



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Centro de Investigaciones en Ecosistemas

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL MANEJO SILVÍCOLA EN LA  
DINÁMICA POBLACIONAL DE *Polaskia chichipe* (GLOSSELIN)  
BACKEBERG EN EL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN,  
MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

BIÓL. BERENICE FARFAN HEREDIA

DIRECTOR DE TESIS: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ

MÉXICO, D.F.

AGOSTO, 2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca recibida para la realización de la Maestría en Ciencias Biológicas. Agradezco a la vez a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) por la beca complementaria otorgada.

La recopilación de datos de campo de esta tesis se realizó gracias al apoyo otorgado por el programa de apoyo a proyectos de investigación e innovación tecnológica, UNAM (IN220005): “Bases Ecológicas para el Aprovechamiento y Conservación de Recursos Vegetales en la Zonas Áridas del Valle Tehuacan-Cuicatlán”; por el apoyo de los Fondos Sectoriales SEMARNAT-CONACYT 82002-C1-0544), del proyectos “Recursos Genéticos de México: manejo *in situ* y Bioseguridad”; por el proyecto “Integral Study of the columnar cacto of the Tehuacan-Cuicatlan Biosphere Reserve”, apoyado por Royal Botanic Gardens, KEW.

Le agradezco infinitamente al Dr. Alejandro Casas Fernández por su gran calidad humana, quien además de ser mi asesor ha sido un gran amigo. Agradezco su dedicación e interés en mi formación académica y profesional.

Reintero mi agradecimiento al Dr. Alfonso Valiente Banuet y al Dr. Oswaldo Téllez Valdés por haber moldeado desde sus inicios este proyecto de investigación.

Agradezco a los miembros del jurado Dr. Alejandro Casas, Dr. Alfonso Valiente Banuet, Dr. Oswaldo Téllez Valdés, Dr. Miguel Martínez Ramos y al Dr. Hector Godínez Álvarez que con sus aportaciones y sus comentarios logré no solamente mejorar el escrito de esta tesis sino a mejorar en mi formación académica y profesional.

A la Dra. Laura López Hoffman por su incondicional y valiosa ayuda, le agradezco por el especial cuidado que tuvo en la lectura, la corrección y el empeño que puso a que esta investigación mejorara sustancialmente.

Les agradezco en gran medida a mis compañeros del Laboratorio de Evolución y Ecología de Recursos Vegetales, por todas sus opiniones, comentarios y sugerencias para el buen desarrollo de este proyecto, por todo su cariño gracias a Edgar Pérez-Negrón, Selene Rangel, Leonor Solís, Ignacio Torres. Pero aún más agradezco a Nacho por su ayuda, paciencia y fortaleza en las largas y pesadas jornadas de campo.

A mis grandes amigas por su amistad, su apoyo y por compartir conmigo grandes cosas de la vida personal y profesional. Y por que se, que mis logros los sientes como propios, gracias por ser más que mis amigas: Auro, Ethel, Ana Bertha, Ana María, Moni, Chío y claro Polo por su gran comprensión.

*Dedico este trabajo a mis padres Salomón Farfán Pasindo y Ma. Jorgina Heredia Correa, por su apoyo y amor infinito e incondicional, el cual me han brindado toda mi vida. Por creer y confiar siempre en mí. Y quienes con su ejemplo desde su sencillez y su silencio me han enseñado a ser mejor persona. Con todo mi amor papas queridos!!!*

*Lo dedico además a mi amada familia, a mis hermanos Anita, Mon, Cari, Viri y Cris por todo su cariño y amor; a mis sobrinos Odethe, Darío, Arturin, Lucy, Mayra, Marianí, Salomoncito y Piola por ser la luz de la familia. Y a mis otros hermanos Arturo, Rocío y César quienes han sido superimportantes para que sea más grande la familia.*

*Además lo dedico a Saúl mi novio, por su comprensión y su amor. Por ser un gran apoyo en mi vida personal y profesional.*

## CONTENIDO

<b>I.. INTRODUCCIÓN</b>	<b>Pág.</b>
1.1. Manejo sustentable de los recursos	1
1.2. Manejo tradicional de las cactáceas columnares en el Valle de Tehuacan-Cuicatlán	3
1.3. Aspectos ecológico para el manejo de cactáceas	5
1.4. Las chichiperas de <i>Polaskia chichipe</i>	9
1.5. Hipótesis	13
1.6. Objetivo General	14
<b>II. METODOS</b>	
2.1. Área de estudio	15
2.2. Ubicación y caracterización de las poblaciones de <i>P. chichipe</i> estudiadas	18
2.3. Investigación etnobotánica	22
2.4. Determinación de la estructura de las poblaciones	22
2.5. Determinación de los patrones demográficos	26
2.6. Dinámica poblacional	33
2.7. Análisis matriciales	35
2.8. Elasticidad de los patrones demográficos	37
2.9. Análisis prospectivos: cosecha de frutos en las poblaciones de <i>P. chichipe</i>	37
2.10. Análisis prospectivos: eliminación de plantas por categoría de tamaño	37
<b>III. RESULTADOS</b>	
3.1. Actividades realizadas para el establecimiento de parcelas agrícolas en chichiperas	39
3.2. Estructura de las poblaciones silvestre y manejada <i>in situ</i>	43
3.3. Estructura de tallas de las poblaciones silvestre y manejada <i>in situ</i>	44
3.4. Patrones demográficos de las poblaciones silvestre y manejada <i>in situ</i>	46
3.5. Dinámica poblacional de las silvestre y manejada <i>in situ</i>	49
3.6. Análisis matriciales silvestre y manejada <i>in situ</i>	50
3.7. Elasticidad de patrones demográficos	54
3.8. Análisis prospectivos: cosecha de frutos en las poblaciones de <i>P. chichipe</i>	57

3.9. Análisis prospectivos: eliminación de plantas por categoría de tamaño	59
<b>IV. DISCUSIÓN</b>	
4.1. Agricultura y perturbaciones de las poblaciones de <i>P. chichipe</i>	62
4.2. Densidad y estructura de las poblaciones silvestre y manejada <i>in situ</i>	63
4.3. Patrones demográficos	66
4.4. Dinámica poblacional	67
4.5. Análisis prospectivos: cosecha de frutos en las poblaciones de <i>P. chichipe</i>	68
4.6. Análisis prospectivos: eliminación de plantas por categoría de tamaño	69
4.7. Alternativas de manejo para las poblaciones de <i>P. chichipe</i>	70
<b>V. CONCLUSIONES</b>	73
<b>VI. LITERATURA CITADA</b>	74
<b>VII. ANEXO I</b>	81

## R E S U M E N

Este trabajo analiza los efectos del manejo silvícola *in situ* sobre la dinámica poblacional de poblaciones de *Polaskia chichipe* sujetas a dos esquemas de manejo. Se analiza la dinámica poblacional de ésta cactácea columnar, para identificar los patrones demográficos que determinan la persistencia de la población ante perturbaciones, así como la tasa de crecimiento finito poblacional como un indicador de la sustentabilidad de tales poblaciones. Con ello se pretende sentar bases para el manejo sustentable de las poblaciones de *P. chichipe* sujetas a diversas formas de manejo. A través de investigaciones etnobotánicas, se documentaron las actividades realizadas por los campesinos en el manejo silvícola *in situ* sobre las poblaciones de *P. chichipe* y por medio de datos de campo se determinó la diferencia en la estructura poblacional y los patrones demográficos entre dos poblaciones de esta especie sujetas a diferente manejo, con análisis matriciales se determinaron los valores de crecimiento finito de la población ( $\lambda$ ) y se identificaron las categorías de tamaños más importantes su persistencia; finalmente por medio de análisis prospectivos se realizaron simulaciones de perturbaciones en cosecha de frutos y eliminación de plantas por categoría de tamaño. Se encontraron diferencias en el valor de crecimiento finito de la población entre las dos poblaciones siendo mayor en la manejada *in situ*, se encontró que la sobrevivencia de las categorías Juvenil II, Adulto I, Renuevo II es el parámetro que más contribuye al valor de  $\lambda$ . Se estableció el porcentaje de cosecha de frutos para las dos poblaciones siendo del 80 -90% para la manejada y del 50-60% para la silvestre. Se determinaron además los porcentajes de eliminación de plantas por categoría de tamaño aceptables para que no decline el valor de  $\lambda$  en poblaciones bajo manejo *in situ*. Y se determinó que bajo un esquema de manejo silvícola *in situ*, la sobrevivencia de las categorías Juvenil II, Renuevo II y Adulto I son las más importantes hacia las cuales deben dirigirse los esfuerzos para la conservación de esta especie.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Manejo sustentable de los recursos

Hoy en día el concepto de sustentabilidad constituye un paradigma central en los estudios y acciones que buscan la conservación de los ecosistemas y sus recursos, así como el bienestar de las sociedades humanas. El concepto ha sido ampliamente discutido y en la literatura es posible encontrar un elevado número de definiciones y acepciones del término. La idea fundamental que subyace en el término sustentabilidad es el mantenimiento de la integridad de los ecosistemas y los socio-ecosistemas (unidades socio-ambientales que incluyen a los ecosistemas naturales y transformados y los sistemas sociales que interactúan con aquellos, véase Berkes y Folke, 2000; Davidson-Hunt y Berkes, 2003; Folke, Holding y Berkes, 2003), sus componentes y funciones en el largo plazo (Grumbine, 1997). Bajo esta idea general el concepto de desarrollo sustentable ha surgido como un principio básico que guía las políticas nacionales e internacionales adoptando la premisa de “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (The World Commission on Environment and Development, 1987).

Para que el concepto de sustentabilidad pueda utilizarse en el diseño de modelos de manejo de recursos naturales y de servicios ambientales o de ecosistemas en su conjunto, es necesario entender los principios básicos que mantienen la integridad de los sistemas en sus aspectos ambientales, sociales y económicos (Masera *et al.*, 2000; Grumbine, 1997). La comprensión cabal de tales principios es posible a través de estudios interdisciplinarios que involucren la participación de los diversos sectores que tienen que ver con el manejo de los recursos naturales (García, 1994; Castillo y Toledo,

2000). Pero además es necesaria la *praxis*; es decir, llevar a la práctica tales principios y evaluar sus resultados. Para ello es necesario el desarrollo de métodos para evaluación de las estrategias de manejo y diseñar marcos operativos de evaluación de la sustentabilidad (Masera *et al.*, 2000).

El diseño de estrategias de manejo sustentable implica visualizar a la sustentabilidad desde perspectivas económicas, ecológicas y socioculturales, pues éstas son dimensiones fundamentales de los socio-ecosistemas (Holling, 2003; Berkes, Holding y Folke, 2003), ya que, de acuerdo con Berkes, Holding y Folke (2003), la sustentabilidad es un proceso, más que un producto final, que implica el mantenimiento de la capacidad de los sistemas ecológicos para soportar los sistemas sociales y económicos. Desde una perspectiva ecológica las estrategias de manejo sustentable deben estar dirigidas hacia la conservación de los ecosistemas y sus recursos a distintos niveles de organización (diversidad genética, poblaciones, comunidades y ecosistemas) y deben considerar sus relaciones trans-escalares tanto en los niveles de organización como a diferentes escalas espaciales y temporales (Kay *et al.*, 1999). También debe comprender las diferentes escalas de organización social que se involucran en el proceso, desde la unidad de producción rural, la comunidad, el municipio y las instancias supramunicipales; y desde luego, las escalas espaciales y temporales pertinentes (López-Ridaura *et al.*, 2002). En resumen, el diseño de formas de manejo sustentable de recursos, servicios y/o ecosistemas requiere de enfoques biológicos, ecológicos, sociales y económicos para entender los socio-ecosistemas y los factores que limitan la capacidad de los ecosistemas para mantener a futuro los sistemas económicos y sociales, y para determinar las acciones que aseguren la integridad de los sistemas en su conjunto. En esta perspectiva, un enfoque de particular importancia lo constituyen las investigaciones en ecología del manejo de los recursos, considerando las

implicaciones del manejo sobre los diferentes niveles de organización biológica, y es bajo este enfoque que se realizó la presente investigación.

Este estudio se dirigió a analizar un recurso particular aprovechado por comunidades rurales de la Reserva de la Biosfera Tehuacan-Cuicatlán, la cactácea columnar *Polaskia chichipe*, y aspira a generar información útil para lograr una forma de aprovechamiento que no comprometa su disponibilidad futura, considerando el sistema social y cultural en el que se encuentra inmerso.

## **1.2. Manejo tradicional de cactáceas columnares en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán**

Por su accesibilidad, abundancia y diversidad, y porque ofrecen una amplia variedad de recursos, las cactáceas en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán han tenido una larga historia de uso, documentada para un periodo de más de 10 mil años (MacNeish, 1967; Casas, 1999a). Se ha registrado que actualmente existen en esta región 20 especies de cactáceas columnares, la totalidad de las cuales son fuente de recursos comestibles para los pobladores del área. Los frutos y otros productos útiles como botones florales, semillas y ramas son colectados de poblaciones silvestres y en la mayoría de las especies la recolección es selectiva hacia frutos de buena calidad, de acuerdo con la percepción de los pobladores de la región (Casas *et al.*, 1997a; Casas *et al.*, 1997b; Casas *et al.*, 1998; Casas *et al.*, 1999a; Casas *et al.*, 2000; Cruz y Casas, 2002; Carmona y Casas, 2004). La cosecha es extensiva en poblaciones silvestres, y generalmente se extrae una baja proporción de los frutos que producen las plantas adultas, por lo que al parecer esta actividad tiene un bajo impacto sobre las poblaciones (Casas *et al.*, 1997a). Los tallos y frutos de algunas especies también se usan como forraje, y la madera de casi todas las especies se usa como material de construcción o

como leña, algunas son medicinales y las de fácil propagación se usan como cercas vivas y como barreras de retención de suelos (Casas *et al.*, 1999).

Además de la recolección, se han documentado otras interacciones entre los seres humanos y las poblaciones de cactáceas columnares (Casas *et al.*, 1997a; Casas *et al.*, 1999a). Estas interacciones pueden incluir el manejo de las poblaciones vegetales silvestres *in situ* de especies que brindan productos útiles. En el manejo *in situ* de poblaciones de plantas silvestres se realizan actividades como **1) tolerancia**, mediante la cual se mantienen selectivamente dentro de ambientes modificados por el hombre algunos individuos de especies útiles que se encontraban en esos sitios antes de que fuesen transformados, **2) fomento o inducción**, con la que se busca aumentar la densidad de las poblaciones de especies útiles por medio de la siembra de semillas, o la propagación vegetativa, o el trasplante de individuos juveniles en los sitios originalmente ocupados por las poblaciones silvestres, con el fin de incrementar la disponibilidad de productos útiles y **3) protección**, que incluye actividades para eliminar competidores y depredadores de especies útiles con el fin de asegurar la disponibilidad de sus productos (Casas *et al.*, 1997a; Casas *et al.*, 1999a).

Estas formas de manejo *in situ* son en realidad formas de manejo silvícola pues involucran una manipulación de lo silvestre y puede propiciar modificaciones en la estructura, la composición y la densidad de individuos en las comunidades vegetales útiles, al ser tolerados y seleccionados algunos elementos de estos recursos vegetales. Otra forma de interacción es el cultivo o manejo *ex situ*, el cual consiste en tomar selectivamente individuos o sus propágulos de poblaciones silvestres y mantenerlos en ambientes controlados por los humanos por medio de la propagación vegetativa, el trasplante de individuos completos o la siembra de semillas. En el caso de las cactáceas

columnares esto ocurre específicamente en solares y huertos familiares (Casas *et al.*, 1997a; Casas *et al.*, 1999a).

En las poblaciones manejadas *in situ* las actividades realizadas pueden ser selectivas, dirigidas a favorecer el aumento en la abundancia de individuos cuyos productos útiles poseen mejores características utilitarias favorables para el hombre. La selección artificial en cactáceas está dirigida a obtener frutos de mayor tamaño, de sabor dulce, con pocas espinas en su cáscara, con pulpa de colores atractivos, y con piel delgada para su fácil consumo o gruesa para mayor resistencia en su transportación, y éstas son características deseables para su consumo directo y su comercialización (Casas *et al.*, 1997b; Casas *et al.*, 1999a; 1999b; Cruz y Casas, 2002; Carmona y Casas, 2005; Otero-Arnaiz *et al.*, 2003). Se ha documentado que de las 20 especies de cactáceas columnares distribuidas en el valle de Tehuacán, 12 presentan poblaciones bajo manejo silvícola *in situ*, y ocho de éstas se encuentran además bajo cultivo *ex situ* (Casas *et al.*, 1999a; Casas *et al.*, 2000; Cruz y Casas, 2002; Arellano y Casas, 2003; Otero-Arnaiz *et al.*, 2003; Carmona y Casas, 2005; Otero-Arnaiz *et al.*, 2005).

### **1.3. Aspectos ecológicos para el manejo de cactáceas**

Las zonas áridas de México albergan cerca de 1500 especies de cactáceas, muchas de las cuales son endémicas al territorio nacional. Las cactáceas se caracterizan por ser plantas longevas, de lento crecimiento tanto individual como poblacional. Presentan bajo nivel de establecimiento de plántulas y una alta mortalidad en los primeros estadios de vida, periodo durante el cual dependen marcadamente de interacciones bióticas con dispersores que depositan sus semillas en micrositios favorables, así como con plantas perennes que fungen como nodrizas, determinando la existencia de tales micrositios adecuados para la germinación, establecimiento y

crecimiento de plántulas y juveniles (Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet *et al.*, 1991a; Valiente-Banuet *et al.*, 1991b; Godínez-Álvarez *et al.*, 1999; Ortega, 2001; Reyes-Olivas *et al.*, 2002; Godínez-Álvarez *et al.*, 2002, Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Contreras y Valverde, 2002).

Las cactáceas son altamente sensibles a perturbaciones ocasionadas por cambios de uso del suelo, las cuales comúnmente ocasionan la eliminación de plantas arbustivas nodrizas, lo que puede limitar el reclutamiento de plántulas. Este problema resulta particularmente drástico debido a que muchas especies de cactáceas tienen una alta especificidad de hábitat, una baja densidad de población y un alto nivel de endemismo (Bowers, 1997; Godínez-Alvarez *et al.*, 1999; Ortega, 2001; Contreras y Valverde, 2002; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Godínez-Alvarez *et al.*, 2002; Méndez *et al.*, 2004). Todas estas características limitan las posibilidades de que las poblaciones de cactáceas se recuperen rápidamente después de una perturbación. Por ello, la familia Cactaceae tiene una alta proporción de especies bajo algún estatus de conservación (Hernández y Godínez, 1994; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Contreras y Valverde, 2002; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). Y por ello también resulta de gran importancia la realización de estudios que evalúen el estatus de conservación de estas especies, que identifiquen los patrones demográficos y los estadíos del ciclo de vida más importantes y vulnerables para la persistencia de sus poblaciones y que permitan establecer criterios para su conservación.

Para analizar aspectos biológicos y ecológicos de una especie a lo largo de su ciclo de vida, son de particular utilidad los análisis demográficos, los cuales buscan describir la estructura y dinámica de las poblaciones de organismos con base en sus tasas vitales (nacimiento, crecimiento, sobrevivencia, reproducción). Estas tasas vitales describen los movimientos de los individuos a través de su ciclo de vida, lo cual se

considera que es el eje fundamental para la descripción demográfica de los organismos (Caswell, 2001). La base de este tipo de análisis son datos demográficos que permiten definir diferencias en la dinámica poblacional, así como determinar la importancia de cada una de las tasas vitales para el crecimiento de la población. Esta información puede usarse asimismo para identificar regímenes de cosecha óptimos, en aquellas especies sujetas a alguna forma de aprovechamiento que afecta a alguna o algunas de las tasas vitales mencionadas. Por ejemplo, con estos estudios se ha podido evaluar los efectos de la intensidad de remoción de individuos de diferentes estadios de vida y con base en ello definir el estatus de conservación de poblaciones de diversas especies (Álvarez-Buylla *et al.*, 1994, Soechartorno y Newton, 2001; Contreras y Valverde, 2002; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Méndez *et al.*, 2004; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet, 2004).

Un enfoque de estudios demográficos se basa en análisis matriciales, que a partir de sistemas de tabulación por categorías de edades (Leslie, 1945) o por categorías de tamaños (Lefkovitch, 1965), los cuales incluyen valores de probabilidad de sobrevivencia, de transición y de reproducción específicos a los estadios de desarrollo. A estas tablas se les conoce como tablas de vida (Caswell, 2001). Una tabla de vida se representa como la proyección de una matriz ( $A$ ) y un vector ( $v$ ). En el primer renglón de la matriz, excepto la primera celda, se incluye la información sobre la fecundidad de los estadios reproductivos ( $F$ ), mientras que en la diagonal primaria se indican los valores de la sobrevivencia o probabilidad de permanencia en la misma categoría después de un intervalo de tiempo ( $P$ ). La subdiagonal presenta las probabilidades de crecimiento de individuos que transitan a la siguiente categoría de tamaño ( $G$ ), mientras que la supradiagonal representa la retrogresión en longitud ( $R$ ) hacia una categoría

anterior. El vector representa el número de individuos de la población en cada categoría de tamaño en un tiempo dado (Caswell, 2001).

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} & \mathbf{I} & \mathbf{J} & \mathbf{A}_1 & \mathbf{A}_2 & \mathbf{A}_3 \\ \mathbf{I} & \mathbf{P} & & \mathbf{F} & \mathbf{F} & \mathbf{F} \\ \mathbf{J} & \mathbf{G} & \mathbf{P} & \mathbf{R} & & \\ \mathbf{A}_1 & & \mathbf{G} & \mathbf{P} & \mathbf{R} & \\ \mathbf{A}_2 & & & \mathbf{G} & \mathbf{P} & \mathbf{R} \\ \mathbf{A}_3 & & & & \mathbf{G} & \mathbf{P} \end{pmatrix} \quad \mathbf{V} \begin{matrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \end{matrix}$$

Un tipo de análisis matricial se realiza mediante la iteración de la matriz por el vector ( $\mathbf{V}$ ) para, finalmente y dadas las propiedades de los modelos lineales de este tipo, obtener el valor relativo para cada categoría (conocido como estructura estable de la población,  $w$ ), a la vez que se determina el valor de la tasa de crecimiento finito de la población, representado como  $\lambda$  (de Kroon *et al.*, 1986; Basílio & Silva, 1998; Caswell, 2001).

Por medio de los modelos matriciales se obtienen dos matrices más, la matriz de sensibilidad que representa la importancia absoluta que los diferentes estadios de vida tienen sobre la tasa de crecimiento de la población, así como la matriz de elasticidad que representa la sensibilidad proporcional de  $\lambda$  a cambios proporcionales en los elementos de la matriz (de Kroon *et al.*, 1986; Caswell, 2001). La información derivada de las matrices de transición, sensibilidad y elasticidad puede ser usada para conocer el efecto de los cambios en los parámetros demográficos en algún estadio de vida sobre la tasa de crecimiento finito de la población. Y con ello es posible identificar los patrones demográficos del ciclo de vida que juegan un papel clave en la dinámica del tamaño de la población (Piñero *et al.*, 1984; de Kroon *et al.*, 1986; Caswell, 1996; de Kroon *et al.*, 2000; Caswell, 2000; Rae y Ebert, 2002).

Estimar el valor de elasticidad de los diversos patrones demográficos de las poblaciones es de gran utilidad en biología de la conservación, pues evalúa la importancia relativa de cada elemento de la matriz de transiciones en el crecimiento poblacional (Caswell, 2000; de Kroon *et al.*, 2000). Además, permite estimar y comparar los efectos sobre la tasa de crecimiento de la población ( $\lambda$ ) de los cambios en estos procesos demográficos (de Kroon *et al.*, 1986).

Debido a que la tasa de crecimiento poblacional es una función de tasas vitales como la sobrevivencia, crecimiento y fecundidad, los análisis prospectivos permiten explorar la dependencia funcional de  $\lambda$  ante perturbaciones en diferentes fases del ciclo de vida. Ello permite a su vez explorar hipotéticamente qué tanto podría cambiar  $\lambda$  como respuesta a cambios específicos en una o más de las tasas vitales y/o en los distintos estadios de vida. Estos análisis proyectan las consecuencias de cambios futuros sobre las tasas vitales que podrían ser resultados de las prácticas de manejo. Para la biología de la conservación estos análisis son una herramienta importante debido a que ayudan a fundamentar y establecer esquemas efectivos de manejo de poblaciones (de Kroon *et al.*, 1986; 2000; Caswell, 2000).

En el Valle de Tehuacán-Cuicatlán se han realizado diversos estudios demográficos de cactáceas con base en análisis matriciales. Algunos estudios han sido dirigidos a evaluar el estatus de conservación de especies como *Mammillaria crucigera* (Contreras y Valverde, 2002) y de *Neobuxbaumia macrocephala* (Esparza-Olguín *et al.*, 2002, Godínez-Álvarez *et al.*, 2003, Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet, 2004), las cuales son especies raras, con bajas densidades de población. Otros estudios demográficos se han enfocado a determinar la importancia de interacciones bióticas como la dispersión de semillas y el establecimiento de plántulas bajo plantas nodrizas sobre la dinámica de las poblaciones de especies como *Neobuxbaumia tetetzo* (Godínez-

Álvarez *et al.*, 1999; 2002; 2003) así como para evaluar la dinámica de establecimiento de plántulas de *Escontria chiotilla* en diferentes condiciones ecológicas (Ortega, 2001; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003). En términos generales, estos trabajos han encontrado que las poblaciones de las especies analizadas tienen bajas tasas de establecimiento y sobrevivencia de plántulas, así como una alta depredación de semillas. Además indican que ambos patrones demográficos dependen de interacciones bióticas con dispersores de semillas y plantas arbustivas perennes que funcionan como nodrizas, y establecen que la sobrevivencia es el parámetro más importante para el crecimiento de las poblaciones de cactáceas columnares en la región (Valiente-Banuet *et al.*, 1991a; 1991b; Godínez-Álvarez *et al.*, 1999; 2002; 2003; Ortega, 2001; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet, 2004).

Todos los estudios demográficos mencionados se han realizado en poblaciones de cactáceas en condiciones silvestres, pero aún no se ha evaluado el efecto del manejo humano sobre la dinámica poblacional y sobre el ciclo de vida de las especies de cactáceas columnares bajo este esquema de manejo (Casas *et al.*, 1999a). En consecuencia, este trabajo pretende analizar los efectos del manejo silvícola *in situ*, el cual es ampliamente practicado en diversas especies de cactáceas en el valle de Tehuacán. Específicamente se analiza la dinámica poblacional de la cactácea columnar *Polaskia chichipe*, para identificar los patrones demográficos que determinan la persistencia de la población ante perturbaciones, así como la tasa de crecimiento finito poblacional como un indicador de la sustentabilidad de tales poblaciones. Con ello se pretende sentar bases para el manejo sustentable de las poblaciones de *P. chichipe* sujetas a diversas formas de manejo.

#### 1.4. Las chichiperas de *Polaskia chichipe* (Gosselin) Backeberg

*Polaskia chichipe* es una cactácea columnar endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Se distribuye en el matorral xerófilo, formando asociaciones vegetales dominadas por esta especie, por lo que han sido denominadas “chichiperas” por Valiente-Banuet *et al.* (2001). Las chichiperas están asociadas a suelos de origen volcánico y se encuentran distribuidas en altitudes de 1600-2300 msnm (Arias *et al.*, 1997; Carmona, 2002; Otero-Arnaiz *et al.*, 2003; Carmona y Casas, 2005).

*P. chichipe* es una cactácea columnar muy ramificada, con una copa compacta de hasta 5 m de alto. Sus ramas son encorvadas y tienen de 7 a 12 costillas (Bravo-Hollis, 1978; Arias *et al.*, 1997). Las flores presentan antésis predominantemente diurna, aunque se ha reportado que durante el invierno las flores permanecen abiertas durante la noche, y aunque la polinización se lleva a cabo principalmente durante el día, los polinizadores nocturnos también pueden ser efectivos (Otero-Arnaiz *et al.*, 2003). El sistema de cruzamiento es predominantemente autoincompatible, aunque se han reportado individuos autocompatibles en las poblaciones silvestres y se ha documentado que la frecuencia de estos individuos incrementa significativamente en las poblaciones manejadas *in situ* y cultivadas *ex situ* (Bartolo, 2000; Otero-Arnaiz *et al.*, 2003). Los polinizadores efectivos son las abejas *Xylocopa mexicanorum* Cockerell y *Apis mellifera* L., y posiblemente también las abejas *Plabeia mexicana* Ayala y *P. frontalis* Friese, así como los colibríes *Cinanthus latirostris*, *C. Sordidus* y *Amazilia violiceps* (Bartolo, 2000; Otero-Arnaiz *et al.*, 2003).

El manejo *in situ* de *P. chichipe* por medio de la tolerancia o fomento de individuos durante la perturbación de la vegetación, así como su cultivo, ha dado como resultado variaciones en los patrones morfológicos en las poblaciones. El tamaño del fruto, la cantidad de semillas y el sabor son caracteres de los individuos afectados por la

selección artificial que favorece a individuos con mejores atributos utilitarios en las poblaciones manejadas *in situ* y cultivadas (Carmona y Casas, 2005). El manejo de las chichiperas ha propiciado una diferenciación significativa en densidad y diversidad de especies entre las poblaciones silvestres y las manejadas *in situ* y cultivadas (Casas *et al.* 1997; Casas *et al.* 1999; 1999a, 1999b; Cruz y Casas, 2002; Carmona y Casas, 2004).

En las chichiperas pueden llevarse a cabo diversas actividades productivas. La ganadería extensiva es una de las principales actividades realizadas en las chichiperas silvestres y en ellas se mantiene ganado caprino, vacuno y asnar. En San Luis Atolotitlán las chichiperas se encuentran dentro de áreas consideradas como potreros comunales en donde se cría el ganado, principalmente el caprino, el cual consume una amplia variedad de especies arbustivas (Torres, 2004; Osorno, 2005). El efecto de la ganadería extensiva sobre las poblaciones de plantas de las chichiperas parece ser severo, debido al pisoteo de plántulas de especies de cactáceas columnares como *Polaskia chichipe*, *P. chende*, *Opuntia pilifera*, *Stenocereus stellatus*, *Myrtillocactus schenkii* y de especies arbustivas perennes que han sido documentadas como plantas nodriza para los primeros estadíos de vida de las cactáceas como *Mimosa luisana*, *Acacia cochliacantha*, *Lippia graveolens*, *Tecoma stans*, *Jatropha dioica* (Valiente-Banuet *et al.*, 1991a; 1991b; Valiente-Banuet & Ezcurra, 1991; Godínez-Álvarez *et al.*, 1999; 2003; Ortega-Baes, 2001; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Arriaga *et al.*, 1993; Mandujano *et al.*, 1998;). Además, el ganado impacta al ramonear constantemente las herbáceas, los árboles y los arbustos como *Salvia melissodora* Lag., *Lantana achyranthifolia* Desf., *Heliocarpus terebinthaceus*, *Opuntia pilifera*, *Lantana camara* L., *Mimosa luisana* y *Acacia cochliacantha* Humb. & Bonp. Ex Willd (Torres, 2004) lo

que puede disminuir su abundancia, vigor y cobertura como lo encontró Osorno (2005) en la región con el ganado caprino.

Las chichiperas bajo manejo silvícola *in situ* igualmente están sujetas a ganadería extensiva de ganado caprino, vacuno y asnar durante los periodos de descanso del ciclo agrícola. De acuerdo con Torres (2004), entre las especies forrajeadas en las chichiperas manejadas *in situ* destacan *Opuntia pilifera*, *Lantana camara*, *Eysenhardtia polystachia*, *Lantana achyranthifolia* y *Archibaccharis mexicana*.

En las chichiperas silvestres se distribuyen diferentes especies arbóreas y arbustivas que producen frutos comestibles, los cuales son recolectados por la gente de la comunidad de San Luis Atolotitlán. Entre éstas destacan *Polaskia chichipe*, *P. chende*, *Opuntia pilifera*, *Stenocereus stellatus*, *Myrtillocactus schenkii* y *Jatropha dioica* (Casas *et al.*, 1999a, 1999b; Casas *et al.*, 1997; Bartolo, 2000; Carmona, 2002; Carmona y Casas, 2005; Cruz y Casas, 2002; Otero-Arnaiz *et al.*, 2003; Torres, 2004). Los frutos de *Polaskia chichipe* son colectados durante los meses de mayo a junio en poblaciones silvestres para su consumo en fresco, para la elaboración de mermeladas, agua fresca, helados, como ingrediente en la preparación del mole, para intercambio por maíz y en algunos casos la gente deshidrata los frutos para almacenarlos como “pasas” (Casas *et al.*, 1999a; Carmona y Casas 2005).

Es importante destacar que las poblaciones de estas especies toleradas están conformadas predominantemente por los estadíos maduros, productores de frutos, y están poco representados los estadíos vegetativos (Torres, 2004). Se ha documentado que debido a esta forma de manejo, las poblaciones manejadas *in situ* y *ex situ* poseen frutos de mayor calidad que los de las poblaciones silvestres. Los adultos son más productivos, con frutos más grandes, de sabor dulce, cáscara delgada y con menos

espinas (Casas *et al.*, 1999a, 1999b; Cruz & Casas, 2002; Otero-Arnaiz *et al.*, 2003; Carmona y Casas, 2004).

La leña es un recurso indispensable para las comunidades rurales, pues es requerida para la cocción de los alimentos. Entre las especies de árboles y arbustos distribuidas en chichiperas y que son utilizadas como leña se encuentran *Mimosa luisana*, *P. chichipe*, *Eysenhardtia polystachia*, *Acacia cochliacantha*, *Lysiloma acapulcensis*, *Cordia curassavica* e *Ipomoea murucoides* (Torres, 2004). La leña de *P. chichipe* se utiliza para iniciar la combustión de las ramas de otras especies debido a que produce resinas muy flamables (Bartolo, 2000), por lo que en algunas comunidades se usa para la cocción de cerámica (Carmona y Casas, 2005). Al igual que en las chichiperas silvestres, la recolección de leña es realizada en las chichiperas manejadas *in situ*, ya que en estas comunidades se realizan actividades de saneamiento de individuos enfermos y secos, los que son utilizados como leña. Además se realiza la recolección de otros productos útiles como de tallos tiernos (cladodios) de *Opuntia pilifera*, recolección de hojas y flores de *Lippia graveolens*, especie que es usada como condimento y que incluso tiene valor comercial.

## 1.5. Hipótesis

Bajo el régimen de manejo silvícola *in situ* al que están sujetas las chichiperas, los campesinos: **(a)** modifican la composición de especies al eliminar las plantas no útiles para ellos (Carmona y Casas, 2005); **(b)** alteran la estructura de las poblaciones de las especies útiles al realizar prácticas de eliminación, fomento y tolerancia de algunos individuos de acuerdo con la calidad de sus productos o de acuerdo con sus estadíos de vida (Casas *et al.*, 1999a, Vivar, 2003; Torres, 2004) y **(c)** afectan a las poblaciones de especies de plantas con las que varias cactáceas mantienen interacciones bióticas para la germinación y el establecimiento de nuevas plántulas (Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet *et al.*, 1991a; 1991b; Reyes-Olivas *et al.*, 2002).

Tomando en cuenta estos procesos, se esperaría que las poblaciones de *Polaskia chichipe* se vean afectadas debido al manejo silvícola *in situ*, propiciando diferencias entre las poblaciones manipuladas con respecto a las poblaciones silvestres en: **a)** la estructura poblacional, esperándose una dominancia de plantas adultas en la población manejada *in situ*; **b)** en la densidad, esperándose un menor número de plantas por hectárea en la población manejada debido a las actividades de eliminación, tolerancia y fomento de individuos por estadío de vida; **c)** asimismo, se esperarían modificaciones en las tasas de sobrevivencia y crecimiento principalmente de los estadíos no reproductivos, así como en la probabilidad de establecimiento, debido principalmente a la eliminación de las plantas nodrizas; **d)** por la tolerancia y protección de adultos se esperarían diferencias en la producción de frutos entre las dos poblaciones; y finalmente, **f)** debido a las prácticas de manejo silvícola se esperarían diferencias en el crecimiento finito de la población entre la población silvestre y la manejada *in situ*.

## **1.6. Objetivo General**

El propósito general de este estudio fue caracterizar la estructura poblacional, los patrones demográficos y la dinámica poblacional de una población silvestre y una población sujeta a manejo silvícola *in situ* de la cactácea columnar *Polaskia chichipe*. Con base en ello se evaluó el efecto del manejo silvícola sobre la dinámica poblacional de *P. chichipe* en San Luis Atolotitlán, Puebla, y se analizó si este esquema de manejo limita la persistencia de las poblaciones de *P. chichipe* a largo plazo.

### **1.6.1. Objetivos Particulares**

1. Documentar las actividades realizadas por los campesinos en las chichiperas en términos de eliminación, remoción y tolerancia de individuos de los diferentes estadios de vida de *P. chichipe* y de otras especies arbustivas y árboles.
2. Determinar las diferencias en la estructura poblacional y en los patrones demográficos entre las poblaciones de *P. chichipe* en condiciones silvestres y bajo manejo silvícola *in situ*.
3. Evaluar el efecto del manejo silvícola en la dinámica poblacional de *P. chichipe* con respecto a las diferencias en los patrones demográficos, al valor de crecimiento finito poblacional y de los valores de la elasticidad de los diversos patrones demográficos entre las poblaciones.
4. Analizar alternativas de manejo sustentable para la poblaciones de *P. chichipe* en función de su ciclo de vida, de la dinámica poblacional, de la fecundidad, del valor del crecimiento finito de las poblaciones, así como con base en análisis prospectivos para determinar límites de cosecha de frutos y de eliminación de plantas.

## II. METODOS

### 2.1. Área de estudio.

El estudio se realizó en la comunidad de San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla, cuyos terrenos se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. La comunidad se localiza entre los 18°11'17'' de latitud norte y los 97°25'25'' de longitud oeste, sobre los 1900 msnm (INEGI, 2001; Figura 1). La temperatura y precipitación anuales registradas son 21°C y 400 mm, respectivamente (García 1973).

Los pobladores de San Luis Atolotitlán son mestizos descendientes de indígenas nahuas, pero no han conservado ni sus costumbres tradicionales ni su lengua indígena (Torres, 2004). La comunidad tiene 1031 pobladores, de acuerdo al Censo General de Población y Vivienda del 2000 (INEGI, 2001).

### Actividades socioeconómicas

La mayoría de la gente de la comunidad se dedica a la agricultura, la cual es destinada al abasto de las unidades familiares, pero es deficitaria pues éstas generalmente tienen que importar maíz y frijol (Torres, 2004). En el censo del 2000 se registraron 150 personas ocupadas en actividades del sector primario, 109 en el sector secundario y 26 en el terciario (INEGI, 2001). Se dedican también a la ganadería y algunas otras familias al comercio y a otras actividades como a la construcción, a la elaboración de mezcal y a la artesanía de artículos de palma (Bartolo, 2000; Carmona, 2002; Carmona y Casas, 2005; Torres, 2004).

La base de la alimentación de las familias de la comunidad son el maíz y el frijol, complementados con otros productos agrícolas obtenidos en el mercado, y ocasionalmente carne (Torres, 2004). Los habitantes de esta comunidad incorporan a su alimentación más de 40 especies de plantas que recolectan de comunidades silvestres para obtener productos como frutos, hojas, raíces y semillas. Estos productos

subsidian la economía familiar para la alimentación durante buena parte del año, principalmente en la temporada lluviosa, cuando escasean los productos agrícolas (Torres, 2004). Además de incorporar plantas silvestres en su alimentación, los pobladores de esta comunidad utilizan más de 400 especies de plantas como forrajes, medicina, combustibles, materiales para la construcción de casas y cercos que contribuyen en gran medida en la economía familiar (Torres, 2004).

## **Vegetación**

Dentro del territorio de la comunidad de San Luis Atolotitlán se han registrado 10 tipos de asociaciones vegetales naturales y transformadas: 1) Izotal de *Beaucarnea purpusii*, 2) chichipera de *P. chichipe* manejada, 3) chichipera silvestre, 4) vegetación riparia, 5) chaparral de *Dasyllirion serratifolium*, 6) bosque de *Quercus obtusata*, *Brahea nítida* y *Beaucarnea purpusii*, 7) palmar de *Brahea nitida*, 8) matorral espinoso con *Dioon caputoi*, 9) cardonal de *Mitrocereus fulviceps* y 10) milpas y áreas de cultivo (Valiente-Banuet *et al*, 2000; Torres, 2004). Hasta el presente, en estas asociaciones vegetales se han registrado un total de 485 especies de plantas vasculares útiles (Torres, 2004).

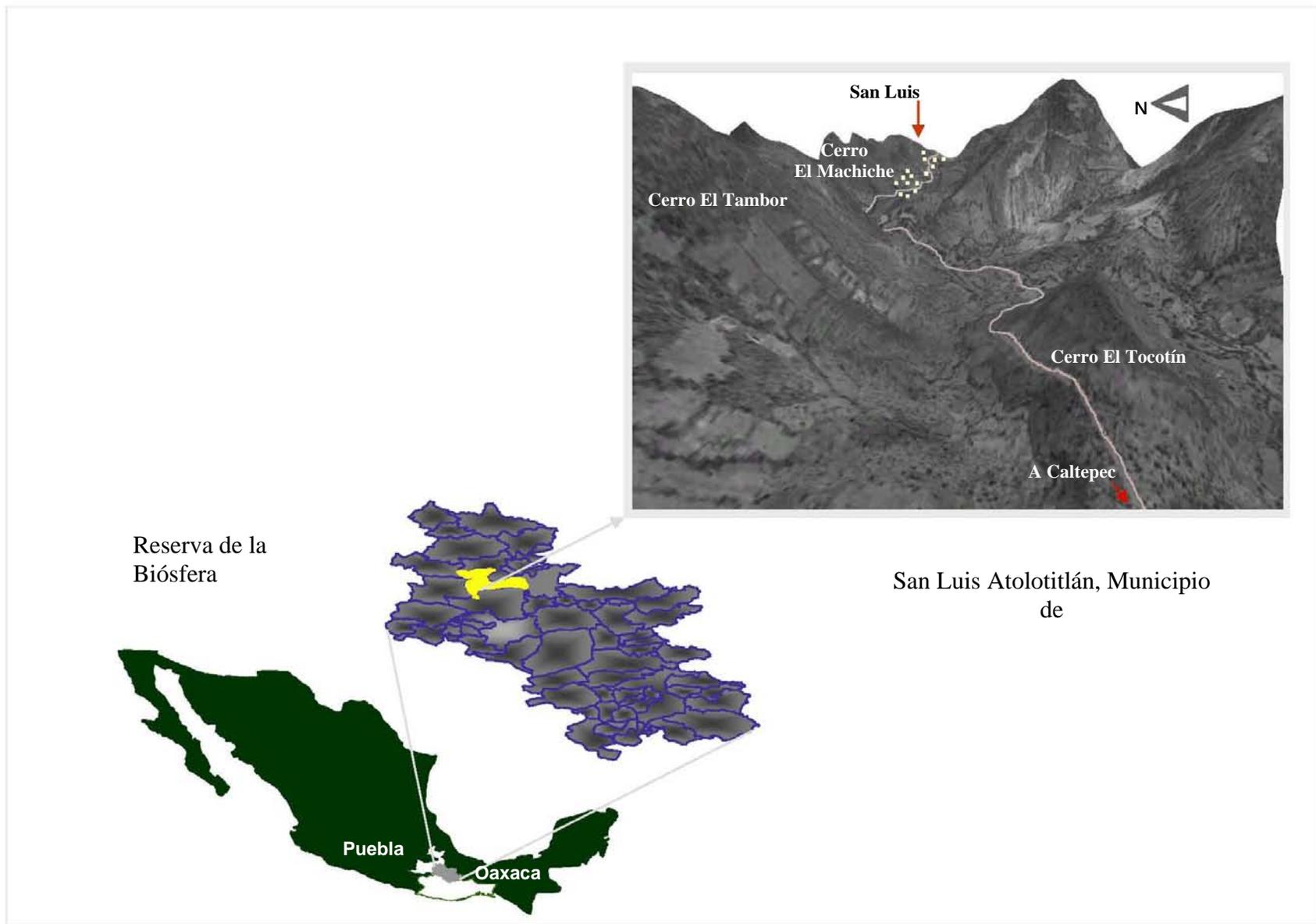


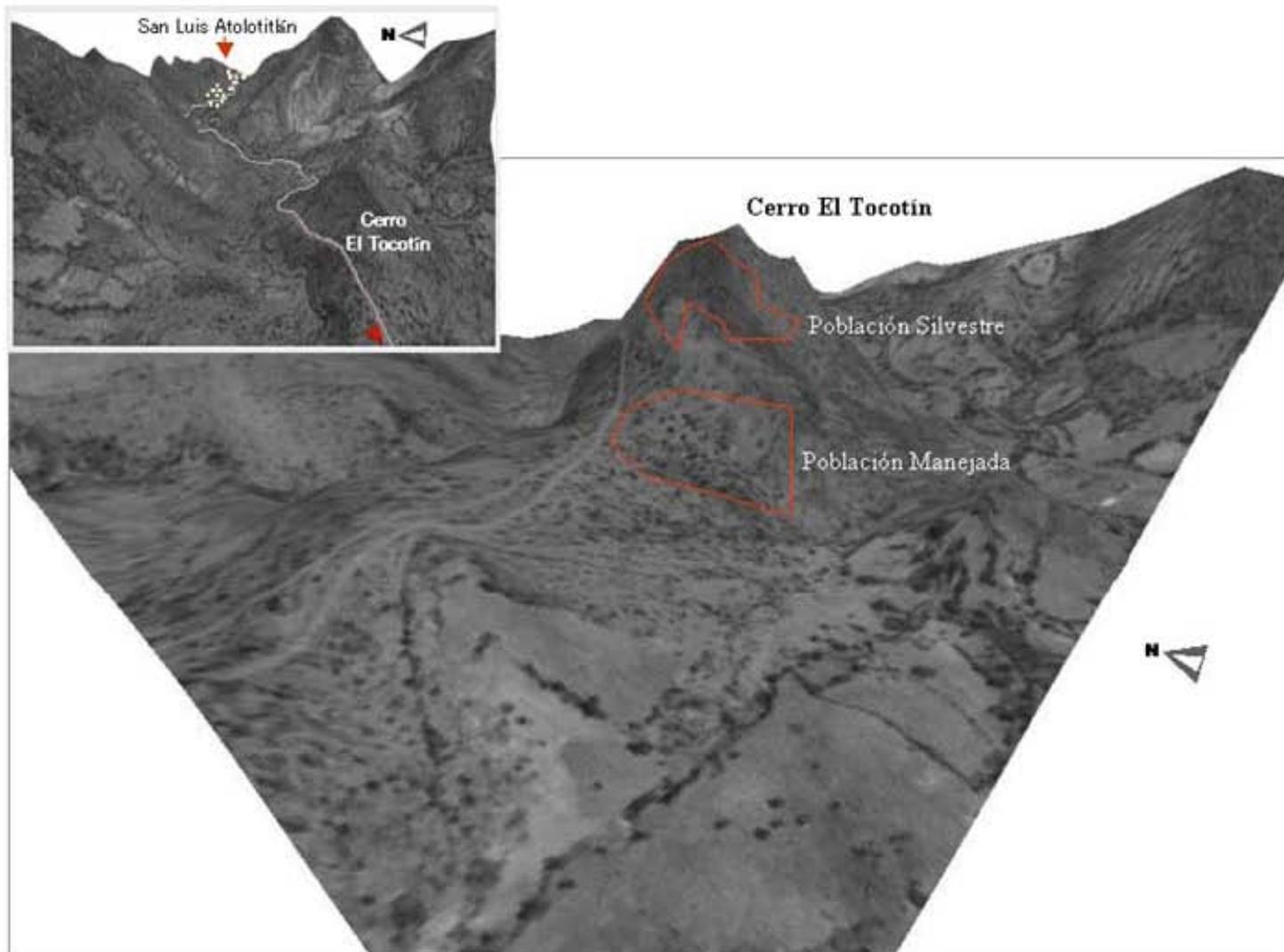
Figura 1. Ubicación geográfica de San Luis Atlotitlán, Municipio de Caltepec, Puebla

## 2.2. Ubicación y caracterización de las poblaciones de *P. chichipe* estudiadas

Se estudiaron dos poblaciones de *Polaskia chichipe*, una silvestre y otra manejada *in situ*. Estas poblaciones son contiguas y se localizan a 5.2 km al oeste del poblado de San Luis Atolotitlán cerca de la terracería hacia Caltepec, Puebla, en la ladera oeste del cerro El Tocatín (Figura 2). Las poblaciones están sujetas a diferente manejo. Una es una población silvestre en la cual las actividades que se realizan son el libre pastoreo, la recolección de frutos, la recolección de leña y de otros productos de las plantas silvestres útiles (Figura 3). La población silvestre se encuentra ubicada en las coordenadas 18°10'39.04'' de latitud norte y 97°26'39.23'' de longitud oeste; posicionada en una ladera de cerro con pendientes de 15° a 30° con orientación de la ladera hacia el Oeste y Noroeste, cubriendo una superficie de 1.038 hectáreas (Figura 4).

La otra población está sujeta a manejo silvícola *in situ*. Además de las actividades agrícolas, en esta población se lleva a cabo la extracción de frutos y otros productos comestibles de diversas especies vegetales, además se realiza libre pastoreo y recolección de leña (Figura 3). Se encuentra ubicada en las coordenadas 18°10'39.84'' de latitud norte y 97°26'54.19'' de longitud oeste; en un área de lomeríos con pendiente leve de 0° a 20° con orientación y exposición de la ladera hacia el Sur y Sureste, cubriendo una superficie de 1.165 hectáreas (Figura 4). En las dos poblaciones los suelos son volcánicos muy delgados y pedregosos, con poca cobertura de plantas herbáceas en el suelo, lo cual propicia la erosión.

Es muy común encontrar en el Valle de Tehuacán que en las zonas altas con pendientes pronunciadas se encuentran comunidades vegetales silvestres, en las cuales ocasionalmente se realiza actividades como recolección de productos útiles y libre pastoreo. También es común que en zonas de lomeríos con pendientes moderadas se encuentren comunidades vegetales sujetas a manejo silvícola *in situ*.



**Figura 2.** Ubicación de las poblaciones de *P. chichipe* en el Cerro El Tocatín, en San Luis Atlotitlán, Puebla



**Figura 3.** Actividades realizadas en las chichiperas silvestre y manejada *in situ*, a) Libre pastoreo, b) recolección de frutos de diversas especies, c) recolección de leña y d) actividades agrícolas en San Luis Atlotitlán, Puebla.

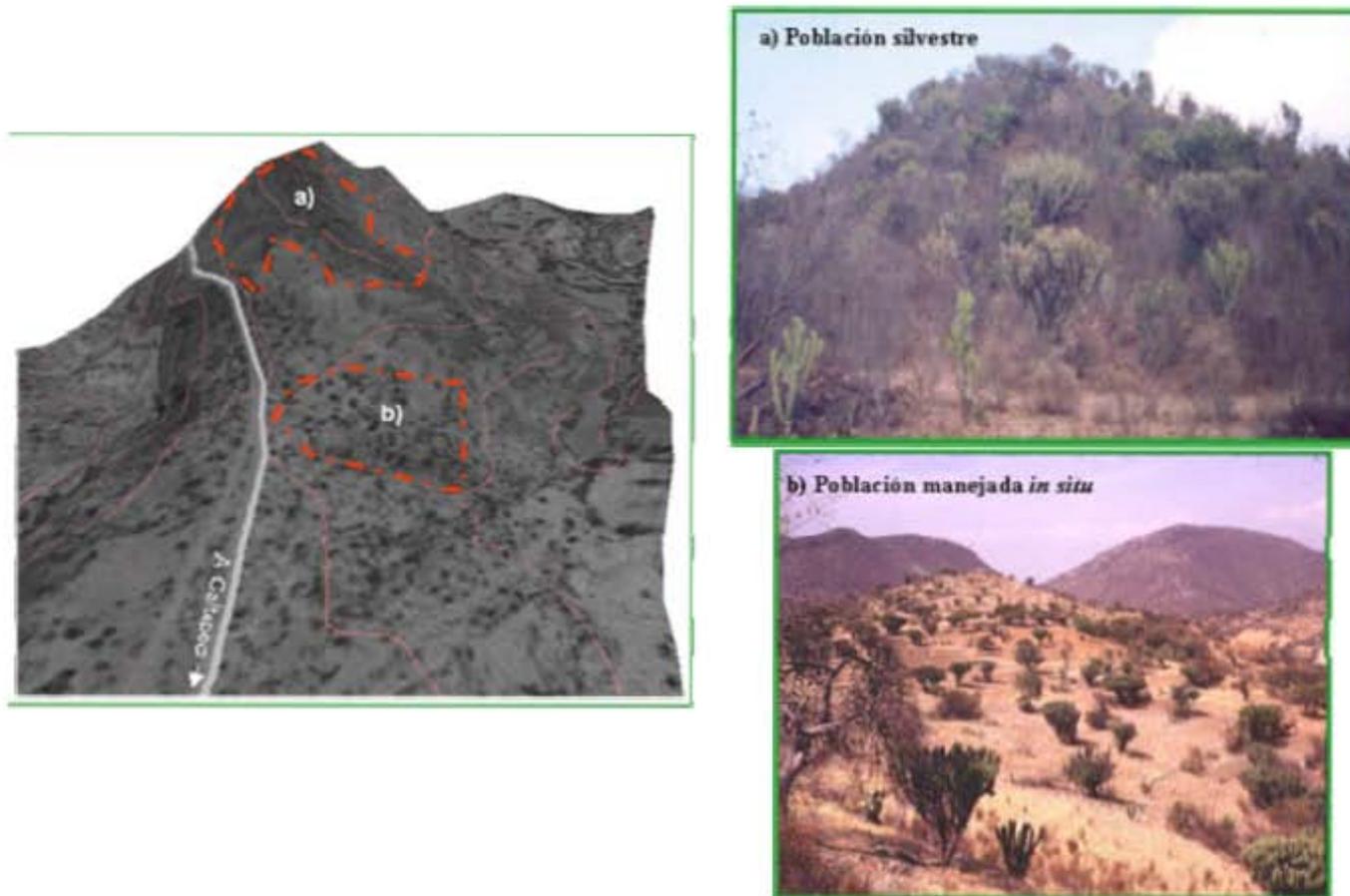


Figura 4. Características de las poblaciones a) silvestre y b) Manejada *in situ* de *P. chichipe*, en el cerro el Tocotín en San Luis Atlotitlán, Puebla

Debido a ello, no fue posible encontrar poblaciones silvestres y manejadas de *P. chichipe* en condiciones topográficas similares, por lo que para este estudio no contamos con poblaciones equiparables en términos ambientales. La población silvestre y la manejada difieren en la intensidad de manejo al que están sujetas, aunque se realizan actividades semejantes la intensidad en la que se realizan estas es diferente, siendo de mayor intensidad en la manejada *in situ*.

### **2.3. Investigación Etnobotánica**

**Entrevistas sobre el manejo de chichiperas.** Se realizaron entrevistas a 30 agricultores, las cuales estuvieron dirigidas a investigar aspectos sobre el uso y manejo de *P. chichipe* (véase formato de la encuesta en el Apéndice I). Se investigó acerca de las especies y proporciones de individuos de éstas que son eliminados, trasplantados y/o tolerados al abrir los terrenos para la agricultura y al realizar labores agrícolas. También se investigó acerca de los criterios que toman en consideración para la eliminación, trasplante y tolerancia de individuos en los diferentes estadios de vida de *P. chichipe* y de otras especies. Se investigó además sobre los ciclos de cultivo y descanso de las parcelas ubicadas en chichiperas, con el fin de determinar si la alternancia de los periodos de descanso y de uso de las parcelas permite la regeneración de las poblaciones vegetales de las chichiperas. Finalmente, se incluyeron preguntas para saber cuál es la percepción de los agricultores con respecto a si por las prácticas de manejo que se han llevado a cabo, las poblaciones de *P. chichipe* se ven disminuidas y si consideran que éstas pudieran extinguirse localmente y, en todo caso, cuáles son las prácticas que más afectan.

### **2.4. Determinación de la estructura de las poblaciones**

**Marcaje de plantas.** En marzo de 2003 se realizó el marcaje de 385 plantas de *P. chichipe* en la población silvestre y de 260 individuos en la población manejada *in situ*. Estos individuos se encontraban distribuidos en una superficie de 1.038 hectáreas para la población silvestre y de 1.165 hectáreas para la

población manejada *in situ*. El área de la población silvestre se determinó de acuerdo con las dimensiones de un manchón de chichipera, de la ladera oeste del cerro El Tocoín, mientras que el área de la población manejada *in situ* comprendió el área de tres parcelas agrícolas adyacentes.

**Medición de la altura de las plantas.** Se registró la altura de los individuos marcados. Para las plántulas y para las plantas juveniles menores de 1.50 m se utilizó una cinta métrica, mientras que para los individuos de mayor talla la medición se realizó con ayuda de un estadal colocado sobre un clavo a la altura de 2cm del suelo a una distancia de 30cm del vástago principal de la planta, orientado en la parte baja de la pendiente. Esos datos se consideraron como preliminares y se usaron como criterios para establecer categorías de tamaño en las dos poblaciones para obtener la longitud promedio por rama y por nivel de ramificación de cada planta (Figura 5).

**Conteo y medición de ramas por nivel de ramificación.** Debido a que *P. chichipe* es una especie muy ramificada, se consideró que el valor de la altura vertical de los individuos no es representativa de la longitud total acumulada de la planta. Por lo cual, y a fin de obtener la longitud total acumulada de cada individuo y para establecer las categorías de tamaño de los individuos de cada población, se contaron y midieron las ramas de cada planta, de manera que la longitud total acumulada fue la suma de la longitud de todas sus ramas. Para facilitar el conteo de ramas y mantener la perspectiva de la arquitectura de la planta, el conteo se realizó determinando diferentes niveles de ramificación desde el primer nivel en la base del tronco hasta el 12vo. nivel de ramificación en las ramas más jóvenes (Figura 5).

Se midió la longitud de todas las ramas de las plántulas y juveniles poco ramificados de hasta 20 ramas, tomando en consideración su nivel de ramificación. Para la estimación de la longitud de ramas de los adultos y los juveniles muy ramificados se muestreó el 10% de sus ramas, representando en esta muestra todos los niveles de ramificación.



**Figura 5.** Medición de altura de plantas, conteo y medición de ramas por nivel de ramificación; a) medición de la altura de plantas, b) clasificación de ramas por nivel de ramificación, c) conteo de ramas y d) medición de ramas

Se realizó un análisis comparativo para determinar diferencias entre el número de ramas por categoría entre poblaciones, lo cual se realizó por medio de una prueba de “t” para grupos independientes, considerando una distribución Poisson y transformando los datos a la raíz del valor+1 (Statistica v. 6.1; Zar, 1999, Snedecor y Cochran, 1984).

**Estimación de la longitud promedio de las ramas por nivel de ramificación.** Se definieron primeramente tres categorías de tamaño de plantas con base en el número de ramas y su altura vertical: **1)** renuevos (0.01 – 1.3 m con 1 - 4 ramas), **2)** juveniles (de más de 1.3 m – 2.50 m con 4 - 140 ramas) y **3)** adultos (de más de 2.5 m – 5 m con mas de 21 - 500 ramas). A los individuos de las categorías de renuevos y juveniles con menos de 20 ramas se les midieron todas sus ramas (población manejada:  $n_{\text{individuos}}=175$ ,  $n_{\text{ramas}}=420$  de 2° a 4° nivel de ramificación; población silvestre:  $n_{\text{individuos}}=101$ ,  $n_{\text{ramas}}=115$  de 2° y 3° nivel de ramificación), por lo que con los datos de campo se obtuvieron los valores absolutos de la longitud de ramas por nivel de ramificación de estos estadíos.

Para los juveniles con más de 20 ramas y los adultos se obtuvo el valor de la longitud promedio de cada rama por nivel de ramificación con base en los valores medidos en campo. En la población manejada se estudiaron:  $n_{\text{individuos}}=85$ ,  $n_{\text{ramas}}=1191$  de 2° a 10° nivel de ramificación; mientras que en la población silvestre:  $n_{\text{individuos juveniles}}=20$ ,  $n_{\text{ramas de juveniles}}=570$  de 2° a 6° nivel de ramificación,  $n_{\text{individuos adultos}}=61$ ,  $n_{\text{ramas de adultos}}=790$  de 2° a 10° nivel de ramificación.

**Estimación de la longitud total acumulada por planta y determinación de categorías de tamaño en cada población.** La longitud total acumulada de cada individuo se calculó multiplicando la longitud promedio de las ramas en cada nivel de ramificación por el número de ramas en cada nivel de ramificación. La diferencia entre la longitud total acumulada por estadío de vida entre las dos poblaciones se realizó por medio de un análisis comparativo entre las dos poblaciones y la longitud acumulada (suma

de la longitud de todas las ramas) por categoría. Se realizó una prueba de “t” para grupos independientes, considerando una distribución Poisson y transformando los datos a la raíz de X (Zar, 1999, Snedecor y Cochran, 1984), para determinar diferencias en la longitud acumulada por categoría de vida entre población; se realizó mediante el programa Statistica v. 6.1 (Statistica Vs. 6.1. Stat Sofá, Inc. 1984-2003)

**Categorización de la población.** Para establecer las categorías de tamaño se consideró como primer parámetro clasificatorio los rangos de longitud total acumulada. Como segundo criterio de clasificación se consideró el número de ramas y como tercer criterio de clasificación se consideró la altura vertical de las plantas. Con base en estos criterios se determinaron siete categorías de tamaño de individuos: Renuevo I (RI), Renuevo II (RII), Juvenil I (JI), Juvenil II (JII), Adulto I (AI), Adulto II (AII) y Adulto III (AIII).

## **2.5. Determinación de patrones demográficos**

**Crecimiento individual.** El crecimiento de cada planta por categoría se estimó con base en mediciones del crecimiento anual por rama. A principios de mayo de 2003 se inició el marcaje y medición de individuos y ramas cuyo crecimiento se mediría al siguiente año. Se marcaron y midieron todas las ramas de todas las plántulas y plantas juveniles de 0.01 – 1.30 m de altura y con menos de 20 ramas. En el caso de los individuos juveniles con más de 20 ramas, así como en el de los adultos con numerosas ramas se tomó una muestra del 33% de los individuos de estas categorías en cada población, a los cuales se les marcaron y midieron el 10% de sus ramas en todos los niveles de ramificación. El marcaje de ramas se efectuó eliminando las espinas de una de las areolas más próximas al ápice de la rama, aplicando en esta areola una gota de pintura de aceite (Figura 6).

En mayo de 2004 se midió el incremento de tamaño de cada rama como el intervalo entre la nueva areola terminal y la areola marcada (Figura 6). Se obtuvo entonces el crecimiento anual de cada rama por nivel de ramificación y por categoría. Con los datos de crecimiento obtenidos para juveniles con más de

20 ramas y para los adultos se obtuvo un valor de crecimiento promedio de las ramas por nivel de ramificación y por estadio de vida. Este valor se tomó en cuenta para calcular el crecimiento total acumulado para cada individuo de las poblaciones. El crecimiento de los renuevos y juveniles fue la suma del incremento anual de todas sus ramas, mientras que el de los juveniles con más de 20 ramas se estimó mediante el promedio de incremento anual por nivel de ramificación de juveniles multiplicada por el número total de ramas por nivel de ramificación. El crecimiento de los adultos se estimó con base en el promedio de incremento anual por nivel de ramificación de adultos multiplicada por el número de ramas por nivel de ramificación.



**Figura 6.** Evaluación del crecimiento por rama de acuerdo al nivel de ramificación; a) marcaje de areolas y b) medición de crecimiento anual por rama.

El crecimiento de las ramas se analizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía (Zar, 1999, Daniel, 2002), comparando entre poblaciones, niveles de ramificación y categoría de tamaño.

Estos análisis se efectuaron con un modelo lineal generalizado mediante el programa Statistica v. 6.1 (Statistica Vs. 6.1. Stat Sofá, Inc. 1984-2003).

**Sobrevivencia.** En mayo de 2004 se realizó el registro de sobrevivencia de los individuos marcados en marzo de 2003.

**Fecundidad.** Para estimar el valor de fecundidad se contó el número de ramas apicales reproductivas y no reproductivas de cada individuo reproductivo en las dos poblaciones (para la población silvestre  $n_{\text{plantas}}= 89$ ,  $n_{\text{ramas}}= 4,590$  y para la manejada  $n_{\text{plantas}}= 91$ ,  $n_{\text{ramas}}=4,329$ ). Se contó el número de frutos, de flores y de botones florales producidos en el 33% de sus ramas en el periodo de abril a mayo de 2003. Se realizó otro conteo de las mismas partes reproductivas entre abril y mayo de 2004 (Figura 7). El número de frutos producidos por individuo se estimó con base en el conteo de frutos, adicionando el número de frutos que se producen a partir de los botones y flores contados. Para esto último se estimó la proporción de botones florales que llegan a ser frutos utilizando los datos generados al respecto para dos años de observaciones por Otero-Arnaiz *et al.* (2003), en las mismas poblaciones. Estos autores estimaron que el porcentaje de botones florales que llegan a ser frutos en la población silvestre de *P. chichipe* es de 85.34% ( $n = 457$  botones florales, 30 plantas), mientras que en una población con manejo silvícola *in situ* es de 82.43% ( $n = 609$  botones florales, 30 plantas).

En resumen, el número de frutos producidos por individuo se obtuvo multiplicando la probabilidad de los botones florales para ser frutos por el número de flores y botones florales contadas en campo, sumando además el número de frutos contados. A partir de los datos de productividad de frutos por individuo maduro se calculó el valor de producción de frutos promedio por categoría de adultos reproductivos.



**Figura 7.** Evaluación de la productividad de frutos por planta adulta; a) conteo de ramas reproductivas y no reproductivas y b) conteo de estructuras reproductivas

El número de semillas producidas por fruto considerado fue el dato promedio reportado por Carmona y Casas (2004) y Otero-Arnaiz *et al.* (2003), quienes estimaron el número de semillas en  $316 (\pm 8.8)$  para frutos de la población silvestre ( $n = 111$  frutos, 30 plantas) y de  $315 (\pm 6.7)$  semillas por fruto para la población manejada *in situ* ( $n = 111$  frutos, 30 plantas). Con base en la estimación del número de frutos por individuo y por categorías de tamaño y con base en el número promedio de semillas por fruto se

estimaron los valores promedio de producción de semillas por individuos maduros y por categoría de adultos maduros.

Se analizó la diferencia en la producción de semillas entre categorías de cada población y entre población, se efectuó un ANDEVA anidado (Snedecor y Cochran, 1984) considerando poblaciones y categoría dentro de poblaciones. Los datos se transformaron por medio de su raíz cuadrada.

**Establecimiento de plántulas.** Se montaron experimentos para evaluar la depredación de semillas y el establecimiento de plántulas en campo antes del iniciar la temporada de lluvias (mayo de 2003). Se depositaron semillas en 45 lotes circulares de 20 cm de diámetro, cada lote con 200 semillas, cubriendo un área total de 1.41 m<sup>2</sup> en cada población. Las semillas se obtuvieron de frutos colectados en las poblaciones estudiadas el mismo año en el que se montaron los experimentos. Las semillas fueron separadas del mesocarpio y secadas antes de sembrarlas. Los experimentos se realizaron de la siguiente manera:

**A) Instalación de lotes para evaluar el establecimiento de plántulas.** Se instalaron 15 lotes sin exclusión de depredadores para documentar la depredación de semillas y el reclutamiento de plántulas en condiciones naturales. Éstos se colocaron en las diferentes condiciones ambientales que se mencionan a continuación, cubriendo una superficie de 0.47 m<sup>2</sup> en cada población (Figura 8). Cinco lotes se colocaron debajo del dosel de plantas arbustivas perennes reportadas como plantas nodrizas de cactáceas columnares (Valiente-Banuet *et al* 1991; 1991a; Valiente-Banuet y Escurra, 1991; Godínez-Alvarez *et al.*, 1999; 2003; Ortega-Baes, 2001). Se colocaron dos lotes bajo *Mimosa luisana*, otros dos lotes bajo *Mimosa* sp. y uno debajo de *Lippia graveolens*, las cuales tenían alturas de 1.5m a 2m. Otros cinco lotes se establecieron en zonas rocosas, pues previamente se observó que un gran número de plántulas de *P. chichipe* se establecen y crecen en la grietas y bajo protección de rocas. Finalmente, otros cinco lotes más se colocaron en zonas abiertas sin protección de nodrizas ni de rocas.

Además se realizaron experimentos de establecimiento con exclusión de depredadores en cada población. El objetivo fue estimar la probabilidad de establecimiento y sobrevivencia de plántulas en un año, a partir de las semillas que se escapan de la depredación y llegan a sitios adecuados para establecerse. Estudios previos han estimado que hasta un 7% de las semillas producidas en cactáceas columnares no son depredadas y son depositadas por los dispersores en sitios adecuados para su germinación y establecimiento (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Godínez-Álvarez *et al.*, 1999; 2002; Bowers, 2000; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Méndez *et al.*, 2004; Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet, 2004).

Se instalaron además 30 lotes bajo condiciones de exclusión de depredadores. Fueron lotes circulares de 20 cm de diámetro, con 200 semillas en diferentes condiciones ambientales, cubriendo una superficie total por población de 0.94 m<sup>2</sup>. Para excluir a los depredadores se cubrió el área del lote con malla de alambre de 3 mm de apertura, con el fin de evitar el acceso de aves; además se aplicó al contorno de la malla una resina insecticida (Tangle foot) para evitar el acceso a las semillas de insectos rastreros. Se establecieron 10 lotes debajo del dosel de plantas arbustivas perennes, de la siguiente manera: se coloraron 5 lotes debajo de *Mimosa luisana*, 2 lotes bajo *Mimosa* sp. y los tres restantes debajo de *Ipomoea arborescens*, *Opuntia pilifera* y *Lippia graveolens*, plantas cuya altura era de 60cm a 3m. Otros 10 lotes se establecieron en zonas rocosas y otros 10 lotes más se colocaron en zonas abiertas sin protección de nodrizas ni de rocas



**Figura 8.** Experimentos de establecimiento de plántulas, a) sin exclusión de depredadores. Con exclusión de depredadores en diferentes condiciones ambientales b1: bajo dosel de arbustos, b2: en zonas abiertas y b3: en zonas rocosas, c) semillas sembradas y d) plántula de *P. chichipe*.

**B) Monitoreo y conteo de plántulas establecidas en un año.** Al segundo mes de sembradas las semillas, en julio de 2003, se realizó un conteo de plántulas germinadas en cada lote experimental y en mayo de 2004 se contaron las plántulas sobrevivientes. Con base en los experimentos de establecimiento sin exclusión se estimó la pérdida de semillas por depredación, mientras que los experimentos de establecimiento con exclusión permitieron estimar el número de plántulas que logran establecerse en ausencia de depredación, de acuerdo con las condiciones del sitio. Con el valor estimado de probabilidad de establecimiento y el número de semillas por categoría se estimó la aportación de los individuos maduros al primer estadio de vida.

## **2.6. Dinámica poblacional**

### **2.7.**

**Probabilidad de transición.** Se estimó la proporción de individuos que en el tiempo inicial tuvieron un crecimiento acumulado suficiente para pasar a la siguiente categoría de tamaño en el periodo de un año de estudio. Con base en esta información se logró estimar la probabilidad que tienen los individuos de cada categoría de pasar a la siguiente categoría debido a su crecimiento.

**Probabilidad de Permanencia.** La probabilidad de permanencia se calculó con base en el número de individuos que no crecieron lo suficiente para pasar a la siguiente categoría, pero sobrevivieron durante un año en la misma categoría de tamaño.

**Probabilidad de reproducción.** Este parámetro se calculó con base en el número de plantas reproductivas, y la proporción de plantas que producen frutos en cada categoría de tamaño.

**Probabilidad de establecimiento.** Este parámetro representa la probabilidad que tiene una semilla de llegar a ser plántula establecida en un año. Debido a la intervención humana a la que están sujetas las dos poblaciones de estudio, los experimentos para evaluar el establecimiento de plántulas se perdieron en un 45%, por lo que no se logró obtener datos confiables sobre la relación de semillas sembradas en los lotes de establecimiento y el número de plántulas que se establecieron entre la temporada lluviosa a la temporada seca (de mayo 2003 a abril 2004). Por lo tanto, se realizaron simulaciones con diferentes probabilidades de establecimiento apoyándonos en las probabilidades de establecimiento documentadas para diversas especies de cactáceas columnares en el Valle de Tehuacán (Godínez-Álvarez, *et al.*, 1999; 2002; Ortega, 2001; Esparza-Olguín, 2002; Contreras y Valverde, 2002; Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet, 2004).

**Fecundidad:** La fecundidad se estimó como el número de semillas promedio producidas por los individuos de cada categoría, multiplicado por la probabilidad de pasar de semilla a plántula establecida en un año y por la probabilidad de reproducción (Godínez-Álvarez, *et al.*, 1999; 2002; Ortega, 2001; Esparza-Olguín, 2002; Contreras y Valverde, 2002; Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet, 2004). La diferencia entre la producción de frutos entre poblaciones y de categorías entre poblaciones se realizó por medio de un ANDEVA anidado, considerando una distribución Poisson y transformando los datos por medio de su raíz cuadrada (Zar, 1999, Snedecor y Cochran, 1984).

## 2.7. Análisis matriciales

Las multiplicaciones iterativas de las matrices de transición por el vector de la estructura de las dos poblaciones se realizaron mediante el programa Microsoft® Excel 2002 y el módulo de Excel Poptools Vr. 2.6 (Hood, 2004). Para determinar los límites confiables (95%) del valor de crecimiento finito de la población ( $\lambda$ ) y de los errores estándar de  $\lambda$ , así como de la elasticidad de cada categoría se utilizó el programa SMontercarlo Versión 1.0 (Arellano y Parra, 2002). Por medio de los módulos Poptools y el macro Matrcal se obtuvieron las matrices de elasticidad y sensibilidad, el vector de estructura estable, y el valor del crecimiento finito de las poblaciones. Las matrices y los valores fueron obtenidos con base en 900 iteraciones de la multiplicación de las matrices de transición por el vector y 100 simulaciones del valor de crecimiento finito de la población.

**Construcción de las matrices de transición.** La matriz se construyó con los valores de las probabilidades de sobrevivencia (P) en el mismo estadio de vida, el crecimiento o transición al siguiente estadio de vida (G) y la fecundidad (F) de los adultos de cada población. El vector de estructura poblacional se determinó con base en las categorías de tamaño clasificadas y el número de individuos dentro de éstas en cada población.

No se registró transición del estadio de vida Adulto II (AII) al estadio Adulto III (AIII) en ninguna de las dos poblaciones, por lo que para la realización de las iteraciones de los análisis matriciales se tomó un valor de probabilidad de transición con base en la consideración de que 2 de cada 100 plantas en este estadio pasan al siguiente; es decir, se consideró el valor de 0.02. En el estadio de vida Adulto III (AIII) de la población silvestre no se registró mortalidad y se asignó un valor de 0.02, asumiendo que 2 de cada 100 plantas en este estadio eventualmente mueren.

Para incorporar el valor de fecundidad en la matriz de transiciones se realizaron varias multiplicaciones de la matriz de transición por el vector de las dos poblaciones considerando diferentes valores de probabilidad de establecimiento de 0.001, 0.0003, 0.0002, 0.0001, 0.00005 y 0. Se realizó de esta manera con el fin de validar la probabilidad de establecimiento obtenida a partir de los experimentos de establecimiento de plántulas con exclusión de depredadores, y se consideraron también los valores obtenidos de la producción de semillas promedio por categoría para realizar tales simulaciones. Se realizaron análisis matriciales asumiendo una probabilidad de establecimiento de semillas del 10% hasta una nula probabilidad de establecimiento de semillas. Se consideró estos valores debido a que los lotes para evaluar el establecimiento de plántulas sólo se cubrió un área de 1.41m<sup>2</sup> por hectárea, lo cual es poco representativo; sin embargo, se consideró que las probabilidades de establecimiento propuestas, debería incluir los valores de probabilidad de establecimiento estimada en campo con exclusión y sin exclusión de depredadores. Las probabilidades supuestas en estas simulaciones se basan en información documentada para otras especies de cactáceas, para las cuales se ha estimado que la remoción y depredación de semillas es más del 95%, de las cuales aproximadamente 2% de las semillas permanecen en el suelo cada año (Valiente-Banuet y Ecurra, 1991; Bowers, 2000; Méndez *et al.*, 2004).

Además se tomó en cuenta que diferentes autores han documentado que el establecimiento en cactáceas columnares sucede como un fenómeno episódico, altamente variable y raro, marcadamente dependiente de los patrones de precipitación y temperatura (Jordan y Nobel, 1981; Bowers, 1995; Pierson y Turner, 1998; Rae y Ebert, 2002; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Contreras y Valverde, 2002). Algunos de estos autores han documentado que tales episodios de establecimiento masivo están

relacionados con el fenómeno de El Niño (Jordan y Nobel, 1981; Bowers, 1995, Rae y Ebert, 2002). De manera que el rango de valores considerados permiten representar tanto escenarios favorables como poco favorables.

Con las probabilidades de establecimiento mencionadas se calculó el valor de la fecundidad de las plantas adultas de cada población, y con ello se realizaron análisis matriciales iterativos obteniéndose un rango de valores del crecimiento finito para las dos poblaciones de *P. chichipe*. Los valores de crecimiento finito obtenidos para la población silvestre fueron comparados con los valores obtenidos en poblaciones silvestres de otras especies de cactáceas columnares del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, los cuales, en todos los casos, son cercanos a la unidad (Godínez-Álvarez *et al.*, 1999; 200; 22004; Ortega, 2001; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Contreras y Valverde, 2002).

## **2.8. Elasticidad de los patrones demográficos**

Con base en los análisis matriciales se calcularon las matrices de elasticidad para las simulaciones que consideraron los diferentes valores de probabilidad de establecimiento. Los valores de la matriz de elasticidad representan la contribución relativa que tiene cada patrón demográfico (la sobrevivencia, el crecimiento y la fecundidad) en el valor de crecimiento finito de la población ( $\lambda$ ). Con el valor relativo de elasticidad se identificaron los procesos demográficos, los estadios de vida más importantes y los más vulnerables para la persistencia de la población.

## **2.9. Análisis prospectivos: cosecha de frutos en las poblaciones de *P. chichipe***

Se realizaron alteraciones en el valor de fecundidad de cada población con base en simulaciones de diferentes porcentajes de cosecha de frutos. Estas simulaciones se realizaron considerando desde 10% hasta 90% de extracción de frutos de cada población a intervalos de 10%. En cada caso se simuló la extracción de diferentes porcentajes de

semillas como reflejo de la intensidad de cosecha. Se realizaron 45 simulaciones iterativas de las cinco matrices de transición por el vector de cada población. A partir de estos análisis matriciales se obtuvo el valor de  $\lambda$  para cada régimen de cosecha, así como los valores de la elasticidad de cada patrón demográfico y estadio de vida.

### **2.10. Análisis prospectivos: eliminación de plantas por categoría de tamaño**

Se realizaron análisis prospectivos simulando la eliminación de diferentes porcentajes de plantas de las diferentes categorías. Estas simulaciones se realizaron disminuyendo del vector en cada simulación el número de plantas por categoría en un 30%, 50% y 90%. Las prospecciones se realizaron individualmente por categoría para determinar el valor del crecimiento finito de la población en cada escenario de perturbación, así como para obtener los valores de elasticidad de los patrones demográficos y los estadios de vida como efecto de las perturbaciones en cada población. Los porcentajes de eliminación se determinaron con base en la información obtenida en las entrevistas sobre las proporciones de plantas por categoría que eliminan los campesinos en las poblaciones silvestres de *P. chichipe* al realizar aclareos para el establecimiento de parcelas agrosilvopastoriles.

Como resultado de estas perturbaciones por categoría se obtuvieron los valores de las matrices de elasticidad y se identificaron las categorías de tamaño más importantes para el crecimiento y persistencia de cada población ante perturbaciones de eliminación de plantas. Se identificaron además los procesos demográficos más importantes para la persistencia de la población al eliminar con diferente intensidad algún estadio de vida.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Actividades realizadas para el establecimiento de parcelas agrícolas en chichiperas.

**Cultivos y parcelas.** La agricultura de temporal de maíz y frijol es la actividad económica más importante y a la cual se dedican casi todas las familias de la comunidad de San Luis Atolotitlán. Sólo 3.5% de las familias, según la encuesta realizada, se dedican exclusivamente al comercio y otro 3.5 % se dedican únicamente a la ganadería. El sistema agrícola de maíz y frijol aporta la base de la alimentación y la producción está destinada al autoabasto, pero esta producción es insuficiente, y la comunidad importa anualmente cerca del 60% de lo que consume de estos granos básicos (Torres, 2004). Casi todas las familias de agricultores de la comunidad cultivan maíz, frijol, calabaza, jitomate, trigo y alfalfa; el 66% de las familias encuestadas cultivan sus parcelas cada año y el 34% cada dos o tres años, teniendo las parcelas un periodo productivo entre 15 a 50 años. El 71.8% de los campesinos poseen parcelas con superficie de 1 a 3.5 hectáreas, mientras que el 18.7% de los campesinos poseen parcelas con superficie de 4 a 5 hectáreas y el 9.4% con parcelas de menos de una hectárea, distribuidas en zonas con relieve ligero a moderado los cuales anteriormente eran comunidades vegetales silvestres de chichiperas y otros matorrales xerófilos. De acuerdo con las investigaciones efectuadas, el 74% de las parcelas están ubicadas dentro del área de distribución de las chichiperas. El 61% de estas parcelas ubicadas en chichiperas tiene una superficie de entre 1 a 1.5 hectáreas, el 30% tiene una superficie de menos de una hectárea y sólo el 9% de las parcelas son mayores a 2 hectáreas de superficie.

**Actividades realizadas para establecer parcelas agrícolas en chichiperas.** Al efectuar aclareos para establecer parcelas agrícolas la gente realiza actividades tendientes a eliminar, remover y/o tolerar selectivamente algunas especies, así como individuos de estas especies en distintos estadíos de vida, de

acuerdo con su valor de uso. Estas actividades, por lo tanto, inducen a un cambio en la composición y la estructura de la comunidad y de las poblaciones de algunas especies de plantas en particular.

Al establecer sus parcelas poco más del 56% de los campesinos eliminan todos los arbustos presentes en las chichiperas silvestres pero dejan en pie las cactáceas columnares, opuntias y árboles que se refieren más adelante; el 40% eliminan selectivamente especies no útiles y estadíos no reproductivos de árboles y arbustos útiles. El 3.3% elimina todo, es decir no toleran ninguna especie vegetal en sus parcelas agrícolas.

Entre las especies toleradas en chichiperas con manejo silvícola *in situ*, las más mencionadas fueron *P. chichipe* (73% de los campesinos), *Opuntia pilifera* (nopal 56%), *P. chende* (chende 53%), *Agave salmiana* (maguey 40%), *Myrtillocactus schenkii* (garambuyo 30%), *Mimosa* sp. (garabato 30%), *Prosopis laevigata* (mezquite 23%), *Stenocereus stellatus* (xoconochtle 23%), *S. pruinosus* (pitaya de mayo 10%), *Schinus molle* (pirul 10%), *Ipomoea arborescens*, *I. murucoides* (casahuate 3%), *Leucaena lanceolata* (guaje 3%), *Byrsonima crassifolia* (nanche 3%) y árboles en general (3% de campesinos encuestados).

Los campesinos realizan actividades para aumentar e inducir la abundancia de algunas especies útiles como *Polaskia chende*, *Stenocereus stellatus* y *Agave salmiana* por medio del trasplante de plántulas o por propagación vegetativa. Este tipo de prácticas es realizado por el 42% de los campesinos, quienes en su mayoría realizan propagación por medio de ramas en el caso de cactáceas.

**Manejo de poblaciones de *P. chichipe* en parcelas agrícolas.** Al trazar las parcelas agrícolas en chichiperas silvestres los campesinos eliminan, toleran y trasplantan de un sitio a otro dentro de la parcela plantas de *P. chichipe* de diferentes categorías de tamaño con distinta intensidad. El 50% de los campesinos encuestados eliminan todos los renuevos con altura de 1 a 50 cm y afirman que al desmontar el área no perciben la presencia de estas plantas y aunque no son eliminadas en forma deliberada, al

momento de labrar la tierra son arrancadas con el arado y mueren. Las plántulas con una altura cercana a 50 cm son trasplantadas a las orillas de la parcela para evitar que mueran y dejen su sitio original a las plantas cultivadas. Pero este tipo de trasplante lo realizan sólo el 37% de los campesinos, quienes afirman que realizan el trasplante de todas estas plántulas que encuentran en su parcela. El 13% de los campesinos afirmaron que toleran y protegen las plántulas que se establecen en áreas rocosas en donde hay poco suelo y éste no es arable.

Las plantas con altura de entre 50 cm y 1 m son toleradas en las parcelas por el 27% de los campesinos entrevistados, pero sólo en una proporción de 1 de cada 3 (es decir, sólo el 33% de las plántulas son toleradas). El 17% de los campesinos trasplantan la mitad de estas plántulas a otros sitios y el 3% de los campesinos eliminan y toleran aproximadamente la mitad de estas plántulas, mientras que el 50% de los campesinos eliminan todas las plántulas de 50 cm a 1 m de altura.

Todas las plantas en estadio vegetativo con altura de 1.5 a 2 m son toleradas por el 30% de los campesinos pues mencionan que ya desarrollaron las raíces y en pocos años producirán frutos. El 40% de los campesinos toleran sólo la mitad de estas plantas juveniles, el 26% de los campesinos afirman que trasplantan estas plantas a las orillas de las parcelas, mientras que el 4% de los campesinos eliminan todos los juveniles. El 3% de los campesinos entrevistados realizan actividades de saneamiento en las parcelas agrícolas establecidas eliminando sólo a las plantas juveniles secas.

Las plantas adultas reproductivas son eliminadas y/o toleradas selectivamente dentro de las parcelas en función de la calidad y la productividad de sus frutos. Del total de campesinos entrevistados el 62% toleran todas las plantas adultas, 20% eliminan 1 de cada 3 adultos, mientras que 12% eliminan y toleran sólo la mitad de los adultos. El 3% de los campesinos entrevistados eliminan el 10% de los individuos adultos de *P. chichipe*, mientras que el 3% eliminan todos los adultos de sus parcelas. El 3% de los entrevistados realizan actividades de saneamiento y eliminan sólo los individuos enfermos. En general los campesinos mencionaron que aunque se toleren todos los adultos, debido a las labores

agrícolas con el arado se dañan sus raíces y comienzan a secarse y posteriormente se deben hacer actividades de saneamiento eliminando los individuos secos. En el Cuadro 1 se presenta de manera sintética los porcentajes de campesinos que realizan actividades de eliminación, tolerancia y trasplante en diferente intensidad en las distintas categorías de tamaño.

**Cuadro 1. Porcentaje de campesinos que realizan eliminación, tolerancia y trasplante de plantas de las distintas categorías de tamaño.** (1= representa todas la plantas por categoría, 0.5= la mitad de las plantas por categoría, 0.33= el 33% de la plantas por categoría y 0.66= el 66% de las plantas por categoría)

Categorías	Eliminación				Tolerancia y protección			Trasplante	
	1	0.5	0.33	0.66	1	0.5	0.33	1	0.5
RI	50%						13%	37%	
RII	50%	3%				3%	27%		17%
JI, JII	4%				30%	40%		26%	
AI, AII, AIII	3%		20%	3%	62%	12%			

La superficie de las comunidades vegetales silvestres ha disminuido debido a la apertura de parcelas para la producción de granos básicos. Casi todos los campesinos mencionaron que en los últimos 10 a 20 años no se han realizado desmontes y que las parcelas que poseen han sido heredadas por sus padres y abuelos; sin embargo, en las parcelas ya establecidas se continúa practicando la eliminación de plantas de los diferentes estadio de vida después de un periodo de descanso de la tierra y al arar la tierra.

También refirieron que desde hace 7 años tienen prohibido derribar cactáceas columnares debido a que sus territorios se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera del Valle Tehuacán-Cuicatlán, y existen reglamentos que les impide realizar actividades que alteren las comunidades vegetales silvestres.

El 69% de los campesinos entrevistados tiene la percepción de que la abundancia de *P. chichipe* a través del tiempo está disminuyendo, mientras que el 31% mencionan que no ha disminuido, que *P.*

*chichipe* ha sido siempre igual de abundante. Entre las causas que han propiciado esta disminución mencionan el hecho de que las plantas que se han tolerado en las poblaciones con manejo silvícola *in situ* ya están envejeciendo (40% de los campesinos lo mencionaron); también lo atribuyen a que en los últimos años la precipitación anual es menor que antes (36% de los entrevistados) por lo que no sobreviven las plantas más pequeñas y no se propicia su reclutamiento; otra de las causas se asocia a un aumento en la incidencia de plagas por un gusano barrenador (16% de los campesinos encuestados). Entre otras causas señaladas se encuentran la erosión de los suelos (8%), la cual propicia que las raíces no sostengan a la planta y ésta sea derribada, la incidencia del ganado (8%) que pisotea las plántulas, la extensión de la agricultura (4%) y la ausencia de reforestación o propagación vegetativa de estas plantas (4%).

### **3.2. Estructura de las poblaciones silvestre y manejada *in situ*.**

En la población silvestre la densidad es de 378.6 plantas/Ha, mientras que en la manejada *in situ* es de 225.7 plantas/Ha; también se encontraron diferencias en el número y densidad de individuos por estadio de vida (Cuadro 2). Se encontraron diferencias significativas en la estructura de las dos poblaciones en términos de número de plantas por hectárea por categoría ( $X^2=25.4$ ,  $P=0.000001$ ), teniendo mayor número de plantas por categoría en la población silvestre que en la manejada, excepto en la categoría AIII, de la que los individuos fueron más abundantes en la población manejada.

**Cuadro 2. Estructura poblacional de la población silvestre y manejada *in situ*.**

Categorías	Rango de longitud	Población Silvestre			Población Manejada		
		Plantas	% (Obs) <sup>1</sup>	% (Esp) <sup>2</sup>	Plantas	% (Obs)	% (Esp)*
Renuevo I	1-20cm	130	33.1	57.90	97	36.9	54.76
Renuevo II	20cm-1.5m	74	18.8	30.62	37	14.1	35.33
Juvenil I	1.51-6m	25	6.4	7.31	14	5.3	7.39
Juvenil II	6.01-10m	53	13.5	3.34	16	6.1	1.90
Adulto I	10.01-50m	71	18.1	0.68	26	9.9	0.39
Adulto II	50.01-100m	26	6.6	0.12	22	8.4	0.20
Adulto III	100.01-300m	14	3.6	0.03	51	19.4	0.04

<sup>1</sup> Porcentaje de plantas observadas,

<sup>2</sup> Porcentaje de plantas esperadas el cual se obtuvo como uno de los resultados de las simulaciones de las matrices de transición

### 3.3. Estructura de tallas en las poblaciones silvestre y manejada *in situ*.

Se estableció la estructura poblacional en 7 categorías de tamaño (Cuadro 2). En el Cuadro 3 se muestra el número de plantas por categoría, el rango de altura por categoría, el rango de número de ramas y el rango de la longitud acumulada por categoría para ambas poblaciones. En la categoría juvenil I se encontraron diferencias significativas en el número de ramas promedio, con un promedio mayor de ramas en la población silvestre ( $t=2.2$ ,  $P=0.03$ ). En la categoría adulto II también se encontraron diferencias significativas, encontrando individuos con más ramas en promedio en la población silvestre que en la manejada ( $t=3.9$ ,  $P=0.0003$ ). En cuanto a la longitud acumulada, se encontraron diferencias significativas en la categoría de renuevo I ( $t=1.9$ ,  $P=0.05$ ) y en la categoría de renuevo II ( $t=2$ ,  $P=0.04$ ), con mayor longitud acumulada en la población silvestre.

**Cuadro 3. Estructura por tallas de las poblaciones silvestre y manejada *in situ*..**

Categoría	n	Plantas/Ha	Población Silvestre			
			Longitud (m)	Altura (m)	No. de Ramas	Estatus Reproductivo
R1	130	125	0.01-0.20	0.01-0.20	1-4	NR <sup>1</sup>
R2	74	71	0.204-1.456	0.16-1.09	2-5	NR
JI	25	24	1.694-2.94	0.9-1.95	2-7	NR
JII	53	51	3.143-9.631	0.76-2.61	3-23	NR / R
AI	71	68	10.186-19.408	1.54-3.50	6-204	R <sup>2</sup>
AII	26	25	51.548-96.227	1.08-5.08	77-212	R
AIII	14	13	106.246-182.929	270-485	182-339	R
Población Manejada <i>in situ</i>						
R1	97	83	0.013-0.195	0.013-0.195	1-2	NR
R2	37	32	0.205-1.50	0.193-1.22	2-3	NR
JI	14	12	1.561-2.709	0.70-1.18	2-8	NR
JII	16	14	3.482-9.78	1.21-1.97	4-20	NR
AI	26	22	10.695-49.998	1.05-3.10	13-77	R
AII	22	19	50.566-97.874	2.00-3.50	49-170	R
AIII	51	44	173.59-195.826	3.15-4.80	210-560	R

NR<sup>1</sup> Estadío no reproductivo, R<sup>2</sup> Estadío reproductivo

### 3.4. Patrones demográficos en las poblaciones silvestre y manejada *in situ*

**Crecimiento individual:** El crecimiento promedio registrado para las categorías de renuevos (RI y RII) con una sola rama, en la población silvestre fue de 1.94 ( $\pm 0.15$ ) cm/año ( $\bar{x} \pm ES$ , n= 228 plantas), mientras que para los de la población manejada *in situ* fué de 1.87 ( $\pm 0.20$ ) cm /año ( $\bar{x} \pm ES$ , n= 137 plantas). En renuevos y juveniles (RII y JI) de 1 a 3 ramas el crecimiento promedio en ramas de segundo nivel en la población silvestre fué de 1.89 ( $\pm 0.22$ ) cm /año ( $\bar{x} \pm ES$ , n= 196 ramas), mientras que en la manejada *in situ* fué de 1.52 ( $\pm 0.15$ ) cm /año ( $\bar{x} \pm ES$ , n=120 ramas). El crecimiento de ramas de tercer nivel en la población silvestre fue de 3.05 ( $\pm 0.73$ ) cm /año ( $\bar{x} \pm ES$ , n=31 ramas) y en la manejada de 2.04 ( $\pm 0.37$ ) cm /año ( $\bar{x} \pm ES$ , n=12 ramas).

No se encontraron diferencias significativas en el crecimiento por rama en estos estado de vida entre las dos poblaciones de *P. chichipe*. Los valores de crecimiento anual promedio de juveniles de más de tres ramas se muestran en el Cuadro 4, el cual indica que no existen diferencias significativas en el crecimiento anual de las ramas de este estado de vida entre las dos poblaciones.

**Cuadro 4. Crecimiento promedio por rama de juveniles a distintos niveles de ramificación**

<b>Población</b>	<b>2° ramificación</b>	<b>3° ramificación</b>	<b>4° ramificación</b>	<b>5° ramificación</b>
Población Silvestre (n=79) <sup>1</sup>	2.07 (±0.17, n=90) <sup>2</sup>	2.75 (±0.13, n=269) <sup>2</sup>	2.62 (±0.19, n=70) <sup>2</sup>	2.88 (±0.59, n=13) <sup>2</sup>
Población Manejada (n=37) <sup>1</sup>	2.14 (±0.27, n=19) <sup>2</sup>	2.44 (±0.16, n=105) <sup>2</sup>	2.69 (±0.25, n=42) <sup>2</sup>	2.02 (±0.38, n=15) <sup>2</sup>

<sup>1</sup>n= número de plantas muestreadas por población; <sup>2</sup>n= número de ramas muestreadas

Se encontraron diferencias significativas en el crecimiento de ramas de adultos entre las dos poblaciones. Las plantas adultas de la población silvestre tienen un mayor crecimiento con respecto a las ramas de las plantas de la población manejada *in situ* en las ramas de tercer nivel ( $f=8.4$ ;  $g.l.=1,85$ ,  $P=0.004$ ), en las de cuarto nivel ( $f=13.5$ ;  $g.l.= 1,1.23$ ,  $P=0.00029$ ) en las de quinto nivel ( $f=31.5$ ;  $g.l.=1.3$ ,  $P=0.000001$ ) y en las de sexto nivel de ramificación de Adultos III ( $f=6.6$ ,  $g.l.=1,325$ ,  $P=0.01$ ). En el Cuadro 5 se muestra el crecimiento promedio por rama y nivel de ramificación de adultos entre poblaciones.

Con base en el valor de crecimiento por rama se estimó el crecimiento total de cada planta, con lo que se determinó la probabilidad de transición por categoría en cada población.

**Cuadro 5. Crecimiento promedio por rama y nivel de ramificación de adultos (cm/año), PS: población silvestre; PM: población manejada; 1: n= plantas por población; 2: n= ramas muestreadas, \*\* indica  $P \leq 0.01$**

<b>Población</b>	<b>2° nivel</b>	<b>3° nivel</b>	<b>4° nivel</b>	<b>5° nivel</b>	<b>6° nivel</b>	<b>7° nivel</b>	<b>8° nivel</b>	<b>9° nivel</b>
<b>PS</b>	0.76	1.53 **	1.5 **	1.42 **	1.38 **	0.88	0.8	0.5
(n=59 <sup>1</sup> )	(±0.20, n=12 <sup>2</sup> )	(±0.21, n=50)	(±0.13, n=125)	(±0.13, n=146)	(±0.26, n=141)	(±0.14, n=56)	(±0.23, n=23)	(±0.17, n=10)
<b>PM</b>	0.84	0.74	0.89	0.71	0.78	0.84	0.86	0.55
(n=31 <sup>1</sup> )	(±0.28, n=7)	(±0.13, n=37)	(±0.09, n=112)	(±0.06, n=161)	(±0.06, n=186)	(±0.09, n=104)	(±0.14, n=51)	(±0.16, n=12)

**Sobrevivencia:** La sobrevivencia en la mayoría de las categorías de tamaño es alta en ambas poblaciones. Debido a que las cactáceas columnares son de lento crecimiento, la sobrevivencia de los representantes de cada categoría es importante para el mantenimiento futuro de las poblaciones (Figuras 9a y b).

**Fecundidad (producción de frutos y semillas):** Las plantas adultas de *Polaskia chichipe* son muy productivas, pero el número de frutos promedio es variable de acuerdo a la talla y al número de ramas por planta. En el Cuadro 6 se muestran los valores de producción promedio de frutos y semillas por categoría en cada población. Se encontraron diferencias significativas en la producción de frutos entre las dos poblaciones ( $f(1,180)=7.39$ ,  $P=0.007$ ), y entre las categorías de Adulto II y Adulto III ( $f(1,180)= 38.5$ ,  $P=0.0000001$ ), las cuales tuvieron una producción de frutos promedio mayor en la población silvestre.

**Cuadro 6. Producción de frutos promedio y semillas promedio por categoría en las poblaciones silvestre y manejada *in situ*** (entre paréntesis se muestra el error estándar, el \*\* indica  $P\leq 0.01$ )

Categoría	Población Silvestre		Población Manejada	
	Producción de frutos promedio	Producción de semillas promedio	Producción de frutos promedio	Producción de semillas promedio
AI	124.4 ( $\pm 20.3$ )	40,051 ( $\pm 6,448.9$ )	124.67( $\pm 45$ )	39,290 ( $\pm 14,220$ )
AII	882.1 ( $\pm 196.1$ )**	279,172.9 ( $\pm 47,459$ ) **	454.2 ( $\pm 102.2$ )	143,376 ( $\pm 32,274$ )
AIII	1,420.3 ( $\pm 263.6$ )**	449,522.4 ( $\pm 76,418$ ) **	938.7 ( $\pm 99.3$ )	296,367 ( $\pm 31,374$ )

**Establecimiento de plántulas en un año.** En los lotes experimentales sin exclusión de depredadores, al segundo mes se observó la ausencia total de las semillas depositadas en

cada lote, lo que indica que todas fueron removidas o depredadas. En los lotes con exclusión de depredadores el porcentaje de plántulas germinadas fue del 9.5% bajo dosel, del 3.5% en áreas rocosas y no se registró germinación en áreas abiertas en la población silvestre. En la población manejada *in situ* la germinación de plántulas bajo el dosel de plantas nodrizas fue de 1.1% y no se registró germinación en áreas rocosas ni en áreas abiertas.

En mayo de 2004, el monitoreo del establecimiento de plántulas registró la ausencia de plántulas en los lotes experimentales sin exclusión de depredadores, por lo tanto se consideró una probabilidad de establecimiento de 0 en condiciones naturales. En contraparte, en los lotes experimentales con exclusión de depredadores sobrevivieron un total de 140 plántulas en las dos poblaciones; por medio de estos experimentos se logró estimar una probabilidad de establecimiento considerando condiciones favorables en que las semillas logran escapar de la depredación y llegar a sitios adecuados bajo el dosel de arbustos perennes y en grietas de rocas. La probabilidad de establecimiento obtenida para las dos poblaciones por medio de los experimento con exclusión de depredadores fue de 0.00021.

### **3.5. Dinámica poblacional de las poblaciones silvestre y manejada *in situ***

En el estadio de vida Adulto I (AI) las dos poblaciones tienen muy alta probabilidad de sobrevivencia, y baja probabilidad de transición. En el estadio de vida Adulto II (AII) de ambas poblaciones no se registró transición al estadio Adulto III (AIII) y se encontró una alta probabilidad de permanencia en la misma categoría de tamaño. La fecundidad es significativamente mayor en la población silvestre en las categorías AII y AIII que en la manejada *in situ*. Las Figuras 9a y b resumen estas

tendencias, mostrando las probabilidades de permanencia, transición y fecundidad de las categorías de las dos poblaciones.

### 3.6. Análisis matriciales de las poblaciones de *P. chichipe*

En el Cuadro 7 se presentan los valores de  $\lambda$  de las poblaciones de *P. chichipe* resultantes de los análisis matriciales asumiendo diferentes probabilidades de establecimiento de 0.001, 0.0003, 0.0002, 0.0001 y 0.00005. Dentro de este ámbito de probabilidades de establecimiento está considerada la probabilidad de establecimiento obtenido en los experimentos de establecimiento de plántulas con exclusión de depredadores de 0.00021. Las probabilidades de establecimiento consideradas para el cálculo de la fecundidad y para determinar  $\lambda$  de las poblaciones de *P. chichipe*, así como para obtener los valores de elasticidad para cada parámetro demográfico y para cada estadio de vida, se presentan en el Cuadro 7.

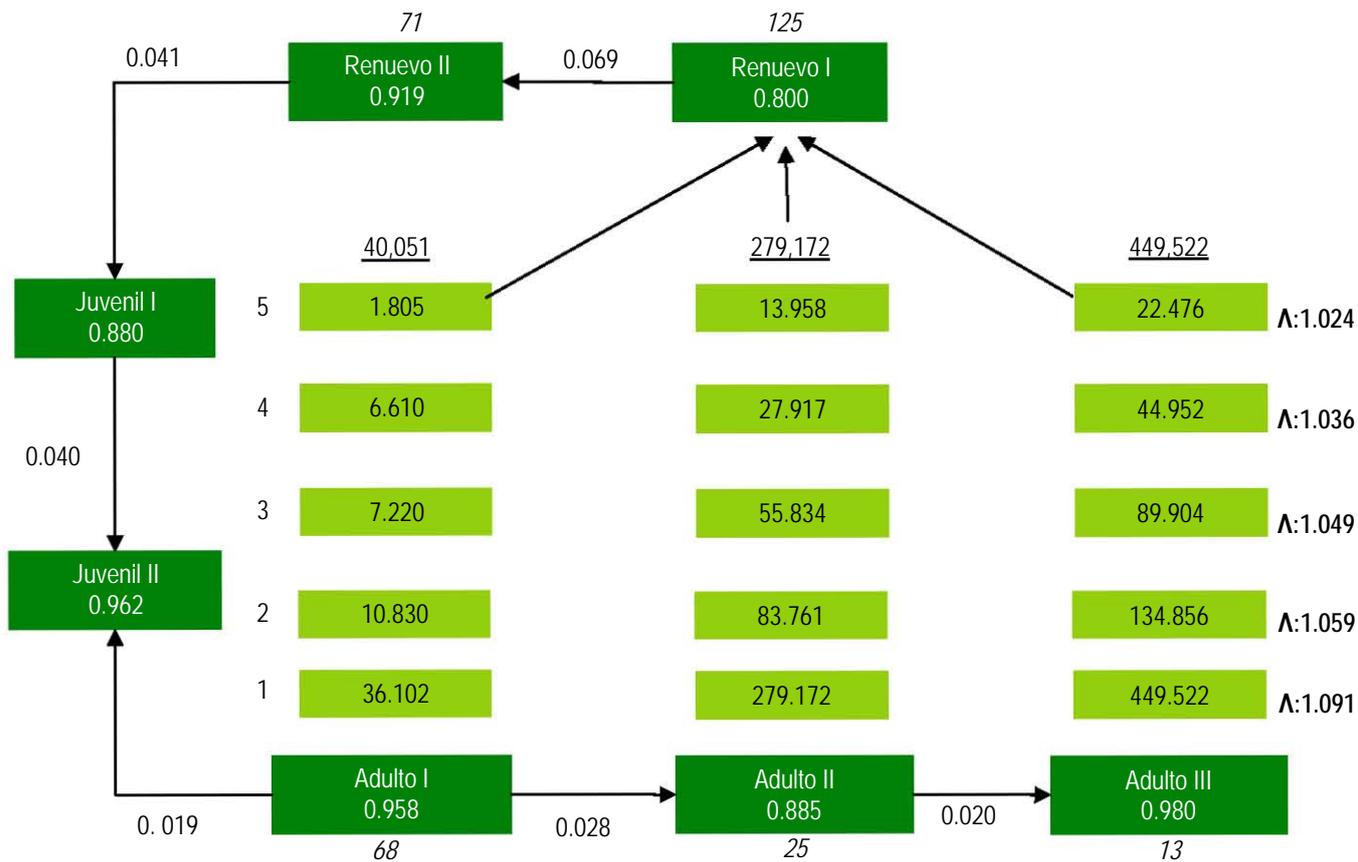
**Cuadro 7. Valores de  $\lambda$  de las poblaciones de *P. chichipe* de acuerdo a diferentes valores de establecimiento**

Probabilidad de Establecimiento	Población Silvestre		Población Manejada	
	$\lambda$	Semillas establecidas	$\lambda$	Semillas establecidas
0.001	1.091	764.79	1.090	456.12
0.0003	1.059	229.43	1.065	136.83
0.0002	1.049	152.96	1.057	91.22
0.0001	1.036	76.47	1.046	45.61
0.00005	1.024	38.23	1.036	22.80
0	0.980	0	0.982	0

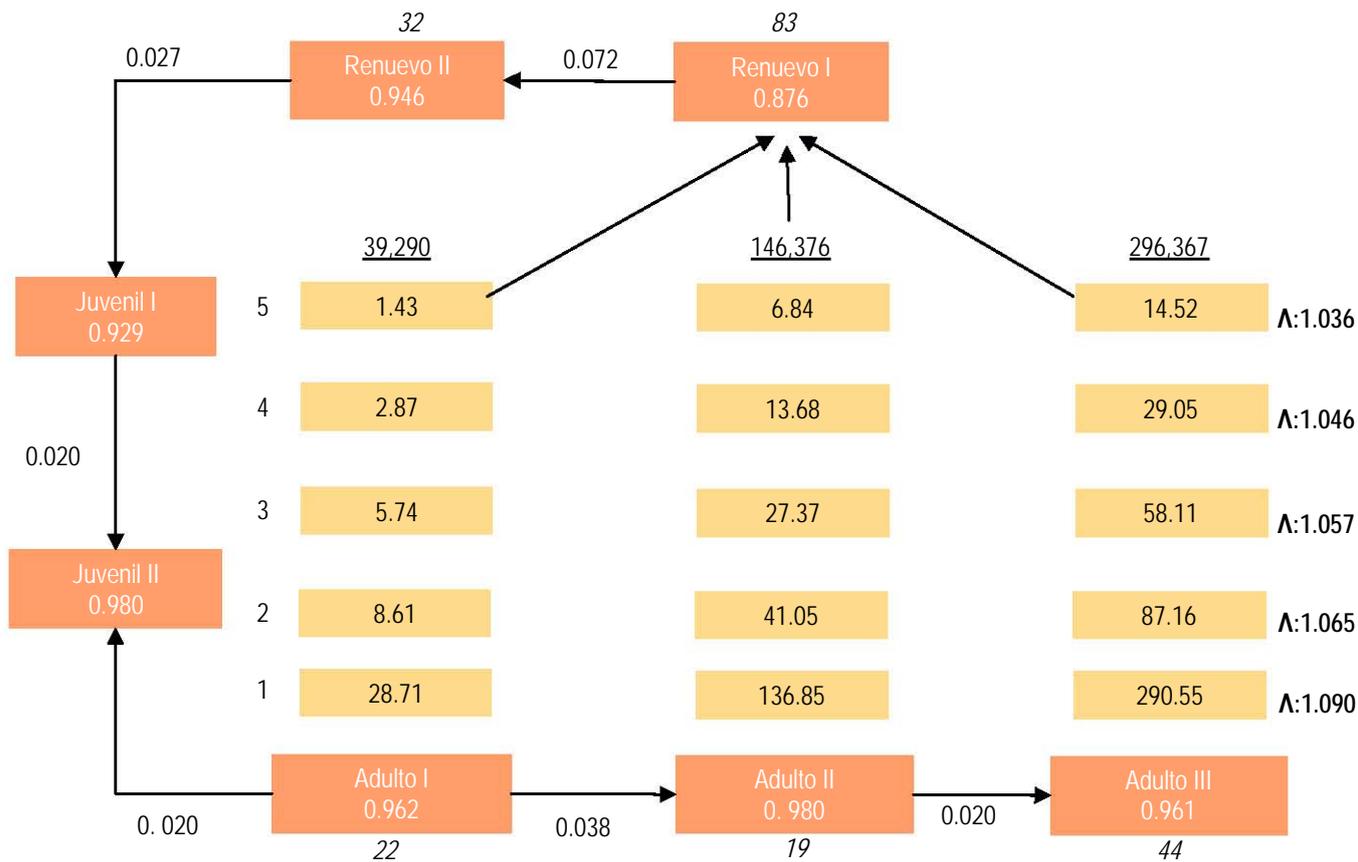
En la **Figura 9** se presentan los diagramas del ciclo de vida con los valores de probabilidad de transición, de permanencia, los valores de fecundidad y de  $\lambda$ ;

considerando las probabilidades de establecimiento del **Cuadro 7** de la población silvestre (a) y de la población manejada *in situ* (b).

Las principales diferencias en el ciclo de vida entre las dos poblaciones es el valor de crecimiento finito poblacional, siendo mayor en la población manejada con un rango de valores de acuerdo a las diferentes probabilidades de establecimiento, desde 1.090 a 0.982. El rango de valores de  $\lambda$  en la población silvestre en función de las cuatro probabilidades de establecimiento es de 1.091 a 0.980 (véase Figura 9).



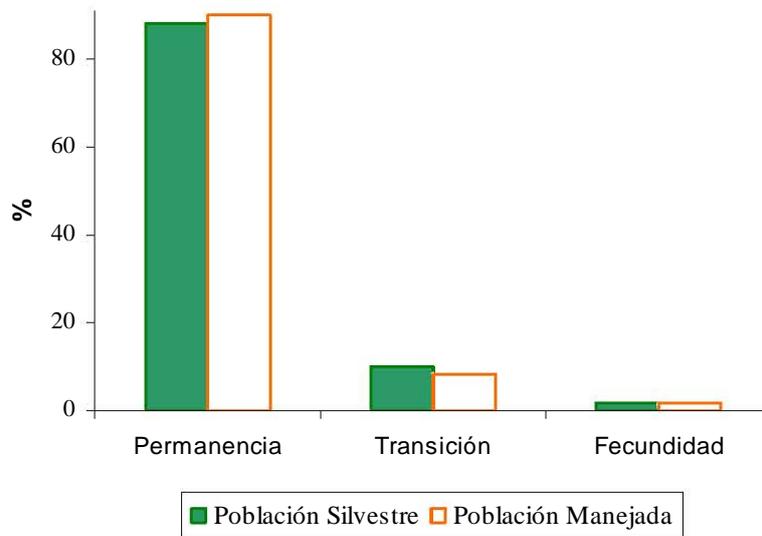
**Figura 9a. Ciclo de vida con las probabilidades de sobrevivencia, transición,  $\lambda$  y fecundidad con 5 valores de probabilidad de establecimiento de la población silvestre.** En cada cuadro se indica la categoría y la probabilidad de sobrevivencia, las flechas representan la probabilidad de transición entre categorías de tamaño, los cuadros arriba de las categorías reproductivas representan los valores de fecundidad de acuerdo a las diferentes probabilidades de establecimiento: **1)** 0.001, **2)** 0.0003, **3)** 0.0002, **4)** 0.0001 y **5)** 0.00005, los valores subrayados indican el número promedio de semillas producidas por categoría, a la derecha se presenta el valor del crecimiento finito de la población ( $\lambda$ ) y en cursivas sobre o bajo los cuadros la densidad de plantas por hectárea.



**Figura 9b. Diagramas del ciclo de vida con las probabilidades de sobrevivencia, transición,  $\lambda$  y fecundidad con 4 valores de probabilidad de establecimiento de la población manejada *in situ*.** En cada cuadro se indica la categoría y la probabilidad de sobrevivencia, las flechas representan la probabilidad de transición entre categorías de tamaño, los cuadros arriba de las categorías reproductivas representan los valores de fecundidad de acuerdo a las diferentes probabilidades de establecimiento: **1)** 0.001, **2)** 0.0003, **3)** 0.0002, **4)** 0.0001 y **5)** 0.00005, los valores subrayados indican el número promedio de semillas producidas por categoría, a la derecha se presenta el valor del crecimiento finito de la población ( $\lambda$ ) y en cursivas sobre o bajo los cuadros la densidad de plantas por hectárea.

### 3.7. Elasticidad de patrones demográficos

La elasticidad para las dos poblaciones indican que la sobrevivencia (**P**) es el parámetro demográfico más importante para  $\lambda$ , con una contribución de más de 80% con respecto al crecimiento (**G**) y la fecundidad (**F**) (véase Figura 9 y Cuadro 8).

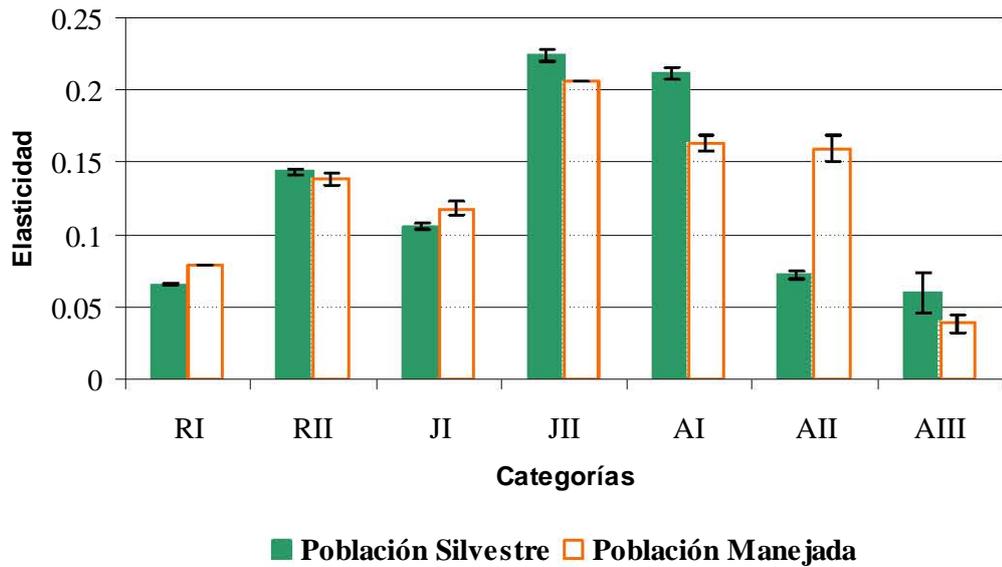


**Figura 12. Elasticidad de la sobrevivencia (P), del crecimiento (G) y de la fecundidad (F)** (Valores de elasticidad obtenidos con la probabilidad de establecimiento 0.0002).

**Cuadro 8. Elasticidad de la sobrevivencia (P), del crecimiento (G) y de la fecundidad (F) por categoría de tamaño en las poblaciones silvestre y manejada *in situ*** (Valores de elasticidad obtenidos con la probabilidad de establecimiento 0.0002, en negritas los valores de elasticidad de la sobrevivencia más altos, en paréntesis errores estándar de la matriz de elasticidad con límites de confianza del 95%).

Categoría	PERMANENCIA		TRANSICIÓN		FECUNDIDAD	
	PS	PM	PS	PM	PS	PM
<b>Renuevo I</b>	0.0652 (±0.0010)	0.0789 (±0.0001)	0.0203 (±0.0004)	0.0163 (±0.000009)		
<b>Renuevo II</b>	<b>0.1429</b> (±0.0022)	<b>0.1383</b> (±0.0044)	0.0203 (±0.1054)	0.0163 (±0.000037)		
<b>Juvenil I</b>	<b>0.1055</b> (±0.0025)	<b>0.1175</b> (±0.0049)	0.0203 (±0.6059)	0.0163 (±0)		
<b>Juvenil II</b>	<b>0.2238</b> (±0.0043)	<b>0.2061</b> (±0.000004)	0.0203 (±2.533)	0.0163 (±0)		
<b>Adulto I</b>	<b>0.2118</b> (±0.0040)	<b>0.1634</b> (±0.0056)	0.0134 (±0.0041)	0.0126 (±0.00033)	0.0069 (±0.0002)	0.0037 (±0.00001)
<b>Adulto II</b>	0.0717 (±0.0028)	<b>0.1591</b> (±0.0090)	0.0042 (±0.0003)	0.0038 (±0)	0.0091 (±0.0001)	0.0087 (±0.000007)
<b>Adulto III</b>	0.0594 (±0.0137)	0.0380 (±0.0061)	0		0.0042 (±0.0001)	0.0038 (±0.000002)

Los valores de la elasticidad de la sobrevivencia de las diferentes categorías de tamaño en las dos poblaciones se presentan en la Figura 10.

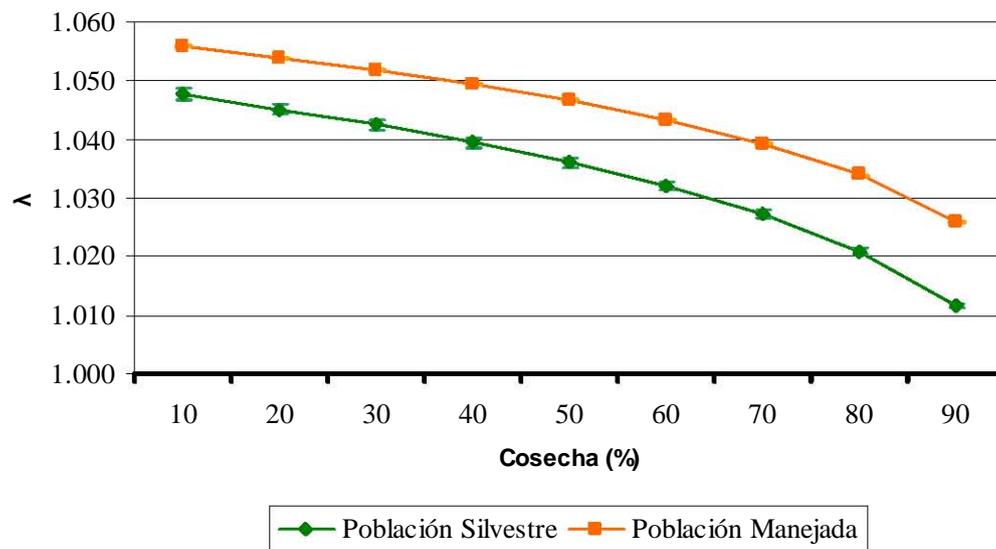


**Figura 10. Elasticidad de la sobrevivencia por estadio de vida de la población silvestre (PS) y la manejada (PM) de *P. chichipe*, considerando la probabilidad de establecimiento de 0.0002.** (Categorías: RI: Renuevo I, RII: Renuevo II, JI: Juvenil I, JII: Juvenil II, AI: Adulto I, AII, Adulto II y AIII: Adulto III, las barras indican errores estándar con limites de confianza del 95%)

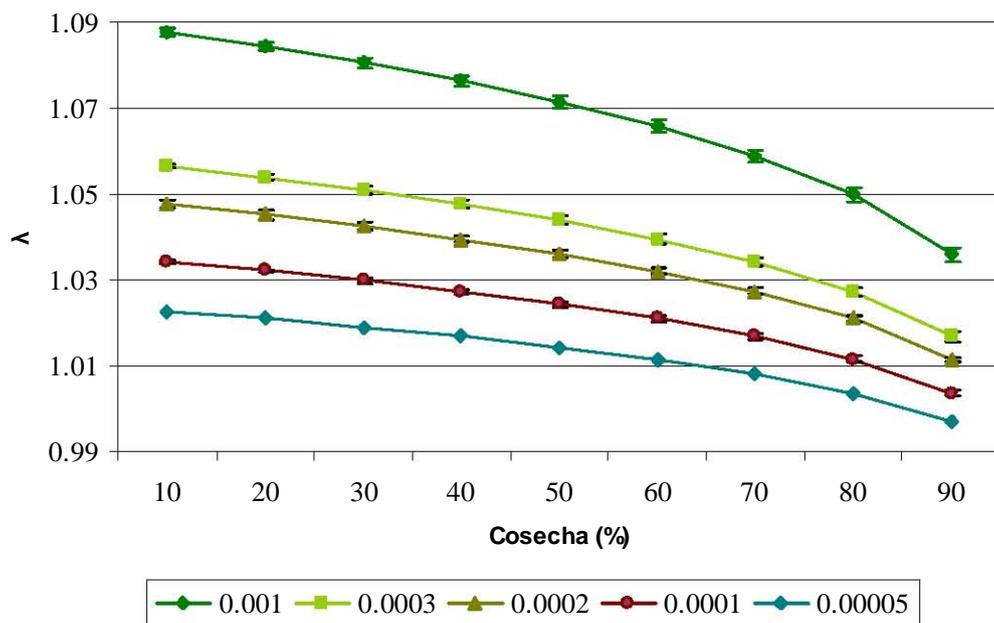
Para las dos poblaciones la sobrevivencia es el parámetro demográfico más importante, pero los valores de elasticidad son diferentes entre las dos poblaciones, en cuanto al valor relativo. No obstante, son muy similares en cuanto al estadio de vida, siendo para las dos poblaciones las categorías más importantes para la persistencia de la población la de Juvenil II (más del 20%), Adulto I (entre el 16 al 21%), Renuevo II (cerca del 15%), Juvenil I (más del 10%) y para la población manejada también la categoría AII (con elasticidad de más del 15 %).

### **3.8. Análisis prospectivos: cosecha de frutos en las poblaciones de *P. chichipe***

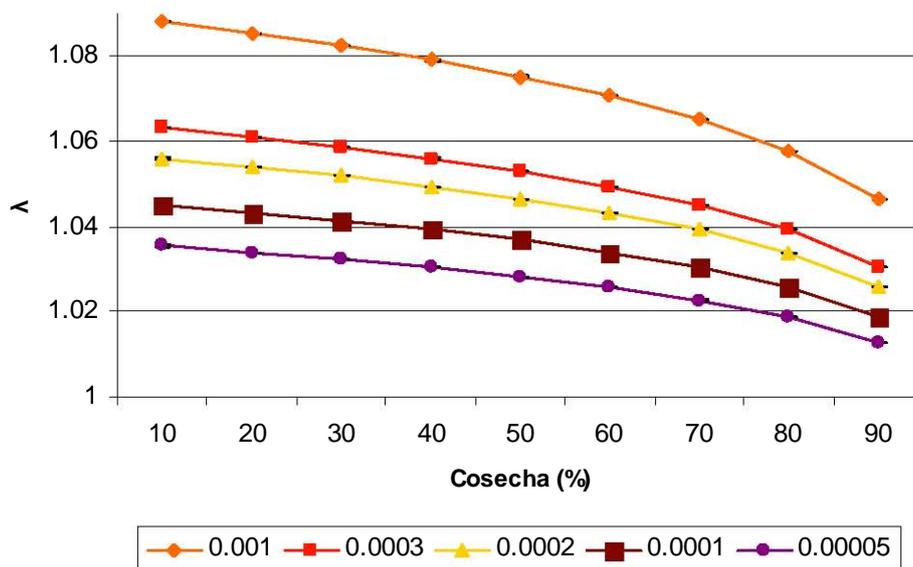
En las Figura 11 a 13 se muestran la tendencia de los valores de  $\lambda$  de las poblaciones silvestres y manejada de *P. chichipe* bajo diferentes regímenes de cosecha de frutos, desde la cosecha del 10% hasta del 90% de frutos cosechados.



**Figura 11. Valores del crecimiento finito de las poblaciones de *P. chichipe* de acuerdo a diferentes porcentajes de cosecha de frutos en los adultos (basado la matriz de transición con probabilidad de establecimiento de 0.0002, las barras indican el error estándar con el 95% de confianza)**



**Figura 12'. Valores de  $\lambda$  de la población silvestre bajo diferentes porcentajes de cosecha de frutos, utilizando cinco valores de probabilidad de establecimiento** (en la leyenda se muestran los valores de la probabilidad de establecimiento para cada análisis, las barras indican el error estándar)



**Figura 13. Valores de  $\lambda$  de la población manejada *in situ* con diferentes porcentajes de cosecha de frutos utilizando cinco valores de probabilidad de establecimiento** (en la leyenda se muestran los valores de la probabilidad de establecimiento para cada análisis, se muestran los errores estándar)

Para determinar los umbrales óptimos de cosecha de frutos para cada población se consideraron los valores de crecimiento finito de la población con el error estándar del rango de valores de  $\lambda$  que se presentan en la Figura 9. Con base en los valores promedio de  $\lambda$  se establecieron los niveles de cosecha óptimos en términos de porcentaje de frutos cosechados por población.

En la población silvestre los límites máximos aceptables de cosecha de frutos que no ponen en riesgo la aportación de los adultos a la primera categoría de vida mediante la producción de semillas son de entre 50% y 60% de frutos. Con estos niveles de cosecha es posible mantener el crecimiento de la población en equilibrio o cercano a la unidad. En cambio, en la población manejada *in situ* se puede cosechar hasta 90% de los frutos y mantener el crecimiento de la población en equilibrio.

En las Figuras 12 y 13 se puede apreciar una tendencia descendiente en los valores de  $\lambda$  a medida que aumenta el porcentaje de cosecha de frutos. Además se puede notar que existen marcadas diferencias entre los valores de  $\lambda$  de la población manejada *in situ* con respecto a los de la silvestre, siendo significativamente mayores en la población manejada *in situ*.

### **3.9. Análisis prospectivos: eliminación de plantas por categoría de tamaño**

En los Cuadros 9 y 10 se muestran los valores de  $\lambda$  que resultan de las simulaciones efectuadas modificando la tasa de eliminación de plantas en diferentes porcentajes para las distintas categorías de tamaño de la población silvestre y manejada. Tales resultados fueron obtenidos de las matrices de transición con el valor de probabilidad de establecimiento de 0.0002. Además se muestran las categorías más importantes en términos de la elasticidad de la sobrevivencia de acuerdo con las perturbaciones simuladas.

**Cuadro 9. Valores de  $\lambda$  resultantes de las simulaciones de eliminación de diferentes estadios de vida a distintas intensidades. Categorías de tamaño con mayor elasticidad de la sobrevivencia en la población silvestre, de acuerdo con cada nivel de intensidad de la perturbación** (las simulaciones se realizaron considerando una probabilidad de establecimiento de 0.0002 con valor de  $\lambda$  de 1.049, columna de elasticidad de la sobrevivencia representa las categorías mas importantes para cada perturbación).

<b>Categoría</b>	<b>Eliminación (%)</b>	<b><math>\Lambda</math></b>	<b>Elasticidad Sobrevivencia</b>
Renuevo I (RI)	30	1.036	
	50	1.031	JII AI RII JI
	90	1.024	
Renuevo II (RII)	30	1.026	
	50	<b>1.019</b>	JII AI AIII JI
	90	<b>1.012</b>	
Juvenil I (JI)	30	1.03	
	50	1.024	JII AI RII AIII
	90	<b>1.017</b>	
Juvenil II (JII)	30	<b>1.019</b>	
	50	<b>1.012</b>	AI AIII RII JI
	90	<b>1.004</b>	
Adulto I (AI)	30	1.038	
	50	1.035	JII AI RII JI
	90	1.032	
Adulto II (AII)	30	1.046	
	50	1.045	JII AI RII JI
	90	1.045	

Los resultados indican que ante perturbaciones de eliminación en diversos porcentajes de plantas las categorías de tamaño Renuevo II, Adulto I y Juvenil I, son las más importantes para la persistencia de la población, pues al ser eliminados desde un 30 a 90% el valor de lambda se ve disminuido. Además se observa que en las diversas perturbaciones, los valores de la elasticidad de la sobrevivencia de las categorías Juvenil II, Adulto I, Renuevo II y Juvenil II son las que más contribuyen al valor de  $\lambda$ .

**Cuadro 10 Valores de  $\lambda$  simulando la eliminación de diferentes estadios de vida a distintas intensidades. Categorías de tamaño con mayor elasticidad de la sobrevivencia en la población manejada *in situ*, de acuerdo a cada perturbación (las simulaciones se realizaron considerando una probabilidad de establecimiento de 0.0002 con valor de  $\lambda$  de 1.049, columna de elasticidad de la sobrevivencia representa las categorías mas importantes para cada perturbación).**

<b>Categoría</b>	<b>Eliminación (%)</b>	<b><math>\Lambda</math></b>	<b>Elasticidad Sobrevivencia</b>
Renuevo I (RI)	30	1.043	JII AII AI RII
	50	1.038	
	90	1.032	
Renuevo II (RII)	30	1.036	JII AII AI JI
	50	1.031	
	90	<b>1.024</b>	
Juvenil I (JI)	30	1.038	JII AII AI RII
	50	1.033	
	90	<b>1.026</b>	
Juvenil II (JII)	30	1.031	AII AI RII JI
	50	<b>1.024</b>	
	90	<b>1.017</b>	
Adulto I (AI)	30	1.034	JII AI RII JI
	50	<b>1.028</b>	
	90	<b>1.021</b>	
Adulto II (AII)	30	1.04	JII AI RII JI
	50	1.037	
	90	1.034	
Adulto III (AIII)	30	1.054	JII AI AII RII
	50	1.054	
	90	1.054	

En el Cuadro 10 se puede apreciar que en la población manejada *in situ*, los diferentes porcentajes de eliminación de plantas de las categorías de tamaño Juvenil II, Adulto I y Renuevo II, son las más importantes para la persistencia de la población, pues al ser eliminados desde un 30 a 90% el valor de lambda se ve disminuido. Asimismo, se observa que en las diversas perturbaciones, la elasticidad de la sobrevivencia de las categorías de tamaño Juvenil II, Adulto I, Renuevo II y Juvenil II son las que más contribuyen a  $\lambda$ .

## IV. DISCUSIÓN

### 4.1. Agricultura y perturbaciones en las poblaciones de *P. chichipe*

La agricultura de temporal es la actividad más importante a la que se dedican más del 90% de los jefes de familia de la comunidad de San Luis Atolotitlán. La principal actividad económica de los campesinos de esta comunidad es entonces la producción de granos básicos destinada al abasto familiar, y sin embargo ésta es deficitaria (Torres, 2004), lo que podría deberse a que el ciclo de cultivo de las parcelas es de uno a tres años y a que las parcelas en su mayoría (81.2%) tienen una extensión menor a 3.5 hectáreas.

Para la producción de maíz y frijol se practica un sistema de manejo agrosilvícola en el cual, junto al cultivo de plantas domesticadas los campesinos realizan actividades de tolerancia, fomento y/o eliminación de especies vegetales silvestres con valor utilitario (Casas *et al.* 1996; 1997a; 1999a; 1999b). Al efectuarse estas prácticas, los campesinos diezman el área de distribución de comunidades bióticas en las que dominan las cactáceas columnares.

Las poblaciones de *P. chichipe* han estado sujetas a manejo silvícola *in situ* bajo el cual la gente ha estado eliminando, tolerando y trasplantando a diferente intensidad los diversos estadios de vida de esta cactácea columnar y de individuos de otras especies con las cuales mantiene interacciones bióticas benéficas. Más de la mitad de los campesinos eliminan todos los arbustos y árboles presentes en las chichiperas silvestres al establecer parcelas agrícolas, lo que determina la eliminación de sitios de germinación y establecimiento de plántulas. La otra mitad de los campesinos elimina y tolera selectivamente algunos árboles y arbustos, permitiendo así el mantenimiento de las interacciones bióticas clave para la persistencia de las comunidades. Con esta forma de eliminar la cubierta vegetal se altera el ciclo de vida de *P. chichipe* y de otras

cactáceas columnares, y se incide en una modificación de la densidad y la estructura de las poblaciones bajo manejo *in situ*.

La modificación de la densidad y de la estructura de poblaciones de *P. chichipe* es muy marcada debido a que la eliminación de las categorías Renuevo I y Renuevo II es de más del 50%, además de que cerca del 30% de plántulas trasplantadas a la orilla de las parcelas, el 10% de éstas son toleradas en zonas pedregosas no arables y sólo el 10% son protegidas o toleradas dentro de las parcelas. En términos generales las plantas juveniles II y III son toleradas en un 50%, trasplantadas un 20% y eliminadas en un 30%. Las plantas adultas son toleradas el 75% y eliminadas en un 25%. Esta manipulación es realizada en el establecimiento de parcelas y en las labores agrícolas y ha propiciado la conversión de poblaciones silvestres en sistemas agrosilvopastoriles (Casas *et al.*, 1997; 1999a, 1999b; Casas y Barbera, 2002, Vivar, 2003), con una dominancia de individuos reproductivos de diversas especies útiles y el déficit de las categorías de plántula y juveniles.

De acuerdo con la información proporcionada por los campesinos, en los últimos 20 años no se realizan desmontes para establecer nuevas parcelas; sin embargo, en el campo es posible observar que aún se siguen realizando actividades de eliminación, remoción y tolerancia de plantas en las parcelas después de un periodo de descanso de dos o tres años. Como consecuencia de lo anterior, la mayoría de los campesinos afirmaron que desde su punto de vista la abundancia de *P. chichipe* ha disminuido, debido principalmente al mal manejo que han dado a sus poblaciones. En general, todos ellos coinciden en que el poco cuidado se debe a que los productos útiles de *P. chichipe* no se aprovechan intensamente y no aportan ingresos importantes para las familias, por lo que una estrategia para incrementar el valor económico y cultural de

los productos de esta y otras especies clave en las comunidades bióticas del área podrían incidir favorablemente en su conservación.

#### **4.2. Densidad y estructura de las poblaciones silvestre y manejada *in situ*.**

Se encontraron diferencias en el número de plantas por hectárea, así como en el número de plantas por categoría entre las poblaciones estudiadas (véase Cuadro 2). La causa principal de tales diferencias podría ser el distinto manejo al cual han estado sujetas, encontrándose menor densidad de plantas por hectárea y por categoría en la población sujeta a manejo silvícola *in situ*, muy probablemente debido a las actividades de eliminación, tolerancia y remoción de plantas. Sin embargo, estas diferencias podrían deberse también a que las poblaciones se encuentran distribuidas en diferentes condiciones fisiográficas. Pero en este último caso las condiciones originalmente serían más favorables para la población bajo manejo silvícola *in situ*, y consecuentemente se esperaría que en ésta hubiera una mayor densidad de plantas en ausencia de manejo. No obstante, la densidad poblacional por categoría de tamaño es en general mayor en la población silvestre que en la manejada, excepto en la categoría AIII, la cual en la población manejada tiene una densidad tres veces mayor a la de la categoría AIII de la silvestre. Este patrón sugiere que originalmente la densidad de plantas por hectárea en la población manejada pudo haber sido mayor y que las plantas de esta categoría se han conservado debido a que los campesinos favorecen la sobrevivencia de las plantas adultas productoras de frutos. Además, es factible esperar que a la alta densidad original el cuidado humano haya propiciado la acumulación progresiva de adultos a lo largo del tiempo en el cual han estado sujetas a manejo silvícola *in situ*.

El manejo *in situ* también parece haber influido en el vigor de las plantas de las poblaciones bajo este régimen de perturbación. Los resultados indican que las plantas

de la población silvestre de las categorías Renuevo I y Renuevo II son significativamente más grandes que los de la población manejada. Lo anterior se puede deber a que estos estadíos de vida requieren de la asociación con plantas arbustivas que fungen como nodrizas, las cuales crean condiciones físicas y bióticas que pueden favorecer el desarrollo de las plántulas (Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet *et al.*, 1991a; Valiente-Banuet *et al.*, 1991b; Godínez-Alvarez *et al.*, 1999; Ortega, 2001; Reyes-Olivas *et al.*, 2002; Godínez-Alvarez *et al.*, 2002, Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Contreras-Valverde *et al.*, 2002) y debido al manejo silvícola, las plantas nodrizas en la población manejada son menos abundantes y con menor cobertura que en la silvestre (Torres, 2004). Asimismo, las plantas de las categorías II y AII son significativamente más ramificadas en la población silvestre que en la manejada, lo que también podría relacionarse con el nodricismo más propicio en la población silvestre y que puede influir en el desarrollo de las plantas, desde las categorías más pequeñas (renuevos y juveniles) hasta las categorías de adultos. Las nodrizas proporcionan sombra, protegen contra depredadores y mejoran y mantienen los nutrientes al suelo (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Valiente-Banuet *et al.*, 1991a; 1991b; Godínez-Álvarez *et al.*, 1999; 2003; Ortega, 2001), lo que podría influir en el crecimiento de las plantas que se encuentran en asociación con ella.

Las plantas de las categorías de adultos de la población silvestre crecen significativamente más en las ramas de 3er. a 6° nivel de ramificación y además tienen una mayor productividad de frutos que los adultos de la población manejada. Esta diferencia en el crecimiento de las plantas en la población manejada se podría deber a la ausencia de nodrizas, así como a las actividades de labranza de la tierra, pues con estas actividades las raíces son dañadas y las plantas podrían estar asignando sus recursos a restaurar tejido y a la sobrevivencia más que al crecimiento y a la reproducción. Pero

esta diferencia no sólo puede interpretarse como un efecto del manejo silvícola; también podría atribuirse a variaciones en la incidencia de los rayos solares en la época de crecimiento, la cual puede estar determinada por la orientación de la ladera y por la posición fisiográfica. Las características del tejido fotosintético de las cactáceas, el cual es opaco, rígido y con orientación vertical, limitan la captación de la radiación fotosintéticamente activa, lo cual puede propiciar un mayor crecimiento de las ramas que reciben mayor incidencia de la radiación en la temporada de crecimiento y, asimismo, podría influir en la productividad de frutos (Geller *et al.*, 1986; Séller y Nobel, 1987; Zavala-Hurtado *et al.*, 1998; Tinocco-Ojanguren y Molina-Freaner, 2000; Dawn, 2003). Por lo tanto, debido a que las dos poblaciones tienen diferente orientación (la población silvestre está orientada predominantemente hacia el oeste y la manejada ligeramente hacia el sur), la diferencia en crecimiento y en productividad de ramas y frutos podría explicarse en parte como un efecto de la orientación de la ladera y las horas de incidencia de radiación a la que están expuestas las plantas de cada población. No obstante, para probar esta hipótesis se tendría que realizar un estudio detallado para estimar y definir cómo influyen estas variables en la fisiología de estas plantas. Asimismo, las diferencias en productividad podrían deberse también a variaciones anuales en la productividad de frutos de estas plantas, debido a las variaciones ambientales.

#### **4.3. Patrones demográficos**

La sobrevivencia de las plantas de las primeras categorías entre las dos poblaciones podría estar influida por las condiciones edafológicas y fisiográficas en las que se encuentran las dos poblaciones más que por el manejo silvícola. La mayor mortalidad en las categorías Renuevo I y Adulto II de la población silvestre podría

deberse principalmente a las condiciones topográficas y edafológicas del terreno, pues esta población se encuentra en un terreno de pendientes pronunciadas, de hasta 30°. En el caso de las plantas adultas, debido a esta pendiente y a que los suelos son delgados y muy pedregosos, sus raíces no penetran lo suficiente para sostener la planta y en temporada de lluvias algunas son derribadas. En el caso de las plántulas, éstas se establecen comúnmente en zonas rocosas, en donde sobreviven mientras el espacio disponible entre las rocas lo permiten, pero cuando crecen y rebasan el ámbito de protección de las rocas se presenta un alta mortalidad.

El rango de valores de probabilidad de establecimiento usado para estimar el valor de la fecundidad permitió estimar los valores de  $\lambda$  desde las condiciones más favorables (bajo las cuales se esperaría un establecimiento del hasta 1%) hasta las condiciones menos favorables (bajo las cuales se esperaría un establecimiento de plántulas de hasta 0.005%). Este resultado es congruente con lo registrado por diversos autores, quienes han reportado que el establecimiento de plántulas es un evento episódico y en muchas especies puede ser incluso raro, dependiendo de variaciones meteorológicas como la precipitación y la temperatura (Jordan y Nobel, 1981; Bowers, 1995; Pierson y Turner, 1998; Rae y Ebert, 2002; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Contreras y Valverde, 2002). Además, se ha estimado que sólo un bajo porcentaje de semillas se escapan de ser depredadas y pueden ser dispersadas a sitios adecuados para su germinación y establecimiento (Valiente-Banuet y Escurra, 1991; Bowers, 2000; Méndez *et al.*, 2004). En general, el rango de valores de la probabilidad de establecimiento de *P. chichipe* en condiciones silvestres está dentro de los valores de probabilidad de establecimiento definidos para otras especies de cactáceas columnares del valle de Tehuacan-Cuicatlán (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Probabilidades de establecimiento, valores de crecimiento finito de la población y fecundidad de algunas especies de cactáceas en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán**

Especie	Probabilidad de establecimiento	$\lambda$	Fecundidad de adultos	Referencia
<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	0.000612	1.01	0.69 - 0.88	Godínez-Álvarez <i>et al.</i> , 1999
<i>Escontria chiotilla</i>	0.001-0.004	1.01	4.51 - 14.42	Ortega, 2001
<i>E. chiotilla</i>	0.003-0.004	1.04	7.92- 25.31	Ortega, 2001
<i>N. tetetzo</i>	0.00139	1.003	0.22 - 0.78	Godínez-Álvarez <i>et al.</i> , 2002
<i>Neobuxbaumia macrocephala</i>	0.026	0.979	4.13-31.73	Esparza-Olguín <i>et al.</i> ; 2002
<i>N. macrocephala</i>	0.074	0.994	7.36-76.77	Esparza-Olguín <i>et al.</i> ; 2002
<i>N. macrocephala</i>	0.002	1.05	0.32 - 27.4	Godínez-Alvarez <i>et al.</i> , 2004
<i>Polaskia chihicpe</i> *	0.0002	1.049	7.2 – 89.9	Farfán-Heredia <i>et al.</i> , en preparación

\* Población silvestre

de *P. chichipe*

#### 4.4. Dinámica poblacional

Con base en los análisis matriciales se obtuvo un intervalo de valores de crecimiento finito de la población, los cuales son semejantes a los valores de  $\lambda$  obtenidos en estudios demográficos de otras especies de cactáceas columnares en el Valle de Tehuacán (Cuadro 11). Sin embargo, el valor de  $\lambda$  de la población manejada *in situ* de *P. chichipe* ( $\lambda$ : 1.057), excede el rango de valores de  $\lambda$  de las cactáceas del Cuadro 11 los cuales se han realizado sólo en poblaciones de cactáceas en condiciones silvestres. Hasta antes de este estudio no se había realizado ningún estudio de la dinámica poblacional de cactáceas columnares sujetas a manejo silvícola *in situ* y el efecto sobre el ciclo de vida de las actividades silvícolas en poblaciones de cactáceas columnares. También falta por analizarse de forma análoga la estructura y la dinámica poblacional en las poblaciones cultivadas.

De acuerdo con los valores de  $\lambda$  de cada población (probabilidad de establecimiento 0.0002), se encontró que la población manejada *in situ* tiene un valor de crecimiento finito de la población más alto ( $\lambda$ : 1.057) que la silvestre ( $\lambda$ : 1.049). Lo que

parece indicar que a pesar de que el manejo silvícola *in situ* determina modificaciones en la fecundidad, en la densidad y en la estructura poblacional, promueve la sobrevivencia de las plantas toleradas dentro de éstas áreas y mantiene a la población en equilibrio con valor de  $\lambda$  incluso mayor que el de la población silvestre. Esta diferencia se podría explicar debido a la estructura de la población manejada, la cual tiene dominancia de las categorías de adultos (AI, AII y AIII) que representan el 37.7% de toda la población, con sobrevivencia mayor al 96%. Además, debido a que la sobrevivencia de todos los estadios de vida es el parámetro demográfico más importante para el mantenimiento futuro de la población, la sobrevivencia de los estadios de vida Adulto I y Adulto II contribuyen en un 34% al valor de  $\lambda$ . A diferencia de la población silvestre en la cual las categorías de adultos representan el 28% de toda la población con sobrevivencia mayor del 88%, las que contribuyen con el 29.3% al valor de  $\lambda$ .

La fecundidad es un parámetro demográfico que contribuye con menos del 0.5% para el valor de  $\lambda$  y a pesar que el valor de la fecundidad es mayor en la población silvestre, la intensidad de cosecha de frutos en la población manejada *in situ* puede ser mayor que en la silvestre sin afectar su crecimiento poblacional, debido a que los adultos ante la simulación de cosecha contribuyen con más del 30% al valor de  $\lambda$ .

#### **4.5. Análisis prospectivos: Cosecha de frutos**

En la población manejada la cosecha de hasta 90% de los frutos logra mantener un valor de  $\lambda$  por arriba de la unidad (valores de 1.012 a 1.04 de acuerdo a las diferentes probabilidades de establecimiento); en cambio, para la población silvestre el porcentaje de cosecha que evita que decline la población es de menos del 60% (con valores de  $\lambda$  desde 1.01 a 1.06 de acuerdo a las diferentes probabilidades de establecimiento). No obstante, aunque la población manejada podría tolerar un alto porcentaje de colecta de frutos, se debe tomar en cuenta que los frutos de esta planta no sólo son aprovechados por los humanos, sino que existen procesos ecológicos muy importantes para el mantenimiento de la comunidad biótica en general y en los que los frutos esta de especie son cruciales. Igualmente, existe una importante comunidad de hormigas en el ecosistema que dependen de las semillas de esta y otras especies para su mantenimiento. Aunque se desconoce actualmente el papel de los frutos de *P. chichipe* en el mantenimiento de estas interacciones, es necesario tomarlas en cuenta para la definición de regimenes de cosecha sustentables en términos del porcentaje de frutos producidos por planta. Por ello, a los niveles de cosecha sustentables de acuerdo con el criterio de

mantenimiento de las poblaciones de *P. chichipe* obtenidos en este estudio, es conveniente abstraer un porcentaje aún no determinado de frutos que se requieren para mantener interacciones en las comunidades bióticas del área.

El estudio se realizó en un año solamente y es factible prever fluctuaciones ambientales entre años, pues la impredecibilidad en zonas áridas es muy marcada. Por ello, a la consideración del párrafo anterior debe agregarse este nuevo elemento para sugerir un porcentaje de cosecha en el cual el valor de crecimiento finito de la población permanezca por encima de la unidad.

Los umbrales de cosecha de frutos de las dos poblaciones son diferentes, siendo más sensible la población silvestre. Esta diferencia se podría deber a los valores altos de elasticidad de la sobrevivencia de los Adultos I y II de la población manejada, los cuales ante una simulación de la cosecha del 90% de frutos contribuyen con el 41% para el valor de  $\lambda$ . Las categorías AI y AII de la población manejada tienen un valor de probabilidad de sobrevivencia mayor que la sobrevivencia de los estadios de vida más importantes para la población silvestre los cuales son AI, RII y JI; los cuales ante la simulación de cosecha del 60% de frutos, contribuyen con el 58% al valor de  $\lambda$ . En la simulación de la cosecha del 90% de los frutos en la población silvestre, el valor de  $\lambda$  declina muy cerca de la unidad y la sobrevivencia de las categorías de adultos contribuyen con más del 40% para el crecimiento de la población, siendo más importante la categoría de Adulto I; esto podría constituir un riesgo para la persistencia de la población debido a que en un esquema de cosecha intensa de frutos la población depende de la sobrevivencia de las plantas de las últimas categorías del ciclo de vida.

#### **4.6. Análisis prospectivos: eliminación de plantas por categoría**

Con base en las simulaciones de eliminación de plantas por categoría de tamaño de un 30, 50 y 90% se identificaron las categorías más importantes para el crecimiento y persistencia de las poblaciones de *P. chichipe*, las cuales fueron diferentes para cada población. En la población silvestre las categorías identificadas como más importantes fueron la RII, la JI y la AI, mientras que para la manejada *in situ* fueron la JI, la AI y la RII. La eliminación de 30 al 90% de las categorías RII, JI y AI en la población silvestre determina que la sobrevivencia de la categoría JII, AI, RII y AII sea crucial para la persistencia de esta población. En el caso de la población manejada, en la cual son eliminadas las categorías RII, JI y AI, la elasticidad de la sobrevivencia de las categorías JII, AII, AI y RII resulta crucial para el crecimiento de la población. Como lo indican

los resultados, las categorías JII, AII y RII son las más importantes para el crecimiento y la persistencia de las poblaciones de *P. chichipe* bajo las dos formas de manejo.

#### **4.7. Alternativas de manejo para poblaciones de *P. chichipe* en San Luis Atolotitlán**

Debido a que la agricultura de granos básicos es la actividad económica más importante en la comunidad de San Luis Atolotitlán, la extensión de la frontera agrícola se ha extendida hacia zonas con pendientes mayores a 25° las cuales son áreas de distribución de poblaciones de plantas silvestres como las cactáceas columnares que en su gran mayoría ofrecen productos útiles para consumo humano, combustibles y para fines comerciales. A pesar de que en la comunidad la producción de granos básicos como el maíz es deficitaria, los campesinos continúan cultivando en sistemas agrosilvopastoriles en los que además obtienen otros productos útiles como son los frutos de *Polaskia chichipe*. Por ello, una primer medida pertinente para la conservación de *P. chichipe* y en general de la vegetación conocida como chichipera (*sensu* Valiente-Banuet *et al.* 2000), es un ordenamiento comunitario que permita preservar las pocas áreas que aún quedan de este tipo de vegetación en algunos lomeríos, laderas y cañadas de pendientes pronunciadas y suelos pedregosos inviables para la producción agrícola.

Igualmente importante resulta la promoción de la práctica del sistema agrosilvícola como el del sitio en el que se llevó a cabo el estudio de la población manejada *in situ*. Esto es sobre todo necesario porque en los últimos años el desmonte y aclareo de la totalidad de elementos vegetales de las parcelas agrícolas es cada vez más común. Existen suficientes argumentos técnicos y ambientales, así como experiencia campesina local a favor de este sistema y su promoción resultaría viable bajo estrategias participativas que contemplen el diálogo de saberes entre los propios campesinos de la localidad y el aporte de la información derivada de investigaciones como la presente y otras más que se realizan en el área con *P. chichipe* y otras especies de cactáceas columnares.

Con base en los resultados de los valores más altos de elasticidad de la sobrevivencia de los estadíos de vida al simular la eliminación de las plantas de las diferentes categorías de tamaño, se identifican las categorías que contribuyen en mayor magnitud a la persistencia y al crecimiento de la población a largo plazo, las cuales son para la población silvestre: juvenil II (JII), Adulto I, Adulto III y renuevo II (RII), en la manejada *in situ* Adulto II (AII), Juvenil II (JII), Adulto I (AI) y Renuevo II (RII). La

eliminación entre un 30 a 90% de estas categoría ponen en riesgo a la población, resultando con ello valores de  $\lambda$  muy cercano a la unidad. En la población silvestre de acuerdo a los resultado obtenidos se recomienda que no se eliminen más del 30% de las plantas juveniles II (JII), no más del 50% de las plantas de la categoría de tamaño Renuevo II y no más del 50% de las plantas de la categoría juvenil I (JI). Para la población manejada *in situ* no se recomienda eliminar más del 50% de plantas de la categoría Juvenil II (JII), no más del 90 de las plantas de la categoría renuevo II (RII) y no más del 30% de los adultos de la categoría AI (Cuadro 12). Con base en las simulaciones de eliminación de plantas por categoría de tamaño, se propone porcentajes de eliminación por categoría de manera que no constituyan un riesgo para el crecimiento y persistencia de las poblaciones y que el manejo silvícola *in situ* sea una actividad ecológicamente sustentable para las poblaciones de *P. chichipe*. En el Cuadro 12 se presenta la propuesta del porcentaje de plantas que podrían ser eliminadas sin afectar el valor de  $\lambda$ , estos porcentajes de eliminación están propuestos en poblaciones silvestres y en poblaciones manejadas *in situ* bajo un esquema de manejo silvícola *in situ*.

**Cuadro 12. Propuesta de porcentaje de eliminación de plantas por categoría de tamaño en las poblaciones de *P. chichipe* sujeta a manejo *in situ* (el valor de  $\lambda$  es con base en la probabilidad de establecimiento de 0.00021)**

Categoría	Población Silvestre			Población Manejada		
	n	Eliminación de plantas (%)	Plantas/Ha	n	Eliminación de plantas (%)	Plantas/Ha
<b>R1</b>	130	50	65	97	90	9.7
<b>R2</b>	74	30	51.8	37	90	3.7
<b>JI</b>	25	50	12.5	14	90	1.4
<b>JII</b>	53	30	37.1	16	50	8
<b>AI</b>	71	90	35.5	26	30	18.2
<b>AII</b>	26	90	2.6	22	30	15.4
<b>AIII</b>	14	90	1.4	51	90	5.1
			<b><math>\lambda</math>: 1.052</b>			<b><math>\lambda</math>: 1.059</b>

La promoción de la tolerancia de la mayor cobertura posible de elementos arbustivos y arbóreos en las parcelas ayudaría a mantener las condiciones de la reproducción y crecimiento de los individuos de esta especie, así como de otras especies de plantas suculentas del área. El trazado de curvas a nivel en las parcelas permitiría la conformación de franjas o bordos que favorecerían la conservación de los suelos, al

mismo tiempo que permitiría generar sitios en los cuales rescatar plantas de distintas categorías de tamaño existentes en otros sitios de las parcelas.

Las simulaciones dirigidas a estimar niveles de cosecha óptimas sugieren que en el caso de las poblaciones silvestres los niveles de cosecha de hasta un 60% y en el caso de las poblaciones *manejadas in situ* hasta un 90%, permitirían el mantenimiento de la población. Pero se han discutido arriba las consideraciones que deben hacerse en términos del mantenimiento de las interacciones bióticas de la comunidad, así como de lo limitado que resulta el registro de un año de crecimiento en condiciones tan impredecibles como las de las zonas áridas. Por ello, aunque se carece de información precisa que respalde con mayores argumentos la propuesta, resultaría conveniente hacer recomendaciones por debajo de los umbrales mencionados. Proponer niveles de cosecha de hasta 50% en las poblaciones manejadas in situ y de hasta 30% en las poblaciones silvestres parecerían razonables.

En la actualidad los frutos de *P. chichipe* no son colectados con frecuencia ni mucho menos con la intensidad que sugieren los modelos desarrollados en este estudio. Esto se debe a que, no obstante que son plantas muy productivas, los frutos son pequeños y su valor comercial es muy limitado. La promoción de actividades dirigidas a incrementar su valor económico y cultural (por ejemplo, la promoción del secado de frutos, la elaboración de mermeladas y licores y otros productos) podría parecer un riesgo para la conservación de la especie, pero, por el contrario, podría representar un estímulo significativo para la conservación. De hecho, el desarrollo del valor económico de esta planta favorecería la instrumentación de estrategias como las mencionadas en los párrafos anteriores, así como un mayor cuidado en el mantenimiento de los individuos de distintas categorías de tamaño en las poblaciones sujetas a aclareo recurrente. Como alternativa de conservación de esta especie debido a que el manejo al que están siendo sujetas podría afectar su dinámica poblacional y su persistencia a largo plazo, se propone incorporar los frutos a un proceso de comercialización en productos transformados dentro del esquema de conservación de especies endémicas de México con apoyo y asistencia de la Reserva de la Biosfera Tehuacan-Cuicatlán. Por medio de la transformación de estos frutos se le dará valor agregado y se prolongará su disponibilidad como producto comercial y podría constituir una actividad económica importante para las familias; a la vez que los campesinos contribuirían a la conservación por medio de la protección, tolerancia y propagación de esta especie en las parcelas y en las poblaciones silvestres.

## V. CONCLUSIONES

1. El manejo silvícola *in situ* ha modificado la composición de especies en las comunidades vegetales en el Valle de Tehuacan-Cuicatlán. Este tipo de manejo ampliamente difundido en el valle, ha transformado las comunidades vegetales silvestres en sistemas agrosilvopastoriles.
2. Asimismo, el manejo silvícola *in situ*, ha modificado la estructura de las poblaciones de *P. chichipe* debido a las actividades de eliminación, remoción y tolerancia de categorías de vida útiles para los campesinos, observándose diferencias importantes en estructura poblacional con respecto a la población silvestre.
3. Las diferencias encontradas en cuanto a estructura poblacional, densidad, estructura de tallas y crecimiento no se podría explicar completamente como un efecto directo del manejo, sino que podría estar influyendo la diferencia en las condiciones fisiográficas y edafológicas en la que se encuentran las dos poblaciones.
4. Se determinó que para las poblaciones de *P. Chichipe*, la sobrevivencia es el parámetro demográfico más importante para la persistencia de la población.
5. No se encontraron diferencias entre los patrones demográficos de las dos poblaciones, solamente en la fecundidad siendo mayor en la población silvestre.
6. Los valores del crecimiento finito de la población manejada *in situ* es mayor que los de la población silvestre, lo cual podría deberse a la tolerancia de los adultos y su alta densidad en las zonas manejadas, las cuales son las que más contribuyen al valor de  $\lambda$ .
7. Asimismo, como efecto del manejo la población sujeta a este régimen silvícola *in situ* es menos sensible a cambios en  $\lambda$  ante la cosecha de hasta el 90% de frutos.
8. Las categorías más importantes para la persistencia y crecimiento poblacional para las dos poblaciones fueron la de Renuevo II, Juvenil II, Adulto I y Adulto II, hacia las cuales se deben orientar principalmente los esfuerzos de conservación de esta especie.

**9.** La promoción de actividades dirigidas a incrementar el valor económico y cultural de los frutos de *Polaskia Chichipe* favorecerá la instrumentación de estrategias de conservación de especies endémicas de México con apoyo y asistencia de la Reserva de la Biosfera Tehuacan-Cuicatlán.

## VI. REFERENCAS

- Arellano, P. y Parra, A. 2002. SMontecarlo (Software System), Versión 1.0. México Copyright © 2002.
- Arias, M., S.; Gama L., S.; Guzmán, C., L. 1997. *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fascículo 14. Cactaceae A.L. Juss. UNAM. Instituto de Biología.
- Arriaga, L.; Maya, Y.; Díaz, S. y Cancino, J. 1993. Association between cacto and nurse perennials in a heterogeous tropical dry forest in northwestern Mexico. *Journal of Vegetation Science* 4: 349-356.
- Bartolo, González, M. C. 2000. *Biología reproductiva y procesos de domesticación de la cactácea columnar Polaskia chichipe Backeberg en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, México*. Tesis de Licenciatura. UMSNH. Morelia, Michoacán.
- Berkes, F., Holding, J. y Folke, C. 2003. Introduction. En: Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. *Navigating Social-Ecological Systems. Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra: pp. 1-32.
- Berkes, F. y Folke, C. 2000. Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. En: Berkes, F. Y Folke, C. *Linking Social and Ecological Systems. Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra; pp. 1-29.
- Bowers, J. 1997. Demographic patterns of ferocactus cylindraceus in relation to substrate age and grazing history. *Plant Ecology* 133: 37-48
- Bowers, J. Webb, R., Rondeae, R. 1995. Longevity, recruitment and mortality of desert plants in Grand Canyon, Arizona USA. *Journal of Vegetation Science* 6: 551-564.
- Bowers, J. 2000. Does Ferocactus wislizeni (Cactaceae) have a betwen-year seed bank?. *Journal of Arid Environments* 45: 197-205.
- Bravo-Hollis, H., y Sánchez-Mejorada, H. 1991. *Las cactáceas de México 3*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Bravo-Hollis, H. 1978. *Las cactáceas de México 1*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. México
- Caballero, J., Casas, A., Cortés, L. Y Mapes, C. 2000. Patrones en el conocimiento, uso y manejo en plantas de pueblos indígenas en México. *Revista de Estudios Atacameños* 16: 13-31.
- Camargo-Ricalde, S.; Dhillion, S. & Grether, R. 2002. Community structure of endemic Mimosa species and

- environmental heterogeneity in a semi-arid Mexican valley. *Journal of Vegetation Science* **13** (5): 697-704.
- Carmona, C.** 2002. *Efecto del proceso de domesticación sobre la variación morfológica de poblaciones de Polaskia chichipe Backeberg, Blatt. Suck. (Cactaceae), en el valle de Tehuacan-Cuicatlán Puebla, México.* Tesis de Maestría. Universidad de Colima. Colima, México.
- Carmona, A. & Casas, A.** 2005. Management, Phenotypic patterns and domestication of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Journal of Arid Environments* **60**(1): 115-132.
- Casas, A. y Caballero, J.** 1996. Tradicional management and morfological variation in *Leucaena esculenta* (Fabaceae: Mimosoideae). *Economic Botany* **50**: 167-181.
- Casas, A., Vázquez, M., Viveros, J. y Caballero, J.** 1996. Plant management among the Nahua and the Mixtec from the Balsas river basin, México: an ethnobotanical approach to the study of domestication. *Human Ecology* **24**: 455-478.
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C., y Zárate, S.** 1997a. Manejo de la Vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **61**, 31-47.
- Casas, A., Pickersgill, B., Caballero, J., y Valiente-Banuet, A.** 1997b. Ethnobotany and domestication in *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in the Tehuacan Valley and La Mixteca Baja, Mexico. *Economic Botany* **51**, 279-292.
- Casas, A., Valiente-Banuet, A. Y Caballero, J.** 1998. La domesticación de *Stenocereus stellatus* (Pfeiffer) Riccobono (Cacataceae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **62**: 129-140.
- Casas, A., Caballero, J. y Valiente-Banuet, A.** 1999a. Use, management and domestication of columnar cacti in South Central México: a historical perspective. *Journal of ethnobiology* **1** (19), 71-95.
- Casas, A., Caballero, J. y Valiente-Banuet, A.** 1999b. Procesos de domesticación en cactáceas columnares de la Vertiente del Pacífico sur de México. Páginas. 147-173 en B. E. Pimienta, Ed. *El Pitayo en Jalisco y especies afines en México*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara-Fundación Produce A. C.
- Casas, A., Caballero, J., Valiente-Banuet, A., Soriano, J. y Dávila, P.** 1999c. Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in central, Mexico.

*American Journal of Botany* **86**(4): 522-533.

- Casas, A., Valiente-Banuet, A.; Viveros, J.; Caballero, J.; Cortés, L.; Dávila, P.; Lira, R. & Rodríguez, I. 2000. Plant resources of the Tehuacan-Cuicatlán valley, Mexico. *Economic Botany* **55** (1): 129-166.
- Casas, A. y Barbera, G. 2002. Mesoamerican domestication and difusión of cacti. Cap. 10. *er*: P. S. Nobel, Ed. *Cacti: Biology and Uses*. California University press.
- Castillo, A., y Toledo, V.M. 2000. Applying ecology in the third world: the case of México. *Bioscience* **50**(1): 66-76
- Caswell, H. 1996. Second derivatives of population growth rate: calculation and applications. *Ecology* **77**(3): 870-879.
- Caswell, H. 2000. Prospective and retrospective perturbation analyses: Their roles in conservation biology. *Ecology* **81**(3): 619-627.
- Caswell, H. 2001. *Matrix population models*. Construction, analysis, and interpretation. Second edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts, USA.
- Contreras, C. & Valverde, T. 2002. Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamic. *Journal of Arid Environments* **51**:89-102.
- Cruz, M. & Casas, A. 2002. Morphological variation and reproductive biology of *Polaskia chende* (Cactaceae) under domestication in central Mexico. *Journal of Arid Environments* **51**: 561-576.
- Daniel, W. 2002. *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Ed. Limusa Wiley. México.
- Davidson-Hunt, I. J. y Berkes, F. 2003. Nature and society through the lens of resilience: toward a human-in-ecosystem perspective. En: Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. *Navigating Social-Ecological Systems. Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra: pp. 53-82.
- Dawn, D. 2003. Branch direction in *Carnegiea gigantea* (Cactaceae): Regional patterns and the effect of nurse plants. *Journal of Vegetation Science* **14**(6): 907-910.
- De Kroon, H.; Plaistier, H.; van Groenendael, J.M. & Caswell, H. 1986. Elasticity: the relative contribution of demographic parameters to population growth rate. *Ecology* **67**: 1427-1431.
- De Kroon, H.; van Groenendael, J. & Ehrlén, J. 2000. Elasticity: a review of methods and models limitations.

*Ecology* **81**: 607-618.

- Echeverría, Y. 2003. *Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales en las comunidades mixtecas de San Pedro Nodón y San Pedro Jocotipac, Oaxaca, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Esparza-Olguín, L.; Valverde, T. And Vilchis-Anaya, E. 2002. Demographic analysis of a reare columnar cactus (Neobuxbaumia macrocephala) in the Tehuacan Valley, Mexico. *Biological Conservation* **103**: 349-359.
- Folke, C., Holding, J. y Berkes, F. 2003. Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. En: Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. *Navigating Social-Ecological Systems. Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra: pp. 352-387.
- Franco, A. & Nobel, F. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat & growth of cacti. *Journal of Ecology*. **77**: 870-886.
- García, R. 1994. Interdisciplinaridad y sistemas complejos. Páginas 185-124 en E. Leff , Ed. *Ciencias sociales y formación ambiental*. Editorial Gedisa. México
- Geller, G. y Nobel, P. 1986. Branching patterns of columnar cacti: influences on PAR interceotion and CO<sub>2</sub> uptake. *American Journal of Botany* **73**(8): 1193-1200.
- Geller, G. y Nobel, P. 1987. Comparative cactus architecture and PAR interception. *American Journal of Botany* **74**(7): 998-1005.
- Godínez-Alvarez, H. & Valiente-Banuet, A. 1998. Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cacti species: the role of soil and seed ingestion by disperses on seedling growth. *Journal of Arid Enviroments* **39**: 21-31.
- Godínez-Alvarez, H.; Valiente-Banuet, A. & Valiente-Banuet, I. 1999. Biotic interation an population dynamics of the long-lived columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Canadian Journal of Botany* **77**: 203-208
- Godínez-Alvarez, H.; Valiente-Banuet, A. & Rojas-Martínez, A. 2002. The role of seed dispersers in the population dynamics of the columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo*. *Ecology* **83** (9): 2671-2629.
- Godínez-Alvarez, H.; Valverde, T. y Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in the cactaceae. *The Botanical*

*Review* 69(2): 173-203.

- Godínez-Alvarez, H. & Valiente-Banuet, A. 2004. Demography of the columnar cactus *Neobuxbaumia macrocephala*: a comparative approach using population projection matrices. *Plant Ecology* 174: 109-118.
- Grumbine, R.E. 1997. Reflections on what is ecosystem management? *Conservation biology* 11(1): 41-47
- Hernández, H. y Godínez, H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* 26: 33-52.
- Holling, C. S. 2003. Foreward: The backloop to sustainability. En: Berkes, F., Colding, J. y Folke, C. *Navigating Social-Ecological Systems. Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra: pp. XV-XXI.
- Hood, G. M. 2004. Poptools, versión 2.6.2. Modulo disponible en internet. URL <http://www.csa.csiro.au/poptools>.
- INEGI. 2001. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. Aguascalientes, Ags., México.
- Jordan, P. y Nobel, P. 1981. Seedling establishment of *Fercactus acanthoides* in relation to drought. *Ecology* 62: 901-906.
- Kay, J., Regier, H. y Boyle, G. 1999. An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. *Futures* 31: 721-742.
- Lopez-Ridaura, S., Masera, O. y Astier, M. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems: the mesmis framework. *Ecological indicator* 2(1-2): 135-148.
- MacNeish, R.S. 1967. A summary of subsistence. en: D.S. Byers. *The prehistory of the Tehuacan Valley*. Vol. One: Environment and subsistence. University of Texas Press, Austin, TX, USA.
- Mandujano, M.; Méndez, I. y Golubov, J. 1998. The relative contribution of sexual reproduction and clonal propagation of *Opuntia rastrera* from two habitats in the chihuahua desert. *Journal of Ecology* 86: 911-921.
- Mandujano, M.; Golubov, J.; Rodríguez-Ortega, C.; Reyes, J.; Aguilar, G. & Rojas-Aréchiga, M. 2004. Estructura poblacional y distribución de poblaciones de *Polaskia chende* (Gosselin) Backeb., en un municipio dentro de la Reserva de la Biosfera de Tehuacan-Cuicatlán. *Cactáceas y suculentas mexicanas* 2: 36 – 62.
- Masera O. y López-Ridaura S. 2000. *Sustentabilidad y sistemas campesinos. Cinco experiencias del México*

*rural*. Ed. Mundi-Prensa, GIRA, UNAM, PUMA. México.

- Masera, O.; Astier, M. y López-Ridaura, S. 2000. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS*. Mundi-Prensa México, S.A. de C.V., GIRA y Instituto de Ecología, UNAM. México.
- Méndez, M.; Durán, R.; Olmsted, I. & Oyama, K. 2004. Population dynamics of *Pterocereus gaumeri*, a rare and endemic columnar cactus of Mexico. *Biotropica* 36(4): 492-504.
- Olmsted, I. And Alvarez-Buylla, E. 1995. Sustainable harvesting of tropical trees: Demography and matrix models of two palm species in Mexico. *Ecological Applications* 5(2): 484-500.
- Ortega, B. P. 2001. *Demografía de la cactácea columnar Escontria chiotilla*. Tesis de Maestría. UNAM, Posgrado en Ciencias Biológicas. México D.F.
- Osorio, O., Valiente-Banuet, A., Dávila, P. y Medina, R. 1996. Tipos de vegetación y diversidad  $\beta$  en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59: 35-58
- Otero-Arnaiz, A., Casas, A.; Bartolo, C.; Pérez-Negrón, E. y Valiente-Banuet, A. 2003. Evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacán Valley, Central México: Reproductive biology. *American Journal of Botany* 90(4):593-602
- Pierson, E. A. & Turner, R.M. 1998. An 85-year study of Saguaro demography. *Ecology* 79: 2676-2693.
- Pérez-Negrón, E. 2002. *Etnobotánica y aspectos ecológicos de las plantas útiles de Santiago Quiotepec, Cuicatlán, Oaxaca, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Rae, J. & Ebert, T. 2002. Demography of the endangered fragrant prickly apple cactus, *Harrisia fragrans*. *Int. J. Plant Science* 163(4): 631-640.
- Rangel, S. y Lemus, R. 2002. *Aspectos etnobotánicos y ecológicos de los recursos vegetales entre los ixcatecos de Santa María Ixcatlán, Oaxaca, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Reyes-Olivas, A.; García-Moya, E. y López-Mata, M. 2002. Cacti-Shrub interaction in the coastal desert of northern Sinaloa, Mexico, *Journal of Arid Environments* 52: 431-455.
- Rojas-Aréchiga, M. & Vázquez-Yañes, C. 2000. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments* 44:84-104.

- Spss, Inc. 1997. Sigma Stat for Windows (Software system), version 2.03.
- Stat Soft, Inc. 2003. Statistica (data analysis software system), version 6. [www.stasoft.com](http://www.stasoft.com)
- Tinoco-Ojanguren, C. y Molina-Freaner, F. 2000. Flower orientation in *Pachycereus pringlei*. *Canadian Journal of Botany* **78**: 1489-1494
- The world commission on environment and development. 1987. Our common future. Oxford University Press. Oxford, USA.
- Torres, I. 2004. *Aspectos ecológicos y etnobotánicos de los recursos vegetales en el Valle de Tehuacan-Cuicatlán*. Tesis de Licenciatura. UMSNH. Morelia, Michoacán, México.
- Valiente-Banuet, A. & Ecurra, E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisiana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ecology* **79**: 961-971.
- Valiente-Banuet, A., Bolongaro-Crevenna, A.; Briones, O.; Ecurra, E.; Rosas, M.; Núñez, H.; Barnard, G. & Vázquez, E. 1991a. Spatial relationships between cactus and nurse shrubs in a semi-arid environment in central Mexico. *Journal of Vegetation Science* **2**: 15-20.
- Valiente-Banuet, A.; Vite, G. & Zavala-Hurtado, A. 1991b. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrubs in the semi-arid environment in central Mexico. *Journal of Vegetation Science* **2**: 15-20.
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores, N., Arizmendi, M. C., Villaseñor, J. L., Ortega, R., y Soriano, J. A. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacan-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **67**: 25-74.
- Vivar, A. 2003. *Determinación de la sustentabilidad en el manejo del quiotillal en el Valle de Tehuacan-Cuicatlán, México*. Tesis de Licenciatura. UNAM. México.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis. 4th ed.* Prentice-Hall. New Jersey, U.S.A.
- Zavala-Hurtado, J., Vite, F. Y Ecurra. 1998. Stem tilting and pseudocephalium orientation in *Cephalocereus columna-trajani* (cactaceae): a functional interpretation. *Ecology* **79**(1): 340-348.

## VII. APENDICE. Formato de la encuesta aplicada

Nombre: \_\_\_\_\_

¿A que se dedica? \_\_\_\_\_

¿Cuántas hectáreas tiene con agricultura? ¿Qué cultiva?

\_\_\_\_\_

¿Cuántas hectáreas de sus parcelas se encuentran en chichiperas? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Las parcelas en chichiperas ¿cuantos años son productivas?

\_\_\_\_\_

¿Cuantos años las dejan descansar? O ¿Después de cuantos años vuelven a ser

productivas? \_\_\_\_\_

Al hacer una parcela en chichiperas elimina todas las plantas ( de diversas especies)

\_\_\_\_\_

¿Qué plantas deja en pie? (especie y estado vegetativo?)

\_\_\_\_\_

Al hacer una parcela en **chichipera** de 50m x50m :

1. Elimina todas las plantitas de chichipe de 1cm - 1 m de altura. Si en su parcela hubieran **30** plantitas que hace con ellas?

\_\_\_\_\_

2. Y que hace con las plantas de 1 m - 2 m de altura, pero que todavía no dan fruto. Si en su parcela hubiera **17** plantas, las elimina todas o cuantas deja?

\_\_\_\_\_

3. Si en su parcela de 50mx 50m hubiera **22** plantas de chichipe que dan frutos cuantas deja en pie y cuantas elimina y por qué?.

\_\_\_\_\_

¿Cree que las plantas de chichipe se están acabando? ¿Por qué? \_\_\_\_\_