



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD  
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**VIABILIDAD ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DE PROYECTOS DE CONSERVACIÓN Y  
DESARROLLO INTEGRADOS: EL CASO DE LOS VIVEROS COMUNITARIOS EN LA REGIÓN DE  
TIERRA CALIENTE, MICHOACÁN**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**DOCTORA EN CIENCIAS**

PRESENTA:  
**ADRIANA LIZZETTE LUNA NIEVES**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS:**  
DR. GUILLERMO IBARRA MANRÍQUEZ  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**COMITÉ TUTOR:**  
DR. JORGE ARTURO MEAVE DEL CASTILLO  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM  
  
DR. EDUARDO GARCÍA FRAPOLLI  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**MORELIA, MICHOACÁN**

**ENERO, 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD  
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**VIABILIDAD ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DE PROYECTOS DE CONSERVACIÓN Y  
DESARROLLO INTEGRADOS: EL CASO DE LOS VIVEROS COMUNITARIOS EN LA REGIÓN DE  
TIERRA CALIENTE, MICHOACÁN**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**DOCTORA EN CIENCIAS**

PRESENTA:  
**ADRIANA LIZZETTE LUNA NIEVES**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS:**  
DR. GUILLERMO IBARRA MANRÍQUEZ  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**COMITÉ TUTOR:**  
DR. JORGE ARTURO MEAVE DEL CASTILLO  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM  
  
DR. EDUARDO GARCÍA FRAPOLLI  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**MORELIA, MICHOACÁN**

**ENERO, 2018**

Lic. Ivonne Ramírez Wence  
Directora General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted, que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, en su sesión ordinaria del día **25 de septiembre de 2017**, aprobó el siguiente jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **DOCTORA EN CIENCIAS** a la alumna **LUNA NIEVES ADRIANA LIZZETTE**, con número de cuenta **300099119** con la tesis titulada, "**Viabilidad ecológica y económica de proyectos de conservación y desarrollo integrados: el caso de los viveros comunitarios en la región de Tierra Caliente, Michoacán**", dirigida por el **DR. GUILLERMO IBARRA MANRÍQUEZ**:

Presidente: Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders  
Vocal: Dra. Tuyeni Heita Mwampamba  
Secretario: Dr. Jorge Arturo Meave del Castillo  
Suplente: Dr. Eduardo García Frapolli  
Suplente: Dra. Luciana Porter-Bolland

Sin otro particular, quedo de usted.

**ATENTAMENTE**  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 06 de diciembre de 2017

  
**DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA**  
COORDINADOR DEL PROGRAMA



## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado.

Así mismo, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca que me otorgó durante mis estudios de posgrado. Esta investigación recibió financiamiento del Proyecto de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT)-UNAM, como parte del proyecto IN207512 (Fenología de especies arbóreas del bosque tropical en la Depresión del Balsas, Michoacán).

Finalmente, agradezco a mi tutor principal, el Dr. Guillermo Ibarra Manríquez por la acertada dirección que tuvo a lo largo de este trabajo, y todo el apoyo que me brindó. También agradezco a los miembros de mi comité tutor, Dr. Jorge Arturo Meave del Castillo y Dr. Eduardo García Frapolli, quienes me acompañaron de cerca con una gran disposición y compromiso, en todo el proceso de investigación que implicó la realización de esta tesis.

## AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

Al Dr. *Guillermo Ibarra*. Te agradezco todos estos años de trabajo en los que aprendí no sólo del quehacer científico, sino del valor del compromiso al trabajo, la entrega, el compañerismo y sobre todo la empatía. Me diste lecciones en muchos ámbitos de mi vida que me acompañarán siempre. Tu confianza, amistad e infinito apoyo fueron fundamentales para concluir este proyecto. No tengo palabras para agradecerte tanto Memo, así que sólo me queda decirte un pobre, pero muy sentido, gracias.

Al Dr. *Jorge Meave*. Han pasado más de diez años desde que tomé mi primera clase contigo, y desde entonces, no he tenido a un mejor maestro que tú. Gracias por seguir enseñándome tanto y por apoyarme en mi formación académica.

A los miembros del jurado, Dra. *Consuelo Bonfil Sanders*, Dra. *Tuyeni Heita Mwampamba*, Dra. *Luciana Porter Bolland* y Dr. *Eduardo García Frapolli*. Gracias por los comentarios críticos que hicieron a este trabajo, los cuales lo mejoraron y enriquecieron enormemente.

Al *Grupo Balsas A.C.* por apoyarme de manera importante en la primera etapa de la realización de este proyecto facilitándome información indispensable en la realización de esta investigación y ayudándome con la logística en varias salidas de campo.

A los ejidatarios del ejido "Llano de Ojo de Agua", en especial, al Sr. Lorenzo Sánchez y Misael Rojas y sus familias. *Don Misa y Lencho*, los cerros me mostraron toda su magia porque ustedes me enseñaron a escucharlos. Gracias por las historias, las noches estrelladas, las risas acampando, los tacos de frijol en el cerro, el delicioso ceviche que preparaban cuando los visitaba, la paciencia y cuidados que siempre me tuvieron, pero sobre todo, gracias por el apoyo incondicional que me brindaron en todo momento.

Al grupo de monitoreo comunitario de fenología: *Lorenzo Sánchez, Misael Rojas, Idelfonso Alvarado, Isaías Rueda y Arcadio Sosa*. Durante cinco años, mes tras mes, tuvieron la disposición para ir a revisar si "sus árboles echaban flores o frutos". Gracias por creer en este proyecto e involucrarse de una manera tan responsable y comprometida en la generación de gran parte de la información que aquí se presenta. Este trabajo no habría podido realizarse sin su valiosa participación.

A la Dra. *Patrícia Cerdeira Morellato* gracias por recibirme en el Laboratório de Fenologia do Departamento de Botânica, da Universidade Estadual Paulista. Mi estadía me permitió aprender nuevas perspectivas en el análisis de los patrones fenológicos. También gracias a todos los integrantes de su grupo de trabajo *Gabriela Camargo, Natalia Acosta, Bruna Alberton, Nathália Miranda, Swanni Alvarado, Daniel Wisbelch, Patricia Leite, Irene Mendoza y Elise Buisson*, por la hospitalidad, paciencia, cariño y todos los cuidados que me dieron mientras conocíamos Brasil. También gracias a *Amanda Calixto y Mariane Cabral*.

A la Dra. *Consuelo Bonfil Sanders* por recibirme en una estancia en el laboratorio de Restauración Ecológica de la Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional Autónoma

de México. Gracias por todas las facilidades para utilizar las instalaciones del laboratorio. Muchas gracias también a todos los miembros del laboratorio, en particular a la Dra. *Irene Pisanty*, Dra. *Teresa Valverde*, Dr. *Jaime Zuñiga*, Dra. *Mariana Hernández*, *Bruno Barrales*, *Mariana Rodríguez*, *Israel* y *Karla Bilbatúa*, por recibirme tan amablemente en el laboratorio y compartir tantas y tantas horas/computadora y cafés.

A todos mis compañeros del laboratorio de Ecología y Sistemática Vegetal: *Jorge Cortés*, *Moisés Méndez*, *Javier Rendón*, *Karen Hernández*, *Mayra Flores*, *Ana Mirón*, *Iván Ek*, *Armando Navarrete*, *Eva Piedra* y *Guadalupe Cornejo*. Las pláticas académicas y no académicas, las comidas, fiestas, viajes, frustraciones y metas cumplidas que compartimos durante estos años de trabajo, me hicieron ser una mejor persona. Gracias por acompañarme en todo momento.

A los que formaron parte del equipo de campo: *Rafael Bribiesca*, *Karen Hernández*, *Armando Navarrete*, *Jorge Cortés*, *Alejandro Hernández*, *Arnulfo Blanco*, *Mayra Flores*, *Moisés Méndez* y *Guillermo Ibarra*. Infinitas gracias por su tiempo, esfuerzo y valentía para adentrarse en la tierra caliente.

A la familia Zermeño. *Lili*, *Humberto*, *Moy*, *Ise*, *Meli*, *Pao*, *Fénix*, *Mathi* y *Layla*. Quiero expresarles mi más sincero agradecimiento por abrirnos las puertas de su casa y por hacernos sentir parte de su bonita familia cuidando de mi Mateo con tanto amor.

A la familia que yo escogí. *Daniela Tovilla*, *Mariana Zarazúa*, *Gabriela González*, *Reyna Marrufo*, *Karina Pérez*, *Sergio Nicasio*, *Jorge Cortés*, *Alline Pingarroni*, *Pilar Gómez*, *Ángela Kudo*, *Brenda Rodríguez*, *Yadira Peñaloza*, *Yazmin Juárez*, *Andrea Espinosa*, *Isabel López*, *África Roldán*, *Mariana Méndez*, *Isela Cruz*, *Alicia Bautista*, *Percival Calderón*, *Arnulfo Blanco*, *Eugenia Santíes* y *Mónica Queijeiro*. Es difícil expresarles lo tremendamente afortunada que me siento por contar con su cariño incondicional. Les doy infinitas gracias por siempre estar en los momentos en los que más los necesité, por las pláticas, las risas, los bailes, las chelas, los libros, las noches tristes, los días de trabajo compartidos, las horas/carretera, las comidas, los abrazos, los consejos, las dudas existenciales, las teorías filosóficas, la música, y por cada una de las vivencias que compartimos. Los quiero muchísimo. No habría podido llegar hasta aquí sin ustedes.

A la familia que no escogí pero que agradezco profundamente tener. *Tía Tere*, *tía Paty*, *tío Héctor*, *padrinos*, *Fersito*, *JC*, *Veriux*, *tío Alfredo*, *tío Güicho (sigues conmigo)*, *abue*, *Rub*, *Alex*, *Cris*, *tío Alfredo Luna*, *tía Male*, *tía Paty Luna*, *JC Luna*, *Julio*, *Moni* y *abue*. Ustedes me recuerdan de dónde vengo y quién soy. Gracias por todo el cariño y apoyo incondicional que siempre me han brindado. Se los dije, algún día iba a terminar este doctorado. Gracias por creer en mi.

A *Gerardo Cervantes*. A ti te debo la tercera parte de las porras que necesité para no aventar la computadora cada que quería hacerlo. Gracias totales.

A *Oscar Luna*. Gracias por existir y de paso por ayudarme tantas veces con mis pobres intentos de entender a las computadoras, por tus enseñanzas zen y la complicidad que ahorra palabras.

A *Rafael Luna* y *Graciela Nieves*. Ustedes dos sin mis alas que me permiten volar más allá de la imaginación. Gracias infinitas por absolutamente todo.

A *Mateo*. Día a día me enseñas que soy capaz de romper mis propios límites para hacer cosas que ni yo misma imagino. Gracias por ser la persona increíble que eres, por tus sonrisas, tus historias, tu alegría, tu fuerza, tu espontaneidad, tu mundo de colores y tus deditos que nunca sueltan mi mano.

## DEDICATORIA

*A Mateo, por ser valiente.*

*Por todo lo que esta tesis significó para los dos.*

*A mis papás, porque nunca me han dejado permanecer en la llanura,  
y siempre me recuerdan que el mundo es más bello cuando se mira alto.*

*Por no dejarme creer en los imposibles.*

*A los "tierra-calenteños", por sus saberes, por su lucha, por su futuro.*

## ÍNDICE

Resumen.....	3
Abstract.....	5
<b>Capítulo I. Introducción general.....</b>	<b>7</b>
1.1 Los proyectos de conservación y desarrollo integrados.....	8
1.2 Los viveros establecidos bajo un enfoque de PCDI.....	10
1.3 Objetivos.....	14
Literatura citada.....	16
<b>Capítulo II. Área de estudio.....</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo III. ¿Los viveros comunitarios son una estrategia viable para integrar la conservación y el desarrollo socioeconómico en áreas con alta biodiversidad?.....</b>	<b>27</b>
Resumen.....	28
1. Introducción.....	29
2. Método	
2.1 Análisis de los viveros comunitarios apoyados por el PROCODES en México.....	32
2.2 Estudio de caso: el vivero comunitario Llano de Ojo de Agua.....	33
3. Impacto del PROCODES en los viveros establecidos en México.....	35
4. El vivero comunitario Llano de ojo de Agua.....	39
4.1 Contexto del estudio de caso.....	39
4.2 Historia del vivero Llano de Ojo de Agua.....	41
4.3 Problemas y alcances del vivero Llano de Ojo de Agua.....	46
5. Discusión	
5.1 Impacto del PROCODES en los PCDI en México.....	49
5.2 Impacto del PROCODES en los viveros comunitarios en México.....	51
5.3 Viabilidad del vivero comunitario Llano de Ojo de Agua.....	53
5.3.1 Conservación de la biodiversidad.....	54
5.3.2 Desarrollo social.....	55
5.3.3 Desarrollo económico.....	56
5.4 ¿Cómo se debería evaluar la viabilidad de los viveros comunitarios?.....	57
5.5 Consideraciones finales.....	61
Agradecimientos.....	61
Literatura citada.....	62
<b>Capítulo IV. Reproductive phenology of useful Seasonally Dry Tropical Forest trees: Guiding patterns for seed collection and plant propagation in nurseries.....</b>	<b>67</b>
1. Introduction.....	68
2. Materials and Methods	
2.1 Study site.....	69
2.2 Species selection.....	69
2.3 Reproductive phenology.....	69

2.4 Community-based phenology monitoring program.....	70
2.5 Climatic data.....	71
2.6 Data analysis.....	71
3. Results	
3.1 Reproductive phenological patterns.....	73
3.1.1 Intensity and frequency.....	73
3.1.2 Synchrony.....	73
3.1.3 Duration.....	73
3.1.4 Seasonality.....	74
3.2 Relation between reproductive phenology and climatic variables.....	75
4. Discussion	
4.1 Reproductive phenology strategies and climatic clues.....	75
4.2 Reproductive phenology asynchrony.....	76
4.3 Seed collection strategies and phenological patterns.....	76
5. Conclusions.....	77
Acknowledgments.....	77
Appendix A.....	77
References.....	77

<b>Capítulo V. ¿Cómo seleccionar fuentes semilleras para abastecer a los viveros en los sistemas estacionalmente secos? Un estudio de caso utilizando a <i>Coullteria platyloba</i> (S. Watson.) N. Zamora (Fabaceae) .....</b>	<b>79</b>
Resumen.....	80
1. Introducción.....	81
2. Método	
2.1 Área de estudio.....	83
2.2 ¿Las características del árbol parental se asocian con semillas y plántulas más vigorosas?.....	84
2.3 Potencial reproductivo .....	87
3. Resultados	
3.1 Relaciones entre las características del árbol parental, las semillas y el vigor de las plántulas.....	87
3.2 Potencial reproductivo.....	88
4. Discusión	
4.1 Selección de fuentes semilleras.....	90
4.2 Potencial de producción de semillas.....	92
5. Conclusión.....	93
Agradecimientos.....	93
Literatura citada.....	94
<b>Capítulo VI. Discusión general .....</b>	<b>99</b>

## **RESUMEN**

Actualmente existe un amplio consenso respecto a que las estrategias de conservación dentro de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) no pueden ser viables a largo plazo, a menos que las comunidades que habitan en ellas, o en sus zonas de influencia, las perciban como alternativas que contribuyan a su bienestar económico y social. En este sentido, desde mediados de la década de los ochenta, el gobierno federal ha implementado Programas de Conservación y Desarrollo Integrados (PCDI), que buscan asegurar la protección de la diversidad dentro de las ANP, al mismo tiempo que mejoran la calidad de vida de los pobladores que las habitan. Sin embargo, a pesar de la gran aceptación que ha tenido este tipo de proyectos, la gran mayoría enfrenta fuertes retos para subsistir, o bien, ya han desaparecido. En este contexto, en los capítulos que integran la presente tesis se caracterizan algunos componentes ecológicos y socioeconómicos involucrados en el desarrollo de viveros comunitarios, que son un tipo particular de PCDI, con el fin de evaluar si éstos pueden cumplir con dos metas aparentemente antagónicas: la conservación de la biodiversidad y el desarrollo socioeconómico de las comunidades humanas que habitan dentro de las ANP. Para contar con un marco de referencia pertinente respecto a los PCDI, el capítulo I de esta tesis presenta una introducción general sobre el marco conceptual que guía la implementación de estos programas, tomando como eje de estudio los viveros comunitarios, analizando los principales problemas a los que se enfrentan para su adecuado funcionamiento. Asimismo, el área de estudio en el que se llevó a cabo este estudio, se describe en el capítulo II.

Con el objetivo de analizar la viabilidad de los viveros que han sido establecidos bajo un enfoque de PCDI, en el capítulo III se describe el panorama actual de los viveros en México financiados por el Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCOCODES) durante el periodo 2010-2016. Por otro lado, para entender a una escala local la viabilidad de este tipo de proyectos, se presenta un estudio de caso de un vivero comunitario establecido en la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, en el que se evaluó qué factores ecológicos, económicos, sociales e institucionales influyen en su desarrollo. Con base en la información obtenida se propone un método para sistematizar la evaluación de la viabilidad de los viveros comunitarios establecidos bajo un enfoque de PCDI.

Una de las principales problemáticas operativas a la que se enfrentan los viveros comunitarios, es la falta de suministro oportuno de semillas de alta calidad. Para atender esta problemática, en el capítulo IV se presenta un estudio que tiene como objetivo identificar las épocas óptimas de colecta de semillas a través de la evaluación de la fenología reproductiva de 14 especies arbóreas con interés forestal y la relación que el comportamiento fenológico tiene con las condiciones climáticas a lo largo de cinco años de monitoreo. Se describieron tres principales estrategias fenológicas que difieren en su estacionalidad y en las condiciones ambientales que las desencadenan. Para cada estrategia fenológica, se hacen recomendaciones para elaborar calendarios de colecta adaptativos de semillas tomando en cuenta la variación interanual e intraespecífica en el comportamiento fenológico de las especies estudiadas.

Por otro lado, en el capítulo V se aborda otra de las problemáticas más comunes a la que se enfrentan los viveros comunitarios para su correcta operación, que es disponer de semillas de alta calidad de especies nativas. En este estudio se seleccionó a *Coulteria platyloba* (Fabaceae) como modelo de estudio para evaluar, a través de modelos de ecuaciones estructurales, si la selección de fuentes semilleras a través de la identificación de los individuos que presenten superioridad fenotípica en la población, es un método útil para obtener semillas de calidad superior que permita disponer de plántulas más vigorosas, a partir del monitoreo de poblaciones silvestres o manejadas. Además, se analizó el potencial de producción de semillas de una población natural de esta especie con el fin de conocer los volúmenes de producción potencial de las fuentes semilleras. Se comprobó que, en efecto, las características del árbol parental están fuertemente asociadas con las características de las plántulas que producen. Por otro lado, se concluyó que de una hectárea es posible obtener alrededor de 3.6 kg de semillas viables por año. Estos resultados brindan pautas importantes para seleccionar fuentes semilleras de alta calidad que cubran la demanda comercial de *Coulteria platyloba* en la región e incrementen la supervivencia de las plantas producidas en el vivero. Finalmente, en el capítulo VI se presenta una síntesis de la tesis y se integra el enfoque de manejo adaptativo de acuerdo con los resultados obtenidos y se discute la importancia de aplicar este enfoque para mejorar el funcionamiento de los viveros comunitarios.

## **ABSTRACT**

It is now widely recognized that conservation strategies in Protected Natural Areas (PNAs) are unviable in the long-term, unless the communities that inhabit these areas or their influence zones perceive them as alternatives that can contribute to their economic and social well-being. In this sense, since the mid-1980s, the federal government has implemented Integrated Conservation and Development Programs (ICDPs) to ensure the protection of biodiversity in PNAs while improving the quality of life of their inhabitants. Nevertheless, despite the widespread acceptance of these projects, most still face strong challenges to their survival, or have already disappeared. In this context, the chapters that make up this thesis characterize some institutional, socioeconomic, and ecological components involved in the development of community nurseries, which are a particular type of ICDPs, in order to assess whether these can meet two apparently antagonistic goals: biodiversity conservation and the socioeconomic development of the human communities that inhabit the PNAs. In order to provide a framework of reference with respect to the ICDP, a general introduction to the conceptual framework that guides the implementation of these projects is presented in chapter I, focusing on the community nurseries, and analyzing the main challenges that these nurseries face for their proper functioning. In addition, a detailed description of the study area is provided in chapter II.

In order to analyze the viability of nurseries that have been established under an ICDP approach, chapter III describes the current scenario of Mexican nurseries financed by the Conservation Program for Sustainable Development (PROCOCODES) during period 2010-2016. To facilitate understanding of the functionality of this type of program at the local scale, a case study of a community nursery established in the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve, in Michoacán, is presented, in which economic, social and institutional factors all have an influence on viability. Based on the information obtained, a method is proposed to systematize the evaluation of the viability of the community nurseries established under a PCDI approach.

One of the main operational problems faced by community nurseries is the lack of a timely supply of high quality seeds. To address this problem, chapter IV presents a study that aims to identify optimal times for seed collection through an evaluation of the

reproductive phenology of 14 tree species of forestry interest, and the relationship between the phenological behavior and the climatic conditions over five years of monitoring. Three main phenological strategies were described that differ in terms of their seasonality and the environmental conditions that trigger them. For each phenological strategy, recommendations are made to develop adaptive seed collection calendars that take into account the interannual and intraspecific variation in the phenological behavior of the species studied.

Chapter V addresses another of the most common problems facing the adequate operation of community nurseries: the acquisition of high quality seeds of native species. In this study, *Couleria platyloba* (Fabaceae) is selected as a study model with which to evaluate, through structural equation models, whether the selection of seed sources through identification of individuals of superior phenotype in the population represents a useful method for acquiring high quality seeds to obtain more vigorous seedlings, analyzing wild and domesticated populations. In addition, the seed production of a natural population of this species is analyzed in order to determine the production volumes of the seed sources. We found that the characteristics of the parent tree are strongly associated with those of the seedlings that they produce. On the other hand, it was concluded that it is possible to obtain around 3.6 kg of viable seeds per year from one hectare. These results provide important guidelines for selecting high quality seed sources that could meet the regional commercial demand for *Couleria platyloba* and could help to increase the survival of the plants produced in the nursery.

Finally, in chapter VI, according to the results obtained, the adaptive management approach is integrated and the importance of improving the functioning of nurseries established under a ICDP approach is discussed.

# Capítulo I.

---

## Introducción general



## 1.1 Los proyectos de conservación y desarrollo integrados

¿Qué se debería hacer para conservar efectivamente la biodiversidad del planeta? Ante la continua y creciente crisis ambiental a la que se enfrenta actualmente la humanidad, esta pregunta sigue guiando el debate en la literatura de la conservación (Miller *et al.*, 2011). A principios del siglo pasado, el enfoque que se planteó para proteger la biodiversidad fue la creación de Áreas Naturales Protegidas (ANP). Este enfoque se basa en la idea de que las actividades humanas, en especial las actividades productivas, afectan negativamente la biodiversidad, por lo que los esfuerzos principales en las ANP deberían dirigirse a restringir las actividades productivas dentro de estas áreas y sus zonas de influencia (Roe, 2008). Sin embargo, la idea de aislar porciones de naturaleza sin tomar en cuenta el complejo contexto social, político, económico y cultural en el que se encuentran inmersas, resultó ser una estrategia muy simplista, que no ha cumplido completamente con los objetivos de la conservación a largo plazo, ya que actualmente se documentan, mayoritariamente, pérdidas de superficie de las ANP y, consecuentemente, de la biodiversidad que pretenden proteger (Naughton-Treves *et al.*, 2005, Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008; Laurance *et al.*, 2012). En este contexto, diferentes instancias gubernamentales y no gubernamentales comenzaron a promover nuevos enfoques basados en la idea de integrar los objetivos de la conservación con los del desarrollo de las comunidades cuyos medios de vida dependen directamente del uso de los recursos naturales (Adamas *et al.*, 2004; Roe, 2008; Porter-Bolland *et al.*, 2012).

Así, en la década de 1980 comenzaron a surgir los Proyectos de Conservación y Desarrollo Integrados (PCDI), los cuales han estado apoyados ampliamente en el ámbito internacional por instancias gubernamentales, organismos financiadores de la conservación, y sociedades civiles, como una alternativa más efectiva para conservar la biodiversidad (Adamas *et al.*, 2004). Por ejemplo, en México se han llegado a invertir hasta 32.7 millones de dólares anuales en la implementación de algunos PCDI (Chapela, 2006). No obstante, a pesar de la gran aceptación que han tenido estos proyectos en los últimos 35 años, no se ha demostrado que las soluciones integradoras que plantean sean exitosas. Por el contrario, la gran mayoría de estos proyectos enfrentan fuertes retos para subsistir, o han desaparecido, pues no han sido capaces de atender los objetivos de conservación y desarrollo, simultáneamente (Newmark y Hough, 2000; Wells y McShane, 2004; Botha *et al.*, 2006, Kareiva *et al.*, 2008; Brooks *et al.*, 2012).

Este escenario hace evidente que la ejecución de estos proyectos enfrenta muchos retos e incertidumbres, puesto que integra enfoques que requieren fundamentarse en un marco teórico transdisciplinario que todavía está en construcción (Brown y Wyckoff-Baird, 1992; Barrett y Arcese, 1995; Gibson y Marks, 1995; Newmark y Hough, 2000). Por esto, no es sorprendente que resulte tan controversial entender qué factores determinan el éxito o fracaso de los PCDI, identificar las escalas temporales y espaciales a las que operan dichos factores y, sobre todo, determinar los verdaderos alcances que se pueden lograr al conjuntar las metas de la conservación y el desarrollo (Kremen *et al.*, 1994; Pérez y Byron, 1999; Bedford y Tayber, 2000; Wells y McShane, 2004; Garnett *et al.*, 2007).

Una estrategia para abordar estas cuestiones, requiere. como primer paso, entender el planteamiento teórico que sustenta a los PCDI, el cual propone que los proyectos serán exitosos si a través de la conservación de la biodiversidad se logran generar beneficios económicos y/o sociales para las comunidades que los implementan. Este planteamiento supone que dado que la diversidad biológica es parte del patrimonio productivo, hay un interés económico legítimo de la sociedad por conservarlo (Sarukhán *et al.*, 2009).

En concordancia con esta idea es posible enumerar diversos PCDI que pertenecen al sector primario de la economía (e.g. extracción de productos maderables o no maderables, caza regulada), secundario (e.g. acuicultura, alimentos procesados, elaboración de artesanías, propagación de plantas en viveros), o los que más bien ofrecen servicios, como el ecoturismo, y que pertenecen al sector terciario (Sills *et al.*, 2011; Bauch *et al.*, 2014). La flexibilidad que ofrece el marco conceptual de los PCDI hace que las rutas que toman estos proyectos para cumplir con sus objetivos sean tan diversas como los mismos contextos en donde se desarrollan. Por ejemplo, al definir cómo conservar la biodiversidad, los PCDI pueden enfocarse en un ecosistema (Gurney *et al.*, 2014), una comunidad ecológica (Barrett y Arcese, 1995) o una especie de interés comercial (Vovides *et al.*, 2010). Por otro lado, al determinar cómo impulsar el desarrollo socioeconómico de las comunidades que habitan dentro de las ANP, los PCDI pueden enfocarse, por ejemplo, en generar ganancias económicas (Bauch *et al.*, 2014), y/o en capacitar a los actores sociales en el desarrollo de diferentes habilidades técnicas o administrativas referentes al manejo de negocios, y/o en el fortalecimiento de las instituciones locales (Stocking y Perkin, 1992).

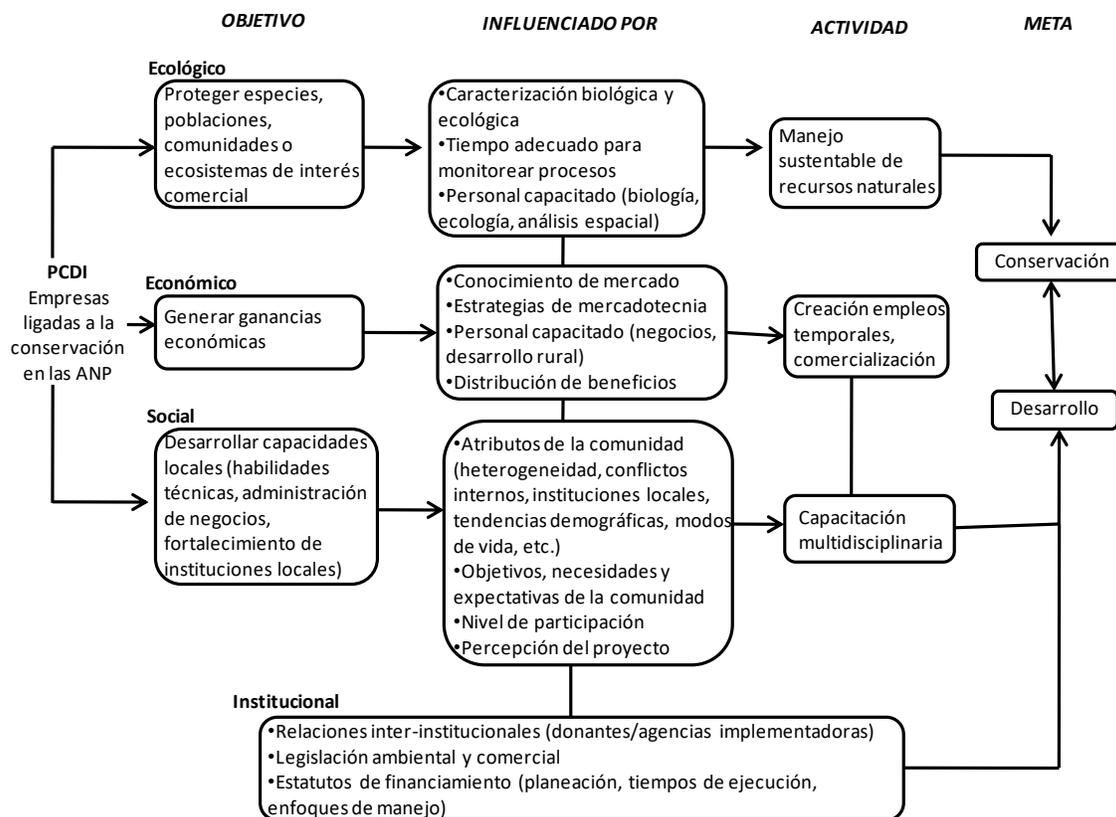
Independientemente de los objetivos particulares que se plantee cada PCDI y su planeación, implementación, monitoreo y evaluación, es importante resaltar que su desarrollo depende casi exclusivamente del financiamiento externo que brindan diferentes instancias para su ejecución, puesto que las comunidades que se encuentran dentro de las ANP, no cuentan con los recursos económicos suficientes para emprender independientemente estas iniciativas (Hughes y Flintan, 2001; Redford y Fearn, 2007). Además, su desarrollo también depende de las políticas públicas de conservación, las cuales influyen directamente en la manera en que se ejecutan los planes de manejo de los recursos naturales dentro de las ANP y sus zonas de influencia, y en su eficacia para generar beneficios a las comunidades locales. En última instancia, esto determinará si un área de importancia biológica pueda ser o no manejada para conservar su diversidad. Por esto, el papel de las instituciones gestoras y financiadoras es determinante en el éxito o fracaso de este tipo de proyectos (Salafsky *et al.*, 2001). En la Figura 1 se presenta un modelo conceptual que ilustra cómo las actividades que realizan los PCDI, independientemente de su objetivo original, terminan teniendo metas comunes en las que intervienen procesos ecológicos, económicos, sociales e institucionales.

La naturaleza transdisciplinaria de los PCDI impone grandes desafíos en los esfuerzos para predecir el impacto que podría tener cada una de las dimensiones que intervienen en su funcionamiento (ecológica, económica, social e institucional), y aunque cada proyecto tiene características únicas que lo definen, la presente investigación se enfoca en los viveros comunitarios como modelo de estudio para tratar de entender cuáles son los factores que determinan su viabilidad.

## **1.2 Los viveros establecidos bajo un enfoque de PCDI**

El vivero es una infraestructura de producción y cultivo de plantas, en donde éstas permanecen el tiempo necesario para alcanzar la altura y el vigor adecuados, que permitan llevarlas al sitio donde serán trasplantadas (Grijpm, 1982). A partir del cambio de paradigma en la conservación que sucedió a principios de 1980, los viveros establecidos con un enfoque de PCDI estuvieron fuertemente apoyados a nivel mundial, por considerarse como proyectos "sencillos" que no requieren de una gran inversión en infraestructura, pero sobre todo por considerarlos "de fácil ejecución", bajo el supuesto de

que la propagación de plantas es una actividad con la que las comunidades rurales de las ANP están familiarizadas (Botha *et al.*, 2005, 2006).



**Figura 1.** Modelo conceptual que representa las complejas relaciones involucradas en la implementación de los Programas de Conservación y Desarrollos Integrados (PCDI) para cumplir, de manera simultánea, con los objetivos de conservar la biodiversidad e impulsar el desarrollo socioeconómico de las comunidades que los implementan.

El objetivo de este tipo de viveros es propagar plantas que fomenten la conservación de la vegetación dentro de las ANP, al mismo tiempo que impulsan el desarrollo de capacidades en las personas que los administran, referentes a la administración de negocios, el fortalecimiento de las instituciones comunitarias, la cooperación interinstitucional y/o la educación ambiental. En algunos casos, estos viveros además son concebidos como pequeñas empresas ligadas a la conservación que, además de los objetivos que ya se

mencionaron, buscan generar ganancias económicas a través de la comercialización de las plantas que propagan (Salafsky *et al.*, 2001).

No obstante, a pesar de la escala pequeña en la que operan los viveros comunitarios y lo sencillo que resulta su planteamiento en comparación con otros PCDI, enfrentan numerosas dificultades para subsistir y cumplir con sus objetivos (Shanks y Carter, 1994, Böhringer *et al.*, 2003; Böhringer y Ayuk, 2003; Botha *et al.*, 2005, 2006). Aunque existen muy pocas evaluaciones rigurosas que analicen qué factores intervienen en su viabilidad, éstas indican que los viveros comunitarios enfrentan problemas de índole social, institucional, económico y ecológico, que en conjunto han contribuido a tener resultados poco exitosos a mediano plazo, en diferentes contextos, lo cual se discute a continuación.

#### *Factores sociales*

Las características intrínsecas de las comunidades humanas influyen fuertemente en el éxito de los viveros (Brechtin *et al.*, 2002). Si éstas no son homogéneas (e.g. en términos culturales, políticos, religiosos y/o económicos), no tienen una estructura interna bien definida, o no cuentan con instituciones locales sólidas, es poco probable que los viveros puedan funcionar adecuadamente, puesto que estas características permiten que, teóricamente, las comunidades se involucren activamente en la toma de decisiones a lo largo del desarrollo del proyecto (Hayes y Ostrom, 2005; Brooks *et al.*, 2006; Sharachchandra *et al.*, 2010). Por otro lado, si las instancias locales y financiadoras no trabajan en conjunto y no se consideran las necesidades y expectativas que las primeras tienen antes, durante y después de la implementación de los viveros, los resultados son menos exitosos (Boissere *et al.*, 2009, Waylen *et al.*, 2009).

#### *Factores institucionales*

Las políticas que dictan cómo, cuándo y a quién se destinan los fondos económicos, determinan en gran medida la viabilidad de los viveros (Hughes y Flintan, 2001). Si estas decisiones no están basadas en un conocimiento sólido de las causas de la degradación ambiental en el área de interés, las condiciones locales (principalmente climáticas y culturales), las expectativas, capacidades y recursos de las comunidades receptoras, así como las experiencias previas que han tenido en el manejo de sus recursos naturales, entonces los viveros tendrán menos probabilidades de cumplir con los objetivos que se

proponen (Salafsky *et al.*, 2001, Sayer y Campbell, 2004; Wells *et al.*, 2004, Garnett, *et al.*, 2007). Además, si los estatutos de financiamiento de las organizaciones donantes (gubernamentales o de otra razón social) no consideran apoyar estas iniciativas por períodos largos (al menos cinco años), habrá menos oportunidades de crear capacidades locales en el manejo de negocios, abrir mercados y lograr cierto grado de auto sustentabilidad financiera (Stocking y Perking, 1992; Böhringer *et al.*, 2003, Wells *et al.*, 2004; Botha *et al.*, 2005; Kareiva *et al.*, 2008; Vovides *et al.*, 2010; Sunderland *et al.*, 2012). Por último, los criterios que utilizan las instancias financiadoras para definir si un proyecto cumplió o no con las metas que se propuso, influyen fuertemente en los verdaderos alcances que cada vivero puede tener. Si dichas instancias no exigen evaluaciones rigurosas de su funcionamiento, no es posible detectar factores de riesgo con antelación (Stravinsky, 2000; McShane y Wells, 2004).

#### *Factores económicos*

Para que los viveros puedan generar ganancias económicas es necesario que exista un mercado en donde se puedan vender las plantas que producen. Por tanto, los viveros que se establecen en donde no se cumple con esta condición no pueden ser viables financieramente; esto es lo que se ha detectado que sucede con la mayoría de estos proyectos (McNally, 1998; Salafsky, *et al.*, 2001; Botha *et al.*, 2006, Brooks *et al.*, 2006; Kareiva *et al.*, 2008). Así mismo, si las personas que los administran no cuentan con las habilidades administrativas y contables que les permitan afrontar los retos que supone el manejo de un negocio, su éxito también se verá afectado (Sekhran, 1996; Böhringer *et al.*, 2003; Botha *et al.*, 2006). Lo mismo ocurre si durante el desarrollo del proyecto no se idean estrategias de mercadotecnia eficaces, se fijan precios justos y se incentiva la captación de clientes (Vovides *et al.*, 2010).

El escenario previamente descrito muestra que aun en la implementación de PCDI "sencillos", como son los viveros comunitarios, están involucrados muchos factores que determinan su viabilidad, y por lo tanto, los criterios que se utilizan para evaluarlos varían sustancialmente dependiendo de los objetivos que defina cada vivero (Botha *et al.*, 2006). Así, por ejemplo, un vivero podría considerarse viable si logra generar empleos temporales y ofrecer suficientes plantas para reforestar áreas degradadas; o bien, si es capaz de repartir

beneficios monetarios a los participantes del proyecto y contribuir a que disminuya la tala de árboles maderables dentro de las ANP.

### *Factores ecológicos*

Los viveros que tengan un conocimiento sólido de todos los aspectos involucrados en la propagación de las especies con las que se desee trabajar, tendrán un mayor éxito (Botha *et al.*, 2005). Ejemplos de los factores que deberían considerarse es ubicar y caracterizar las poblaciones de las especies de interés en términos de su abundancia, distribución y variación fenotípica, así como conocer las características ambientales en donde se localizan dichas poblaciones, para poder seleccionar a las mejores fuentes semilleras de donde se obtendrá germoplasma de mejor calidad (Jara, 1995). Así mismo, es indispensable conocer los eventos fenológicos de las especies de interés para estimar la probabilidad de encontrarlas en su fase de floración o fructificación en un determinado mes, lo cual será de suma importancia para planear calendarios de colecta de semillas (Luna-Nieves *et al.*, 2017). Por último, es importante conocer distintos aspectos técnicos del manejo de las semillas que involucran los procesos de cosecha, secado, extracción, procesamiento (identificación, tratamientos pregerminativos y almacenamiento) y germinación en la etapa de vivero, para asegurar el adecuado funcionamiento de los viveros (Mesén *et al.*, 1996).

### **1.3 Objetivos**

La presente investigación tiene el objetivo de aportar información que contribuya a responder si los viveros comunitarios son una opción viable para conjuntar la conservación de la biodiversidad con el desarrollo socioeconómico de las comunidades que habitan en las ANP. Aunque el abordaje de esta pregunta central requiere conocer distintos aspectos que intervienen en el funcionamiento de los viveros, se optó por el desarrollo de tres estudios que abordan problemáticas escasamente abordadas hasta ahora. En el Capítulo III, se evalúa a una escala nacional cuál ha sido la influencia que tiene uno de los programas más importantes que financian este tipo de proyectos (PROCODES, Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible), en el establecimiento de viveros comunitarios con un enfoque de PCDI en las ANP de México. Simultáneamente, se analiza cómo el planteamiento de este programa repercute a una escala local en el funcionamiento de los

viveros y en los beneficios socioeconómicos que generan a las comunidades que los implementan, a través de un estudio de caso en la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, en el estado de Michoacán.

Una vez conociendo las problemáticas sociales, económicas e institucionales a las que se enfrentó este vivero para funcionar, se evalúa uno de los componentes ecológicos más importantes que intervienen en la viabilidad de los viveros, que es el abastecimiento oportuno y permanente de semillas de alta calidad de especies nativas. Para ello, se responden dos preguntas que han sido muy pobremente exploradas en los bosques estacionalmente secos, como en el que se desarrolló esta investigación. En el capítulo IV se explora ¿cómo se pueden generar calendarios de colecta de semillas de especies nativas a través de la descripción de los patrones fenológicos reproductivos?, en tanto que en el capítulo V abordamos la pregunta de ¿si la selección de fuentes semilleras basada en las características fenotípicas de los árboles parentales, es un método adecuado para obtener semillas y plántulas de calidad superior para ser usadas en programas de reforestación? Finalmente, en el capítulo VI se presenta una síntesis de los resultados obtenidos y se propone integrar el enfoque de manejo adaptativo como una estrategia más eficaz para mejorar el funcionamiento de los viveros comunitarios establecidos bajo un enfoque de PCDI.

## Literatura citada

- Adams, W.M., R. Aveling, D. Brockington, B. Dickson, J. Elliott, J. Hutton, D. Roe, B. Vira y W. Wolmer (2004) Biodiversity conservation and the eradication of poverty. *Science*, 306:1146–1149
- Barrett, C.B. y P. Arcese (1995) Are Integrated Conservation-Development Projects (ICDPs) sustainable? On the conservation of large mammals in Sub-Saharan Africa. *World Development*, 23:1073–1084
- Bauch, S.C., E.O. Sills y S.K. Pattanayak (2014) Have we managed to integrate conservation and development? ICDP Impacts in the Brazilian Amazon. *World Development*, 64:135–148
- Bedford, K.H. y A. Tayber (2000) Writing the wrongs: Developing a safe-fail culture in conservation. *Conservation Biology*, 20:1567–1568
- Böhringer, A., E.T. Ayuk, R. Katanga y S. Ruvuga (2003) Farmer nurseries as a catalyst for developing sustainable land use systems in southern Africa. Part A: Nursery productivity and organization. *Agricultural Systems*, 77:187–201 21
- Böhringer, A. y E.T. Ayuk (2003) Farmer nurseries as a catalyst for developing sustainable land use systems in southern Africa. Part B: Support systems, early impact and policy issues. *Agricultural Systems*, 77:203–217
- Boissiere, M., D. Sheil, I. Basuki, M. Wan y Hien Le (2009) Can engaging local people's interests reduce forest degradation in Central Vietnam? *Biodiversity Conservation*, 18:2743–2757
- Botha, J., E.T.F. Witkowski y J. Cock (2005) A review of nurseries as conservation or social forestry outreach tools. *International Journal of Biodiversity Science and Management*, 1:33–51
- Botha, J., E.T.F. Witkowski y J. Cock (2006) The South African experience of conservation and social forestry outreach nurseries. *Environmental Management*, 38:733–749
- Brechin, S.R., P.R. Wilshusen, C.L. Fortwangler y P.C. West (2002) Beyond the square wheel: toward a more comprehensive understanding of biodiversity conservation as social and political process. *Society and Natural Resources: An international Journal*, 15:41–64

- Brooks, J., M.A. Franzen, C.M. Holmes, M.N. Grote y M. Borgerhoff (2006) Testing hypotheses for the success of different conservation strategies. *Conservation Biology*, 5:1528–1538
- Brooks, J., K.A. Waylen y M. Borgerhoff (2012) How national context, project design, and local community characteristics influence success in community-based conservation projects. *Proceedings of the National Academic of Science*, 52:21265–21270
- Brown, M. y B. Wyckoff-Baird (1992). *El diseño de proyectos integrados de conservación y desarrollo*. Consorcio de Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), The Nature Conservancy e Instituto de Recursos Mundiales (WRI).
- Figueroa, F. y V. Sánchez-Cordero (2008) Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity Conservation*, 17:3223–3240
- Garnett, S.T., J.A. Sayer y J. du Toit (2007) Improving the effectiveness of interventions to balance conservation and development: a conceptual framework. *Ecology and Society*, 12(1):2.<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art2/>
- Gibson, C.C. y S.A. Marks (1995). Transforming rural hunters into conservationists: An assessment of community based wildlife management programs in Africa. *World Development*: 23, 941–957
- Grijpm, P. (1982) *Producción forestal*. Trillas. Primera edición. México. 134 p.
- Gurney G.G., J. Cinner, N.C. Ban, R.L. Pressey, R. Pollnac, S.J. Campbell, S. Tasidjawa y F. Setiawan (2014) Poverty and protected areas: An evaluation of a marine integrated conservation and development project in Indonesia. *Global Environmental Change*, 26:98–107
- Hayes, T., y E. Ostrom (2005) Conserving the world's forests: Are protected areas the only way? *Indiana Law Review*, 38:595–617
- Hughes, R. y F. Flintan (2001) Integrating conservation and development experience: A review and bibliography of the ICDP literature. London: International Institute for Environment and Development.
- Jara, L.F. (1995) *Identificación y Selección de Fuentes Semilleras*. Primer seminario nacional de identificación, selección y manejo de fuentes semilleras. Programa de Investigación en Semillas de Especies Forestales Nativas. CONI-CATIE-PROSEFOR. Bogota, Colombia, 144 pp.

- Kareiva, P., A. Chang y M. Marvier (2008) Development and conservation goals in World Bank Projects. *Science*, 321:1639—1639
- Kremen, C., A.M. Merenlender y D.D. Murphy (1994) Ecological monitoring: A vital need for integrated conservation and development programs in the tropics. *Conservation Biology*, 8:6
- Laurance, W.F., D.C. Useche y F. Zamzani (2012). Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. *Nature*, 489:290—294
- McShane, T.O. y M.P Wells (2004) *Getting biodiversity projects to work: towards more effective conservation and development*. Columbia University Press, Nueva York.
- McNally, R. (1998) *Project Economics Manual. Economic Instruments in the Design of Integrated Conservation and Development Projects (ICDPs)*. A WWF-UK Draft paper.
- Mesén, F., A.L. Guevara y M.L. Jiménez (1996) *Guía Técnica para la Producción de Semilla Forestal Certificada y Autorizada*. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 34 pp.
- Miller, T.R., B.A. Minter y L-C. Malan (2011) The new conservation debate: The view from practical ethics. *Biological Conservation*, 144:948—957
- Naughton-Treves, L., M. Buck y K. Brandon (2005) The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. *Annual Review of Environmental Resources*, 30:219—252
- Newmark, W.D. y J.L. Hough (2000) Conserving wildlife in Africa: Integrated conservation and development projects and beyond. *Bioscience*, 50:585—592
- Pérez, M.R. y N. Byron (1999) A methodology to analyze divergent case studies of non-timber forest products and their development potential. *Forest Science*, 45:1—14
- Porter-Bolland, L., E.A. Ellis, M.R. Guariguata, I. Ruiz-Mallén, S. Negrete-Yankelevich y V. Reyes-García (2012) Community managed forests and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics. *Forest Ecology and Management*, 268:6—17
- Redford, K.H. y E. Fearn (2007) *Protected Areas and Human Livelihoods*. WCS Working Paper No. 32. Wildlife Conservation Society, New York.
- Roe, D. (2008) The origins and evolution of the conservation-poverty debate: a review of key literature, events and policy processes. *Oryx*, 42:491—503

- Salafsky, N., H. Cauley, G. Balachander, B. Cordes, J. Parks, C. Margoluis, S. Bhatt, C. Encarnacion, D. Russell y R. Margoluis (2001) A systematic test of an enterprise strategy for community-based biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 15:1585–1595
- Sarukhán, J., G. Halffter, P. Koleff, R. González, J. Carabias, I. March, J. Soberón, A. Mohar, R. Dirzo, S. Anta, J. Llorente-Bousquets y J. De la Maza, (Eds.) (2009) *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sayer, J., y B. Campbell (2004) *The science of sustainable development*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Sekhran, N. (1996) *En busca de la "D" en los Proyectos Integrados de Conservación y Desarrollo (PICD): Cuestiones y desafíos para Papua—Nueva Guinea*. Red Forestal para el Desarrollo Rural. Documento de la Red 19b. Londrés, Reino Unido, 31 pp.
- Shanks, E. y J. Carter (1994) *The organization of small—scale tree nurseries. Studies from Asia, Africa and Latin America*. Rural Development Forestry Study Guide 1. Rural Development Forestry Network. Overseas Development Institute. Londres, Inglaterra, 165 pp.
- Sharachandra, L., P. Wilshusen, D. Brockington, R. Seidler y K. Bawa (2010) Beyond exclusion: alternative approaches to biodiversity conservation in the developing tropics. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2:94–100
- Sills, E., F. Parmgarten, P. Shanley y J. de Beer (2011) Evolving perspectives on non-timber forest products. En: *Non-timber forest products in the global context* (S. Shackleton, ed), New York: Springer
- Stocking, M. y S. Perkin (1992) Conservation with development: an application of the concept in the Usambara Mountains, Tanzania. *Transactions of the Institute of British Geographers*, New Series, 17:337–349
- Stravinsky, I. (2000) Writing the wrongs: developing a safe-fail culture in conservation. *Conservation Biology*, 14:1567–1568
- Sunderland, T.C.H., J. Sayer y M. Hoang (2012) *Evidence-based conservation: Lessons from the Lower Mekong*. Bogor, Indonesia: CIFOR, 454 pp.

- Vovides, A.P., M.A. Pérez-Farrera y C. Iglesias (2010) Cycad propagation by rural nurseries in Mexico as an alternative conservation strategy: 20 years on. *Kew Bulletin*, 65:603–611
- Waylen, K.A., A. Fischer, P.J.K. McGowan, S.J. Thirgood y E.J. Milner-Gulland (2009) Effect of local cultural context on the success of community-based conservation interventions. *Conservation Biology*, 24:1119–1129
- Wells, M.P. y T.O. McShane (2004) Integrating protected area management with local needs and aspirations. *Ambio*, 33:513–519
- Wells M.P., T.O. McShane, H.T. Dublin, S. O’Connor y K.H. Redford (2004) The future of integrated conservation and development projects: building on what works. En: *Getting biodiversity projects to work: towards more effective conservation and development* (Wells M.P. y T.O. McShane, eds), Columbia University Press, Nueva York, 397–421 pp.

## Capítulo II.

---

### Área de estudio

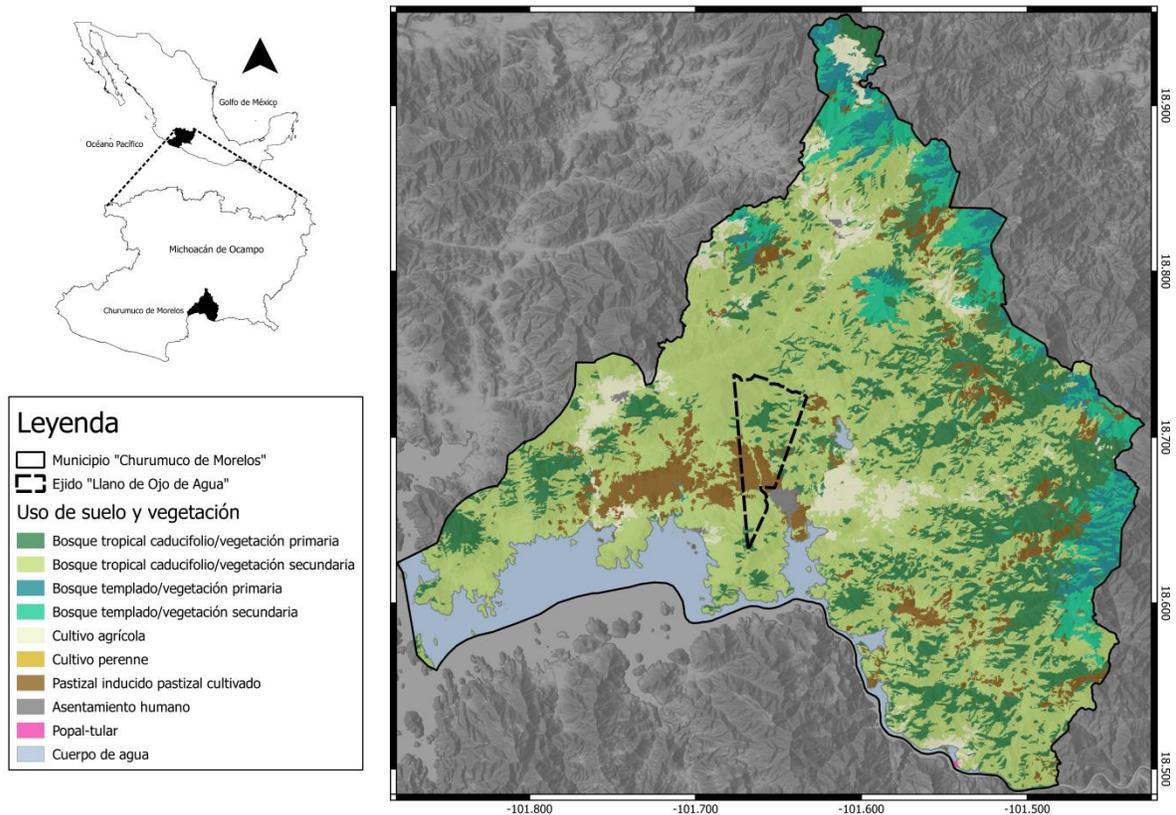


Fotografía proporcionada por Karen Beatriz Hernández Esquivel

Vista área de la presa Infiernillo, ejido Llano de Ojo de Agua, municipio de Churumuco de Morelos, Michoacán, México

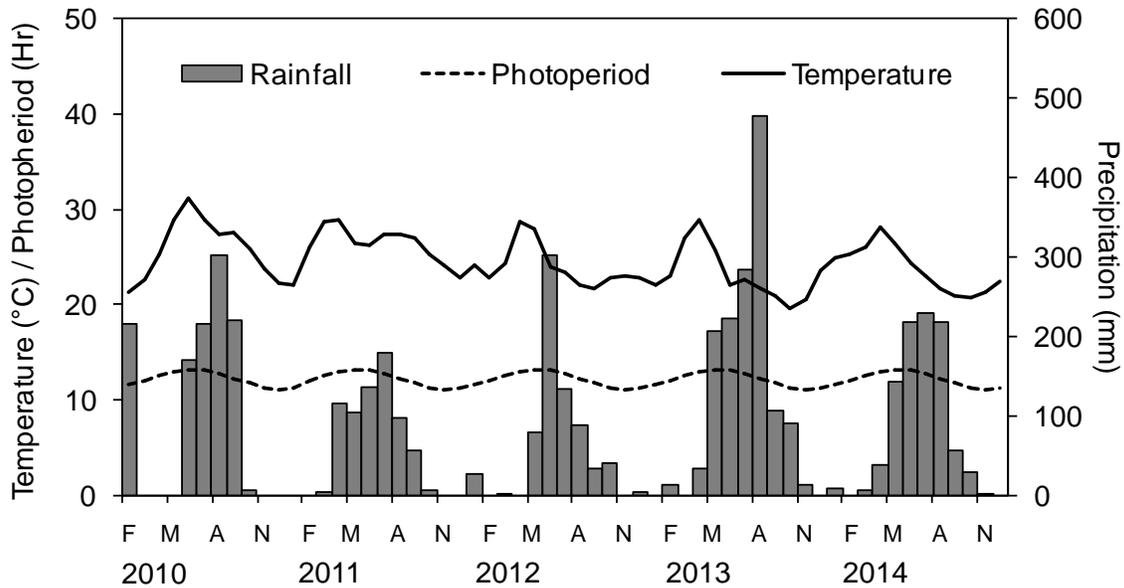
Este estudio se realizó en el municipio de Churumuco de Morelos (18°38'-18°44' N y 101°38'-101°41' O; 300 m s.n.m.), el cual se localizan en la ribera norte del vaso de la presa Adolfo López Mateos, mejor conocida como "Infiernillo". Esta región pertenece a la sección baja de la Cuenca del Río Balsas, en el estado de Michoacán, al occidente de México (Fig. 1). Se considera que esta zona es de carácter meramente rural, en donde predominan pequeños poblados con menos de 1,500 habitantes, muy dispersos entre sí (INEGI, 2006). La tenencia de la tierra es primordialmente ejidal, que es un territorio administrado por un grupo de campesinos (ejidatarios), los cuales cuentan con reconocimiento jurídico para utilizar dicho espacio bajo reglas establecidas de manera colectiva. En Churumuco existen 24 ejidos (INEGI, 2006), compuestos por una población que hasta 2010 era de 14,366 habitantes, quienes viven en un fuerte aislamiento por falta de vialidades y telecomunicaciones y en un alto rezago socioeconómico. De acuerdo con la CONAPO (2010), el índice de marginación del municipio es de 1.08, valor que lo ubica como el sexto municipio con más alta marginación en el estado, y en el lugar 358 en un contexto nacional.

La región de estudio forma parte de la Provincia Morfotectónica de la Sierra Madre del Sur, Subprovincia de la Depresión del Balsas, en la cuenca hidrológica del río Balsas (Ferrusquía-Villafranca, 1993). La Depresión del Balsas es una zona litológicamente compleja donde se registran rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Cabrera *et al.*, 2005). Las topofomas dominantes en la zona son los lomeríos bajos y altos, aunque también se pueden encontrar valles fluviales, planicies de acumulación, piedemonte y sierra, en un gradiente altitudinal que abarca de 150 a 1,400 m s.n.m. (Bocco y Mendoza, 1999). Los tipos de suelos primarios son principalmente litosoles y los secundarios feozems háplicos. De acuerdo con Cabrera *et al.* (2005), los suelos tienen un escaso desarrollo, con un predominio de regosoles en sitios de relieve irregular y pendientes escarpadas, y leptosoles, que aunque tienen una distribución amplia, son más frecuentes en montañas. Otros tipos de suelo que se encuentran en la región, pero con menos frecuencia son el acrisol, andosol, feozem oluvisol.



**Figura 1.** Localización del ejido Llano de Ojo de Agua, en el municipio de Churumuco de Morelos, en el estado de Michoacán, México

La principal característica climática de una buena parte de la Depresión del Balsas es la presencia de una estación seca muy marcada, que se extiende de octubre a mayo, y una época de lluvias de junio a septiembre. De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (2004), el clima en el municipio es seco cálido con régimen de lluvias de verano (BS<sub>1</sub>), con temperaturas que oscilan entre 23 y 36 °C (promedio entre 28 y 29.4 °C), con una precipitación anual total con valores bajos, con un promedio 564 mm (Luna-Nieves *et al.* 2017; Fig. 2). El tipo de vegetación predominante en la región es la selva baja caducifolia (Miranda y Hernández-X., 1963), cuyas características más distintivas son que más del 75 % de los árboles pierden las hojas en la época seca y forman un estrato arbóreo de una altura promedio entre 4.6 y 8 m. Los géneros arbóreos más dominantes pertenecen a las familias Leguminosae, Euphorbiaceae, Rubiaceae y Burseraceae.



**Fig. 2.** Precipitación, temperatura y fotoperiodo mensual, en el municipio de Churumuco, estado de Michoacán, México, de 2010 a 2014.

Entre las especies de árboles más frecuentes en el área se pueden mencionar las siguientes: *Acacia picachensis* Brandegee, *Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Standl., *Apoplanesia paniculata* C. Presl, *Backebergia militaris* (Audot) Bravo ex Sánchez-Mej., *Bursera sarukhanii* Guevara & Rzed., *B.infernidualis* Guevara & Rzed., *Cordia eleagnoides* DC., *Cyrtocarpa procera* Kunth, *Euphorbia schlehtendalii* Boiss., *Gossypium lobatum* Gentry, *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Heteroflorum sclerocarpum* M. Sousa, *Hintonia latiflora* (DC.) Bullock, *Lonchocarpus huetamoensis* M. Sousa & J.C. Soto, *Lysiloma microphyllum* Benth., *Opuntia bensonii* Sánchez-Mej., *Randia nelsonii* Greenm., *Poincianella eriostachys* (Benth.) Britton & Rose, *R. thurberi* S. Watson, *Plumeria rubra* L., *Stenocereus queretaroensis* (F.A.C. Weber) Buxb. y *S. quevedonis* (J.G. Ortega) Buxb. Por otro lado, en las zonas de mayor humedad, como en los cauces de los ríos y arroyos, se encuentran áreas de distinto tamaño de selva mediana subcaducifolia (Miranda y Hernández-X., 1963). Esta comunidad se caracteriza por que entre 50 y 70 % de los individuos arbóreos pierde su follaje en los meses más secos del año, y por la presencia de árboles dominantes que alcanzan alturas de más de 15 m, como *Andira inermis* (W. Wright) Kunth ex DC., *Brosimum alicastrum* Sw., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Ficus cotinifolia* Kunth, *F. crocata* (Miq.) Miq., *F. insipida* Willd., *Licania arborea* Seem.,

*Sideroxylon capiri* (A. DC.) Pittier y *Thouinidium decandrum* (Bonpl.) Radlk. (Martínez-Cruz *et al.*, 2013).

El municipio de Churumuco pertenece a una de las zonas de mayor riqueza biológica en el estado y resalta por la gran proporción de taxones endémicos que en ella se presentan (Rodríguez-Jiménez *et al.*, 2005; Cué-Bär *et al.*, 2006). Este fue uno de los criterios para que en el año 2007 parte de su territorio fuera decretado como Área Natural Protegida bajo el régimen de Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo (CONANP, 2007; Velázquez *et al.*, 2009; Burgos *et al.*, 2010).

### **Literatura citada**

Bocco, V.G. y M.E. Mendoza (1999) El caso de Michoacán de Ocampo. Carta Geológica de Michoacán. Escala 1:250000. En: Corona-Chávez, P. e I. Israde-Alcántara (Eds.). *La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, 74-90 pp.

Burgos, A., A. Tinoco, G. Solorio, V. Ramírez y S. Pérez-Cortez (2010) *Diagnóstico socioeconómico como base para el Programa de Conservación y Manejo de la Reserva de la Biosfera Zicuirán Infiernillo*. GTZ-CONANP, Morelia, Michoacán. 65 pp.

Cabrera González, A., J.C. González Cortés y J.M. Ayala Gómez (2005) *Los suelos*. En: Villaseñor G., L.E. (editora). *La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 29-31 pp.

CONANP [Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas] (2007) *Memoria de la consulta pública de la Reserva de la Biosfera Zicuirán Infiernillo, en el estado de Michoacán*. México, D.F., 39 pp.

CONAPO [Consejo Nacional de Población] (2010) *Índice de marginación por localidad. Colección Índices Sociodemográficos*. (Eds. de la Vega-Estrada, S., Téllez-Vázquez, Y. y López-Ramírez, J). Fondo población de las naciones unidas. México D.F.

- Cué-Bär, E.M., J.L. Villaseñor, J.J. Morrone y G. Ibarra-Manríquez (2006) Identifying priority areas for conservation in Mexican tropical deciduous forest based on tree species. *Interciencia*, 31:712–719
- Ferrusquía-Villafranca, I. (1993) *Geology of Mexico: a synopsis*. En: T. Ramammorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Biological diversity of Mexico: origins and distribution, Oxford University Press New York. p. 3–107
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 90 p
- Garduño Monroy, V.H. 2005. El Relieve. En: Villaseñor G., L. E. (editora). *La biodiversidad en Michoacán: Estudio de estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. pp. 21-24
- Luna-Nieves, A.L., J.A. Meave, L.P.C. Morellato y Guillermo Ibarra-Manríquez (2017) Reproductive phenology of useful Seasonally Dry Tropical Forest trees: Guiding patterns for seed collection and plant propagation in nurseries. *Forest Ecology and Management*, 393:52–62
- Martínez-Cruz, J., M. Méndez-Toribio, J. Cortés-Flores, P. Coba-Pérez, G. Cornejo-Tenorio y G. Ibarra-Manríquez. (2013) Estructura y diversidad de los bosques estacionales desaparecidos por la construcción de la presa Gral. Francisco J. Múgica, en la Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84:1216–1234
- Méndez-Toribio, M., J. Martínez-Cruz, J. Cortés-Flores, F.J. Rendón-Sandoval y G. Ibarra-Manríquez (2014) Composición, estructura y diversidad de la comunidad arbórea del bosque tropical caducifolio en Tziritzícuaro, Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:1117–1128
- Miranda, F. y E. Hernández-X. (1963) Los tipos de vegetación en México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28:29–178
- Rodríguez-Jiménez, C., R. Fernández-Nava, M. Arreguín-Sánchez, y A. Rodríguez-Jiménez. (2005) Plantas vasculares endémicas de la cuenca del río Balsas, México. *Polibotánica*, 20:73–99
- Velázquez, A., E.M. Cué-Bär, A. Larrazabal, N. Sosa, J.L. Villaseñor, M. McCall y G. Ibarra-Manríquez (2009) Building participatory landscape-based conservation alternatives: a case of study in Michoacán, Mexico. *Applied Geography*, 29:513–526

## Capítulo III.

---

### **¿Los viveros comunitarios son una estrategia viable para integrar la conservación y el desarrollo socioeconómico en áreas con alta biodiversidad?**

Adriana L. Luna-Nieves, Eduardo García-Frapolli, Consuelo Bonfil y Guillermo Ibarra-Manríquez



## **RESUMEN**

El establecimiento de viveros comunitarios dentro de las áreas naturales protegidas, ha sido una actividad atractiva para conjuntar la conservación de la biodiversidad y el desarrollo socioeconómico de las comunidades que habitan en ellas. Sin embargo, estos viveros, no siempre logran cumplir con los objetivos que se plantean. En este trabajo se analiza el impacto que tuvo el Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES) entre el periodo comprendido entre 2010 y 2016, en el establecimiento de este tipo de viveros dentro de las Áreas Naturales Protegidas de México. A continuación se evalúa a una escala local, cómo funcionan y a qué tipo de problemas se enfrentan, tomando como caso de estudio un vivero establecido dentro de la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, en el estado de Michoacán. Los resultados muestran que los viveros fueron el principal tipo de proyecto productivo que financió el PROCODES, no obstante, debido a que no cuenta con indicadores que evalúen su funcionamiento, no fue posible analizar la viabilidad de cada proyecto apoyado. Al analizar el desarrollo de uno de estos viveros a una escala local, se concluye que la comunidad que lo implementó lo consideró exitoso pues contribuyó a su desarrollo socioeconómico generando empleos temporales, reforzando la organización interna de la comunidad y brindándoles capacitaciones en la propagación de plantas y en la administración de negocios, aún cuando no logró generar ganancias económicas y dependió completamente del financiamiento externo para su funcionamiento. La aportación que el vivero tuvo para conservar la vegetación del área en donde se estableció, fue poco clara. Esta investigación muestra que para incrementar la probabilidad de éxito de estos viveros, es urgente que se establezcan con claridad los objetivos que persiguen debido a que existen numerosas interpretaciones para entender su viabilidad. Por otro lado, señala la gran necesidad de contar con indicadores claros de evaluación que permita analizar si cumplen con los objetivos que se plantean. Por último, muestra que dados los problemas a los que se enfrentan para mantenerse activos a largo plazo, sería deseable incluir la visión de manejo adaptativo en todas sus etapas de desarrollo.

**Palabras clave:** proyectos de conservación y desarrollo integrados (PCDI), empresas ligadas a la conservación, áreas naturales protegidas, PROCODES, Michoacán, México.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se reconoce ampliamente que las estrategias de conservación de la biodiversidad dentro de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) no pueden ser viables a largo plazo, a menos de que las comunidades que habitan en ellas o en sus zonas de influencia las consideren como alternativas que contribuyan a su bienestar económico y social (Bruner *et al.*, 2001; Porter-Bolland *et al.*, 2011). En este sentido, desde mediados de 1980 se han puesto en marcha un gran número de Proyectos de Conservación y Desarrollo Integrados (PCDI) en todo el mundo, con el objetivo de integrar dentro de un mismo planteamiento la protección de la biodiversidad, y la mejoría en la calidad de vida de los pobladores que habitan dentro de las ANP, o en sus zonas de influencia (Adams *et al.*, 2004; Naughton-Treves, *et al.*, 2005; Brockington *et al.*, 2006; Roe, 2008). No obstante, a pesar de la gran aceptación que este tipo de proyectos han tenido en los últimos 30 años, la evidencia actual indica que su éxito no ha sido tan grande como se esperaba, pues se enfrentan a muchos retos para cumplir simultáneamente con sus objetivos de conservación y desarrollo (Brandon y Wells, 1992; Stocking y Perkin, 1992; Barret y Arcese, 1995; Newmark y Hough, 2000; Wells y McShane, 2004; Botha *et al.*, 2006; Brooks *et al.*, 2012).

Uno de los tipos de PCDI más ampliamente apoyados son las empresas ligadas a la conservación, las cuales tienen como objetivo promover la conservación de la biodiversidad, a través del uso sustentable de los recursos naturales (Salafsky, *et al.*, 2001). Los giros de las empresas que se establecen con este enfoque son muy diversos (Sills *et al.*, 2011; Bauch *et al.*, 2014), y pertenecen al sector primario de la economía (e.g. caza o extracción de madera), al sector secundario (e.g. acuicultura, alimentos procesados, elaboración de artesanías, propagación de plantas en viveros), o al sector terciario (ofreciendo servicios como el ecoturismo).

El marco teórico que guía el establecimiento de estas empresas, supone que dado que su viabilidad depende de la conservación de la biodiversidad, entonces los miembros de las comunidades que se beneficien de ella realizarán acciones en pro de su mantenimiento a largo plazo. De acuerdo con Salafsky *et al.* (2001), en esta idea están implícitas tres hipótesis: (1) la viabilidad de las empresas debe depender de los recursos biológicos *in situ* de la región, por lo que si estos recursos se degradan, entonces las empresas no tendrán éxito, (2) las empresas deben ser viables financieramente y por tanto, capaces de generar

beneficios económicos y/o sociales en las comunidades en donde se implementan y, (3) el desarrollo de las empresas debe basarse en la participación activa de las comunidades locales, las cuales deben tener la capacidad de realizar acciones que frenen o eliminen las amenazas a la biodiversidad de la región.

El planteamiento teórico que guía el diseño de este tipo de proyectos resalta la compleja interacción de factores ecológicos, económicos, sociales e institucionales que intervienen en su desarrollo, los cuales, además, están cambiando constantemente en el tiempo, a medida que las empresas y quienes las dirigen se ajustan al contexto en donde se desarrollan (Margoulis *et al.*, 2009). Dada esta complejidad, las aproximaciones que utiliza cada empresa para conjuntar los objetivos de la conservación y el desarrollo pueden ser muy diversas. Por ejemplo, al definir qué conservar, pueden enfocarse en un ecosistema (Gurney *et al.*, 2014), una comunidad ecológica (Barrett y Arcese, 1995) o una o varias especies de interés (Vovides *et al.*, 2010). Por otro lado, al determinar cómo impulsar el desarrollo socioeconómico, pueden dar un mayor énfasis a la generación de ganancias económicas (Bauch *et al.*, 2014), al fortalecimiento de las instituciones locales, o al aprendizaje de habilidades técnicas o administrativas de los actores sociales (Stocking y Perkin, 1992). Cualquiera de estas estrategias es legítima, pero cada una tendrá implicaciones diferentes en el desarrollo de los PCDI.

La flexibilidad que ofrece el marco teórico de estos proyectos para ligar la conservación con el desarrollo hace que muchas veces esta relación sea poco coherente o confusa, ya que los supuestos en los que se basa son ambiguos y rara vez se evalúan sistemáticamente (Barrett y Arcese, 1995; Margoulis y Salafsky, 1998). Por ejemplo, muchos proyectos han ayudado a mejorar las condiciones económicas de poblaciones locales, pero no necesariamente han mostrado que la biodiversidad se esté conservando (Orozco-Quintero y Davidson-Hunt, 2010). Por el contrario, otros estudios han ilustrado cómo la utilización de los recursos naturales puede ser una actividad ecológicamente viable, pero no han arrojado evidencia de que esto genere ganancias económicas (McShane *et al.*, 2011). Por esto, en muchos países hay largas listas de proyectos que ya han dejado de funcionar, o se enfrentan a muchos retos para subsistir, puesto que no son capaces de cumplir con los objetivos que se plantean (Newmark y Hough, 2000; Wells y McShane, 2004; Botha *et al.*, 2006; Brooks *et al.*, 2012).

Uno de los tipos de PCDI que ha tenido mucho auge en las últimas décadas, es el establecimiento de viveros comunitarios, los cuales tienen como objetivo propagar plantas que son requeridas a nivel local o regional para diferentes propósitos (Botha *et al.*, 2005, 2006). En este planteamiento general, se considera que los viveros comunitarios deben cumplir con alguno(s) de los siguientes objetivos particulares (Shanks y Carter, 1994; Böhringer y Ayuk, 2003; Böhringer *et al.*, 2003; Vovides *et al.*, 2010): (1) propagar especies nativas con fines de conservación, enfocándose principalmente en especies amenazadas; (2) propagar especies de interés comercial que tradicionalmente se obtienen de las ANP, como plantas comestibles, ornamentales, maderables, o medicinales; (3) propagar especies útiles destinadas a la recuperación de áreas degradadas; (4) desarrollar capacidades locales referentes a las técnicas de propagación de plantas, la administración de negocios, el fortalecimiento de las instituciones comunitarias, la cooperación interinstitucional, o la educación ambiental; (5) generar ganancias económicas a través de la comercialización de plantas; y/o (6) crear empleos fijos y/o temporales financiados, ya sea por actores externos a la comunidad, o por los manejadores del vivero.

Según Shanks y Carter (1994), los viveros comunitarios establecidos con este enfoque se distinguen de los viveros comerciales porque son administrados por miembros de comunidades rurales, si uno de sus objetivos es generar ganancias económicas éstas se reparten entre todos los participantes, su producción responde principalmente a la demanda local, de modo que propagan un mayor número de especies nativas que no se encuentran en otros viveros, y la mayoría son subsidiados por más de una fuente financiadora (instituciones gubernamentales del ramo forestal o agrícola, organizaciones no gubernamentales, administraciones locales, fondos internacionales de conservación, escuelas o instituciones religiosas).

En México, a partir del cambio de paradigma que tuvo la conservación a partir de 1990, en el que se incluyó el objetivo de fomentar el bienestar de los pobladores y usuarios de las ANP, al mismo tiempo que se buscaba fortalecer las estrategias de conservación de la biodiversidad del país (CONANP, 2010), se comenzó a concebir a los viveros comunitarios como una herramienta útil para involucrar a las comunidades que habitan en zonas altamente biodiversas en su conservación, al mismo tiempo que se les brindaban oportunidades de desarrollo económico y social (CONANP, 2010). Desde entonces, se han

destinado importantes inversiones al establecimiento no sólo de viveros comunitarios, sino de muchos otros tipos de PCDI, como los proyectos ecoturísticos, que son apoyados principalmente por programas gubernamentales como el Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES), administrado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2001), el Proyecto de Conservación y Manejo Forestal (PROCYMAF), el Proyecto de Conservación de la Biodiversidad por Comunidades Indígenas (COINBIO), o el Corredor Biológico Mesoamericano-México, estos tres últimos administrados por el Banco Mundial (World Bank 2000a, 2000b, 2003). Sorprendentemente, aún cuando se han canalizado millones de dólares para la ejecución de estos programas, aún resulta muy difícil establecer con claridad cuáles han sido los alcances de los PCDI en México en términos socioeconómicos y de conservación de la biodiversidad.

En este contexto, en esta investigación se analizó el panorama actual de los viveros en México, a través de la evaluación del impacto que ha tenido uno de los principales instrumentos que tiene la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) para impulsar este tipo de proyectos, el Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES). Posteriormente, se analizó a una escala local cómo funcionan este tipo de viveros y a qué retos se enfrentan para cumplir con los objetivos que se plantean, con el fin de entender si los viveros comunitarios pueden ser una opción viable para conservar la biodiversidad y fomentar el desarrollo socioeconómico de las comunidades que los implementan, a través del estudio de caso de un vivero comunitario ubicado en la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, en el estado de Michoacán, México. Este vivero se eligió porque comparte características importantes con otros viveros asentados en algunas de las ANP del país que también presentan altos índices de biodiversidad y recursos naturales poco aprovechados, asociados con altos niveles de pobreza rural (Tekelenburg y Ríos, 2009). A partir del análisis de esta información, se reflexionó sobre la importancia de contar con objetivos e indicadores claros que permitan evaluar adecuadamente la viabilidad de estos proyectos.

## **2. MÉTODO**

### *2.1 Análisis de los viveros comunitarios apoyados por el PROCODES en México*

Aunque existen diversos programas gubernamentales que fomentan el establecimiento de viveros comunitarios en México, el presente estudio se centra en el análisis del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES). Este programa fue creado en el año 2001 como un instrumento de política pública, con el objetivo de promover en las ANP y sus zonas de influencia la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad, mediante el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. El programa está basado en la entrega de subsidios a comunidades que lleven a cabo actividades de conservación a través de cuatro grandes conceptos (CONEVAL, 2013): proyectos comunitarios, cursos de capacitación, estudios técnicos y apoyo a brigadas de contingencia.

Para evaluar el impacto que el PROCODES tuvo en el establecimiento de viveros en México, se solicitaron al Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI) los informes anuales de este programa desde 2010 hasta el 2016. De cada informe final se contabilizó el número total de proyectos que fueron apoyados y el monto que se les asignó. A continuación, con base en la descripción de cada proyecto, se seleccionaron aquéllos que tenían como objetivo explícito propagar plantas en viveros o huertos comunitarios. Una vez realizado lo anterior, se analizó qué porcentaje les correspondía respecto al total de los proyectos anuales aprobados, la cantidad de dinero que se les asignó y el número de personas que participaron. Además, a cada proyecto seleccionado se le asignó una categoría, de acuerdo con el tipo de plantas que propagaron: (1) forestal, que incluye especies principalmente nativas utilizadas en programas de reforestación, restauración, agroforestería o prácticas silvícolas), (2) hortícola, (3) ornamental, (4) medicinal, (5) forrajero, e (6) indefinida, que incluye viveros que no especificaron qué tipo de plantas propagaron. En el caso de los viveros que propagaban más de un tipo de plantas (e.g. hortícolas y ornamentales), sólo se tomó en cuenta para su clasificación, la primera categoría que mencionaron en la descripción del proyecto.

## *2.2 Estudio de caso: el vivero comunitario Llano de Ojo de Agua*

Para evaluar cómo funcionó el vivero que se analizó en esta investigación desde sus inicios hasta la actualidad, se realizó un análisis de línea de tiempo, que es una herramienta cuantitativa que busca capturar la temporalidad de los eventos, actores, relaciones, mecanismos y espacios de participación que intervinieron en el funcionamiento del vivero

(Adriansen, 2012). La información para este análisis se obtuvo a través de dos talleres realizados con grupos focales, en los que participaron 19 ejidatarios que estuvieron involucrados en alguna etapa de la operación del vivero, e integrantes de una Asociación Civil denominada Grupo Balsas, que fue quien acompañó al ejido durante el desarrollo del vivero. Este método permitió tener una visión consensuada de los viveristas sobre la historia del vivero, la cual se completó con información obtenida en entrevistas semi-estructuradas realizadas de manera individual a cuatro de los integrantes del ejido que más se involucraron en la administración del vivero, las cuales ayudaron a esclarecer algunas partes de la narrativa colectiva.

Para evaluar si el vivero fue capaz de generar ganancias económicas, se hizo un análisis de costos con el fin de evaluar en términos monetarios todos los gastos derivados de un año de producción (2008). La información referente a este análisis se obtuvo consultando los reportes administrativos archivados en el ejido, así como los reportes finales que elaboró el Grupo Balsas en los años en los que solicitó algún apoyo para sostener la operación del vivero. Además, se realizaron cuatro entrevistas semi-estructuradas con dos de los ejidatarios que estuvieron a cargo de la administración del vivero en alguno de los años en los que estuvo en funcionamiento para complementar la información obtenida sobre los ingresos y egresos del vivero.

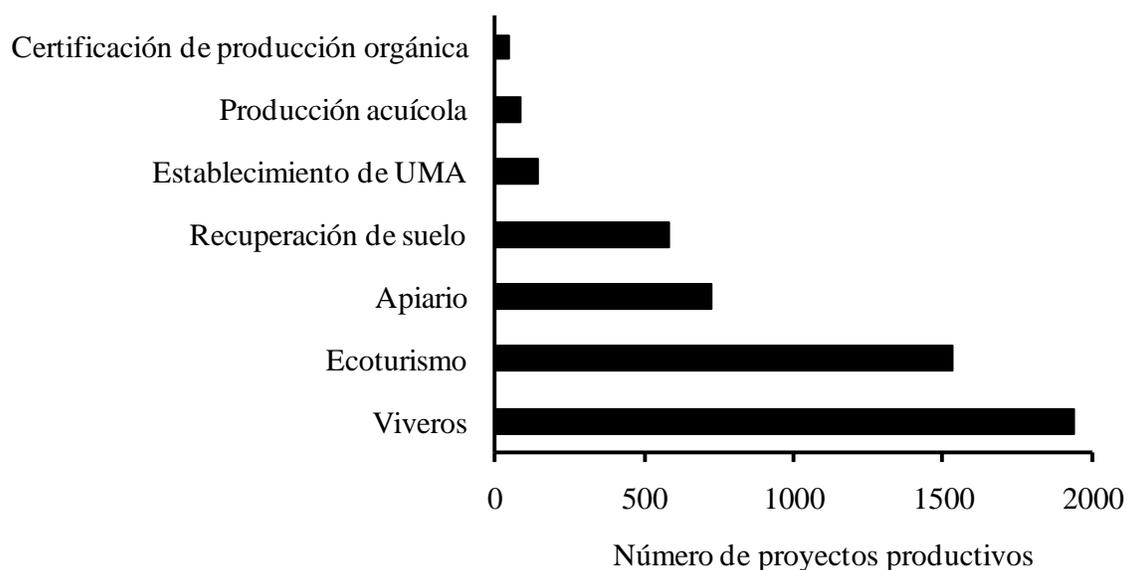
Por último, para identificar fortalezas, debilidades y alcances del vivero se organizó un taller con un grupo focal compuesto por 10 viveristas, en el que expresaron la percepción que tuvieron de su funcionamiento, en cuatro de sus principales áreas de operación (infraestructura, producción, administración y comercialización). Esta información se complementó por medio del método de observación participante durante cinco de los años en los que el vivero estuvo en funcionamiento (2010-2015). Éste es un método interactivo no estructurado en donde el investigador observa, describe e interactúa con los actores locales, durante sus rutinas diarias, con el fin de entender un proceso (Newing, 2011). Con base en esta información se realizó un análisis de matrices en donde se asignaron valores a la magnitud del problema (5, crítico; 4, muy grave; 3, grave; 2, moderado; 1, leve y 0, insignificante) y su evolución (5, muy negativa; 4, negativa; 3, regular; 2, indiferente; 1, a resolverse y 0, positiva). De acuerdo con la suma de estos

valores, se consideró la importancia del problema y la urgencia de la intervención para resolverlo: 0-3 leve, 4-7 media, 8-10 importante.

### 3. IMPACTO DEL PROCODES EN LOS VIVEROS COMUNITARIOS EN MÉXICO

Durante el período 2010-2016, el PROCODES apoyó un total de 18,537 proyectos, con un promedio anual de 2,248 (D.E.  $\pm$  303 proyectos). De los cuatro rubros que apoya este programa, los proyectos comunitarios fueron los más beneficiados (79 %), seguidos de los cursos de capacitación referentes al manejo adecuado de los recursos naturales (13 %), los estudios técnicos (5 %), y las brigadas de contingencia ambiental para prevenir situaciones de riesgo derivadas de fenómenos naturales (3 %). Los proyectos comunitarios se clasifican a su vez en dos grandes conceptos: (a) conservación y restauración de ecosistemas y (b) proyectos productivos, que corresponden al 53 % y 47 % del total de los proyectos comunitarios, respectivamente.

Entre los proyectos productivos, los viveros comunitarios fueron los más frecuentemente apoyados, seguidos de los proyectos ecoturísticos, la instalación de apiarios, y los que buscaban recuperar el suelo para realizar actividades productivas (Fig. 1). Analizando la representatividad que tuvieron los viveros con respecto al número total de proyectos que apoyó el PROCODES, se observa que oscilo entre 5.3 % y 12.2 % durante el período 2010-2016 (Tabla 1).



**Fig. 1** Número total de proyectos productivos financiados por el PROCODES entre 2010 y 2016. Los proyectos mostrados componen el 74 % del total; el resto no se graficó dada su baja representatividad.

Los recursos monetarios que designó el programa durante el período de estudio fueron de MXN \$1,443,939,801, destinando anualmente un promedio de MXN \$206,276,972 (D.E.  $\pm$  MXN \$35,199,513). Del monto total, únicamente el 8.2 % correspondió al establecimiento de viveros comunitarios (MXN \$115,515,184), sin embargo, este porcentaje fue distinto entre años, variando desde 3.4 % a un máximo de 10.3 % (Tabla 1).

El 24.3 % de los viveros no especificaron qué tipo de plantas propagaron. De los que sí fue posible asignarles una categoría (Tabla 1), los hortícolas y los forestales fueron los que tuvieron un mayor número de proyectos (41 % y 31 %, respectivamente). Si bien esa tendencia se mantuvo entre 2010 y 2016, el número de proyectos para ambos muestra disparidades, con algunos años inclinándose claramente hacia los hortícolas (e.g. 2015), los del tipo forestal (e.g. 2010), o con un porcentaje equivalente (e.g. 2014). En total, los viveros contaron con la participación de 28,136 personas, predominando ligeramente las mujeres (56.7 %), porcentaje que cambió entre los años de registro (Tabla 1).

El análisis previamente descrito fue realizado tomando en cuenta sólo los datos de Michoacán, por ser el estado en donde está localizado el caso de estudio aquí analizado. Los proyectos productivos apoyados por el PROCODES entre 2010 y 2016 corresponden al 39 % del total de los PCDI desarrollados en este estado; este porcentaje es ligeramente menor que el registrado a nivel nacional (47 %). De éstos, a diferencia de lo observado en la tendencia general (Fig. 1), los proyectos ecoturísticos fueron los más solicitados (32 %), seguidos de los viveros comunitarios, y los destinados a restaurar suelos degradados para realizar actividades productivas, representando cada uno de ellos el 25 % del total.

En promedio, el dinero que recibió anualmente cada vivero en Michoacán fue de MXN \$69,000 (D.E.  $\pm$  MXN \$20,000). En este estado, la participación de las mujeres, también fue mayor que la de los hombres, y aquí, en contra de la tendencia general observada en las evaluaciones anuales del PROCODES (Tabla 1), los viveros forestales fueron más apoyados que los viveros hortícolas, aunque esta tendencia fue poco clara,

porque casi la mitad de los viveros establecidos en esta región no especificó qué tipo de plantas propagó (Tabla 2). Aunque el estado participó en el PROCODES en el 2015, durante este año no se apoyó a ningún vivero.

**Tabla 1.** Número total de proyectos que financió el PROCODES entre 2010 y 2016 (porcentaje de viveros comunitarios con respecto al total), dinero en pesos mexicanos (MXN) que se destinó a cada proyecto (porcentaje de dinero designado a los viveros con respecto al total), número de viveros por categoría, y número total de participantes en los viveros (porcentaje de mujeres).

Año	Total en miles (% viveros)	Monto en millones (% viveros)	Tipo de viveros						Total en miles (% mujeres)
			Forestal	Hortícola	Forrajero	Ornamental	Medicinal	Indefinido	
2010	2.8 (12.1)	141.3 (10.3)	84	56	1	14	5	179	6.1 (41.9)
2011	3.2 (11.3)	199.1 (8.6)	128	95	2	13	3	116	4 (44)
2012	2.7 (11.5)	200.1 (9.3)	97	121	1	12	4	71	5.6 (70.5)
2013	2.5 (9.1)	219.8 (7.8)	43	102	5	7	1	75	3.2 (56.4)
2014	2.7 (10.5)	218.5 (8.6)	130	123	1	2	2	19	3.6 (60.7)
2015	2.1 (5.3)	206 (3.4)	10	93	0	1	1	9	1.3 (64.6)
2016	2.6 (12.2)	259.1 (9.3)	93	208	1	5	6	2	4.2 (66.5)
<b>TOTAL</b>	<b>18.6 (10.5)</b>	<b>1443.9 (8.15)</b>	<b>585</b>	<b>798</b>	<b>11</b>	<b>54</b>	<b>22</b>	<b>471</b>	<b>28.1 (56.7)</b>

**Tabla 2.** Número total de proyectos que financió el PROCODES anualmente de 2010 a 2016 en el estado de Michoacán, México (porcentaje de viveros comunitarios con respecto al total); monto en pesos mexicanos (MXN) que se destinó anualmente al estado (porcentaje de dinero destinado a viveros con respecto al total); número de viveros por categoría y participación total de ejidatarios en los viveros (porcentaje de mujeres).

<b>Año</b>	<b>Total (%)</b>	<b>Monto miles (%)</b>	<b>Forestal</b>	<b>Hortícola</b>	<b>Indefinido</b>	<b>Total (% M)</b>
2010	66 (10.6)	3,425.7 (9.2)	4	0	3	61 (72.1)
2011	62 (8.1)	4,053.6 (7.5)	1	0	4	31 (48.4)
2012	70 (11.4)	4,905.4 (10.7)	2	1	5	104 (66.4)
2013	75 (2.7)	6,720.6 (2)	1	1	0	17 (53)
2014	6 (66.7)	639.9 (44.6)	3	1	0	33 (51.5)
2015	–	6,810.0 (0)	–	–	–	–
2016	58 (1.7)	7,216.9 (1.5)	1	0	0	12 (83.3)
<b>Total</b>	<b>391 (27)</b>	<b>33,772.0 (5)</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>258 (63.6)</b>

#### **4. EL VIVERO COMUNITARIO LLANO DE OJO DE AGUA**

##### *4.1 Contexto del estudio de caso*

El vivero que se estudió se ubica en el Ejido Llano de Ojo de Agua, en el municipio de Churumuco de Morelos, localizado en la cuenca baja del Río Balsas, en la región denominada Tierra Caliente, en el estado de Michoacán, México. Esta área es de carácter meramente rural, sin presencia de centros de población mayores a 5,000 habitantes. Los poblados se encuentran muy dispersos y aislados por la falta de vialidades y telecomunicaciones. El 40 % de la población vive en condiciones de pobreza extrema debido al gran rezago en los servicios básicos, como salud, educación, infraestructura en vivienda y empleo, lo que ubica al municipio en el 6° lugar a nivel estatal y en el 358 a nivel nacional por su alta marginación (INEGI, 2010; CONAPO, 2010).

Los fuertes rezagos económicos y sociales de la región de Tierra Caliente, responden en gran medida a las condiciones climáticas extremas presentes en la zona. El clima es seco cálido con lluvias en verano (BSO), en el que dominan las altas temperaturas (28°C de temperatura media anual), y la escasa precipitación (en promedio 650 mm anuales), concentrada entre junio y octubre, que presenta una alta variabilidad interanual,

con años más húmedos y años más secos, que resulta impredecible (Luna-Nieves *et al.*, 2017).

Sólo el 29 % de la población total del municipio de Churumuco (14,366 habitantes), es económicamente activa. De ésta, 46 % se dedica exclusivamente a actividades productivas del sector primario, como la caza para subsistencia, la agricultura de cultivos resistentes a la sequía [principalmente maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench y jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)], la ganadería bovina de pastoreo libre (26,164 cabezas de ganado producidas al año), y a la pesca en la presa Infiernillo [5,312 toneladas anuales de Tilapia (*Coptodon rendalli*, *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus*)]. Estos datos indican que el aprovechamiento de los recursos naturales renovables es la principal actividad económica en este municipio (INEGI, 2010). Este aprovechamiento ha tenido un impacto relativamente bajo sobre la cubierta vegetal (tasa de deforestación <1 % anual; Bocco *et al.*, 2001). Por esta razón en la zona se mantienen grandes porciones de vegetación en un estado de conservación relativamente bueno.

En fuerte contraste con el rezago social tan acentuado en el que vive la población, la región es una de las zonas más biodiversas de México, pues se encuentra en la Provincia Biogeográfica de la Depresión del Balsas, la cual se distingue no sólo por la gran riqueza de plantas que contiene, sino también por la gran proporción de taxa endémicos (Rzedowski, 1978; Fernández-Nava *et al.*, 1998; Rodríguez-Jiménez *et al.*, 2005). Esta característica llevó en el año 2007 al decreto de la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo (RBZI). Esta reserva resguarda alrededor de 267,000 ha y entre sus principales tipos de vegetación se encuentran la selva baja caducifolia y la selva baja subcaducifolia. La creación de esta reserva tuvo como objetivo promover alternativas de desarrollo sustentable que impulsaran el desarrollo social y conservaran la biodiversidad presente en la región (CONANP, 2007). De la extensión total de la reserva, casi 60,000 ha pertenecen al municipio de Churumuco, las cuales se encuentran distribuidas en 12 localidades que forman parte de la zona de amortiguamiento y constituyen el 30 % del territorio del municipio (CONANP, 2007).

La principal forma de tenencia de la tierra en el municipio es el ejido, que es una figura jurídica que surgió a partir de la reforma agraria (1915), en el cual la tierra se administra y distribuye de manera colectiva entre los ejidatarios, y se rige a través de

asambleas comunales, en las que sólo ellos están facultados jurídicamente para tomar decisiones acerca del uso de su territorio. Al municipio lo componen 24 ejidos distribuidos en 114 localidades, siendo la principal, Churumuco de Morelos, en donde se ubica la cabecera municipal (INEGI, 2010). Tres ejidos comparten el territorio en esta localidad: Churumuco, que es el que históricamente habitaba este lugar, Cumuato, y Llano de Ojo de Agua. Estos dos últimos migraron a esta localidad en 1963 debido a que sus tierras fueron inundadas por la construcción de la presa Infiernillo. Sin embargo, cada ejido mantiene su identidad y administra y maneja sus recursos naturales de manera independiente.

El ejido Llano de Ojo de Agua forma parte del área de amortiguamiento de la RBZI, y abarca 2,750 ha distribuidas en un gradiente altitudinal que va de 200 a 1,100 m s.n.m. Al ejido lo conforman 50 ejidatarios, de los cuales sólo 28 están activos. Su nivel de organización es alto, pues tienen asambleas mensuales constantes y autoridades bien definidas. Es una comunidad muy receptiva a la ejecución de proyectos comunitarios, y muestra un gran interés por desarrollar actividades que propicien la conservación de la biodiversidad y que mejoren sus condiciones de vida (Kieffer y Burgos, 2015).

#### *4.2 Historia del vivero Llano de Ojo de Agua*

Durante el período 2003-2007, el ejido Llano de Ojo de Agua se incorporó al Proyecto de Conservación de la Biodiversidad por Comunidades Indígenas (COINBIO), con el objetivo de generar propuestas innovadoras de conservación de la biodiversidad y manejo sustentable de los recursos naturales dentro de su territorio. Desde entonces, fue apoyado y asesorado por el Grupo Balsas para Estudio y Manejo de Ecosistemas A.C., que es una organización civil, con la que realizaron los siguientes proyectos: (1) el inventario de flora y fauna de su territorio, (2) la aplicación de estrategias sustentables para el manejo de fuentes de agua y ganado para el establecimiento de un sistema silvopastoril, (3) reconversión de parcelas agrícolas a sistemas agroforestales, y (4) designación de dos áreas de conservación comunitaria (892 ha), una decretada como UMA (Unidad para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento, Sustentable de la Vida Silvestre) para el aprovechamiento de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus sinaloae*) y otra denominada “El Limón” en donde se prohibieron las actividades agropecuarias.

Tras la realización del proyecto que se llevó a cabo entre 2005 y 2007, en el que algunos de los ejidatarios instalaron pequeños viveros en los patios de sus casas para propagar 120,000 plantas de especies arbóreas nativas de la región, que fueron utilizadas para reconvertir 106 ha de parcelas ganaderas en áreas agroforestales, la comunidad mostró interés por contar con un vivero comunitario en el que pudieran propagar plantas nativas de su ejido. Así, en 2008 y tras haber sido aprobado el proyecto en la asamblea ejidal, bajo el asesoramiento del Grupo Balsas, el ejido impulsó la creación del vivero a través de un financiamiento otorgado por el PROCODES, a través de la RBZI (Tabla 3).

El vivero fue concebido como un proyecto para apoyar las iniciativas de conservación de la biodiversidad del ejido, al mismo tiempo que impulsaba el desarrollo social de la comunidad, planteándose los siguientes objetivos: (1) propagar árboles nativos para reforestar áreas degradadas de la región, (2) desarrollar habilidades locales en la producción de plantas en vivero, (3) desarrollar habilidades locales en la administración de negocios y comercialización de plantas nativas, y (4) generar empleos temporales.

Este vivero fue instalado en un área de uso común del ejido, cerca de un arroyo que presenta manantiales permanentes, en un terreno que mide  $40 \times 35 \text{ m}^2$ , delimitado por postes de fierro PTR y una malla ciclónica que rodea una superficie de  $38 \times 28 \text{ m}^2$ , con una capacidad para producir 50,000 plantas en cada ciclo de producción. La infraestructura de la que dispone incluye 22 platabandas cubiertas por malla sombra, una bodega de concreto, con un área de  $3 \times 3 \text{ m}^2$ , una pila de 750 l, la cual se llena de un pozo que está a 200 m de distancia, y un sistema de riego por aspersión que utiliza una bomba de gasolina de 5.5 HP para transportar el agua.

En 2009 el vivero comenzó a funcionar formalmente a partir del financiamiento recibido por el programa COINBIO (Tabla 3). En ese año se propagaron 30,170 plantas de cinco especies arbóreas nativas, aunque ninguna se vendió. Así mismo, en ese mismo año decidieron constituirse como Cooperativa, con el nombre de "Llano de Ojo de Agua S.C. de R.L. de C.V.", con la intención de tener una figura legal para facturar sus ventas. En 2010, la Cooperativa no contó con financiamiento por lo que no hubo producción de nuevas plantas. Sin embargo, lograron vender 500 de las plantas producidas el año anterior (sólo el 1.2 % del total), y el resto murió por falta de mantenimiento. En 2011, el vivero volvió a recibir otro apoyo del COINBIO con el objetivo de propagar 30,000 plantas de tres especies

nativas, las cuales se donaron para abastecer una campaña de reforestación en 16 ejidos de la región. En 2012 recibieron otro apoyo de PROCODES para realizar ensayos de germinación de especies nativas potencialmente útiles para la reforestación de la zona. Se propagaron alrededor de 34,000 plantas de 10 especies arbóreas. De éstas se vendieron 12,000 en 2013, siendo el único año en el que el vivero reportó ganancias. A partir de ese momento, no volvió a recibir ningún apoyo y careció de ventas importantes, por lo que dejó de funcionar (Tabla 3).

Desde que se construyó el vivero (2008), hasta el último año que funcionó (2014), la empresa comunitaria recibió MXN \$410,000 otorgados a través de dos programas gubernamentales (COINBIO y PROCODES). Durante este período, se crearon 98 empleos temporales, los cuales beneficiaron a mujeres y hombres del ejido, principalmente entre los meses de marzo y julio, período con mayor actividad en el vivero. En total se propagaron 110,007 plantas de 11 especies nativas de la región, de las cuales sólo se vendieron 12,605 (12 %; Tabla 3). El costo unitario de estas plantas fue de entre MXN \$3.5 y 5.

En los años en los que el vivero no recibió apoyo financiero externo, no hubo producción. De acuerdo con los gastos reportados en 2008 (Tabla 4), para producir 30,000 plantas, se invirtieron MXN \$80,101 en los insumos básicos, MXN \$84,600 en recursos humanos y MXN \$66,500 en equipo e infraestructura amortizable. De acuerdo con esta información el costo de cada planta fue de MXN \$6, casi el doble del precio que el vivero estableció para su venta.

Es importante mencionar que para obtener este cálculo, en el caso del equipo de infraestructura amortizable, no se tomó en cuenta el costo total de cada insumo, sino que se calculó su costo anual de acuerdo con su vida útil. Por ejemplo, si el paquete requerido para el sistema de riego tuvo un costo total de MXN \$7,500, pero su vida útil promedio fue de dos años, entonces se consideró que el costo anual del sistema de riego fue de MXN \$3,750. Haciendo este ejercicio para todo el equipo amortizable, los gastos anuales de este rubro fueron de MXN \$15,800. Este monto se sumó a los costos de insumos básicos y recursos humanos, y se dividió entre las 30,000 plantas producidas para obtener el costo unitario promedio de producción. Los detalles de estos gastos se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 3.** Resumen del desarrollo de un vivero comunitario en el ejido Llano de Ojo de Agua, Churumuco, Michoacán, México, entre 2005 y 2014. La fuente de financiamiento se indica después del año: CONAFOR (C); PROCODES (P); ningún apoyo (NA).

<b>Año</b>	<b>Producción</b>	<b>Especies propagadas</b>	<b>Empleos (semanas)</b>
2005-2007 <sup>C</sup>	120,000	<i>Caesalpinia coriaria</i> , <i>Coulteria platyloba</i> , <i>Heteroflorum sclerocarpum</i> , <i>Prosopis leviagata</i>	30 (10 × año)
2008 <sup>P</sup>	15,000	<i>C. platyloba</i> , <i>Enterolobium cyclocarpum</i> , <i>Handroanthus impetiginosus</i> , <i>Swietenia humilis</i>	15 (8)
2009 <sup>C</sup>	30,170	<i>Brosimum alicastrum</i> , <i>C. platyloba</i> , <i>E. cyclocarpum</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>S. humilis</i>	18 (9)
2010 <sup>NA</sup>	—	<i>C. platyloba</i> (sólo venta)	2 (8)
2011 <sup>C</sup>	31,000	<i>C. platyloba</i> , <i>E. cyclocarpum</i> , <i>S. humilis</i>	12 (8)
2012 <sup>P</sup>	33,732	<i>Andira inermis</i> , <i>B. alicastrum</i> , <i>Cordia elaeagnoides</i> , <i>C. platyloba</i> , <i>E. cyclocarpum</i> , <i>G. sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>H. impetiginosus</i> , <i>H. sclerocarpum</i> , <i>S. humilis</i>	14 (8)
2013 <sup>NA</sup>	—	<i>Coulteria platyloba</i> (sólo venta)	5 (8)
2014 <sup>NA</sup>	105	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2 (6)

**Tabla 4.** Costos derivados de la producción de plantas en el vivero Llano de Ojo de Agua en el estado de Michoacán, México. Información obtenida del reporte técnico que elaboró el Grupo Balsas A.C. durante el año 2008 para la producción de 30,000 plantas. Todos los costos están expresados en pesos mexicanos (MXN).

Concepto	Base del cálculo	Cantidad	Costo	
			Unidad	Total
<b><i>Insumos de producción</i></b>				
1. Bolsa plástica	1 kg (83 bolsas 20×24 cm); 100 bolsas ocupan 3.14m <sup>2</sup>	361 kg	26	9,386
2. Sustrato (tierra, arena y abono orgánico en una relación 3:2:1)	Camión con sustrato (tierra, \$3,000, arena \$3,000 y abono orgánico \$2,500). Para 3,000 bolsas 7 camiones.	207.5m <sup>3</sup>	202	41,915
3. Semilla seleccionada de especies nativas	\$1,200/kg de semillas de <i>Coulteriaplalyloba</i> . (4000 semillas en 1 kg).	7.5 kg	1,200	9,000
4. Agua	3,000 l diarios (540,000 l en 6 meses). Una pipa tiene 10,000 l (\$300)	54m <sup>3</sup>	300	16,200
5. Gasolina para bomba	Gasolina por semana (\$150). 6 meses de riego	24 semanas	150	3,600
<b>TOTAL INSUMOS</b>				<b>80,101</b>
<b><i>Recursos Humanos</i></b>				
1. Preparación sustrato y llenado de bolsas	Diez personas 15 días	150 días	150	22,500
2. Germinación semillas y trasplante a bolsa	Cinco personas 30 días	150 días	150	22,500
3. Mantenimiento de la producción (e.g. riego)	Dos personas cuatro meses (120 días)	240 días	150	36,000
4. Administración y comercialización	Una persona un día por semana (4 días al mes) durante seis meses	24 días	150	3,600
<b>TOTAL JORNALES</b>				<b>84,600</b>

Concepto	Base del cálculo	Cantidad	Costo	
			Unidad	Total
<b><i>Equipo e infraestructura amortizable</i></b>				
1. Bomba y accesorios	Vida útil bomba:4 años	1 pieza	5,000	5,000
2. Rollo	Rollo de 300 m <sup>2</sup> (vida útil malla de sombra, 5 años)	4 rollos	6,000	24,000
3. Sistema de riego	Aspersores (100 × \$100 c/u), manguera (\$1,000 rollo de 400 m), tubería PVC e instalación sistema de riego \$3,500 (vida útil, 2 años)	1 paquete	7,500	7,500
				\$30,000
4. Infraestructura	Cercado, limpieza de terreno, puertas, alambrado y bodega (vida útil 5 años)	1 paquete	30,000	
<b>TOTALEQUIPO</b>				<b>66,500</b>

#### 4.3 Problemas y alcances del vivero Llano de Ojo de Agua

Para los viveristas, la infraestructura con la que cuenta el vivero es adecuada, aunque podrían hacer mejoras, como sustituir algunos materiales por otros más resistentes a las condiciones climáticas de la región. Reconocieron que una gran ventaja del vivero es que está ubicado muy cerca de una fuente de agua que permite regar sin dificultades, aun cuando en el ejido el agua es muy escasa durante la época seca del año. Además, aunque el vivero está alejado del poblado, para llegar a él cuentan con un camino adecuado para la movilidad de las plantas para su venta (Tabla 5).

En cuanto a los problemas técnicos involucrados en la producción de plantas, reconocieron que el relacionado con la calidad del sustrato que utilizaron fue el más grave, pues contenía semillas de malezas que competían con las plantas que propagaron. Por otro lado, destacaron la falta de conocimiento de ciertas características biológicas de especies nativas con interés comercial, que requieren conocer para propagarlas, como las que presentan tasas de crecimiento lento (e.g. *Caesalpinia coriaria*) o en las que es difícil romper la latencia de las semillas (e.g. *Cordia elaeagnoides*). Sin embargo, no consideran

que estos problemas sean muy graves y se sintieron confiados en que contando con los recursos financieros necesarios, podrían atenderlos. Por último, aunque al inicio de este proyecto el abastecimiento de semillas, era identificado como una importante traba operativa, después de que los viveristas participaron en un programa de monitoreo comunitario de fenología de especies con interés forestal en la región (Luna-Nieves *et al.*, 2017), adquirieron conocimientos necesarios para la obtención y manejo de las semillas (Tabla 5).

Respecto a lo administrativo, los viveristas señalaron que la falta de claridad acerca del papel que cada integrante de la cooperativa debía desempeñar, y de un reglamento interno que delimitara sus responsabilidades, representaron los problemas que más dificultaron el adecuado funcionamiento del vivero, sobre todo durante los días en los que el trabajo del vivero no era tan intenso y sólo se requería, por ejemplo, regar o dar mantenimiento al área de producción. En algunas ocasiones estas labores no se consideraban en la planeación del trabajo y algunas personas lo hicieron sin recibir paga. Los viveristas señalaron que este problema respondió a la forma en la que recibían el financiamiento externo, el cual no consideraba períodos de trabajo con la extensión de tiempo necesaria para cumplir con sus objetivos. Todos los participantes coincidieron en que de haber contado con apoyo financiero durante al menos tres años consecutivos, habrían podido lograr mejores resultados, desarrollando estrategias de administración más eficientes que aseguraran la continuidad del proyecto. Por el contrario, con el esquema en el que funcionaron, cada año se plantearon objetivos diferentes, que no tenían como meta lograr que el vivero fuera capaz de vender plantas, sino sólo de producirlas (Tabla 5).

Finalmente, la comercialización fue el área operativa en la que el vivero enfrentó las mayores dificultades para cumplir con el objetivo de generar ganancias económicas. La competencia con viveros institucionales fue un problema que los viveristas señalaron como importante. El método de producción que adoptaron resultó ser muy costoso, lo que ocasionó que el precio que ofrecían por planta fuera relativamente elevado. Por ejemplo, *Coulteria platyloba* (Leguminosae), que es una de las especies más demandadas en la región para utilizarse en diferentes campañas de reforestación, era vendida en viveros de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) entre MXN \$4 y 5, mientras que al vivero le costaba un peso más su producción. Por esto, aun cuando las plantas producidas en el

vivero eran de mucho mejor calidad, no lograron colocarlas en el mercado. Una de las soluciones que propusieron fue utilizar bolsas más chicas para abaratar los costos de producción y vender las plantas de menor tamaño. Por otro lado, los viveristas señalaron que la falta de personal capacitado para explorar las posibilidades de mercado o conocer las necesidades específicas de los clientes potenciales, ocasionaron que no pudieran vender las plantas propagadas. Todos coincidieron en que de haber contando con asesoría específica para el desarrollo de estrategias de mercadotecnia eficaces, habrían logrado colocar su producto en el mercado, es decir, en su opinión, la falta de mercado no fue un impedimento importante para vender, sino la poca capacidad con que contaban para hacerlo. No obstante, mencionaron que los precios de las plantas eran inaccesibles para los consumidores locales, por lo que su mercado potencial se limitaba a instituciones gubernamentales como la RBZI, las autoridades municipales, o asociaciones civiles como el Grupo Balsas, quienes tenían la posibilidad de pagar un precio justo por las plantas producidas y además, podían hacer pedidos específicos en grandes volúmenes (Tabla 5).

Es interesante hacer notar que, a pesar de haber una aparente contradicción con lo descrito en párrafos anteriores, en los talleres los viveristas mencionaron que su proyecto fue "exitoso" en el mediano plazo, pues aunque no logró ser una empresa autosustentable, mientras recibieron financiamiento externo fueron capaces de producir el número de plantas al que se comprometieron. Reconocieron este logro como un objetivo importante que cumplió el vivero en términos de la conservación de la vegetación de su ejido, pues tuvieron la oportunidad de propagar especies nativas de interés para la comunidad que tienen una abundancia baja en su ejido (e.g. *Caesalpinia coriaria*), una distribución muy restringida (e.g. *Swietenia humilis*), o son endémicas de la región (e.g. *Heteroform sclerocarpum*). Por otro lado, también argumentaron que la creación de empleos temporales significó otra meta que cumplió adecuadamente el vivero, pues les permitió crear oportunidades económicas en su misma comunidad, en particular para las mujeres, para quienes las actividades remuneradas son muy restringidas. Finalmente, identificaron como otro logro que los viveristas adquirieron diferentes habilidades para propagar especies nativas de las que tenían previamente poco conocimiento.

**Tabla 5.** Problemas identificados en las cuatro principales áreas operativas del vivero (infraestructura, producción, administración y comercialización) Llano de Ojo de Agua, en Michoacán, México, y escala de valoración del problema: magnitud (5, crítico; 4, muy grave; 3, grave; 2, moderado; 1, leve; 0, insignificante), y evolución (5, muy negativa; 4, negativa; 3, regular; 2, indiferente; 1, por resolverse; 0, positiva). El valor considera la importancia del problema y la urgencia de la intervención para resolverlo: baja (0-3), media (4-7), alta (8-10).

Problemas	Escala de valoración		
	Magnitud	Evolución	Valor
<b><i>Infraestructura</i></b>			
1. Estructura poco resistente al clima	1	2	3
<b><i>Producción</i></b>			
1. Sustrato con semillas de malezas	3	3	6
2. Propagación de especies de lento crecimiento	3	2	5
3. Tratamientos pre-germinativos	3	2	5
4. Ubicación de fuentes semilleras de alta calidad	2	1	3
5. Épocas óptimas de recolección de semillas	2	1	3
<b><i>Administración</i></b>			
1. Falta de reglamento de trabajo	3	1	4
2. Períodos de financiamiento institucionales cortos	5	4	9
3. No se generan ganancias económicas	5	4	9
<b><i>Comercialización</i></b>			
1. Competencia negativa con CONAFOR	4	5	9
2. Carencia de estrategias de mercadotecnia	5	5	10
3. Ausencia de un encargado de ventas	5	5	10
4. Falta de estudio de mercado para planear producción	5	5	10

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Impacto del PROCODES en los PCDI en México

El diseño institucional del PROCODES está planteado desde la demanda, es decir, la CONANP, que es la agencia de gobierno que lo administra, publica la convocatoria para que las comunidades interesadas presenten sus solicitudes, y las analiza, para después asignar fondos a las mejores propuestas. Este es un enfoque innovador que está más acorde con los nuevos paradigmas de la conservación, pues busca favorecer la organización social y la acción colectiva a través del apoyo a intereses genuinos de la comunidad; a diferencia

de lo que hacían antiguos programas, que ofrecían paquetes técnicos o acciones pre-establecidas a beneficiarios particulares que el mismo gobierno buscaba a través de promotores.

En este nuevo enfoque no se privilegia la evaluación del desarrollo de cada PCDI que se apoya, sino que se analiza el alcance del programa de manera integral. Por esto, los indicadores de evaluación con los que cuenta están orientados a conocer su cobertura midiendo el grado de participación de la población indígena y no indígena que habita en las ANP y sus zonas de influencia (distinguiendo entre mujeres y hombres), el área que atiende cada proyecto y verificando si el monto asignado a cada proyecto es igual al que ejerce (CONANP, 2010). El hecho de que el PROCODES, al igual de otros programas de la misma índole, no cuente con evaluaciones del impacto que tiene cada PCDI, deja grandes interrogantes sobre el verdadero alcance que tiene para fomentar la conservación de la biodiversidad y el desarrollo comunitario. Aun con estas carencias de información, el análisis realizado en este trabajo arrojó datos importantes que pueden guiar el diseño de la implementación futura de PCDI apoyados por el PROCODES, las cuales se discuten a continuación:

### **Claridad en los objetivos de cada PCDI**

La gran mayoría de los proyectos financiados por el PROCODES no especifica claramente los objetivos que se plantea, lo que da cabida a la inclusión de muchos PCDI con objetivos ambiguos que probablemente no buscan abordar la conservación y el desarrollo en un mismo planteamiento. Por otro lado, la falta de claridad en los objetivos que persigue cada PCDI, hace que se comentan errores al clasificarlos en alguno de los cuatro rubros que apoya el programa. Por ejemplo, en algunos casos los proyectos productivos tuvieron como objetivo la capacitación para transformar recursos naturales, mientras que en el rubro de cursos de capacitación se encontraron proyectos persiguiendo el mismo objetivo.

Esta falta de claridad en los objetivos de los PCDI ha sido reportada como uno de los problemas más comunes a los que se enfrentan muchos programas de conservación (Kapos *et al.*, 2008), por lo que para avanzar en el éxito de estos proyectos, es urgente tomar acciones que consideren esta limitante.

### **Desigualdad en el tipo de proyectos que apoya**

Los resultados de este estudio resaltan la preferencia que el PROCODES dio a la realización de proyectos comunitarios (79 %), sobre aquéllos que buscaban generar información básica para su implementación (cursos de capacitación o estudios técnicos, 18 %). Esta desigualdad va en detrimento de la formación y mantenimiento del capital social y afecta negativamente el desarrollo de los PCDI, los cuales, por regla general, deberían contar con estudios ecológicos y sociales que justifiquen su desarrollo (Salafsky *et al.*, 2001). En este sentido, sería importante fomentar que las comunidades realicen un mayor número de proyectos básicos que permitan obtener resultados más efectivos en los diferentes proyectos. Sin embargo, debe reconocerse que el componente de proyectos comunitarios del PROCODES incentivó eficazmente el desarrollo de nuevas actividades productivas que no son comunes en las zonas en donde se implementan, como la venta de plantas y animales poco comerciales, el ecoturismo y la certificación de producción orgánica, entre otras.

### **Participación equitativa**

El hecho de que en la mayoría de proyectos incluidos en el PROCODES la participación de las mujeres haya sido ligeramente mayor que la de los hombres (56.7 % del total de participantes, aunque sin olvidar que esta proporción osciló entre 41.9 y 70.5 % anualmente; Tabla 1), indica que el énfasis que hace este programa por incentivar la participación equitativa de ambos géneros está generando los resultados esperados en muchas regiones del país.

#### *5.2 Impacto del PROCODES en los viveros comunitarios en México*

Los viveros comunitarios sólo representaron el 11 % del total de proyectos que apoyó el PROCODES entre 2010 y 2016 (intervalo 5.3-12.2 %). No obstante, al hacer un análisis más detallado del tipo de PCDI que se incluyen en este programa, resalta el hecho de que entre los proyectos productivos, los viveros comunitarios fueron los más solicitados por las comunidades de las ANP en México, representando casi el 30 % de este tipo de PCDI (Fig. 1), lo que muestra la buena aceptación que tienen en el país.

El aporte que los viveros comunitarios tienen al desarrollo social de las comunidades que los implementan es mucho más claro que el que pueden tener para conservar la biodiversidad, puesto que en términos del desarrollo, permiten que las comunidades se capaciten en la propagación de especies nativas y fomentan la organización comunitaria, independientemente de si los viveros generan o no ganancias económicas. Sin embargo, la manera en la que influyen en la conservación de la biodiversidad, en algunos casos, es mucho menos clara. Por ejemplo, en el período analizado, los viveros hortícolas fueron los más solicitados (41 %, Tabla 1). Se podría pensar que al fomentar la propagación de especies arbóreas frutales, podría reducirse la extracción de estos recursos en sus áreas naturales de distribución. Por otro lado, al propagar especies hortícolas (e.g. jitomate, zanahoria, lechuga), se podría propiciar una disminución en las presiones de cambio de uso de suelo. No obstante, dado que estos objetivos no se especifican en el planteamiento del proyecto, es difícil determinar si este tipo de viveros podrían ligar la conservación de la biodiversidad con el desarrollo rural. En los viveros forestales esta interrogante es menos importante, pues la propagación de especies nativas con el objetivo de recuperar la vegetación en áreas naturales degradadas, tiene implícito un claro componente de conservación.

### **Viveros comunitarios en Michoacán, México**

En esta investigación se evaluó con mayor detalle la contribución del PROCODES en Michoacán (Tabla 2), por ser uno de los estados de México con mayor rezago social en donde se conserva una proporción importante de la selva baja caducifolia y subcaducifolia del país (Palacio-Prieto, *et al.*, 2000), que son comunidades con una alta prioridad a nivel mundial (Olson y Dinerstein, 1998; Miles *et al.*, 2006). Al respecto, resultó interesante que el desarrollo de nuevos proyectos productivos en las áreas biodiversas de Michoacán fue un poco menor al observado a nivel nacional. Esta situación puede ser resultado de que, en muchas de las comunidades del estado de Michoacán, las reglas de operación del PROCODES imponen exigencias difíciles de cubrir, que limitan el acceso a los apoyos del programa. Para que una comunidad se pueda beneficiar de los apoyos que éste ofrece, es necesario que cuente con documentos agrarios en regla, y que presente una propuesta formal del proyecto. Este grado de exigencia requiere que en las comunidades haya

personas con estudios medio superiores que sean capaces de elaborar estas propuestas, o que cuenten con la asesoría de alguna asociación civil, institución educativa, u otro actor externo. Estas condiciones son difíciles de cumplir en muchas comunidades marginadas de Michoacán, en donde el nivel de analfabetismo se encuentra entre los más altos de México (CONAPO, 2010), y además, son comunes las actividades delictivas asociadas al narcotráfico, las cuales limitan fuertemente el acceso de actores externos. Esta situación ya fue señalada en otros estudios que evalúan la eficacia de programas con el mismo enfoque que el PROCODES, los cuales señalan la urgencia de adaptar su diseño a las características de la población blanco para hacerlos más accesibles (Chapela, 2006).

De los 32 estados en los que el PROCODES tuvo injerencia, Michoacán ocupó el lugar 19 por el número de viveros que se establecieron entre 2010 y 2016 (27 en total), una cifra baja en relación con los estados que ocuparon los primeros lugares, como Chiapas o Sonora, en donde se apoyaron un total de 333 y 192 viveros, respectivamente, pero una cifra importante si se compara con estados como Aguascalientes o Colima, en donde sólo se establecieron dos viveros durante los siete años de análisis. Sin embargo, en Michoacán, aunque los viveros fueron una de las principales actividades productivas que las comunidades que habitan en las ANP están interesadas en realizar, los proyectos ecoturísticos fueron ligeramente más solicitados. Esta tendencia quizá se deba a la privilegiada localización geográfica del estado, que abre la posibilidad de ampliar el mercado turístico, de forma que mejore las condiciones de vida de las poblaciones que habitan en zonas costeras, boscosas y de selvas secas (Kieffer y Burgos, 2015).

### *5.3 Viabilidad del vivero comunitario Llano de Ojo de Agua*

Los criterios que definen el éxito de un PCDI varían según las percepciones individuales y las tendencias de desarrollo (Salafsky *et al.*, 2001). Por tanto, hablar de lo que se considera viable puede resultar controversial, sobre todo en este tipo de proyectos que incluyen las dimensiones ecológica, económica y social en un mismo planteamiento. En esta investigación, los viveristas consideraron al vivero Llano de Ojo de Agua como un proyecto exitoso, pues a pesar de que no lograron ser una empresa autosustentable en términos económicos, sí percibieron avances en la construcción de capital natural, económico y social en su comunidad, los cuales se discuten a continuación.

### 5.3.1 Conservación de la biodiversidad

La manera en la que el vivero Llano de Ojo de Agua abordó la conservación de la biodiversidad fue a través de la propagación de árboles nativos para reforestar áreas degradadas. En este sentido, durante los siete años en los que el vivero estuvo en funcionamiento, la comunidad seleccionó 11 especies arbóreas nativas para propagar, las cuales, desde su perspectiva, eran importantes de reintroducir en áreas degradadas, ya sea por algún uso conocido, por su baja abundancia en el ejido, o porque tenían potencial para ser vendidas en la región (Tabla 3). Sin embargo, el 70 % de su producción estuvo concentrada en una sola especie, *Coulleria platyloba*, que es la más frecuentemente utilizada para reforestar áreas degradadas debido a su rápido crecimiento, su capacidad para establecerse en sitios degradados y su fácil propagación en condiciones de vivero. El 30 % de la producción restante estuvo representado por 10 especies que no se pudieron producir en volúmenes mayores, ya sea porque los viveristas desconocían las características biológicas de sus semillas, tuvieron acceso limitado a ellas, o porque su demanda fue muy baja o nula. Aun cuando el número de especies que se propagaron fue bajo, el hecho de haberse enfocado en árboles nativos de selvas secas, que no es posible encontrar en ningún otro vivero, señala la relevancia de su labor para mantener ciertos componentes de la vegetación regional. Ahora bien, para conocer el aporte real que tuvo esa producción, habría sido deseable contar con un seguimiento más preciso del destino final de esas plantas y evaluar, por ejemplo, cuántas se plantaron, el área que se reforestó con ellas y/o qué tan buena fue su supervivencia.

No hay duda de que para cumplir con el objetivo de conservación que este vivero se planteó, se requería no sólo planear la propagación de especies nativas, sino también contemplar cómo se utilizarían las plantas para reforestar áreas degradadas. No obstante, la forma en la que trabajó el vivero no permitió definir el destino de las plantas una vez que tuvieron el tamaño adecuado para trasplantarse. Por ejemplo, la mayor parte de la producción de 2009 y 2012 se perdió, debido a que los estatutos de operación de las instancias financiadoras, sólo priorizaban el cumplimiento de la propagación de cierto número de plantas y no contemplaron los costos implícitos en su mantenimiento, entrega y venta. Esta falta de planeación institucional y comunitaria generó fuertes pérdidas

monetarias y de trabajo de los viveristas, las cuales repercutieron negativamente en su interés por el proyecto, pues en sus palabras "*el esfuerzo de sembrar tanta semillita no sirvió de nada, sólo nos generó más trabajo porque al año siguiente tuvimos que desenterrar muchos árboles de hasta 2 m de altura que habían enraizado en el suelo y se murieron*". En fuerte contraste, cuando al propagar las plantas se sabía para qué iban a ser utilizadas, como sucedió en 2011, no hubo pérdidas en la producción.

Por último, con respecto a los aportes del vivero a la conservación, éste fue una herramienta muy importante de educación ambiental en la comunidad, que permitió la transferencia de conocimiento inter e intra generacional en un espacio único que no existía en el ejido. Las diferentes actividades que se realizaron en el vivero concientizaron a los más de 40 viveristas que participaron en el proyecto, acerca de la importancia de conocer y valorar sus recursos naturales. Las salidas que se realizaron para recolectar semillas en las áreas de conservación comunitaria, dieron oportunidad de que mujeres, jóvenes y niños, conocieran partes de su territorio que nunca habían visitado. Otras actividades como el procesamiento de semillas, o la preparación de sustrato para germinarlas, resaltaron la relevancia que tiene el conocimiento de aspectos básicos de la biología de las especies, que es crucial para manejarlas adecuadamente, así como lo importante que es mantener áreas de vegetación en buen estado de conservación para poder obtener semillas de buena calidad.

### *5.3.2 Desarrollo social*

La formación del capital social a través del desarrollo de PCDI, se refiere a la creación de mecanismos de organización social (e.g. redes de interacción, establecimiento de normas, relaciones de confianza en un grupo, etc.), que faciliten la coordinación y cooperación para la resolución de problemas compartidos, y que se reflejen en beneficios para la misma comunidad (Putman, 1995). En el vivero Llano de Ojo de Agua, la construcción de capital social se abordó buscando la capacitación de la comunidad para saber cómo propagar especies nativas. Tras la conclusión del proyecto, todos los viveristas coincidieron en que este objetivo se cumplió a cabalidad, pues durante los siete años que estuvo en funcionamiento, las personas involucradas en el proyecto adquirieron los conocimientos y habilidades necesarios para propagar, a través de semillas, 11 especies nativas, de las cuales tenían poco o nulo conocimiento previo.

De esta manera se hizo evidente, el desarrollo de capital social y humano como consecuencia de la operación del vivero, no sólo a través de la capacidad de los viveristas para propagar las plantas que les solicitaron, sino también a través del fortalecimiento de distintas habilidades que antes de poner en funcionamiento el vivero no tenían como comunidad. Estas habilidades incluyen: (1) capacidad para seleccionar las mejores propuestas operativas para mejorar el funcionamiento del vivero (e.g. qué tipo de sustrato utilizar, elegir las mejores épocas para recolectar, almacenar, limpiar o germinar semillas, etc.), las cuales surgían de la misma comunidad, (2) capacidad para sistematizar la información que generaron al poner en marcha cada campaña de producción y habilidad para transmitir de manera más clara este conocimiento, (3) interés por consolidar redes sociales con actores externos a la comunidad provenientes de la academia o la sociedad civil, con el fin de implementar nuevas formas de participación en el funcionamiento del vivero y (4) adquisición de experiencia no relacionada directamente con la propagación, como el trato formal con otras comunidades, la compra de materiales en regiones alejadas de la comunidad para conseguir mejores precios, el manejo de cuentas bancarias, entre otras. Todos estos mecanismos de organización contribuyeron significativamente a que se fomentara la participación directa de la comunidad en la gestión del proyecto.

### *5.3.3 Desarrollo económico*

Aunque no todos los viveros establecidos con un enfoque de PCDI se proponen obtener ganancias económicas a través de las plantas que producen, el vivero Llano de Ojo de Agua sí se planteó este objetivo de manera indirecta, buscando generar empleos temporales y fomentando el desarrollo de habilidades en los miembros de la comunidad referentes a la administración de negocios y la comercialización de plantas. No obstante, en el período en que el vivero funcionó, no logró ser independiente de los apoyos económicos externos, hecho que puede ser explicado por diferentes causas. De acuerdo con la percepción de los viveristas, la razón principal fue la falta de habilidades para manejar un negocio, no sólo de la comunidad misma, sino también de las instituciones que apoyaron este proyecto, quienes no evaluaron la viabilidad económica de la propuesta y no analizaron si existía un mercado local o regional donde se pudieran vender las plantas (Tabla 5). Sin embargo, al analizar el desarrollo de este proyecto y las dificultades a las que se enfrentó, quedó claro que, además

de la falta de experiencia en el manejo de negocios, intervinieron otros factores que impidieron generar ganancias económicas. Entre ellos destaca el período de financiamiento que establecen los programas que apoyaron este proyecto, el cual alcanzó una calificación alta como un problema que debe resolverse con urgencia. Los viveristas coincidieron en que, de haber contado con ciclos más amplios de apoyo, les habría sido más fácil generar un plan de negocios encaminado a la venta de las plantas. Hallazgos similares se han reportado en otros estudios, en los que señalan que los viveros sólo podrán ser autofinanciables si disponen con un mínimo de ocho años de apoyo continuo (Botha *et al.*, 2005, 2006). Otro factor que dificultó la generación de ganancias fue que el precio de las plantas era inaccesible a nivel local; sin embargo, los costos de su producción impidieron disminuir el precio por planta. La lectura de esto es que la investigación de mercado y la evaluación de diferentes modelos de producción son fundamentales para buscar la viabilidad económica de este tipo de proyectos. A pesar de la incapacidad del vivero para funcionar como empresa autosustentable, una meta muy importante que cumplió fue que logró generar 92 empleos temporales durante el período en el que funcionó, los cuales contribuyeron sustancialmente a mejorar el ingreso de los participantes, pues en el ejido las condiciones de vida son muy restrictivas y hay muy pocas oportunidades de desarrollo.

Por último, la formación de capital económico no sólo se refiere a la acumulación de dinero, sino también de infraestructura productiva en la comunidad, la cual cuenta ahora con un vivero que tiene la capacidad de producir 50,000 plantas anuales, cuestión que también fue reconocida como un logro por los viveristas (Tabla 5).

La documentación del origen y desarrollo de este vivero, brindó información valiosa que permite entender mejor en qué circunstancias tendría sentido promover proyectos de este tipo, pero sobre todo, en cuáles no, resaltando así la relevancia de conocer las condiciones locales específicas en las que se impulsa el establecimiento de los viveros comunitarios. Sólo sí se cuenta con este conocimiento se pueden tener elementos que ayuden a incrementar su viabilidad, no sólo en el corto plazo, sino también en el largo plazo.

#### 5.4 ¿Cómo se debería evaluar la viabilidad de los viveros comunitarios?

Los resultados de esta investigación resaltan la urgencia de contar con un marco de evaluación estandarizado que permita realizar un análisis sistemático de la viabilidad de los viveros comunitarios, o de cualquier otro PCDI, con el fin de usar los recursos que se destinan a estos proyectos de la manera más eficiente posible. Estas evaluaciones deberían basarse en tres condiciones básicas (Margoluis *et al.*, 2009; McShane, *et al.*, 2011; Agol *et al.*, 2014): (1) cada vivero tendría que establecer claramente sus objetivos, especificando la escala temporal y espacial a la que se espera que se cumplan, y reconociendo las disyuntivas a las que se enfrentarán al abordar la conservación y el desarrollo bajo un mismo planteamiento, (2) definir indicadores claros y de fácil medición para evaluar los efectos de las acciones realizadas en los objetivos planteados, y (3) contar con información biológica y socioeconómica que permita evaluar los indicadores seleccionados.

A continuación se presenta una propuesta para sistematizar la evaluación de la viabilidad de los viveros comunitarios (Tabla 6). Una vez que se han establecido claramente alguno de los objetivos específicos que un vivero comunitario puede plantearse en el dominio ecológico, económico y social, se muestra la hipótesis en la que este objetivo generalmente se apoya y se dan algunos ejemplos de los requerimientos que serían necesarios para abordar ese objetivo, y de los indicadores que podrían utilizarse para evaluar su éxito. Por ejemplo, el objetivo en el dominio ecológico que se planteó el vivero comunitario estudiado en esta investigación fue propagar especies nativas para reforestar áreas degradadas, bajo el supuesto de que esas plantas podrían cubrir la demanda de los programas de restauración. En ese caso, un requerimiento indispensable para poder cumplir con ese objetivo era que la comunidad contara con la capacitación necesaria para poder propagar dichas especies, y uno de los indicadores que pudo utilizarse para evaluar el cumplimiento de dicho objetivo podría haber sido si el número de plantas que se produjeron en el vivero fueron suficientes para abastecer la demanda, o el área que se logró reforestar a partir de su propagación. Por otro lado, en el dominio social el vivero buscó incentivar que la comunidad se capacitara en la administración de negocios para asegurar su buen funcionamiento, para lo cual requerían que actores externos los asesorarán durante todo el proceso de capacitación. Un indicador del éxito de este objetivo pudo haber sido si el vivero logró cumplir con las metas que se planteó en el proceso de producción (colecta de semillas, preparación de sustrato, aplicación de tratamientos pre-germinativos, etc.)

**Tabla 6.** Propuesta metodológica para sistematizar la evaluación de la viabilidad de los viveros comunitarios de acuerdo con los objetivos específicos que persigan en el dominio ecológico, económico y social. Se muestran algunos ejemplos de los requerimientos necesarios para cumplir con el objetivo planteado, la hipótesis en la que se apoya cada objetivo y algunos indicadores de éxito que se pueden seleccionar .

<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>Indicador de éxito</b>
<i>Dominio ecológico</i>			
1. Propagar plantas nativas de interés local/regional que estén amenazadas o en alguna categoría de riesgo	1. La propagación de especies reducirá su explotación en las ANP e incentivará su conservación	1. Conocimiento de características ecológicas básicas de las poblaciones de interés (e. g. fenología, reproducción, estado de la población, área de distribución, variación fenotípica)	1. Abundancia y distribución de las especies, 2. Número de especies propagadas, 3. Cambios en las prácticas de manejo de las poblaciones de interés
2. Propagar plantas nativas para restaurar/reforestar áreas degradadas	2. El número de plantas propagadas cubrirá la demanda de programas de reforestación/restauración	1. Percepción del proyecto (necesidades y expectativas de la comunidad), 2. Disponibilidad de especies arbóreas que prefiere la comunidad, 3. Tenencia de la tierra, 4. Capacitación, 5. Creencias culturales, educación ambiental	1. Número de plantas propagadas, 2. Área reforestada (ha), 3. Nivel de participación de la(s) comunidad(es) en actividades de reforestación

<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>Indicador de éxito</b>
<b><i>Dominio económico</i></b>			
1. Vender plantas nativas útiles a nivel local o regional	1. La venta de plantas generará ganancias económicas al vivero	1. Existencia de mercado, estrategias de mercadotecnia. 2. Infraestructura vial e insumos (agua, sustrato, herramientas). 3. Políticas públicas ambientales y comerciales, 4. Ubicación del vivero, planeación del trabajo	1. Ingreso que cada participante obtiene del proyecto obtiene. 2. Creación de empleos temporales financiados por actores externos o de la comunidad. 3. Número de plantas vendidas
<b><i>Dominio social</i></b>			
2. Crear capacidad local para propagar especies nativas	2. El conocimiento de técnicas apropiadas para propagar plantas nativas asegurará una producción de alta calidad	1. Capacitación para la recolección de material adecuado para propagar, técnicas de propagación sexual y asexual, manejo de semillas, etc. 2. Autonomía de la comunidad en monitoreo de procesos ecológicos a largo plazo	1. Productividad (número de plantas), 2. Calidad plantas (supervivencia en vivero y campo), 3. Número de especies nativas propagadas en el vivero

#### 5.4 Consideraciones finales

Los viveros comunitarios establecidos con un enfoque de PCDI funcionan, pero no de la manera en la que se concibieron teóricamente. Después de más de 30 años en los que se ha impulsado su desarrollo, es urgente contar con evaluaciones rigurosas que permitan conocer el verdadero alcance que tienen para fomentar la conservación de la biodiversidad y el desarrollo rural. Para ello, es necesario replantearse muchas de las suposiciones que sustentan su desarrollo, con base en la generación y análisis de información sólida a nivel ecológico, económico y social, que permita contar con indicadores claros de evaluación. Además, es necesario partir de la premisa de que en la implementación de todos los PCDI, no sólo de los viveros comunitarios, siempre estarán implícitas disyuntivas entre cumplir por completo con las expectativas de la conservación de la biodiversidad, o con las del desarrollo socioeconómico. Si esto no se reconoce explícitamente desde el momento en que se planea su ejecución, no será posible avanzar adecuadamente. Por otro lado, el manejo sustentable de los recursos naturales es un proceso social que conlleva una autocorrección continua de lo que funciona o no en un determinado lugar y tiempo, por lo que incluir la visión de manejo adaptativo (Folke *et al.*, 2002), es crucial para poder responder de manera más adecuada a la complejidad intrínseca de los sistemas socio-ecológicos en los que se desarrollan proyectos "sencillos" como los viveros comunitarios. Por último, para tener resultados positivos en su implementación debe reconocerse que ningún actor social (comunidades, instancias gubernamentales, asociaciones de la sociedad civil, miembros de la academia) posee individualmente las capacidades necesarias para lidiar con todos los procesos involucrados en el desarrollo de los PCDI, por lo que es indispensable desarrollar sinergias que apoyen el interés genuino que algunas comunidades tienen por diversificar sus actividades productivas, conciliando las metas de la conservación de la biodiversidad con las del desarrollo rural.

#### **AGRADECIMIENTOS**

El presente manuscrito forma parte de la tesis doctoral que la autora principal desarrolló en el Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, para el cual contó con una beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Se agradece al Grupo Balsas A. C. por aportar información relacionada con

la administración de los viveros. Así mismo, se reconoce la valiosa ayuda que brindaron en la realización de todo el proyecto los señores Lorenzo Sánchez Sánchez y Misael Rojas López. Los viveristas del ejido Llano de Ojo de Agua mostraron una gran apertura durante la realización de este trabajo, por lo que les agradecemos su participación.

## LITERATURA CITADA

- Adams, W.M., R. Aveling, D. Brockington, B. Dickson, J. Elliott, J. Hutton, D. Roe, B. Vira y W. Wolmer (2004) Biodiversity conservation and the eradication of poverty. *Science*, 306:1146–1149
- Adriansen, H. K. (2012). Timeline interviews: A tool for conducting life history research. *Qualitative Studies*, 3:40–55
- Barrett, C.B. y P. Arcese (1995) Are Integrated Conservation-Development Projects (ICDPs) sustainable? On the conservation of large mammals in Sub-Saharan Africa. *World Development*, 23:1073–1084
- Bauch, S.C., E.O. Sills y S.K. Pattanayak (2014) Have we managed to integrate conservation and development? ICDP Impacts in the Brazilian Amazon. *World Development*, 64:135–148
- Bedford, K.H. y A. Tayber (2000) Writing the wrongs: Developing a safe-fail culture in conservation. *Conservation Biology*, 20:1567–1568
- Bocco, V.G. y M.E. Mendoza (1999) El Caso de Michoacán de Ocampo. Carta Geológica de Michoacán. Escala 1:250000. En: Corona-Chávez, P. e I. Israde-Alcántara (Eds.). *La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán 74–90 . pp.
- Bocco, V.G., M.E. Mendoza y O.R. Masera (2001) La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Boletín del Instituto de Geografía*, 44:18–38
- Böhringer, A., E.T. Ayuk, R. Katanga y S. Ruvuga (2003) Farmer nurseries as a catalyst for developing sustainable land use systems in southern Africa. Part A: Nursery productivity and organization. *Agricultural Systems*, 77:187–201

- Böhringer, A. y E.T. Ayuk (2003) Farmer nurseries as a catalyst for developing sustainable land use systems in southern Africa. Part B: Support systems, early impact and policy issues. *Agricultural Systems*, 77:203–217
- Brockington, D., J. Igoe y K. Schmidt-Soltau (2006) Conservation, human rights, and poverty reduction. *Conservation Biology*, 20:250-252
- Botha, J., E.T.F. Witkowski y J. Cock (2005) A review of nurseries as conservation or social forestry outreach tools. *International Journal of Biodiversity Science and Management*, 1:33–51
- Botha, J., E.T.F. Witkowski y J. Cock (2006) The South African experience of conservation and social forestry outreach nurseries. *Environmental Management*, 38:733–749
- Brandon, K.E. y M. Wells (1992) Planning for people and parks: Design dilemmas. *World Development*, 20:557–70
- Brooks, J., K.A. Waylen y M. Borgerhoff (2012) How national context, project design, and local community characteristics influence success in community-based conservation projects. *Proceedings of the National Academic of Science*, 52:21265–21270.
- Bruner, A.G., R.E. Gullison, R.E. Rice y G.A. da Fonseca (2001) Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science* 291:125-8
- Bunge, V. (2012) “Los núcleos agrarios y su relación con la conservación de los recursos naturales”. Documento de Trabajo de la Dirección General de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, Instituto Nacional de Ecología, México.
- CONANP [Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas] (2007) *Memoria de la Consulta Pública de la Reserva de la Biosfera Zicuirán Infiernillo, en el estado de Michoacán*. México, D.F., 39 pp.
- CONAPO [Consejo Nacional de Población] (2010) *Índice de marginación por localidad. Colección Índices Sociodemográficos*. (Eds. de la Vega-Estrada, S., Téllez-Vázquez, Y. y López-Ramírez, J). Fondo población de las naciones unidas. México D.F.
- CONEVAL [Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo] (2013) *Ficha de Monitoreo del Programa para la Conservación y el Desarrollo (PROCOCODES)*. México, D.F.

- Folke, C., S. Carpenter, T. Elmqvist, L. Gunderson, C.S. Holling, y B. Walker (2002) Resilience and sustainable development: Building and adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio*, 5:437–440
- Garnett, S.T., J.A. Sayer y J. du Toit (2007) Improving the effectiveness of interventions to balance conservation and development: a conceptual framework. *Ecology and Society*, 12:2
- Gurney G.G., J. Cinner, N.C. Ban, R.L. Pressey, R. Pollnac, S.J. Campbell, S. Tasidjawa y F. Setiawan (2014) Poverty and protected areas: An evaluation of a marine integrated conservation and development project in Indonesia. *Global Environmental Change*, 26:98–107
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía] (2010) *Censo de población y vivienda. Información de interés nacional*. México, Aguascalientes, 294 pp.
- Kieffer, M. y A. Burgos (2015) Productive identities and community conditions for rural tourism in Mexican tropical dry lands. *Tourism Geographies: An international Journal of Tourism Space, Place and Environment*, 17:561–585
- Kremen, C., A.M. Merenlender y D.D. Murphy (1994) Ecological monitoring: A Vital need for integrated conservation and development programs in the tropics. *Conservation Biology*, 8:6
- Margoluis, R., C. Stem, N. Salafsky y M. Brown (2009) Using conceptual models as a planning and evaluation tool in conservation. *Evaluation and Program Planning*, 32:138–147
- Margoluis, R. y N. Salafsky (1998) *Measures of success: Designing, managing, and monitoring conservation and development projects*. Washington, D.C., Island Press.
- McShane, T.O., P.D. Hirsch, T. Trung, A.N. Songorwa, A. Kinzig, B. Monteferri, D. Mutekanga, H.V. Thang, J.L. Dammert, M. Pulgar-Vidal, M. Welch-Devine, J.P. Brosius, P. Coppolillo y S. O'Connor (2011) Hard choices: Making trade-offs between biodiversity conservation and human well-being. *Biological Conservation*, 144:966–972
- Miles, L., A.C. Newton, R.S. DeFries, C. Ravilious, I. May, S. Blyth, V. Kapos y J.E. Gordon (2006) A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography* 33:491–505

- Naughton-Treves, L., M. Buck y K. Brandon (2005) The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. *Annual Review of Environmental Resources*, 30:219–252
- Newing, H. (2011). *Conducting research in conservation: Social sciences methods and practice*. New York, NY: Routledge.
- Newmark, W.D. y J.L. Hough (2000) Conserving wildlife in Africa: Integrated conservation and development projects and beyond. *Bioscience*, 50:585–592
- Olson, D.M. & E. Dinerstein (2002) The Global 2000: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89:199–224.
- Orozco-Quintero, A. y I. Davisdon-Hunt (2010) Community-based enterprises and the commons: the case of San Juan Nuevo Parangaricutiro, Mexico. *International Journal of the Commons*, 4:8–35
- Palacio-Prieto, J.L., G. Bocco, A. Velázquez, J.-F. Mas, F. Takaki-Takaki, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, M. Palma-Muñoz, I. Trejo-Vázquez, A. Peralta-Higuera, J. Prado-Molina, A. Rodríguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo y F. González-Medrano. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México*, 43:183–203.
- Pérez, M.R. y N. Byron (1999) A methodology to analyze divergent case studies of non-timber forest products and their development potential. *Forest Science*, 45:1–14
- Roe, D. (2008) The origins and evolution of the conservation-poverty debate: a review of key literature, events and policy processes. *Oryx*, 42:491–503
- Salafsky, N., H. Cauley, G. Balachander, B. Cordes, J. Parks, C. Margoluis, S. Bhatt, C. Encarnacion, D. Russell y R. Margoluis (2001) A systematic test of an enterprise strategy for community-based biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 15:1585–1595
- Shanks, E. y J. Carter (1994) *The organisation of small-scale tree nurseries. Studies from Asia, Africa and Latin America*. Rural Development Forestry Study Guide 1. Rural Development Forestry Network. Overseas Development Institute. Londres, Inglaterra, 165 pp.

- Sills, E., F. Parmgarten, P. Shanley y J. de Beer (2011) Evolving perspectives on non-timber forest products. En: *Non-timber forest products in the global context* (S. Shackleton, ed), New York: Springer
- Stocking, M. y S. Perkin (1992) Conservation with development: an application of the concept in the Usambara Mountains, Tanzania. *Transactions of the Institute of British Geographers*, New Series, 17:337–349
- Tekelengurg, T. y A. Ríos (2009) *Vínculos entre pobreza y biodiversidad. Lecciones mesoamericanas sobre patrones de impacto para el desarrollo rural*. Netherlands Environmental Assessment Agency. Bilthoven, 146 pp.
- Vovides, A.P., M.A. Pérez-Farrera y C. Iglesias (2010) Cycad propagation by rural nurseries in Mexico as an alternative conservation strategy: 20 years on. *Kew Bulletin*, 65:603–611
- Wells M.P., T.O. McShane, H.T. Dublin, S. O'Connor y K.H. Redford (2004) The future of integrated conservation and development projects: building on what works. En: *Getting biodiversity projects to work: towards more effective conservation and development* (Wells M.P. y T.O. McShane, eds), Columbia University Press, Nueva York, pp. 397–421
- Wells, M.P. y T.O. McShane (2004) Integrating protected area management with local needs and aspirations. *Ambio*, 33:513–519

## Capítulo IV.

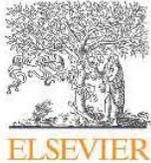
Artículo requisito publicado en Forest Ecology and Management

---

### **Reproductive phenology of useful Seasonally Dry Tropical Forest trees: guiding patterns for seed collection and plant propagation in nurseries**

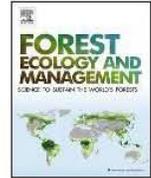
Adriana L. Luna-Nieves, Jorge A. Meave, Leonor  
Patrícia Cerdeira Morellato, Guillermo Ibarra-  
Manríquez





Contents lists available at ScienceDirect

## Forest Ecology and Management

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/foreco](http://www.elsevier.com/locate/foreco)

## Reproductive phenology of useful Seasonally Dry Tropical Forest trees: Guiding patterns for seed collection and plant propagation in nurseries



Adriana L. Luna-Nieves<sup>a</sup>, Jorge A. Meave<sup>b</sup>, Leonor Patrícia Cerdeira Morellato<sup>c</sup>, Guillermo Ibarra-Manríquez<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Col. Ex Hacienda de San José de La Huerta, C.P. 58190 Morelia, Michoacán, Mexico

<sup>b</sup> Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, Mexico

<sup>c</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, Laboratório de Fenologia, CEP 13506-900 Rio Claro, São Paulo, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 10 November 2016

Received in revised form 4 March 2017

Accepted 10 March 2017

#### Keywords:

Adaptive management  
Community-based monitoring program  
Environmental trigger  
Flowering time  
Fruiting time  
Seed collection

### ABSTRACT

The propagation in nurseries of native plant species potentially useful for agroforestry, silvopastoral and restoration programs is hindered by an inadequate supply of high quality seed. Limitations in our knowledge on the phenological patterns of native species result in the lack of efficient collecting protocols. Here we analyze the reproductive phenology of 14 native tree species from Seasonally Dry Tropical Forest (SDTF) that are widely used in reforestation and restoration programs. We conducted monthly observations during five years through a community-based monitoring program in two conservation areas within the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve (West Mexico) to assess the flowering and fruiting phenology of 149 marked trees (7–20 trees per species). For each species we described the phenophase intensity, duration, seasonality, synchrony and frequency. We related the intensity of reproductive phenology to climatic variables (photoperiod, precipitation and temperature). We identified three main phenological strategies of SDTF species that differ in timing and climatic triggers: (1) flowering and fruiting exclusively in the rainy season; (2) flowering in the rainy season and fruiting in the dry season; and (3) flowering and fruiting exclusively in the dry season. For each phenological strategy we make recommendations of optimal collecting seeds schedules. The community-based monitoring program, which involves the participation of local social actors, guaranteed the success of long-term phenological monitoring. Our study provides valuable information on both the inter-annual and inter-specific variation of the phenological patterns of tree species of forestry interest, and demonstrates that qualitative descriptions of population-level phenological attributes is an essential input to develop adaptive management programs.

© 2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

A major hindrance faced by nurseries devoted to the propagation of native plant species used in agroforestry, silvopastoral or restoration programs, is the lack of a timely and permanent supply of high-quality seed (Böhringer et al., 2003; Botha et al., 2005, 2006). This situation reflects deficiencies in our knowledge on the reproductive biology of native species, in particular, their phenological patterns and the optimal times for plant reproduction when the best seeds are produced. Ultimately, the deficiency of phenological data results in the lack of efficient collecting protocols

(Buisson et al., 2016; Fenner and Thompson, 2004; Kuaraksa et al., 2012).

Phenological studies seek to describe the timing of cyclic biological events and to identify their internal and external clues. In a plant's life cycle a distinction is made between two major reproductive phenophases, namely flowering and fruiting. The importance of accurate descriptions of reproductive phenological patterns for the design of conservation or management strategies and ecological restoration programs has recently been recognized (Morellato et al., 2016). The relevance relies in the need for phenological information to recognize specific times of the year with high flower, fruit and seed availability, to assess the duration, intensity, frequency and synchrony of their occurrence during the year, and to evaluate differences in phenological patterns between species, populations and communities (Miller-Rushing and Weltzin, 2009; Newstrom et al., 1994).

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [aluna@iies.unam.mx](mailto:aluna@iies.unam.mx) (A.L. Luna-Nieves), [jorge.meave@ciencias.unam.mx](mailto:jorge.meave@ciencias.unam.mx) (J.A. Meave), [pmorella@rc.unesp.br](mailto:pmorella@rc.unesp.br) (L.P.C. Morellato), [gibarra@ciico.unam.mx](mailto:gibarra@ciico.unam.mx) (G. Ibarra-Manríquez).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.014>

0378-1127/© 2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

In the context of Seasonally Dry Tropical Forests (SDTF), phenological information is of particular interest, since compared with temperate and tropical wet forest ecosystems, the diverse and complex phenological patterns of SDTF are still poorly explored and little is known for native species with forestry potential (Bonfil and Trejo, 2010). Most phenological studies conducted in SDTF have focused on the description of community-level patterns (Bullock and Solís-Magallanes, 1990; Cortés-Flores et al., 2017; Frankie et al., 1974; Justiniano and Fredericksen, 2000), while the assessment of such patterns at the population level has received less attention (Kuaraksa et al., 2012; Venter and Witkowski, 2011; Wallace and Painter, 2002).

The main drivers of the overall phenological patterns displayed by the SDTF tree community are precipitation seasonality and intensity, as the occurrence of the growth and reproduction largely depends on the variation of water availability throughout the year or the length of rainy season (Borchert, 1998; Borchert et al., 2002, 2004; Holbrook et al., 1995; McLaren and McDonald, 2005; Morellato et al., 2013). Therefore, in ecosystems with a marked dry season that lasts between four and eight months, phenological strategies have reflected the range of adaptations allowing plants to tolerate and survive the seasonal drought (Borchert et al., 2004; Morellato et al., 2013; Singh and Kushwaha, 2006). With respect to flowering, two major strategies have been identified (Singh and Kushwaha, 2006): species in which flower buds develop in response to increasing water availability during the rainy season, and species that flower in the dry season, either at the beginning (just after the end of the rainy season, in the fall), or at the end (several weeks before the onset of the rains, in the spring). For this latter group of species, changes in the photoperiod apparently trigger reproductive events in plants. According to Singh and Kushwaha (2005), the drier is a seasonal tropical forest, the larger is the number of species flowering during the dry season. In turn, fruit maturation concentrates almost exclusively in the dry period of the year, which is the season when seed dispersal by wind is favored, with the exception of fleshy fruits, which tend to mature in the rainy season, when environmental conditions favor maturation and seed dispersers are abundant (Bullock and Solís-Magallanes, 1990; Frankie et al., 1974; Justiniano and Fredericksen, 2000; Morellato et al., 2013; Singh and Kushwaha, 2005). Regardless of the timing of seed dispersal, most seeds of SDTF trees remain dormant until the beginning of the rainy season, when they germinate, an evolutionarily selected trait that may increase the probability for successful seedling establishment (Frankie et al., 1974; van Schaik et al., 1993).

Despite the generality of these findings, community phenological patterns may conceal a large diversity of phenological responses displayed by the tree species, which only emerges when patterns are assessed at the population level. When taking this approach, it becomes evident that plants' responses to changing climatic conditions throughout the year are no longer predictable, given the plethora of strategies that plants have evolved to face seasonal water limitations (Borchert et al., 2002; Singh and Kushwaha, 2005). Within this framework, we proposed the use of a community-based monitoring program involving the local inhabitants to conduct a five-year long phenology observation. We aimed to investigate the reproductive phenological patterns of SDTF tree species with forestry potential, in order to provide essential information for the planning of seed collection schedules and their subsequent propagation in nurseries, while focusing on ecological restoration. We also evaluated the influence of climatic conditions on the onset of flowering and fruiting, and examined whether these SDTF tree species differ in their reproductive strategies, reflecting divergent evolutionary responses to the dry season.

We hypothesized that in this highly seasonal environment, tree phenology responds primarily to rainfall seasonality, as this is the

main constraining factor; consequently, inter-annual phenological variation should be mainly driven by rainfall variability. Alternatively, we hypothesized that phenological timing of species responds mainly to factors that are largely invariable among years, such as photoperiod, which would result in high predictability of the phenological patterns, regardless the inter-annual rainfall variation. If the amount of inter-annual variation (precipitation) overrides the regularity of within-year seasonal variation (photoperiod), this would result in greater phenological uncertainty among years. Clearly, in the context of a nursery-based plant propagation program it is important to discriminate between these contrasting hypotheses.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Study site

The study was conducted in the lower portion of the Balsas river basin, Churumuco municipio (county), Michoacán state, Western Mexico (extreme coordinates 18°38'–18°44'N, 101°38'–101°41'W). The area is part of the buffer zone of the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve and comprises of 892 ha, with an elevation range of 300–1200 m asl.

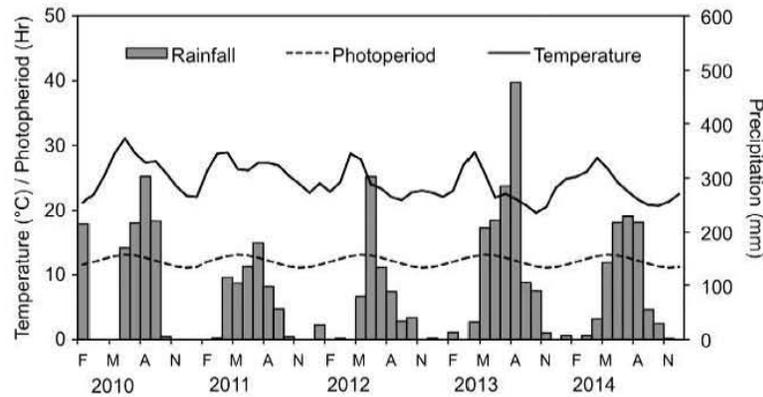
The regional climate is tropical dry with a summer rainfall regime (BS<sub>0</sub>), with a mean annual temperature of 28 °C and a mean total annual precipitation of 650 mm, strongly concentrated between June and September (Fig. 1). The prevailing vegetation type is the SDTF, characterized by a large proportion (>75%) of trees shedding all their leaves in the dry season, and a more or less continuous canopy with an average height of 8 m. In addition to the SDTF, in areas with higher soil moisture, such as ravines or close to water streams, the vegetation is a semi-evergreen tropical forest characterized by a smaller proportion of individuals shedding their leaves in the dry season (50–70%), and the presence of dominant trees with > 15 m height.

### 2.2. Species selection

The study species were selected according to three criteria: local, governmental and conservation status. Species with local interest were identified through 16 interviews with local people, who distinguish which species were the most preferred by the inhabitants of the region for different purposes (construction, fodder, food, medicine, ornament or poles). Governmental importance was identified through 10 interviews with officials from public institutions of the forestry sector, to identify species promoted by government agencies for propagation in reforestation and restoration programs, for which reason they have a high regional trade potential. Finally, we assessed conservation relevance based on the classification of species of interest for local inhabitants and government agencies in conservation or threat categories according to the Mexican environmental legislation (SEMARNAT, 2010). From 38 species mentioned by the two groups of interviewees we selected 14 that coincided in the selection criteria (Table 1).

### 2.3. Reproductive phenology

We established a 15 km line transect in the study region along an elevation gradient from 200 to 1000 m, which comprised three portions: (1) low (230–480 m, where prevailing physiography is slope foothills and prevailing vegetation is secondary SDTF), (2) medium (481–725 m, mostly medium slopes with moderate steepness, where SDTF is intermingled with old secondary stands), and (3) high (726 and 975, with SDTF and tropical semi-evergreen forest along a water stream).



**Fig. 1.** Monthly rainfall, temperature and photoperiod in Churumuco, Michoacán state, Mexico, for the period of February 2010 to January 2015. Abbreviations: A (August), F (February), M (May), N (November).

**Table 1**

Tree species selected for phenological observations, along with vegetation type where they occur, number of individuals monitored, common names, reproductive systems, and traditional uses in the study region (Michoacán state, Mexico). Superscript numbers indicate selection criteria met by each species according to (1) interviews with local inhabitants, (2) interviews with officials of government agencies from the forestry sector, and (3) the list of endangered species reported in some threat category in the Mexican environmental law (SEMARNAT, 2010). Number of individuals observed for each species is indicated in parenthesis.

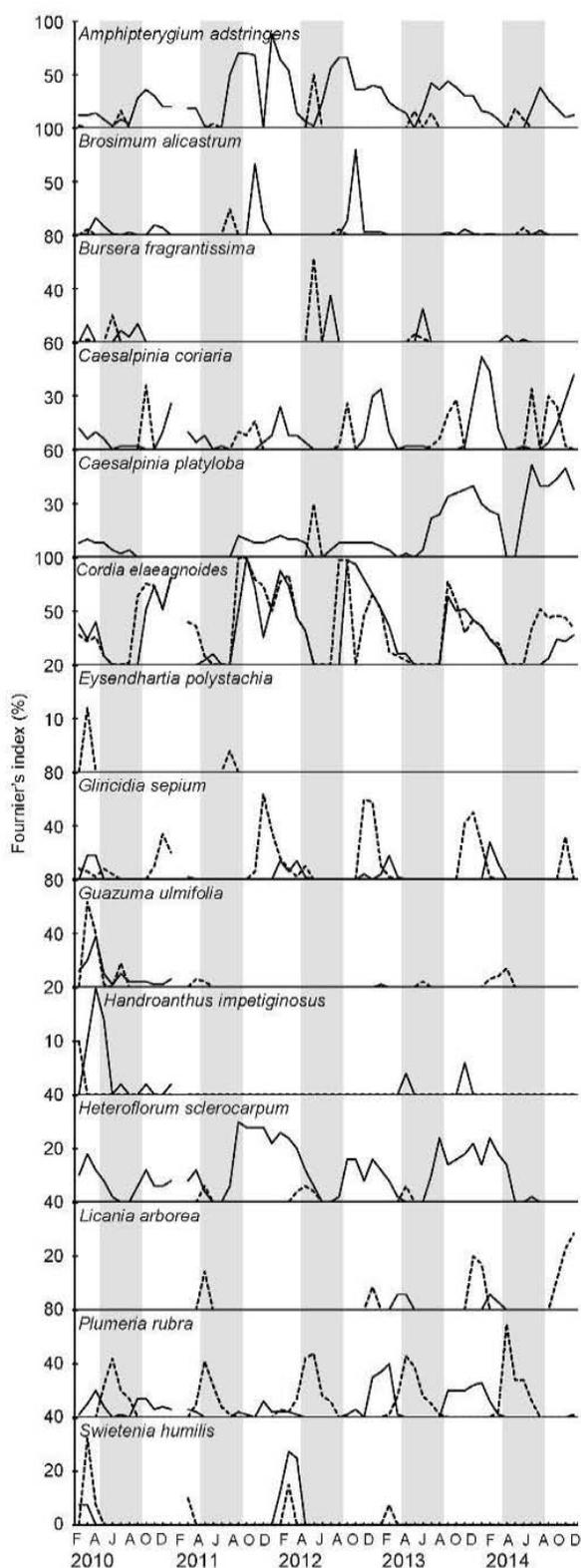
Family/Species	Common name	Sexual system	Uses
<i>Seasonally Dry Tropical Forest</i>			
<b>Anacardiaceae</b>			
<i>Amphipterygium adstringens</i> (Schltdl.) Standl. <sup>1,2</sup> (10)	Chacualalate	Diocious	Medicinal
<b>Apocynaceae</b>			
<i>Plumeria rubra</i> L. <sup>2</sup> (10)	Parandazicua	Hermaphroditic	Ornamental
<b>Bignoniaceae</b>			
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos <sup>2,3</sup> (10)	Cañafistula	Hermaphroditic	Construction
<b>Boraginaceae</b>			
<i>Cordia elaeagnoides</i> DC. <sup>2</sup> (10)	Cuerámo	Hermaphroditic	Construction, medicinal, poles
<b>Leguminosae</b>			
<i>Caesalpinia coriaria</i> (Jacq.) Willd. <sup>1</sup> (10)	Cascalote	Hermaphroditic	Forage, commercial
<i>Caesalpinia platyloba</i> S. Watson <sup>1,2</sup> (10)	Frijolillo	Diocious	Construction, poles
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg. <sup>1</sup> (10)	Palo dulce	Hermaphroditic	Medicinal, poles
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. <sup>1</sup> (10)	Trébol	Hermaphroditic	Poles, forage
<i>Heteroflorum sclerocarpum</i> M. Sousa <sup>1</sup> (10)	Ojo de perico	Diocious	Forage
<b>Malvaceae</b>			
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. <sup>1,2</sup> (10)	Cahulote	Hermaphroditic	Forage, poles
<i>Semideciduous Tropical Dry Forest</i>			
<b>Burseraceae</b>			
<i>Bursera fragrantissima</i> Bullock <sup>1</sup> (20)	Tecomaca	Diocious	Medicinal
<b>Chrysobalanaceae</b>			
<i>Licania arborea</i> Seem. <sup>2,3</sup> (7)	Cuirindal	Hermaphroditic	Forage
<b>Meliaceae</b>			
<i>Swietenia humilis</i> Zucc. <sup>2</sup> (7)	Cóbano	Monoecious	Furniture, medicinal
<b>Moraceae</b>			
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw. <sup>1,2</sup> (15)	Uje	Monoecious	Forage, food

We characterized the distribution and abundance of the study species by recording every individual located within 50 m at each side of the line transect and logging their precise location with a GPS (Appendix A). Depending on their abundances, we then marked between 7 and 20 individuals of each species (149 trees in total), all of them having a minimum diameter at breast height of 10 cm, as trees of this size or bigger have a high probability of being reproductive (Bullock and Solís-Magallanes, 1990). The selected trees were separated by distances > 50 m to minimize genetic relatedness and space dependency of data.

We conducted monthly observations with binoculars in the last week of each of 60 months, from February 2010 to February 2014 (with the single exception of February 2011). The percent of the crown occupied by flowers in anthesis (flowering) and mature fruits (fruiting) in each marked individual was assessed by using Fournier's (1974) semi-quantitative scale of five categories (0–4) with an interval of 25% between each one.

#### 2.4. Community-based phenology monitoring program

A community monitoring team conducted the quinquennial evaluation of the reproductive phenology on which this study is based. This team emerged as a strategy aimed to motivate the participation, organization and training of community members in the management of native trees species of forestry interest. During the first monitoring year, the coordinators of this project accompanied the monitoring team, which was formed for six peasants > 40 years old. In this way, the monitoring team received training on the identification of the different development stages of the reproductive structures of the study species, and on the use of the equipment needed for the evaluations. During the four following years the fieldwork was the exclusive responsibility of the community monitoring team. To increase the reliability of the results so gathered, we conducted four workshops during the first year of study to calibrate the phenological observations. In them,



**Fig. 2.** Percent intensity index of flowering (dashed lines) and fruiting (solid lines) of 14 Seasonally Dry Tropical Forest tree species (Churumuco, Michoacán state, Mexico) from February 2010, to February 2015. Abbreviations: A (April or August), D (December), F (February), J (June), O (October). Gray bars indicate the rainy season.

each member of the monitoring group evaluated the presence of flowers and fruits independently. Then, we discussed together likely reasons for the discrepancies. In the last two workshops, the match between the different observers was approximately 95%.

### 2.5. Climatic data

We obtained daily minimum and maximum temperatures, and daily precipitation, from the closest meteorological station to our study area (National Water Commission, Las Cruces de Turicato, 19°3'55" N, 101°25'40" W, 800 m asl). Due to technical problems, we were only able to obtain climatic data for the 2010–2013 period. Information for 2014 was obtained through extrapolation, using an ARIMA model in forecast package in R (R Core Team, 2014) and taking into consideration the historical climate records of the region (Fig. 1). Daylight duration was obtained from the Astronomical Applications Department of the U.S. Naval Observatory (<http://www.usno.navy.mil>).

### 2.6. Data analysis

We calculated Fournier's (1974) intensity index to evaluate the proportion of flowering and fruiting in each species and month (values < 25% indicate a low intensity, those between 25 and 50% indicate a medium intensity; and those > 50% a high intensity). Additionally, we described the frequency of the phenophases (number of reproductive cycles by year) as annual if event occurred only once in the year, and supra-annual if the time elapsed between two phenological events was larger than one year, or if it was not consecutive over the five-year study period.

Synchrony was assessed through the index proposed by Freitas and Bolmgren (2008), which indicates whether the intensity peak of a given phenophase coincides completely (1) or not at all (0) among all individuals within a population (values < 0.25 signify that the species had an asynchronous reproductive event, values between 0.25 and 0.5 indicate that an event had low synchrony, and those values > 0.5 denoted a synchronic event).

Duration (the time elapsed between the start and the end of a phenophase) was described by calculating the mean and the standard deviation of the number of months by year in which the two phenophases were observed. The presence of flowers and/or fruits in at least one individual was sufficient to indicate that a given species was flowering or fruiting in that month. Based on the mean number of months in which the phenophase occurred, the duration was classified as short (< 2 months), intermediate (2–5 months) or extended (> 5 months).

To assess phenophase seasonality we used circular statistics to test the null hypothesis that the presence of flowers and fruits was homogeneously distributed around the year as proposed by Morellato et al. (2000). We assigned to each month an angular value of 30° (February, 0°; March, 30°; April 60°; etc.), and calculated the mean angle  $\alpha$  and the magnitude of the  $r$  vector;  $\alpha$  indicates the time (month) of the year in which the largest number of individuals of a given species presented a phenophase, while  $r$  indicates the degree of dispersion or concentration of the observations (Zar, 1999). The  $r$  vector values range from 0 (indicating a totally homogeneous distribution of the data around the year) to 1 (indicating all data are concentrated in a single angle or data) and can be considered as a proxy of seasonality (Morellato et al., 2000, 2010). The significance of the mean angle  $\alpha$  was tested through a Rayleigh's ( $z$ ) test (Zar, 1999).

Finally, we analyzed the relationship between flowering and fruiting (monthly Fournier's intensity index for each phenophase) and climatic variables (mean monthly precipitation and photoperiod) through generalized linear models (GLM) with binomial error and a logit link function; this analysis was implemented in

**Table 2**

Phenological reproductive attributes of 14 tree species from Seasonally Dry Tropical Forest (Michoacán state, Mexico). The two first rows for each species show the flowering and fruiting, respectively. Synchrony was classified according to the index values as: asynchrony ( $< 0.25$ ) = A, low synchrony ( $0.25-5$ ) = L, and synchrony ( $> 0.5$ ) = S. Duration was classified as: B = Brief ( $< 2$  months), I = Intermediate ( $2-5$  months), and E = Extended ( $> 5$  months); in parentheses are the mean and the standard deviation, separated by a comma. Seasonality shows the results of circular statistic: the first and second values are the vector  $r$ , and the mean date or angle  $\alpha$ , respectively. When the  $z$ -statistic was significant,  $P \leq 0.05$  (\*), the mean date is shown in parentheses. The symbol (-) indicates that the phenophase was not observed.

Species	Attribute	2010	2011	2012	2013	2014
<i>Amphipterygium adstringens</i>	Synchrony	L (0.5) A (0.14)	A (0) S (0.53)	L (0.29) L (0.32)	A (0.03) A (0.2)	A (0.04) A (0.12)
	Duration	B (0.5, 0.7) E (6, 4.5)	B (0.1, 0.3) E (6, 1.9)	B (0.7, 0.5) E (6.7, 4.3)	B (0.5, 0.8) E (7, 4.7)	B (0.4, 0.7) I (4, 3.2)
	Seasonality	0.6–140.9° (21 June) 0.2–38.2°	1–120° (1 June) 0.2–68.6° (9 April)	1–120° 0.2–69.6°	0.9–143.4° 0.2–83.6°	1–127.4° 0.3–61.1°* (1 April)
<i>Brosimum alicastrum</i>	Synchrony	A (0.1) A (0)	A (0.21) L (0.45)	A (0) S (0.58)	A (0) A (0)	A (0.01) A (0)
	Duration	B (0.3, 0.5) B (1.7, 1.6)	B (0.9, 0.4) B (1.5, 0.5)	B (0.1, 0.4) B (1.1, 0.7)	– B (0.3, 0.5)	B (0.3, 0.5) B (0.1, 0.4)
	Seasonality	0.1–30° 0.1–6.2°	1–180° 1–79.7° (20 April)	1–150° (B-July) 0.9–88.6° (29 April)	– 0.9–88.6° (29 April)	0.9–160.9° 0
<i>Bursera fragrantissima</i>	Synchrony	A (0.12) A (0.08)	– –	A (0.47) A (0.14)	A (0) A (0.08)	– A (0)
	Duration	B (0.8, 0.6) B (1.1, 0.9)	– –	B (0.9, 0.4) B (0.5, 0.5)	B (0.2, 0.4) B (0.5, 0.5)	– B (0.1, 0.3)
	Seasonality	0.9–111.9° 0.2–62.6°	– –	1–120° 1–180° (31 July)	1–127.4° 1–150° (1 July)	– 0.9–120°
<i>Caesalpinia coraria</i>	Synchrony	A (0.22) A (0.11)	A (0.04) A (0)	A (0.08) A (0.09)	A (0.09) A (0.13)	A (0.18) A (0.19)
	Duration	B (0.8, 0.4) I (2.9, 2.6)	B (1, 1.2) I (1.7, 1.9)	B (0.6, 0.7) I (2.4, 2.5)	B (1.3, 1.4) B (1.9, 2.1)	B (1.9, 1.2) I (3, 2.4)
	Seasonality	1–120.2° 0.5–6.9° (6 February)	0.9–110.6° 0.5–29.2° (29 February)	1–125° 0.7–6.2° (5 February)	0.9–114.4° 0.7–4.4° (3 February)	0.8–125° 0.6–15° (14 February)
<i>Caesalpinia platyloba</i>	Synchrony	– A (0)	– A (0)	A (0.12) A (0)	– A (0.16)	– A (0.22)
	Duration	– I (2.1, 2.4)	– B (1.1, 1.9)	– B (0.6, 0.5) B (1.8, 3.4)	– – I (3.2, 3.3)	– – E (5.2, 3.9)
	Seasonality	– 0.6–64.4° (4 April)	– 0.7–96.2° (7 May)	– 1–120° 0.4–15° (14 February)	– – 0.5–91° (1 May)	– – 0.2–82.6° (23 April)
<i>Cordia elaeagnoides</i>	Synchrony	L (0.46) L (0.42)	S (0.59) S (0.6)	S (0.64) S (0.66)	L (0.4) L (0.34)	L (0.28) A (0.23)
	Duration	E (8.4, 0.8) E (7.1, 0.9)	E (7.4, 0.5) I (4.2, 0.8)	E (7.4, 0.7) E (7.9, 0.3)	E (5.2, 1.5) E (6.6, 1.3)	E (8.1, 1.7) I (4.7, 0.9)
	Seasonality	0.4–42.7° 0.5–19.6° (19 February)	0.3–55.1° 0.7–87.3° (28 April)	0.3–2.1° 0.4–16.1° (15 February)	0.6–51.1° 0.5–31° (1 March)	0.3–49.3° 0.6–17° (16 February)
<i>Eysendhartia polystachya</i>	Synchrony	A (0.02) –	A (0) –	– –	– –	– –
	Duration	– B (0.3, 0.5)	– B (0.1, 0.3)	– –	– –	– –
	Seasonality	– 1–30°	– 1–180° (31 July)	– –	– –	– –
<i>Gliricidia sepium</i>	Synchrony	A (0.18) A (0.22)	L (0.43) A (0)	L (0.38) A (0.05)	L (0.33) A (0.08)	A (0.15) A (0.17)
	Duration	I (3.1, 1.7) B (1.8, 0.4)	I (2.1, 0.3) B (0.1, 0.3)	I (2.6, 1.2) B (1.1, 1.2)	I (2.2, 0.8) B (0.8, 0.6)	B (1.5, 1.1) B (1.3, 0.8)
	Seasonality	0.5–29.2° 1–45° (16 March)	1–47° 1–30° (29 February)	0.7–19.1° 0.8–29.1° (29 February)	0.9–31.8° 1–26.2° (26 February)	0.8–26.1° 1–41.5° (12 March)
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Synchrony	L (0.37) A (0.18)	A (0.01) –	– –	A (0) A (0)	A (0.03) –
	Duration	I (2.8, 0.6) I (4.3, 3.3)	B (0.4, 0.7) –	– –	B (0.1, 0.3) B (0.1, 0.3)	B (0.7, 1.1) –
	Seasonality	0.7–67.2° 0.4–56.1° (27 March)	1–75° –	– –	1–150° (1 July) 1–0°	0.9–73.3° –
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Synchrony	A (0.06) A (0.08)	– –	– –	– A (0)	– –
	Duration	B (0.5, 0.5) B (1.8, 1.5)	– –	– –	– B (0.3, 0.5)	– –
	Seasonality	1–0° 0.7–62.2° (2 April)	– –	– –	– 0.4–36.2°	– –

Table 2 (continued)

Species	Attribute	2010	2011	2012	2013	2014
<i>Heteroflorum sclerocarpum</i>	Synchrony	– A (0.08)	A (0.02) A (0.12)	A (0.02) A (0.09)	A (0.02) A (0.05)	– A (0)
	Duration	– I (3.7, 3.2)	– I (4, 3.4)	– I (4.3, 4.1)	– I (3.2, 3.6)	– B (1.6, 2.1)
	Seasonality	– 0.3–1.4° (30 January)	– 1–90° 0.4–76.8° (17 April)	– 0.9–90° 0.4–9.2° (8 February)	– 1–90° 0.4–60° (1 April)	– – 0.7–45° (16 March)
<i>Licania arborea</i>	Synchrony	– –	A (0) –	A (0) –	A (0.05) A (0.05)	A (0.19) A (0.19)
	Duration	– –	B (0.1, 0.3) –	B (0.1, 0.3) –	B (0.4, 0.5) –	I (2.3, 1.2) B (0.4, 0.5)
	Seasonality	– –	1–90° (30 April) –	1–30° (29 February) –	1–30° 1–80.1°	0.9–39° 1–39.9°
<i>Plumeria rubra</i>	Synchrony	A (0.24) A (0.15)	A (0.22) A (0.07)	A (0.25) A (0.23)	A (0.23) A (0.24)	A (0.32) A (0.14)
	Duration	I (3.2, 0.8) I (4.2, 2)	I (2.7, 1.2) B (1.6, 1.4)	I (4, 1.1) B (1.7, 0.8)	I (3.6, 1.3) I (4.9, 1)	I (3.1, 0.9) B (1.3, 0.9)
	Seasonality	0.9–136° 0.2–0.3° (30 January)	0.9–106.3° 0.5–38.3° (9 March)	0.7–113.4° 0.8–21.9° (21 February)	0.8–122.1° 0.6–33.5° (4 March)	0.8–122.5° 1–15°
<i>Swietenia humilis</i>	Synchrony	A (0.09) A (0)	A (0.01) –	A (0.02) A (0.1)	A (0) A (0)	– A (0)
	Duration	B (0.8, 0.9) B (0.8, 0.9)	B (0.3, 0.5) –	B (0.3, 0.5) B (0.9, 1.2)	B (0.1, 0.4) –	– –
	Seasonality	1–39.9° 1–15° (14 February)	1–30° (29 February) –	1–30° (29 February) 0.9–38.8° (9 March)	1–30° (29 February) 0.1–6.2°	– 0.9–88.6°

R (R Core Team, 2014). We calculated the coefficient of discrimination (D), a measure of the model's ability to discriminate failures and successes in a binary response variable (Tjur, 2009). Because of collinearity between temperature and photoperiod ( $r = 0.64$ ), temperature data were excluded from further analyses.

### 3. Results

#### 3.1. Reproductive phenological patterns

##### 3.1.1. Intensity and frequency

Overall, reproductive phenophases occurred with mean low intensity (< 25%) in our study species (Fig. 2). The large variation between years and species makes it difficult to identify the moment of the year with flowering and fruiting peaks. Nevertheless, the reproductive period was strongly concentrated in the dry season (October–May). All species showed a considerable time lag between the presence of flowers and fruits, i.e., flowers were commonly recorded one to three months prior to the production of mature fruits, except in *Cordia elaeagnoides* and *Swietenia humilis*, for which there was a temporal overlap in the occurrence of the two phenophases (Fig. 2). In the case of *Caesalpinia platyloba*, in four of five years, fruits were observed without any previous record of flowering (missing observation probably related to very short – less than two weeks – flowering event), and the opposite happened with *Eysendhartia polystachya*, for which only two incipient flowering events were observed, but not a single fruiting event, during the entire study period.

The reproductive cycles of nine study species were annual, while the remaining five were classified as supra-annual (*E. polystachya*, *Guazuma ulmifolia*, *Handroanthus impetiginosus*, *Licania arborea* and *S. humilis*), as for these species flowers and fruits were not recorded in all consecutive years of the study. All nine annual species exhibited the same phenological pattern year after year, albeit with small variations in their timing and intensity (Fig. 2).

Regardless of reproductive frequency in our study species, three main phenological strategies were identified based on their flowering and fruiting time and intensity: (1) flowering and fruiting

exclusively during the rainy season (*Bursera fragrantissima*), (2) flowering in the rainy season and fruiting in the dry season (*Amphipterygium adstringens*, *Brosimum alicastrum*, *C. elaeagnoides* and *C. platyloba*), and (3) flowering and fruiting exclusively occurring during the dry season (*Caesalpinia coriaria*, *Gliricidia sepium*, *Heteroflorum sclerocarpum*, *L. arborea*, *Plumeria rubra* and *S. humilis*). Three species could not be classified in any of these groups due to the erratic and incipient patterns in their reproductive phenology (*E. polystachya*, *G. ulmifolia* and *H. impetiginosus*).

##### 3.1.2. Synchrony

Overall, flowering and fruiting of the study species were not synchronic (Table 2), with mean synchrony indices of 0.1 and 0.06, respectively. The analysis of the patterns between years and species revealed important differences. The only species that flowered and fruited synchronously during the five-year period was *C. elaeagnoides* (mean synchrony index of 0.5 for both phenophases). Other species showed some degree of synchrony in one phenophase but considerable asynchrony in the other. For example, flowering of *G. sepium* was moderately synchronic in three years, whereas its fruiting was always asynchronic, in contrast with *B. alicastrum*, in which flowering was asynchronic in all the years of study while fruiting was much more synchronic.

##### 3.1.3. Duration

Reproductive structures generally remained on the trees less than two months (Table 2); generally, flowers had a shorter duration than fruits (means  $\pm$  SD:  $1.2 \pm 2$  and  $2.1 \pm 1.4$  months, respectively). When considering inter-annual and interspecific variation, *C. elaeagnoides* was the only species whose flowers and fruits were not only more synchronous in their appearance, but also fruits remained on the trees for over five months. In other species, the durations of the two phenophases were different. For example, flowers last longer than fruits in *G. sepium* and *P. rubra*, whilst in *A. adstringens*, *C. coriaria*, and *H. sclerocarpum*, the opposite was true, with a short flowering and an intermediate fruiting. All species classified as supra-annual retained their flowers and fruits for short periods (mean  $\pm$  SD:  $0.5 \pm 0.5$  months).

**Table 3**

Results of generalized linear models constructed to assess the relationship of flowering and fruiting with climatic variables for 14 Seasonally Dry Tropical Forest tree species. Coefficients of discrimination ( $D$ ) for the logistic regression models are given for each phenophase;  $\beta$  coefficients for precipitation and photoperiod are given in the upper and lower row of each model, respectively.

Species	Phenophase	$D$	$\beta$	$Z$
<i>Amphipterygium adstringens</i>	Flowering	0.13	0.002 6.281	2.57** 11.25***
	Fruiting	0.06	0.001 -0.835	5.80*** -16.70***
<i>Brosimum alicastrum</i>	Flowering	0.03	0.006 0.364	10.21*** 2.26 <sup>n.s.</sup>
	Fruiting	0.04	-0.003 -1.406	-2.40** -9.70***
<i>Bursera fragrantissima</i>	Flowering	0.07	-0.004 2.048	-5.24*** 13.08***
	Fruiting	0.01	0.003 1.070	4.02*** 5.80***
<i>Caesalpinia coriaria</i>	Flowering	0.13	0.003 -0.922	7.33*** -12.13***
	Fruiting	0.06	-0.628 -0.010	-8.70*** -7.40***
<i>Caesalpinia platyloba</i>	Flowering	0.06	-0.011 2.859	-8.83*** 11.30***
	Fruiting	0.04	-0.003 0.977	-8.50*** 14.30***
<i>Cordia elaeagnoides</i>	Flowering	0.06	0.001 -1.246	26.30*** -4.67***
	Fruiting	0.05	0.006 -1.365	12.27*** -23.95***
<i>Eysendharthia polystachya</i>	Flowering	0.006	0.001 0.857	0.98 <sup>n.s.</sup> 4.50***
	Fruiting	–	–	–
<i>Gliricidia sepium</i>	Flowering	0.006	-0.019 -1.594	-6.70*** -6.40***
	Fruiting	0.03	-0.041 -0.825	-11.35*** -18.76***
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Flowering	0.05	-0.009 1.520	-11.69*** 15.50***
	Fruiting	0.004	-0.004 0.541	-3.60*** 3.70***
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Flowering	0.006	0.005 -0.303	7.51*** -1.84 <sup>n.s.</sup>
	Fruiting	0.02	0.028 -1.375	-5.50*** 6.30**
<i>Heteroforum sclerocarpum</i>	Flowering	0.17	0.005 -0.303	-13.69*** 14.11***
	Fruiting	0.02	-0.028 1.375	-3.02** -7.20***
<i>Licania arborea</i>	Flowering	0.06	-0.005 1.984	-2.57** -9.64***
	Fruiting	0.007	-0.030 1.800	-3.40*** -4.30***
<i>Plumeria rubra</i>	Flowering	0.05	-0.009 3.404	-17.11*** 28.59***
	Fruiting	0.03	-0.006 -0.644	-6.20*** -6.90***
<i>Swietenia humilis</i>	Flowering	0.05	-0.130 0.745	-5.21*** 6.16***
	Fruiting	0.008	-0.011 0.403	-5.05*** 2.40**

n.s. - not significant.

\*\*  $P < 0.01$ .

\*\*\*  $P < 0.001$ .

### 3.1.4. Seasonality

The reproductive events of the study species occurred mostly in the dry season; however, the statistical analysis of seasonality did not show significant results for the flowering of any species, even though some had a significant mean  $\alpha$  in one year (Table 2). For example, *A. adstringens*, *B. alicastrum*, *G. ulmifolia* and *E. polystachya*

flowered in the rainy season, between June and August, while other species like *L. arborea* and *S. humilis* had flowers in the dry season (March–May).

Conversely, fruiting seasonality was significant in the five study years for *C. platyloba*, *C. coriaria*, *C. elaeagnoides* and *H. sclerocarpum*. For the former species, mean angle occurred between April

and May (one year in February), and for the latter three species it did so between February and April. Fruits of *G. sepium* and *P. rubra* were also observed in this latter period, but seasonality was significant in four out of five years (Table 2). As expected, those species that retained their reproductive structures for a long time did not present a significant seasonality, as exemplified by *C. elaeagnoides*.

### 3.2. Relation between reproductive phenology and climatic variables

The signs of the relationships between phenophases and environmental factors showed complex patterns across species (Table 3). In some species, flowering and fruiting showed a similar relationship (i.e. positive or negative) with precipitation, and the same was true for photoperiod. This situation is exemplified by *G. ulmifolia* and *S. humilis*, whose two phenophases were negatively related with precipitation, but positively with photoperiod (dry season, March to April), and by *G. sepium* and *L. arborea*, for which flowering and fruiting were negatively related with the two environmental factors. In other cases, one phenophase displayed contrasting relationships with precipitation and photoperiod, while the other showed similar relationships. For example, the flowering of *A. adstringens* was positively related both with rain and photoperiod (rainy season, May to July), whilst fruiting was positively related with the former factor but negatively with the latter. Also, the fruiting of *B. fragrantissima* was positively related with both environmental variables, whereas its flowering had contrasting relationships with them.

Finally, some species stood out from these patterns, as their flowering was significantly related with one environmental variable but not with the other. For example, in *B. alicastrum* and *H. impetiginosus* flowering was positively related with precipitation only, whereas in *E. polystachia*, a species for which no fruiting was observed throughout the five year monitoring period, flowering was unrelated with rainfall but positively related with photoperiod (Table 3).

## 4. Discussion

### 4.1. Reproductive phenological strategies and climatic clues

The flowering and fruiting of all species concentrated strongly either in the early (October–November) or the late (February–March) dry season. Overall, both phenophases had a low intensity (< 25%), a short duration (< 2 months), were asynchronous and had

an annual frequency. This general pattern largely coincides with reports for other SDTF species (e.g., Bullock and Solís-Magallanes, 1990; Borchert et al., 2004; Valdez-Hernández et al., 2010). Yet, the specific responses or phenological strategies to climatic seasonality during the year diverged, with the predominance of dry season phenological strategy, which includes the species reproducing exclusively during the dry season (Table 4; October–March). That strategy indicates a clear adaptation of those SDTF trees to the strong precipitation seasonality, and it has been observed for other tropical dry forests (Singh and Kushwaha, 2005). Species presenting this strategy may remain dominant until leaf shedding occurs and the trunk rehydrates, allowing flower anthesis and fruit maturation (Borchert, 2000). Species in this study conforming to the above strategy (e.g., *A. adstringens*, *B. alicastrum*, *C. elaeagnoides* and *C. platyloba*) show a fruiting peak in the early dry season (October–November), but their fruits stayed on the trees for over five months, which resulted in the lack of statistically significant seasonality. The second most common phenological strategy grouped five species flowering in the rainy season (June–August) and fruiting in the dry season (September–November). Only one species presented the third phenological strategy, flowering and bearing fruits exclusively during the wet season (June–September), indicating a sensitivity to the dry season environmental constraints. Species with this latter strategy, in our study represented by *B. fragrantissima*, respond rapidly to increasing rainfall, usually have a single, short (< 2 months) flowering event each year; flower buds may mature quickly, and fruits are produced at the end of the same season, when dispersers abound (July–September; van Schaik et al., 1993). Therefore, phenological patterns of these SDTF tree species are strongly related with precipitation seasonality, and thus deviations in the starting dates and intensity of the reproductive phenophases may be observed in response to large inter-annual variation in precipitation.

For those species that began to flower during the dry season, photoperiod may be the trigger of the reproductive activity, as they can either uptake soil water through a deep root system, or use water previously stored in low wood density trunks (Borchert and Rivera, 2001; Borchert et al., 2004; Rivera et al., 2002). Species displaying this dry season phenological strategy tend to flower briefly (< 2 months), two to three months after the end of the rains when photoperiod becomes shorter (Fall, November–December) like *G. sepium* and *C. coriaria*, or several weeks before the onset of the wet period, when photoperiod is longer (Spring, March–April), like *H. sclerocarpum*, *L. arborea*, *P. rubra* and *S. humilis*. When

**Table 4**

Monthly mean values of the intensity index of fruiting during a five year period, of 14 species from Seasonally Dry Tropical Forest with forestry potential (Michoacán state, Mexico). Bold values indicate the period in which it is recommended to collect their seeds according to their phenological patterns.

Phenological pattern/Species	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
<i>Flowering and fruiting in the rainy season</i>												
<i>Bursera fragrantissima</i>	0	0	2.6	0	1	0	<b>7.2</b>	<b>7.8</b>	2.8	0	0	0
<i>Flowering in rains, fruiting in drought</i>												
<i>Amphipterygium adstringens</i>	38	32.5	24.4	14.4	6	0.8	10	34	47.6	<b>48.4</b>	<b>38</b>	19.2
<i>Brosimum alicastrum</i>	0.8	0.7	0.5	3.2	1.6	0.3	0	0.5	0.8	3.2	<b>31.2</b>	5.9
<i>Cordia elaeagnoides</i>	54.8	53.5	31.6	22	10.8	2	0	0	10	<b>64</b>	<b>62.8</b>	46.4
<i>Caesalpinia platyloba</i>	19.2	14	10	8.4	3.6	0.8	6.8	16.4	16.8	<b>18.4</b>	<b>19.2</b>	20.8
<i>Flowering and fruiting in the dry season</i>												
<i>Gliricidia sepium</i>	0	4.5	<b>14.4</b>	9.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0.8
<i>Caesalpinia coriaria</i>	26.8	<b>30.5</b>	15.6	6.8	4	0.4	1.6	0.4	0.4	0.8	2.8	10
<i>Heteroflorum sclerocarpum</i>	13.6	<b>15.5</b>	<b>16.4</b>	12.8	7.6	1.6	0	3.6	12.4	14	13.2	12
<i>Licania arborea</i>	0	0	<b>1.1</b>	1.7	1.1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Plumeria rubra</i>	13.2	<b>16.5</b>	<b>14.4</b>	6	1.6	0	0.4	0	3.6	7.6	6.4	8
<i>Swietenia humilis</i>	0	<b>5</b>	<b>7</b>	5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Uncertain pattern</i>												
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1.2	3.5	4	7.6	2	0.4	2	0.8	0.8	0.8	0.4	0.4
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	0.4	0	2	4	3.6	0	0.4	0	0	0.4	0	1.2

flowering occurs in the middle of the dry season, fruit availability will peak shortly after (January–March). Conversely, if species bloom in the late dry season, they will initiate fruit production two–three months later, and fruits will remain in the trees for a variable time (3–9 months), which ensures that their seeds will be ready for dispersal just before the next rainy season (April–May). As photoperiod fluctuations are constant from year to year, the reproductive phenological patterns of these species should display small inter-annual variations.

Admittedly, the ability of the logistic models to efficiently discriminate failures and successes (i.e., presence or absence of reproductive structures) in our study species was modest. Although this result could imply that the environmental factors play a relatively minor role in the timing of phenological events, this is more likely due to the reduction of the observed phenological variability to a binary variable for this analysis. Yet, the importance of this result should not be disregarded, considering that the large majority of phenological studies comprising many species over long periods of time produce this kind of information.

#### 4.2. Reproductive phenology asynchrony

Due to the large inter-annual variation in precipitation in the seasonally dry tropics, species with reproductive cycle responding to increasing water availability may have a more asynchronous phenology, compared with the constancy of species whose reproduction is triggered by photoperiod (Borchert et al., 2005; Singh and Kushwaha, 2006). Interestingly, our findings disagree with these generalizations: regardless of their phenological pattern, all species but one (*C. elaeagnoides*) were highly asynchronous in their flowering and fruiting. This suggests that despite strong environmental clues that may trigger their reproduction, morphological and physiological intra-specific variability may produce differential responses among individuals to micro environmental conditions (Holbrook et al., 1995; Singh and Kushwaha, 2005; van Schaik et al., 1993). The synchrony index used in this study takes into account both the degree of overlap between different phenophases and their intensity; thus, a high synchrony requires the phenophase peak in a given individual to coincide with the peaks of all its conspecifics (Freitas and Bolmgren, 2008). As the reproductive intensity recorded by us was generally low, this also resulted in low synchrony.

#### 4.3. Seed collection strategies and phenological patterns

In SDTFs, plant propagation in rustic nurseries is confined to the rainy season. The relevance of a good seed collection schedule for the proper functioning of the nurseries resides thereby, as it ensures a timely seed supply (Blakesley et al., 2002; Böhringer et al., 2003). Seed collection planning requires precise knowledge of phenological patterns, as this allows deciding the time of the year when it is more likely to find mature fruits for the focal species, and helps understand the close relationship between reproductive cycles of plants and the typically changing climatic conditions in dry forest regions (Buisson et al., 2016; Morellato et al., 2016). Regrettably, phenology-informed seed collecting agendas are often constructed based on short-term studies in which different phenological attributes are not evaluated quantitatively (Buisson et al., 2016). A major drawback of this approach is that it results in inflexible collecting schemes that prevent adapting to the intrinsic inter-annual phenological variability. Our study exemplifies this situation: in the first monitoring year a high-intensity, three day-long rainfall event took place in the middle of February, a typically dry month, which strongly modified the usual reproductive pattern of species that respond rapidly to water inputs. Consequently, in that year flowering began early and it was

followed by flower bud abortion due to insufficient water in subsequent months. Our approach provided essential elements to translate the observed phenological patterns into adaptive management plans.

For species that concentrate their reproductive cycle in the rainy season one may be confident that fruit availability will be high in July and August. However, because flowering and fruiting in these species tend to be very short (usually < 1 month), frequent monitoring of their trees (at least fortnightly) will increase the probability to find fruits for seed collection. The trade-offs related to frequency of observation and sample sizes have been discussed by Morellato et al. (2010) and support our findings. In our study, *B. fragrantissima* was the only species in this situation: in 2011 we failed to record flowers and fruits, probably due to an insufficient temporal resolution in the monitoring schedule rather than because of a supra-annual pattern in its reproductive cycle. Species that flower in the rainy season represent a contrasting situation; many of them bore immature fruits already in September, and they became mature one or two months later, in the early dry season. For these species it would be advisable to collect their seeds at this time, regardless of how long their fruits stay on the trees, given the considerable reductions in seed viability reported after this period (Fenner and Thompson, 2004).

The flowering and fruiting of any individual plant are not independent events: the onset of the flowering largely determines the timing of fruiting (Primack, 1987; Singh and Kushwaha, 2005). For those species that display any of the first two phenological strategies described here, recording flower initiation in any given year is very relevant, as one may forecast one or two months ahead of time when seeds will be available. Likewise, for species flowering and fruiting exclusively in the dry season, either because their reproductive cycle responds to a decreasing or increasing photoperiod, we recommend to collect their seeds in February and March (Table 4).

When planning seed collection one must consider other relevant issues in addition to the time schedule of this activity. For example, it is also necessary to know the sexual system of target species; for dioecious species one should select individuals to be monitored carefully to prevent the inclusion of male trees only. Information on the spatial distribution and abundance patterns of focal species is also important: collecting seeds of rare species that are widely spread spatially will have very different logistic requirements compared to abundant species or those having clumped spatial patterns (Buisson et al., 2016; Morellato et al., 2016).

To close, we emphasize that the success of a long-term phenological study, like the one presented here, largely depends on the coordinated participation of the various social actors involved in seed management of native species, including local communities, government agencies, private initiatives and the academia. In our experience, the implementation of the community-based monitoring (CBM) program allowed local stakeholders to become familiar with the underlying causes of the large variability in the observed phenological patterns, and to acquire basic abilities that will allow them to conduct an adaptive management of seeds of native species in this highly dynamic system. The CBM represents a prime example of the citizen science approach (Burgos et al., 2013; Dickinson et al., 2010; Kobori et al., 2016), which will allow the community to use wisely and in a more sustainable way the natural resources they have traditionally extracted from the STDF (Balvanera et al., 2011). Ideally, our study will serve to stimulate citizen science in the tropics, as this approach would offer important avenues for future studies in phenology and conservation science, as well as in education and management programs (Buisson et al., 2016; Mayer, 2010; Morellato et al., 2016; Scheffinger and Templ, 2016).

## 5. Conclusions

Long-term phenological studies that include qualitative descriptions of population-level phenological attributes provide valuable information needed to understand both the inter-annual and interspecific variation implicit in the phenological patterns of tree species. Understanding this variation is critical for the design of flexible seed collection strategies that can adapt to the intrinsic variations of plants' life cycles, and thus to ensure a timely and permanent provision of seed to multiple programs aimed at the propagation of native species of forestry interest.

## Acknowledgements

The senior author thanks the Posgrado en Ciencias Biológicas of Universidad Nacional Autónoma de México for its support during her PhD studies and CONACYT for a graduate scholarship. This article is a requirement for obtaining the PhD degree. This research was funded by PAPIIT-UNAM, grant IN207512. Jorge Cortés Flores provided assistance in statistical analysis. This paper benefited from the constructive and useful comments from one anonymous reviewer.

## Appendix A

See Table A1.

**Table A1**

Total number of individuals of 14 tree species recorded within the study area in Churumuco, Michoacán state, Mexico. Sites (m): Low (230–478), Medium (479–726) and High (727–974).

Species	Low	Medium	High	Total
<i>Amphipterygium adstringens</i>	3	38	45	86
<i>Brosimum alicastrum</i>	–	16	12	28
<i>Bursera fragrantissima</i>	–	–	50	50
<i>Caesalpinia coriaria</i>	10	1	–	11
<i>Caesalpinia platyloba</i>	8	32	–	40
<i>Cordia elaeagnoides</i>	42	49	20	111
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	–	–	28	28
<i>Gliricidia sepium</i>	40	19	2	61
<i>Guazuma ulmifolia</i>	2	5	56	63
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	19	32	4	55
<i>Heteroeflorum sclerocarpum</i>	18	31	–	49
<i>Licania arborea</i>	2	3	–	5
<i>Plumeria rubra</i>	–	37	–	37
<i>Swietenia humilis</i>	–	1	10	11
Total	144	264	227	635

## References

Balvanera, P., Castillo, A., Martínez-Hamms, M.J., 2011. Ecosystem services in seasonally dry tropical forests. In: Dirzo, R., Young, H.S., Mooney, H.A., Ceballos, G. (Eds.), *Seasonally Dry Tropical Forests. Ecology and Conservation*. Island Press, Washington, DC, pp. 259–277.

Blakesley, D., Elliot, S., Kuarak, C., Navakitburung, P., Zangkum, S., Anunsarnsunthorn, V., 2002. Propagating framework tree species to restore seasonally dry tropical forest: implication of seasonal seed dispersal and dormancy. *For. Ecol. Manage.* 164, 31–38.

Böhlinger, A., Ayuk, E.T., Katanga, R., Ruvuga, S., 2003. Farmer nurseries as a catalyst for developing sustainable land use systems in southern Africa. Part A: Nursery productivity and organization. *Agric. Syst.* 77, 187–201.

Bonfil, C., Trejo, I., 2010. Plant propagation and the ecological restoration of Mexican tropical deciduous forest. *Ecol. Rest.* 28, 369–376.

Borchert, R., 1998. Responses of tropical trees to rainfall seasonality and its long-term changes. *Clim. Change* 39, 381–393.

Borchert, R., 2000. Organismic and environmental controls of bud growth in tropical trees. In: Viemont, J.D., Crabbé, J. (Eds.), *Dormancy in Plants: From Whole Plant Behavior to Cellular Control*. CAB International, Wallingford, pp. 87–107.

Borchert, R., Rivera, G., 2001. Photoperiodic control of seasonal development and dormancy in tropical stem succulent trees. *Tree Physiol.* 21, 213–221.

Borchert, R., Rivera, G., Hagnauer, W., 2002. Modification of vegetative phenology in a tropical semi-deciduous forest by abnormal drought and rain. *Biotropica* 34, 27–39.

Borchert, R., Meyer, S.A., Felger, R.S., Porter-Bolland, L., 2004. Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecol. Biogeogr.* 13, 409–425.

Borchert, R., Renner, S.S., Calle, Z., Navarrete, D., Tye, A., Gautier, L., Spichiger, R., von Hildebrand, P., 2005. Photoperiodic induction of synchronous flowering near equator. *Nature* 433, 627–629.

Botha, J., Witkowski, E.T.F., Cock, J., 2005. A review of nurseries as conservation or social forestry outreach tools. *Int. J. Biodivers. Sci. Manage.* 1, 33–51.

Botha, J., Witkowski, E.T.F., Cock, J., 2006. The South African experience of conservation and social forestry outreach nurseries. *Environ. Manage.* 38, 733–749.

Buisson, E., Alvarado, S.T., Stradic, S.L., Morellato, P., 2016. Plant phenological research enhances ecological restoration. *Restoration Ecol.* <http://dx.doi.org/10.1111/rec.12471>.

Bullock, S.H., Solís-Magallanes, J.A., 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica* 22, 22–35.

Burgos, A., Páez, R., Carmona, E., Rivas, H., 2013. A system approach to modeling Community-Based Environmental Monitoring: a case of participatory water quality monitoring in rural Mexico. *Environ. Monit. Assess.* 185, 10297–10316.

Cortés-Flores, J., Hernández-Esquivel, K.B., González-Rodríguez, A., Ibarra-Manríquez, G., 2017. Flowering phenology, growth forms and pollination syndromes in a tropical dry forest species: influence of phylogeny and abiotic factors. *Am. J. Bot.* 104, 39–49.

Dickinson, J.L., Zuckerman, B., Bonter, D.N., 2010. Citizen science and ecological research tool: challenges and benefits. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 41, 149–172.

Fenner, M., Thompson, K., 2004. *The Ecology of Seeds*. Cambridge University Press, Cambridge.

Fournier, L.A., 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba* 24, 422–423.

Frankie, G.W., Baker, H.G., Opler, P.A., 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *J. Ecol.* 62, 881–919.

Freitas, L., Bolmgren, K., 2008. Synchrony is more than overlap: measuring phenological synchronization considering time length and intensity. *Rev. Bras. Bot.* 31, 721–724.

Holbrook, N.M., Whitbeck, J.L., Mooney, H.A., 1995. Drought responses of Neotropical dry forest trees. In: Bullock, S.H., Mooney, H.A., Medina, E. (Eds.), *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 243–276.

Justiniano, M.J., Fredericksen, T.S., 2000. Phenology of tree species in Bolivian dry forest. *Biotropica* 32, 276–281.

Kobori, H., Dickinson, J.L., Washitani, I., Sakurai, R., Amano, T., Komatsu, N., Kitamura, W., Takagawa, S., Koyama, K., Ogawara, T., Miller-Rushing, A.J., 2016. Citizen science: a new approach to advance ecology, education and conservation. *Ecol. Res.* 31, 1–19.

Kuaraksa, C., Elliot, S., Hossaert-Mckey, M., 2012. The phenology of dioecious *Ficus* spp. tree species and its importance for forest restoration projects. *For. Ecol. Manage.* 265, 82–93.

Mayer, A., 2010. Phenology and citizen science. *BioScience* 60, 172–175.

McLaren, K.P., McDonald, M.A., 2005. Seasonal patterns of flowering and fruiting in a dry tropical forest in Jamaica. *Biotropica* 37, 584–590.

Miller-Rushing, A.J., Weltzin, J., 2009. Phenology as a tool to link ecology and sustainable decision making in a dynamic environment. *New Phytol.* 184, 743–745.

Morellato, L.P., Talora, D.C., Takahashi, A., Bencke, C.C., Romera, E.C., Ziparro, V.B., 2000. Phenology of Atlantic Rain Forest trees: a comparative study. *Biotropica* 32, 811–823.

Morellato, L.P.C., Camargo, M.G.G., D'EcaNeves, F.F., Luize, B.G., Mantovani, A., Hudson, I.L., 2010. The influence of sampling method, sample size, and frequency of observations on plant phenological patterns and interpretation in tropical forest trees. In: Hudson, I.L., Keatley, M.R. (Eds.), *Phenological research: methods for environmental and climate change analysis*, doi:[http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-3335-2\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-3335-2_5).

Morellato, L.P.C., Camargo, M.G.G., Gressler, E., 2013. A review of plant phenology in South and Central America. In: Schwartz, M.D. (Ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer, Dordrecht, pp. 91–113.

Morellato, L.P., Albetton, B., Alvarado, S., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M.G.G., Cancian, L., Carstensen, D.W., Escobar, D., Leite, P., Mendoza, I., Rocha, N., Soares, N., Silva, T., Staggemeier, V., Streher, A., Vargas, B., Peres, C., 2016. Linking plant phenology to conservation biology. *Biol. Conserv.* 195, 60–72.

Newstrom, L.E., Frankie, G.W., Baker, H.G., 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.

Primack, R.B., 1987. Relationships among flowers, fruits, and seeds. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18, 409–430.

R Core Team, 2014. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria <<http://www.R-project.org/>> (accessed 24.09.16).

Rivera, G.S., Stephen, E., Caldas, L.S., Nicolassi, G., Coradin, R., Borchert, R., 2002. Increasing day length induces spring flushes of tropical dry forest trees in the absence of rain. *Trees* 16, 445–456.

Scheffinger, F., Tempel, B., 2016. Is citizen science the recipe for the survival of paper-based Phenological Networks in Europe? *BioScience* 66, 533–534.

- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales], 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación, December 30, 2010.
- Singh, K.P., Kushwaha, C.P., 2005. Emerging paradigms of tree phenology in dry tropics. *Curr. Sci. India* 89, 964–975.
- Singh, K.P., Kushwaha, C.P., 2006. Diversity of flowering and fruiting phenology of trees in a tropical deciduous forest in India. *Ann. Bot.* 97, 265–276.
- Tjur, T., 2009. Coefficients of determination in logistic regression models – a new proposal: the coefficient of discrimination. *Am. Stat.* 63, 366–372.
- Valdez-Hernández, M., Andrade, J.L., Jackson, P.C., Rebolledo-Vieyra, M., 2010. Phenology of five tree species of a tropical dry forest in Yucatán, México: effects of environmental and physiological factors. *Plant Soil* 329, 155–171.
- van Schaik, C.P., Terborgh, J.W., Wright, S.J., 1993. The phenology of tropical forest: significance and consequences for primary consumers. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 24, 353–357.
- Venter, S.M., Witkowski, E.T.F., 2011. Baobab (*Adansonia digitata* L.) fruit production in communal and conservation land-use type in Southern Africa. *For. Ecol. Manage.* 261, 630–639.
- Wallace, R.B., Painter, R.L.E., 2002. Phenological patterns in southern Amazonian tropical forest: implications for sustainable management. *For. Ecol. Manage.* 160, 19–33.
- Zar, J.H., 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey.

## Capítulo V.

---

### ¿Cómo seleccionar fuentes semilleras para abastecer a los viveros en los sistemas estacionalmente secos? Un estudio de caso utilizando a *Caesalpinia platyloba* (S. Watson.) N. Zamora (Fabaceae)

Adriana L. Luna-Nieves, Jorge A. Meave, Edgar J. González, Jorge Cortés-Flores y Guillermo Ibarra-Manríquez



Flores, frutos y semillas de *Caesalpinia platyloba* (Fabaceae)

## **Resumen**

Uno de los principales obstáculos operativos a los que se enfrentan los viveros que abastecen de especies nativas a los programas de restauración es el abastecimiento de semillas de buena calidad. En esta investigación se seleccionó a *Coullteria platyloba* (Leguminosae) como modelo de estudio para evaluar si la selección de fuentes semilleras, a través de la identificación de los fenotipos más sobresalientes, es un método útil para obtener semillas de calidad superior al promedio poblacional, que permita disponer de plántulas más vigorosas. Además, se analizó el potencial de producción de semillas de una población natural de esta especie con el fin de obtener los volúmenes de cosecha potenciales de las fuentes semilleras seleccionadas. A través de la modelación de ecuaciones estructurales se mostró que las características del árbol parental están altamente relacionadas con las características de las semillas, las cuales a su vez, están estadísticamente asociadas con las características de las plántulas que producen. Se estima que en una hectárea se pueden cosechar 55 kg de frutos, de los cuales tomando en cuenta los rendimientos del fruto, el potencial de germinación de las semillas y colectando sólo el 50% de la producción anual, se podrían obtener alrededor de 3.6 kg de semillas viables por año, con las cuales se puede cubrir la demanda comercial de la especie en la región. Estos resultados brindan pautas importantes para seleccionar fuentes semilleras de mejor calidad que abastezcan a los programas de restauración, y que permitan mejores resultados en la supervivencia y crecimiento de las plantaciones.

**Palabras clave:** Variación fenotípica, potencial de producción de semillas, ensayos de germinación, modelos de ecuaciones estructurales

## 1. Introducción

El abastecimiento de semillas constituye el pilar de los viveros que surten de especies nativas a los programas agroforestales, de reforestación, o restauración (Vargas y Lozano 2008, Godínez y Flores 1999, CONAFOR 2010). Generalmente, estos viveros obtienen semillas de individuos cuya elección depende principalmente de la disponibilidad y accesibilidad de sus frutos maduros (Broadhurst *et al.*, 2008; 2015; Whittet *et al.*, 2016). Esta estrategia oportunista, aunque supone ventajas adaptativas en las plantaciones a las condiciones climáticas locales (Mijnsbrugge *et al.*, 2010), no siempre toma en cuenta la calidad de las semillas que colectan, la cual está íntimamente relacionada con la capacidad que tienen para germinar y crecer (Baskin y Baskin, 1998), características que en última instancia, determinarán el éxito de las plantaciones (Evans 1992, Chirino *et al.*, 2009). Otra desventaja de esta estrategia es que no asegura el abastecimiento de semillas para cubrir la demanda inmediata, puesto que se desconocen los volúmenes de producción de las fuentes semilleras y cuánto se puede cosechar de ellas de manera sustentable (Mortlock, 2000, Broadhurst *et al.*, 2008; Mendizábal-Hernández *et al.*, 2015). Por último, debido a que las colectas generalmente se hacen a partir de pocos individuos, se corre el riesgo de reducir la variabilidad genética de las futuras plantaciones, debido a que éstos responden de manera uniforme a los cambios ambientales y tienen menos flexibilidad para adaptarse a la variabilidad del sitio a restaurar (Boshier y Amaral, 2004; Mckay *et al.*, 2005; Bower y Aitken, 2008).

Para superar los obstáculos operativos que afectan el suministro de semillas de alta calidad, los programas de restauración han comenzado a utilizar diferentes directrices enfocadas al mejoramiento genético forestal, con el objetivo de incrementar la productividad y la resiliencia de las plantaciones (Alba-Landa *et al.*, 2008; FAO, 2014). La primera etapa del esquema general de mejoramiento genético forestal consiste en tomar en cuenta los efectos parentales para identificar y seleccionar fuentes semilleras de alta calidad (Smith, 1986; Jara, 1995). De esta manera, un árbol semillero se selecciona identificando aquél que tenga características fenotípicas superiores al promedio poblacional, en términos de los atributos que se desean seleccionar como la altura, presencia de fustes rectos, o amplitud de la copa. El fundamento central de esta estrategia es que las características de superioridad fenotípica de los árboles seleccionados serán heredadas a la siguiente

generación, y por lo tanto sus semillas serán de mayor calidad en comparación al promedio poblacional (Zobel y Talbert, 1984; Jara, 1995; Mesén, 1998).

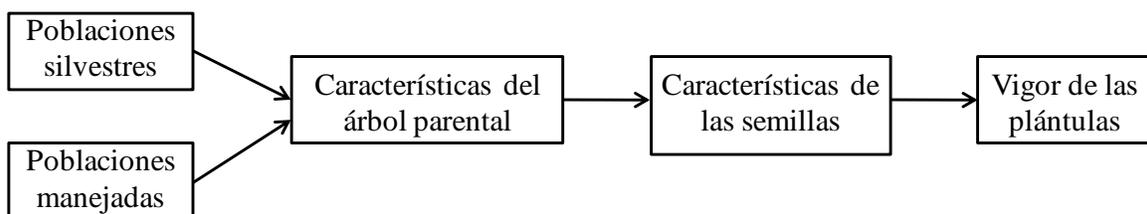
Diversos estudios han señalado que este método es de gran utilidad para coleccionar semillas de calidad superior a las que se obtienen con estrategias oportunistas basadas en la disponibilidad inmediata (Pedersen *et al.*, 1993; Cornelius, 1998). No obstante, es importante considerar que este método surgió en el campo de la explotación forestal de especies de comunidades templadas, como pinos y encinos, con el principal interés de propagar individuos con características dasométricas deseables para el aprovechamiento maderable (Jara, 1994). Sin embargo, en términos de la restauración ecológica, lo que se busca es producir plantas que se puedan propagar fácilmente en condiciones de vivero y que sean capaces de sobrevivir y crecer en los sitios donde se desea restablecer la vegetación (Blakesley *et al.*, 2000; Pakkad *et al.*, 2003). Por tanto, es muy importante evaluar si en el contexto de la restauración y en ecosistemas estacionalmente secos, la estrategia de identificar los mejores fenotipos para seleccionar árboles semilleros, es un método que permite cumplir con estos objetivos.

El frijolillo (*Coulteria platyloba* (S. Watson), N. Zamora, Leguminosae) es una especie arbórea dioica, del bosque tropical caducifolio de México, ampliamente utilizada para obtener postes debido a que su madera es muy dura ( $0.8 \text{ g/cm}^3$ ) y altamente resistente a la pudrición (Forster *et al.*, 2002). Los postes son empleados en la construcción de viviendas rústicas, para cercar potreros o campos agrícolas, o como soportes para cultivos hortícolas (Rendón-Carmona *et al.*, 2009). Debido a la alta demanda de esta especie a lo largo de su área de distribución natural, y a que es una especie de rápido crecimiento que se establece fácilmente en sitios degradados, su propagación en viveros se ha impulsado fuertemente (Sánchez-Soto *et al.*, 2016).

Las semillas que se utilizan para propagarla generalmente se coleccionan de pocos individuos provenientes de poblaciones manejadas, las cuales se ubican cerca de los poblados, como en los linderos de los caminos, en los campos agrícolas o ganaderos, o en los traspatios de las casas. Esta práctica responde, no sólo a la facilidad de colecta que representa la cercanía de esas fuentes semilleras a los poblados, sino también a la creencia

de que la calidad de las semillas producidas por los individuos de poblaciones manejadas es superior a la de los que se encuentran en sus áreas naturales de distribución.

En este contexto, en esta investigación se evaluaron distintos aspectos relacionados con la selección de fuentes semilleras tomando como modelo de estudio a *Coulleria platyloba*. En primer lugar, se analizó si las características fenotípicas de los individuos reproductivos se asocian con las características de las semillas que producen, y a su vez, si éstas se relacionan con las de las plántulas, distinguiendo entre poblaciones manejadas y silvestres, con el fin de evaluar si estas relaciones difieren según la procedencia (Figura 1). En segundo lugar se evaluó el potencial de producción de semillas de esta especie para conocer el volumen potencial de cosecha anual, información que complementa a la de la selección de fuentes semilleras de alta calidad.



**Figura 1.** Modelo conceptual utilizado para evaluar si las características fenotípicas de los individuos reproductivos de *Coulleria platyloba* se asocian con la calidad de semillas que producen, y si a su vez éstas se relaciona con la capacidad que las plántulas tienen para establecerse y crecer.

## 2. Método

### 2.1 Área de estudio

Este trabajo se realizó en el ejido Llano de Ojo de Agua, en el municipio de Churumuco, Michoacán, en la Depresión del Balsas ( $18^{\circ} 38' - 18^{\circ} 44' N$ ,  $101^{\circ} 38' - 101^{\circ} 41' O$ ). Las poblaciones silvestres estudiadas de *Coulleria platyloba* se localizaron en este ejido, el cual forma parte de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, dentro de un área que abarca una extensión de 892 ha, con un gradiente altitudinal de los 300 a los 1,200 m s.n.m. Por otro lado, las poblaciones manejadas de esta

especie se localizaron en los alrededores del poblado Churumuco, localizado a una altitud de 200 m s.n.m.

El clima de la región es seco cálido con lluvias en verano (BSO), con una temperatura promedio anual de 28 °C y una precipitación total anual de 620 mm, que se concentra de junio a septiembre. El tipo de vegetación predominante es la selva baja caducifolia (Miranda y Hernández-X., 1963), cuyas características más distintivas son que al menos el 75 % de los árboles pierden las hojas en la época seca y forman un estrato arbóreo de una altura promedio de 8 m. En el área de estudio es posible distinguir zonas extensas de vegetación conservada, aunque hay numerosos parches de vegetación secundaria derivados de la actividad agrícola, con edades de abandono aproximadas de 30 años.

## 2.2¿Las características del árbol parental se asocia con semillas y plántulas más vigorosas?

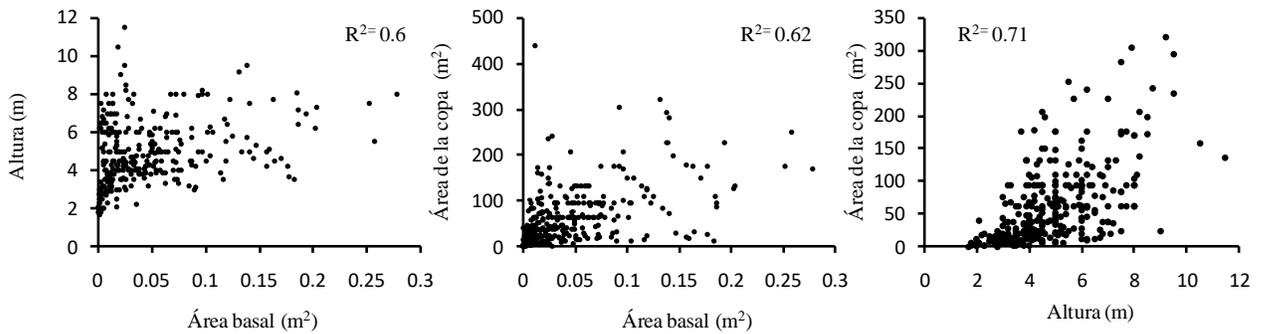
Para evaluar el primer objetivo que se planteó, se construyeron dos modelos de ecuaciones estructurales (SEM, abreviatura por su nombre en inglés: Structural Equation Models) en el paquete R (R Core Team, 2014), utilizando el paquete Lavaan (Rosseel, 2012), uno para las poblaciones manejadas, y otro para las poblaciones silvestres. Estos modelos son análisis estadísticos multivariados que se utilizan para contrastar modelos que proponen relaciones causales entre variables latentes, las cuales no se observan directamente, sino que se infieren a partir de variables que sí se miden (Ruiz *et al.*, 2010).

El modelo teórico que se construyó en esta investigación está compuesto por tres variables latentes: características del árbol parental, características de las semillas y vigor de las plántulas (Figura 1). La variable latente que define las características del árbol parental se construyó a partir de cinco variables observadas. La primera fue el tamaño del árbol, para lo cual se evaluaron las características arquitectónicas de 357 individuos reproductivos de *Coulteria platyloba* que se encontraron en el área de estudio, a los que se les midió la cobertura de la copa, el área basal y la altura. La cobertura de la copa se estimó midiendo el eje más largo de la copa y su perpendicular y se calculó con la siguiente fórmula:  $A = \pi r s$ ; donde  $r$  indica el valor del eje más largo y  $s$  el del eje más

corto. El área basal se estimó midiendo el diámetro a una altura de 1.3 m de cada uno de los troncos por individuo ( $d_i$ ) y se calculó con la siguiente fórmula:

$$AB = \sum_{i=1}^n \frac{\pi(d_i)^2}{4}$$

La altura promedio de los individuos reproductivos fue de 4.9 m (DE  $\pm$  1.7), con una variación de entre 1.7 m a 11.5 m. El área promedio de la copa fue de 65.2 m<sup>2</sup> (DE  $\pm$  63.9 m<sup>2</sup>), variando entre 0.3 m<sup>2</sup> hasta 440 m<sup>2</sup>, y el área basal promedio fue de 0.05 m<sup>2</sup> (DE  $\pm$  0.06 m<sup>2</sup>), con valores entre 0.001 hasta 0.5 m<sup>2</sup>. La relación entre estas variables fue alta y estadísticamente significativa ( $R^2 > 0.6$ ), con cierta tendencia de incremento lineal entre el área basal con la altura y la cobertura de la copa, y la altura con el área de la copa (Figura 2). Por esta razón, se eligió el área basal como un indicador del tamaño de los árboles evaluados, por ser la variable morfológica más fácil de evaluar en condiciones de campo y por tanto la más utilizada para determinar el tamaño de un árbol. Una vez conociendo la variación fenotípica de la población, se eligieron 30 árboles provenientes de poblaciones silvestres y 15 de poblaciones manejadas para realizar los modelos.



**Figura 2.** Correlaciones entre el área basal, el área de la copa y la altura de 357 árboles de *Coulteria platyloba* en Churumuco, Michoacán, México.

La segunda variable fue el número de frutos por árbol. Para asegurar que se abarcara toda la variación de los árboles reproductivos de *Coulteria platyloba*, se eligieron individuos pertenecientes a tres categorías diamétricas: I, 8-18 cm; II, 19-29 cm y III > 30 cm. De cada categoría diamétrica se colectaron frutos de 10 árboles provenientes de poblaciones silvestres (ver sección 2.3), y de cinco de las poblaciones manejadas (N = 45). Además, se contó el número total de frutos presentes en la copa de cada árbol. La tercera

variable registrada fue el tamaño de los frutos. Se colectaron 25 frutos por individuo ( $N = 1,125$ ) de todos los árboles en los que se contó el número de frutos, y se les midió el largo, ancho, grosor y peso. La relación entre estas variables fue alta ( $R^2 > 0.5$ ), por lo que para definir el tamaño de estas estructuras, se decidió utilizar el peso, por ser una variable con menos error de estimación. Finalmente, las dos últimas variables fueron el número de semillas por fruto, las cuales se contaron en los 25 frutos colectados por árbol ( $N = 1,125$ ), y el número de éstas que presentaban un buen estado físico, eliminando las que se encontraron infectadas por hongos, depredadas por insectos, inmaduras o malformadas.

Por otro lado, la variable latente características de las semillas se construyó a partir de dos indicadores: el primero de ellos fue su tamaño, para lo cual se midió el largo, ancho, grosor y peso de 25 semillas por individuo ( $N=1,125$ ). Al igual que con los frutos, se observó que estas variables están altamente correlacionadas ( $R^2 > 0.6$ ), por lo que también se eligió el peso como variable indicadora del tamaño de la semilla. El segundo indicador fue la velocidad de germinación, que se obtuvo realizando ensayos de germinación en una casa de sombra en condiciones de campo, utilizando bolsas de polietileno de 20 cm de diámetro  $\times$  30 cm de alto. El sustrato utilizado fue de arena proveniente del sitio de estudio. De cada individuo seleccionado para la muestra de estudio se pusieron a germinar 15 semillas ( $N_{\text{total silvestres}} = 450$  y  $N_{\text{total manejadas}} = 225$ ). Todas las semillas se lijaron mecánicamente para romper la latencia (Sánchez-Soto et al., 2016) y se regaron diariamente por las mañanas y por las tardes. Se registró el número de semillas que germinaron diariamente durante 70 días, considerando como germinada aquella semilla en la que emergió la radícula (1-2 mm de largo). En el modelo se reportó el día en que germinó cada semilla.

Por último, la variable latente vigor de las plántulas se construyó monitoreando el crecimiento de cuatro plántulas por individuo (30 de poblaciones silvestres y 15 de poblaciones manejadas,  $N = 180$ ), a partir de cinco variables. La primera fue la velocidad de crecimiento, que se evaluó considerando el día en que se registró el brote de la primera hoja verdadera en cada plántula. Cuando las plántulas presentaron la tercera hoja verdadera se cosecharon y se obtuvieron cuatro variables más: la altura del tallo, la longitud máxima de la raíz, el área foliar y el cociente raíz/vástago (biomasa de raíz/biomasa de la parte aérea), a partir del peso seco de ambas estructuras.

### 2.3 Potencial reproductivo

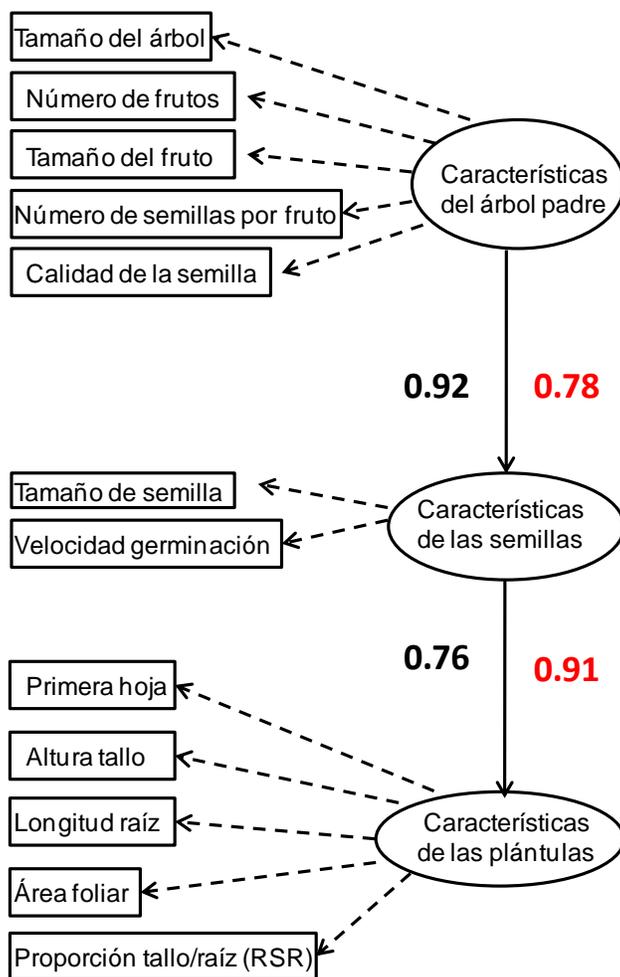
Se evaluó la abundancia de *Coulteria platyloba* en el área de estudio, estableciendo 10 cuadros de 20 × 50 m (1 ha), distribuidos en áreas con fragmentos de selva con un aspecto general de un buen estado de conservación, en donde de acuerdo con el criterio de los pobladores locales, presentara una alta o baja abundancia (cinco parcelas de 0.1 ha en cada condición). Dado que la especie es dioica, además de su abundancia, era fundamental conocer la proporción sexual de la población. Por ello, en estos cuadros se registró si los individuos de esta especie eran hembras o machos, lo cual se verificó a través de la revisión de sus flores, con base en la presencia de estaminodios y pistilodios, respectivamente.

## 3. Resultados

### 3.1 Relaciones entre las características del árbol parental, las semillas y el vigor de las plántulas

El modelo teórico planteado resultó ser ampliamente apoyado por los datos. Las características del árbol parental están altamente relacionadas con los atributos de las semillas que producen y a su vez, éstas determinan la calidad de las plántulas, tanto en las poblaciones silvestres, como en las manejadas (Figura 3).

Aunque en ambos modelos se observó que las relaciones causales fueron significativas y positivas ( $P < 0.05$ ), hubo pequeñas diferencias entre ellos (Figura 3). La relación entre las características del árbol parental y las características de las semillas fue un poco mayor en las poblaciones silvestres que en las poblaciones manejadas (0.92 y 0.78, respectivamente). En cambio, las relaciones entre las características de las semillas y las plántulas mostraron la relación inversa entre las poblaciones manejadas y silvestres (0.91 y 0.76 respectivamente).

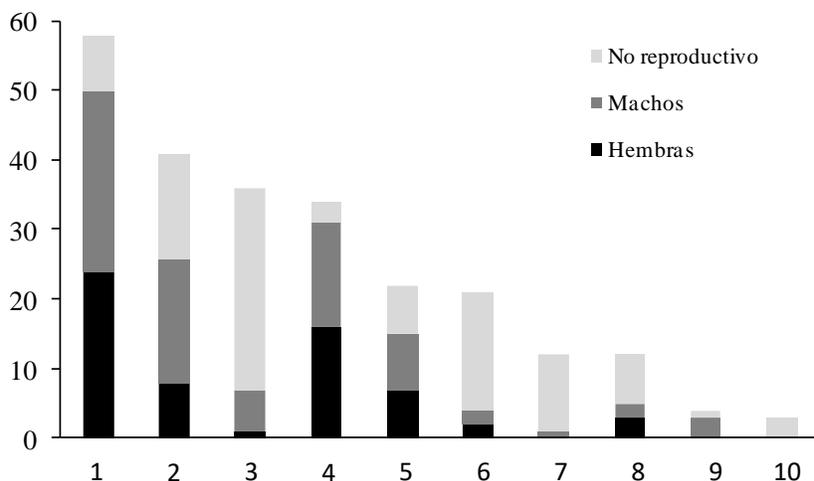


**Figura 3.** Diagrama de dos modelos estructurales de ecuaciones que evalúa la relación entre las características del árbol parental, las semillas y las plántulas. Del lado izquierdo de la ruta evaluada se presentan los coeficientes estandarizados del modelo para las poblaciones silvestres, y de lado derecho de color rojo se muestran los valores para las poblaciones manejadas de *Couleria platyloba*, en el municipio de Churumuco, Michoacán, México.

### 3.2 Potencial reproductivo

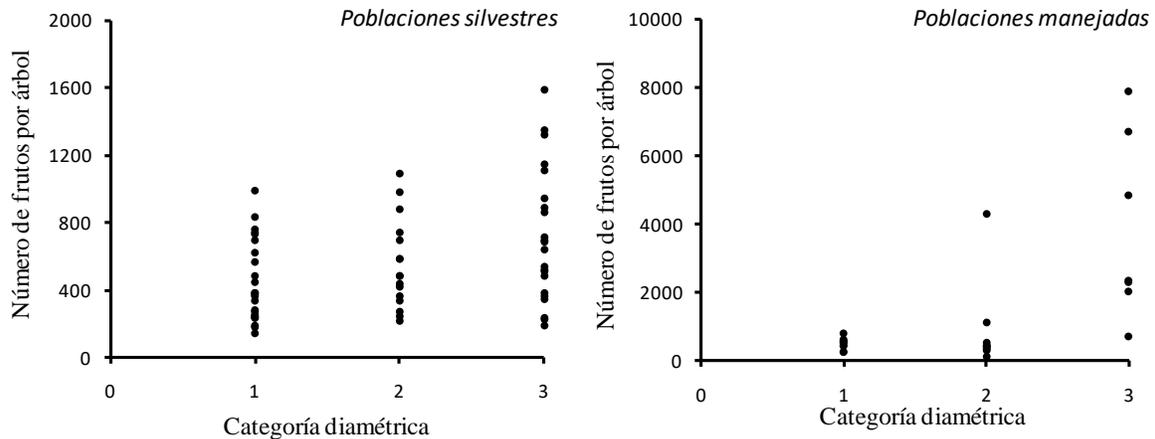
En las diez parcelas censadas se contabilizaron 243 individuos de *Couleria platyloba*, de los cuales el 33.3% presentó flores masculinas, el 25.1% flores femeninas y el 41.5% no presentó flores en ninguna evaluación. El número de individuos por parcela fue diferente, debido a que esta especie tiene un patrón de distribución agregado, formando parches muy

evidentes y encontrándose muy pocos individuos aislados en de las porciones de selva bien conservadas (Figura 4). Entonces, en los diez cuadros censados se encontraron en total 61 árboles hembra.



**Figura 4.** Número de individuos y proporción sexual de la población silvestre de *Coulteria platyloba* en Churumuco, Michoacán, México dentro de 10 cuadros de 20 × 50 m. Las parcelas de 1 al 5 son abundantes, y del 6 al 10 poco abundantes.

La producción de frutos aumentó con el tamaño del árbol, sin embargo esta producción fue muy variable. En las poblaciones silvestres el número de frutos producidos por individuo fue desde 130 hasta 1,600, mientras que en las poblaciones manejadas varió entre 250 y 8,000. En las categorías diamétricas I y II, (8–29 cm de DAP) no hubo diferencias significativas en el número de frutos que producen tanto en las poblaciones silvestres como en las manejadas. No obstante, en ambas poblaciones algunos árboles > 30 cm de DAP sí presentaron un mayor número de frutos (Figura 5).



**Figura 5.** Producción de frutos por árbol en poblaciones silvestres y manejadas de *Coulteria platyloba*, de acuerdo con su categoría diamétrica: 1, 8-18 cm; 2, 19-29 cm; 3 > 30 cm de DAP.

En promedio, el número de frutos que se presentaron por árbol fue de 1,116, presentándose una gran variación (desde 150 hasta 8,000 frutos). Cada fruto pesó en promedio 0.8 g ( $\pm 0.2$  g), y el número promedio de semillas por fruto fue cuatro ( $\pm 1.1$ ), con un intervalo de variación de cero a ocho semillas por fruto. De acuerdo con la categorización del estado físico de la semilla que se hizo observando daños visibles, la eficiencia promedio de los frutos fue del 50%, es decir, sólo dos de las cuatro semillas que presentó cada fruto tenía un buen aspecto físico. Por otro lado, las semillas pesaron en promedio 0.1g ( $\pm 0.05$  g), con un intervalo de variación de 0.03 a 0.9 g. A partir de esta información se deduce que en promedio cada individuo de *Coulteria platyloba* produce 0.9 kg de frutos, de los cuales es posible obtener 2,232 semillas en buen estado físico. De éstas germinan 62.2% en promedio, por lo que de un individuo es posible obtener, en promedio, 1,388 plántulas. Entonces, en las parcelas censadas se podrían obtener 55 kg de frutos, cada uno conteniendo 0.13 kg de semillas con un alto potencial de germinar, es decir, 7.2 kg de semillas útiles para ser utilizadas en programas de restauración, sin realizar ninguna selección fenotípica en la población.

#### 4. Discusión

##### 4.1 Selección de fuentes semilleras

Las plantas tienen una cantidad finita de recursos que asignan para crecer y reproducirse, por esto, entre más grande sea la planta su capacidad de crecimiento y reproducción son mayores (McCarthy y Quinn, 1992; Diggle, 1995, 1997). Esta relación ha sido ampliamente estudiada en diferentes investigaciones, las cuales han concluido que, en efecto, la producción de frutos se incrementa conforme aumenta el tamaño de los individuos (Snook *et al.*, 2005; Venter y Witkowski, 2011), o que el tamaño del fruto y el número de semillas por fruto que produce un individuo se relacionan directamente con el grosor de su tallo (Wolfe y Denton, 2001). En este contexto, no es sorprendente que los resultados del presente estudio indiquen que las características del árbol parental están altamente relacionadas con las que se observan en las semillas que producen. No obstante, esta relación sólo es clara a partir de cierto punto de inflexión. Por ejemplo, en árboles de *Swietenia macrophylla* King, se encontró que individuos mayores a 75 cm de DAP, producían una mayor cantidad de frutos (Snook *et al.*, 2005), mientras que en *Adansonia digitata* L. (Venter y Witkowski, 2011) y *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Kainer *et al.*, 2007) esta relación se encontró a partir de 100 cm de DAP. En *Coulteria platyloba* los árboles con diámetros mayores a 30 cm de DAP produjeron una mayor cantidad de frutos. Así, aunque es claro que el potencial de reproducción de los individuos se incrementa con su tamaño, es necesario conocer a partir de qué punto estas diferencias en tamaño se vuelven importantes.

Por otro lado, los resultados de esta investigación mostraron que las características de las semillas también estuvieron muy relacionadas con los atributos de las plántulas. Esto concuerda con otros estudios que reportan que al aumentar el tamaño de la semilla se incrementan los porcentajes de germinación y se producen plántulas más vigorosas en términos del área foliar que alcanzan, la altura de su tallo, la longitud de su raíz, o la acumulación de biomasa (Stanton, 1984; Bonfil, 1998; Jakobsson y Eriksson, 2000). No obstante, esta relación no siempre es tan clara como la que existe entre el tamaño del árbol y su capacidad de reproducción. En algunas especies el tamaño de las semillas

no influye en el vigor de las plántulas, mientras que en otras, el tamaño sólo es importante en la etapa inicial de desarrollo de las plántulas, ya que posteriormente las ventajas que se observan en las primeras etapas se diluyen con el tiempo (Marshall, 1986). Además, las ventajas que pueden tener las semillas grandes (o las plántulas que de ellas se derivan) al crecer en un invernadero, no siempre son tan evidentes cuando se evalúa su desempeño en

condiciones de campo, debido a los efectos de la competencia (Marshall, 1986; Stanton, 1988; Jakobsson y Eriksson, 2000). Por lo tanto, para seleccionar fuentes semilleras de calidad superior, es importante evaluar la capacidad de establecimiento de las plántulas en los sitios a reforestar, para comprobar si las ventajas que se observan al elegir fenotipos superiores, se traducen en plantaciones más exitosas.

Un aporte importante de esta investigación fue el método estadístico que se utilizó para evaluar las relaciones entre las características del árbol parental, las semillas y las plántulas, ya que los modelos de ecuaciones estructurales permiten analizar dentro de un mismo planteamiento, la relación del desarrollo de diferentes etapas del ciclo reproductivo de las plantas. Este enfoque que no se ha utilizado antes, ya que en las investigaciones previas, sólo se analiza la relación del tamaño de la planta con la cantidad de frutos que produce, o la relación entre el tamaño de la semilla y el vigor de las plántulas. Este enfoque novedoso permite plantear mejores estrategias de manejo de fuentes semilleras de calidad superior.

Aunque la selección de fenotipos superiores al promedio de la población parece ser una estrategia eficaz para obtener plántulas más vigorosas, tanto en las poblaciones silvestres como en las manejadas, es deseable considerar la inclusión de fuentes semilleras provenientes de poblaciones silvestres como una medida para incrementar la variación genética en las plantaciones, lo que les permitiría enfrentar mejor las condiciones ambientales cambiantes.

#### *4.2 Potencial de producción de semillas*

Conocer el potencial de producción de semillas de una población natural es crucial para determinar el volumen de cosecha sustentable que asegure el mantenimiento de la población (Chamberlain, 2003; Cunningham y Shackleton, 2004; Ticktin, 2004; Shackleton *et al.*, 2005). Un criterio para mitigar el impacto negativo de la extracción de semillas en las poblaciones naturales es aprovechar sólo el 50% de la producción anual (PRODEFOR, 2005). Este trabajo indica que el potencial de producción de semillas de la población natural de *Coulteria platyloba* fue de 72,000 semillas, en promedio, en los diez cuadros censados, por lo que se recomienda coleccionar sólo 36,000 y hacerlo a partir de individuos con características fenotípicas superiores al promedio poblacional. Este volumen cubre la

demanda comercial regional anual de la especie, que es de alrededor de 30,000 plantas (Luna-Nieves et al., datos no publicados). Sin embargo, sería importante evaluar el impacto de la cosecha de este volumen de semillas en la dinámica poblacional, para saber si al recolectar el 50 % de la producción total realmente se aseguraría el mantenimiento de esta población (Avocevou-Ayisso *et al.*, 2009; Gaoue *et al.*, 2016). Por otro lado, es importante considerar que la variación interanual e intraespecífica en la producción de semillas puede aportar información diferente a la discutida en esta investigación. Diversos estudios han señalado que el potencial reproductivo entre años e individuos de la misma población varían debido a distintos factores que modifican el crecimiento de los frutos, como los cambios en las condiciones climáticas, la cantidad de nutrientes en el suelo (Kainer *et al.*, 2007; Zunzunegui et al., 2010), o las características arquitectónicas de los individuos (Snook *et al.*, 2005; Venter y Witkowski, 2010). Esta variación no es la excepción en esta especie, pues se ha observado que los patrones en su fenología reproductiva son muy cambiantes a través del tiempo (Luna-Nieves *et al.*, 2017). Por esto, al proponer una estrategia comercial que implique el manejo de las semillas de una especie, sería importante estudiar las variaciones en la producción de frutos asociadas con estos factores.

Otra consideración importante para incrementar la variación genética en las plantaciones es coleccionar semillas de un número grande de individuos (Barrett y Kohn, 1991) (Hufford y Mazer, 2003). Por ello, la directriz general para obtener germoplasma es incluir entre 25 y 50 individuos por población, que estén separados al menos por 100 m entre sí, para evitar en la medida de lo posible, la inclusión de individuos emparentados (Guarino *et al.*, 1995; Schmidt 2000; Mijnsbrugge, *et al.*, 2016). En particular, en la población estudiada de *Coulteria platyloba* es posible seguir esta directriz, haciendo colectas de más de 25 individuos con características fenotípicas superiores, para asegurar la inclusión de diversidad genética.

## **5. Conclusión**

La selección de fuentes semilleras con características fenotípicas superiores al promedio de la población, es un método que permite obtener semillas que producen plántulas más vigorosas en los sistemas estacionalmente secos, que podrían incrementar el éxito en las plantaciones con fines de restauración. En una hectárea es posible obtener 3.6 kg de

semillas de calidad superior, lo que permite cubrir la demanda comercial anual. Este trabajo brinda nuevas pautas para la selección de fuentes semilleras de mejor calidad, que satisfagan la demanda de semillas para los programas de restauración.

### **Agradecimientos**

La primera autora agradece al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo brindado durante los estudios de doctorado, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada. Este artículo forma parte de su proyecto doctoral y estuvo financiado por el proyecto PAPIIT-UNAM (IN207512). El señor Lorenzo Sánchez Sánchez colaboró en la realización de los ensayos de germinación y el señor Misael Sánchez Rojas brindó una valiosa ayuda durante todo el trabajo de campo.

### **Literatura citada**

- Avocevou-Ayisso C., B. Sinsin, A. Adegbedi, G. Dossou y P. Van Dammeb (2009) Sustainable use of non-timber forest products: Impact of fruit harvesting on *Pentadesma butyracea* regeneration and financial analysis of its products trade in Benin. *Forest Ecology and Management*, 257:1930–1938
- Alba-Landa, J., L. Mendizábal-Hernández y J. Márquez Ramírez (2008). El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. *Foresta Veracruzana*, 10:25–29
- Baskin, C.C. y J.M. Baskin (1998) Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, New York.
- Blakesley, D., Anusarnsunthorn, V., Kerby, J., Navakitbumrung, P., Kuarak, C., Zangkum, S., Hardwick, K., Elliott, S. (2000) Nursery technology and tree species selection for restoring forest biodiversity in northern Thailand. In: Elliott, S., Kerby, J., Blakesley, D., Hardwick, K., Woods, K., Anusarnsunthorn, V. (Eds.), *Forest Restoration for Wildlife Conservation*. Chiang Mai University, pp. 207–222
- Boshier, D. y W. Amaral (2004) Threats to forest ecosystems and challenges for the conservations and sustainable use of forest genetic resources. En: Vinceti, B., Amaral, W. and Meilleur, B. (Eds.). *Challenges in Managing Forest Genetic Resource for Livelihoods: Examples from Argentina and Brazil*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome.

- Broadhurst, L.M., A. Lowe, J.D. Coates, S.A. Cunningham, M. McDonald, P.A. Vesk y C. Yates (2008) Seed supply for broadscale restoration: maximizing evolutionary potential. *Evolutionary Applications*, 1:587–597
- Broadhurst, L.M., M. Driver, L. Guja, T. North, B. Vanzella, G. Fifield, S. Bruce, D. Taylor y D. Bush (2015) Seeding the future – the issues of supply and demand in restoration in Australia. *Ecological Management and Restoration*, 16:29–32
- Bonfil, C. (1998) The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany*, 85:79–87
- Bower, D. y S.N. Aitken (2008) Ecological genetics and seed transfer guidelines for *Pinus albicaulis* (Pinaceae). *American Journal of Botany*, 95:66–76
- Chirino, E., A. Vilagrosa, J. Cortina, A. Valdecantos, D. Fuentes, R. Trubat, V.C. Luis, J. Puértolas, S. Bautista, J. Baeza, J.L. Peñuelas y V.R. Vallejo (2009) *Ecological restoration in degraded dry lands: the need to improve the seedling quality and site conditions in the field*. En Forest management, Grossberg SP (ed.). Nova Publisher: New York; 85–158
- CONAFOR (2010) Prácticas de reforestación. Manual básico. 65 p. Zapopan, Jalisco, México.
- Cornelius, J. (1998) Introducción al mejoramiento genético forestal. En: Jara, L.F. (Ed.) *Selección y manejo de fuentes semilleras en América Central y República Dominicana*. CATIE-PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica, pp. 13-19.
- Evans, J. (1992) Plantation forestry in the tropics. Oxford University Press. Oxford.
- FAO (2014) The state of the world's forest genetic resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Gaoue, O.G., C.N. Ngonghala, J. Jiang, M. Lelu (2016) Towards a mechanistic understanding of the synergistic effects of harvesting timber and non-timber forest products. *Methods in Ecology and Evolution*, 7:398–406
- Godínez, H. y A. Flores (1999) Germinación de semillas de 32 especies de plantas de la costa de Guerrero: su utilidad para restauración ecológica. *Polibotánica*, 11:1–19
- Hufford, K., y S.J. Mazer (2003) Plant ecotypes: Genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology and Evolution*, 18:147–155

- Kainer, K.A., L.H.O. Wadt y C.L. Staudhammer (2007). Explaining variation in Brazil nut fruit production. *Forest Ecology and Management*, 250:244–255
- Jakobsson A. y O. Eriksson (2000) A comparative study of seed number, seed size, seedling size and recruitment in grassland plants. *Oikos*, 88:494–502
- Jara, L.F. (1994) *Selección y Manejo de Rodales Semilleros*. Serie Técnica. Manual Técnico No. 11. Dainda Forest Seed Center. Humlebaek, Dinamarca, 175 pp.
- Jara, L.F. (1995) *Identificación y Selección de Fuentes Semilleras*. Primer seminario nacional de identificación, selección y manejo de fuentes semilleras. Programa de Investigación en Semillas de Especies Forestales Nativas. CONI-CATIE-PROSEFOR. Bogota, Colombia, 144 pp.
- Marshall, D.L. (1986) Effect of seed size on seedling success in three species of *Sesbania* (Fabaceae). *American Journal of Botany*, 73:457–464
- McKay, J.K., C.E. Christian, S. Harrison y K.J Rice (2005) “How local is local?” – a review of practical and conceptual issues in the genetics of restoration. *Restoration Ecology*, 13:432–440
- Mendizábal-Hernández, L.C., J. Alba-Landa, L. Hernández-Jiménez, E.O. Ramírez-García y M.C. Rodríguez-Juárez (2015) Potencial de producción de semillas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Adresen. *Foresta Veracruzana*, 17:47–52
- Mesén, F. (1998) Establecimiento y Manejo de Fuentes Semilleras. En: Jara, L.F. (Ed.) *Selección y manejo de fuentes semilleras en América Central y República Dominicana*. CATIE-PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica, pp. 30–45
- Mijnsbrugge, K.V., A. Bischoff y B. Smith (2010) A question of origin: Where and how to collect seed for ecological restoration. *Basic and Applied Ecology*, 11:300–311
- Miranda, F. y E. Hernández-X. (1963) Los tipos de vegetación en México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28:29–178
- Pedersen, A.P., K. Olesen y L. Graudal (1993) Tree improvement at species and provenance level. En: Jara, L.F. (Ed.). *Mejoramiento Forestal y Conservación de Recursos Genéticos Forestales*. CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp. 18-29.
- Sánchez-Soto, B.H., E. Pacheco-Aispuro, A. Reyes-Olivas, G.A. Lugo-García, P. Casillas Álvarez y C.P. Saucedo-Acosta (2016) Ruptura de latencia física en semillas de *Caesalpinia platyloba* S. Watson. *Interciencia*, 41:691–695

- Smith, D.M. (1986). The theory and practice of silviculture. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Stanton, M.L. (1984) Seed variation in Wild Radish: Effect of seed size on components of seedling and adult fitness. *Ecology*, 65:1105–1112
- Mijnsbrugge, K.V., A. Bischoff y B. Smith (2010) A question of origin: Where and how to collect seed for ecological restoration. *Basic and Applied Ecology*, 11:300–311
- PRODEFOR [Programa de Desarrollo Forestal] (2005) *Informe preventivo para el aviso de aprovechamiento de recursos forestales no maderables. Semilla de coral (Caesalpinia platyloba) en vegetación propia de selva baja en el ejido "El Campanario" Municipio de Armería*. México, D.F., 111 pp.
- R Core Team, 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria <<http://www.R-project.org/>> (accessed 24.09.16).
- Rosseel, Y. (2012) Lavaan: An R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software*, 48:1–36
- Ruiz, M.A., A. Pardo Antonio y R. San Martín (2010) Modelos de Ecuaciones Estructurales. *Papeles del Psicólogo*, 31:34–45
- Vargas, W. y F. Lozano (2008) El papel de un vivero en un proyecto de restauración en paisajes rurales andinos. Establecimiento del corredor Barbas – Bremen. En: Barrera, J.I., Aguilar, M. y Rondón, D. (eds.). Experiencias de restauración ecológica en Colombia “Entre la sucesión y los disturbios”: 67-82. Escuela de Restauración Ecológica ERE. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Venable, D. L. (1992) Size-number trade-offs and the variation of seed size with plant resource status. *The American Naturalist*, 140:287–304
- Whittet, R., J. Cottrell, S. Cavers, M. Pecurul y R. Ennos (2016) Supplying trees in an era of environmental uncertainty: Identifying changes faced by the forest nursery sector in Great Britain. *Land Use Policy*, 58:415–426
- Wolfe, L.M. y W. Denton (2001) Morphological constraints on fruit size in *Linaria Canadensis*. *International Journal of Plant Sciences*, 162:1313–1316
- Zobel, B. y J. Talbert (1988) *Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales*. Limusa, México, D.F., 545 pp.

Zunzunegui, M., F. Ain-Lhout, J. Jáuregui, M.C. Díaz Barradas, S. Boutaleb, L. Álvarez-Cansino y M.P. Esquivias (2010) Fruit production under different environmental and management conditions of argan, *Argania spinosa* (L.) *Journal of Arid Environments*, 74:1138–1145

## Capítulo VI.

---

### Discusión general



Taller ¿Qué hemos aprendido de nuestro vivero? Octubre, 2015

¿Los viveros comunitarios son una opción viable para conjuntar la conservación de la biodiversidad con el desarrollo rural de las comunidades que habitan en las Áreas Naturales Protegidas en México? La respuesta a la pregunta que guía esta tesis depende no sólo de cómo se defina el éxito de estos proyectos, sino también de cómo se evalúe (Salafsky *et al.*, 2001). Por esto, el reto de analizar el impacto que tienen los viveros comunitarios concebidos como PCDI implica, primero, tener claras las complejas relaciones multidimensionales que interactúan en su desarrollo y, segundo, cómo cada una de estas relaciones influyen en el éxito que puedan tener, dependiendo del contexto y la escala temporal y espacial en la que se les aborde. Aunque ambas cuestiones pueden ser analizadas desde diferentes perspectivas, en esta investigación, se plantearon tres estudios que abordan las diferentes dimensiones que intervienen en el desarrollo de los viveros comunitarios (institucional, social, económica y ecológica), considerando en cada estudio, escalas temporales y geográficas distintas, con el fin de entender qué factores intervienen en su funcionamiento.

Si se parte del hecho de que los viveros comunitarios concebidos como PCDI, dependen casi exclusivamente del financiamiento externo (Tamrini, 2009), resulta fundamental entender cuál ha sido el impacto de los programas que los financian en su desarrollo. En este sentido, en el Capítulo III de esta tesis, se buscó entender cómo el PROCODES (Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible, que es el principal programa con el que cuenta la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas para fomentar el desarrollo de PCDI en las ANP) ha influido en el establecimiento de viveros comunitarios establecidos en las ANP de México. El análisis del funcionamiento de este programa en el período comprendido entre 2010-2016, muestra que la inversión que ha hecho la política pública en México para fomentar nuevos enfoques de conservación, ha favorecido ampliamente a los viveros comunitarios, pues en términos generales, es la actividad productiva más ampliamente solicitada y apoyada en las ANP para diversificar los medios de vida de las comunidades que las habitan. Sin embargo, aunque el diseño e implementación del PROCODES es bastante efectivo para canalizar recursos económicos hacia los viveros comunitarios, no cuenta con esquemas de evaluación antes, durante y después de su ejecución, que permitan conocer los resultados obtenidos en cada vivero que apoya. Este escenario muestra la urgencia de incluir en su diseño institucional, un marco de

evaluación sistemático como parte medular de sus objetivos. Esta falla en los programas que apoyan iniciativas de conservación ha sido señalada en estudios similares (Chapela, 2006; Kapos *et al.*, 2008; Sanchirico *et al.*, 2013)

Una vez teniendo claro que los viveros son una actividad relevante en las ANP del país, se planteó responder cuáles son los verdaderos alcances que tienen estos viveros para conjuntar la conservación de la biodiversidad con el desarrollo rural. Dada la falta de información para abordar esta cuestión a una escala nacional, se decidió analizar el funcionamiento de uno de los viveros comunitarios financiados por el PROCODES, establecido en el Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, en el estado de Michoacán. Este estudio, aunque podría parecer un caso aislado, ejemplifica la realidad de otros viveros comunitarios establecidos en comunidades de diferentes áreas biodiversas del país, que comparten algunas características en común, por ejemplo, la marginalidad social en la que viven, o su estructura organizacional conformada por ejidos. A partir del análisis del funcionamiento de este vivero se concluyó que el aporte que tuvo al desarrollo socioeconómico de la comunidad que lo implementó fue muy claro, pues aun cuando el vivero no logró funcionar sin financiamiento externo, los participantes lo consideraron como un proyecto exitoso que les brindó oportunidades valiosas para mejorar su estilo de vida y adquirir habilidades para propagar plantas nativas, mejorar la organización interna del ejido, crear empleos temporales, y formar sinergias con actores externos a la comunidad, al menos durante el período en el que el proyecto estuvo en funcionamiento. Sin embargo, el aporte del vivero a la conservación del componente vegetal no fue tan claro, debido a que aunque se propagaron 11 especies nativas de interés forestal, éstas no fueron utilizadas para reforestar áreas degradadas, tal como se tenía planeado al inicio del proyecto. Este problema se debe, en gran medida, a los estatutos de financiamiento que establece el PROCODOES, los cuales consideran tiempos inadecuados de apoyo para que los viveros puedan alcanzar las metas que se proponen. De acuerdo con otros estudios, el tiempo mínimo para que un vivero concebido como PDCI pueda cumplir con los objetivos que se plantea, es de cinco años (Böhringer y Ayuk, 2003; Botha *et al.*, 2005, 2006). Si los viveros pudieran tener acceso a un período de financiamiento mayor, e implementaran planes de monitoreo de sus avances, desde el inicio hasta la conclusión del proyecto, se podría incrementar su probabilidad de éxito en el mediano y largo plazo. Los resultados del

análisis de este estudio de caso muestran claramente la subjetividad con la que se puede entender el éxito de los PCDI, y resaltan la importancia no sólo de definir con claridad los objetivos que persiguen, sino también de que estos objetivos estén en concordancia con las expectativas de las instituciones que los financian, los actores externos que asesoran su ejecución, y los miembros de la comunidad que los implementan, siempre dejando claro la escala temporal y espacial en la que se pretenden cumplir.

Por otro lado, la segunda conclusión importante que se desprende del análisis de este estudio de caso, fue que el vivero no logró funcionar a largo plazo debido a que no pudo vender las plantas que propagó, y por tanto, no fue capaz de independizarse del financiamiento externo. En esta problemática están implícitos diferentes factores como la inexistencia de cadenas productivas que estén articuladas con el mercado local y regional, o la inexperiencia que tienen las comunidades rurales para administrar negocios. Generar las condiciones que permitan superar estos obstáculos en el funcionamiento de los viveros requiere de que las reglas de financiamiento del PROCODES prioricen en la inversión de la capacitación de personas capaces de liderar y operar este tipo de proyectos, y que apoyen la construcción de acuerdos sociales y políticos que permitan la existencia de entramados institucionales que apoyen la apertura de mercados para este tipo de negocios y aseguren su funcionamiento a largo plazo.

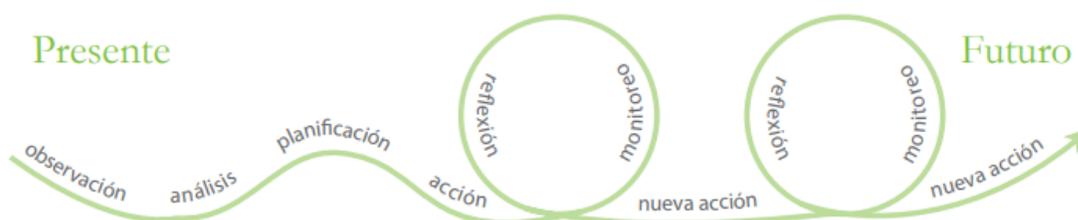
Finalmente, este estudio evidenció que otro de los factores que influyen en el funcionamiento adecuado de los viveros, es que su establecimiento se basa en supuestos teóricos que no han sido evaluados sistemáticamente, por ejemplo, que las personas que los administran saben cómo propagar plantas nativas (Vovides *et al.*, 2010). Aunque en muchos casos esto puede ser cierto, en otros, no lo es (Shanks y Carter, 1994). El manejo de especies vegetales nativas implica tener cierto grado de conocimiento de su biología y ecología, así como de las estrategias que las especies tienen para adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes de los sitios en los que se establecen (Williams, 2011). En el caso particular de los viveros comunitarios, dado que las semillas son uno de los principales insumos de los que dependen para funcionar, es indispensable saber cuándo y de dónde se pueden obtener semillas que aseguren la producción anual (Luna-Nieves *et al.*, 2017). Siguiendo esta lógica, los otros dos estudios que se plantearon en esta investigación, buscan

abordar esta problemática, con el fin de aportar elementos que ayuden a tener mejores resultados en los viveros comunitarios que se establecen bajo un enfoque de PCDI.

Para elaborar un calendario de colecta de semillas de las especies de interés, es necesario tener un conocimiento profundo de sus patrones fenológicos y de la relación que éstos tienen con las condiciones ambientales, para así poder predecir la temporalidad de los eventos reproductivos de las plantas (Morellato *et al.*, 2016). En el Capítulo IV de esta tesis se aborda esta problemática en 14 especies nativas que los ejidatarios y entidades gubernamentales tenían interés de propagar en el vivero, a través de un estudio de mediano plazo (5 años), en el que se observó cómo a pesar de la variación ambiental intrínseca de los bosques estacionalmente secos, la mayoría de las especies se pueden agrupar en alguno de los tres patrones fenológicos que se describen a continuación: (1) las especies que florecen y fructifican en la época de lluvia, (2) las que florecen en la época de lluvia y fructifican en la época seca, y (3) las que florecen y fructifican en la época seca. Mediante la identificación de estos patrones, fue posible hacer recomendaciones para saber cuándo colectar las semillas de las especies de interés. La información presentada en este estudio, estuvo basada en un enfoque de monitoreo comunitario, que brindó importantes ventajas al funcionamiento del vivero. Primero, dado que todos los integrantes del equipo de monitoreo, también eran los administradores principales del vivero, fue posible aplicar el conocimiento generado en la resolución inmediata de problemas. Por ejemplo, al notar que había especies cuyo ciclo reproductivo no era anual (e.g *Swietenia humilis*), tuvieron la precaución de recolectar semillas en el "año semillero" y almacenarlas para propagarla en años posteriores. Segundo, la participación de la comunidad permitió que se capacitaran en la generación de información sistemática, que es indispensable para administrar adecuadamente el vivero. Después de participar durante dos años en el monitoreo comunitario, empezaron a registrar información referente a los procesos de germinación de las especies que propagaban (e.g fechas de inicio de la germinación, tratamientos pregerminativos aplicados, procedencia de las semillas), o gastos implícitos en la propagación (e.g costo de materiales con diferentes proveedores, número de personas requeridas para hacer una labor en particular). Tercero, el programa de monitoreo comunitario permitió transmitir a los administradores del vivero la importancia de conocer las variaciones inter e intra anuales en las características biológicas y ecológicas de las especies evaluadas, para

poder tomar decisiones adecuadas de manejo, ante las condiciones ambientales cambiantes del bosque tropical caducifolio. Cuarto, este proyecto representó un puente importante entre la comunidad y la institución académica que lideró este proyecto, el cual brindó un espacio único de transmisión de conocimiento, educación ambiental, y de integración de sectores que generalmente no participan en actividades comunitarias (e.g. mujeres, jóvenes, ancianos).

Todas las ventajas antes descritas, resaltan la gran importancia de incluir un enfoque de manejo adaptativo en el desarrollo de los viveros comunitarios, como medida para incrementar su probabilidad de éxito. El manejo adaptativo integra el diseño, la implementación y el monitoreo de proyectos como los viveros comunitarios, con el fin de probar sistemáticamente ciertos supuestos, adaptarse al cambio constante que ocurre en los sistemas socio-ambientales complejos en los que se establecen, y evaluar qué acciones funcionan, cuáles no y porqué, para así poder mejorar los resultados observados (Folke *et al.*, 2002; Evans *et al.*, 2015). En la Figura 1, se muestra cómo a través de un esquema participativo, como el que se utilizó en esta investigación, es posible adaptarse al cambio constante de una manera más eficiente.



**Fig 1.** Esquema de las diferentes etapas que abarca el enfoque de manejo adaptativo (Adaptado de Colfer, 2005).

Por último, para que el vivero pudiera contar con semillas de alta calidad, no sólo era necesario saber cuándo colectarlas, sino también de dónde. Por esto, en el Capítulo V se presenta un estudio que pone a prueba la hipótesis de que los árboles más grandes producen semillas y plántulas de mejor calidad. Para esto, se tomó como caso de estudio a *Coulteria platyloba* (Fabaceae), que es la especie más propagada en el vivero por la alta demanda que tiene para ser utilizada en programas de restauración en toda la región de estudio. De

acuerdo con los resultados, en efecto, las características de los árboles parentales influyen en la capacidad de germinación que tienen las semillas que producen, y a su vez, las semillas más grandes y que germinan más rápido, producen plántulas que también crecen más rápido, presentando una mayor área foliar, longitud de tallo y raíz, y coeficiente raíz/vástago más grande. Con esto se concluye, que identificar árboles con un diámetro a la altura del pecho < 20 cm, y coleccionar sus semillas, es un método recomendable para obtener semillas de calidad superior para *Coultaria platyloba*. Otro aspecto que complementa el manejo adecuado de las fuentes semilleras que abastecen a los viveros, es el conocimiento de su potencial de producción de semillas, por esto, como parte de este trabajo, también se evaluó si los individuos de esta especie presentes en la área de estudio, podían satisfacer la demanda anual de semillas requeridas por el vivero. Se estimó que de una hectárea es posible obtener, en promedio, 3.6 kg de semilla limpia, cantidad suficiente para propagar las 30,000 plantas que se le solicitaron anualmente al vivero, y que permite respetar la mitad de la producción anual para prevenir un desbalance en su dinámica poblacional (PRODEFOR, 2005).

Los estudios realizados en estos dos últimos capítulos, mostraron que traducir información biológica y ecológica de las especies nativas que se propagan en el vivero, en acciones concretas de manejo, es un gran reto. Primero, porque para obtener esta información es necesario realizar estudios a mediano plazo que requieren de una gran inversión en recursos financieros y humanos, con los que generalmente no se cuenta. Segundo, porque estos estudios son específicos a las especies que se quieren propagar, por lo que esta información, no siempre puede extrapolarse a otros casos de estudio. Tercero, porque los tiempos que estipulan las instancias que financian a los viveros comunitarios, son muy cortos (generalmente de uno a dos años) y no permiten entender las problemáticas que deben ser resueltas, realizar acciones de mejora en su funcionamiento y en algunos casos, tampoco posibilitan apreciar el verdadero impacto que tienen los viveros para conservar ciertos componentes de la vegetación, o generar cambios positivos en los modos de vida de las comunidades que los implementan.

## Consideraciones finales

Para incrementar la viabilidad de los viveros comunitarios concebidos como PCDI, es indispensable designar tiempo, dinero y recursos humano no sólo a la planeación y ejecución del proyecto, sino también al monitoreo de su desarrollo. Sin esto, no será posible saber si los viveros están teniendo efectos positivos en los sitios en donde se establecen, o peor aún, si están causando efectos negativos indeseados. Por otro lado, partiendo del hecho de que no es posible conocer todos los aspectos de las dimensiones (ecológica, económica, social, e institucional) que están involucradas en el desarrollo de este tipo de proyectos, es crucial adoptar un enfoque de manejo adaptativo en su implementación que permita tener respuestas más asertivas a los constantes cambios a los que se enfrentan para cumplir con los objetivos de conservación de la biodiversidad y desarrollo socioeconómico de las comunidades que habitan en áreas con una alta biodiversidad.

## Literatura citada

- Böhringer, A. y E.T. Ayuk (2003) Farmer nurseries as a catalyst for developing sustainable land use systems in southern Africa. Part B: Support systems, early impact and policy issues. *Agricultural Systems*, 77:203–217
- Botha, J., E.T.F. Witkowski y J. Cock (2005) A review of nurseries as conservation or social forestry outreach tools. *International Journal of Biodiversity Science and Management*, 1:33–51
- Botha, J., E.T.F. Witkowski y J. Cock (2006) The South African Experience of Conservation and Social Forestry Outreach Nurseries. *Environmental Management*, 38:733–749
- Chapela-Mendoza F.J. (2013) *Economía de la conservación comunitaria: el aporte de los programas integrados de conservación y desarrollo al resguardo efectivo del patrimonio natural de México*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 185 pp.
- Colfer, C.J.P (2005) *The Complex Forest: Communities, Uncertainty, and Adaptive Collaborative Management*. Washington, D. C.: Resources for the Future/CIFOR.
- Evans, K., A. Larson, E.Mwangi, P. Cronkleton, T. Maravanyika, X. Hernández, P. Müller, A. Pikitle, R. Marchena, C. Mukasa, A. Tibazalwa y A. Banana (2015) *Guía*

- práctica de manejo adaptativo y colaborativo (ACM) y mejora de la participación de las mujeres*. Bogor, Indonesia. Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- Folke, C., S. Carpenter, T. Elmqvist, L. Gunderson, C.S. Holling y B. Walker (2002) Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformation. *Ambio*, 31:437–440
- Kapos, V., A. Balmford, R. Aveling, P. Bubb, P. Carey, A. Entwistle, J. Hopkins, T. Mulliken, R. Safford, A. Stattersfield, M. Walpole y A. Manica (2008) Calibrating conservation: new tools for measuring success. *Conservation letters*, 1:155–164
- Luna-Nieves, A.L., J.A. Meave, L.P.C. Morellato y Guillermo Ibarra-Manríquez (2017) Reproductive phenology of useful Seasonally Dry Tropical Forest trees: Guiding patterns for seed collection and plant propagation in nurseries. *Forest Ecology and Management*, 393:52–62
- Morellato, L.P., Alberton, B., Alvarado, S., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M.G.G., Cancian, L., Carstensen, D.W., Escobar, D., Leite, P., Mendoza, I., Rocha, N., Soares, N., Silva, T., Staggemeier, V., Streher, A., Vargas, B., Peres, C., (2016). Linking plant phenology to conservation biology. *Biological Conservation* 195, 60–72
- PRODEFOR [Programa de Desarrollo Forestal] (2005) *Informe preventivo para el aviso de aprovechamiento de recursos forestales no maderables. Semilla de coral (Caesalpinia platyloba) en vegetación propia de selva baja en el ejido "El Campanario" Municipio de Armería*. México, D.F., 111 pp.
- Salafsky, N., H. Cauley, G. Balachander, B. Cordes, J. Parks, C. Margoluis, S. Bhatt, C. Encarnacion, D. Russell y R. Margoluis (2001) A systematic test of an enterprise strategy for community-based biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 15:1585–1595
- Sanchirico, J.N., M.R. Springborn, M.W. Schwartz y A.N. Doerr (2013) Investment and the policy process in conservation monitoring. *Conservation Biology*, 28:361–371
- Shanks, E. y J. Carter (1994) *The organisation of small-scale tree nurseries. Studies from Asia, Africa and Latin America*. Rural Development Forestry Study Guide 1. Rural Development Forestry Network. Overseas Development Institute. Londres, Inglaterra, 165 pp.
- Tamrini, N. (2009) The impact of Integrated Conservation and Development Projects (ICDPs) on local community livelihood and biodiversity conservation (a case of

Jozani-Chwaka Bay National Park and Ngezi-Vumawimbi Nature Forest Reserve,  
Zanzibar-Tanzania. WWF-US.

Vovides, A.P., M.A. Pérez-Farrera y C. Iglesias (2010) Cycad propagation by rural nurseries in Mexico as an alternative conservation strategy: 20 years on. *Kew Bulletin*, 65:603–611

Williams, B.K. (2011) Adaptive management of natural resources-framework and issues. *Journal of Environmental Management*, 92:1346–1353

*"Forestry is not about trees, it is about people. And it is about trees only insofar as trees can serve the needs of people"*

*Jack Westoby.*

UNAM  
POSGRADO  
Ciencias Biológicas

