores, formadas por cuatro sépalos oblongo-lanceolados, de 3-4 mm de longitud y 3.5 a 4.5 cm de ancho, glabrescente, con algunos pelos estrellados y escamas pequeñas, amarillas, cáliz persistente y pedúnculo liso (Figura 5). La especie tiene polinización anemófila (por medio del viento). El polen puede ser llevado por el viento a distancias mayores de 500 metros, aunque se considera que la polinización efectiva se produce en un radio de 100 metros (Aletà y Vilanova, 2011)



Figura 5. Flor femenina de *J. pyriformis*

©J.S. Perusquia, 2015

Las flores masculinas son de color verde amarillentas, diminutas, de 2 a 3 mm, que se distribuyen de forma irregular a lo largo de un pedúnculo, formando racimos amentiformes de una longitud de 9.5 a 23 cm, los cuales pueden tener de 38 a 78 flores. Estos racimos cuelgan de las axilas de las cicatrices foliares hacia el ápice de ramas viejas y las femeninas aparecen en los brotes terminales o subterminales de las ramas nuevas (Narave, 1983) (Figura 6).



Figura 6. Flor masculina de *J. pyriformis*
©J.S. Perusquia, 2015

El fruto es carnoso, clasificado como pseudodrupa globosa a subglobosa con abundantes verrugas abiertas de color pardo claro y un pequeño cuello en el ápice (Figuras 7a y b). Se presentan en racimos de 2, 3 y 4 frutos por rama (Figura 7c). En la madurez adquiere un color amarillo verdoso (Figura 7d). Es indehiscente, esto significa que no se abre espontáneamente para liberar la semilla una vez maduro. El pericarpio es más o menos blando, y contiene una sola semilla, la nuez.



Figura 7. Fruto de *J. pyriformis*: a) fruto inmaduro; b) fruto maduro; c) disposición de los frutos en el árbol; d) frutos maduros recién caídos del árbol

©J.S. Perusquia, 2015

La semilla, es una nuez globosa, morena, leñosa, con canales longitudinales (Figura 8a), cada nuez lleva en su interior una semilla obovado-deprimida, lateralmente comprimida, de unos 20 mm de largo (Figura 8b). La cubierta seminal es morena, reticulada y membranácea. El embrión masivo presenta cotiledones sinuosos (Figura 8b). Las nueces constituyen las unidades de propagación de esta especie. Se desconoce si forman bancos de semillas.



Figura 8. Semilla de *J. pyriformis*: a) nuez beneficiada; b) detalle del embrión y del endospermo

©C.C. Acosta-Hernández, 2012

Su madera se clasifica como preciosa por su excelente calidad, definida por su dureza. El duramen está bien delimitado de la albura y es oscuro o marrón chocolate, con tintes morados, a menudo vetado o abigarrado (Miller, 1976) (Figura 9). Tiene una densidad de 0.850 g/cm^3 , considerada muy alta, con una elasticidad longitudinal (EL) de 22441Mpa; un índice material (IL) de 24.23 y un factor de calidad (FL) alto de 5.39. Estas características son indicadores de la capacidad de transmisión de energía en relación a la densidad del material y de su potencial uso en la industria de la construcción y en aplicaciones donde las propiedades acústicas son importantes (Sotomayor-Castellanos *et al.*, 2010). El secado de la madera se recomienda bajo techo para evitar rajaduras o torceduras (Gutiérrez-Carvajal y Dorantes-López 2004).



Figura 9. Rodaja de madera de *J. pyriformis* en la que se aprecia su color
©J.D. Cornú García, 2013

2.3. DISTRIBUCIÓN

El género *Juglans* agrupa 21 especies de árboles deciduos, distribuidas mayoritariamente en el Norte y Sur América, las Indias Occidentales y el Sudeste de Europa en Asia Oriental y Japón. En América, el género está representado por 17 especies (Figura 1), de las cuales seis se encuentran en México y cuatro de ellas: *J. regia*, *J. mollis*, *J. olanchana* y *J. pyriformis*, se reportan para el estado de Veracruz. Las dos primeras se cultivan a escala limitada, en cambio *J. olanchana* y *J. pyriformis* se encuentra en estado silvestre (Manning 1978; Narave 1983).

Particularmente, *J. pyriformis* se distribuye a altitudes entre los 1200 y 1600 m de en los estados de Hidalgo (El Oxochitlán 8 km E), Oaxaca (Santos Reyes Tepejillo, Senda Antigua para el Río Boquerón), Jalisco y Veracruz y (Figura 10) (Narave, 1983; Luna-Vega *et al.*, 2006).



Figura 10. Distribución de *J. pyriformis* en México
Fuente: Luna-Vega, 2003

En el estado de Veracruz, *J. pyriformis* se distribuye en la región que corresponde a la Sierra Madre Oriental, donde aún existen relictos de bosque mesófilo de montaña (Figura II). También es común encontrar individuos aislados en potreros o como sombra en cafetales (Narave, 1983; Luna-Vega, 2003).

El cedro-nogal se reporta en 13 municipios del estado: Altotonga, Calchualco, Coacoatzintla, Coatepec, Chiconquiaco, Coscomatepec, Huatusco, Juchique de Ferrer, Misantla, Orizaba, Teocelo, Xico, Yecuatla.

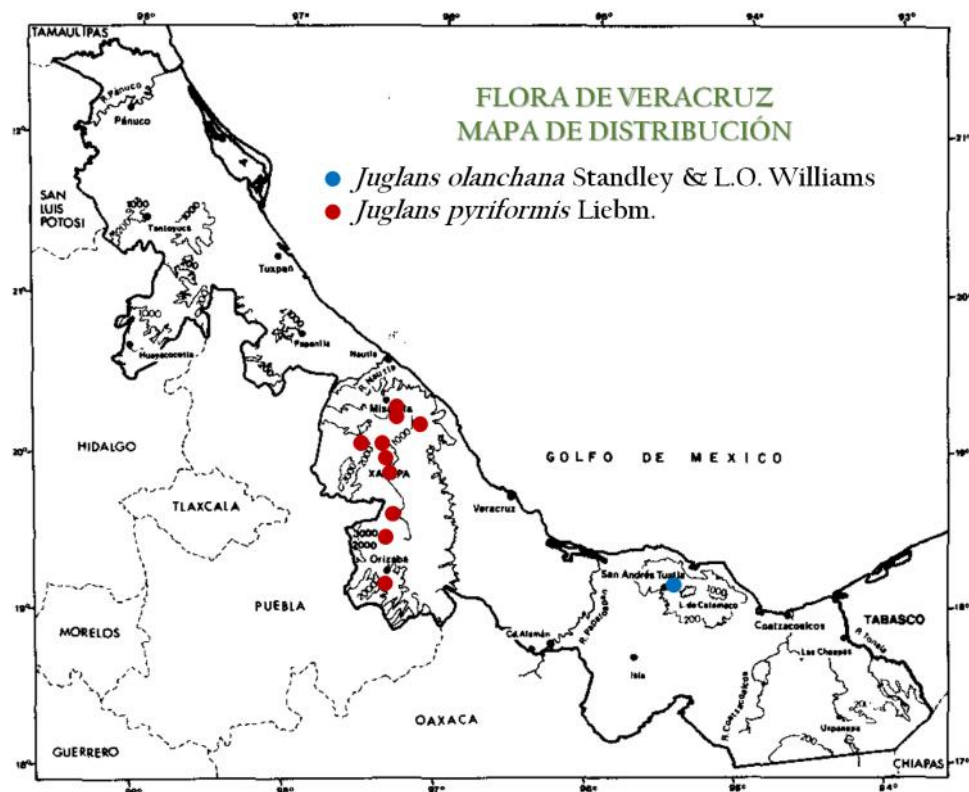


Figura II. Distribución de *J. pyriformis* en el estado de Veracruz
Fuente: modificado de Narave (1983)

Para siete de estos municipios se indican las localidades o puntos de referencia donde se tiene el registro de la especie, en los municipios marcados con asterisco (*) se recolecta la semilla para su venta a viveros particulares u oficiales, en los que se produce la planta para futuras plantaciones (Tabla 1).



Tabla 1. Localidades y puntos de referencias por municipio donde se ha registrado *J. pyriformis*

Municipio	Localidades puntos de referencia	Fuente
Altotonga*	San José Buenavista, Malacatepec y Cascajal	**Acosta-Hernández (2012)
Calchualco	Barranca del Río Jamapa	Luna-Vega, 2003
Coacoatzintla	Sobre la carretera, en los cerros que rodean a la ciudad y en las áreas de BMM del municipio.	**Acosta-Hernández (2012)
Coatepec	Sobre la autopista Xalapa-Coatepec y la carretera "Briones" Coatepec-Xalapa, camino a Cinco Palos, camino hacia el Fraccionamiento residencial "La Reserva", y en la zona de cafetales localizados después del fraccionamiento, Cerro de Las Culebras.	Narave, 1983; **Acosta-Hernández (2012)
Chiconquiaco*	Gallo de Oro, Naranjal, Huérfano, Escalanar, La Sombra	**Acosta-Hernández (2012)
Huatusco*	Unidad de Manejo para conservación de la vida silvestre (UMA) Las Cañadas	Las Cañadas http://www.bosquedeniebla.com.mx/sem.htm
Juchique de Ferrer	5 Km de Plan de las Hayas, La Cima, El Cerro de Villa Rica	Luna-Vega (2003)
Yecuatla*	Abajo del Espinazo del Diablo	Luna-Vega (2003)

*Puntos de referencia donde se tiene el registro de la especie. **Poblaciones estudiadas con publicaciones en prensa.
Elaboración propia: C.C. Acosta-Hernández

2.4. IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y ECONÓMICA

El árbol es utilizado para proporcionar sombra a las plantaciones de café y como ornamental. Se le ha utilizado en cercas vivas, linderos, y sombra de potreros. En algunas localidades se arrojan al agua hojas molidas de esta especie, para atontar a los peces y facilitar la pesca. Se recomienda su uso como mejorador ambiental de sitios urbanos y paisajismo, así como para restauración ecológica (Narave, 1983; Benítez *et al.*, 2004; Niembro *et al.*, 2004; Niembro-Rocas *et al.*, 2010; Gutiérrez-Carvajal y Dorantes López, 2004; Sotomayor-Castellanos *et al.*, 2010).

Su madera de bello color, veteado pronunciado en varias tonalidades y lustre alto, es altamente apreciada en la ebanistería para la elaboración de muebles finos, artículos decorativos e instrumentos musicales. También se usa para el recubrimientos de pisos, muebles e instrumentos musicales. Por las características de dureza es una madera usada en la industria de la construcción (Narave, 1983).

En México, la demanda de madera de cedro-nogal es baja, este hecho se debe a diversos factores que determinan el abastecimiento de madera en el mercado nacional, tales como una baja promoción de la especie y una industria forestal enfocada al aprovechamiento de especies templadas, principalmente pinos, que ocupan el 86% de la producción forestal y otras especies de valor comercial como los encinos (6.6%) y el oyamel (2.5%), además de una industria maderera poco actualizada tecnológicamente para el aserrío de especies con las características del cedro-nogal (SEMARNAT, 2004).

A nivel local, en la ciudad de Xalapa, Veracruz, la madera de cedro-nogal, generalmente se comercializa de manera ilegal. También se vende como madera sin identificar claramente la especie, en tablas de pequeñas dimensiones de 1 x 15 x 2.50 pulgadas, con un costo de \$30.0 pie/tabla (Maderería “Maderas 20 de Noviembre”), lo que equivale a aproximadamente \$12,000.0/m³. De manera comparativa el precio que alcanza la madera de *J. pyriformis* respecto a otras Juglandaceas como *J. regia* (de 1200 a 2400 euros/m³) en España y *J. nigra* (7000 dólares/m³) en Estados Unidos, representa menos del 50% del valor que puede adquirir en un mercado formal (Acosta-Hernández, 2011).



Fases de maduración del fruto de *Juglans pyriformis*



Germinación de *Juglans pyriformis* en vivero

3. FENOLOGÍA

El éxito de la producción de planta en un vivero depende de la planeación de las actividades, que van desde la recolecta de semilla de calidad, hasta la obtención de planta vigorosa capaz de sobrevivir en el sitio de plantación. En este sentido, los estudios fenológicos de las especies a producir son una herramienta predictiva muy importante en el campo de la silvicultura, ya que permite anticipar la ocurrencia de las fenofases y planificar las actividades de vivero (Arteaga, 2007).

A nivel internacional, el conocimiento de la fenología de muchas de las especies forestales de los bosques de clima templado y selvas es poco o casi nulo. De hecho, se desconocen los ciclos fenológicos de la mayoría de las especies que se requiere conservar y propagar, en especial aquellas en alguna categoría de riesgo.

La fenología o fitofenología es una rama de la ecología que estudia los cambios en el ciclo de vida de plantas y animales en su ocurrencia temporal, los cuales varían conforme a la especie (Williams-Linera, 2007; Newstrom *et al.*, 1994; Baluarte, 1995). Los estudios fenológicos pueden ser cualitativos y cuantitativos, en los cualitativos se analizan las características morfológicas, anatómicas, y de comportamiento de las especies en sus etapas de crecimiento; en los cuantitativos se establece la temporalidad en la que ocurre cada una de las fenofases (Bello, 1983).

Algunos de los conceptos más importantes que se manejan en los estudios fenológicos se revisan a continuación:

El primero es fenofase, que se refiere a cada fase distinta dentro del ciclo de vida de una especie, y la forma en que ocurre cada fenofase se le llama fenodinámica. Las fenofases tienen relación con las condiciones prevalecientes de temperatura, precipitación (Villers *et al.*, 2009) y la cantidad de horas luz recibidas (Vílchez *et al.*, 2004).

Los fenogramas se construyen contabilizando el porcentaje de especies que inician en una comunidad con determinada fenofase. Los fenogramas permiten entender la diversidad biológica y la coexistencia de las especies en una comunidad vegetal (Bello, 1983; Williams-Linera, 2007).

En un ciclo fenológico se establecen los eventos biológicos periódicos mediante la observación de las fenofases durante varios años, ya que éstas dependen de la interacción genotipo-ambiente (Chuine y Beaubien, 2001). De acuerdo con McGranahan y Forde (1985), se requieren hasta 18 años de observación para tener una predicción estable del ciclo fenológico de una especie. Conocer el inicio, la duración y la finalización de las fenofases y su relación con los factores ambientales es de interés en las investigaciones florísticas, ecológicas, meteorológicas, agronómicas, silviculturales, culturales y espirituales, entre otros (Bello, 1983; Preuhsler *et al.*, 2006; Williams-Linera, 2007).

En las regiones de clima templado donde se presentan dos épocas importantes para las plantas, una favorable que es la primavera-verano, y una desfavorable que es la estación invernal, se observan dos estados anuales, uno de actividad y otro de letargo. Por tanto, el ciclo fenológico de las especies muestra cambios pronunciados, los cuales están sincronizados con el ciclo anual del clima. Las fechas de cada condición varían según la latitud, altitud, especie y otros factores (López-Ríos, 2009). En los árboles perennes los ciclos fenológicos describen un sistema fisiológico de muchos factores que actúan en sincronía, los que son influenciados por la especie, el cultivar y el manejo que se les da (Cull, 1985).

En los calendarios fenológicos se analizan los eventos biológicos periódicos, como la producción de hojas, el desarrollo floral, la madurez fisiológica de los frutos y la semillación (Hechavarría, 1998, 2012; Preuhsler *et al.*, 2006), relacionados con las variaciones estacionales climáticas durante un periodo anual. Éstos proporcionan información sobre la disponibilidad de recursos (frutos o semillas) en el transcurso del año (Villasana y Suárez-de Giménez, 1997), y permiten comprender la compleja dinámica de los ecosistemas forestales (Villasana y Suárez-de Giménez, 1997; Mantovani *et al.*, 2003).

Los calendarios fenológicos son una herramienta importante en la planificación de la recolecta de semilla y detección de las mejores procedencias de germoplasma, ya que posibilitan la obtención de semilla de calidad, en cantidad suficiente para la producción de planta en vivero (Mantovani *et al.*, 2003; Vílchez *et al.*, 2004; Ortiz, 2013). En la definición de prácticas de conservación y manejo forestal, conocer el calendario fenológico, ayuda en la toma de decisiones respecto a cuándo y cómo realizar las cortas, fomentar la regeneración natural, establecer los viveros, plantaciones forestales y programas de propagación vegetativa o polinización dirigida, ente otros (Villasana y Suárez-de Giménez, 1997; Vílchez *et al.*, 2004; Martín, 2012).

Los procesos fisiológicos que controlan la ocurrencia de las fenofases en las plantas están ajustados con la duración del día, uno de ellos es el sistema fitocromo, el cual mide la duración de los periodos de luz y oscuridad. Este sistema controla la dormancia de yemas, el crecimiento vegetativo, la floración, la latencia de semillas y la germinación. Particularmente la floración se activa o inhibe por la concentración acumulativa de fitocromo, que es regulado por la alternancia de horas luz y oscuridad (López-Ríos, 2009). Una mayor o menor floración repercutirá en la productividad de las plantas, es decir en la cantidad de frutos y semillas que se logren cosechar en un periodo (Granados y Sarabia, 2013). Conocer los procesos fisiológicos y la duración de las fenofases permite comprender desde la reproducción de las plantas y su regeneración, hasta el proceso de coevolución de los animales que dependen de ellas para la alimentación o comparten un mismo hábitat, así como las interacciones planta-animal (Morellato, 1991).

En el ciclo de vida de las plantas las fenofases observadas generalmente son: foliación, floración, polinización y fructificación, la descripción e importancia de cada una de éstas se presenta a continuación:

La **foliación** indica la aparición y desarrollo de las hojas, éstas se originan en sucesión en el meristemo apical del tallo (IAGRICOLA, 2013). Las hojas son órganos laterales que constan de una lámina foliar, peciolo y base foliar, y están clasificadas en simples o compuestas. Las dicotiledóneas presentan hojas compuestas con folíolos laterales siguiendo patrones variables (Flores, 1999). Todas las estructuras foliares tienen como función realizar la fotosíntesis, producir la transpiración y realizar el intercambio gaseoso (López-Ríos, 2009).

La **floración** es la fase de desarrollo de la flor a partir de la yema floral (IAGRICOLA, 2013). Las flores constan de un pedicelo, receptáculo floral, cáliz, corola, androceo y gineceo, y se clasifican en masculinas, femeninas y hermafroditas (Flores, 1999). Su función es proteger los órganos reproductores y facilitar el proceso de la polinización (López-Ríos, 2009).

La **polinización** es la etapa que conlleva a la fecundación para dar como resultado la producción de frutos y semillas (IAGRICOLA, 2013), y se produce cuando el gameto masculino llega hasta el óvulo (Flores, 1999). La polinización puede ser autógama cuando el polen procede de la misma flor o de flores del mismo individuo; o alógama cuando el polen procede de flores de distintos individuos. Según el mecanismo de transporte del polen puede ser anemógama, hidrogama o zoógama (López-Ríos, 2009).

La **fructificación** es la fase de desarrollo del fruto a partir del ovario floral y su maduración (IAGRICOLA, 2013). Éste se desarrolla al crecer la pared ovárica y tejidos asociados, en respuesta a una serie de procesos químicos como la producción de etileno, síntesis de proteína y actividades enzimáticas (Alia-Tejacal *et al.*, 2002). El fruto es una estructura que contiene a la semilla, el cual tiene como objetivo ayudar a su dispersión (López-Ríos, 2009).

Cuando varias especies comparten las mismas condiciones ambientales, los periodos de las fenofases presentan una estrecha relación en cuanto al momento de ocurrencia como también su duración. Por ejemplo entre algunas de las variedades del género *Juglans* se ha determinado que existen distintos grados de homogamia, es decir, que hay una coincidencia en la aparición de las flores femeninas y masculinas en una misma variedad.

3.1. CALENDARIO FENOLÓGICO DE *J. pyriformis*

En México se ha estudiado la fenología de manera detallada sólo para las especies de mayor valor comercial por la relevancia que tiene en su manejo, sin embargo se desconoce la fenología de muchas especies leñosas nativas o se tienen datos generales, por lo que es de particular importancia profundizar en su conocimiento (Ochoa-Gaona *et al.*, 2008).

Los datos bibliográficos sobre la fenología de *J. pyriformis* son escasos y en éstos se reporta que el cedro-nogal florece de febrero a marzo y fructifica en los meses de agosto y septiembre (Narave, 1983; Benítez *et al.*, 2004).

El calendario fenológico de *J. pyriformis* que se presenta, se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Rodríguez-Barrero (2009) (Tabla 2). Las fases fenológicas se observaron durante un año (de abril 2013 a abril 2014), directamente en tres árboles seleccionados al azar, ubicados sobre la carretera Xalapa-Coatepec, Veracruz. Por cada árbol se eligieron diferentes ramas (r) para el registro del inicio y término de cada etapa fenológica: Árbol 1 = 10r; Árbol 2 = 18r y Árbol 3 = 15r (Perusquia, 2015).

Tabla 2. Fenofases y sus etapas de desarrollo modificadas de Rodríguez-Barbero (2009) para el estudio de *J. pyriformis*

Foliación		Floración femenina		Floración masculina		Fructificación	
Etapas	Características	Etapas	Características	Etapas	Características	Etapas	Características
FO1	Yemas cerradas	FF1	Yemas florales	FM1	Amentos masculinos visibles	FR1	Fruto inmaduro
FO2	Yemas en brote	FF2	Flores abiertas	FM2	Distinción de anteras-apertura	FR2	Fruto maduro
FO3	Yemas abiertas	FF3	Flores Fecundadas	FM3	Amentos secos y vacíos		
FO4	Hojas desplegándose	FF4	Frutos pequeños				
FO5	Hojas desplegadas	FF5	Flores muertas				
FO6	Sin hojas						

Teniendo como referencia de inicio del calendario fenológico al mes de diciembre (Tabla 3), se observa que *J. pyriformis* presenta dos periodos de foliación (FO). El primero con una duración de cuatro meses y medio, dando inicio la segunda quincena de enero y finalizando en mayo (FO1 a FO6). En este periodo la temperatura mensual mínima promedio fue de 15.7°C y la máxima de 22.3°C, en tanto que la precipitación mensual mínima promedio fue de 12 mm y la máxima de 43 mm. El segundo periodo de foliación tiene una duración de seis meses y medio, inicia en junio y finaliza en la primera quincena de enero. La temperatura mensual promedio mínima fue de 17.7°C y la máxima de 23.1°C, mientras que la precipitación mensual promedio mínima fue de 4 mm y la máxima de 256 mm.

Tabla 3. Calendario fenológico de tres individuos de *J. pyriformis* localizados en Coatepec, Veracruz

FENOFASE	AÑO - 2013/2014											
	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Foliación (FO)	FO6	FO6 FO1	FO2 FO3	FO4	FO5	FO5 FO6	FO1	FO2	FO3	FO4	FO5	FO5
Floración femenina (FF)				FF1	FF3	FF4	FF4/ FF5	FF4/ FF5	FF4/ FF5			
Polinización (PO)				PO	PO							
Floración masculina (FM)			FM1	FM2	FM3							
Fructificación (FR)										FR1	FR2	FR2

Fuente: Elaboración propia, Perusquia (2015)

La floración tiene una duración de aproximadamente tres meses. La floración masculina (FM) inicia primero que la femenina (FF), traslapándose en sus fenofases. La flor masculina aparece a principios de febrero y termina a mediados de abril (FM1 a FM3). La floración femenina inicia a finales de febrero y termina en la primera mitad del mes de abril (FF1 a FF3). En este periodo la temperatura mensual promedio varió entre 19.1°C y 20.1°C, y la precipitación mensual promedio varió entre los 14 mm y 30 mm. La polinización (PO) ocurre de marzo a abril.

La aparición y desarrollo de los frutos tiene una duración de cinco meses, inicia en la segunda quincena de abril y finaliza en agosto (FF4). Las flores que no son polinizadas no forman fruto y mueren (FF5). En este periodo la temperatura mensual promedio mínima fue de 21.3°C y la máxima de 22.2°C, en tanto que la precipitación mensual promedio mínima fue 19 mm y la máxima de 150 mm. La maduración de los frutos comienza en septiembre y finaliza en octubre (FR1 a FR2). La temperatura mensual promedio fue de 21.4°C y de 21.7°C y, la precipitación mensual promedio mínima fue de 47 mm y de 150 mm, respectivamente.

3.2. DESARROLLO DE LAS FENOFASES DE *J. pyriformis*

3.2.1. Foliación

En el inicio de la foliación (Figura 12) aparecen las yemas cerradas en las cicatrices foliares de las ramas (FO1), éstas son de color café pardo. Posteriormente la yema brota, distinguiéndose los primeros folíolos, de 10 a 15, de color verde grisáceo y pubescente (FO2), después los folíolos comienzan a abrirse, toman un color verde claro diferenciándose de los folíolos no desplegados, y se aprecia el peciolo (FO3). Aproximadamente 20 días después las hojas empiezan a desplegarse, se disponen de forma

alterna e imparipinnada, son lanceoladas y aserruladas de color verde a verde rojizo, el peciolo se alarga y se observa el raquis que sostiene las láminas foliares (FO4), continua el desarrollo de las hojas y se aprecia cuando éstas se han desplegado completamente, toman un color verde oscuro; los folíolos están completamente extendidos, el raquis y peciolo presentan tonalidades café claro (FO5) y al final la hoja cae dejando una cicatriz en la rama (FO6).

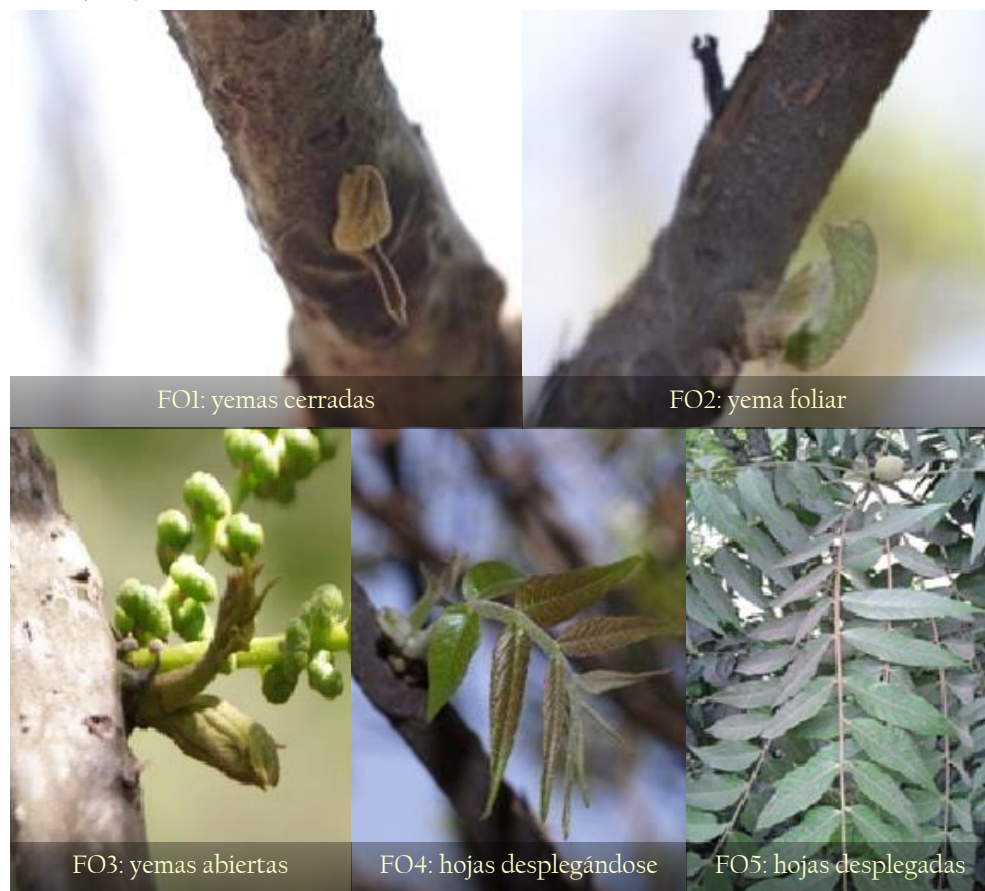


Figura 12. Fenofases del desarrollo foliar

©J.S. Perusquia, 2015

3.2.2. Floración

Las flores de cedro-nogal son autofértiles, pero presentan un fenómeno llamado maduración dicógama, es decir, en la mayoría de los casos la apertura de las flores masculinas y femeninas (Figura 13) está desfasada parcial o totalmente en el tiempo (Luna-Lorente, 1990).



Figura 13. Disposición de la inflorescencia masculina (a) y de la femenina (b) en *J. pyriformis*
©J.S. Perusquia, 2015

El periodo de floración de *J. pyriformis* inicia con la aparición de los amentos masculinos en la cicatrices foliares, al inicio se presentan cerrados de color verde claro, el pedicelo, raquis y pedúnculo son muy cortos y la superficie estriada (FM1), posteriormente se aprecian los estambres de color verde, la distinción y apertura de anteras comienzan de forma centripeta, el pedúnculo y raquis se alargan y son de color verde claro (FM2). Por último los amentos, una vez liberado el polen, se presentan secos, vacíos, y adquieren un color café (FM3) (Figura 14).



Figura 14. Fenofases del desarrollo de las inflorescencias masculinas
©J.S. Perusquia, 2015

Cuando algunos de los amentos masculinos alcanzan la fenofase 2 (FM2) se inicia la formación de las inflorescencias femeninas (Figura 15). Primero aparecen las yemas florales dispuestas en los ápices de las ramas, unidas al tallo, de color grisáceo - verde claro (FF1), posteriormente las flores se disponen de forma alterna y libres, formando una espiga de tres flores que comienzan a abrir los estigmas plumosos de color amarillo con estilo bifurcado, el pedúnculo floral se alarga y presenta lenticelas (FF2); a continuación las flores son fecundadas (FF3), los estigmas comienzan a secarse, el ovario se ensancha y se aprecian claramente las lenticelas, a esto le sigue el desarrollo de los ovarios, los cuales aumentan de tamaño, mantienen un color verde - grisáceo, con abundantes lenticelas verde claro (FF4). Las flores que no fueron fecundadas se secan (FF5).



Figura 15. Fenofases del desarrollo de las inflorescencias femeninas

©J.S. Perusquia, 2015

3.2.3. Fructificación

Los frutos ya desarrollados, pero aún inmaduros, se presentan en grupos de dos y tres (Figura 16); tienen forma esférica y de color verde claro con lenticelas marcadas de color café claro (FR1). Empiezan a madurar, lo cual se manifiesta con un cambio de color, con manchas café y lenticelas café oscuro, el pedúnculo toma un color café claro (FR2) para finalmente desprenderse de la rama y caer al suelo (FR3).



Figura 16. Fenofases de la fructificación

©J.S. Perusquia, 2015





En busca de *J. pyriformis* para la recolecta de semilla



De regreso con la semilla de *J. pyriformis* recolectada en el bosque mesófilo de Coacoatzintla

4. MANEJO DEL FRUTO

4.1. RECOLECTA

La caída al suelo de los frutos de *J. pyriformis* indica su completa maduración, por lo que es recomendable su cosecha inmediatamente después de su caída. La recolecta de los frutos se puede realizar en los meses de septiembre a octubre; en años semilleros es posible recolectar frutos en buenas condiciones hasta finales de noviembre-principios de diciembre. El traslado de los frutos al sitio de beneficiado puede hacerse en costales de rafia, bolsas plásticas gruesas o taras de plástico (Acosta-Hernández, 2012, com. pers.; Perusquía, 2015).

Se recomienda recolectar los frutos que: a) presenten color verde-amarillento, sin daños por insectos o roedores (Figura 17a); b) aquellos frutos que recién hayan iniciado el proceso de pudrición, los cuales se distinguen porque adquieren un color amarillo-rojizo y presentan manchas negras (Figura 17b); y c) también los frutos completamente negros, pero sin daños y un tanto firmes (Figura 17c) (Acosta-Hernández, 2012 com. pers.). La recolección de frutos directamente del suelo es conveniente porque resulta un procedimiento económico, que no requiere de equipo, ni de mano de obra altamente calificada, sin embargo, los principales inconvenientes son el riesgo de recolectar semillas deterioradas, dañadas por insectos o de germinación prematura. Asimismo, debido al desconocimiento del tiempo de caída del fruto al suelo, es difícil detectar el grado de maduración del mismo, y en ocasiones es difícil identificar el árbol del cual procede el fruto (Oliva, 2014).



Figura 17. Frutos de *J. pyriformis* con características aceptables para su recolecta en piso: a) frutos verde-amarillentos sin daños; b) frutos que han iniciado su etapa de pudrición; c) frutos en etapa de pudrición sin daños y firmes

©C.C. Acosta-Hernández, 2012

No se recomienda la recolecta de frutos en etapa avanzada de pudrición, de color negro o café-amarillento, con manchas negras o agrietados en más del 50%, pues probablemente la semilla ya fue dañada por insectos, en todo caso deben ser revisados cuidadosamente antes de su recolecta (Figura 18).



Figura 18. Frutos de *J. pyriformis* no aptos para su recolecta
©C.C. Acosta-Hernández, 2012

Preferentemente, los frutos se deben recolectar de árboles con características morfológicas sobresalientes: fuste recto, sin bifurcaciones, ángulo de inserción de las ramas de 60° a 90°, copa dominante, que no presente plagas ni enfermedades (Acosta-Hernández, 2013 com. pers.) (Figura 19).



Figura 19. Individuos de *J. pyriformis* con características fenotípicas aceptables para la recolecta de semilla
©C.C. Acosta-Hernández, 2012

El tamaño y el peso del fruto de *J. pyriformis* es variable entre las poblaciones. En un muestreo realizado en dos poblaciones de *J. pyriformis* localizadas en Coatepec y Coacoatzintla, se recolectaron 170 frutos de 17 árboles (10 frutos por árbol) en cada población. Se registró la altura, el diámetro y el peso de cada fruto por árbol (Figura 20).



Figura 20. Medición del tamaño y del peso de los frutos de *J. pyriformis*
©C.C. Acosta-Hernández, 2012

Los frutos de la población de Coacoatzintla son más grandes y tienen un peso promedio mayor que los frutos de Coatepec (Tabla 4). El tamaño del fruto se relaciona con el número de frutos que se deben recolectar para alcanzar un kilogramo de semillas, ya que a mayor tamaño de los frutos, mayor será el tamaño y peso de las semillas.

Tabla 4. Tamaño y peso del fruto *J. pyriformis* procedentes de dos poblaciones

Dimensiones	Población	
	Coatepec	Coacoatzintla
Alto mínimo (cm)	3.7	3.8
Alto máximo (cm)	6.7	7.1
Alto promedio \pm S (cm)	5.8 \pm 2.7	5.3 \pm 3.3
Diámetro mínimo (cm)	3.5	3.8
Diámetro máximo (cm)	6.3	7.3
Diámetro promedio \pm S (cm)	5.4 \pm 2.4	5.7 \pm 2.8
Peso mínimo (gr)	21.6	48.5
Peso máximo (gr)	47.0	114.3
Peso promedio \pm S (gr)	33.2 \pm 4.5	80.2 \pm 4.3
Número promedio de frutos/kg	33	13

Fuente propia: Ortiz-Muñoz, 2013

4.2. BENEFICIADO

El beneficiado de los frutos carnosos es un procedimiento utilizado para la extracción de las semillas, por lo que es importante conocer la estructura del fruto y los procesos que intervienen en su descomposición para realizar una extracción adecuada de la semilla. De manera general todos los frutos recalcitrantes deben secarse en sitios bajo sombra y con buena ventilación (Rao *et al.*, 2007).

Los factores externos que aceleran la maduración de los frutos son la adición de ácido abscísico y una alta tensión de oxígeno. Se incrementa la respiración, hay un mayor consumo de oxígeno y liberación de CO₂, y una producción de etileno que se ve reflejada en un incremento de temperatura, destrucción de clorofilas, síntesis de pigmentos y enzimas específicas de la maduración, ablandamiento de tejidos, pérdida de ribosomas y mitocondrias (Pérez y Martínez, 1994). Estos procesos favorecen la descomposición de los frutos carnosos, los cuales se deshidratan y se observan cambios de textura, olor, sabor y color; esta última característica va generalmente de tonos claros a oscuros, y de tonalidades de verdes a cafés (Rao *et al.*, 2007; Pérez y Martínez, 1994).

4.2.1. Beneficiado de las semilla de *J. pyriformis*

En el caso de *J. pyriformis*, el fruto es una pseudodrupa y es indehiscente (Narave, 1983), por lo que se requiere un periodo de tiempo para la obtención de su semilla, aún estando maduro el fruto (Vázquez, 2001) (Figura 21).



Figura 21. Fruto carnoso, pseudodrupa y semilla de *J. pyriformis*
©J.D. Cornú-García, 2013

El beneficiado de los frutos de *J. pyriformis* para extraer las semillas es muy sencillo. Los frutos se colocan en taras de plástico a temperatura ambiente, bajo sombra, en un lugar ventilado (Figura 22). En siete días aproximadamente, el mesocarpio del fruto se pudre, se pone negro y fofo (Figura 23). Cuando alcanza esta condición el despulpado se realiza fácilmente por fricción; basta agitarlos dentro de la tara, el roce entre los frutos permite la eliminación de la pulpa seca y se obtiene la semilla limpia y lista para ser sembrada (Persuquia, 2015).



Figura 22. Beneficiado del fruto de *J. pyriformis*
©J.D. Cornú-García, 2013



Figura 23. Proceso de descomposición del fruto de *J. pyriformis*
T/P = tierra y paja; Tr = tierra; A = inmersión en agua; S/T = Sin tratamiento, condiciones ambientales, bajo sombra
©J.D. Cornú-García, 2013

También se pueden dejar los frutos en costales de rafia en un lugar ventilado, a temperatura ambiente y bajo sombra. Una vez que el fruto se pudre, la semilla se extrae aplicando presión manual, bajo agua corriente (Figura 24). Las semillas extraídas se lavan, se ponen en taras al aire libre, durante 1 o 2 días para su secado. Para lograr un secado uniforme no se deben colocar muchas capas de semillas y deben moverse periódicamente (Figura 25).



Figura 24. Extracción de la semilla bajo agua corriente

©J.D. Cornú-García, 2013



Figura 25. Secado al aire libre de las semillas de *J. pyriformis*

©J.D. Cornú-García, 2013

5. MANEJO DE LAS SEMILLAS

En términos económicos, la semilla representa menos de cinco por ciento (5%) de los costos de una plantación, sin embargo, una selección errónea de la fuente semillera o el uso de germoplasma de mala calidad puede generar mayores pérdidas en una plantación que cualquier otro factor. La base para una reforestación exitosa es utilizar la especie apropiada al sitio, germoplasma de buena calidad, de procedencia conocida y localizada dentro del lugar cercano del predio a reforestar (Vázquez, 2001).

En México, la semilla es la unidad de propagación en vivero de la mayoría de las especies forestales que son destinadas a la reforestación y al establecimiento de plantaciones comerciales. Actualmente la semilla de muchas especies forestales que se propagan en vivero se recolecta de forma masal en poblaciones naturales, sin una selección fenotípica de los árboles a partir de los cuales es recolectada, y tampoco se cuenta con rodales semilleros. Los proveedores de semilla no ofrecen calidad en el producto y con frecuencia los lotes de semillas se acompañan de datos incompletos, como la fecha y coordenadas de ubicación de la población de recolecta, y con frecuencia se desconoce el porcentaje de germinación del lote (SEMARNAT-CONAFOR, 2001; SEDARPA-DGDF, 2006).

Asimismo, en el momento de la reforestación no se tienen en cuenta los efectos de procedencia, o los patrones de diferenciación genética adaptativa, ya que se desconoce la calidad fenotípica y genotípica de los árboles padres y la calidad genética de la semilla. Aunado a lo anterior, la planta que se produce en los viveros de una región, se lleva para reforestar áreas fuera de la zona natural donde se recolectó el germoplasma (SEMARNAT-CONAFOR, 2001).

En el Plan Sectorial Forestal (2006-2028) del estado de Veracruz (SEDARPA-DGDF, 2006), se menciona que el estado cuenta con capacidad instalada para producir planta y apoyar las necesidades de reforestación y establecimiento de plantaciones forestales comerciales; no obstante, se detectan los mismos problemas antes mencionados, circunstancia que reduce la eficiencia productiva de los viveros, relacionada a la baja calidad de la planta por falta de control del germoplasma utilizado.

Con la finalidad de reglamentar el manejo del germoplasma forestal, la Secretaría de Economía, publicó en el Diario Oficial de la Federación (2016), dos Normas Oficiales, la NMX-AA-169-SCFI-2016 que contiene las especificaciones técnicas y regula el establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal, y la NMX-AA-SCFI-170-2014, publicada en septiembre de 2014, dirigida a la certificación de la operación de viveros forestales, y procurar mayores estándares de calidad en la producción de planta.

Para *Juglans pyriformis* se tiene registrada una fuente identificada denominada “San Miguel” en San José Buenavista, Altotonga (CONAFOR, 2008), y la UMA extensiva “Las Cañadas”, en Huastusco, Veracruz. También se han realizado dos trabajos para la selección de árboles semilleros: el primero es la caracterización morfológica y dasométrica de una población de *J. pyriformis* (Acosta-Hernández *et al.*, 2011a) y el segundo la selección de árboles semilleros en las poblaciones de Coatepec y Coacoatzintla (Ortiz *et al.*, 2016).

5.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS SEMILLAS DEL GÉNERO *Juglans*

El género *Juglans* pertenece al grupo de las Angiospermas, la semilla de éstas se desarrolla a partir del óvulo fertilizado que se encuentra dentro de una envoltura carpelar llamada pistilo. Morfológicamente la semilla consta de:

- 1) embrión, que es el resultado de la fertilización del núcleo del óvulo en el saco embrionario con un núcleo de polen masculino,
- 2) endosperma, que es el resultado de la fusión de dos núcleos polares en el saco embrionario con un núcleo de polen,
- 3) perisperma, que se desarrolla en la nucela y que es análogo al endosperma y puede llegar a ser el único tejido de almacenamiento de energía de la semilla, y
- 4) testa, que es la cubierta de la semilla, formada por uno o ambas cubiertas del tegumento interior o exterior del óvulo (Figura 26) (Bewley et al., 2013).

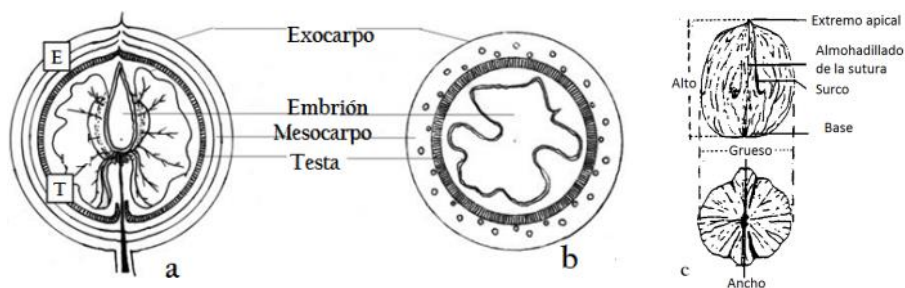


Figura 26. Diagrama de la morfología del fruto del género *Juglans*: a) corte vertical del tejido del fruto; b) corte transversal del tejido del fruto; c) morfología de la testa

Modificado de Wu et al., 2009

5.1.1. Características de las semillas de *J. pyriformis*

La descripción de la forma, tamaño y peso de las semillas de *J. pyriformis* que se presenta a continuación, se realizó con semillas procedentes de ocho poblaciones naturales localizadas en los municipios de Altotonga y Chiconquiaco. Del lote de semillas por población se tomó una submuestra de 50 semillas para hacer una muestra compuesta de 400 semillas. La forma de la nuez fue catalogada de acuerdo a la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 1999). El tamaño de las semillas fue obtenido de acuerdo a la metodología propuesta por Serrada (2000) para semillas forestales grandes como la de *Juglans* spp. A cada nuez se le midió la altura (mm), el ancho (medición paralela a la sutura, mm) y el grosor (medición en perpendicular a la sutura, mm) con un vernier digital Mitutoyo®. El peso de las semillas/kg se obtuvo con una balanza analítica Velab®.

La forma de las semillas de *J. pyriformis* es principalmente ovalada ancha, circular y triangular (Figura 27).

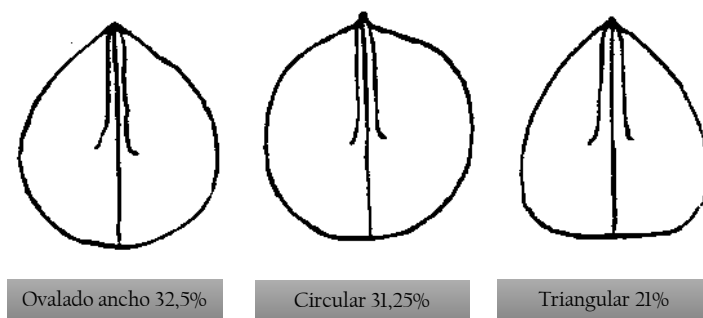


Figura 27. Principales formas de las semillas de *J. pyriformis*
Fuente propia: Castañeda-Cuellar, 2015

El tamaño y peso de las semillas varía entre las ocho poblaciones. En particular el peso está determinado por el espesor de la testa, presencia y tamaño del endosperma, contenido de agua o humedad interna. La testa de *J. pyriformis* se caracteriza por ser muy gruesa. El tamaño y peso promedio de las semillas se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Tamaño y peso de las semillas de *J. pyriformis* procedentes de ocho poblaciones

Características	Valores		
	Mínimo ±S	Media ±S	Máximo ±S
Alto (mm)	30.80±2.82	33.50±3.07	37.76±2.82
Ancho (mm)	32.51±1.84	35.41±1.80	42.18±1.98
Grosor	31.31±1.74	33.34±1.73	37.61±1.83

Dónde: ± S = Desviación estándar
Fuente propia: Ortiz-Muñoz, 2013

Número de semillas por kilogramo: para una misma especie el número de semillas/kg es variable y estará en relación con el tamaño de las mismas. Conocer el peso y número por unidad de peso, es un dato útil para los viveristas, ya que a partir de éste podrán calcular la cantidad de semillas que deben comprar según las metas de producción. Los datos de peso y número de semillas/kilogramo de las ocho poblaciones de *J. pyriformis* evaluadas se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Peso promedio y número de semillas/kilogramo de *J. pyriformis*

Municipio	Localidad	Peso Promedio± S	Número de semillas/kg
Altotonga	San José Buenavista	28.33±3.77	35
	Malcatepec	20.37±3.70	49
	Cascajal	27.86±2.88	36
Chiconquiaco	Gallo de Oro	19.24±3.70	51
	Los Naranjos	24.31±6.15	41
	El Huérfano	25.06±4.57	40
	Escalanar	18.45±2.42	54
	La Sombra	30.97±3.46	32
PROMEDIO		-----	42.25

Donde: ± S = Desviación estándar
Fuente propia: Castañeda-Cuéllar (2015)

El lote puede contener semillas no viables, vacías, o malformadas (Figura 28), por lo que es recomendable adquirir entre el 10% y 15% más.



Figura 28. Semillas malformadas y vanas

5.1.2. Dispersión de las semillas de *J. pyriformis*

La dispersión de las semillas se refiere al mecanismo mediante el cual éstas se mueven o separan de la planta madre (Levin y Murell, 2003). Las semillas tienen una gran variedad de mecanismos de dispersión hasta llegar al lugar donde finalmente germinarán. La dispersión puede ser primaria o secundaria; la primaria se refiere a la dispersión de la semilla de la planta madre al suelo, o cuando ésta es removida directamente de la planta. La dispersión secundaria es el desplazamiento de la semilla posterior a su caída en el suelo (Greene y Johnson, 1997). Según Chambers y McMahon (1994), la dispersión secundaria podría ser la más importante, ya que desplaza a las semillas lejos de la planta madre y origina los patrones de distribución de las comunidades vegetales; asimismo, influye en los procesos de colonización de nuevos hábitats, el mantenimiento de la diversidad de una área, y tiene implicaciones en la sucesión, la regeneración y la conservación (Wang y Smith, 2002).

Las plantas utilizan diversos vectores bióticos y abióticos para la dispersión de sus semillas, para lo cual han desarrollado estructuras morfológicas. La asociación de estas adaptaciones morfológicas con el agente dispersor se conoce como síndrome de dispersión. De acuerdo con Dansereau y Lems (1957), las diásporas (unidad funcional de diseminación, independientemente de las partes que la integren) que son grandes y se caracterizan por carecer de estructuras morfológicas para su dispersión, el vector que utilizan es su peso, y a este síndrome de dispersión se le denomina barocoria.

Las semillas de *J. pyriformis* se desprenden de la planta madre y caen por su propio peso, por lo que su dispersión primaria es barocora. Generalmente los árboles se encuentran en zonas de pendiente, por lo que los frutos ruedan pendiente abajo y se acumulan en donde se encuentran otras plantas, pequeñas zanjas o ramas y troncos caídos, formando bancos de semillas. Es en estos bancos que ocurre la descomposición del fruto y las nueces quedan al descubierto para ser depredadas, posiblemente por pequeños roedores, quizá ratones de campo o ardillas (Figura 29).



Figura 29. Depredación de semillas por fauna
©C.C. Acosta-Hernández, 2012

5.2. ALMACENAMIENTO DE LAS SEMILLAS

Las semillas son clasificadas en dos tipos principalmente por su tolerancia a la desecación, unas son las recalcitrantes y otras son las ortodoxas, además se encuentran sub categorías como las sub ortodoxas o sub recalcitrantes. Conocer el tipo de semilla es un aspecto importante a considerar para determinar su forma de almacenamiento (Roberts, 1973).

Para el género *Juglans* se reporta que las semillas son subortodoxas por la gran cantidad de lípidos que contienen y su tolerancia a la desecación (Rojas, 1995). No obstante, en los ensayos establecidos para determinar su viabilidad bajo cuatro condiciones de almacenamiento: 1) cámara fría en bote hermético a 4°C; 2) cámara fría en bote con aireación a 4°C; 3) estratificado en capas en arena a temperatura ambiente bajo sombra; y 4) almacenadas en sacos de rafia en condiciones ambientales de humedad y temperatura bajo sombra (Figura 30), se comprobó una disminución significativa de la germinación. Al inicio del ensayo el porcentaje de germinación fue del 83%, a los dos meses disminuyó al 77%, a los cuatro meses fue del 56%, a los seis meses la germinación solo alcanzó el 42% y a los ocho meses se registró 7% de germinación (Ortiz-Muñoz, 2013; Perusquia, 2015).



Figura 30. Tratamientos aplicados a las semillas de *J. pyriformis* para establecer las condiciones de almacenamiento: a) cámara fría en bote hermético; b) cámara fría en bote hermético con aeración; c) estratificado en capas en arena; d) almacenamiento en sacos de rafia

Considerando lo anterior es posible afirmar que las semillas de *J. pyriformis* son recalcitrantes y no subortodoxas. Las semillas recalcitrantes son aquéllas sensibles a la deshidratación, es decir, su contenido de humedad debe ser relativamente alto (con frecuencia entre el 20% y 50% de su peso en húmedo), asimismo no toleran su almacenamiento durante largos periodos a bajas temperaturas, ya que pierden viabilidad (Berjak y Pammenter, 2008; Vozzo, 2010; Serrada, 2000).

Por esta condición, las semillas de *J. pyriformis* deben ser sembradas inmediatamente después de su recolecta. En caso de que se requiera almacenarlas, éstas pueden mantenerse secas, enteras, sanas y sin impurezas en lonas de rafia, bajo sombra en condiciones ambientales de humedad y temperatura, por un periodo no mayor a los dos meses (Persuquia, 2015) (Figura 31).



Figura 31. Almacenamiento de la semilla de *J. pyriformis* en lonas bajo sombra
©C. C. Acosta-Hernández

Previo a la siembra se recomienda evaluar la viabilidad de las semillas para corroborar los porcentajes de germinación esperados. El objetivo principal de la prueba de germinación, es establecer el número máximo de semillas puras que producen plántulas normales, o el número de semillas que germinarán por unidad de peso en una muestra, expresado en porcentaje. Esta prueba permite evaluar la calidad fisiológica de la semilla, siendo un buen indicador de la viabilidad (ISTA, 1993).

5.3. GERMINACIÓN

La germinación inicia por la absorción de agua por la semilla y termina por la emergencia del eje embrionario, usualmente la radícula; este último evento es llamado comúnmente “germinación visible”, el cual se identifica como la terminación de la germinación. La germinación en sentido estricto no incluye el crecimiento de la plántula, el cual comienza después de que la germinación es completada (Bewley *et al.*, 2013), aunque en vivero la visualización de la plántula viable, emergiendo del suelo, es aceptada como señal de la germinación (Varela y Arana, 2011).

El proceso de germinación esta regulado principalmente por tres factores ambientales: agua, oxígeno y temperatura del sustrato. Este proceso comienza con la absorción de agua por la semilla (imbibición) que activa los procesos metabólicos y, subsecuentemente llevan a la expansión del embrión y a la penetración de la radícula a través de los tejidos circundantes. La respiración (O_2) suministra energía para los procesos metabólicos y es activado inmediatamente después de la imbibición. Los tejidos del embrión se expanden y los tejidos que lo envuelve decrecen en la fuerza que lo limitan, permitiendo que la germinación se complete (Bewley *et al.*, 2013).

En cuanto a la temperatura, existen determinados rangos en los que las semillas pueden germinar. Para muchas especies la temperatura óptima es entre 25 y 30°C, otras germinan a temperaturas cercanas a 0°C y otras a temperaturas máximas de hasta 48°C (Lallana, 2005).



Plántula muerta en vivero posterior a la germinación

5.3.1. Proceso de germinación de *J. pyriformis*

La germinación del cedro-nogal es hipógea (Figura 32), los cotiledones permanecen debajo de la tierra mientras que el epicótilo se alarga. La testa se abre por la sutura, para que emerja la radícula (a) y el hipocótilo (b), que es muy corto. Este último se alarga y aparece las primeras hojas verdaderas (c). El tallo crece rápidamente alcanzando unos 5 cm a los pocos días (d) (Persuquia, 2015).



Figura 32. Proceso de germinación de las semillas de *J. pyriformis*

©Ortiz-Muñoz, 2013; J.D. Cornú-García, 2013

5.3.2. Latencia de las semillas

La latencia es una característica que ha sido adquirida por muchas especies durante la evolución por selección, y determina su habilidad de sobrevivir en entornos desfavorables como el calor, frío y sequías. Por lo tanto, se ha registrado un amplio rango de bloqueos a la germinación como adaptaciones a la diversidad de climas y hábitats en el cual están presentes las plantas (Varela y Arana, 2011). La latencia provee de una estrategia a las semillas para distribuir la germinación en el tiempo, con el fin de reducir el riesgo de muerte prematura en un ambiente desfavorable, dicha estrategia ocurre de tres diferentes maneras:

- a) las semillas son dispersadas desde la misma planta madre con diferentes intensidades de latencia, que es un fenómeno común llamado polimorfismo, así las semillas pueden estar en diferentes estados de desarrollo en la planta madre, y en consecuencia con diferentes grados de latencia. Frecuentemente, la intensidad de la latencia es reflejada en la apariencia de las semillas como el color, el tamaño y el grosor de la testa.
- b) la latencia también puede resultar en la distribución de la germinación en el tiempo y por tanto depender de los factores ambientales para el rompimiento de la misma.
- c) la latencia puede llevar a la distribución de la germinación en espacio, esto se relaciona con la forma de dispersión. Las semillas con latencia pueden ser dispersadas a través de una larga distancia por aire, agua y animales; estos métodos de dispersión son llamados anemocoria, hidrocoria y zoocoria, respectivamente.

Las semillas de *J. pyriformis* presentan resistencia a la germinación; ésta puede tardar entre 35 a 61 días en iniciar y puede alcanzar valores entre el 70% y 83% de germinación (Ortiz-Muñoz, 2013; Cornú, 2013). Para romper su latencia se probaron cuatro tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas de cedro-nogal:

- 1) Estratificación en arena húmeda a 4°C por 30 días;
- 2) Imbibición en solución de ácido giberélico (10 mg/L) por 22 horas;
- 3) Inmersión en agua corriente por 7 días;
- 4) Inmersión en agua corriente por 24 días;

La diferencia en el porcentaje de germinación entre estos tratamientos no fue significativa, excepto para el tratamiento de inmersión en agua corriente por 7 días, en el cual el tiempo de inicio de germinación disminuyó aproximadamente 20 días, por lo que se recomienda aplicar este tratamiento antes de la siembra (Cornú, 2013).

La mayoría de las semillas recalcitrantes, debido a la falta de sequedad en la maduración y el hecho que los procesos de crecimiento y germinación del embrión constituyen un proceso continuo, no muestran una interrupción del desarrollo. Para este tipo de semillas, la germinación es casi inmediata, alta y disminuye rápidamente. En estas semillas se prevee que muchos acontecimientos en la pregerminación ocurren durante el desarrollo de la semilla en la planta madre. Sin embargo, algunas semillas recalcitrantes tienen una latencia impuesta por la testa (latencia física) o germinación retrasada, lo cual puede explicar el retardo en la germinación de las semillas de *J. pyriformis*. Se debe tener en cuenta que la testa cumple las funciones críticas de regular la absorción de agua, de proporcionar una barrera contra la invasión de hongos y reducir el escape del embrión durante la imbibición (Schmidt, 2000).

6. PRODUCCIÓN EN VIVERO

Para *J. pyriformis* se recomienda sembrar las semillas en bolsa negra de 13 x 18 x 0.02 cm (ancho x largo x grosor), con una mezcla de sustrato de tierra orgánica negra y tepezil 1:1, ambos previamente cernidos (Figura 33 a y b). Éstas deben sembrarse con el extremo apical hacia abajo (Figura 33 c). En un periodo de 6 a 7 meses la planta alcanza una altura entre 25 a 30 cm (Figura 33 d).



Figura 33. Proceso de viverización de *J. pyriformis*
©Ortiz-Muñoz, 2013; J.D. Cornú-García, 2013

Se recomienda la siembra en los meses de octubre a febrero, con fertilización inicial de desarrollo y endurecimiento. Riegos cada 5 o 7 días, dependiendo de la precipitación del lugar (Ortiz-Muñoz, 2013; Persuquia, 2015, 2013; Cornú, 2013; Castañeda-Cuellar, 2013).

También se puede propagar por plantón a raíz desnuda, con buenos resultados (Carlson, 2004).



Embrión expuesto de *Juglans pyriformis*



Producción de plántulas de *Juglans pyriformis* en vivero

7. MANEJO SILVICULTURAL

Para el cedro-nogal es posible establecer plantaciones puras, plantaciones mixtas o en sistemas agroforestales con muy buenos resultados. Es una especie de rápido crecimiento con un turno de 17 a 20 años. Otros tipos de plantación pueden ser árboles para sombra de cultivos perennes, árboles para sombra en potreros, huertos mixtos y cortinas rompevientos.

Es una especie tolerante en su crecimiento inicial, por lo que al inicio de la plantación requiere un 50% de sombra. En lugares donde no se cuenta con otras especies que den el sombreado es importante el establecimiento de los árboles de sombra, preferentemente especies regionales de rápido crecimiento (López-Sánchez, 2004).

7.1. REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

Con base en los sitios de colecta del cedro-nogal, esta especie se desarrolla entre 1000 a 2000 metros de altitud, en clima templado húmedo, semi-cálido húmedo, con temperatura media anual de 14°C a 18°C y precipitación anual de 1500 a 2000 mm anuales.

Crece preferentemente en suelos ricos en minerales, profundos, sueltos, esponjosos de color gris oscuro o negro, hasta los cafés grisáceos amarillentos (Benítez *et al.*, 2004; Gutiérrez-Carvajal y Dorantes-López, 2004). De acuerdo a Gómez (1993) los requerimientos climáticos y ecológicos de *J. pyriformis* se presentan en la tabla 7.



Bosque mesófilo de montaña: hábitat de *Juglans pyriformis* en el estado de Veracruz, México

Tabla 7. Requerimientos ambientales de *J. pyriformis*

Parámetro	Valor más frecuente
Clima	(A) C (m) = Semi-cálido húmedo del grupo C, con lluvias de verano y lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. C (fm) = Templado, húmedo, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, con lluvias de verano y lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual. Am, Af (m) = Cálido húmedo, con precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano y lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.
Promedio anual temperatura media	18 a 20°C
Promedio anual temperatura máxima extrema	27 a 31°C
Promedio anual temperatura mínima extrema	6 a 10°C
Precipitación total anual	2000 a 2500 mm
Promedio anual de lluvia máxima en 24 horas	20 a 40 mm
Número de días con precipitación apreciable	100 a 150
Número de días con helada	1
Número de días despejados	100 a 150
Suelos	Se adapta a diversos tipos de suelo, preferentemente profundos, con drenaje rápido pero buena retención de agua, con pH moderadamente ácido (6.5-7.5), contenido de materia orgánica de 1.5 a 2% y de textura franco arcillo arenosa o franco arcillo limosa.

Fuente: Gómez, 1993.

7.2. MANEJO Y ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES

El establecimiento y manejo de plantaciones es importante para tener éxito. En particular para el de cedro-nogal, López-Sánchez (2004) y Carlson (2004) mencionan las siguientes actividades durante el establecimiento de la plantación y su posterior manejo.

La época de siembra es en otoño o primavera, cuando la planta está en reposo vegetativo, después de la caída de las hojas. Es recomendable realizarla durante los primeros meses de lluvias.

J. pyriformis presenta un sistema radicular muy desarrollado, con una raíz principal pivotante y un sistema secundario de raíces someras y robustas por lo que requiere de una buena profundidad del suelo. En tal sentido, en suelos profundos se debe hacer un subsolado a 60 cm, y en suelos superficiales se realiza subsolado en dos o más pasadas cruzadas.

Se recomienda una densidad de plantación de 1666 a 555 árboles/hectárea. En marco real de 3 x 3 m, o 4 x 4 m en plantación comercial; de 6 x 3 m en sistemas agroforestales, y a tres bolillo de 4 x 4 m. De acuerdo al sistema de producción en bolsa o tubete se hace el hoyado, para el primero se construye una cepa de 60 x 60 x 40 cm.

En sistemas agroforestales, esta especie ha dado buenos resultados. López-Sánchez (2004), mencionan diferentes combinaciones de sistemas agroforestales (Tabla 8).

Tabla 8. Diseño de plantación con *J. pyriformis* en sistemas agroforestales

Sistemas agroforestales	Distancia entre plantas x hileras		Observaciones
	Especie forestal	Especie agrícola	
Cedro nogal-Maíz	6 x 3 m	0.5 x 0.8 m	Cada línea de cedro nogal estará separada 50 cm a cada lado de la línea del cultivo agrícola.
Cedro nogal-Cacahuete	6 x 3 m	0.4 x 0.4 m	
Cedro nogal-Café	4 x 4 m	4 x 4 m	

Fuente: López-Sánchez, 2004

Antes de la plantación se deben eliminar las malezas y se recomienda tener un programa de fertilización. Al inicio se puede aplicar triple 17 (N P K) en 10-30-10. La fertilización de los árboles de cedro-nogal puede ser a partir del sexto al décimo año después de ser plantados. Se debe fertilizar evitando que el abono químico u orgánico quede en contacto directo con las raíces; es mejor aplicar el abono alrededor de la cepa y en el fondo. Esta especie es muy exigente en nitrógeno, por lo que es posible aplicar una dosis de 80-120 kg/ha o de 100-500 gr/planta en función de la edad. Cuando se requiere fósforo (P) es recomendable aplicar una cantidad de 60-80 kg/ha.

En el caso de potasio (K), se recomienda aportar 80-100 kg/ha. Cuando se emplean abonos orgánicos como el estiércol, éste deberá ser enterrado al laborar el suelo a una profundidad de 25-30 cm, en una proporción de 40 a 60 TN métricas/ha.

En la época de crecimiento activo del cedro-nogal, que corresponde del 15 de abril al 15 de julio, debido a las necesidades de nitrógeno (N) que requiere, se recomienda realizar el abonado a mediados de marzo, antes de la brotación, utilizando las dos terceras partes del total de fertilizante a emplear, agregando el resto a mediados de mayo.

Si entre los años 6-7, el vigor de los árboles es excesivo y la fructificación pobre o incluso nulo, hay que disminuir, y a veces suprimir, el aporte de nitrógeno hasta que se produzca la fructificación.

El crecimiento inicial del cedro-nogal tiende a ser arbustivo, por ello es que se tiene que podar desde el primer año, seleccionando el mejor brote que conformará el fuste final, y además desde el principio es importante ir identificando los individuos que llegarán al final del turno.

La longitud del fuste debe ser 2.5 m como mínimo; al tener una altura total de 3 m se le realizará una poda de formación (calidad), eliminando una tercera parte del follaje que tenga el árbol. La otra poda se realizará a los 3 a 5 años después. Entre los años 6 y 12 años se pueden aplicar los primeros aclareos.

En cuanto a plagas y enfermedades que causan daño a *J. pyriformis*, Cibrián *et al.* (1994) reportan las siguientes:

- ☞ Para el sistema radical: a) *Phytophthora cinnamomi* o tinta, la cual provoca lesiones en la raíz que pueden alcanzar la zona del cuello y extenderse alrededor del tronco, ocasionando la muerte del árbol. Las partes atacadas se pudren apareciendo una tinta en la base del tronco; y b) *Armillaria mellea* que causa podredumbre de la raíz.
- ☞ En tallo se pueden presentar: a) *Megacyllene caryae* (Gahan) (Coleóptera), barrenador cuyas larvas construyen sus galerías en el área del xilema, afectando la resistencia mecánica del árbol y permitiendo la entrada de organismos degradadores que afectan al árbol; b) *Lyctus planicollis* (LeConte), las larvas de este coleóptero se alimentan principalmente a base del almidón contenido en la madera, razón por la cual las maderas que tienen albura con un alto contenido de almidón son severamente dañadas; y c) *Hyphantria cunea* (Drury), el daño que causa es al follaje, ya que las larvas se alimentan de éste. Este lepidóptero pueden defoliar árboles completos.
- ☞ El follaje y frutos son atacados por: a) *Xanthomona juglandi*, esta bacteria provoca una bacteriosis, también llamado “tizón”, “mal seco” o “peste negra” del nogal. Los síntomas son manchas circulares e irregulares, en las hojas y los márgenes de los folíolos, de color verde pálido y traslúcidas, luego de color amarillo verdoso y finalmente castaño; y b) *Ophiognomonia leptostyla*; que es el hongo causante de la antracnosis. En este caso las hojas presentan manchas circulares de color oscuro, rodeadas de amarillo.

8. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN Y MANEJO DE *J. pyriformis*

Las estrategias de conservación, tanto de la flora como de la fauna, se desarrollan de dos formas básicas: dentro del hábitat natural denominado conservación *in situ* y fuera del mismo, o conservación *ex situ*. La conservación *in situ* incluye las actividades de reintroducción en hábitats naturales, particularmente en especies vegetales, involucra la propagación artificial, misma que debe estar basada en una adecuada selección de los individuos a partir de los cuales se recolectará la semilla de calidad para su propagación, mismos que deberán ser preferentemente de procedencia local conocida, con una amplia base genética, tal que garantice la viabilidad de las nuevas poblaciones. Estas estrategias de conservación deben estar vinculadas con la participación social para lograr el éxito de las mismas.

En México, la recolección de semilla para el establecimiento de plantaciones con diversos fines, de la mayoría de las especies forestales, se lleva a cabo en rodales naturales, y los efectos de procedencia, o los patrones de diferenciación genética adaptativa, aún no se conocen, por lo que es importante realizar investigaciones enfocadas a la formulación de lineamientos que permitan estandarizar y regular la colecta de semillas de especies forestales, en particular las que se encuentran en alguna categoría de riesgo, con el fin de conservar el acervo genético, y a largo plazo el desarrollo de programas de mejoramiento genético.

A continuación se presentan algunas de recomendaciones para ser consideradas en el programa de conservación y el manejo de *J. pyriformis*.

8.1. SELECCIÓN DE ÁRBOLES SEMILLEROS

- ☞ Dar seguimiento de los árboles inventariados y catalogados como semilleros en las poblaciones del centro del estado de Veracruz.
- ☞ Realizar muestreos subsecuentes para la selección de un mayor número de árboles semilleros de *J. pyriformis* en las poblaciones del centro del estado de Veracruz
- ☞ Identificar otras zonas de distribución de las poblaciones de *J. pyriformis*, a fin de identificar aquellas con potencial para seleccionarlas como fuentes semilleras.
- ☞ Determinar la producción de frutos de los árboles semilleros de cada fuente semillera, con el propósito de establecer el número de semillas posible a extraer, para no afectar la dinámica poblacional de la especie.
- ☞ Determinar los calendarios fenológicos de las poblaciones de *J. pyriformis*, a fin de establecer la época de extracción de semilla.
- ☞ Iniciar estudios a largo plazo con fines de mejoramiento genético.

8.2. GESTIÓN

- ☞ Gestionar con los propietarios de los terrenos, donde aún se localizan árboles de *J. pyriformis*, su participación y autorización para la evaluación de los mismos y el posible establecimiento de fuentes semilleras.
- ☞ Realizar constante capacitación a los propietarios sobre temas de manejo y conservación *in situ* de *J. pyriformis*.
- ☞ Realizar talleres de capacitación con los propietarios interesados en conservar a la especie, sobre la selección y manejo de las fuentes semilleras, colecta, beneficiado, almacenamiento y evaluación de la semilla.
- ☞ Gestionar el establecimiento de Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMAS) como instrumento para la conservación, manejo y aprovechamiento de las semillas de *J. pyriformis*.
- ☞ Gestionar la participación y coordinación de instituciones gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con la recolecta de semilla y producción de planta forestal en vivero.

8.3. MANEJO SILVICULTURAL DE FUENTES SEMILLERAS

- ☞ Como medida de conservación *in situ* de las fuentes semilleras, éstas deberán ser delimitadas físicamente (cercadas) y registradas digitalmente en polígonos.
- ☞ Caracterizar fenotípica y dasométricamente los árboles de poblaciones naturales para seleccionarlos como árboles semilleros.
- ☞ Realizar trabajos de manejo de árboles semilleros incluyendo podas, limpieza, raleos, etc., para que alcancen un buen desarrollo y garanticen el abastecimiento de semilla para proyectos de reforestación.

8.4. MANEJO DE LAS SEMILLAS

- ☞ En la recolecta de la semilla directamente del árbol y del suelo, tener en cuenta los protocolos correspondientes a la especie para recolectar semilla de calidad.
- ☞ Almacenar la semilla de forma adecuada, teniendo en cuenta el tiempo en el que serán sembradas.
- ☞ Para su comercialización, documentar la semilla indicando fecha de colecta, procedencia, tiempo y forma de almacenamiento, y preferentemente manejarlas por árbol y procedencia.
- ☞ Realizar análisis físicos, fisiológicos y sanitarios a la semilla para validar su calidad.
- ☞ Registrar los volúmenes de fruto y/o semilla comercializados por año de cada procedencia.
- ☞ Comercializar la semilla inmediatamente después de su recolecta para mantener su viabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Hernández, C.C. 2011. Diversidad y estructura genética poblacional de *Juglans pyriformis* Liebmann en dos localidades del centro del estado de Veracruz (Tesis de doctorado. Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada): Universidad Veracruzana. 174 p.
- Acosta-Hernández, C.C., M. Luna-Rodríguez, J.C. Noa-Carrazana, J. Galindo-González, M.S. Vázquez-Torres, Z. Morales-Romero y L. Iglesias-Andreu. 2011a. Caracterización morfológica y dasométrica de la especie amenazada *Juglans pyriformis* Liebm. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17(1): 59-67.
- Acosta-Hernández, C.C., M. Luna-Rodríguez, P. Octavio-Aguilar, Z. Morales-Romero, J. Galindo-González, J.C. Noa-Carrazana, M.S. Vázquez-Torres y L. Iglesias-Andreu. 2011b. Efecto del aprovechamiento forestal sobre la variación morfológica de *Juglans pyriformis* Liebm. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17(3): 379-388.
- Aletà, N. y A. Vilanova. 2011. Criterios orientadores para la admisión de materiales de base del género *Juglans*. Requisitos Técnicos. Madrid: IRTA-Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. Producción Agroforestal. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 41 p.
- Alia-Tejagal, I., M.T. Colinas-León, M.T. Martínez-Damián y M.R. Soto-Hernández. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) durante poscosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 2: 263-281.
- Aradhya, M.K., D. Potter, F. Gao y C.J. Simon. 2007. Molecular phylogeny of *Juglans* (Juglandaceae): A biogeographic perspective. *Tree Genetics and Genomes*. 3: 363-378.
- Arteaga, L. 2007. Fenología y producción de semillas de especies arbóreas maderables en un bosque húmedo montano de Bolivia (PN ANMI Cotapata). *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* [Internet]. 2: 57-68. Fecha de acceso: 24 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.cedsip.org/PDFs/ARTEAGA.pdf>.
- Baluarte, V.J.R. 1995. Comportamiento fenológico preliminar de cuatro especies forestales de áreas inundables. *Folia Amazónica*, Instituto de Investigaciones de la Amazonia peruana. Iquitos, Perú. 7: 205-217.

- Bello, G.M. 1983. Estudio fenológico de cinco especies de *Pinus* en la región de Uruapan, Michoacán, México (Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias): Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF. 67 p.
- Benítez, B.G., T.P. Pulido-Salas y M. Equihua-Zamora. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación, restauración y plantaciones. Veracruz, México: Instituto de Ecología A.C, SIGOLFO, CONAFOR. Xalapa. 288 p.
- Berjak, P. y N.W. Pammenter. 2008. From *Avicennia* to *Zizania*: seed recalcitrance in perspective. *Annals of Botany*. 101(2): 213-228.
- Bewley, J.D., K. Bradford, H. Hilhorst y H. Nonogaki. 2013. Seeds, Physiology of Development, Germination and Dormancy. New York: Springer. 195 p.
- Brown, R.W. 1946. Walnuts from the late Tertiary of Ecuador. *American Journal of Science*. 244: 554-556.
- Carlson, K.A. 2004. Guías silviculturales de árboles nativos en plantaciones forestales comerciales y agroforestales del trópico húmedo de México (Tesis Ingeniero Forestal. División de Ciencias Forestales): Universidad de Chapingo. Chapingo, México. 89 p.
- Castañeda-Cuéllar, M.Y. 2015. Propuesta de un programa para el manejo sustentable de las semillas de *Juglans pyriformis*. (Tesis de Maestría en revisión): Universidad Veracruzana. 61 p.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. México: CONABIO-UNAM-Sierra Madre. 847 p.
- Chambers, J.C. y J.A. MacMahon. 1994. A day in the life of a seed: Movements and fates of seeds and their implications for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 25: 63-292.
- Chuine, I. y E.G. Beaubien. 2001. Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters*. 4: 500-510.
- Cibrián, T.D., J.T. Méndez Montiel, R. Campos Bolaños, J. Flores Lara y H.O.M. Yates. 1994. Los insectos Forestales de México/Forest Insects of México. Canadá: Comisión Forestal de América del Norte. Universidad Autónoma Chapingo, Subsecretaría Forestal y de Fauna, SARH; Southeastern Forest Ext. Sta Forest Service, USDA y Ministry of Forestry. 450 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2008a. Expedientes de los proyectos autorizados por el PRODEPLAN 1997-2008. Gerencia Nacional de Plantaciones. PRODEPLAN. Comisión Nacional Forestal. México. Base de datos digital.

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2008b. Ficha Técnica de Unidades Productoras de Germoplasma Forestal. UMA "San Miguel". México: Coordinación General de Conservación y Restauración Gerencia de Reforestación Red Mexicana de Germoplasma Forestal. 1 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país. Conabio, México. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx>.
- Cornú, G.J.D. 2013. Tratamientos pregerminativos en semillas de *Juglans pyriformis* Liebmann procedentes de Coacoatzintla, Veracruz (Tesis de Licenciatura): Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 44 p.
- Cull, B.W. 1985. Un enfoque de ciclo fenológico de investigación productividad de los cultivos de árboles. En: *Memorias del Simposio Fisiología de la Productividad de Subtropical y Árbol Tropical*. 175: 151-156.
- Dansereau, P. y K. Lems. 1957. The grading of dispersal types in plant communities and their ecological significance. *Contributions de l'Institut Botanique de l'Université de Montreal*. 71: 1-52.
- Flores, V.E. 1999. La Planta, estructura y función, Volumen II. Libro Universitario Regional. Cartago, Costa Rica. 884 p.
- Gómez, C.M. 1993. Bioclimatología de la Flora de Veracruz. 10: 24 p.
- Granados, R.R. y R.A.A. Sarabia. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(3): 435-446.
- Greene, D.F. y E.A. Johnson. 1997. Secondary dispersal of tree seeds on snow. *Journal of Ecology*. 85: 329-340.
- Gutiérrez-Carvajal, L. y J. Dorantes-López. 2004. Especies forestales de uso tradicional del estado de Veracruz. Potencialidades de especies con uso tradicional del estado de Veracruz, como opción para establecer Plantaciones Forestales Comerciales 2003-2004. CONAFOR-CONACYT-UV. Xalapa, Veracruz, México. Consultada el 16 de mayo del 2013 en: www.verarboles.com.
- Hammer, K. y K. Khoshbakht. 2005. Towards a "red list" for crop plant species. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 52: 249-265.
- Hechavarría, K.D.C.O. 1998. Aspectos metodológicos sobre la fenología de árboles forestales. *Boletín de Mejoramiento genético y de semillas forestales del CATIE*. 20: 15-18.

- Información Agrícola (IAGRICOLA). 2013. Fenología: división del período vegetativo. Disponible en: iagricola.blogspot.mx/2013/11/fenologia-division-del-periodo.html. (Consultado el 27 de noviembre del 2016).
- International Seed Testing Association (ISTA). 1993. International rules for seed testing. *Seed Science Technology*. 13(2).
- Lallana, H.V., J.H. Elizalde, L.F. García (comp.). 2005. Germinación y latencia de semillas y yemas. Catedra de Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Paraná, Argentina: Universidad Nacional de Entre Ríos. 22 p.
- Levin, S.A. y D.J. Murrell. 2003. The community-level consequences of seed dispersal patterns. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic*. 34: 549-574.
- López-Ríos, G. 2009. Ecofisiología de árboles. Chapingo, México: Departamento de publicaciones de la Universidad Autónoma de Chapingo. 488 p.
- López-Gómez, A.M., G. Williams-Linera y R.H. Manson. 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, México. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 124: 160-172.
- López-Sánchez, E. 2004. Manual para el diseño, establecimiento y manejo de los principales sistemas agroforestales con Cedro rojo, Cedro Nogal, y Primavera en la región de Los Tuxtlas, Veracruz (Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales): Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 255 p.
- Luna-Lorente, F. 1990. El nogal. Producción de fruto y madera. Madrid: Ministerio de Agricultura & Mundi-Prensa. 155 p.
- Luna-Vega, M.I., O. Alcántara-Ayala, R. Contreras-Medina y A. Ponce-Vargas. 2006. Biogeography, current knowledge and conservation of threatened vascular plants characteristic of Mexican temperate forests. *Biodiversity and Conservation*. 15: 3773-3799.
- Luna-Vega, M.I. 2003. *Juglans pyriformis*. Taxones del bosque mesófilo de montaña de la Sierra Madre Oriental incluidos en la norma oficial mexicana. México: Herbario FCME, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W025. 5 p.
- Manning, W.E. 1960. The genus *Juglans* in South America and West Indies. *Brittonia*. 12: 1-12.
- Manning, W.E. 1978. The classification within the Juglandaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 65: 1058-1087.

- Mantovani, M., A.R. Ruschel, M. Sedrez dos Reis, A. Puchalski y R.O. Nodari. 2003. Fenología reproductiva de especies arbóreas em uma formação secundária da floresta Atlântica. *Revista Árvore*. 27: 451-458.
- Martín, H.I. 2012. Estrategias reproductivas de dos especies de frutos secos: almendro y nogal. (Tesis de Doctorado en Biología): Universidad de Lleida. Lleida, España. 273 p.
- McGranahan, G.H. y H.I. Forde. 1985. Relationship between clone age and selection trait expression in mature walnuts. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 110: 692-696.
- Miller, R.B. 1976. Wood anatomy and identification of species of *Juglans*. *Botanical Gazette*. 137(4): 368-377.
- Morellato, L.P.C. 1991. Fenología de árboles, arbustos e lianas em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. (Tese de doutorado): Universidade de Campinas, Campinas. 176 p.
- Narave, F.H. 1983. Juglandaceae. Fascículo 31. INIREB. Xalapa, Veracruz, México: Flora de Veracruz. 30 p.
- Newstrom, L.E., G.W. Frankie y H.G. Baker. 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva. Costa Rica. *Biotropica*. 26: 141-159.
- Niembro, R.A., I. Morato y J. A. Cuevas-Sánchez. 2004. Catálogo de frutos y semillas de árboles y arbustos de valor actual y potencial para el desarrollo forestal de Veracruz y Puebla. Xalapa, Veracruz. México: Instituto de Ecología, A.C. Reporte Final del proyecto CONACYT-CONAFOR-2002-COI-5741. 928 p.
- Niembro-Rocas, A, M.S. Vázquez-Torres y O. Sánchez-Sánchez. 2010. Árboles de Veracruz. 100 especies para la reforestación estratégica. México: Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y de la Revolución Mexicana. Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. 256 p.
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-169-SCFI-2016. Establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal-especificaciones técnicas. Publicada como Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación el 03 de octubre de 2016. México: Secretaría de Economía. 127 p.
- Norma Oficial Mexicana NMX-AA-SCFI-170-2014. Certificación de la operación de viveros forestales. Publicada como Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación el 22 de septiembre de 2014. México: Secretaría de Economía. 172 p.

- Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Publicada como Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 2002. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Instituto Nacional de Ecología. 102 p.
- Ochoa-Gaona, S., I. Pérez- Hernández y H.J.B De Jong. 2008. Fenología reproductiva de las Especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Revista Biología Tropical*. 56(2): 657-673.
- Oliva, V.M. 2014. Recolección de semillas de especies forestales nativas: experiencia en Molinopampa, Amazonas-Perú. Chachapoyas, Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. The International Tropical Timber Organization. 20 p.
- Ortiz, E., C.C. Acosta-Hernández, P. Linares M., Z. Morales R. y V. Rebolledo C. 2016. Selección de árboles semilleros de *Juglans pyriformis* Liebm. en poblaciones naturales de Coatepec y Coacoatzintla, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 7(38): 43-58.
- Ortiz, E. 2013. Selección de árboles semilleros de *Juglans pyriformis* en las poblaciones naturales de Coatepec y Coacoatzintla, Veracruz (Tesis de Licenciatura): Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 65 p.
- Pedraza, R.A. y G. Williams-Linera. 2003. Evaluation of four native tree species for rehabilitation of deforested areas in a mexican cloud forest. *New Forests*. 26: 83-99.
- Pérez, G.F. y L.J. Martínez. 1994. Introducción a la fisiología vegetal. Madrid: Mundi Prensa Libros S.A. 218 p.
- Perusquía, Ch. J.S. 2015. Calendario fenológico, beneficiado y almacenamiento de frutos y semillas de *Juglans pyriformis* Liebmann (cedro nogal) (Tesis de Licenciatura): Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 52 p.
- Preuhsler, T., A. Bastrup-Birk y E. Beuker. 2006. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests Part IX Phenological Observations. United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Consultada el 22 de agosto del 2016 en: <http://www.metla.fi/eu/icp/phenology/manualpheno.pdf>.
- Rao, N.K., J. Hanson, M.E. Dulloo y K. Ghosh. 2007. Manual para el Manejo de Semillas en Bancos de Germoplasma. Bioversity International. Manuales para Bancos de Germoplasma. 8 p.

- Roberts, E.H. 1973. La predicción de la vida útil de almacenamiento de las semillas. *Semillas de Ciencia y Tecnología*. 1: 499-514.
- Rodríguez-Barrero M. De M. C.I. 2009. Fenología de *Quercus ilex* L. y *Quercus suber* L. en una dehesa del centro peninsular (Proyecto fin de carrera). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. 100 p.
- Rojas, R.F. 1995. Almacenamiento y Manejo de Contenido de Humedad en Semillas Forestales Tropicales: principios y procedimientos. En: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (ed.). *Curso regional sobre recolecta y procesamiento de semillas forestales* (pp 57-66). Turrialba, Costa Rica.
- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña. *Acta Botánica Mexicana*. 35: 25-44.
- Schmidt, L. 2000. Guide to handling of tropical and subtropical forest seed. Forest Seed Centre. Krogerupvej, Denmark: Editorial DANIDA. 532 p.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca (SEDARPA), Dirección General de Desarrollo Forestal (DGDF). 2006. Plan Sectorial Forestal Estatal 2006-2028. Xalapa, Veracruz, México: Gobierno del Estado de Veracruz. SEDARPA. 128 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2004. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. México, DF.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Plan Estratégico Forestal para México 2025. México, DF. 189 p.
- Serrada, R. 2000. Apuntes de Repoblaciones Forestales. Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar. (FUCOVASA). 77 p.
- Sotomayor-Castellanos, J.R., L.I. Guridi-Gómez y T. García-Moreno. 2010. Características acústicas de la madera de 152 especies mexicanas. Velocidad de ultrasonido, módulo de elasticidad, índice material y factor de calidad. Base de datos. Volumen 6, número 1. Morelia, Michoacán, México: Investigación e Ingeniería de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Consejo estatal de Ciencia y Tecnología. 32 p.
- Stone, D.E., Oh Sang-Hun, E.A. Tripp, G.L.E. Ríos y P.S. Manos. 2009. Natural history, distribution, phylogenetic relationships, and conservation of Central American black walnuts (*Juglans* sect. *Rhysocaryon*). *The Journal of the Torrey Botanical Society*. 136(1): 1-25.
- Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). 1999. Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad del nogal (*Juglans regia* L.). www.upov.int. 31 p.

- Varela, A.S., y V. Arana (eds). 2011. Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. Serie técnica: "Sistemas Forestales Integrados" Sección: "Silvicultura en vivero" Cuadernillo N° 3. Bariloche: INTA EEA. 10 p.
- Vázquez, V.A. 2001. Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia. Ibagué, Tolima: Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. 304 p.
- Vílchez, A.B., R.L. Chazdon y B.Á. Redondo. 2004. Fenología reproductiva de cinco especies forestales del Bosque Secundario Tropical. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 2: 1-10.
- Villasana R.A. y A. Suárez de Giménez. 1997. Estudio fenológico de dieciséis especies forestales presentes en la reserva forestal IMATACA, estado. Bolívar - Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*. 41(1): 13-21.
- Villers, L., N. Arizpe, R. Orellana, C. Conde y J. Hernández. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*. 34(5): 322-329.
- Vozzo, J. A (ed.). 2010. Manual de semillas de árboles tropicales. Estados Unidos: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. E.U. 894 p.
- Wang, B.C. y T.B. Smith. 2002. Closing the seed dispersal loop. *Trends in Ecology and Evolution*. 17: 379-385.
- Williams-Linera, G. 2007. El bosque de niebla del centro de Veracruz, ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. Veracruz, México: CONABIO Instituto de Ecología A. C., Xalapa. 204 p.
- Wu, G.L., Q.L. Liu y J.A. Teixeira da Silva. 2009. Ultrastructure of pericarp and seed capsule cells in the developing walnut (*Juglans regia* L.) fruit. *South African Journal of Botany*. 75: 128-136.





La conservación de cualquier especie representa un reto, ya que debe partir del conocimiento de su biología, requerimientos ecológicos y diversidad genética, como base en la toma de decisiones para asegurar su permanencia en el ecosistema.

Especies endémicas como *Juglans pyriformis* han sido poco estudiadas, y hoy su estatus en riesgo obliga a generar dichos conocimientos, para que a partir de éstos se puedan plantear las estrategias para su conservación, como un elemento clave del bosque mesófilo de montaña en México. Con este objetivo se planteó el proyecto “Bases para la conservación *in situ* de *Juglans pyriformis*: una especie en peligro de extinción”, dentro del “Programa de Mejoramiento al Profesorado”, desarrollado a través de varias tesis de licenciatura.

La presente monografía reúne los resultados de estos trabajos, organizados en temas que van desde la biología de la especie y el manejo de frutos y semillas, hasta los requerimientos para su tratamiento en vivero y a nivel silvicultural. Así mismo, se incluyen algunas recomendaciones enfocadas a su conservación y manejo.

Los resultados que se presentan en este trabajo contribuirán a la conservación de esta especie, de gran importancia ecológica y económica a nivel nacional e internacional.